公開版

114 年委託研究報告

6G 頻譜整備及應用規劃委託研究案

後續擴充

完整期末報告

計畫委託機關：數位發展部

中華民國 114 年 12 月

114 年委託研究報告

GRB 系統編號：PG11402-0284

6G 頻譜整備及應用規劃委託研究案
後續擴充
完整期末報告

受託單位
財團法人電信技術中心

計畫主持人
郭作麟

協同主持人
林杰龍、王資寧

研究人員
陳譽明、黃繼玄、劉鴻鈞、鍾福祥、龐士君、江東訓、
王章諭、呂維曦、陳耀坤、連益興、巫國豪、徐玉珊、
馮意庭、胡依淳、劉大溶、楊智皓、吳政翰、李佳儒、
楊騰毅、林俊青、鄧信豪、鄭師豪、薛茂呈、劉政霖、
洪冠瑋、呂少琪、賴芃聿、楊韻蓉、李珮綺、劉宜蕎、
林奕誠、黃祺婷、邱儀萱、李佳欣、徐翊菱、洪乙心、
涂惠玟

研究期程：中華民國 114 年 1 月至 114 年 11 月

研究經費：新臺幣 3,997 萬 4,247 元

本報告不必然代表數位發展部意見

中華民國 114 年 12 月

目 次

目 次 I

表 次 III

圖 次 IX

計畫摘要 XVI

Abstract XXIV

第一章 緒論 1

第一節 計畫緣由 1

第二節 計畫分析架構 7

第三節 計畫執行方法 15

第二章 ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測 19

第一節 WRC-23 後頻譜重點發展 19

第二節 WRC-27 研究與實測研析 59

第三節 ITU 活動與實質參與研析 148

第四節 6G 頻譜整備政策觀察整理 163

第三章 國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點 171

第一節 國際組織推動 6G 發展資訊研析 171

第二節 主要國家與地區推進 6G 現況觀測 224

第三節 我國 6G 候選頻段既有使用者盤點與 6G 頻譜規劃方案 315

第四節 國際會議出席進度與成果 342

第五節 小結 355

第四章 Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測 356

第一節 頻率和諧有效使用機制之導入 356

第二節 頻率和諧有效使用機制實測評估 378

第三節 輔導至少兩家 AP 設備製造商於 Mid band 頻段導入和諧有效使用機制與實測 422

第四節 小結 451

第五章 Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估 453

第一節 評估既有使用者合適替代鏈路技術 454

第二節 建立 FR3 頻段之干擾評估與查測機制 526

第三節 研提 U6 移頻建議方案 556

第四節 小結 584

第六章 其他執行項目與成果彙整 587

第一節 座談會或經驗分享會議執行成果與規劃 587

第二節 國內外頻譜資訊定期蒐集與研析 636

第三節 派駐人力說明 640

第七章 結論與建議 641

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件一 FSO 架設設備 2 公里測試結果 657
附件二 FR3 頻段既有使用者之分類與去識別化資料.....659
附件三 期中執行成果簡報 661
附件四　辦理國內外座談會與分享會之相關佐證資料 682
參考文獻.....698
中英文名詞對照（依縮寫字首排序） 724
期末報告審查會議意見回覆表 729

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 次

表 1- 1、雙周進度規劃 10
表 2- 1、4400-4800 MHz 研究貢獻與發展趨勢整理 74
表 2- 2、7125-8400 MHz 研究貢獻與發展趨勢整理 90
表 2- 3、14.8-15.35 GHz 研究貢獻與發展趨勢整理 97
表 2- 4、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：LDR 衛星行動用途 98
表 2- 5、LDR-MSS 發展趨勢整理.....114
表 2- 6、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：D2D 衛星行動用途 115
表 2- 7、D2D-MSS 研究貢獻與發展趨勢整理.....135
表 2- 8、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ： 新衛星行動無線電用途 137
表 2- 9、New MSS 研究貢獻與發展趨勢整理 145
表 2- 10、ITU 國家會員與權利義務 151
表 2- 11、WSIS Prize 獎項分類與得主 156
表 2- 12、國家會員專家協助模式.....159
表 2- 13、國家會員專案推動模式.....162
表 2- 14、WRC-23 後頻譜發展觀察整理 164
表 2- 15、WRC-27 重點議題與整理.....166
表 2- 16、 ITU 實質參與研析彙整 168
表 3- 1、APG-27 召開兩次籌備組會議結果.....171
表 3- 2、APT 設立 5 個工作小組討論 WRC-27 議題.....172
表 3- 3、WRC-23 新增或更新 IMT 頻段之註腳 174
表 3- 4、WRC-23 決議後第三區用於 IMT 頻譜之總量 174
表 3- 5、亞太地區 IMT 頻譜分配的現況與挑戰、未來頻譜藍圖規劃 175
表 3- 6、多層網路之互連方式.....178
表 3- 7、使用衛星系統的多層網路連接新應用 178
表 3- 8、3GPP 未來 6G 無線電介面設計論點與業界考量.....183
表 3- 9、3GPP 對 6G 無線電研究之階段性里程碑.....192
表 3- 10、NGMN 聯盟三大任務.....199
表 3- 11、6G FWA 關鍵績效指標 210
表 3- 12、頻寬與距離解析度之對應頻段說明 217
表 3- 13、國際組織 6G 發展重點比較表 221
表 3- 14、國際組織 6G 推動重點比較表 223
表 3- 15、歐盟 6G 頻段整備工作時程表 224
表 3- 16、歐盟 6G 頻段整備工作時程表 224
表 3- 17、歐盟「優先頻段分配方案」之劃分點 230
表 3- 18、歐盟 SNS JU 補助計畫一覽表 232

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 19、6 GHz 頻段頻率和諧共用規範 234
表 3- 20、「大而美法案」與「國家頻譜策略」頻譜規劃比較.....237
表 3- 21、美國「國家頻譜策略」主軸三相關內容概要.....241
表 3- 22、2025 財政年度 Ofcom 預計執行項目 248
表 3- 23、英國 L6 頻段規劃之利害關係人意見綜整表 255
表 3- 24、英國保護 U6 頻段既有使用者之應對措施 258
表 3- 25、英國 U6 頻段規劃之利害關係人意見綜整表 259
表 3- 26、英國 26 GHz 與 40 GHz 頻段拍賣結果.....266
表 3- 27、Ofcom 規劃開放供 D2D 使用之行動通信頻段 268
表 3- 28、D2D 干擾情境與 Ofcom 擬議解決方式 269
表 3- 29、D2D 用途監管方案之綜整比較 272
表 3- 30、韓國行動通信頻譜分配情形及規劃 283
表 3- 31、韓國三家業者於 2026 年屆期頻譜所持有之頻寬.....284
表 3- 32、韓國 6 GHz 頻段之 Wi-Fi 技術限制調整規劃 285
表 3- 33、中國 IMT-2030（6G）推進組所發布之 6G 研究報告.....295
表 3- 34、香港 2024-2026 頻譜計畫.....302
表 3- 35、香港 U6 頻段諮詢衛星業者意見 304
表 3- 36、香港 U6 頻段諮詢行動業者意見 304
表 3- 37、2.5/2.6 GHz 拍賣頻段區塊與頻寬（Frequency Block and Bandwidth）.....308
表 3- 38、主要研究國家/地區之 6G 產業新技術推動政策.....313
表 3- 39、6G 頻譜調查盤點頻段 315
表 3- 40、400 MHz 盤點既有使用者資料表.....316
表 3- 41、600 MHz 盤點既有使用者資料表.....316
表 3- 42、700 MHz 盤點既有使用者資料表.....316
表 3- 43、800 MHz 盤點既有使用者資料表.....317
表 3- 44、900 MHz 盤點既有使用者資料表.....317
表 3- 45、1800 MHz 盤點既有使用者資料表.....317
表 3- 46、2100 MHz 盤點既有使用者資料表.....318
表 3- 47、2600 MHz 盤點既有使用者資料表.....318
表 3- 48、3500 MHz 盤點既有使用者資料表.....318
表 3- 49、U3 盤點既有使用者資料表 319
表 3- 50、U4 盤點既有使用者資料表 319
表 3- 51、24 GHz 盤點既有使用者資料表 319
表 3- 52、28 GHz 盤點既有使用者資料表 320
表 3- 53、NTN S Band 盤點既有使用者資料表 320
表 3- 54、5G 頻譜之終端設備支援數量與我國已釋出頻段.....321

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 55、國際主要國家與地區對 U6 頻段之規劃 324
表 3- 56、我國頻譜使用現狀與未來 IMT 規劃之盤點總表 328
表 3- 57、我國潛在可供 IMT 使用頻段之分類表.....336
表 4- 1、6G UNII 設備之規則簡介.....356
表 4- 2、傳導限制值 360
表 4- 3、1GHz 以下帶外發射限制值 362
表 4- 4、測試向量清單 369
表 4- 5、AFCD.RSA 測試中驗證的 FCC 規範要求.....371
表 4- 6、AFCD.USA 測試中驗證的 FCC 規範要求.....371
表 4- 7、AFCD.SAU 測試中驗證的 FCC 規範要求.....371
表 4- 8、AFCD.UAU 測試中驗證的 FCC 規範要求.....372
表 4- 9、AFCD.USV 測試中驗證的 FCC 規範要求.....372
表 4- 10、美國和我國地貌代碼對應表 385
表 4- 11、AFC 傳播模型在 6 GHz 頻段的傳播模型.....388
表 4- 12、適用於 7125-8400MHz 頻段的傳播模型 389
表 4- 13、ITU-R P.1411 使用條件.....390
表 4- 14、AFC Server 參數對應圖 394
表 4- 15、AFC 模擬測試參考點站臺 416
表 4- 16、人口圖資與地貌圖資都市型態變化圖 416
表 4- 17、名目遮蔽物高度與距離.....420
表 4- 18、spectrum_analyzer 函式.....425
表 4- 19、pyVISA 套件.....425
表 4- 20、handler 函式 427
表 4- 21、無法通過測試工具 Test Harness 執行項目 430
表 4- 22、地理位置合理性報告包含之內容.....430
表 4- 23、SPS 位置/速度/時間精度標準 432
表 4- 24、註冊與頻譜存取請求成功測試結果.....437
表 4- 25、註冊與頻譜存取請求失敗測試結果.....438
表 4- 26、頻譜存取更新成功測試結果.....438
表 4- 27、頻譜存取更新失敗測試結果.....439
表 4- 28、伺服器驗證失敗測試結果.....439
表 4- 29、註冊與頻譜存取請求成功測試結果.....444
表 4- 30、註冊與頻譜存取請求失敗測試結果.....444
表 4- 31、頻譜存取更新成功測試結果.....445
表 4- 32、頻譜存取更新失敗測試結果.....445
表 4- 33、伺服器驗證失敗測試結果.....445
表 4- 34、AFC 機制商業模式 449

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 1、5G FWA 實測場域鏈路距離.....456
表 5- 2、監控的 MPEG2-TS 封包功能介紹.....464
表 5- 3、臺北主控室到枕頭山發射站鏈路網路特性.....465
表 5- 4、枕頭山微波站測試期間 9 月 2 日到 10 月 10 日斷線資料統計.....466
表 5- 5、枕頭山微波站 8/12 到 8/16 斷線資料統計.....467
表 5- 6、臺北主控室到竹子山發射站鏈路網路特性.....468
表 5- 7、竹子山微波站測試期間 9 月 3 日到 9 月 18 日斷線資料統計.....469
表 5- 8、Transcelestial CENTAURI 10G 規格.....479
表 5- 9、場域穩定度分析報告表.....480
表 5- 10、Biral SWS-100 規格.....485
表 5- 11、EML ARG-314 傾斗式雨量計規格.....485
表 5- 12、Gill MetConnect-One 多參數氣象站規格.....486
表 5- 13、鏈路傳輸層觀察指標.....493
表 5- 14、不同波長對應傳輸衰減之 BER.....506
表 5- 15、國際標準雨量及能見度對照表.....508
表 5- 16、6 GHz/7 GHz 頻段微波鏈路站點.....509
表 5- 17、臺金微波頻段頻譜規格.....510
表 5- 18、太武山 U6 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日主天線 SNR 和接收強度數據.....511
表 5- 19、太武山 L7 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日主天線 SNR 和接收強度數據.....511
表 5- 20、鞍馬山 U6 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日主天線 SNR 和接收強度數據.....512
表 5- 21、鞍馬山 L7 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日主天線 SNR 和接收強度數據.....512
表 5- 22、太武山微波可靠度.....517
表 5- 23、鞍馬山微波可靠度.....517
表 5- 24、東引-北竿微波頻段頻譜規格.....518
表 5- 25、二重山 L7 頻段微波 9 月 1 日到 9 月 30 日微波 MSE 和接收強度數據.....518
表 5- 26、壁山 L7 頻段微波 9 月 15 日到 9 月 30 日微波 MSE 和接收強度數據.....518
表 5- 27、二重山微波可靠度.....521
表 5- 28、壁山微波可靠度.....521
表 5- 29、南竿牛背嶺-東莒頂山微波頻段頻譜規格.....522

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 30、牛背嶺 L7 頻段微波 9 月 1 日到 9 月 30 日微波 MSE 和接收強度數據.....522
表 5- 31、頂山 L7 頻段微波 9 月 1 日到 9 月 30 日微波 MSE 和接收強度數據.....522
表 5- 32、牛背嶺微波可靠度.....525
表 5- 33、頂山微波可靠度.....525
表 5- 34、電波傳遞特性.....538
表 5- 35、干擾場景研析表.....544
表 5- 36、干擾場景與查測設備對應表.....548
表 5- 37、各系統干擾門檻值.....549
表 5- 38、各系統天線參考場型.....550
表 5- 39、傳播模型建議表.....551
表 5- 40、U6 頻段微波既有使用者與傳輸用途.....557
表 5- 41、國內使用 U6 頻段衛星固定通信用途既有使用者.....558
表 5- 42、U6 頻段既有使用者使用現況.....559
表 5- 43、本研究研擬頻譜整備候選方案.....563
表 5- 44、方案一受影響的鏈路及站臺數量.....564
表 5- 45、方案二受影響的鏈路及站臺數量.....565
表 5- 46、微波站干擾保護距離估算.....566
表 5- 47、廣域範圍行動基地臺操作頻帶不必要發射限制值.....568
表 5- 48、方案三受影響的鏈路及站臺數量.....569
表 5- 49、方案四受影響的鏈路及站臺數量.....569
表 5- 50、頻譜整備方案研析綜整.....569
表 5- 51、初估無線電視業者架設網路傳輸設備費用.....571
表 5- 52、初估無線電視發射站點光纖基礎建設費用和時程.....571
表 5- 53、初估廣播業者架設網路傳輸設備費用.....572
表 5- 54、初估廣播電臺光纖基礎建設費用和時程.....572
表 5- 55、初估廣播業者架設替代技術費用.....573
表 5- 56、初估水利署架設替代技術費用.....573
表 5- 57、初估政府機關和國營事業微波移頻費用.....573
表 5- 58、初估中華電信微波移頻費用.....574
表 5- 59、初估無線電視業者架設網路傳輸設備費用.....576
表 5- 60、初估無線電視業者微波移頻費用.....576
表 5- 61、初估廣播業者架設網路傳輸設備費用.....576
表 5- 62、初估廣播業者架設替代技術費用.....576
表 5- 63、初估水利署架設替代技術費用.....576
表 5- 64、初估政府機關和國營事業微波移頻費用.....577

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 65、初估無線電視業者架設網路傳輸設備費用 578
表 5- 66、初估無線電視業者微波移頻費用 578
表 5- 67、初估廣播業者架設網路傳輸設備費用 578
表 5- 68、初估廣播業者架設替代技術費用 578
表 5- 69、初估水利署架設替代技術費用 579
表 5- 70、初估政府機關和國營事業微波移頻費用 579
表 5- 71、初估中華電信微波移頻費用 579
表 5- 72、頻譜整備方案清移頻費用預估比較表 580
表 5- 73、四種頻譜候選整備方案之比較分析 581
表 6- 1、4 場國內座談會之規劃 590
表 6- 2、「6G 潛力頻譜發展趨勢與議題解析探討座談會」座談會擬邀出席人員名單 592
表 6- 3、「6G 潛力頻譜發展趨勢與議題解析探討座談會」討論議題 593
表 6- 4、「6G 潛力頻譜發展趨勢與議題解析探討」之分享與議題綜整 595
表 6- 5、6G 地面網路(TN)之頻譜議題討論與會後整理 602
表 6- 6、6G 非地面網路(NTN)之頻譜議題討論與會後整理 602
表 6- 7、「國內發展 6GHz 頻段 AFC 機制效益與安全性探討座談會」座談會擬邀出席人員名單 603
表 6- 8、國內發展 6GHz 頻段 AFC 機制效益與安全性探討論議題 604
表 6- 9、「我國 6G 可用頻譜規劃方案探討座談會」座談會擬邀出席人員名單 609
表 6- 10、「我國 6G 可用頻譜規劃方案探討座談會」討論議題 610
表 6- 11、本計畫初步建議頻譜規劃方案 613
表 6- 12、頻譜整備規劃方向之意見彙整 615
表 6- 13、「U6 頻段整備技術探討座談會」座談會擬邀出席人員名單 617
表 6- 14、U6 頻段整備技術探討討論議題 618
表 6- 15、次世代通信頻譜展望國際座談會之會議規劃 627
表 6- 16、學研單位合作發表 638
表 7- 1、替代技術綜整表 649
表 7- 2、頻譜整備方案時程及初估費用 652

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 次

圖 1- 1、本研究之研究架構.....8
圖 1- 2、本研究之工作進度時程圖.....9
圖 2- 1、WRC-23 之 IMT 行動通信頻譜配置.....29
圖 2- 2、衛星干擾與協調授權案例與對應規定.....32
圖 2- 3、非同步軌道衛星於衛星固定與衛星行動之星座布建趨勢...33
圖 2- 4、WRC-27 主要議題整理概觀.....35
圖 2- 5、6G 標準實務意見整理.....53
圖 2- 6、6G 系統實務看法彙整.....55
圖 2- 7、6G 各候選頻譜優勢與挑戰.....58
圖 2- 8、ITU-R 行動通信頻譜研究概觀.....60
圖 2- 9、WRC-27 議題 1.7 研究概觀.....62
圖 2- 10、WRC-27 衛星行動於 IMT 頻譜議題之研究概觀.....64
圖 2- 11、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：4400-4800 MHz.....66
圖 2- 12、IMT 行動通信與固定用途干擾研究情境示意圖 69
圖 2- 13、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：7125-8400 MHz.....76
圖 2- 14、IMT 行動通信於 7125-8400 MHz 干擾研究情境示意圖....78
圖 2- 15、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：14.8-15.35 GHz 91
圖 2- 16、IMT 行動通信於 14.8-15.35 GHz 干擾研究情境示意圖 92
圖 2- 17、LDR 衛星行動干擾研究情境示意圖.....101
圖 2- 18、D2D 衛星直連衛星直連行動通信之干擾研究情境示意圖
.....117
圖 2- 19、新衛星行動無線電用途之干擾研究情境示意圖.....138
圖 2- 20、WRC-27 發展與 ITU-R 研究時程.....146
圖 2- 21、ITU 會員資格與活動參與範圍 150
圖 2- 22、WSIS 發展與時間軸 154
圖 3- 1、APG-27 之會議時程表.....172
圖 3- 2、多層地面網路（TN）與非地面網路（NTN）示意圖 177
圖 3- 3、3GPP R20 之 5GA 及 6G 研究時間表 180
圖 3- 4、3GPP R20 之 6G 研究細項時間表 181
圖 3- 5、GSMA 預估達成中頻段所需 2 GHz 頻寬之可能釋出頻段194
圖 3- 6、衛星與手機直連設備和衛星相關頻譜探討圖.....198
圖 3- 7、NGMN 聯盟發布報告時序與主題.....202
圖 3- 8、頻寬與距離解析度之關聯.....216
圖 3- 9、歐盟 U6 頻段之既有使用者.....226
圖 3- 10、歐盟 U6 頻段規劃之 5 種方案.....229
圖 3- 11、美國「大而美法案」之頻譜整備與拍賣時程.....236

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 3- 12、2025-2028 年之 Ofcom 頻譜政策重點 246
圖 3- 13、英國 6 GHz 頻段之使用情況 253
圖 3- 14、英國 U6 頻段之「優先頻譜分配」方案 257
圖 3- 15、英國 U6 頻段之「區分室內與室外」方案 258
圖 3- 16、英國 Ofcom 指定之 68 個高密度地區（參紫色方塊處）264
圖 3- 17、英國 26 GHz 頻段之同頻、鄰頻既有使用者 265
圖 3- 18、日本制定頻率整備行動計畫流程圖 274
圖 3- 19、日本至 2040 年底之釋出頻寬目標 276
圖 3- 20、韓國 6G 候選頻段及目前韓國之使用情形 283
圖 3- 21、韓國 6 GHz 頻段之使用情形 285
圖 3- 22、韓國推動無線電產業之策略 286
圖 3- 23、中國提出對 6G 各頻段之技術應用 291
圖 3- 24、主要研析國家/地區 IMT 頻譜使用現況與 6G 潛在頻譜規劃 312
圖 3- 25、我國行動通信頻譜之使用現況 327
圖 3- 26、我國 800 MHz 頻段規劃使用用途 333
圖 3- 27：我國 3300-4400 MHz 頻段使用現況 333
圖 3- 28：我國 4400-5000 MHz 頻段使用現況 334
圖 3- 29：我國 6425-7125 MHz 頻段使用現況 335
圖 3- 30：我國潛在可供 IMT 使用頻段之分類圖 336
圖 3- 31、我國 6G 頻譜規劃方案圖示 338
圖 3- 32、第 11 屆亞太地區頻譜管理會議-主要探討議題 342
圖 4- 1、室內/外接取點（含 AFC 功能）流程示意圖 358
圖 4- 2、AFC 測試文件制定流程 365
圖 4- 3、AFC 系統與設備測試流程 365
圖 4- 4、AFC 系統與 AFC 設備介面之間的架構 367
圖 4- 5、標準功率接取點測試架構 368
圖 4- 6、代理設備代表一個或多個標準功率接取點之測試架構 368
圖 4- 7、固定用戶端設備測試架構 369
圖 4- 8、完整 AFC 設備測試架構 377
圖 4- 9、RF 測試架構圖 377
圖 4- 10、TIP OPEN AFC 架構 380
圖 4- 11、寫入 Google Map API Key 383
圖 4- 12、美國 NLCD 地貌圖資 384
圖 4- 13、我國地貌圖資 385
圖 4- 14、無地貌圖資與有地貌圖資差異圖 387
圖 4- 15、無地貌圖資執行結果 387

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 4- 16、有地貌圖資執行結果 387
圖 4- 17、傳播模型路徑損耗模擬 394
圖 4- 18、OPEN AFC 系統流程圖 396
圖 4- 19、頻譜協調與可用頻段計算流程圖 397
圖 4- 20、使用者與 AP 裝置管理流程圖 398
圖 4- 21、日誌系統流程圖 398
圖 4- 22、系統監控流程圖 399
圖 4- 23、creat_app 函式 400
圖 4- 24、密碼雜湊處理邏輯 401
圖 4- 25、密碼雜湊處理邏輯 402
圖 4- 26、組織資料隔離實現 403
圖 4- 27、組織資料隔離查詢實現 404
圖 4- 28、dispatcher nginx 設定檔 405
圖 4- 29、rat_server apache 設定檔 405
圖 4- 30、dispatcher nginx 設定檔 406
圖 4- 31、rat_server apache 設定檔 406
圖 4- 32、dispatcher nginx 設定檔 408
圖 4- 33、OpenAFC 系統資料庫模型安全設計 409
圖 4- 34、資料庫連接字串安全處理 410
圖 4- 35、Session Cookie 安全設定 411
圖 4- 36、OIDC 認證安全機制 411
圖 4- 37、OpenSSL 錯誤佇列清理 412
圖 4- 38、各距離區間所使用之傳播模型 415
圖 4- 39、應用高度增益修正（A_{ht}或 A_{hr}）的方法 418
圖 4- 40、Test Harness Settings 頁面 423
圖 4- 41、Test Harness Settings 頁面 424
圖 4- 42、Test Harness Test Cases 頁面 424
圖 4- 43、頻譜分析儀連線程式 426
圖 4- 44、頻譜分析儀連線程式 426
圖 4- 45、頻譜分析儀連線程式 427
圖 4- 46、AFC DUT 測試環境 428
圖 4- 47、Test Harness 測試執行畫面 428
圖 4- 48、頻譜分析儀的畫面 429
圖 4- 49、Test Harness 測試執行畫面 430
圖 4- 50、GPS 測試流程與架構圖 431
圖 4- 51、測試設備圖 432
圖 4- 52 、Ruckus 地理位置定位流程 434

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 4- 53、廠商 AP 導入規劃流程 434
圖 4- 54、ASUS GT-BE98 PRO 規格 435
圖 4- 55、GT-BE98 Pro 頻譜請求命令 436
圖 4- 56、GT-BE98 Pro 管理頁面 436
圖 4- 57、ASUS APP 啟用 AFC 功能圖 437
圖 4- 58、ASUS GT-BE19000 Tri-band WiFi Router RF 測試結果 440
圖 4- 59、Ruckus T670 規格 440
圖 4- 60、T670 頻譜請求命令 441
圖 4- 61、雲端管理頁面 441
圖 4- 62、Ruckus APP 地理位置設定圖 442
圖 4- 63、Ruckus T670 RF 測試結果 443
圖 4- 64、智易開發板頻譜請求命令 443
圖 4- 65、GNSS USB 模組 447
圖 4- 66、外接天線模組 447
圖 4- 67、地理定位設定 448
圖 4- 68、Ruckus 雲端服務畫面 449
圖 5- 1、微波傳輸無線電視節目影音資料傳輸架構 454
圖 5- 2、5G 行動網路傳輸無線電視節目影音資料傳輸架構 455
圖 5- 3、5G FWA 實測場域地理位置圖 456
圖 5- 4、5G FWA 實測場域傳輸架構圖 457
圖 5- 5、5G FWA 實測場域測試流程圖 458
圖 5- 6、台視竹子山附近基地臺位置推估 459
圖 5- 7、台視枕頭山附近基地臺位置推估 459
圖 5- 8、臺北主控室 5G 訊號涵蓋 460
圖 5- 9、POE 乙太網路雷擊保護器 460
圖 5- 10、竹子山 FWA 終端架設 461
圖 5- 11、枕頭山 FWA 終端架設 461
圖 5- 12、台視主控室 FWA 終端架設(窗戶旁邊) 462
圖 5- 13、台視主控室 ASI over IP 設備 462
圖 5- 14、枕頭山 ASI over IP 設備 463
圖 5- 15、竹子山 ASI over IP 設備 463
圖 5- 16、ASI seamless switch 實際應用圖 464
圖 5- 17、5G FWA 場域 ASI 監控架構 465
圖 5- 18、臺北主控室臺到枕頭山發射站鏈路網路傳輸速度 466
圖 5- 19、枕頭山微波站測試期間 9 月 2 日到 10 月 10 日傳輸時序圖 466
圖 5- 20、楊柳颱風路圖 467

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 21、枕頭山微波站 8/12 到 8/16 傳輸時序圖.....467
圖 5- 22、臺北總臺到竹子山發射站鏈路網路傳輸速度.....469
圖 5- 23、竹子山微波站測試期間 9 月 3 日到 9 月 18 日傳輸時序圖
.....469
圖 5- 24、本研究採用 FSO 傳輸距離測試示意圖.....472
圖 5- 25、測試期間能見度觀測資料.....472
圖 5- 26、望安將軍嶼既有微波鏈路與 FSO 鏈路距離 473
圖 5- 27、FSO 介接鏈路架設與測試流程.....474
圖 5- 28、FSO 鏈路架構圖.....475
圖 5- 29、FSO 介接傳輸資料分析流程圖.....477
圖 5- 30、FSO 介接傳輸資料架構.....478
圖 5- 31、良好架設範例圖 481
圖 5- 32、將軍嶼 FSO 安裝圖.....481
圖 5- 33、望安 FSO 安裝圖.....482
圖 5- 34、內建對焦輔助介面.....482
圖 5- 35、日出日落方位圖 483
圖 5- 36、雲端之資訊儀表板.....484
圖 5- 37、PTN 網路模型.....488
圖 5- 38、LSP 運作架構圖 490
圖 5- 39、鏈路傳輸架構.....491
圖 5- 40、資料蒐集流程圖 493
圖 5- 41、鏈路氣候、場域環境監控資料蒐集組成圖 495
圖 5- 42、FSO 鏈路及能見度時序圖.....496
圖 5- 43、FSO 及微波鏈路吞吐量圖.....497
圖 5- 44、FSO 及微波鏈路 L2 性能指標圖 498
圖 5- 45、望安 FSO 震動資訊比對連線狀態圖.....500
圖 5- 46、望安觀測雨量圖 500
圖 5- 47、望安能見度資訊比對連線狀態圖 501
圖 5- 48、平流霧產生濃度時序圖 501
圖 5- 49、大氣湍流、熱閃爍產生現象.....502
圖 5- 50、FSO 設備光軸對焦時序圖.....503
圖 5- 51、不同波長雷射光對應傳輸衰減下之品質因子.....505
圖 5- 52、1550nm 光波長於 20 dB/公里衰減下的眼圖 506
圖 5- 53、太陽光輻射能量頻譜圖 507
圖 5- 54、電信業者提供的 3 條 6 GHz/7 GHz 微波地理位置圖 510
圖 5- 55、微波空間分集和頻率分級示意圖 511
圖 5- 56、太武山 U6 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日 SNR 時序圖 513

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 57、太武山 L7 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日 SNR 時序圖 513
圖 5- 58、太武山 7 月 1 日到 8 月 31 日天氣時序圖 514
圖 5- 59、鞍馬山 U6 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日 SNR 時序圖 514
圖 5- 60、鞍馬山 L6 頻段微波 7 月 1 日到 8 月 31 日 SNR 時序圖 515
圖 5- 61、鞍馬山 7 月 1 日到 8 月 31 日天氣時序圖 515
圖 5- 62、114 年 7 月~8 月颱風路徑圖 516
圖 5- 63、二重山 L7 頻段微波 9 月 1 日到 9 月 30 日 MSE 和接收強度時序圖 519
圖 5- 64、二重山 9 月 1 日到 9 月 30 日天氣時序圖 519
圖 5- 65、壁山 L7 頻段微波 9 月 15 日到 9 月 30 日 MSE 和接收強度時序圖 520
圖 5- 66、壁山 9 月 15 日到 9 月 30 日天氣時序圖 520
圖 5- 67、樺加沙颱風路徑圖 521
圖 5- 68、牛背嶺 L7 頻段微波 9 月 1 日到 9 月 30 日 MSE 和接收強度時序圖 523
圖 5- 69、牛背嶺 9 月 1 日到 9 月 30 日天氣時序圖 523
圖 5- 70、頂山 L7 頻段微波 9 月 1 日到 9 月 30 日 MSE 和接收強度時序圖 524
圖 5- 71、頂山 9 月 1 日到 9 月 30 日天氣時序圖 524
圖 5- 72、6G 候選頻段與可分配頻寬 528
圖 5- 73、FR3 干擾評估與查測機制建立流程圖 529
圖 5- 74、FR3 既有使用者類型站臺比例 531
圖 5- 75、FR3 既有使用者系統類型分布 531
圖 5- 76、FR3 既有使用者使用頻譜分布 533
圖 5- 77、7.125-8.4 GHz 頻譜使用狀況 534
圖 5- 78、快速衰落模型建立流程圖 535
圖 5- 79、地面通信系統電波傳播示意圖 538
圖 5- 80、干擾查測機制流程圖 556
圖 5- 81、U6 既有業者微波站點地理分布圖 559
圖 5- 82、U6 頻段整備流程 563
圖 5- 83、候選方案一頻譜使用 564
圖 5- 84、候選方案二頻譜使用 565
圖 5- 85、3-14GHz Class1 微波天線輻射方向圖 566
圖 5- 86、國內海拔 720 公尺以下區域(淡黃色區域)及國內行動通信基地臺域涵蓋示意圖 567
圖 5- 87、候選方案三頻譜使用 568
圖 5- 88、候選方案四頻譜使用 569

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 89、U6 頻段無線電視發射站半徑 10 公里涵蓋範圍圖.....575
圖 5- 90、民航局和台電 U6 頻段微波站半徑 10 公里涵蓋範圍圖..575
圖 6- 1、 MWC 行前交流會主視覺海報.....588
圖 6- 2、MWC 行前交流會概況.....590
圖 6- 3、美國「大而美(One Big Beautiful Bill) 」法案概觀.....594
圖 6- 4、盤點我國重點關注頻段.....612
圖 6- 5、ITU-R 第五研究組主席 Dr. Kyu-Jin WEE 分享各式產業在未來都是 6G 的主要消費客戶.....630
圖 6- 6、Qualcomm 資深副總 John W. Kuzin 分享 6G 擁有極速傳輸能力.....631
圖 6- 7、 Ericsson 亞太區首席技術長 Magnus Ewerbring 指出，6G 價值若要被充分發揮，需加強差異化連線能力.....632
圖 6- 8、APT WRC-27 主席 Nobuyuki Kawai 分享日本推出手機直接連結低軌道衛星，實現新時代.....633
圖 6- 9、每月定期公開發布國內外頻譜新聞模板.....636
圖 6- 10、每季公告國際頻譜趨勢研析報告模板.....637
圖 6- 11、論文發表證明.....639
圖 7- 1、WRC-27 應對策略與政策建議準備-頻譜整備.....643
圖 7- 2、ITU 實質參與模式說明與比較.....644

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

計畫摘要

關鍵詞：6G、中頻段、自動頻率協調機制、頻譜共享、替代技術實測

一、 研究緣起

隨著科技地緣政治競爭的加劇，6G 技術已成為各國爭奪技術領導權與市場主導權的關鍵領域。在此全球競爭格局下，我國推動為期四年之「6G 產業發展先期研發計畫」，本研究為該計畫之細部計畫四之子項計畫，從我國 6G 頻譜整備及應用規劃面向進行研析與驗證。

本研究旨在因應國際 6G 發展趨勢，從頻譜整備與應用規劃兩大方向展開深入研究。為掌握 6G 技術、頻譜政策及新興和諧機制的最新進展，本研究持續追蹤國際動態，並參考各國經驗，研擬適合我國之 6G 頻譜整備策略建議。

基於本研究於 113 年研析自動頻率協調機制（Automated Frequency Coordination, AFC）所產出之研究成果，114 年度持續完善中頻段（Mid band）頻譜干擾處理資訊系統及實際場測，建立頻譜共享技術之認證機制與干擾防制機制，接軌國際標準，並以此為基礎，深化對電波監測與干擾源檢測技術的研究，實現即時頻譜監控，提升我國頻譜管理能力。

為促進 6G 技術的跨域應用與產業發展，本研究深入分析國際 6G 生態系與應用趨勢，積極參與國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）及 2027 年召開之世界無線電大會（World Radiocommunication Conferences, WRC-27）相關會議，掌握國際合作契機，增強我國在全球 6G 競爭中的競爭力。

綜上所述，本研究從頻譜整備與應用規劃兩大方向著手，結合國際經驗與我國需求，為我國 6G 技術與產業發展奠定堅實基礎。本研

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

究協助我國掌握 6G 跨域應用與市場發展趨勢，與推動頻譜共享技術及干擾防制機制。

二、 研究方法及過程

本計畫以文獻分析法、比較分析法及實驗研究法（PoC）為核心研究方法。首先透過文獻分析，廣泛蒐集並整合國內外 6G 技術演進、頻譜政策、市場趨勢及國際標準化組織之相關研究資料，建立研究基礎並掌握全球 6G 發展脈絡。進一步透過比較分析，彙整 ITU、APT、3GPP、GSMA、NGMN、Next G、歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國及香港之政策與頻段規劃差異，參酌國際 6G 頻譜布局與既有系統整合的關鍵趨勢，並據以提出我國頻譜整備的可行方向。

在實驗研究方面，本計畫延續 113 年度成果，強化 Mid-band 和諧有效使用機制之驗證，包含 AFC 系統功能優化、量測實驗室可行性評估及多個 Wi-Fi AP 干擾抑制測試。同時，針對既有固定微波使用者替代技術，實際導入 4G/5G 固定無線接取與自由空間光通信於鏈路中進行可靠度與效能比較，並布建多處測試場域，以驗證無線通信韌性。此外，亦將針對 FR3（7-24 GHz）進行頻譜使用現況盤點、干擾評估與查測機制初步建立，以因應未來 6G 布建可能面臨的跨系統干擾挑戰。

為確保研究成果兼具完整性與政策可行性，本計畫亦規劃辦理國內座談會及國際交流，邀集產官學研及國際專家針對 6G 關鍵議題進行討論，蒐集利害關係人意見，適時調整研究方向。透過多元研究方法與跨界意見整合，本研究將提出具前瞻性且可落地的政策建議，協助我國提前布局 6G 應用環境與頻譜規劃，強化未來產業競爭力。

三、 重要研究發現

(一)ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G 候選頻譜展現出不同屬性的技術取捨，尤其 7-15 GHz 頻段被視為提升效率與容量的關鍵。ITU-R 的 WP5D 與 WP4C 正分別針對地面 IMT 與衛星行動用途展開技術可行性研究，涵蓋 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz 及 694-2700 MHz 等頻段，評估其系統參數、傳播模型與共存可能性，以支持 WRC-27 頻譜決策。

在 WRC-27 研究進程中，地面行動頻譜的主要挑戰來自中高頻段與衛星上行鏈路、無線電天文等高度敏感用途間的干擾風險，需依賴功率控制、波束成形與地理隔離等技術才能促成共享。其中 4.4-4.8 GHz 頻段具備策略價值，而 7-8.4 GHz 頻段可能需待國際成熟後再研議。同時，D2D-MSS 衛星直連行動於 694 MHz-2.7 GHz 頻段間的共存議題亦高度複雜，不同頻段受廣播、IMT 或多衛星用途限制，迫使研究朝更嚴謹的干擾緩解與管理措施發展，未來 6G 頻譜規劃將取決於技術與國際協調的成熟度。

本研究亦發現，依據 ITU 憲章與 WSIS 架構，國家會員可在技術中立與多邊合作原則下採取兩項可行模式參與國際事務。第一，透過「專家派遣協助」可補強技術量能並提升國際影響力，但需嚴慎控管利益衝突、資訊安全與政策一致性等風險。第二，「專案推動合作」可藉跨國協作強化能見度與資訊社會建設，但必須維持主體性、透明度與資料主權。整體而言，兩種模式具策略價值，但需在合規、觀感與能力培育之間取得平衡。

(二) 國際間 6G 候選頻段趨勢研析及國內既有使用者盤點

全球主要國家與國際組織已逐步形成 6G 頻譜發展的整體方向，相較於 5G 世代以中頻段為主的布局，6G 世代將朝向「低、中、高頻段多層次整合」的新架構發展，並加強跨域協同與技術融合。本研究觀測國際 6G 頻譜規劃與產業新技術推動政策，蒐研 APT、3GPP、GSMA、NGMN、Next G 聯盟等五大國際通信領域組

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

織研究報告與白皮書；以及歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國與香港等國家之頻譜相關政策，為更具體掌握我國頻譜釋出政策規劃，本研究進一步進行我國 6G 候選頻段國內既有使用者盤點，並彙整各頻段現行使用情形，作為後續頻譜整備與 6G 布建的重要依據。

承上所述，本研究將我國可供使用頻譜依釋出難易度與使用潛力，區分為三大類型：屆期與閒置頻段、待整備頻段及待觀察頻段，並據此提出五個頻譜規劃方案。此規劃應考量短期可快速釋出之頻段、中期需技術或制度整備之時程，以及長期發展階段之共享與協同策略。主管機關可參考國際經驗，導入頻譜共享、拍賣與市場機制並行的混合模式，並結合跨部會協調機制，妥善處理警消、國防及衛星等特殊用途之頻譜共存問題。

(三)Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

本研究基於 113 年度頻譜共享自動頻率協調機制（Automated Frequency Coordination, AFC）研究成果，進一步評估我國建立符合美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission, FCC）要求之 AFC 量測實驗室的可行性。研究內容包括：解析 FCC 對 AFC 量測之相關規範、依循法規要求進行 AFC 終端設備量測流程建置，並評估我國執行 AFC 終端設備量測與驗證的能力。同時，本研究亦針對 AFC 系統在我國的實施需求進行優化，包括圖資品質改善、傳播模型適用性分析以及資通安全防護作業規劃。最後，導入國內與國外各一間廠商設備進行介接與認證測試，完成符合 FCC 規範的 AFC 設備量測報告，並提出 AFC 系統於我國推動與布建之可行性建議。

(四)Mid band 既有使用者移頻替代技術實測與分析評估

本研究針對國內 U6 頻段既有使用者通信鏈路的整備建議與未來 6G FR3 頻段（7-24 GHz）發展所進行的實證與規劃研究，核心

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

主軸涵蓋替代技術驗證、FR3 頻段之干擾評估與查測機制及候選頻譜整備方案研擬。

研究團隊與既有使用者合作，實測多種替代技術，評估其作為 U6 既有微波鏈路替代方案的可行性：

- 在臺視的主控室和微波站之間使用 5G FWA 傳輸電視節目影音串流，在 219 公里的傳輸距離下採用「光世代固網及結合 5G FWA」的公用網路傳輸架構，整體可靠度可達 3 個 9。
- 在中華電信的 1.93 公里跨海鏈路場域，使用 FSO 和既有微波系統構建 1:1 的主備援傳輸架構，傳輸 PTN 網路上的資料，可靠度可達 2 個 9。
- 和中華電信合作，收集分析臺灣到金門和馬祖外島間的 U6 和 L7 頻段微波鏈路傳輸效能資料，兩頻段整體可靠度差異不大。

為因應 FR3 頻段未來可能成為 6G 行動通訊候選頻段的趨勢，本研究聚焦於 7.125-8.4 GHz、12.7-13.25 GHz 和 14.8-15.35GHz 等頻段，分析這些頻段的既有使用者，歸納出「固定微波-IMT 基地臺」、「IMT-海事雷達」、「IMT 基地臺或用戶端-衛星系統」、「高密度環境下大規模布建超寬頻系統」四種干擾場景，規劃系統化的干擾評估與查測流程，包含掌握頻譜使用現況、技術研析與干擾情境探討、國際標準與設備調查，並最終建立干擾源查測機制。

研究團隊訪查 14 家既有使用者，蒐集實際使用現況與未來需求，以評估用替代技術、部分頻譜保留、劃定保護範圍及和諧共用等多元整備方向，研擬了四種 U6 頻譜整備候選方案，以平衡行動通訊需求與既有使用者權益，並完成各方案之初步費用評估。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(五)其他執行項目與成果彙整

1. 完成辦理 4 場次國內座談會議與分享會議，邀集我國產、官、學、研各界代表參與，聚焦於國際頻譜趨勢觀測與政策推動、技術演進探討、盤點潛在頻段與頻段釋出規劃等議題，進行交流討論。
2. 完成辦理 1 場次國際座談會，為使我國 6G 發展能與國際並駕齊驅，並掌握新興技術與應用之動向，本研究延續 113 年度辦理成果，舉辦「2nd Spectrum of tomorrow-次世代通信頻譜展望國際座談會」。透過公開討論與經驗分享，探討國際無線電頻率應用之最新趨勢與研究成果，以強化我國與國際專業學研單位之合作與連結，深化 6G 前瞻技術與政策互動。
3. 完成 60 則國內外頻譜新聞、趨勢及研析，以促進資源共享，掌握國際資訊並與國際接軌。
4. 完成 4 季國際頻譜趨勢研析報告，以促進資源共享，推動國內外在頻譜管理和技術發展上的協作，奠定未來通信技術基礎。
5. 以產學研究之方式，完成發表 1 篇頻譜效能提升主題之論文，以「6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統之 DUT 測試環境自動化改良」為論文主題。

四、 主要建議事項

(一)立即可行之建議

1. 掌握全球 6G 多頻段（低、中、高頻段）整合趨勢並納入規劃，優先釋出屆期頻段（700、900、1800 MHz），以及研擬具備釋出潛力之 U3、U4、U6 頻段釋出之可能性。
2. 研究評估演化新興頻譜與替代方案，減輕或避免未來可能之移頻負擔。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

3. 若要立即導入 AFC，可先於各區域劃設頻段保護區，確保既有站臺免受干擾並維持無線服務穩定。
4. AFC 的營運，可開放具技術能力之民間企業參與，但其系統設計及管理流程須通過中央主管機關審查與認證。
5. 考量既有業者希望有可靠且方便的通訊網路，建議國內電信業者可以先提供企業等級 5G FWA 服務，因目前的選項只有光纖固網和微波傳輸，因應新技術的演進，需發展第三選項，讓使用者有更多選擇，5G FWA 被公認為 5G 第一個殺手級應用，值得繼續關注。
6. 此外，FSO 是極具發展潛力的傳輸技術，建議持續關注其在國際上技術的演進和實際應用的狀況。

(二) 中長期建議

1. 依頻譜釋出難易度（屆期與閒置、待整備、待觀察之頻段）推動頻段整備與和諧共存機制，追蹤國際政策與趨勢（WRC-27、3GPP）進程，建議採取漸進式釋照策略並擴展頻譜供給（如 7-8 GHz）。
2. 持續交流溝通新應用頻譜之改革需求，並研擬明確規範，預先避免爭議。
3. 遵循 ITU 規章與國際互助精神，整體評估風險來實質參與活動。
4. 地貌圖資分類與 Clutter 模型目前仍採用美國方法，鑑於我國地形與美國差異甚大，應重新建立符合我國在地特性的地貌分類與 Clutter 模型。
5. 我國目前缺乏完整的建物資料，建議建置專屬建物資料庫以提升 AFC 的準確性與實用性。
6. 建議多個 AP 訊號能量疊加的情況，進行模擬與實地測試，以評估潛在影響。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

7. 本研究依據 ITU 與 3GPP 建議，建立 FR3 頻段干擾評估架構，並盤點既有使用者及評估干擾情境，建議持續關注 FR3 頻段在國際上的討論，並持續盤點既有使用者、強化場域實測，推動跨系統相容性驗證，確保 IMT 應用與既有使用者和諧共存。
8. 對於 U6 頻段的整備，持續針對候選整備方案和既有使用者溝通討論，規劃出兼顧現有通信韌性與國家未來 6G 發展需求的完整方案。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Abstract

Keywords: 6G, Mid-Band, Automated Frequency Coordination (AFC), Spectrum Sharing, Testing of Alternative Technologies

I. Introduction

With the intensification of technological and geopolitical competition, 6G technology has become a key domain for countries vying for technological leadership and market dominance. In this global competitive landscape, Taiwan has launched a four-year government technology development initiative—the “Preliminary R&D Program for 6G Industry Development,” specifically Subproject 4 under Detailed Project 4—to conduct analysis and verification from the perspectives of 6G spectrum preparation and application planning.

This study aims to respond to international 6G development trends by conducting in-depth research in two major directions: spectrum preparation and application planning. To keep pace with the latest advancements in 6G technology, spectrum policy, and emerging harmonization mechanisms, the study continuously monitors global developments and draws on international experiences to formulate strategic recommendations for Taiwan’s 6G spectrum preparation.

Furthermore, building on the research outcomes of Automated Frequency Coordination (AFC) analyzed in 2024, the study will, in 2025, continue to enhance the mid-band spectrum interference management information system and conduct field tests. It will establish certification and interference mitigation mechanisms for spectrum-sharing technologies, align with international standards, and, on this basis, deepen research into radio monitoring and interference source detection technologies. This will enable real-time spectrum monitoring and strengthen Taiwan’s spectrum management capabilities.

To promote cross-domain applications and industrial development of 6G technology, the study will conduct an in-depth analysis of the

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

international 6G ecosystem and application trends, actively participate in meetings of the International Telecommunication Union (ITU) and the World Radiocommunication Conference (WRC-27) scheduled for 2027, seize opportunities for international collaboration, and enhance Taiwan's competitiveness in the global 6G race.

In summary, this study focuses on spectrum preparation and application planning, integrating international experience with Taiwan's needs to lay a solid foundation for the development of Taiwan's 6G technology and industry. It will help Taiwan grasp cross-domain applications and market trends while advancing spectrum-sharing technologies and interference mitigation mechanisms.

II. Research Method and Process

This study adopts literature analysis, comparative analysis, and experimental research methods (Proof of Concept, PoC) as its core research approaches. The study first conducts extensive literature analysis to collect and consolidate global information on 6G technology evolution, spectrum policies, market trends, and research published by international standardization organizations. This establishes a solid research foundation and provides a comprehensive understanding of worldwide 6G developments. Building on this foundation, a comparative analysis is conducted to examine the policy directions and spectrum planning of ITU, APT, 3GPP, GSMA, NGMN, Next G Alliance, the European Union, the United Kingdom, the United States, Japan, Korea, China, and Hong Kong. Through this analysis, the project identifies key trends in international 6G spectrum strategies and the integration of existing systems, offering feasible recommendations for Taiwan's future spectrum preparation.

In terms of experimental research, the project continues the 成果 of 2024 by strengthening the validation of Mid-band harmonious and efficient use mechanisms. This includes optimizing AFC system functionality, evaluating the feasibility of establishing an AFC measurement laboratory, and conducting interference suppression tests involving multiple Wi-Fi access points. Additionally, the study evaluates alternative solutions for

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

existing fixed microwave users by implementing 4G/5G Fixed Wireless Access and Free-Space Optical Communication within real-world transmission links to compare reliability and performance. Multiple testing sites will be deployed to verify wireless communication resilience. Furthermore, the project will assess the current spectrum usage in the FR3 range (7–24 GHz), analyze cross-system interference risks, and establish preliminary detection and mitigation mechanisms in preparation for future 6G deployment challenges.

To ensure research completeness and policy relevance, the project will organize domestic workshops and international exchange events, inviting experts from industry, government, academia, and research communities to discuss key 6G topics. Stakeholder feedback will be collected to refine the research direction when necessary. Through diversified methodologies and cross-disciplinary engagement, the project aims to develop forward-looking, actionable policy recommendations that support Taiwan's early deployment of 6G applications and spectrum planning, thereby enhancing future industrial competitiveness.

III. Important Findings

1. Active Engagement in ITU and Monitoring of Cross-Domain Spectrum Application Issues

6G candidate spectrum presents significant trade-offs according to the observation in this document. The 7–15 GHz range is widely viewed as essential for boosting efficiency and capacity, while ITU-R's WP5D and WP4C continue assessing feasibility and coexistence across key IMT and MSS bands to support WRC-27 decision-making.

Within the WRC-27 process, terrestrial mobile spectrum studies face major interference challenges involving sensitive satellite and radio astronomy services, requiring mitigation tools such as power control, beamforming, and geographic separation. Although the 4.4–4.8 GHz band holds strong strategic value and the 7–8.4 GHz range awaits broader consensus, coexistence for D2D-MSS within 694 MHz–2.7 GHz remains technically complex. As a result, future 6G planning will depend heavily

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

on mature mitigation measures and strengthened international coordination.

In addition, this study further finds that, under the ITU and WSIS frameworks, Member States may participate internationally through two viable models: (1) expert-support mechanisms that enhance technical capacity but require careful management of security, alignment, and conflict-of-interest risks; and (2) project-based cooperation that increases visibility while safeguarding national ownership, transparency, and data sovereignty. Both models offer strategic value, but each must balance compliance, perception, and long-term capacity building.

2. Trend Analysis of International Candidate Frequency Bands for 6G and Domestic User Inventory

Major countries and international organizations have gradually shaped the overall direction of 6G spectrum development. Compared to the 5G era, which primarily focused on mid-band deployment, the 6G era will move toward a new architecture of "multi-layer integration across low, mid, and high frequency bands," while strengthening cross-domain collaboration and technological convergence.

This study monitors international 6G spectrum planning and policies driving new industrial technologies, collecting and analyzing research reports and white papers from five major global telecommunications organizations—APT, 3GPP, GSMA, NGMN, and the Next G Alliance—as well as spectrum-related policies from the EU, UK, US, Japan, South Korea, China, and Hong Kong. To better inform Taiwan's spectrum release policy planning. The study further reviews existing domestic users of Taiwan's candidate 6G frequency bands and compiles the current usage conditions of each band, serving as an important basis for future spectrum preparation and 6G deployment.

Building on this analysis, the study categorizes Taiwan's available spectrum into three types based on release feasibility and usage potential: (1) expiring and idle bands, (2) bands requiring preparation, and (3) bands to be monitored. Accordingly, five spectrum planning strategies are

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

proposed. These strategies consider short-term bands that can be released quickly, mid-term timelines requiring technical or regulatory preparation, and long-term development stages involving sharing and coordination mechanisms. Regulatory authorities may draw on international experience to adopt a hybrid model combining spectrum sharing, auctions, and market mechanisms, while establishing inter-agency coordination frameworks to address coexistence issues for special-purpose spectrum such as public safety, defense, and satellite services.

3. Development and Field Validation of Harmonized and Efficient Mid-Band Spectrum Utilization Mechanisms

Based on the AFC spectrum-sharing research result conducted in 2024, this study evaluates the feasibility of establishing an AFC measurement laboratory in Taiwan that complies with U.S. FCC requirements. The research scope includes analyzing FCC regulations on AFC measurement, developing measurement procedures in accordance with these regulations, and assessing Taiwan's capability to conduct AFC device testing and certification. In addition, the study examines optimization needs for implementing an AFC system in Taiwan, including improvements in geospatial data quality, assessment of applicable propagation models, and planning for cybersecurity protection. Finally, AFC devices from one domestic and one international vendor were integrated and tested to conduct interoperability and certification measurements. A complete AFC device measurement report compliant with FCC requirements was produced, and recommendations for the implementation and deployment of an AFC system in Taiwan were proposed.

4. Field Testing and Evaluation of Frequency Migration and Alternative Technologies for Existing Mid-Band Users

This study conducts empirical testing and strategic planning focused on communication-link alternatives for existing U6 band users and the future development of 6G FR3 bands (7–24 GHz). The core research themes include verification of alternative technologies, interference assessment and detection mechanisms for FR3 bands, and the formulation

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

of spectrum preparation strategies.

In collaboration with existing users, the research team conducted field tests on multiple alternative technologies to evaluate their feasibility as replacements for current U6 microwave links:

At TTV, 5G FWA–based transmission architecture was deployed between TTV's master control room and its microwave station to transport live TV video streams. Using a public-network configuration combining "fiber-based broadband (HiNet) and 5G FWA" over a total service distance of 219 km, the end-to-end system achieved three nines (99.9%) reliability.

At CHT's 1.93 km cross-sea link site, an FSO system was integrated with the existing microwave link to form a 1+1 primary-backup architecture for transmitting PTN network data. The FSO link achieved two nines (99%) reliability.

Working with CHT, the team collected and analyzed transmission data from U6 and L7 microwave links between Taiwan and the offshore islands of Kinmen and Matsu, and found that the overall reliability of the two bands showed no significant difference.

To address the possibility that FR3 bands may serve as candidate bands for future 6G mobile systems, the study focuses on the 7.125–8.4 GHz, 12.7–13.25 GHz, and 14.8–15.35 GHz bands. For these bands, the research identifies existing users and categorizes four major interference scenarios:

- Fixed microwave links vs. IMT base stations
- IMT systems vs. maritime radar
- IMT base stations or user equipment vs. satellite systems
- Ultra-wideband system deployments in high-density environments

A systematic interference assessment and detection framework was developed, covering:

- Spectrum-usage characterization

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- Technical analysis and interference-scenario modeling
- International standards and equipment surveys
- The establishment of interference-source detection mechanisms.

The research team conducted consultations with 14 incumbent users to collect information on their current operations and future requirements. Based on these findings, the team evaluated multiple preparation pathways, including the use of alternative technologies, partial spectrum retention, protection-zone planning, and coordinated spectrum sharing and developed four candidate U6 spectrum preparation options. Preliminary cost assessments for each option were also completed.

5. Compilation of Additional Tasks and Consolidation of Project Outcomes

(1) Completion of Four Domestic Consultation and Sharing Sessions： Four domestic consultation and sharing sessions were convened, bringing together representatives from Taiwan's industry, government, academia, and research sectors. The sessions focused on international spectrum trend monitoring and policy development, technology evolution, assessment of potential frequency bands, and planning for spectrum release, facilitating in-depth exchange and discussion.

(2) Completion of One International Symposium： To ensure that Taiwan's 6G development remains aligned with global progress and emerging technological trends, one international symposium—the "2nd Spectrum of Tomorrow-International Symposium on Next-Generation Spectrum Outlook"—was organized, building upon the achievements of 2024. The symposium facilitated open discussions and knowledge exchange on the latest international developments in radio frequency applications, strengthening collaboration with global academic and research institutions and deepening

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

engagement on forward-looking 6G technologies and policies.

(3) Completion of 60 Spectrum-Related News and Trend Updates：A total of 60 domestic and international updates on spectrum news, trends, and analytical insights were produced to support resource sharing, enhance awareness of global developments, and promote alignment with international practices.

(4) Completion of Four Quarterly Reports on International Spectrum Trends：Four quarterly analytical reports on international spectrum developments were completed to promote resource sharing and reinforce cooperation in spectrum management and technology advancement both domestically and internationally, thereby supporting the foundation for future communication technologies.

(5) Publication of One Academic Paper on Spectrum Efficiency：One academic paper was completed under an industry-academia research collaboration. The paper, titled "Automated Test Environment Enhancement for Device Under Test in 6 GHz Wi-Fi Automated Frequency Coordination Systems," contributes to research on improving spectrum efficiency.

IV. Main Recommendations

1. Recommendations that can be implemented immediately

(1) Identify and incorporate global trends in multi-band (low-, mid, and high-band) 6G spectrum integration into national planning, prioritize the release of expiring spectrum bands (700, 900, and 1800 MHz), and assess the feasibility of releasing potential mid-band resources, including the U3, U4, and U6 frequency ranges.

(2) Assess emerging options to reduce future and possible spectrum reforming burdens.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(3) To enable the immediate deployment of AFC, protection zones for specific frequency bands may be established in each region to ensure that existing stations are protected from interference and that wireless services remain stable.

(4) The operation of AFC may be opened to private companies with the required technical capabilities; however, their system design and management processes must pass review and certification by the central competent authority.

(5) Considering that existing users demand reliable and convenient communication networks, it is recommended that domestic telecom operators initially offer enterprise-grade 5G FWA services. Because the current options are limited to fiber broadband and microwave transmission, there is a need to develop a third alternative to provide users with greater choice. 5G FWA is widely recognized as the first killer application of 5G, and warrants continued attention.

(6) In addition, FSO is a transmission technology with significant development potential. It is recommended to continuously monitor its technical progress and real-world deployments in the international community.

2. Medium- and long-term recommendations

(1) Advance spectrum preparation and coexistence mechanisms based on the relative ease of releasing different bands (including expiring/unused, bands requiring transition, and bands requiring further observation). Track international policies and developments (e.g., WRC-27 and 3GPP), and recommend adopting a gradual licensing approach while expanding spectrum availability, including potential resources such as the 7–8 GHz range.

(2) Clarify emerging spectrum reform needs and establish rules to prevent disputes.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(3) Assessing participating risks with the following ITU rules.

(4) The terrain classifications and clutter models currently follow U.S. methodologies. Given the significant differences between Taiwan's geography and that of the United States, it is recommended to establish terrain classifications and clutter models that better reflect local characteristics.

(5) Taiwan currently lacks a complete building database. It is recommended to develop a dedicated building information database to improve the accuracy and practicality of the AFC system.

(6) It is recommended to conduct simulations and field tests for scenarios involving the aggregation of signal energy from multiple APs in order to assess potential impacts.

(7) Based on ITU and 3GPP recommendations, this study establishes an interference assessment framework for the FR3 bands, inventories existing users, and evaluates potential interference scenarios. It is recommended to continue monitoring international discussions on FR3, maintain up-to-date inventories of incumbent users, strengthen field testing, and promote cross-system compatibility verification to ensure harmonious coexistence between IMT applications and existing users.

(8) Regarding U6-band preparation, continuous dialogue with incumbent users on candidate preparation options is advised, to develop comprehensive strategies that balance current communication resilience with national 6G development objectives.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第一章 緒論

第一節 計畫緣由

一、 計畫背景與動機

隨著科技地緣政治競爭的加劇，6G 技術已成為各國爭奪技術領導權與市場主導權的關鍵領域。美國、歐盟、日本、南韓及中國等主要國家和區域，自 108 年起即透過政府主導與產學研合作，展開 6G 先期研究，並於 110 年後進一步加速政策布局與資金投入，全面推動 6G 技術發展計畫。在此全球競爭格局下，我國已進行為期四年之政府科技發展計畫「6G 產業發展先期研發計畫」細部計畫四之子項計畫，從我國 6G 頻譜整備及應用規劃面向進行研析與驗證。

本研究旨在因應國際 6G 發展趨勢，從頻譜整備與應用規劃兩大方向展開深入研究。為掌握 6G 技術、頻譜政策及新興和諧機制的最新進展，本研究持續追蹤國際動態，並參考各國經驗，研擬適合我國之 6G 頻譜整備策略建議。此外，基於本研究於 113 年研析自動頻率協調機制（Automated Frequency Coordination, AFC）所產出之研究成果，114 年度持續完善中頻段（Mid band）頻譜干擾處理資訊系統及實際場測，建立頻譜共享技術之認證機制與干擾防制機制，接軌國際標準，並以此為基礎，深化對電波監測與干擾源檢測技術的研究，實現即時頻譜監控，提升我國頻譜管理能力。

為促進6G技術的跨域應用與產業發展，本研究深入分析國際6G生態系與應用趨勢，積極參與國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）及 2027 年召開之世界無線電大會（World Radiocommunication Conferences, WRC-27）相關會議，掌握國際合作契機。本研究亦針對 6G 新興應用可能引發之頻譜議題，建立產業共識與協作機制，並研擬因應 6G 商業化挑戰的政策建議，助力我國資通信設備產業充分運用 6 GHz 頻譜資源，實現產業蓬勃發

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

展，增強我國在全球 6G 競爭中的競爭力。

綜上所述，本研究以應對國際 6G 技術競爭為核心，從頻譜整備與應用規劃兩大方向著手，結合國際經驗與我國需求，為我國 6G 技術與產業發展奠定堅實基礎。此外，透過強化頻譜管理能力、推動頻譜共享技術及干擾防制機制，並積極參與國際合作與議題討論，本研究協助我國掌握 6G 跨域應用與市場發展趨勢，進一步促進資通信產業的創新與成長，以確保在全球 6G 競爭中占據優勢地位。

二、 計畫主題

近年各國已提前進入下世代通信技術之研發，國際間主要國家與組織紛紛加速投入 6G 技術布局，力求搶占市場先機並掌握未來通信技術。為因應此趨勢並實現我國在新興 6G 通信應用發展的政策願景，本研究聚焦於 6G 頻譜整備與應用規劃，深入研析與驗證。

(一) ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測

本研究著眼於全球 6G 頻譜發展趨勢，同時延續 113 年執行之成果，持續參與 ITU 相關會議與討論研究，並追蹤觀測國際無線電管理議題以及其後續發展，以提供做為國家頻譜政策與整備之參考。因此，本工作項目接續參與 ITU 之會議討論，整理無線電事務局（Radiocommunication Bureau, BR）之頻譜管理工作，並彙整相關國際實務發展項目之研究分析與整理，以提出因應國情之政策建議。綜上，本項研究主題如下：

- 參與ITU相關組織及會議，研析適合我國參與的合作機會；彙整 ITU 關注議題發展趨勢及實證項目的最新測試進度；
- 彙整 WRC-23 後，國際標準組織及主要國家與地區對 WRC-27 重要議題的關注重點及應對策略，研析 WRC-27 議題之發展，提出相應政策建議。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 國際間 6G 候選段趨勢研析及國內既有使用者盤點

本工作項目延續 113 年計畫執行成果，採取國際組織、重點國家兩層次分析架構，蒐研國際主要通信標準組織及國家、盤點 WRC-23 大會後與 6G 有關之候選頻段與關注未來 WRC-27 之聚焦議題。同時，針對 6G 技術的先期發展，研究其潛在應用情境、候選頻譜及技術方案的立場。研究資料來源為蒐研國際各組織、重點國家 6G 相關文獻與報告資料，以及展望未來之頻譜計畫政策。此外，結合電信業者參與各國 6G 政策的現況，分析產業界投入 6G 的發展趨勢。

本研究之國際組織研析對象涵蓋 ITU、亞太地區電信組織（Asia-Pacific Telemmunity, APT）、第三代合作夥伴計畫（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）、全球行動通信系統協會（Groupe Speciale Mobile Association, GSMA）、次世代行動網路聯盟（Next Generation Mobile Networks Alliance, NGMN Alliance）、Next G Alliance、歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國、香港之 6G 政策、頻段規劃之異同進行分析，掌握國內外行動通信市場演進與 6G 先期發展對技術、應用、市場與頻譜資源管理制度之比較。盤點國際 6G 技術與頻譜管理制度趨勢後，進而結合我國頻譜使用現況與政策願景，為主管機關提供參考依據，協助制定符合國際趨勢與我國國情的 6G 整備頻譜政策，促進我國與全球接軌。

綜上，本項研究主題如下：

- 國際組織推動 6G 發展資訊研析；
- 主要國家與地區推進 6G 現況觀測；
- 盤點 WRC-23 後 6G 候選頻段之國內既有使用者，評估其對我國 6G 頻譜整備及應用的影響，提出我國 6G 可用頻譜規劃方案。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 出席 114 年度泰國亞太頻譜管理會議；
- 出席 114 年度亞太經濟合作電信暨資訊工作小組第 70 次與第 71 次會議（APEC TELWG 70 & 71）；
- 每月定期發布國內外頻譜新聞及趨勢至少 5 則；每季公告國際頻譜趨勢研析報告至少 1 則；與產業與學研單位合作發表頻譜效能提升相關主題之論文至少 1 篇；
- 辦理 114 年度西班牙巴塞隆納世界行動通信大會（Mobile World Congress, MWC）會議之行前交流會，掌握國際 6G 及行動通信發展最新趨勢。

(三) Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

本工作項目根據113年AFC所產出的成果，以及同步國際AFC發展，持續優化 AFC 系統，並透過實測評估不同情境下標準功率 Wi-Fi AP 對既有使用者的干擾情況。同時，研析 AFC 相關的量測標準、規範及法規，評估設立符合美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission, FCC）要求之 AFC 量測實驗室的可行性。本研究亦協助設備廠商在中頻段（Mid band）導入和諧有效使用機制並進行實測驗證。

綜上，本項研究主題規劃如下：

- 頻率和諧有效使用機制之導入；
- 頻率和諧有效使用機制實測評估；
- 輔導至少兩家 AP 設備製造商於 Mid band 頻段導入和諧有效使用機制與實測。

(四) Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估

本工作項目延續 113 年度整備替代技術實測，今年度進一步與

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

U6 頻段既有使用者合作驗證替代技術傳輸現有鏈路的訊務可行性，並訪談 U6 頻段既有使用者說明國際 6GHz 頻段發展現況、替代技術研究與頻率和諧共存系統開發評估成果，與既有使用者交流無線電頻率使用現況、需求與清整備可行性等議題。本分項擬於符合既有使用者通信需求與國家通信網路韌性前提下，研提 U6 頻段既有使用者整備建議方案，作為委託機關制定我國 6GHz 頻段整備政策的參考。

鑒於國際電信標準組織如 ITU、3GPP 將 FR3 頻段視為未來行動通信的候選頻段，電信設備供應商 Nokia[1] 認為國際行動通信（International Mobile Telecommunications, IMT）頻譜拓展中頻段 7-15 GHz（即 7.125-8.5 GHz、10.7-13.25 GHz 和 14-15.35 GHz）中的新頻譜相當重要，並希望於此頻段內實現全球和區域協調，為 6G 系統的技術投資提供頻率監管之確定性，加速其發展和泛用性以建立起 6G 之規模經濟。另外 Samsung Research 在 6G 中高頻譜之機會與關鍵動能[2]中討論 FR3 頻段在 6G 網路中的機會和挑戰，內容詳細指出，FR3（7.125-24.25 GHz）頻段可以提供比 FR1（410-7125 MHz）頻段更大的頻寬，並且由於較低的載波頻率，FR3 頻段的傳輸路徑損耗較 FR2 低，因此被認為是 6G 的黃金頻譜。各國頻率主管機關（如 FCC、NTIS）也開始對於該頻段進行商業及政府應用分配規劃，但因既有使用者的存在，各國在頻段應用上的差異也有所不同。例如，國防雷達用途的 X 頻段位處於目前將研究的 FR3 頻段內，因此本研究也提前評估該頻段內可能產生的干擾情況，為未來的 6G 頻率規劃、網路布建提供重要參考依據。綜上，本項研究主題規劃如下：

[1] Nokia （2023）, Spectrum for 6G explained, https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/spectrum-for-6G-explained/

[2] Samsung Research （2024）, Upper Mid-Band Spectrum for 6G: Opportunities and Key Enablers, https://research.samsung.com/blog/Upper-Mid-Band-Spectrum-for-6G-Opportunities-and-Key-Enablers

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 評估既有使用者合適替代鏈路技術；
- FR3 頻段之干擾評估與查測機制建立。
- 研提 U6 整備建議方案。

(五) 辦理座談會或經驗分享會議

本研究於執行期間擬辦理座談會。議題規劃針對國際間對 6G 候選頻段、未來發展規劃與 WRC-23 會議後各項決議之結果等項目進行探討，透過舉辦國內小型座談會方式，先行與專家學者分享研究團隊執行成果，以及針對關鍵議題進行深度討論。此外，為加強我國與國際專業學研單位之合作與鏈結，本研究亦規劃辦理國際座談會，邀集國際組織、設備商、國家主管機關等專家學者互相分享與交流國際頻譜趨勢、新興應用技術等，本項座談會或經驗分享會議安排如下：

- 辦理 4 場次國內座談會或經驗分享會議；
- 辦理 6G 頻譜及應用相關議題國際座談會，邀請 4 位國際專家學者及 3 位國內專家學者出席會議。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 計畫分析架構

本研究計畫據委託機關採購案計畫書委託辦理內容，依序敘述執行工作項目如下：

- 派駐 2 名常駐履約人員；
- 國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點；
- Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測；
- Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估；
- ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測；
- 辦理座談會議或經驗分享會至少 4 場次；
- 履約期間視數位發展部需求提供與本研究相關用途；
- 提供本研究未來 2 年之執行架構（Framework）。

本研究之研究架構圖如下：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

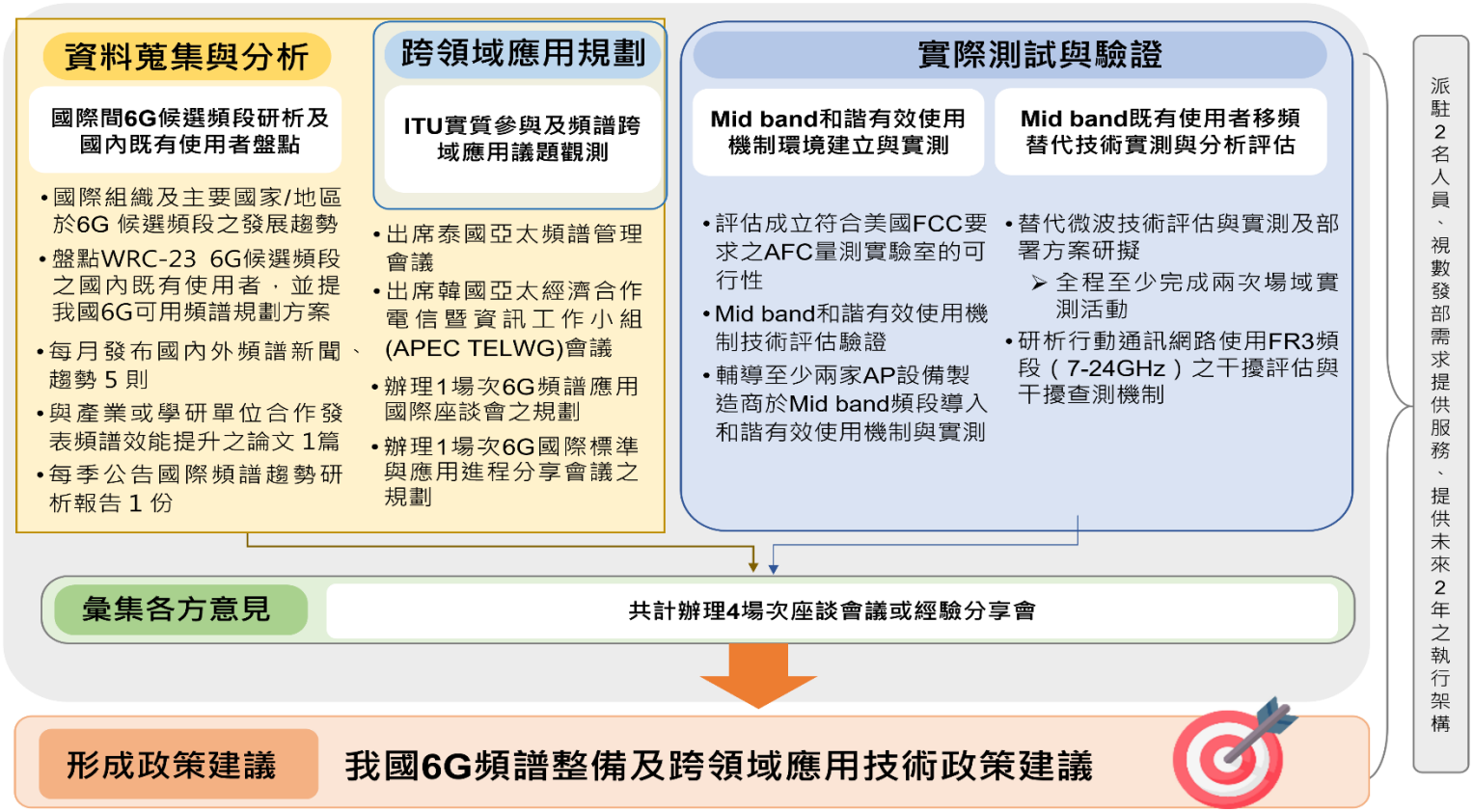


圖 1-1、本研究之研究架構

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

根據以上研究架構與工作項目，規劃工作進度時程圖如下：

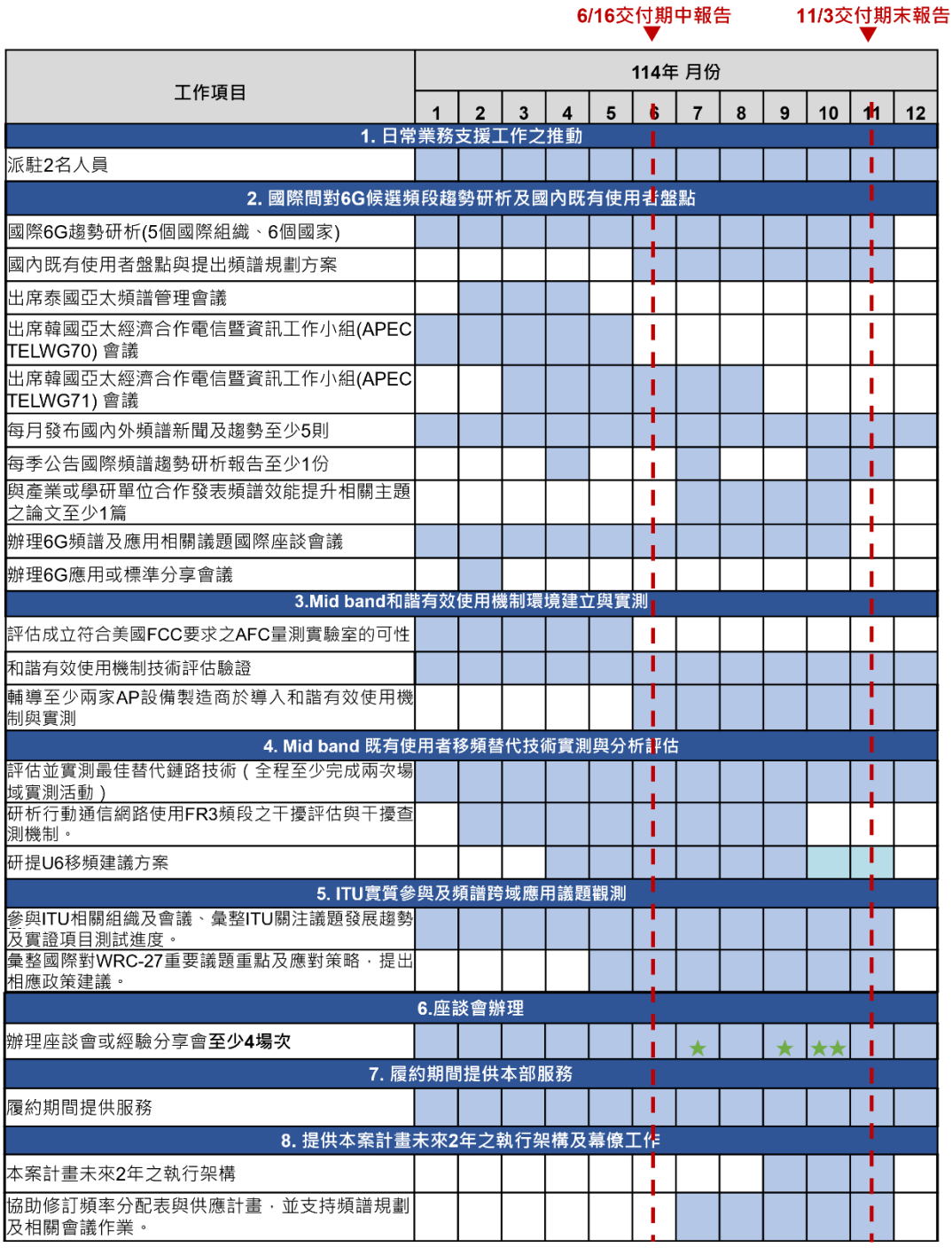


圖 1-2、本研究之工作進度時程圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 1-1、雙周進度規劃

查核點	國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點	Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估	ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測
1 (2025/02/14)	• 【NEXT G】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策	• FCC 法規規範研析 • OPEN AFC 優化-我國地貌圖資轉換	• 聯繫站臺架設與接取意願	• WRC-23 後頻譜重點發展議題確認 (行動無線電部分)
2 (2025/02/27)	• 【GSMA】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 2/21 完成 1、2 月國內外頻譜新聞 5 則 • 啟動籌備國際會議	• WiFi Alliance & WinnForum 測試規範研析 • OPEN AFC 優化- 我國地貌圖資匯入	• FSO 長距離測試評估	• WRC-23 後頻譜重點發展議題確認 (衛星無線電部分)
3 (2025/03/14)	• 【韓國】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策	• 符合美國 FCC 要求之 AFC 量測驗證 • OPEN AFC 優化-我國地貌圖資測試	• 盤點國內 FR3 頻段內業者	• ITU-R 6G 標準與頻譜發展進度
4 (2025/03/28)	• 【英國】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 4/7 完成 3 月國內外頻譜新聞 5 則	• AFC 裝置 GPS 測試流程規劃 • OPEN AFC 優化- 監控管理功能研析	• 完成鏈路站臺會勘	• 6G 國際標準組織頻譜發展與實務重點
5 (2025/04/11)	• 【中國】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策	• GPS 模擬環境設備測試隔離箱規劃與建置 • AP 設備製造廠商導入規劃	• 評估場域驗證所需設備儀器	• WRC-27 行動無線電研究與實務進度 • (議題 1.7, New IMT)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

查核點	國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點	Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估	ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測
6 (2025/04/25)	• 【香港】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 4/15 完成 Q1 季報 • 4/28 完成 4 月國內外頻譜新聞 5 則	• GPS 模擬環境設備測試隔離箱功能測試 • OPEN AFC 資安防護研析(系統架構) • OPEN AFC 優化- 版本更新	• 研析國際 ITU、3GPP 相關干擾技術報告	• WRC-27 衛星無線電研究與實務進度(議題 1.12, LDR-MSS)
7 (2025/05/09)	• 【美國】、【NGMN】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 【APT】、【歐盟】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策	• 符合美國 FCC 要求之 AFC 量測報告 • OPEN AFC 資安防護研析(API 安全控制機制) • OPEN AFC 運行 7G Hz 頻段的可行性評估規劃	• FSO、FWA 實測場域所需設備準備 • U6 既有使用者現況盤點	• WRC-27 衛星無線電研究與實務進度(議題 1.13, D2D-MSS)
8 (2025/05/23)	• 【日本】、【3GPP】、之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 5/23 完成 5 月國內外頻譜新聞 5 則	• AFC 裝置 GPS 測試 • OPEN AFC 資安防護研析(資料庫安全架構) • Wi-Fi AP AFC DUT 建置規劃	• U6 既有使用者調查相關文件製作 • U6 既有使用者實際訪查安排	• WRC-27 衛星無線電研究與實務進度(議題 1.14, New MSS)
9 (2025/06/06)	• 撰寫期中報告	• 撰寫期中報告	• 撰寫期中報告 • 開始布建 FSO、FWA 場域	• 撰寫期中報告
10 (2025/06/20)	• 6/16 交付期中報告 • 6/20 完成 6 月國內外頻譜新聞 5 則	• 6/16 交付期中報告	• 6/16 交付期中報告	• 6/16 交付期中報告

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

查核點	國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點	Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估	ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測
11 (2025/07/04)	• 期中審查意見修訂 • 更新【NEXT G】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 籌備國際會議	• 期中審查意見修訂 • AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬實驗規劃 • 建置 WIFI AP 測試環境(AFC DUT 檢測環境)	• 期中審查意見修訂 • FR3 干擾情境評估分析 • U6 既有使用者拜訪及現況調查	• 期中審查意見修訂 • 「6G 潛力頻譜發展趨勢與議題解析探討」議題研擬準備
12 (2025/07/18)	• 更新【韓國】、【英國】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 籌備國際會議 • 7/15 完成 Q2 季報 • 7/25 完成 7 月國內外頻譜新聞 5 則	• AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬實驗規劃 • 第一家 AP 設備廠商導入測試 • Wi-Fi AP AFC DUT 軟體調整	• 完成布建 FSO、FWA 微波場域	• 完成「6G 潛力頻譜發展趨勢與議題解析探討」座談會召開與意見整理
13 (2025/08/01)	• 更新【中國】、【GSMA】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 7/29-8/6 出席 APEC TEL 71 會議 籌備國際會議	• AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬資料蒐集 • 第一家 AP 設備廠商導入測試 • OPEN AFC 運行 7G Hz 頻段的可行性評估(傳播模型盤點)	• 鏈路傳輸系統調整 • 場域資料收集與分析	• ITU 會員實務與參與研析

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

查核點	國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點	Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估	ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測
14 (2025/08/15)	• 更新【美國】、【APT】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 籌備國際會議 • 8/22 完成 8 月國內外頻譜新聞 5 則	• AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬資料蒐集 • 第一家 AP 設備廠商導入測試報告撰寫	• 蒐集干擾查測設備與方法 • U6 既有使用者拜訪及現況調查	• 參與 ITU 相關組織與合作機會評估
15 (2025/08/29)	• 更新【歐盟】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 辦理國際會議 • 提出我國 6G 可用頻譜規劃方案	• AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬資料處理、分析與歸納 • 第二家 AP 設備廠商導入測試 • OPEN AFC 運行 7G Hz 頻段的可行性評估(傳播模型研析)	• 場域資料收集與分析初步報告	• WRC-27 準備與研究文件整理研析 (行動無線電部分)
16 (2025/09/12)	• 更新【日本】、【NGMN】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策 • 提出我國 6G 可用頻譜規劃方案	• AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬資料處理、分析與歸納 • 第二家 AP 設備廠商導入測試	• 完成 7/6GHz 專用微波初步評估報告	• WRC-27 準備與研究文件整理研析 (衛星無線電部分)
17 (2025/09/26)	• 9/24 完成 9 月國內外頻譜新聞 5 則 • 更新【3GPP】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策	• AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性比較模擬資料處理、分析與歸納	• 完成干擾查測機制建議	• WRC-27 應對策略與政策建議準備

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

查核點	國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點	Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	Mid band 既有使用者整備替代技術實測與分析評估	ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測
	• 9 月底前辦理一場次座談會	• 第二家 AP 設備廠商導入測試報告撰寫		
• 18 • (2025/10/09)	• 更新【香港】之 6G 頻譜規劃與新技術推動政策	• 9 月底前辦理一場次座談會 • OPEN AFC 運行 7G Hz 頻段的可行性評估(盤點軟體修改範圍)	• 總結場域資料分析報告	• WRC-27 應對策略與政策建議準備
19 (2025/10/24)	• 10/15 完成 Q3 季報 • 10/24 完成 10 月國內外頻譜新聞 5 則 • 撰寫期末報告	• 撰寫期末報告	• 撰寫期末報告	• 撰寫期末報告
20 (2025/11/07)	• 11/3 交付期末報告 • 期末審查意見修訂	• 11/3 交付期末報告 • 期末審查意見修訂	• 11/3 交付期末報告 • 期末審查意見修訂	• 11/3 交付期末報告 • 期末審查意見修訂
21 (2025/11/21)	• 11/21 完成 11 月國內外頻譜新聞 5 則	•	•	•
22 (2025/12/05)	• 撰寫 12 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則			
23 (2025/12/19)	• 12/12 完成 Q4 季報、完成 12 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則			

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第三節 計畫執行方法

一、 研究分析方法

(一) 文獻分析法

本研究以研究 6G 重點發展國家、國際主要通信標準組織為主要對象進行資料蒐集與檢視，藉由文獻分析法，廣泛蒐集、整理與分析在研究範疇中，有關 6G 頻譜規劃與產業新技術推動之相關政策文件及市場發展報告，以其盡可能全面性彙整資料，以利後續進行研究和協助主管機關研提政策建議。

(二) 比較分析法

本研究涵蓋 ITU、APT、3GPP、GSMA、NGMN Alliance、Next G Alliance、歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國、香港等，研究項目多元且涉及多國資料，因此透過文獻分析法完善分類架構，透過比較分析法從眾多資料研判潛在趨勢與關鍵差異，彙整各組織與重點國家之資料，針對各國 6G 政策、頻段規劃之異同進行比較分析，掌握國內外行動通信市場演進與 6G 先期發展對技術、應用、市場與頻譜資源管理制度之比較。盤點國際 6G 技術與頻譜管理制度趨勢後，進而參考我國頻譜使用現況與政策願景，最終為提供我國政策接軌國際之參考依據。

(三) 實驗研究法

1. Mid band 和諧有效使用機制實測

為了便於業者於國內開發 AFC 終端設備進行相關 AFC 測試及驗證，將深入研究和分析美國 FCC 對其要求之量測機制，評估建置測試實驗室之可行性，建置 AFC 量測實驗室並檢測與驗證 AFC 終端設備可用性，以縮短業者於國內開發 AFC 終端設備之時程，同時也配合場域實測所獲得之分析數據，並結合多 Wi-Fi AP

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

之實務議題研析，優化既有 AFC 系統功能，強化干擾抑制能力。

2. Mid band 既有使用者整備替代技術實測

本研究參考目前這些替代技術的使用狀況，實際導入 4G/5G 固定無線接取與自由空間光通信兩種整備替代技術於既有固定微波業者鏈路，介接業者的通信系統，傳輸既有微波業者的資料，並使用業者的傳輸標準確認替代技術的可靠性和相關傳輸性能，和既有微波業者原本鏈路的傳輸性能標準做比較。估算實際介接建設費用及作業時程，提出可供既有使用者未來選擇最佳方案之參考。

為了有效評估未來在 FR3 頻段（7-24 GHz）內行動通信網路與現有系統之間可能產生的干擾情形，將制定適當的干擾檢測與緩解機制。本研究結合理論分析、頻譜資料收集與射頻特性分析，建立一套初步的評估方法。本研究將依據 ITU 無線電規則以及我國現行的頻率分配規劃，深入分析 FR3 頻段內各種系統的頻譜佈局和使用情況，並進一步探討未來的 6G 行動通信設備與現有系統，如衛星固定、低軌衛星、無線電定位系統之間的潛在干擾及其影響。為驗證干擾情境的可能性，本研究將分析其射頻傳輸特性，針對不同應用場景及布建情境進行分類，並初步估算各系統間的干擾界限。本研究將對比國內外已廣泛應用的干擾緩解技術，如地理空間區隔限制、發射功率限制、射頻通信濾波技術與電波屏蔽隔離等，並根據分析結果進一步探討如何制定有效的干擾防範機制，以期優化未來 FR3 頻段的頻率分配規劃，提升頻譜使用效率。

(四) 舉辦國內座談會與國際座談會議

各國在 6G 政策發展、法規制度、產業特性乃至國家政策願景皆存在差異，所以國際研析成果必須考量我國特性。因此，本研究

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在蒐集各國相關資訊時，預計舉辦至少 4 場次國內座談會或分享會方式，邀集產官學研各界代表，由研究團隊設計相關議題提供與會專家進行討論，並了解產官學研界對於國際案例、我國政策之建議。此外，為與國際接軌並分享我國針對 6G 頻譜整備之成果分享，藉由舉辦 1 場次國際座談會議，邀集國內外 6G 領域相關學者專家至我國分享國際間 6G 最新動態，並邀集國內外學者專家與利害關係人一同與會，蒐集國內外各界意見，尋求最適合我國之政策建議。座談會議成果亦將進一步整理分析，協助主管機關提出適切之 6G 頻譜政策建議。

二、 施行步驟

本研究執行步驟與流程分為四階段，如下：

階段一：本研究採用文獻分析法，探討國內外行動通信市場的演進及 6G 早期發展對技術、應用、市場與頻譜管理的影響。資料來源分為兩類：一為官方文件，包括各國 6G 發展策略、合作案法規、草案、指引、白皮書、專家建議及公眾意見徵詢等；二為國際組織報告，涵蓋 6G 研究與學術成果、公司委託報告等。透過廣泛蒐集與整合多方資料，本研究為後續研究奠定了堅實基礎。

階段二：本研究基於國際資料文獻與個案分析成果，協助主管機關掌握國際 6G 頻譜趨勢，並更新 113 年盤點 WRC-23 舉辦後全球 6G 候選頻段之我國既有使用者情形，以評估我國頻譜整備與釋出之影響，並提出符合我國頻譜規劃方案之建議。

階段三：針對和諧有效使用機制，以 113 年度「Midband 和諧有效機制環境建立與實測」成果為基礎，將分為 AFC 系統優化以及 AFC 系統量測實驗之評估，依據 113 年度系統建置與實測結果，將追加現場實測項目，進一步優化 AFC 系統功能，並且以美國 FCC 規範要求為依據建立與評估 AFC 系統量測實驗室在我國建立的可行性，建立

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

適用於我國 AFC 系統量測實驗室，以便利業者於國內進行 AFC 系統與 AFC 周邊裝置量測與驗證。針對既有使用者替代技術實際驗證，將基於 113 年既有使用者整備替代技術實測評估的成果，導入既有固定微波業者的實際傳輸鏈路中，依據實際的場景選擇適合的替代技術。5G 固定無線接取，規劃使用電信業者提供的 MDVPN 用途，針對距離 10 公里以上的微波站臺構建點對點傳輸網路，利用業者的企業用途方案建立更穩定和安全的網路。自由空間光通信，規劃 3 公里距離以內的鏈路，對微波站臺架設條件受限的應用場景，如跨海傳輸或山谷間的中繼傳輸等，作為短距離傳輸鏈路方案。固定微波通信，為符合法規要求，將規劃和電信業者合作進行 7 GHz 專用執照微波測試，並取得相關測試數據。上述各鏈路除了測試誤碼率（Bit error rate, BER），傳輸速度和可靠度外，亦將規劃結合既有業者實際場域網路效能測量指標，以建立綜合性的鏈路評估指標。此外，該實測規劃亦將布建至少 2 個測試場域，來驗證其無線通信韌性之可行性。針對 FR3 頻段干擾評估與查測機制，將規劃收集國內 FR3 頻譜使用現況，分析 FR3 頻段內之通信系統特性，也會蒐集國內外 FR3 頻段相關干擾研究資料及參考過往 IMT 干擾相關研究，建立干擾查測機制。

階段四：本研究將透過座談會分享階段性成果，並邀請國內外 6G 領域專家參與，聚焦關鍵議題並徵詢各界專家學者與業界意見。一方面調整研究方向與議題，另一方面深入了解國內相關利害關係人之立場與見解，強化研究深度與完整性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二章 ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測

第一節 WRC-23 後頻譜重點發展

一、 國際無線電發展簡介

(一) 國際無線電發展背景

全球無線電在多元應用、產業標準與學術研究的推動下持續演進，其延伸出的頻譜與無線電議題，包括地面與非地面行動通信、特定頻段與其他用途的協同發展，亦日益受到國際重視。作為聯合國授權的全球電信標準制定機構，國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）在資通信領域中扮演關鍵角色，其無線電通信部門（ITU Radio Sector, ITU-R）更是負責全球無線電頻譜的規劃與管理，確保行動通信標準得以永續發展[3]。ITU 各會員依據其憲章共同推動具備共通性、安全性、穩定性、可靠性與節能特性的通信網路，以促進人類安全與資訊發展[4]。

在規劃次世代行動通信系統的過程中，ITU-R 不僅需滿足用戶需求，也需妥善因應不同頻段運作所帶來的頻譜干擾與爭議。鑒於

[3] 國際電信聯合會成立於 1865 年，是全球歷史最悠久的國際組織之一，主要任務包括制定全球電信標準、分配無線電頻譜與衛星軌道資源、推動全球資訊通信技術的普及與發展，與協助縮小國際間數位落差等。ITU 現今為聯合國轄下負責資訊與通信技術事務之專門機構，亦經授權、專責制定全球電信標準與無線電法規，並在全球資通信發展中扮演關鍵角色。其中，無線電通信部門負責規劃與協調全球無線電頻譜的配置與使用，確保行動通信標準得以持續發展。

[4] 依據「國際電信聯合會憲章」（Constitution of the International Telecommunication Union），ITU 致力於推動全球電信的協調與發展，促進全人類在資訊、通信與科技領域的平等參與受益。作為聯合國體系下的重要專門機構，ITU 致力於確保無線電資源的合理分配、促進技術標準的協調制定，並積極協助縮小全球數位落差。透過國際合作與政策倡議，ITU 推動無線電通信技術的永續發展，使所有國家皆能公平獲取頻譜資源與通信權利，實現科技用途全人類福祉的核心目標。2025 年，ITU 迎來成立 160 週年，長期以來所建立的全球通信基礎架構，不僅已使約 68%的人口能夠上網，亦大幅協助發展中國家提升行動網路與技術涵蓋率，有效縮小全球數位落差。ITU 官方網頁，https://www.itu.int/160/（最後瀏覽日：2025/10/1）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

無線電頻譜為通信用途的關鍵資源，世界無線電通信大會（World Radiocommunication Conference, WRC）[5]致力於協調全球頻譜使用、促進新技術發展，並確保各國公平合理地取得與運用無線電資源。在此發展架構與背景下，ITU 與 WRC 為滿足各界用戶對無線電通信用途的需求，持續推動無線電系統與技術的研究，並積極協調各類頻譜爭議，以促進全球資通信技術及有限頻譜資源的公平、合理與高效運用。

(二) 世界無線電大會簡介

根據 ITU 憲章[6]規定，WRC 大會是全球無線電產業、學術界及相關利益者就關鍵議題進行即時討論的重要平臺，其會議目標是討論並決定全球無線電頻譜與衛星軌道資源的分配與管理。該大會匯集來自全球各國的政府代表、產業界專家與學術界人士，透過討論與協商，解決無線電通信領域中的重大問題，如頻率分配、無線電用途的發展需求、技術創新與政策方向。WRC 的成果不僅為各國的電信發展提供參考指導，還促進了全球無線電通信的協調與合作，確保了通信資源的有效且永續之使用。

[5] 1906 年，德國柏林舉辦首屆「國際無線電會議」（International Radio Conference）。此後，國際間陸續召開多場會議，討論海事、廣播、太空、航空及行動通信等無線電議題。至 1992 年，為更系統性地回應日益複雜的全球頻譜管理需求，在聯合國推動國際合作與爭端解決的宗旨下， ITU 設立了定期召開的 WRC 會議，並著手週期性修訂「國際無線電規則」（Radio Regulations），以因應行動通信技術的快速演進與全球電信用途的成長需求。歷屆 WRC 會議逐步完成關鍵階段任務，奠定今日行動通信產業蓬勃發展的基礎。例如 WRC-95 修訂了自 1906 年以來所制定的「國際無線電規則」，並完成了現代化的初步版本；WRC-2000 確認 IMT-2000 為全球第三代行動通信系統標準，並劃設可供全球共通使用的無線電頻譜；WRC-07 則公布 IMT-Advanced 系統標準，為第四代行動通信奠定基礎；及至 WRC-15，則針對 IMT-2020 系統劃定可供運作的頻率範圍，並展開對未來 IMT 系統於毫米波頻段可用頻譜的討論，最終於 WRC-19 確認 IMT 系統之毫米波配置頻段。

[6] Constitution of the International Telecommunication Union (2023), Radiocommunication Conferences and Radiocommunication Assemblies, Article 13, pp. 20-21.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

WRC 大會的召開宗旨還包括審視無線電產業的最新動態與目前重要議題，並根據需要研究及制定適當的管理框架與法規環境，進而修訂「國際無線電規則」（Radio Regulations, RR），確保全球無線電資源的持續、和平與高效利用。作為負責審查和修訂「國際無線電規則」之機構，WRC 依照 ITU 理事會的議程進行修訂作業，並考量前一屆大會提出的建議。WRC 審議有關改善國際頻譜監管框架的研究成果，並針對現有、正在興起及未來的應用、系統和技術發展中的有效性、適切性與影響，作出相應修訂，最終決定如何以最有效且最具效益的方式運用有限的無線電頻譜資源與管理衛星軌道。此外，WRC 大會還將透過指示無線電事務局(Radiocommication Bureau, BR)[7]的工作，審查其活動，並確定供 WRC 大會和研究小組研究的議題，以為未來的各項相關事務做準備。

(三) 全球發展小結

全球無線電技術隨著多元應用、產業標準及學術研究持續演進，其核心挑戰在於有限頻譜資源的規劃與管理。ITU 國際電信聯合會作為聯合國授權的全球電信標準制定機構，在推動全球電信協調發展中扮演關鍵角色。其中，ITU-R 無線電通信部門負責無線電頻譜的分配與規劃，確保通信系統具備共通性、安全性、可靠性與節能特性，並因應不同頻段帶來的干擾問題。ITU 的願景在於建構普惠的通信環境，促進全球人類在資訊與科技上的平等參與和發展。

[7] 無線電事務局是 ITU-R 的業務執行機構，由會員選舉產生之局長帶領下，負責協調和管理無線電頻譜與衛星軌道的使用。其團隊由工程師、專家、管理與行政人員組成，共同確保各項任務順利推進。主要職能包括支援 ITU-R 研究小組、執行「國際無線電規則」之協議、管理頻譜分配及維護國際頻率主登記表(Master International Frequency Register，MIFR)，並為會員國提供技術建議及干擾處理用途。此外，無線電事務局亦常態性負責協助國家與會員推動全球無線電各相關通信領域的合作與發展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

WRC 世界無線電通信大會則是全球協調無線電頻譜與衛星資源的重要平臺，自 1992 成立以來，透過週期性修訂「國際無線電規則」，推動技術演進並滿足通信需求。歷屆會議完成多項關鍵任務，包含 WRC-95 的規則修訂、WRC-2000 確認 IMT-2000 標準，以及 WRC-19 制定 IMT 毫米波頻段等。WRC 匯集各國政府、產業與學術界，討論頻譜分配、無線電用途發展及政策方向，不僅確保資源的有效與永續利用，也提供各國電信發展的重要參考。大會同時審視產業動態，修訂管理框架與法規，並指導無線電事務局及研究小組的工作，為未來的無線電應用做好準備。

二、 WRC-23 決議

2023 年世界無線電通信大會（簡稱 WRC-23）於阿拉伯聯合大公國杜拜世界貿易中心隆重召開，吸引來自 163 個國家的約 4000 名領袖與代表參加。大會審議了 967 篇來自不同國家與區域性國際組織的研究報告與意見書。經過近一個月的嚴謹討論，超過 6000 件提案經過 15 次全體代表大會與多次委員會討論後，最終完成 56 項既有決議的修訂與 43 項新決議的制定[8]。這些決議涵蓋了無線電用途的定義、頻率配置、頻譜管理、執行程序及運作機制等重要議題。本研究將 WRC-23 大會相關於行動與衛星通信之重要決議整理如下。

(一) 行動通信

1. 470-700 MHz

此頻段因具備良好的涵蓋特性，特別適合於鄉村或人口稀疏地區的布建，在技術與經濟層面上對國家的廣域涵蓋尤為重要。ITU-R 已經完成研究 470-960 MHz 頻段內的行動寬頻需求與頻譜共

[8] 內容整理自 WRC-23 官方網頁，https://www.itu.int/wrc-23/（最後瀏覽日：2025/10/1）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

享情況，並評估潛在頻段之可行性[9]。在議題 1.5 之範疇下，WRC-23 考慮了多項關鍵因素，包括三大地區（即 Region 1 歐洲地區、Region 2 美洲地區、Region 3 亞太地區）在 1 GHz 以下頻段的現有使用狀況、從類比電視過渡至數位電視的進程，以及對現有廣播用途的保護需求。在確保國際行動通信(International Mobile Telecommunications, IMT) 的發展不會對現有廣播無線電造成干擾，且同時能在技術上實現可持續與協調的頻譜利用下，WRC-23 決議將 470-694 MHz 之頻段分配給地面行動通信的規劃與管理[10]。

WRC-23 亦在決議中呼籲無線電事務局留意新版無限規則中之相關附註以及其內容，並對於可能受到影響之國家會員與區域提出須進行協調與避免干擾的要求[11]。此次 WRC-23 決議為未來低頻段 IMT 地面行動通信頻譜的研究與發展提供政策架構，確保在推動行動通信擴展的同時，維持對既有廣播用途的保護與地區彈性的尊重與適當保護。

2. 700-2700 MHz

高空行動通信平臺（High-altitude platform stations as IMT Base Stations, HIBS）作為 IMT 地面行動通信基地臺，是因應全球行動寬頻需求日益增長所發展的新型態技術[12]。對於諸多候選頻段，ITU-R 針對 HIBS 之潛在使用，對進行相容性（Compatibility）與共用性（Sharing）研究，以維持頻譜內其他用途的穩定運作與權益保障，以確保整體無線電通信系統的和諧發展。著眼與 HIBS 提升全球行

[9] ITU (2023), Report of the CPM on technical, operational matters to be considered by World Radiocommunication Conference 2023. ISBN: 978-92-61-37411-2.
[10] WRC-23 (2023), Resolution 224- Frequency bands for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications below 1 GHz.
[11] 同前註, Resolve 1-2.
[12] HIBS 可利用與地面 IMT 相同的頻段，布建在距離海平面上 18 至 25 公里之高空，有效提升偏遠、農村及用途不足地區的網路涵蓋與容量。相較於傳統地面基地臺，HIBS 架設基礎設施需求低、可涵蓋區域廣，有助於提升整體行動通信韌性與可及性，但其應用為選擇性，不應影響地面 IMT 的既有布建。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

動寬頻涵蓋之功用[13]，WRC-23 最終決議在議題 1.4 範疇下，開放 694-960 MHz，2500-2690 MHz，1710-1980 MHz、2010-2025 MHz 與 2110-2170 MHz 頻段以供 HIBS 布建使用。

此外，WRC-23 在決議亦特別針對不同頻段規範 HIBS 的使用條件[14]，以確保在拓展無線通信涵蓋的同時，不至於對既有用途造成有害干擾，包含 HIBS 運作必須與航空無線電導航用途（Aeronautical Radionavigation Service, ARNS）協調，並且不得對廣播用途造成干擾[15]，保護其他國家的行動、固定、無線電定位、航空導航和廣播衛星系統（Broadcasting Satellite Service, BSS）以及無線電天文與衛星行動用途（Mobile Satellite Service, MSS），以及對既有無線電用途之保護條件與鄰近頻段用途的干擾防範。

3. 3 GHz

早期 WRC 大會已決議配置 3 GHz 以下頻段用於 IMT 行動電信系統，如 WARC-92 和 WRC-2000，並在 WRC-15 識別新增了 1427-1518 MHz 等頻段，供 IMT 地面行動通信使用。隨著行動通信需求的急劇增加，尤其在寬頻多媒體方面，未來的 IMT 用途將需要額外頻譜來滿足用戶需求和網路布建。為實現全球漫遊和規模經濟效益，全球普遍期盼討論額外頻譜資源來支持 IMT 發展。WRC 之後更同意根據各國需求靈活決定在識別頻段內用於 IMT 的頻譜，新增了 3300-3400 MHz 頻段供希望發展 IMT 的國家使用。此些附

[13] 包含可提供良好的傳播特性有助於具成本效益的廣域涵蓋，並具備提升在偏遠地區容量與涵蓋方面的潛力，尤其是可透過最少基礎設施實現廣域用途，有助於促進行動寬頻在用途不足地區的發展等等。

[14] HIBS 高空國際行動通信基地臺的頻段技術共包含三大頻段，所有頻段在每個 HIBS 區域內配置一個基地臺，用途半徑為 90 至 100 公里，平臺飛行高度為 18 至 25 公里，每個基地臺可支援 7 個扇形涵蓋，頻率重用係數(Reuse Factor)為 1。

[15] WRC-23 (2023), Resolution 213- Use of high-altitude platform stations as International Mobile Telecommunications base stations in the frequency band 694-960 MHz, or portions thereof.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

註條款[16]之決議旨在提供額外頻譜支持行動通信發展，但並不賦予 IMT 在該頻段的優先使用權。

3400-3600 MHz 頻段在部分國家和地區已被視為 IMT 之潛在頻譜並開啟相關配置與規劃[17]，顯示出在此頻段內，越來越多的資源被歸類為適合發展行動通信。儘管該頻段主要分配給行動用途，並被視為是主要用途，其 IMT 頻譜之使用規劃仍以不妨礙其他已分配無線電用途為原則，同時也不代表 IMT 擁有此頻段之優先使用權。這一趨勢與 3300-3400 MHz 頻段類似，即仍需要遵守特定保護與發射條件，特別是在與現有無線電用途共存以及與鄰國協調方面。根據「國際無線電規則」第 9.21 號條款，相關主管機關需協議一致，並就功率通量密度（Power Flux Density, PFD）限制進行必要的計算與驗證，必要時可請求無線電事務局之協助，並由該局依據相關資訊進行最終的計算與確認。這整體過程反映出，在全球推動 IMT 發展的同時，各國仍需謹慎平衡現有無線電用途與未來需求[18]。

在 3600-3800 MHz 頻段部分，WRC-23 決議以附註形式透過區域國家配置此頻段供 IMT 地面行動通信使用，包含第一區域歐洲、中東與非洲之部分國家，以及第二區域之部分國家[19]。如同前述 3 GHz 頻段之決議，對於此頻段之 IMT 地面行動通信新配置，並無法排除既有無線電用途於此頻段之使用，亦不在「國際無線電規則」中具備優先權，並希望任何布建 IMT 的各國主管機關應取得鄰國同意，以確保對衛星固定用途(Fixed Satellite Service，FSS)的保護

[16] 包含適用「國際無線電規則」於第一區域 No. 5.429B、第二區域 No. 5.429D，以及第三區域 No. 5.429F 等條款。

[17] 以第三區域為例，共有包含日本、韓國、中國等共 14 個國家識別此頻段供 IMT 地面行動通信使用。

[18] Radio Regulation (2024), No. 5.432A，No. 5.432B，No. 5.433A。

[19] 同前註, No. 5.433B，No. 5.434B。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[20] 。

4. 4 GHz

在全球範圍內，4800-4990 MHz 頻段主要分配給行動與固定用途，並已被多個國家和地區識別為希望布建 IMT 地面行動通信系統的潛在頻段。然而，該識別不代表 IMT 系統具有優先使用權，也不得妨礙其他既有分配無線電用途之應用。各國政府可依據自身需求，選擇是否於此頻段內布建 IMT 或其他技術，並應遵循已於 WRC-23 修訂之決議[21]。

IMT 系統的布建需依據「國際無線電規則」第 9.21 號條款與相關主管機關協議，且不得要求其他行動用途應用提供保護。在啟用 IMT 統與發射裝置前，主管機關需確認其產生的功率通量密度，以確保此使用符合相關決議之規定[22]，並不得對固定用途造成有害干擾。整體而言，雖然 WRC-23 已將此頻段識別為供部分國家布建 IMT，但其使用仍受限於「國際無線電規則」相關條文，尤其需重視與鄰國協調、保護既有用途及特定的功率通量密度限制。

5. 6 GHz

6425-7125 MHz 頻段具備中頻特性，是 IMT 潛力發展的關鍵頻譜，承載著實現 IMT 系統，如 IMT-2000、IMT-Advanced、IMT-2020、甚至是未來的 IMT-2030 系統，有其重大意義[23]。此頻段目前

[20] 同前註, No. 5.434，No. 5.434B。

[21] WRC-23 (2023), Resolution 223- Additional frequency bands identified for International Mobile Telecommunications.

[22] WRC-07 (2007), Resolution 416- Use of the bands 4 400-4 940 MHz and 5 925-6 700 MHz by an aeronautical mobile telemetry application in the mobile service.

[23] IMT 系統為下一代行動用途建構了全球一致的平臺，支援高速資料傳輸、整合式訊息處理與寬頻多媒體用途。ITU-R 制定了一系列標準建議以指導 IMT 的技術發展，包括 IMT-Advanced 之 M.2012、IMT-2020 之 M.2150，以及描繪 IMT-2030 發展藍圖的 M.2160。ITU-R 在 IMT 地面行動通信的技術演進中扮演關鍵角色，並將持續推動 IMT 系統的全球協調與未來發展，確保其在快速變遷的通信環境中持續提供影響力。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

已分配予固定、行動、衛星固定、和太空操作等多種無線電用途，並支援地球探測與太空研究等科學用途。WRC-23 所制定的第 220 號決議[24]，正是在此背景下，提供給有意布建 IMT 系統的國家作為政策依據與管理參考。

根據 WRC-23 決議，IMT 系統可與固定用途共存，但不具優先權，亦不得排除其他既有用途。布建時應考量地點、地形、傳播參數及鄰近用途的保護需求，並須遵守發射功率限制與進行設備一致性測試。此外，為保護非同步軌道衛星（Non-Geostationary Satellite Orbit, NGSO），建議設置數公里至數十公里不等之保護距離（Protection Distance），且須依據「國際無線電規則」第 9.21 號條款之規定，考量傳播參數、地形、站點和軌道參數等因素來進行 IMT 系統與既有無線電用途之協調。該決議之附錄更提供 IMT 基地臺在 6425-7125 MHz 頻段內運作的預期等效全向輻射功率（Equivalent Isotopically Radiated Power, EIRP）的詳細資訊，用於評估 IMT 基地臺設備是否符合預期之限制。ITU-R 亦在 WRC-23 會後被邀請進行更多研究並制定相關建議書和報告，以協助國家會員管理機關實施 IMT 系統，並確保與其他用途的協調共存。總結來說，WRC-23 將 6425-7125 MHz 頻段識別做為 IMT 系統的潛在發展資源，並賦予各國根據國情選擇布建的空間，同時強調需保護既有用途與推動國際協調，實現共存共榮的頻譜利用模式。

6. 10 GHz

依據 ITU-R 先前所設定之願景目標[25]，IMT 之目標在持續利用技術發展來提高頻譜使用效率並促進頻譜存取，以涵蓋多樣化的使用場景以及增強、大規模、與超可靠低延遲之通信。為此，需確保

[24] WRC-23 (2023), Resolution 220- Terrestrial component of International Mobile Telecommunications (IMT) within the frequency band 6 425-7 125 MHz.
[25] ITU-R (2015), Recommendation M.2083 : IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

及時取得充足且連續的頻譜資源，並配合適當的監管規範，IMT 系統須持續藉由技術進步提升頻譜效率與接取能力，並獲取充足之無線電資源。

於 WRC-23 前，於第二區域部分國家中，10-10.5 GHz 頻段已被識別作為 IMT 地面系統布建用途，包括巴西、哥倫比亞、哥斯大黎加、古巴、多明尼加共和國、厄瓜多、瓜地馬拉、牙買加、墨西哥、巴拉圭、秘魯與烏拉圭等。WRC-23 藉由第 219 號決議[26]之通過，繼續對第二區域中 10-10.5 GHz 頻段布建之 IMT 地面系統進行規範。此決議確認此頻段已於特定國家識別用於 IMT 地面系統外，亦明定此識別僅限於地面行動用途，不享有免受干擾之保護權與頻譜優先權，並載明墨西哥需與美國協商一致後方可實施[27]。此外，為保護該頻段及相鄰頻段中如地球探測、無線電天文與固定用途等應用，決議亦另外規範多項技術限制，包括：基地臺天線須指向地平線以下、EIRP 發射限制與仰角方向上限等，並針對 10.6-10.7 GHz 頻段，要求基地臺與使用者設備（User Equipment, UE）之總輻射功率（Total Radiated Power, TRP）分別不得超過決議之設定值。該決議更指示 ITU-R 開啟後續相關管理與研究工作，包括制定協調頻率安排、提供開發中國家需求指引、研擬避免干擾無線電天文的方法，以及審查更新現有建議書以協助固定用途與 IMT 協調。概要述之，WRC-23 決議在承認 IMT 發展對頻譜需求的前提下，為第二區域 10-10.5 GHz 頻段的 IMT 於地面系統之布建建立起進一步之管理與協調架構，並明定使用條件與技術限制，同時要求 ITU-R 進行後續研究與指引制定，以確保與其他無線電用途的相容共存。

7. WRC-23 行動通信決議小結

自 WARC-92 與 WRC-97 以來，IMT 頻譜識別經歷三個主要階

[26] WRC-23 (2023), Resolution 219- Terrestrial component of International Mobile Telecommunications in the frequency band 10-10.5 GHz in Region 2.
[27] Radio Regulation (2024), No. 5.480A.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

段的發展。早期階段中，最初僅識別 230 MHz，象徵著 IMT 頻譜規劃的起步；隨著行動技術如 3G 的出現，WRC-2000 將頻譜擴增至 749 MHz，WRC-07 則進一步增至 977 MHz，以支援更高效能的 4G 用途。進入發展階段，WRC-12 將頻譜提升至 1177 MHz，主要著眼於中頻段應用，而 WRC-15 更進一步擴展至 1886 MHz，為 5G 的高速與大容量特性鋪路。快速擴展階段自 WRC-19 起顯著成長，識別頻譜大量增加至 19136 MHz，主要來自毫米波頻段的引入，支援 5G 強化型行動寬頻與創新應用，而 WRC-23 則進一步提升至 20436 MHz，突顯全球對 IMT 頻譜持續增長的需求。整體趨勢反映出行動網路自 2G 至 5G、甚至邁向 6G 的演進過程中，對頻譜資源的依賴日益加深，並展現出國際社會在頻譜規劃上的協調與遠見。

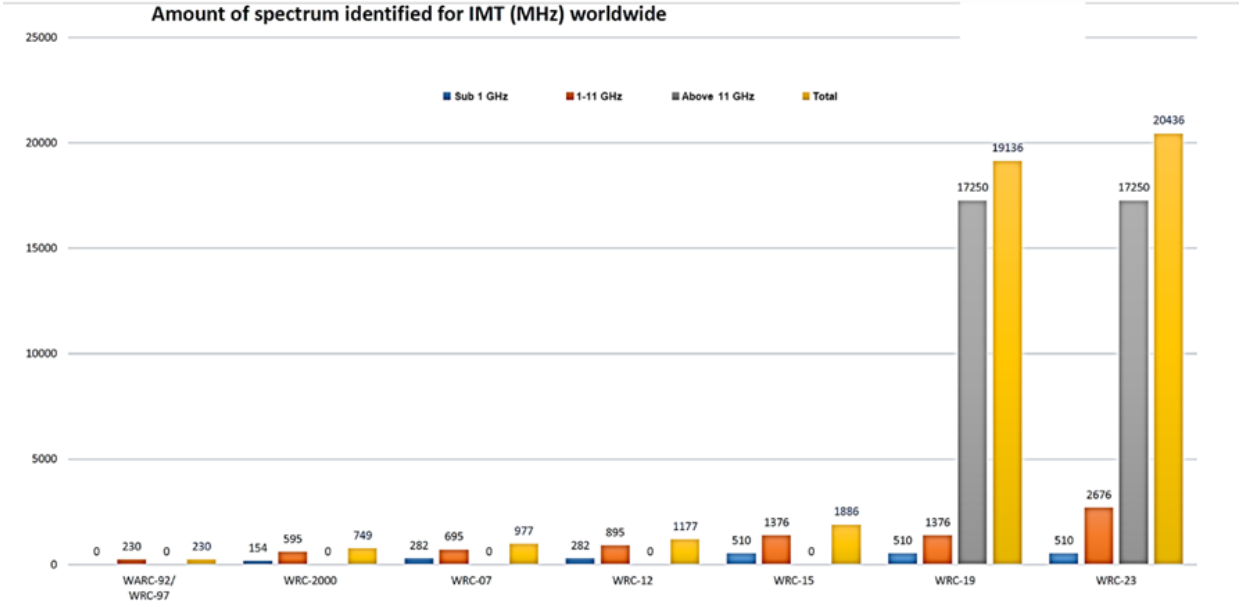


圖 2- 1、WRC-23 之 IMT 行動通信頻譜配置

來源: ITU-R，本研究整理

(二) 衛星通信

1. WRC-23 決議重點摘要

在 WRC-23 上，與 NGSO 衛星相關的一系列決議為全球連接性奠定了基礎。這些衛星因其能涵蓋偏遠地區、海域及空域，而成

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

為推動全球行動寬頻及 IMT-2020 乃至未來 6G 發展的重要工具。會議新增了可用於 NGSO 移動式地球電臺（Earth Station in Motion, ESIM）的頻率，以強化飛機、船舶及車輛等行動平臺上的高速網路用途，並加強災後通信能力。此外，WRC-23 針對 NGSO 衛星運行的軌道公差提出新規定，提高頻譜登記與實際運作間的一致性，促進透明化，並防範不當使用現象。會議也更新對於 NGSO 系統總干擾限值的規範，以保護同步軌道衛星（Geostationary Satellite Orbit, GSO）系統在 10-30 GHz 頻段內的正常運作，要求營運商主動減少干擾。此外，大會也為 WRC-27 訂立研究議程，涵蓋月球通信、直連設備的衛星連接、衛星間鏈路及對無線電天文（Radio Astronomy Service, RAS）用途的干擾保護等議題。整體來說，WRC-23 為 NGSO 系統建立了更清晰且具前瞻性的國際監管框架，是全球衛星通信邁向高效與可持續發展的重要一步。

ITU 國際電信聯盟透過其 WRC-23 肩負著衛星頻譜與軌道資源管理的關鍵任務，致力於維護並更新具有法律約束力的「國際無線電規則」，以應對技術進展與資源競爭日益加劇的全球趨勢[28]。在 WRC-23 上，ITU 針對 GSO 同步與 NGSO 非同步軌道衛星進行了對應之規章修訂，包括調整干擾限值、識別新的頻譜資源以支援 ESIM 移動式地球電臺、航空與衛星地球探測用途，並強化軌道公差與頻譜分配透明度機制。這些措施不僅保障既有系統的運作安全，也為新興應用（如月球通信、衛星間鏈路）創造條件，推動更公平、有效的全球資源分配。

面對軌道擁擠與頻譜使用效率挑戰，WRC-23 更新了 WRC-19 所決議之「里程碑程序（Milestone Approach）」，進一步強制未達布建要求的 NGSO 系統調整其頻率分配，以遏止頻譜囤積（Warehousing），並要求主管機關確保登記資訊反映實際衛星布建

[28] ITU (2024), Outcomes of the World Radiocommunication Conference 2023.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

情況[29]。此外，大會也針對防止無線電衛星導航用途（Radio Navigation Satellite Service, RNSS）系統受干擾、新興太空天氣傳感器保護及未經授權地球電臺（Earth Station, ES）干擾問題採取行動。未來，ITU-R 將針對如 NGSO 衛星間鏈路與無線電天文保護等議題展開深入研究，為 WRC-27 做準備。整體而言，ITU 透過 WRC 提供一個靈活且持續演進的制度架構，在促進太空創新的同時，確保全球頻譜與軌道資源的永續與公正使用。

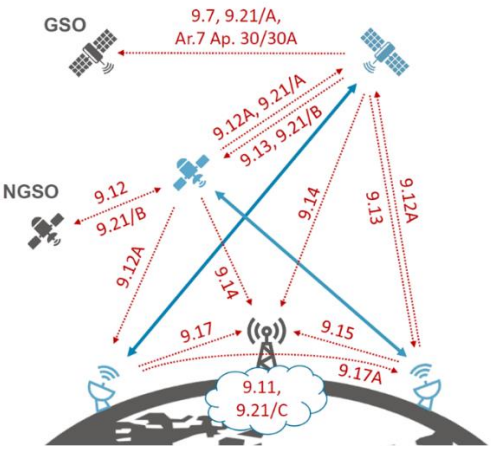
由於 ITU 國際電信聯合會在全球頻譜管理中扮演核心角色，其中「國際無線電規則」第 9 條專門規範不同無線電系統之間的協調程序，尤其針對衛星系統，本研究將干擾與協調情境整理如下圖。隨著衛星應用的多元化及衛星數量的激增，協調機制變得日益重要，以避免在軌道與頻譜資源有限的情況下產生干擾。根據第 9.7 條之規範，當兩個 GSO 同步軌道衛星系統計畫使用相同或鄰近頻率時，須進行協調。若涉及的是地球電臺與 NGSO 衛星之間的潛在干擾，則需依第 9.7A 和 9.7B 條展開進一步協商。此外，在 NGSO 非同步軌道系統之間，或 NGSO 與 GSO 系統間的協調，ITU 則提供了更詳實之規範。依據第 9.11A、9.12 及 9.12A 之條文，當 NGSO 系統可能對其他 NGSO 或 GSO 系統造成干擾時，必須提前通知並協調，以保護軌道與頻譜先行者的權益。這對於大量布建的 NGSO 星座系統尤其重要，例如低軌通信衛星，因為其高速移動和多點涵蓋可能與其他系統交錯干擾，需透過預先協調建立共存機制。

另一方面，ITU 亦要求衛星與地面用途之間的協調，防止地面固定或行動用途受到衛星信號干擾。這類協調受到第 9.11、9.13 與 9.14 條之約束，涵蓋從 BSS 廣播衛星用途到地面通信網路的相容性議題。在這類情況下，衛星操作方須與受影響的地面網路國家協

[29] WRC-23 (2023), Resolution 35- A milestone-based approach for the implementation of frequency assignments to space stations in a non-geostationary-satellite system in specific frequency bands and services.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

商，確保不會超過規定的干擾門檻。此外，對於涉及特定頻段的敏感應用，如無線電導航或氣象觀測，ITU 更是要求更高程度的協調與保護。最後，「國際無線電規則」第 9.21 號條款指出，在特定頻率的使用中，若表中附註有要求，主管機關需取得其他國家同意才能進行登記，這進一步強化國際合作與共識機制。



Cases	Provisions
GSO to **GSO**	No. **9.7**, Art. **7** App. **30/30A**
ES GSO to **non-GSO**	No. **9.7A**
non-GSO to **ES GSO**	No. **9.7B**
BSS (GSO/non-GSO) to **TS**	No. **9.11**
Non-GSO to **Non-GSO**	No. **9.12**
Non-GSO to **GSO**	No. **9.12A**
GSO to **Non-GSO**	No. **9.13**
Non-GSO/GSO to **TS**	No. **9.14**
ES to **TS**	No. **9.15, 9.17**
ES to **ES**	No. **9.17A**
Requirement to seek the **agreement** of other administrations	No. **9.21**

圖 2- 2、衛星干擾與協調授權案例與對應規定

來源: ITU-R，本研究整理

2. WRC-23 後重點挑戰

依據 ITU-R 之資訊，非同步衛星於近年來有開始日亦要升的趨勢，著實成為 WRC-23 後之一大挑戰。由下圖可以觀察到，自 2020 年以來，在海拔高度 2000 公里以下之低軌非同步衛星布建正在迅速成長，特別在 2025 年到 2030 年間，大量大型衛星星座計畫集中於低於 1000 公里的軌道。這些星座多數已進入通知與協調階段，顯示業者正在積極推進頻譜申請與國際協調，以爭取合法營運地位。這樣的集中趨勢不僅加劇軌道與頻譜資源的競爭，也提高了干擾風險，使得 ITU 的協調與監管機制日益關鍵。

若以期間來分析，在 2009 年至 2018 年間，NGSO 非同步軌道星座的活動相對稀少，僅有少量計畫出現，且運作位置多位於高於 6000 公里的軌道，主要進入 ITU 的「通知（Notification）」程序。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

這一階段反映出當時無論是在商業模式還是技術發展方面，NGSO 系統尚未成熟，全球對於大規模 NGSO 星座的投入仍處於初期探索階段，因此頻譜申報數量有限，ITU 處理相關用途的壓力也較低。

然而，自 2019 年起，NGSO 星座的發展明顯加速，特別是在 2020 年後，隨著 SpaceX 的 Starlink、OneWeb 等系統啟動布建，ITU 收到大量頻譜申報，系統集中於 1000 公里以下的低軌道，進入「通知」與「協調（Coordination）」程序。預期在 2025 年至 2029 年間，還將有更多大型星座進入「事先公布（Advanced Publication）」階段，圖中綠色圓形明顯放大，顯示未來幾年 NGSO 星座在軌道與頻譜的競爭將更加激烈。到 2030 年後，雖然仍有些新計畫提出，但整體申報趨勢放緩，顯示 ITU 未來的重點將轉向既有系統的監管與干擾處理。

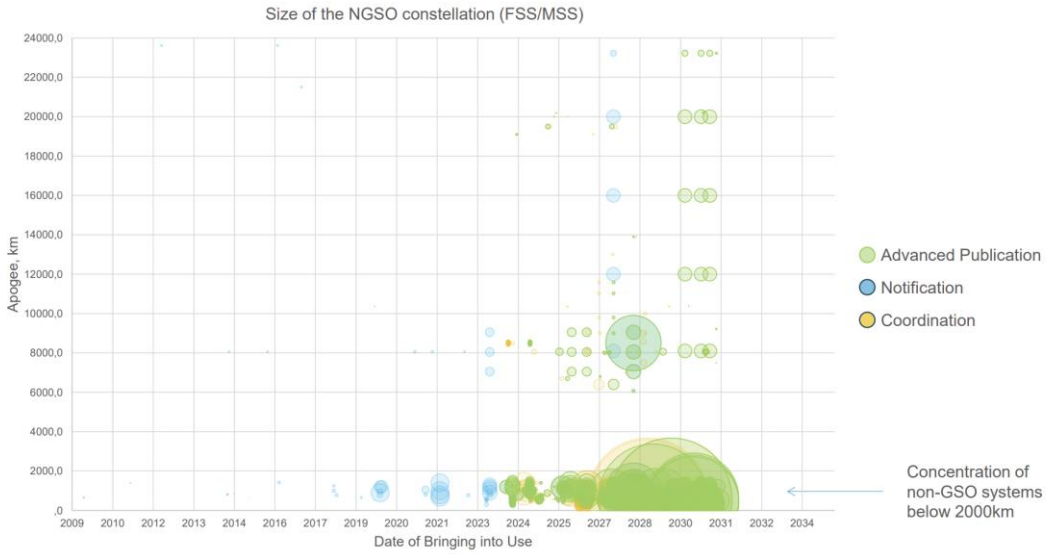


圖 2- 3、非同步軌道衛星於衛星固定與衛星行動之星座布建趨勢

來源: ITU-R，本研究整理

3. WRC-23 衛星通信決議小結

依據 ITU-R 資料，NGSO 非同步軌道衛星系統在近年呈現快速成長的態勢，尤其集中於海拔高度 2000 公里以下的低軌道，這

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

一趨勢已成為 WRC-23 後 ITU 面臨的重要挑戰之一。從上方圖表可見，自 2020 年起，低軌 NGSO 星座的申報與布建激增，預期 2025 至 2030 年間將出現大量新計畫進入「通知」與「協調」程序。此現象顯示業者正積極爭取頻譜資源並加速布建計畫。大量系統集中於相似高度與頻段，將對頻譜相容性與軌道管理構成巨大壓力，未來 WRC-27 必須因應更複雜的干擾防範與協調需求。此外，ITU 原本設計的程序與工具主要針對較分散且數量有限的衛星系統，如今面對成千上萬顆衛星組成的星座，管理挑戰顯著提升。包括 NGSO 與 GSO 系統間的干擾問題、非授權地球電臺的監控難度，以及星座之間的運作參數透明度，都是 WRC-27 須優先處理的議題。

(三) 決議統整

WRC-23 決議涵蓋眾多無線電用途定義、頻率配置、頻譜管理與執行機制等核心議題。在行動通信方面，全球 IMT 頻譜總量提升至 20,436 MHz。低頻段新增 470-694 MHz 分配並允許 HIBS 布建以改善偏遠地區連接；中頻段如 3.3-3.8 GHz、4.8-4.99 GHz 與 6.425-7.125 GHz 被彈性識別為潛在 IMT 頻段，但不具優先權；高頻段 10-10.5 GHz 僅在嚴格技術限制下允許布建。

此外，在衛星通信領域，WRC-23 新增 NGSO 移動式地球電臺頻率、修訂軌道緩衝一致性與里程碑程序以防止頻譜囤積，並更新干擾極限值以保護 GSO 系統，同時亦規範未經授權之地球電臺運作。此外，隨著低軌衛星數量激增，頻譜相容性與軌道管理即將成為 ITU 的重大挑戰。

三、 WRC-27 發展議題

WRC-27 即將於 2027 年召開舉行，其議程並已於 WRC-23 閉幕前正式確定。此屆會議將以衛星與太空議題為核心，相關項目占整體議程約 80%，展現前所未有的關鍵程度。WRC-27 被視為自 1980 至

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1990 年代處理 GSO 地球同步軌道公平存取及制定 NGSO 非地球同步軌道規範以來，最具創新性與影響力的會議，涵蓋月球通信網路建置、NGSO 頻譜存取、太空永續性，以及防止衛星網路提供未經授權用途等多項挑戰。IMT 相關挑戰僅被納入議題 1.7，並聚焦於新頻段使用的可行性評估，後續研究將朝向多用途共存與頻譜共享策略發展。本章節依下圖之概要整理，分別依據 WRC-27 各主要議題類別以簡要說明相關重點內容。

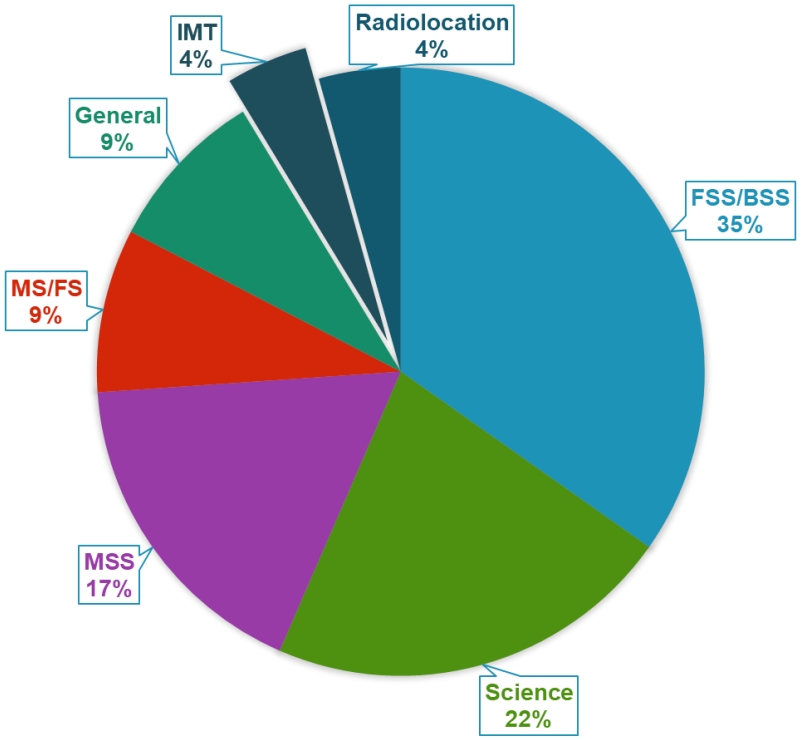


圖 2- 4、WRC-27 主要議題整理概觀

來源: ITU-R，本研究整理

(一) 衛星固定與廣播衛星議題

WRC-27 相關於固定與廣播衛星議題包含有議題 1.1、議題 1.2、議題 1.3、議題 1.4、議題 1.5、議題 1.6 等。此些議程涉及的議題涵蓋 IMT 技術、無線電定位用途、航空行動通信、衛星用途和頻譜共享問題，並強調全球頻譜協調、用途相容性以及新技術的發展需求。

WRC-27 的議程議題 1.1 鎖定於研究航空（Aeronautical）與海

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

事（Maritime）移動式地球電臺在 47.2-50.2 GHz 與 50.4-51.4 GHz 頻段內使用 FSS 衛星固定用途資源的可行性，目標是因應全球對行動通信與寬頻衛星用途日益增加的需求。依據 WRC-23 第 176 號決議[30]，此議題之研究將涵蓋 GSO 與 NGSO 系統下的頻譜需求與技術條件，同時須確保對現有固定、行動、地球探測、太空研究及無線電天文等主用用途在干擾下之保護。

WRC-27 議題 1.2 主要探討在 13.75-14 GHz 頻段內，是否以及如何允許衛星固定用途使用更小尺寸的地球電臺天線進行上行傳輸，同時持續保護該頻段內的主要共用用途，特別是無線電定位用途（Radio Location Service, RLS）和太空研究用途（Space Research Service, SRS）[31]。該頻段自 WARC-92 起已分配給衛星固定用途，WRC-03 曾修改附註第 5.502 和 5.503 條，允許 GSO 衛星固定使用 1.2-4.5 公尺天線，並設定相應的 PFD 功率通量密度與 EIRP 等效全向輻射功率通量密度限制，但當時並未涵蓋 NGSO 系統之議題。由於 GSO 軌道擁擠與 NGSO 系統快速發展，業界希望透過放寬天線尺寸限制來提升頻譜利用效率，滿足全球對小型地球電臺的需求，WRC-23 因此決議要求在 WRC-27 前完成相關研究與貢獻文件的提交。屆時 WRC-27 大會將根據研究結果，審議是否調整天線使用條件與法規架構。綜合觀之，此議題關鍵在於擴大衛星固定用途的使用彈性與容量的同時，維持對共用頻段內其他關鍵用途的技術保護與共存平衡。

WRC-27 議題 1.3 聚焦於評估是否允許非地球同步軌道衛星固定用途系統的閘道地球電臺（Gateway Earth Station）在 51.4-52.4

[30] WRC-23 (2023), Resolution 176- Studies on the use of the frequency bands 47.2-50.2 GHz (Earth-to-space) and 50.4-51.4 GHz (Earth-to-space), or parts thereof, by aeronautical and maritime earth stations in motion in the fixed-satellite service.
[31] WRC-23 (2023), Resolution 129- Studies on possible revisions of sharing conditions in the frequency band 13.75-14 GHz to allow the use of uplink fixed-satellite service earth stations with smaller antenna sizes.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

GHz 頻段進行上行傳輸，並探討相應的法規修訂可能性[32]。該頻段目前僅允許地球同步軌道衛星固定用途使用，最小天線直徑為 2.4 公尺，無法滿足新一代 NGSO 系統對頻譜的需求。隨著寬頻用途需求成長與 NGSO 技術應用擴展，ITU-R 報告指出此頻段對 GSO 與 NGSO 系統皆具有潛在價值。研究重點在於如何兼顧固定用途、行動用途與無線電天文等現有主用途的保護，並確保與相鄰頻段內的被動衛星地球探測用途（Earth Exploration Satellite Service, EESS）共存不受干擾。為此，WRC-27 要求 ITU-R 進行一系列技術與法規研究，包括：NGSO FSS 閘道站與相鄰 EESS 系統間的相容性評估、修訂第 750 號決議以加入 NGSO 系統不必要發射（Unwanted Emissoin）之限制、並確保無線電天文觀測不受影響。此外，ITU-R 也需研究 NGSO 閘道地球電臺對 GSO FSS 太空站可能產生的干擾，並評估是否應將該頻段納入研究範圍。最終，大會將依據研究結果，審議是否應賦予 NGSO FSS 閘道地球電臺在此頻段的主要用途地位，以及採取其他必要的法規行動。

WRC-27 議題 1.4 著眼於為第三區域引入 17.3-17.7 GHz 頻段的衛星固定用途和 17.3-17.8 GHz 頻段的 BSS 廣播衛星用途之太空至地球下行主要用途分配。此舉旨在支持新一代高容量、低成本的衛星通信技術，滿足寬頻與超高畫質電視等應用需求，並改善目前在第三區域衛星固定用途上下行頻段配置不對稱的情況[33]。為促進全球協調，本議題也考慮將目前第二區域針對 NGSO 非地球同步軌道 FSS 系統的 EPFD 等效功率通量密度限制，延伸適用至第一

[32] WRC-23 (2023), Resolution 130- Studies relating to the use of the frequency band 51.4-52.4 GHz to enable its use by gateway earth stations transmitting to non-geostationary-satellite orbit systems in the fixed-satellite service (Earth-to-space).

[33] WRC-23 (2023), Resolution 736- Possible new primary allocation to the fixed-satellite service (space-to-Earth) in the frequency band 17.3-17.7 GHz and possible new primary allocation to the broadcasting-satellite service (space-to-Earth) in the frequency band 17.3-17.8 GHz in Region 3, and consideration of equivalent power flux-density limits to be applied in Regions 1 and 3 to non-geostationary-satellite systems in the fixed-satellite service (space-to-Earth) in the frequency band 17.3-17.7 GHz.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

與第三區域，以保障同步軌道系統不受干擾。為實現上述目標，ITU-R 被要求研究新增分配對第三區域現有用途的潛在影響，特別是與固定用途、行動用途以及現有 FSS 用途之共用與相容性問題，並審慎評估對附錄 30A 中 BSS 後傳鏈路（Backhaul Link）核配的保護需求。此外，也需探討是否可將第二區域適用的 NGSO FSS 之 EPFD 限制拓展至其他區域。整體而言，本議題反映出衛星頻譜分配正朝向更高效率與全球協調邁進，同時強調保護現有用途與技術中立的重要性，為未來通信發展鋪路。

WRC-27 議題 1.5 主要關注於 NGSO 非同步軌道衛星固定用途和 MSS 衛星行動用途地球電臺在未經授權地區進行操作的問題[34]。隨著 NGSO 衛星系統日益廣泛布建，並具有全球用途能力，部分主管機關發現其國內出現了未經授權的地球電臺進行上行傳輸的情況，違反「國際無線電規則」第 18 條中關於操作發射電臺需經授權的規定。此議題旨在探討有效的法規措施，以防範和停止此類非授權的地球至太空發射操作，並在考慮技術可行性的同時維護國際法規的一致性和會員國對其領土內頻譜資源的主權。此外，議題 1.5 也納入對會員國希望將其領土排除在某些 NGSO 衛星系統用途區域之外的需求，並尋求可行的法規方案以反映這些主權考量。ITU-R 被邀請研究相關措施的可實施性，確保在維護會員國權利的同時，不對其他已獲授權的用途產生不利影響。所有研究將著眼於建立清晰可行的國際法規框架，防止頻譜濫用、加強國家監管能力，並促進衛星系統的高效、合法運行，從而提升全球頻譜資源的秩序與利用效率。

WRC-27 議題 1.6 聚焦於確保衛星固定用途在 30、40、與 50

[34] WRC-23 (2023), Resolution 14- Studies on development of regulatory measures, and implementability thereof, to limit the unauthorized operations of non-geostationary-satellite orbit (non-GSO) earth stations in the fixed-satellite service (FSS) and mobile-satellite service (MSS) and associated issues related to the service area of non-GSO FSS and MSS satellite systems.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

GHz 頻段中的公平使用[35]。雖然這些頻段已被主要分配給 FSS，但目前採用的「先到先得（First Come First Serve）」原則可能導致發展中國家難以從技術與發展領先國家中取得資源，進一步加劇全球衛星頻譜使用的不平等現象。此議題強調需研究技術與法規手段，避免部分國家或系統因早期提交而永久占據有限的頻譜及軌道資源，違反「國際無線電規則」第 2 號決議所述不得形成永久性優勢的原則。為了實現公平取用，此議題亦強調考慮發展中國家在頻譜協調與系統布建方面的困難，以及吸取以往如 C 頻段[36]和 Ku 頻段[37] 中 FSS 規劃中因缺乏靈活性而導致的問題。此外，議題 1.6 要求 ITU-R 進行全面研究，評估在上述頻段內制定新技術與法規措施的可行性，同時不得損害現有用途的權益與操作穩定性。研究也需顧及地面用途對干擾的保護機制，並審慎評估 FSS 與 IMT 系統在共用頻段中可能出現的干擾問題。這些研究結果將作為 WRC-27 決策的基礎，期望透過全球協商，推動資源分配的公平性與可持續性，特別是在頻譜資源緊張與新興技術需求快速增長的背景下。

WRC-27 涉及固定與廣播衛星用途的議題包含 1.1 至 1.6，涵蓋 ESIM 在 47-51 GHz 頻段使用 FSS 頻譜的可行性（即議題 1.1）、小型地球電臺在 13.75-14 GHz 的應用與共存挑戰（即議題 1.2）、NGSO 閘道站使用 51.4-52.4 GHz 的可能性（即議題 1.3）、第三區域引入 FSS/BSS 下行用途並提升頻譜對稱性（即議題 1.4）、處理未授權 NGSO 地球電臺操作與主權維護機制（即議題 1.5），以及促進 FSS 在 30/40/50 GHz 頻段的公平取用（即議題 1.6）。這些議題反映出衛星通信在技術創新與全球需求驅動下對頻譜政策調整

[35] WRC-23 (2023), Resolution 131- Consideration of technical and regulatory measures for fixed-satellite service satellite networks/systems in the frequency bands 37.5-42.5 GHz (space-to-Earth), 42.5-43.5 GHz (Earth-to-space), 47.2-50.2 GHz (Earth-to-space) and 50.4-51.4 GHz (Earth-to-space) for equitable access to these frequency bands.

[36] 依據 IEEE 521-2002 標準，C 頻段是指頻率在 4-8 GHz 的無線電波頻段。

[37] 依據 IEEE 521-2002 標準，Ku 頻段是指頻率 12-18 GHz 的無線電波頻段。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的高度依賴，同時強調保護既有用途、維護頻譜秩序與實現全球頻譜公平使用的多重挑戰。

(二) 固定與行動議題

WRC-27 將固定與行動相關之議題，將安排在議題 1.7、議題 1.8、議題 1.9 與議題 1.10 來分別討論處理，目的在解決 IMT 系統技術、RLS 系統、現代航空通信系統和衛星用途的頻譜分配與相容性問題，同時確保全球協調、現有用途的保護以及頻譜資源的高效利用。以下分別簡要整理之。

WRC-27 議題 1.7 設置目標在評估是否可將 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz 與 14.8-15.35 GHz 等頻段識別供 IMT 地面系統使用，以因應未來 IMT-系統技術對高容量、低延遲與連續頻譜區塊的需求[38]。鑑於 IMT 發展對全球經濟與數據流量成長的重要性，此議題要求 ITU-R 完成一系列技術、操作與法規研究，並特別針對 IMT 系統與頻段內既有主要無線電用途（如固定、衛星、氣象、無線電天文等）之共享與相容性進行評估。此外，議題亦強調頻段之新識別應不對現有用途增加額外限制，並需考慮相鄰頻段的保護需求。本議題除針對新頻譜的技術可行性與干擾影響進行評估外，亦重視全球及區域頻率規劃的一致性，以支援漫遊能力與產業規模經濟，並保障各國根據其國情靈活選擇適用頻段的權利。特別是對發展中國家的需求，此議題建議研究涵蓋布建情境、技術演進與實施成本等因素，以協助其克服頻譜分配與 IMT 系統布建上的挑戰。研究結果將於 WRC-27 大會上提供決策依據，評估是否進行頻段識別並制定相應法規安排，以支持全球行動寬頻持續演進並促進頻譜資源的高效使用與公平分配。

[38] WRC-23 (2023), Resolution 256- Sharing and compatibility studies and development of technical conditions for the use of International Mobile Telecommunications (IMT) in the frequency bands 4 400-4 800 MHz, 7 125-8 400 MHz (or parts thereof), and 14.8-15.35 GHz for the terrestrial component of IMT.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

WRC-27 議題 1.8 聚焦於應對 RLS 無線電定位用途在毫米波與亞毫米波頻段日益增長的頻譜需求[39]。這些新興系統與應用涵蓋測距、成像及定位等功能，廣泛應用於公共安全、反恐監測、智慧運輸系統（Intelligent Transportation System, ITS）與高精度物體偵測等場景。為實現這些高解析度技術所需的寬頻寬與全球頻譜協調，議題建議考慮在 231.5-275 GHz 頻段新增 RLS 的主要用途分配，並在 275-700 GHz 頻段為 RLS 應用新增識別。由於主動與被動系統對頻寬和干擾敏感度差異甚大，研究須細緻評估其操作特性、功率需求及與其他無線用途共存的可能性。此議題亦強調需保護現有在相關頻段內運作的用途，包括 EESS 衛星地球探測、無線電天文及其他固定與行動用途，尤其是在已識別不得發射或需嚴格限制干擾的頻段中。為此，ITU-R 被要求針對 RLS 系統與現有或相鄰用途進行共享與相容性研究，並提出技術與法規建議，以作為 WRC-27 是否新增分配與識別的依據。此項目不僅攸關高頻頻段的創新應用，也反映對頻譜保護與高效使用間取得平衡的迫切需求，尤其是在未來無線應用快速發展的背景下。

WRC-27 議題 1.9 聚焦於對「國際無線電規則」第 26 項附錄進行更新，以支持航空行動用途中高頻頻譜的現代化使用[40]。目前，數位航空系統需要與現有的航空類比語音和高頻數位系統共同運作，並且確保不會造成干擾。由於 HF 頻段的傳播特性，飛機能夠進行遠距離通信，因此，現代 HF 系統的引入不僅能夠提升通信能力，還有助於支援航空用途，尤其是在偏遠和海洋區域的通信需求。這些新技術，包含可能的寬頻操作，將有助於提升整體航空 HF 系

[39] WRC-23 (2023), Resolution 663- Studies on possible new additional allocations to the radiolocation service on a primary basis in the frequency range 231.5-275 GHz, and possible new identifications for radiolocation service applications in frequency bands within the frequency range 275-700 GHz.

[40] WRC-23 (2023), Resolution 411- Consideration of appropriate regulatory actions to update Appendix 26 in support of modernization of high-frequency spectrum use in the aeronautical mobile (OR) service.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

統的效能，並可能透過多載波發射來實現寬頻功能。為了支持這些技術的引入，ITU-R 將進行一系列研究，旨在識別現有系統與新技術之間的相容性，並確保不對現有頻率分配和 HF 系統造成不利影響。研究將包括對新發射類別和寬頻系統的引入進行測試，並確保在相同或相鄰頻段的其他用途能夠與航空 HF 系統進行無干擾共享。此外，議題強調在進行第 26 項附錄的修改時，必須保護現有的區域分配，並保持現有系統的穩定性。透過這些研究，WRC-27 將為第 26 項附錄的必要更新奠定基礎，進而改善全球航空 HF 通信的整體效能與可靠性。

WRC-27 議題 1.10 專注於在 71-76 GHz 和 81-86 GHz 頻段中制定衛星用途的 PFD 和 EIRP 限制，目的是為了保護這些頻段中的固定用途和行動用途[41]。隨著固定用途和行動用途技術的進步以及衛星用途的增長，這些頻段的使用情況變得更加複雜。過去的 WRC 會議雖已對這些頻段的使用進行一些分配變更，但由於當時缺乏足夠的資訊，並未完全解決衛星用途與固定以及行動用途之間的共享條件問題。因此，需要進行深入研究，以確定適當的發射限制來保護這些頻段中的現有和規劃中的用途系統。為了進行這些研究，ITU-R 將調查現有衛星用途、固定用途和行動用途之間的相容性，並確保在不影響其他無線電通信用途的情況下進行頻段的保護。這些研究結果將為 2027 年世界無線電通信大會提供決策依據，並可能導致對「國際無線電規則」第 21 條進行修改，以納入針對衛星用途的 PFD 和 EIRP 限制。這樣的改動將有助於平衡各種用途的需求，特別是固定用途和行動用途的增長需求，同時保護頻段內的其他無線電通信用途。

[41] WRC-23 (2023), Resolution 775- Power flux-density and equivalent isotropically radiated power limits for inclusion in Article 21 for the fixed-satellite, mobile-satellite and broadcasting-satellite services to protect the fixed and mobile services in the frequency bands 71-76 GHz and 81-86 GHz.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在 WRC-27 之固定與行動議題範疇內，議題 1.7 將評估將 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz 和 14.8-15.35 GHz 頻段識別為 IMT 國際行動通信系統的頻段，以應對未來 IMT 系統技術對高容量、低延遲與連續頻譜區塊（Block）的需求。此議題強調需進行技術、操作與法規研究，尤其是評估現有無線電用途的共享與相容性，並平衡全球頻譜協調與區域頻率規劃，支持發展中國家克服頻譜分配與布建挑戰，為 WRC-27 大會決策提供依據。議題 1.8 聚焦於應對 RLS 無線電定位用途在毫米波與亞毫米波頻段增長的頻譜需求，並建議在 231.5-275 GHz 頻段分配 RLS 用途，並新增對 275-700 GHz 頻段的識別，保護現有用途免受干擾。議題 1.9 則關注更新「國際無線電規則」附錄 26，支持航空行動用途的現代化，確保數位航空 HF 系統與現有系統相容，並在不干擾其他用途的情況下提升全球航空通信的效能。議題 1.10 則提出在 71-76 GHz 和 81-86 GHz 頻段設立衛星用途的功率通量密度與輻射功率限制，保護固定和行動用途的需求，並平衡各類用途的使用，促進頻譜資源的高效使用。

(三) 衛星行動議題

WRC-27 議題 1.11 至 1.14 聚焦於 1-3 GHz 頻段內，針對 MSS 衛星行動用途與衛星間通信的研究，旨在支持 NGSO 衛星系統、物聯網（Inernet of Thing, IoT）、偏遠地區連接等應用。這些議題探討是否可透過新增或修改頻譜分配來支持衛星對衛星鏈路、低速 MSS 系統與地面 IMT 直接通信等需求，並要求 ITU-R 進行技術、頻譜需求及干擾保護研究，確保新用途發展與現有用途共享相容。

WRC-27 議題 1.11 針對現有 1-3 GHz 範圍內衛星與衛星之間的傳輸問題進行技術、操作和監管研究[42]。目前，這些頻段主要分配給 MSS 衛星行動用途，但現行規則並未包括衛星對衛星的傳輸

[42] WRC-23 (2023), Resolution 249- space-to-space transmissions in the frequency bands 1 518-1 544 MHz, 1 545-1 559 MHz, 1 610-1 645.5 MHz, 1 646.5-1 660 MHz, 1 670-1 675 MHz and 2 483.5-2 500 MHz.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

方向。隨著 NGSO 非同步軌道衛星與地球電臺的連接受限，透過衛星間鏈路實現數據中繼，特別是將低軌道衛星與高軌道衛星連接，能夠提高數據的可用性並支持低延遲應用。儘管已有部分 NGSO 衛星與 GSO 衛星之間的初步技術研究，但衛星間鏈路的共享與相容性問題尚未徹底解決，尤其是 NGSO 衛星之間的問題。研究將探索衛星對衛星鏈路的可行性，並確保不對現有用途造成干擾。在研究中，ITU-R 將評估不同類型的 NGSO 衛星的技術特性，並探討衛星對衛星鏈路與現有用途的共享和相容性問題。此外，研究將著重於開發適當的技術條件和監管條款，確保衛星對衛星用途的操作不會對現有 MSS 用途及其他頻段用途造成有害干擾。最終，WRC-27 將基於這些研究結果，制定必要的監管行動，以確保衛星間鏈路的順利發展並維護頻段內的用途平衡。

WRC-27 議題 1.12 的核心在於應對低速率傳輸 NGSO 非地球同步軌道衛星行動系統對於頻譜日益增長的需求，特別是支持物聯網應用的發展[43]。這些系統以非語音、間歇性數據突發（Burst）方式運作，對衛星通信品質、功耗與頻譜使用效率具有高度敏感性，因而不適合使用目前大多數位於 5000 MHz 以上的 MSS 頻段。此次研究聚焦於 1427-1432 MHz、1645.5-1646.5 MHz、1880-1920 MHz 及 2010-2025 MHz 等頻段，評估是否可以新增或修改其 MSS 無線電用途之識別。考量到這些頻段已廣泛分配給固定、行動用途與 IMT，並實際用於太空運行、無線電天文等重要應用，研究需特別審慎，確保未對現有用途造成干擾。ITU-R 將針對 NGSO 低數據速率 MSS 系統的技術特性、頻譜需求及干擾緩解技術展開研究，同時分析這些系統與現有主要用途在目標頻段及其相鄰頻段間的共

[43] WRC-23 (2023), Resolution 252- Studies on potential new allocations to, and regulatory actions for, the mobile-satellite service in the frequency bands 1 427-1 432 MHz (space-to-Earth), 1 645.5-1 646.5 MHz (space-to-Earth) (Earth-to-space), 1 880-1 920 MHz (space-to-Earth) (Earth-to-space) and 2 010-2 025 MHz (space-to-Earth) (Earth-to-space) required for the future development of low-data-rate non-geostationary mobile-satellite systems.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

享與相容性。研究將遵循不對現有用途施加額外監管限制、不干擾其運作的原則，並確保所有用途受到「國際無線電規則」保護。各主管機關亦被鼓勵提交貢獻文件，支援研究的完整性。最終，WRC-27 將根據研究結果決定是否對這些頻段進行 MSS 分配的調整及制定相關監管條款，以滿足未來小型衛星與物聯網的發展需求，同時維護頻譜環境的穩定與相容性。

WRC-27 議題 1.13 聚焦於評估在 694/698 MHz 至 2.7 GHz 的 IMT 頻段內，新增 MSS 衛星行動用途分配的可行性，以支援太空站與 IMT 使用者設備之間的直接通信[44]。這項研究的核心目的是補充地面 IMT 網路涵蓋，特別是在農村、偏遠地區以及地面網路失效時提供替代連接。隨著對 MSS 系統的需求日益增加，加上現有可用頻譜的不足，ITU-R 被要求研究在不干擾既有用途的前提下，實現這類直接連接所需的頻譜、技術與監管需求，並依據 IMT 頻率配置探討適當頻段。該議題的挑戰在於確保新 MSS 系統能與現有行動用途及其他無線用途共享頻譜、實現技術相容，且不對既有系統造成有害干擾或額外保護義務。此外，研究還需考量不必要發射對無線電天文用途的潛在影響，以及遵循「國際無線電規則」的既有保護規範。WRC-27 將依據這些研究成果，決定是否進行新的 MSS 分配及相關規則修訂，以實現全球更具彈性與涵蓋力的無線通信架構，促進數位包容與普及連接的政策目標。

在 WRC-27 之科學行動通信衛星議題中，議題 1.14 的核心在於研究是否可在 2010-2025 MHz、2120-2160 MHz 和 2160-2170 MHz 等頻段中，為 MSS 衛星行動用途進行新的頻譜分配，以因應全球

[44] WRC-23 (2023), Resolution 253- space-to-space transmissions in the frequency bands 1 518-1 544 MHz, 1 545-1 559 MHz, 1 610-1 645.5 MHz, 1 646.5-1 660 MHz, 1 670-1 675 MHz and 2 483.5-2 500 MHz.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

對無縫、隨時隨地連線需求的迅速增長[45]。這些頻段目前多用於固定、行動、以及太空相關用途，而 MSS 的技術與應用也已大幅發展，尤其在數據通信、偏遠地區連接與災害應變等場景中展現出實用性與成本效益。連續可用的 MSS 頻譜不僅有助於提升管理效率，亦能為衛星和地球電臺的設計提供穩定依據，因此對進一步分配具有實質需求與潛在價值。然而，這項議題的挑戰在於，任何新的 MSS 分配都需與現有主要用途共享頻譜，並確保不造成干擾或施加不當限制。研究將涵蓋頻譜需求評估、技術與監管方案、以及與現有用途的共享與相容性分析，且必須遵守「國際無線電規則」，保障現有用途的正常運行與未來發展。ITU-R 被要求完成必要研究，並由 WRC-27 根據結果決定是否進行頻譜分配調整，藉此回應 MSS 頻譜不足問題，同時維護頻譜環境的穩定與可預測性。

WRC-27 之衛星行動通信議題，議題 1.11 至 1.14 涵蓋 MSS 衛星行動用途在 1-3 GHz 頻段內的多項潛在擴展與調整需求。議題 1.11 針對衛星對衛星通信在該頻段內的技術與監管可行性進行評估，以因應 NGSO 衛星資料中繼的實際需求，並確保不干擾現有 MSS 用途；議題 1.12 聚焦於支持低數據速率 NGSO MSS 系統，特別是物聯網應用的發展，研究新增或調整在部分 1.4-2 GHz 頻段中的 MSS 分配；議題 1.13 則探討在 IMT 頻段內引入 MSS，以支援太空站與地面使用者裝置的直接通信，提升偏遠地區與災害情境下的涵蓋力；而議題 1.14 關注於是否可在 2-2.17 GHz 頻段中新增 MSS 分配，回應對全球隨時隨地連線需求的快速成長。四項議題皆要求 ITU-R 展開詳盡的頻譜需求、技術參數與干擾風險評估，以確保現有無線電用途受保護，同時促進衛星通信與數位包容的進一步

[45] WRC-23 (2023), Resolution 254- Studies on possible new frequency allocations to the mobile-satellite service in the frequency bands 2 010-2 025 MHz (Earth-to-space) and 2 160-2 170 MHz (space-to-Earth) in Regions 1 and 3 and 2 120-2 160 MHz (space-to-Earth) in all Regions.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

發展。

(四) 科學議題

WRC-27 議題 1.15 至 1.19 涉及多個關鍵領域的無線電頻譜研究與調整。議題 1.15 探討應用於月球表面與月球軌道科學研究之頻譜需求，議題 1.16 進行可用以保護無線電寧靜區免受累積干擾之共享與相容性研究。議題 1.17 在評估是否需增設專屬分配與保護機制，以保障接收專用太空天氣傳感器在相關頻段中的運作並避免干擾。議題 1.18 研究如何在 76 GHz 以上的頻段保護 EESS 和 RAS 免受其餘用途的干擾，而議題 1.19 則考慮在 4200-4400 MHz 和 8400-8500 MHz 頻段為 EESS 分配新的主要頻段，以增強海面溫度之監測。

WRC-27 議題 1.15 聚焦於支持月球探索與科學研究所需的無線電通信頻譜，特別是針對月球表面與月球軌道之間，以及月球表面內部系統之間的通信需求[46]。隨著全球對月球探測活動的興趣日增，包含定位導航與資料回傳等應用，使得對可靠且專屬的頻率分配產生迫切需求。此議題指出，現有的 SRS 太空研究用途分配雖已涵蓋部分月球通信應用，但仍需透過 WRC-27 前的技術、操作與共享性研究，進一步評估是否應於若干既有用途使用的頻段中新增或修改 SRS 分配，以支援未來的月球任務。同時，也須考量無線電天文用途的保護需求與技術條件，以避免相互干擾。本議題涵蓋的研究頻段包括從特高頻（Very high frequency, VHF）與超高頻（Ultra High Frequency, UHF）到 Ka 頻段[47]等多個區段，這些頻段目前已分配予多種用途，包括固定、行動、衛星、無線電導航與無線電天

[46] WRC-23 (2023), Resolution 680- Studies on frequency-related matters, including possible new or modified space research service (space-to-space) allocations, for future development of communications on the lunar surface and between lunar orbit and the lunar surface.

[47] 依據 IEEE 521-2002 標準，Ka 頻段是指頻率範圍在 26.5–40GHz 的無線電波頻段。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

文用途等，因此研究重點將在於確保相容性與頻譜共存的可行性。ITU-R 被要求在 WRC-27 前完成多項研究，包括對未來 SRS 系統的頻譜需求、系統特性、傳播特性、以及與既有用途之間的共享與保護準則。此外，本議題也為未來 WRC 會議鋪路，探討是否需進一步調整國際頻譜分配規則，以因應日益多元的月球通信與太空任務需求。此議題不僅具技術挑戰，也關乎國際頻譜管理策略在深入太空探索中的未來角色。

WRC-27 議題 1.16 著眼於如何保護 RAS 無線電天文用途免受不斷增加的非地球同步軌道衛星系統所產生的總體射頻干擾[48]。此議題特別關注兩類無線電天文站點：一是在全球主要分配給 RAS 的頻段內運作的站點，另一則是在經認可的無線電天文寧靜區（Radio Quiet Zones, RQZ）中運作的關鍵設施。隨著非同步衛星數量劇增，即便在遠離人為干擾的 RQZ，無線電天文望遠鏡仍面臨來自衛星不必要發射的潛在干擾，對極為敏感的天文觀測構成威脅。為此，議題 1.16 要求 ITU-R 展開一系列針對單一與多個 NGSO 衛星系統對 RAS 干擾影響的技術研究，包括整體不必要發射的干擾特性、干擾對特定 RQZ 的影響評估、可行的共存與干擾緩解措施、以及在地面閘道站與 RAS 站點之間所需的物理分隔距離。此外，研究也將探索是否應對特定 RQZ 進行國際認可，從而在「國際無線電規則」中提供制度性保障。WRC-27 將根據這些研究成果考慮是否制定新的技術或監管措施，以在推動衛星產業發展的同時，維持無線電天文科學研究的靜默天空。

WRC-27 議題 1.17 的核心目標是回應接收專用太空天氣傳感

[48] WRC-23 (2023), Resolution 681- Studies of technical and regulatory provisions necessary to protect radio astronomy operating in specific Radio Quiet Zones and, in radio astronomy service primary allocated frequency bands globally, from aggregate radio-frequency interference caused by systems in the non-geostationary-satellite orbit.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

器在目前「國際無線電規則」中缺乏監管地位與保護機制的問題[49]。這類傳感器對於觀測和預測由太陽活動引發的太空天氣現象相當重要，其觀測資料廣泛應用於國防、航空、電力、衛星通信與其他對社會與經濟等關鍵領域。由於這些接收系統常依賴特定頻段的極低能量輻射訊號進行探測，若無適當的頻譜分配與保護，將面臨干擾風險，進而影響其科學與預警功能。儘管國際間對其重要性已有共識，目前「國際無線電規則」中仍無頻段專門指定給太空天氣用途，主管機關也無法正式通知這些接收專用站臺的頻率核配。因此，WRC-27 議題 1.17 要求 ITU-R 就接收專用太空天氣傳感器的頻譜需求、保護標準、與其他現有用途的相容性，進行全面研究。特別聚焦於六個特定頻段的潛在主要用途分配，並探索修改「國際無線電規則」以允許這些地球電臺進行頻率登記的可行性。這些研究的前提是新分配不得對現有或鄰近頻段的用途提出保護要求，也不得限制其未來發展。最終目標是讓 WRC-27 能依據研究結果採取適當行動，為太空天氣觀測建立更具保障的監管架構，同時維持頻譜使用的協調與穩定。

WRC-27 議題 1.18 鎖定於保護衛星地球探測用途與無線電天文用途在 76 GHz 以上頻段免受來自不必要發射的有害干擾[50]。這些無線電用途仰賴特定頻率進行自然現象的觀測，無法透過更換頻段來避免干擾，因此其頻譜環境的穩定性至關重要。議題要求 ITU-R 針對 EESS 頻段與相鄰用途，以及所列的 RAS 頻段與附近的太空用途，進行相容性研究，以評估干擾風險並制定合適的保護條件。這些研究結果將用於更新 ITU-R 之相關研究，以保障其科學與氣候監測功能的長期持續性。目前，ITU-R 已建立 EESS 與 RAS 的

[49] WRC-23 (2023), Resolution 682- Consideration of regulatory provisions and potential primary allocations to the meteorological aids service (space weather) to accommodate receive-only space weather sensor applications in the Radio Regulations.
[50] WRC-23 (2023), Resolution 712- Studies on compatibility between the Earth exploration-satellite service (passive), the radio astronomy service in certain bands above 76 GHz, and active services in adjacent and nearby frequency bands.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

技術與干擾標準，WRC-27 並無意更動這些保護條件與頻段分配狀態。議題 1.18 的主要挑戰在於太空用途的發展趨勢，使得高頻段頻譜使用越來越密集，對於位於鄰近頻段的無線電用途構成潛在威脅。透過 ITU-R 之相關研究，WRC-27 將能根據量化的相容性分析結果，調整相關監管框架，確保在推動無線電技術創新發展的同時，亦能維護全球科學研究與氣候監測的核心頻譜資源不受干擾。

WRC-27 議題 1.19 旨在評估是否能在 4200-4400 MHz 和 8400-8500 MHz 頻段內，新增衛星地球探測用途的主要分配，以支持海面溫度（Sea Surface Temperature, SST）測量任務[51]。SST 資料對於預測極端氣象事件及分析氣候變遷相當重要，特別是透過微波技術可每日不受氣候條件影響進行全球性觀測。現行微波傳感器已廣泛應用於 6.4-7.25 GHz 頻段，並計畫在 8.4-8.5 GHz 頻段實施更進一步的 SST 探測，因此對於能否在此新增頻段取得正式分配進行探討，具有高度政策與技術價值。議題強調新增分配的研究不會尋求對現有用途提供保護，而是聚焦於共享與相容性評估，以確保在不干擾現有用戶的前提下，支援 EESS 在 SST 偵測上獲得所需頻譜資源。特定頻率範圍（如 4-9 GHz）因具備有利於海面亮度溫度觀測的物理特性，具潛力作為現有 SST 頻段的互補選項。若 ITU-R 的相容性研究顯示具可行性，WRC-27 將考慮在全球各區域對上述兩個頻段進行主要分配，進一步強化全球氣候觀測體系的頻譜保障與長期可持續性。

WRC-27 之科學議題，主要聚焦於評估和解決各種用途的頻譜需求。議題 1.15 檢視可應用於月球與其表面活動之潛在頻段，以應對日益增長的各式科學無線電寬頻需求；議題 1.16 探討透過相容性研究更新無線電法規以保護無線電寧靜區免各式無線電干擾。議

[51] WRC-23 (2023), Resolution 674- Studies on possible allocations to the Earth exploration-satellite service (passive) in the bands 4 200-4 400 MHz and 8 400-8 500 MHz.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

題 1.17 關注保護用於太空天氣監測的 EESS 衛星地球探測用途，確保傳感器的保護措施得到監管支持。議題 1.18 處理了如何保護 EESS 和 RAS 用途免受 76 GHz 以上相鄰頻段用途干擾的問題；而議題 1.19 則評估為 EESS 在 4200-4400 MHz 和 8400-8500 MHz 頻段分配新頻段的可能性，以增強海面溫度測量。這些議題共同關注頻譜分配和保護，以支持行動通信、氣候監測和太空天氣研究的進步。

(五) 發展趨勢總結

即將於 2027 年召開之 WRC-27 被視為自 1980 至 1990 年代以來最具創新性與戰略影響力的一個會期。其議題以衛星與太空為核心，占比高達 80%，涵蓋月球通信、NGSO 頻譜存取、太空永續，以及防止未授權用途等挑戰，顯示全球通信正快速走向地空融合。

WRC-27 議程圍繞五大類別展開，包含固定與廣播衛星聚焦於高頻段使用與頻譜公平，固定與行動則研究 6G 相關頻段如 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz 的可行性，衛星行動重點在 MSS 與 IoT、D2D 衛星直連通信裝置的新需求，科學領域則著重於月球探測、無線電天文與地球觀測的頻譜保護。這些研究皆反映了從傳統地面行動網路向衛星與科學應用延伸的趨勢。

在 6G 頻譜規劃方面，ITU-R 將透過 WP 5D 與 WP 4C 展開技術準備與相容性研究，特別是議題 1.7 涉及三個 IMT 候選頻段的共享挑戰，以及 D2D、LDR-MSS 等衛星行動與 IMT 整合應用。這些議題顯示未來 6G 網路將不僅侷限於地面系統，而是邁向地面與非地面網路的融合，支撐偏遠地區連接、物聯網及災難應變等多元應用。

四、 6G 國際標準發展與實務考量

第六代行動通信系統，即俗稱之 6G，發展起源於 2023 年，ITU

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

正式將下一代行動通信技術命名為 IMT-2030[52]，並提出願景與藍圖[53]，自此開啟了次世代行動通信的新世代。各國政府、產業組織與國際企業紛紛投入資源，正式推動 6G 技術的研發與布建。在 ITU 設定的應用場景與性能需求指引下，全球產業共同努力發展、測試並建設相關系統。同時，ITU 也積極尋找可用頻譜資源，並於 WRC-27 設定相關之無線電頻譜議題，以為 6G 發展奠定基礎。

(一) 國際標準發展與頻譜實務

為因應 ITU 所設下之 6G 標準統發展需求與時程，3GPP 國際標準於 2025 年 3 月在南韓仁川舉辦的 6G Workshop，成為 6G 行動通信技術發展的重要里程碑。來自電信業者、半導體製造商與人工智慧領域的專家共同參與，展現出跨領域發展下世代無線電系統之態勢與精神，並針對 6G 之技術願景、研究方向與標準化挑戰展開深入討論與交流。該研討會圍繞多項核心議題，包括人工智慧驅動的網路自動化、永續的網路設計，節能減碳，以及在偏遠和未充分用途地區實現無所不在的連接。會議亦聚焦於多項關鍵技術創新，與 6G 應用的潛在關鍵技術，並強調全球合作對於制定統一且前瞻性的重要性。此次會議目標在 3GPP 下階段無線技術標準的制定，涵蓋包含無線電頻譜及其他廣泛之議題，成為了推動 6G 發展的關鍵會議。本研究將該 6G Workshop 會上所關注討論之內容與結果整理如下，以供作為 6G 候選頻譜之實務參考[54]。

[52] 在 2023 年召開的無線電通信大會（Radio Assembly，RA），ITU-R 修訂並通過了相關決議與建議書，確立了 IMT-2030 的正式名稱與框架，https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx（最後瀏覽日：2025/10/1）。

[53] ITU-R (2023), Recommendation M.2160- Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond.

[54] 3GPP 6G Workshop, available from https://www.3gpp.org/technologies/6gworkshop-2025. (last visited 2025.10.01).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw



圖 2- 5、6G 標準實務意見整理

來源: 3GPP，本研究整理

(二) 6G 標準產業規劃

從 3GPP 6G Workshop 會上所討論之產業規劃可得之，隨著 WRC-23 告一段落，6G 的頻譜規劃逐漸成為全球關注焦點。在產業區動力方面，6G 不僅是通信技術的下一階段，更是推動未來數位經濟、智慧都市與沉浸式應用的關鍵基礎。與 5G 相比，6G 承載著更高的應用期待與技術複雜度，其頻譜政策須回應資安強化、永續發展及產業競爭力等多重挑戰，成為國家策略佈局的一環。

在多元利害關係者的角色與挑戰方面，6G 頻譜政策涉及廣泛利害關係者，包括設備商、網路商、政府機關、研究單位與國際組織等。這些單位在標準制定、政策協調與產業發展中各自扮演關鍵角色，也必須在資源分配與全球協調間取得平衡。唯有建立有效協商機制，並兼顧公平性與創新推動，才能確保頻譜資源的最大化利用與可持續發展。

考慮到 5G 經驗對 6G 策略的啟示，從回顧 5G 的布建經驗，產業面臨諸多挑戰，包括架構複雜、布建成本高、系統互通性不足等。這些問題提醒 6G 策略必須更強調設計簡化與應用導向，以提高布建效率並降低營運門檻。5G 的瓶頸也突顯頻譜規劃應更具前瞻性與彈性，避免落入推廣初期成效不彰的困境。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

最後在 6G 優先願景方面，3GPP 與會代表更聚焦於創造全新價值與支援未來應用的能力。未來的網路架構須具備高度整合性與互通性，能夠無縫結合衛星通信、專網布建、AI 運算與物聯網等多元技術。隨著沉浸式體驗、全域感知與自動化需求日增，6G 將成為支撐智慧社會與數位經濟的核心基礎。在頻譜方面，產業界積極支持推動釋出新興頻段，認為這些資源將決定未來通信技術的發展邊界與創新潛力。因此，6G 頻譜規劃須提前布局，並以靈活、高效且應用導向的策略來因應快速演進的需求。

(三) 6G 系統技術實務

依照本研究對 3GPP 6G Workshop 會上技術實務意見所整理之主流發展看法，6G 的「系統」建構必須在技術創新、市場可行性、成本控制與政策監管之間取得協調。AI 雲端原生架構與獨立組網能力將是核心設計思維，使網路具備更高的自我管理與彈性。面對未來各種創新應用，非地面與地面網路的融合也將是實現全球涵蓋與用途普及的關鍵。用途應用的多樣化將驅動 6G 朝向更多垂直場域發展，包括智慧醫療、自駕車、虛實融合、工業自動化等新六大類型用途。這些應用對系統穩定性、連線品質、資料安全與資源調度都提出更高要求，未來的 6G 系統需具備用途導向的彈性架構以因應。

在「網路」層面，6G 將進一步強化 5G 核心網，導入更智慧的資源配置與自動化運維機制。透過分散式模組化設計與邊緣計算整合，不僅能提升網路效率與韌性，也有助於支援多樣場景的即時反應與穩定連線，提供使用者無縫、穩定的體驗。

此外，在「技術」方面，6G 不僅是 5G 的延伸，而是通信、計算、AI 與感知的深度融合。技術研發需朝向資源最大化利用、能源效率最佳化與網路安全可信方向推進。這包括 AI 輔助網路管理、綠色節能技術、新型波束成形與多接取架構等，打造高度智慧與永

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

續的通信環境。

從「頻譜」面向來討論，頻譜管理與共享效率亦是 6G 成功的另一項關鍵因素。隨著低、中、高頻段的發展與被納入使用，新的頻譜協調與共享機制需要重新設計，以提升頻譜資源使用效率。此外，跨網路體系之間的無縫互通也將成為網路基礎設施的重要目標，確保不同設備與平臺間的連結性。

最後在「標準」層面，3GPP 標準制定將繼續主導 6G 整體發展時程與方向。6G 的發展時程已由國際組織如 3GPP 與 ITU 明確規劃，目前正處 Rel-20 版本之 6G 研究階段，並即將於 2026 年 Rel-21 確定主要技術項目，並在 2029 年發布正式標準，接著於 2030 年啟動商業布建。這段期間將是各國與產業鏈布局的關鍵時機，透過積極參與國際標準制定、技術試驗與實驗場域建置，不僅能掌握未來技術走向，更能在全球 6G 競局中取得主導地位。標準的推進將直接影響技術採用、產業投資與市場競爭力，是 6G 成功實現的根本依據。

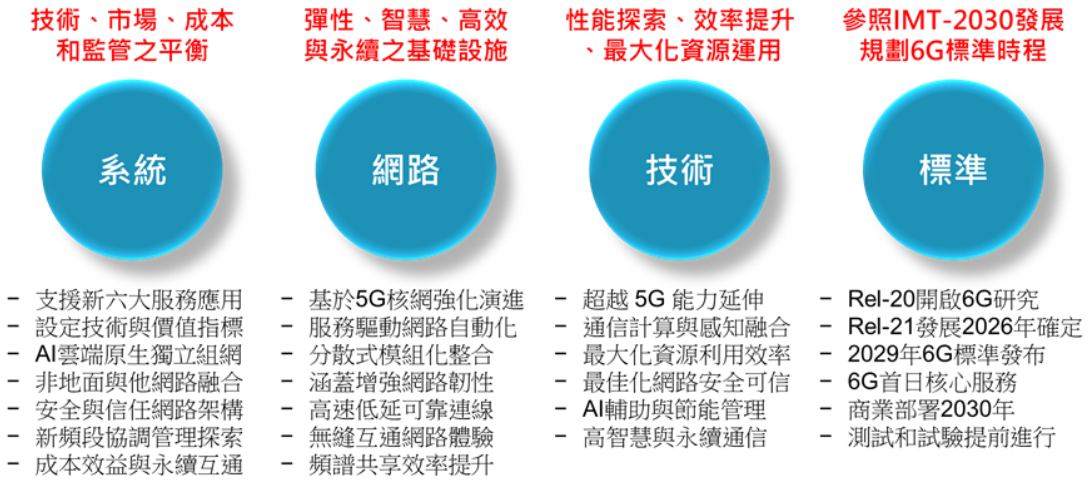


圖 2- 6、6G 系統實務看法彙整

來源: 3GPP，本研究整理

(四) 6G 候選頻譜與實務議題

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在 WRC-23 會議之後，各國對於 6G 技術發展所需的候選頻譜逐漸明朗。頻譜資源的選擇與分配，將直接影響 6G 的應用場景、網路性能與全球標準化進程。從目前各界關注的四大頻段，即低頻（Sub-1 GHz）、中頻（7-24 GHz）、高頻（24-90 GHz）、次太赫茲（90-300 GHz）來看，各自具備不同的技術特性與應用優勢，同時也面臨各異的實務挑戰。

低頻段在 6G 候選頻譜中因其卓越的涵蓋能力與良好的穿透性，被視為支援廣域通信及非地面網路（Non Terrestrial Network, NTN）[55]的理想選擇，尤其適用於偏遠地區、車聯網與物聯網等場景。此頻段具備頻譜再利用與重整潛力，且在技術上具備頻譜共享與連續性優勢。然而，受限於現有系統高度佔用與頻譜資源稀缺，該頻段的新頻譜釋出空間有限，且頻譜效率較低，難以滿足 6G 對超高容量與高速率的需求。此外，多系統共存與升級帶來的技術挑戰，對設備設計與用戶體驗提升也構成不小壓力。

中頻段，即 7-24 GHz，被視為 6G 實現高容量與高效率的關鍵頻段，特別是在 7-15 GHz 區段已被納入 WRC-27 議題之研究，具有成為全球協調頻段的潛力。該頻段能有效填補現有低頻段與高頻段頻譜之間的空缺，兼顧涵蓋範圍與資料傳輸能力，並可重複利用既有站點以降低建設成本，具備高度實務應用價值。然而，中頻段在穿透能力上不如低頻，並存在頻率分佈零碎、系統碎片化與干擾管理難度高等問題，對基地臺設備的設計、安裝與網路協調能力提出更高要求，也加重了頻譜管理與全球協調的挑戰。

[55] 根據 3GPP TS 38.811 標準文件之定義，NTN 是指利用衛星或高空平臺系統來提供無線通信用途的系統，作為地面網路的延伸或補充。NTN 的目的是實現更廣泛的涵蓋，特別是在地面網路無法或難以到達的偏遠地區，如海洋、山區或災區。自 3GPP Release 17 起，NTN 即被正式納入 5G 標準，支援包括行動寬頻、物聯網與緊急通信等多種應用，並在後續版本持續擴展其功能，以實現全球無縫連接與增強的網路彈性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

關於 24-90 GHz 之頻段，即俗稱之毫米波（millimetre Waves, mmWAVE），具備極高的頻寬資源，可實現 6G 所需的極大容量與高速傳輸效率，非常適合用於城市熱點、工業自動化、高速列車與高精度感測與定位等場景。其支援高密度用戶與大量資料交換，亦有助於提升整體系統容量。然而，毫米波訊號容易受遮蔽物阻擋，穿透與傳播距離有限，因此需布建大量小型基地臺，造成網路建設成本與能源消耗負擔上升。此外，毫米波設備設計複雜、體積較大且功耗高，也使得其大規模應用仍面臨實務性挑戰，特別是在行動網路回傳鏈路容量與全球協調方面仍需進一步突破。

次太赫茲頻段，約包含 90-300 GHz 之頻率區間，被視為 6G 中長期發展的前瞻性頻譜資源，具備提供極高傳輸速率與超大頻寬的潛力，特別適合支援未來如全息通信、虛擬實境、超高解析度感測等創新應用。由於目前該頻段尚未被廣泛使用，具有開發新頻譜資源的空間，有望為 6G 注入突破性能力。然而，次太赫茲頻段在傳輸特性方面仍面臨諸多挑戰，包括高傳播損耗、遮蔽效應顯著及訊號衰減快速等問題。此外，相關設備的設計技術門檻較高，普遍存在功耗大、成本高等限制，整體技術發展尚未成熟，致使該頻段在短期內難以具備大規模布建的可行性。值得一提的是，在本次 3GPP 6G Workshop 數百篇之貢獻提案統計中，僅有一項提案直接建議支持次太赫茲頻段應用於未來 6G 技術，反映出國際主要廠商對於此頻段實務應用效益仍持審慎保留態度。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

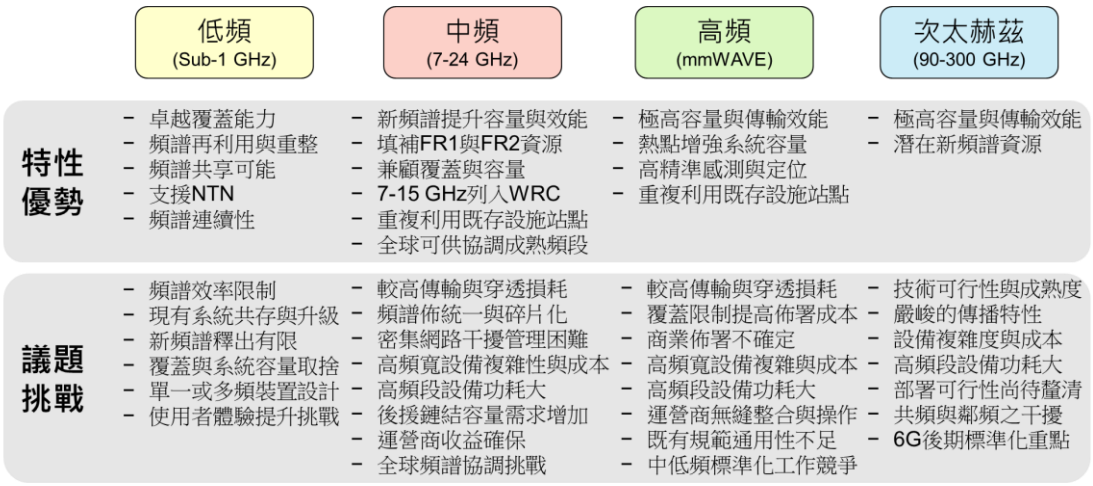


圖 2- 7、6G 各候選頻譜優勢與挑戰

來源: 3GPP，本研究整理

(五) 6G 國際標準實務彙整

6G 已於 2023 年確立願景，各國政府與產業皆以加速投入研發，而 2025 年 3 月所召開之 3GPP 6G Workshop 即為其發展里程碑，聚焦 AI 驅動網路自動化、節能減碳與偏遠地區普及連接，並強調跨領域合作。會上主軸在推動數位經濟與沉浸式用途，以及關注政策與產業規劃，同時亦聚焦於資安、永續與布建效率。

技術面上，6G 系統將融合 AI、雲端原生架構、非地面網路與地面網路，支撐智慧醫療、自駕車、工業自動化等新應用。研發方向著重於能源效率、頻譜共享與網路安全，並導入分散式與邊緣運算提升韌性。在標準化時程方面，3GPP 規劃於 2026 年確定核心技術、2029 年完成標準、並於 2030 年啟動商用。

頻譜議題方面，6G 將涵蓋低頻、中頻、高頻毫米波、與次太赫茲等多層級資源。ITU-R 主導技術研究，並透過 WP 5D 與 WP 4C 來分別負責 IMT 新頻段與衛星行動/非地面網路相容性議題。因此，WRC-27 將成為全球協調 6G 頻譜與推進地空融合應用的關鍵平臺。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 WRC-27 研究與實測研析

在籌備 2027 年世界無線電通信大會的過程中，ITU-R 正積極考量為 IMT 地面系統識別新的頻段，並已展開相關研究工作。IMT-2030 的標準化作業亦在 ITU-R 中如火如荼地展開推進，預計將於未來數年內完成。WRC-27 因此將在 6G 頻譜規劃上扮演關鍵角色，為 6G 於全球範圍內的布建奠定必要的頻譜資源基礎。

一、 6G 頻譜研究架構概觀

過去 30 年來，ITU 協調全球政府與產業界合作，推動全球寬頻多媒體行動通信系統的演進。ITU-R 設置有研究群組（Study Groups, SG），為無線電通信領域中制定國際標準與技術指導的重要機構，負責依據 WRC 大會所分配的研究議題，開展標準化相關工作。研究小組的任務涵蓋頻譜與衛星軌道資源的高效管理、無線電系統的特性與效能分析、無線電收發裝置操作準則的制定，以及與緊急與安全通信有關的技術規範，並特別關注發展中國家在無線電通信領域的發展需求。研究小組之組成主要來自全球的政府代表、產業專家與學術界人士，並透過廣泛的合作與技術交流，共同推動無線電頻譜解決方案的研擬與落實[56]。

ITU-R 研究小組主要任務，在針對各項無線電議題提供技術研究與專業意見，以促進 WRC 大會作成各項決議。下圖全面整理並概述從 1 GHz 至 15 GHz 各主要頻段於 WRC-27 中的相關議題安排，以及其與 IMT 系統之間的關聯性，並由 ITU-R 依據專業，交付權責之研究小組來進行相關討論。依據本研究之整理，450-960 MHz 與 1427-2690 MHz 等頻段已納入 WRC-27 議題 1.13，並涉及其他與行

[56] 研究小組制定的建議書與技術報告屬於非強制性文件，但其專業性與國際共識使其在全球通信產業中被廣泛採用，也因此成為制定國家政策與產業標準的重要依據。透過這些研究成果，ITU 得以促進全球無線電通信的協調發展，確保技術演進過程中資源使用的公平性、效率與永續性，實現跨國界的合作與標準一致性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

動通信衛星相關的議題，目前正積極進行 IMT 系統的頻譜特性研究。至於 3300-4200 MHz 與 6425-7125 MHz 雖未被列入特定的 WRC-27 議題，但正在針對其與現有系統的共存可行性進行技術研究。另一方面，高頻段如 4400-4990 MHz、7125-8400 MHz，以及 14.8-15.35 GHz 亦已納入議題 1.7，重點研究其未來作為 IMT 應用的潛力與頻譜特性。此圖說明 IMT 頻譜擴展與與既有用途共存所展開的前期規劃與技術評估，後續將依據各相關負責工作小組的任務進行深入說明與分析。

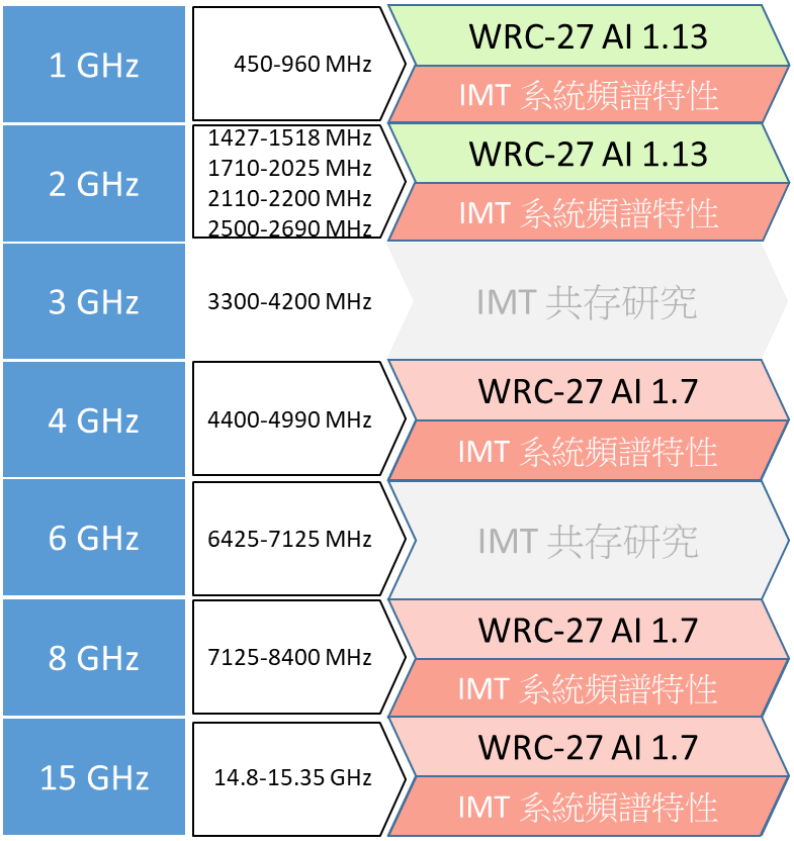


圖 2- 8、ITU-R 行動通信頻譜研究概觀

來源: ITU-R，本研究整理

(一) WP5D 使命與研究

ITU-R 工作群組 5D（Working Party 5D, WP 5D），隸屬於第五

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

研究群組（Radiocommunication Study Group 5, SG5）[57]，負責 IMT 系統地面部分的整體無線電系統相關事務，涵蓋 IMT-2000、IMT-Advanced、IMT-2020 以及正在發展中的 IMT-2030。自 2000 年以來，3G、4G、5G 乃至 6G 等全球商用行動網路世代相繼推出，皆以 IMT 概念為基礎，持續促進 IMT 發展成為全球行動用途的核心。WP 5D 不僅維護現有 IMT 系統，也就未來 IMT 發展的技術、營運與頻譜議題進行研究，並為持續為 WRC 大會提供所需研究資料與建議。

WP 5D 的職責主要涵蓋 IMT 地面行動通信之技術規劃、頻譜使用與系統操作議題，同時與其他 ITU 工作群組，如負責衛星相關議題的 WP 4B 與 WP 4C 密切協作，協調處理 IMT 衛星行動通信的對應事項。該工作組也與 ITU-T 和 ITU-D 常態進行連絡合作，共同推動 IMT 在網路標準化以及於發展中國家的實施與應用。此外，WP 5D 亦主導 WRC-27 相關於 IMT 無線電頻譜之技術準備，聚焦於頻段共享、系統相容性等重要研究課題。

在邁向 WRC-27 的準備過程中，WP5D 之核心任務圍繞議程議題 1.7，聚焦於評估多個頻段作為未來 IMT 用途的可行性。WP5D 不僅負責 IMT 技術的標準制定與演進，也主導針對 4400-4800 MHz（第一區域與第三區域）、7 125-8 400 MHz（第二區域、第三區域、並包含部分頻段之第一區域）及 14.8-15.35 GHz（第一區域、第二區域與第三區域）等頻段在特定地區的識別研究，並進行與現有用途的共用與相容性分析，確保頻譜共存不致對既有用途造成干擾。該工作小組亦制定技術參數與傳播模型，並與其他 ITU-R 工作小

[57] SG5 負責處理與無線電通信技術及操作相關的各項議題，主要透過其下設的工作組來推動研究工作，依照 RA-23(Radiocommunication Assemblies 2023)後之設置，包括 WP 5A、WP 5B、WP 5C 和 WP 5D 等。SG5 的主席目前是由韓國的 KyuJin WEE 博士擔任，另有一名顧問(Counsellor)負責協助行政與其他事務，現今為德國籍之 Uwe Löwenstein 先生。這些權責機構和專業人員共同確保 SG5 在全球無線電通信領域在朝向 WRC-27 之各項工作順利發展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

組協調頻段重疊或鄰近問題。同時，WP5D 致力於能力建構與方法論推廣，以支援各國參與共享研究，並準備提交至 WRC-27 的相關報告與草案文件，為全球頻譜政策提供科學依據與決策準則。本研究將 WP5D 所負責 WRC-27 議題 1.7 之研究概觀於下圖。

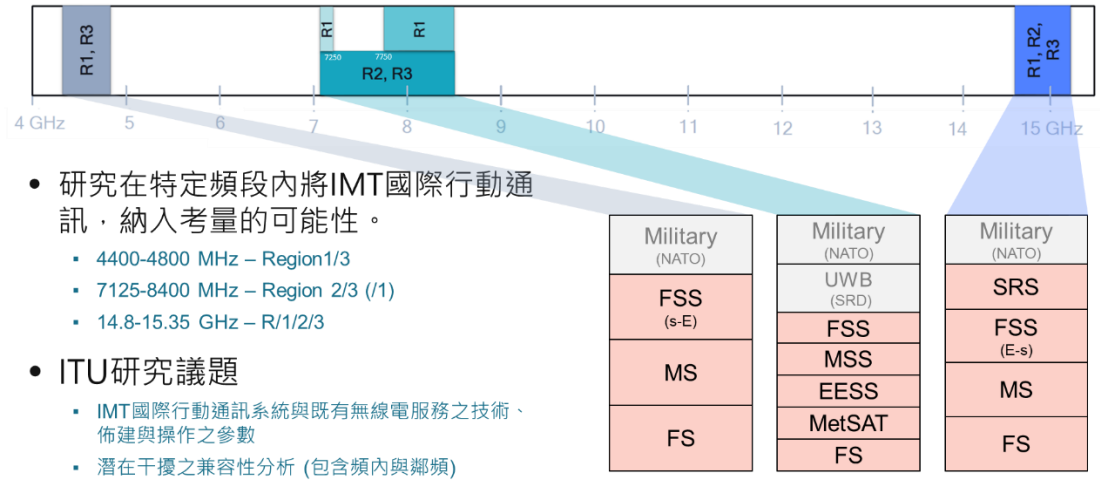


圖 2- 9、WRC-27 議題 1.7 研究概觀

來源: ITU-R，本研究整理

(二) WP4C 任務與權責

ITU-R 工作群組 4C（Working Party 4C, WP 4C），隸屬於第四研究群組（Radiocommunication Study Group 4, SG4）[58]，專注於提升 MSS 衛星行動用途與無線電衛星測定用途（Radiodetermination Satellite Service, RDSS）系統的軌道與頻譜資源使用效率。該工作組負責分析 MSS 與 RDSS 系統彼此之間，以及與其他無線電通信用途之間可能產生的干擾，並針對不同情境開發有效的協調與干擾管理方法。研究也涵蓋了這些系統在緊急通信、海事與航空通信、時間同步與定位等應用領域中的潛力，旨在強化其在公共與專業領

[58] SG4 主要負責與衛星用途相關的研究工作，處理與無線電通信技術及操作相關的各項議題，並透過一系列建議書、報告和手冊之制定，來促進衛星通信技術的發展與規範。在 RA-23 後，SG4 從下設置有 WP 4A、WP 4B、和 WP 4C 等工作組。SG4 的主席目前是由俄羅斯聯邦之 Victor Strelets 先生擔任，並由中國籍 Ruoting Chang 之顧問負責協助行政與其他相關事務。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

域的應用能力。

WP 4C 制定與維護相關的 ITU-R 建議和報告，為全球衛星通信政策與標準的發展提供技術依據與參考。這些研究成果不僅促進國際間的技術合作與知識共享，也對 WRC 大會的政策討論與決策形成具體影響，尤其是在頻譜共享與干擾解決等重要議題上發揮作用。透過不斷的技術分析與制度研擬，WP 4C 積極研究在未來無線電通信會議中可能的新頻段分配與監管措施，尤其是低數據速率 NGSO 非同步軌道衛星行動系統的頻段需求。該小組還關注太空對太空之鏈路、衛星與地面通信的協調問題，以及衛星行動用途與地面 IMT 系統之間的共存與相容性問題，以確保衛星用途在多元通信需求下仍能高效、穩定地運行[59]。

在 ITU-R 準備 WRC-27 太空議題之研究過程中，WP 4C 將重點鎖定在多項與 MSS 衛星行動用途及 RNSS 無線電衛星導航用途相關的議題，包括：評估在 1518-1544 MHz 等多個頻段中 MSS 的太空到太空鏈路可行性，探討低數據速率非同步軌道衛星行動系統於特定頻段的未來頻譜分配及監管措施，評估 694/698 MHz 至 2.7 GHz 間頻段中用於 MSS 與 IMT 用戶終端直接連接的新分配可能性，審議在第 1 與第 3 地區中額外分配 2010-2025 MHz 與 2160-2170 MHz 頻段給 MSS 的可行性，以及研究將 5030-5250 MHz 頻段部分用於 RNSS 太空到地面鏈路的分配。此外，WP 4C 亦將考慮針對非同步軌道衛星地球電臺未經授權運作的監管限制，以及處理

[59] WP 4C 之主席目前由日本 KDDI 公司之 Nobuyuki Kawai 先生來擔任，並統籌指導行動通信衛星用途之相關研究工作，並積極關注未來可能出現的頻譜規劃課題，以為 WRC 大會等國際會議提供技術研究與準備支援。面對低軌道 MSS 衛星行動用途需求的快速成長與多元新興應用的興起，該工作組正持續評估新頻段分配的可行性與相應的監管措施，同時深入探討其與地面 IMT 系統之間的共存與相容性問題。此外，WP 4C 在太空鏈路（Space-to-Space Links，SSL）及衛星與地面系統協調運作方面的研究投入，也為全球衛星通信的永續發展提供了持續性的研究資訊。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

非同步軌道衛星系統用途區域相關的政策問題。

在 WP4C 所負責的與 6G 頻譜相關之衛星行動通信議題中，有三項議題特別值得關注與討論。首先，隨著 NGSO 非地球同步軌道衛星系統的布建，以及物聯網與廣域聯網需求的迅速成長，現有頻譜資源已難以滿足市場需求。議題 1.12 聚焦於低傳輸速率（Low Data Rate, LDR）衛星行動用途，主要目的是補足 5GHz 以下頻段中語音與低速資料傳輸的頻譜不足問題。其次，為了補強地面 IMT 網路在偏遠或災難地區的不足，議題 1.13 聚焦於衛星直連通信裝置（Direct-to-Device, D2D）之衛星行動用途。隨著技術日益成熟，衛星與終端裝置之間的直接通信已成可行，並可用於支援公共安全與緊急用途。此議題強調考量不同地區的使用可行性與需求，促進 MSS 與現有 IMT 系統之協同運作。最後，議題 1.14 回應全球對衛星行動用途日益增長的需求，特別是在行動通信與衛星技術加速融合的背景下，強調提供更具彈性與可靠性的用途支援。此議題的重點為探索新型 MSS 系統之頻譜配置方式，並確保其能與地面 IMT 系統共存。相關研究涵蓋未來 MSS 布建所需的頻率條件與政策方向，以推動下一代整合型衛星行動用途的發展。WP4C 將針對此三大議題探討研究 694-2700 MHz 之無線電頻譜之相容性與配置可行性。

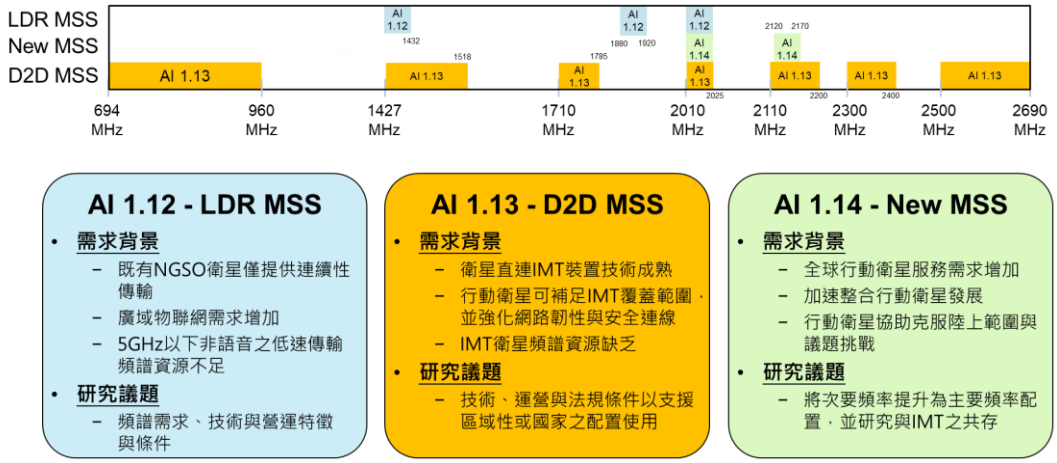


圖 2- 10、WRC-27 衛星行動於 IMT 頻譜議題之研究概觀

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源: ITU-R，本研究整理

(三) ITU-R 頻譜研究更新

ITU-R 負責全球無線電頻譜規劃，是 6G 發展的核心推動者。其下工作群 WP5D 聚焦 IMT 地面系統的技術與頻譜規劃，主導 WRC-27 議題 1.7 的研究；WP4C 則專注衛星行動用途與非地面網路的效率提升與相容性，負責 D2D 衛星直連、物聯網衛星應用等議題。

在地面頻譜方面，WP5D 針對三個 6G 候選頻段展開研究，分別是 4.4-4.8 GHz 涉及與航空導航與固定用途的共存挑戰，7.125-8.4 GHz 需與多種衛星用途協調，但干擾風險高，14.8-15.35 GHz 鄰近無線電天文，需大規模隔離才能保護科學觀測。研究原則是確保 IMT 新頻段不對既有主要用途施加額外限制。

在非地面領域，WP 4C 重點在於 700 MHz-2.7 GHz IMT 頻段內的 MSS 研究，包括衛星直連衛星行動用途（即 D2D-MSS）專注偏遠或災難場景涵蓋、相關於低速率物聯網之衛星行動應用用途（即 LDR-MSS）、以及 2 GHz 附近之新行動通信衛星頻段（即 New MSS）新布建。這些議題皆顯示 6G 即將邁向地面與衛星融合的趨勢與架構。

二、 議題 1.7- IMT 行動通信新頻譜

依據 WRC-23 第 256 號決議，ITU-R 將針對 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz 以及 14.8-15.35 GHz 的頻段，進行 IMT 地面系統使用的共享與相容性研究。該決議要求 ITU-R 在 WRC-27 前完成相關技術、操作及監管研究，並確保在不對現有主要用途施加額外限制的情況下保護其運作。WP5D 將考量 IMT 對新興應用的支持能力，包括高頻寬與低延遲需求、頻譜效率技術的進步、布建場景的多樣性，以及發展中國家的特殊需求與不同地區的頻譜規劃時間表，目標是

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

找出是否有技術上可行、政策上可接受的方式，讓 IMT 系統能夠高效且靈活地使用這些頻段。面對 2030 年後行動通信數據流量持續攀升的趨勢，WRC-27 將依據這些全面性評估結果，審慎決定是否對上述頻段進行 IMT 識別，以支援全球行動網路的長期成長與創新。研究結果將協助 WRC-27 決定是否在特定地區識別這些頻段用於 IMT，以滿足日益增長的數據需求並支援高頻寬、低延遲應用。此舉將有助於推動 IMT 系統發展，為全球數位連接與經濟創新奠定基礎。

(一) IMT 新頻譜研究- 4400-4800 MHz

1. 發展背景與議題概述

本研究根據 WRC-27 議題 1.7 之首個研究頻段，即 4400-4800 MHz，之範疇，將現行施行中之無線電頻率配置表相關規範整理如下。依據 2024 年頒布之「國際無線電規則」所規定，4200-4400 MHz 於全球三個區域已配置有航空行動用途以及航空導航用途，並在多個附註之補充下，同時開放予 IMT 地面系統所使用。在 4400-4500 MHz 頻段，固定用途與行動用途同時被配置使用，並在附註 5.440A 之補充下開放予 IMT 國際行動通信系統。在 4500-4800 MHz 頻率區段，除固定用途與行動用途外，亦有固定式衛星用途的配置使用。

	Allocation to Services		
(MHz)	Region 1	Region 2	Region 3
4200 – 4400	AERONAUTICAL MOBILE (R) 5.436 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION 5.438 5.437 5.439 5.440		
4400 – 4500	FIXED MOBILE 5.440A		
4500 – 4800	FIXED FIXED-SATELLITE (space-to-Earth) 5.441 MOBILE 5.440A		

圖 2- 11、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：4400-4800 MHz

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源: ITU-R，本研究整理

為因應 WRC-27 議題 1.7，WP5D 已針對 4400-4800 MHz 頻段內的共用與相容性研究，整理出一系列適用的傳播模型。這些模型依據不同的共用幾何情境加以分類。適用於所有環境的一般模型包括 ITU-R 建議書 P.2108 及 P.2109。針對地面與地面間的共用情境，建議使用 ITU-R 建議書 P.452、P.1812、P.2001、P.1411 及 P.1238 等模型，涵蓋路徑特定、短距離戶外及室內無線電通信系統的傳播預測，可充分反映不同環境與布建條件下的電波行為。針對空中平臺與地面系統之間的共用情境，WP5D 建議使用 ITU-R 建議書 P.528，該模型專為 VHF、UHF 與極高頻（Super High Frequency, SHF）頻段下的航空行動與無線電導航用途所設計，可有效支援空對地與空對空干擾評估，特別適用於無人機等空中平臺日益普及的趨勢。

WP5D 將針對地面行動用途（Land Mobile Service, LMS）與 IMT 進行相容與共存研究，並將其研究將作為評估 IMT 系統引入該頻段的技術依據，並支持制定可能的技術與運作條件，以促進頻譜有效利用並確保對既有用途的保護。最終研究將於 2026 年中完成，並連同工作群組相關於所指派的 WRC 議題，併入 WRC-27 之大會準備會議研究報告（Conference Preparatory Meeting Report，CPM Report）[60]之中。

2. 研究議題與重點彙整

在 WP5D 議題 1.7 之研究工作中，針對 4400-4800 MHz 頻段的 IMT 系統與現有用途之間的頻譜共用與相容性研究，依照目前

[60] WRC-27 的 CPM 報告預計將於 2027 年發布，內容將彙整 ITU-R 工作群組針對各項議題的整體技術研究成果，供全球各國主管機關與產業界了解並參考。該報告預期將提出多項建議性文字，以協助 WRC-27 大會在討論與決策過程中達成共識。國際電信聯合會無線電事務局亦將根據其無線電用途的實務經驗與執行狀況，提供觀察與分析意見，並提出可能的建議方案。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

之研究進度，已依用途類型分別彙整入工作文件[61]。此文件涵蓋了FS 固定用途、航空行動用途（Aeronautical Mobile Service, AMS）、海事行動用途（Maritime Mobile Service, MMS）、以及根據「國際無線電規則」第 30B 附錄作業的 FSS 衛星固定用途與 IMT 的共用情境。此外，也納入與航空用途安全密切相關的航空行動用途與 RNS 航空無線電導航用途於 4200-4400 MHz 頻段與 IMT 的相容性評估。這些研究將評估 IMT 系統在 4400-4800 MHz 頻段運作時，對其他現有用途的潛在干擾與保護需求。

(1) FS 固定用途

此議題源於前述之 WRC-23 第 256 號決議，4400-4800 MHz 被視為候選頻段之一，但該頻段已提提供做為 FS 固定用途為主要用途使用。因此，在此頻段引入 IMT 系統前需進行技術評估，以確保其能與現有用途共存，保障既有用途發展。此議題之挑戰在於確定 IMT 系統是否能與 FS 固定用途共用 4400-4800 MHz 頻段而不造成有害干擾。為此，需評估在各種布建場景與技術參數下，IMT 基地臺與使用者設備對 FS 接收裝置成的干擾程度，以及為滿足干擾保護標準所需的物理空間分隔距離。

[61] WP5D (2025), SWG agenda item 1.7: Annex 1- Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and imt systems in the frequency band 4 400-4 800 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-250204-TD-0233!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

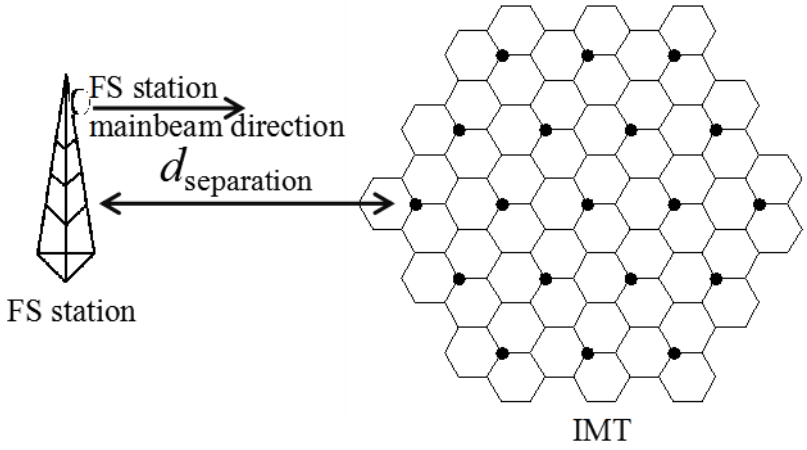


圖 2- 12、IMT 行動通信與固定用途干擾研究情境示意圖

來源: ITU-R，本研究整理

關於此議題，於 WP5D 目前共有三個國家會員提出技術貢獻。中國提出以城市與郊區巨集蜂窩情境進行模擬，使用 ITU 建議的傳播模型，忽略使用者設備干擾，建議物理分隔距離依雜波情境為 85-153 公里[62]。日本則考慮了使用者設備干擾及多種網路負載情境，根據不同假設物理分隔距離約為 50-70 公里，並納入東京地形模擬[63]。此外俄羅斯也分析 FS 接收天線的主瓣（Main Lobe）、側瓣（Side Lobe）與後瓣（Back Lobe）方向對干擾的影響，建議城市布建下最大所需物理分隔距離為 55 公里，並指出跨境干擾機率不高。

在此研究議題中，各研究均使用蒙地卡羅（Monte Carlo）模擬配合 ITU-R 建議書（如 P.452、P.2001、P.2108）進行分析，採用共同的 FS 保護標準。主要解決方案在於根據不同布建場景設定合理的物理分隔距離，避免 IMT 影響 FS 的運作。例如，透過設定雜波損耗（cluster loss）參數與考量天線方向，判斷能否透過地理分離

[62] China (2025), Preliminary sharing and compatibility studies of the fixed service and IMT operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0706!!MSW-E.

[63] Japan (2025), Proposals on sharing studies between the fixed service and imt operating in the frequency band 4 400-4 800 mhz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0734!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

實現技術共存。然而此議題之研究仍在進行當中，後續將進一步最佳化模擬模型、統一假設條件、考慮多國地理與技術多樣性，並對跨境干擾風險進行更完整的國際評估，為 WRC-27 做出頻段分配決策提供依據。

(2) AMS 航空行動用途

根據 WRC-23 第 256 號決議，4400-4800 MHz 頻段作為潛在候選，但目前亦為 AMS 航空行動用途的主要頻段，故需進行技術評估，以確保 IMT 與 AMS 能共存且不致互相干擾。此主要議題為 IMT 系統是否能在不中斷或干擾 AMS，尤其是航空安全關鍵通信的前提下使用 4400-4800 MHz 頻段。評估中需特別考慮 IMT 基地臺與使用者設備對 AMS 地球電臺與機載設備的干擾影響，並根據 ITU 標準判定所需的保護距離與技術條件。

此議題共有兩個國家會員提出貢獻。中國的研究專注於 IMT 基地臺對地面 AMS 接收站的影響，並排除使用者設備的干擾假設。該研究透過蒙地卡羅模擬方法，依據 ITU 建議文件設定 IMT 網路參數，包括布建場景、頻率、基地臺功率與天線配置等，並評估在不同雜波環境下的干擾情形[64]。法國則使用與中國類似之參數，模擬飛機在不同高度與方向下接收 IMT 網路訊號的情境，並聚焦於評估 IMT 系統對飛行中的 AMS 設備所產生的潛在干擾[65]。

兩份研究皆以 ITU 標準為基礎進行模擬與評估，強調以蒙地卡羅 技術量化 IMT 對 AMS 的干擾強度，並藉由累積分布函數（Cumulative Distribution Function, CDF）與干擾雜訊比 (Interference-to-Noise, I/N) 對比國際保護標準，以推導必要的地理

[64] China (2025), Preliminary sharing and compatibility studies of the aeronautical mobile service and IMT operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0470!!MSW-E.

[65] France (2025), Sharing between the aeronautical mobile service and IMT operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0748!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

物理分隔距離。此外，研究也考量不同網路負載、雜波條件與天線方向，提供多元場景模擬結果，有助於為政策制定者提供實證依據。目前此議題之研究均未完成，仍待 WP5D 進一步討論與修正。

(3) MMS 海事行動用途

依據現今之「國際無線電規則」，MMS 海事行動用途尤其在 4400-4500 MHz 全球區域與 4500-4800 MHz 的第三區域中被指定為主要用途，具有保護優先權。由於海上無線電用途往往涵蓋大範圍且具有高度安全性需求，因此若 IMT 系統布建未妥善管理干擾，可能對 MMS 系統的運作造成實質威脅。WP5D 試圖透過技術模擬量化 IMT 基地臺對 MMS 的潛在干擾，並探討兩者共存的可行性與所需技術條件。

目前針對 IMT 與 MMS 共存議題的主要研究由中國提出[66]。此研究透過蒙地卡羅模擬評估 IMT 基地臺對 MMS 接收設備的總體干擾，模擬重點放在基地臺發射功率與環境因素對干擾程度的影響，並排除使用者設備對 MMS 的干擾假設。模擬使用 ITU-R 建議書 P.452 的傳播模型與建議書 P.2108 的雜波損耗模型，並考慮 60% 基地臺在雜波中與全部基地臺在雜波中的兩種情境。研究結果顯示，為符合保護標準所需的物理分隔距離範圍為 41 至 271 公里。這代表 IMT 布建若需靠近 MMS 系統，可能需高度限制基地臺的選址與功率設計，以達成到共存條件。

儘管該研究已提供初步的技術評估與模擬參數，但其總結與分析仍需進一步討論更新，WP5D 與 WP5B 工作組將持續徵求研究提案並完成技術驗證作業。

(4) FSS 衛星固定用途

[66] China (2025), Preliminary sharing and compatibility studies of the maritime mobile service and imt operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0471!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

4400-4800 MHz 頻段在全球無線電頻譜中屬於重要的中頻資源，目前已分配給多項無線電通信用途。特別是 4500-4800 MHz 頻段為全球範圍內的 FSS 衛星固定用途下行鏈路之使用。FSS 系統通常為靜態、高功率、高靈敏度的地面接收設備，對無線干擾特別敏感。若 IMT 基地臺布建於相同頻段，且在地理上接近 FSS 地球電臺，可能導致長期或短期的有害干擾。此議題項目之關鍵目標即為評估兩者間的相容性與必要的緩解條件，特別是確保不對 FSS 引入額外的監管限制，同時允許 IMT 合理拓展。

關於此議題之前就主要包含兩份來自中國和俄羅斯的貢獻報告，均使用蒙地卡羅模擬法探討 IMT 基地臺對 FSS 地球電臺的干擾影響，並均排除 IMT 使用者設備的影響。中國假設 FSS 地球電臺考量不同雜波損耗比例，研究依據是否布建於城市和郊區與雜波密度情況變化，來評估長期干擾所需的物理分隔距離[67]。俄羅斯探討不同仰角下的干擾影響，特別關注海拔角低於 10 度時的最差情況，而其結果顯示，低海拔角會導致較高干擾風險，需更長物理分隔距離，然而在常見的中高仰角（即 15 度以上）條件下，如亞洲太平洋地區，物理分隔距離明顯可縮短至數十公里內，顯示在實際布建下共存具備可行性[68]。

WP5D 目前之技術分析重點在 FSS 參數設定與仰角假設上有所差異，造成物理分隔距離建議範圍不同。為補足研究分析不足之處，建議後續工作聚焦於四大方向：首先，標準化 FSS 接收仰角與系統參數，以解決各地 FSS 布建條件差異帶來的模擬結果不一致問題。其次，強化短期干擾模擬與最壞情境評估，特別是針對跨境

[67] China (2025), Preliminary Sharing and compatibility studies of the fixed-satellite service in frequecy band 4 500-4 800 MHz and IMT operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0469!!MSW-E.

[68] Russian Federation (2025), Sharing studies between fixed-satellite service in frequency band 4 500-4 800 MHz and IMT operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0648!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

布建對低仰角地球電臺的潛在衝擊。第三，釐清國內與國際干擾的法律與協調框架，即使跨國干擾風險被評估為低，也應預先建立溝通與調解機制。最後，引入技術緩解措施與制定保護標準，如調整 IMT 發射功率、布建參數、使用智慧天線波束成形等策略，以提升共享頻譜環境的實用性與可接受性。種種關鍵議題仍須進一步研究與國際協商。

(5) RNS 航空無線電導航用途

由於此議題鄰近之 4200-4400 MHz 頻段，目前已被分配予 RNS 航空無線電導航用途，特別是對飛航安全極為關鍵的無線電高度計（Radio Altimeter, RA）。由於無線電高度計廣泛應用於飛機起降過程，其接收信號對干擾高度敏感，因此各界關切 IMT 系統的雜散或鄰頻發射可能對 RA 造成潛在干擾，進而影響航空安全。根據 WRC-23 第 256 號決議，這些新用途必須確保不對既有 RNS 航空無線電導航用途造成不當干擾，亦不得要求對現有系統施加額外技術或監管限制。

對於此議題，多國與產業代表已提交研究，形成多元技術資料基礎。中國的研究提供早期的干擾距離評估，明確模擬城市與郊區布建對高度計的干擾，並納入三種干擾機制[69]。愛立信[70]與美國[71]則提出評估架構與大量蒙地卡羅模擬方法，針對鄰近國家布建的跨境干擾進行模型建立。這些研究普遍採用 ITU-R 的技術建議，包括傳播模型 P.528、系統參數 M.2059 及天線特性 M.2319，並共同認為

[69] China (2025), Sharing and compatibility Study between IMT in 4 400-4 800 MHz band and radio altimeter in 4 200-4 400 MHz band, Document 5D R23-WP5D-C-0472!!MSW-E.

[70] Telefon AB – LM Ericsson (2025), Preliminary coExistence Study of IMT operating between 4 400-4 800 MHz and AM(R)S in the band 4 200-4 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0644!!MSW-E.

[71] United States of America (2025), Compatibility of the aeronautical radionavigation service (RR No. 5.438) Operating in the frequency band 4 200-4 400 MHZ and IMT Operating in the frequency band 4 400-4 800 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0766!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用戶終端干擾可忽略，應集中關注基地臺發射源。韓國[72]與法國[73]聚焦於飛機進場時的垂直特性，特別分析飛機俯仰與翻轉對干擾區域的影響。

儘管 WP5D 研究已初步指出 IMT 系統基地臺可能產生的鄰頻干擾風險，但目前各研究在預設條件、模擬方法與結果評估上差異明顯，尚無一致結論，特別是在干擾機制、必要的物理分隔距離與飛機姿態影響方面。儘管目前尚未形成統一結論，這些研究已為未來在該頻段開放 IMT 與保障航空安全之間的權衡奠定重要技術基礎，例如日後制定動態頻譜共用策略、設計 IMT 發射限制與定義合適的布建排除區（exclusion zones）等。接下來的資訊完善與協商，將直接影響 WRC-27 是否與如何推進該頻段之 IMT 指定配置。

3. 發展趨勢與觀察整理

在 ITU 針對 4400-4800 MHz 頻段進行 IMT 行動通信系統共存性評估的過程中，多項研究採用 ITU-R 所建議的系統參數，且大多數研究集中於基地臺的鄰頻干擾，認為用戶端設備對其他系統的影響可忽略。在會員針對 IMT 系統與現有無線電用途共存所提交的研究結果中顯示，範圍不等之分隔距離將有可能促進實現無線電用途之共存，不過仍需依據雜波損耗與布建密度不同而須更細緻的討論研究。WP5D 針對研究結果仍高度依賴假設條件，目前尚無共識與結論，仍需進一步補強干擾模擬、建立跨境場景模型與制定安全敏感用途的保護標準等等，以確保技術可行性。本研究將此頻段之相關議題與研究貢獻整理如下表，以供發展趨勢與議題討論參考。

表 2- 1、4400-4800 MHz 研究貢獻與發展趨勢整理

[72] Republic of Korea (2025), Sharing and compatibility study between imt in 4 400-4 800 MHz band and radio altimeter in 4 200-4 400 MHz band, Document 5D R23-WP5D-C-0663!!MSW-E.

[73] France (2025), Compatibility study between imt in the frequency band 4 400-4 800 MHz and Aeronautical Radionavigation Service operating in the frequency band 4 200-4 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0747!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段	議題	研究現況與分析整理	觀察
4400 – 4800 MHz	FS	IMT與與現有FS服務的共存是可行的，但所需分隔距離需視天線方向、部屬環境與雜訊情況而不同。	可能共存
	A-MS	IMT與與航空移動服務之間的共存具有複雜性，目前仍屬於初步性質，部分關鍵參數與分析結果仍在待定審查和更新。	仍待確認
	M-MS	為了滿足MMS地面站的保護準則，結果暗示IMT與MMS之間的共存需要顯著的地理分離距離，如41-271公里。	可能共存
	FSS	可能需採取數十至數百公里的地理分離措施，但對地球站天線仰角高的國家，如亞洲太平洋地區，影響較低。(須留意AP30B影響*)	可能共存
	RNS	IMT有可能對無線電高度計造成有害干擾，在干擾機制、必要的分離距離與飛機姿態影響方面尚無統一結論。	仍待確認

來源: ITU-R，本研究整理

(二) IMT 新頻譜研究- 7125-8400 MHz

1. 發展背景與議題概述

根據「國際無線電規則」，7125-8400 MHz 頻段被進一步劃分為多個子頻段，並依各區域特性配置予多種無線電用途使用。已配置的用途涵蓋固定用途、行動用途、SRS 太空研究用途、EESS 衛星地球探測用途、衛星固定用途及氣象衛星用途（Meteorological Satellite, MetSat）等。本研究針對該頻段的現行配置進行彙整，詳見下圖。

	Allocation to Services		
(MHz)	Region 1	Region 2	Region 3
7075 – 7145	FS, MS 5.457 E/F 5.458 5.459		
7145 – 7190	FS, MS SRS (E-s) 5.458 5.459		
7190 – 7235	EESS (E-e), FS,MS, SRS (E-s) 5.460 5.458 5.459		
7235 – 7250	EESS (E-s), FS, MS 5.458		
7250 – 7300	FS, FSS (s-E), MS, 5.461		
7300 – 7375	FS, FSS (s-E), MS (except Aeronautical), 5.461		
7375 – 7450	FS, FSS (s-E), MS (except Aeronautical), MMSS (s-E)		
7450 – 7550	FS,FSS(s-E),MetSAT(E-s),MS (except Aeronautical),MMSS(s-E)		
7550 – 7750	FS,FSS(s-E), MS(except Aeronautical), MMSS (s-E)		
7750 – 7900	FS, MetSAT (E-s) 5.461B, MS (except Aeronautical)		
7900 – 8025	FS, FSS (E-s), MS, 5.461 (GSO MSS priority)		
8025 – 8175	EESS (s-E), FS, FSS (E-s), MS 5463, 5.462A		
8175 – 8215	EESS (s-E), FS, FSS (E-s), MS 5463, 5.462A, MetSAT (E-s)		
8215 – 8400	EESS (s-E), FS, FSS (E-s), MS 5463, 5.462A		

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 2- 13、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：7125-8400 MHz

來源: ITU-R，本研究整理

在此技術研究中，WP5D 針對 IMT 系統在 7125-8400 MHz 頻段的運作，全面評估其可能對其他無線電用途造成的干擾情境。WP5D 首先針對 IMT 傳送端對其他用途接收端的干擾情境，研究將集中於 IMT 系統傳送端對各種用途接收端可能造成的潛在干擾[74]。IMT 系統的傳送端，無論是基地臺還是用戶終端，都可能發射頻外或雜散信號，這些信號可能進入相鄰頻段並對其他用途的接收端造成影響。特別是對於 FS 固定用途、FSS 衛星固定用途、MSS 衛星行動用途、MMSS 海事衛星行動用途、EESS 衛星地球探測用途、SRS 太空研究用途、太空運行用途（Space Operation Service, SOS）及 MetSAT 氣象衛星用途等用途，IMT 傳送端的干擾皆可能使其接收系統無法正常運行，尤其是當這些用途的接收站使用高靈敏度的設備，或在不適當的頻段內接收 IMT 的非理想信號時。例如，IMT 傳送端在 7125-8400 MHz 頻段操作時，若存在不完全的濾波或發射設置問題，可能會導致頻外的信號擴散至 7450-7550 MHz 或 7750-7900 MHz 等氣象衛星用途的頻段，這將對衛星的數據傳輸和接收造成潛在干擾。

此外，IMT 系統的發射功率和頻率使用方式也會對接近的衛星用途造成挑戰。例如，IMT 系統通常具有廣泛的涵蓋範圍和密集的用戶需求，這可能會增加傳送端的干擾風險，特別是在高人口密度地區或城市環境中。高功率的發射、短距離的傳輸以及設備在不當頻率範圍內的工作，都可能加劇這些干擾。針對這些潛在的影響，研究將著重於如何透過技術措施，如濾波技術、發射功率控制、頻率規劃等，來減少 IMT 系統對其他用途的干擾，確保這些用途能

[74] WP5D (2025), SWG agenda item 1.7:- ANNEX 2 – Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and imt systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-250204-TD-0234!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

夠與 IMT 系統在相同或相鄰頻段內共享頻譜，並實現有效的頻譜共存。

2. 研究重點與觀察整理

WP5D 針對其他用途傳送端對 IMT 接收端的干擾情境，研究將專注於如何避免其他現有用途的發射端對 IMT 系統的接收端造成影響。由於 IMT 接收端通常在較低的功率範圍內運行，並且可能使用高度敏感的接收端來捕獲來自基地臺或用戶終端的信號，因此，來自 FS 固定用途、衛星固定用途、MSS 衛星行動用途、MMSS 海事衛星行動用途、EESS 衛星地球探測用途等系統的發射信號，可能對 IMT 的接收端造成干擾，尤其是當這些系統發射的信號在相鄰頻段或重疊頻段中有高功率時。例如，來自衛星用途的高功率信號，特別是在接近 IMT 接收頻段的情況下，會使 IMT 接收端難以準確解碼信號，從而影響通信品質和網路效能。

這些干擾的源頭通常包括衛星和地球電臺的發射，這些傳送端具備強大的功率和高增益天線，能夠在廣大範圍內涵蓋信號。如果這些傳送端與 IMT 系統的接收頻段相近，或者在相同的頻段內運行，可能會產生跨頻段干擾。例如，來自衛星固定用途或衛星行動用途的信號，特別是當它們位於 7125-8400 MHz 頻段附近的情況下，對 IMT 接收端造成干擾的風險將顯著增加。這類干擾可能會導致 IMT 接收端的信號失真、錯誤解碼或完全無法接收，從而影響整體通信品質。為了減少這些風險，研究將著重於如何透過頻譜管理、濾波技術、發射功率限制以及適當的頻率規劃來保護 IMT 接收端免受其他用途的干擾，並確保 IMT 系統在高干擾環境中仍能穩定運行。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

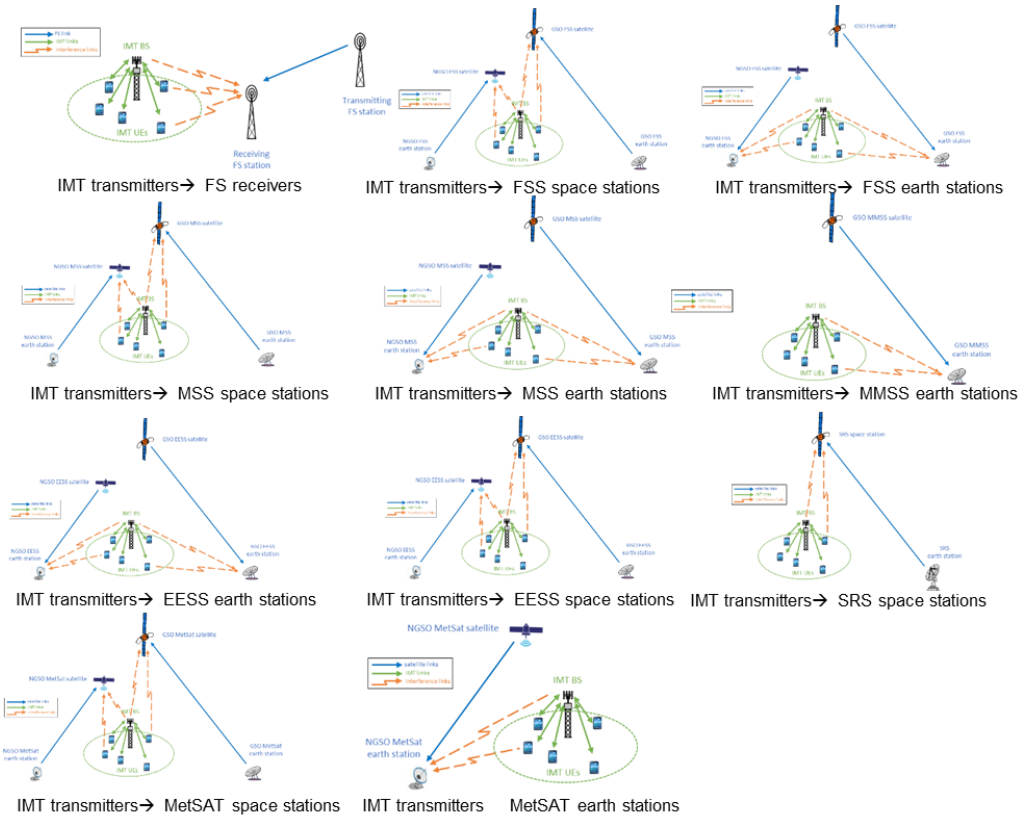


圖 2- 14、IMT 行動通信於 7125-8400 MHz 干擾研究情境示意圖

來源: ITU-R，本研究整理

(1) FS 固定用途

根據 WRC-23 第 256 號決議，著眼於 IMT 系統的布建可能對 FS 系統造成干擾，因此需要進行技術評估，以保障既有無線通信基礎設施的正常運作。主要之問題來自於 IMT 基地臺的無線電發射可能對 FS 接收站產生干擾，特別是在 FS 天線主瓣方向面對 IMT 系統時干擾風險最高。由於 FS 系統經常布建於高地區域、具備高增益定向天線，其受干擾的敏感性較高。若無法適當控制干擾，可能對跨境或本地無線傳輸造成實質影響，尤其是資料鏈路穩定性與用途可靠性。

針對此議題之研究目標，也不少會員提出相關研究與不同看法。美國利用蒙地卡羅模擬與真實地形資料分析物理分隔距離，發

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

現主瓣干擾可能必須達 96 公里之距離方能互不影響[75]。日本則是探討不同網路負載與雜波損耗下的干擾變化，指出根據情境物理分隔距離也需在 5 至 95 公里不等[76]。南非重點研究基地臺干擾，驗證主瓣與側瓣影響差異達 50 dB[77]。巴西研究都市與郊區環境對干擾的影響，發現適度方位角錯位（如≥20°）能顯著降低干擾[78]。印度[79]與克羅埃西亞[80]則提供技術基礎與建議方向，並表達未來將進一步提供模擬結果之意願。

依據 WP5D 目前之討論狀態，一致指出將研究以下幾項關鍵議題與緩解方式。首先認為，適當物理分隔距離是避免干擾的首要條件，具體距離取決於地形、基地臺設計與網路負載。此外，天線方位角錯位（即 FS 天線不直接對準 IMT 發射之情況）可顯著降低主瓣干擾效應。依據 ITU-R 建議書 P.2108 所載之應用雜波損耗模型於基地臺與固定用途端，可更準確模擬實際環境損耗。最後，區域布建特性考量（如 FS 高海拔設置或鏈路長度）亦為干擾管理的重要依據。未來研究應進一步探索最壞情況下的多基地臺干擾疊加、IMT 發射波束與 FS 接收波束對準時的實際影響。

---

[75] United States of America (2025), Sharing between the fixed service and IMT operating
in the frequency band 7 125-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0757!!MSW-E.
[76] Japan (2025), Proposed modification to working document on sharing between the fixed service and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz on WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0735!!MSW-E.
[77] Saudi Arabia (2025), PART 1: Sharing between the fixed service and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0612!!MSW-E.
[78] Brazil (2025), WRC-27 AGENDA ITEM 1.7 – Sharing study between the fixed service and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0670!!MSW-E.
[79] India (2025), Sharing and compatibility studies between FS and IMT systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0690!!MSW-E.
[80] Croatia and Türkiye (2025), Proposed addition to the working document on sharing and compatibility studies between the fixed service and IMT operating in the 7 125–8 400 MHz band under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0741!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(2) SRS 太空研究用途

根據「國際無線電規則」，7125-8400 MHz 頻段與其相鄰頻段中已有若干頻率被分配給 SRS 太空研究用途，並用於深入太空及近地通信，涵蓋地對空及空對地鏈路。隨著 IMT 系統布建規模的擴展，如何確保其不對既有太空通信系統造成干擾，是 WRC-27 議題 1.7 之關鍵研究議題之一。由於 IMT 系統的高功率發射可能對 SRS 太空研究用途產生雙向干擾，包括 IMT 基地臺干擾 SRS 太空站接收、SRS 地球電臺干擾 IMT 接收，以及鄰近頻段跨頻干擾等等。由於 SRS 涉及高敏感度接收與國際任務通信，微小干擾亦可能造成重大影響，因此需審慎評估與防護。

此議題之研究貢獻主要來自美國、GSMA 和其他產業代表，涵蓋近地球與深入太空兩大類別。在近地球 SRS 頻段（7190-7235 MHz），美國採用蒙地卡羅模型模擬，結合土地涵蓋數據與 TDD 活動因子（Activitation Factor），對 SRS 接收端進行初步評估，但尚未公布具體結果[81]。GSMA 則是模擬了等效的 IMT 基地臺干擾，包含雜波損耗與大氣損耗模型分析，而提供了具有可行性之研究成果[82]。關於 7145-7190 MHz 深太空 SRS 頻段，美國亦模擬 IMT 基地臺對深太空 SRS 的干擾，考慮了建築穿透損耗、人體遮蔽與大氣吸收等因子[83]。模擬顯示最大總體干擾為-191.7 dB(W/20 Hz)，低於保護門檻，表示可實現共存條件。目前研究普遍採用布建限制與

[81] United States of America (2025), Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and IMT systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under wrc-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0762!!MSW-E.

[82] GSMA (2025), Sharing study between IMT and SRS (near-Earth) (Earth-to-space) in the band 7 190-7 235 MHz for WRC-27 Agenda Item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0705!!MSW-E.

[83] United States of America (2025), Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and IMT systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0762!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

地理最佳化、統計衰減模型應用、動態模擬與等效源模型、以及負載（Loading）與活動因子控制來評估真實運作下的發射干擾。透過上述方法，多數研究得出在現實布建下干擾量低於保護標準，表示共用可行。

WP5D 經討論後，認為儘管目前研究顯示 IMT 系統可在某些條件下與 SRS 系統共用頻段，但仍有一些後續工作需要進行，例如補全初步研究資料、驗證模型一致性、針對極端任務階段進行強化模擬、擴大區域研究涵蓋範圍與持續更新傳播模型等。整體而言，初步研究結果支持在特定條件控制下 IMT 系統與 SRS 太空研究用途共用 7 GHz 頻段的可行性，特別是在考量真實布建密度、負載與衰減因素後，IMT 發射造成的干擾低於既有保護標準。不過，為確保未來全球一致性與任務安全，仍需完成更多精緻模擬與跨國驗證，進一步確認在不同區域和環境下的共存策略。

(3) SOS 太空運行用途

「國際無線電規則」明確載明 SOS 太空用途屬於此頻段內的重要既有用戶，特別是在 7100-7155 MHz 及 7190-7250 MHz 等子頻段，以提供做為控制與監控衛星運作，如軌道修正與健康狀態回報之重要頻譜。因此以議題之研究目的，在於評估 IMT 系統布建對 SOS 的潛在干擾，並研擬可能的保護措施，確保現有太空作業系統的穩定與安全。

於 WP5D 第 49 次會期中，並未有會員貢獻研究成果或相關文件，僅初步提出兩類潛在干擾之情境[84]，即 IMT 發射端干擾 SOS 太空站接收端，以及 SOS 地球電臺發射端對 IMT 接收端的反向干擾（Reverse Interference）。須留意的是 IMT 與 SOS 具有相鄰或重

[84] WP5D (2025), SWG WRC-27 agenda item 1.7 : ANNEX 2 – Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and IMT systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under wrc-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-250624-TD-0333!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

疊運作潛力，加劇相容性挑戰。未來若需落實共用，應採用與 SRS 相似的技術參數、傳播模型與統計模擬架構進行深入分析。

鑒於尚未有具體的干擾緩解或保護策略，依據目前之工作文件所述，WP5D 預期未來針對潛在議題可能採取之方法包含確認 SOS 頻段具體運作情境、參考其他頻段共用成功案例、加強 ITU-R 建議書的引用與模型適配、以及業界與各國代表參與更深入研究以提供更多地球電臺實測數據與真實布建條件，以強化模擬的準確性與實用性。儘管 WP5D 已開啟研究討論並明確指出 SOS 為需共用評估的用途之一，但目前僅列出潛在干擾場景，且部分內容尚未經充分討論或審查。因此，該議題仍需大量補充資料與國際協作研究，才能建立清晰、可行的相容性評估與保護機制。

(4) FSS 衛星固定用途

ITU 國際電信聯合會正在評估 7125-8400 MHz 頻段中，IMT 系統與既有主要用途的共享與相容性問題，而 FSS 衛星固定用途在該頻段中扮演重要角色，尤其在不同頻段之空對地與地對空方向皆具有主要分配。為避免 IMT 的新布建對既有 FSS 系統造成干擾。FSS 系統與 IMT 系統可能互相干擾之情境可能包含 IMT 發射端對 FSS 太空站與地球電臺接收端的干擾，以及 FSS 太空站與地球電臺發射端對 IMT 接收端的干擾。這些干擾可能影響 FSS 提供的關鍵通信鏈路，如商業或軍用通信衛星的穩定性。

對於此議題，有許多國家與企業會員提供了不同面向之研究提案，涵蓋不同方法與應用場景。依據 WP5D 之研究文件[85]，對於 7250-7750 MHz 頻段之研究，美國、法國、加拿大等採用蒙地卡羅模擬與最小耦合損耗（Coupling Loss）分析，提出所需的物理分隔

[85] WP5D (2025), SWG WRC-27 agenda item 1.7 : ANNEX 2 – Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and IMT systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-250624-TD-0336!R1!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

距離從數公里至數百公里不等，而高通與諾基亞則指出，城市雜波可大幅減少干擾，顯示在良好規劃下有共存可能性。法國研究甚至指出，NGSO 非地球同步軌道之 FSS 需要的保護距離甚至高達 360 公里。關於頻段 7900-8400MHz，美國、墨西哥、巴西、韓國等多數研究顯示，在負載適中與合理配置下，IMT 與 FSS 共用具可行性。反之，法國、盧森堡報告則認為，共用導致的干擾過高，基本上應該不可行。不過高通與愛立信對波束設計與基地臺布建模型進行修正，認為共存可達成，僅需進一步之精準協調。此外，印度與諾基亞的研究仍處於初步階段，細節尚未公開。

雖然 WP5D 之研究尚未得出最終結論，但綜合各方資料可歸納出以下潛在解決方案，包含設定保護距離與空域排他區、引入頻率分割與時間分離、進行 IMT 布建模型與波束設計之最佳化、應用 ITU 建議的多重傳播模型提高干擾評估準確性、以及考慮人口密度調整係數使模擬更符合實際布建條件。前述所整理之策略更可因地制宜，結合政策與技術雙軌推動共存。長遠而言，IMT 與 FSS 能否在 7GHz 頻段共用，將取決於各國研究成果協商整合的成果，以及後續制定的國際規範與保護參數。

(5) MSS 衛星行動用途

根據 WRC-23 第 256 號決議所記載，IMT 系統計畫布建在 7125-8400 MHz 頻段，並與現有 MSS 衛星行動用途產生頻譜共用的潛在需求。由於 MSS 涉及與太空站之間的高敏感度通信，其接收設備對干擾極為敏感，因此共用議題成為 WP 5D 的研究重點，而同時各國與業界機構亦提出多項暫時研究成果，為未來是否允許共享提供技術依據。主要的技術議題聚焦 IMT 基地臺對 MSS 地球電臺下行鏈路的干擾，以及 IMT 基地臺對 MSS 太空站上行鏈路的干擾。考量到高軌或中軌 MSS 系統之需求，有研究指出即使小幅超出標準也可能導致衛星任務失敗，因此評估需特別嚴謹。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

關於此研究議題之貢獻來源甚廣，包含美國[86]、巴西[87]、法國[88]、德國[89]、印度[90]、愛立信[91]、高通[92]等，涵蓋 GSO 與 NGSO 等不同之 MSS 系統類型、IMT 布建密度、場景與技術參數等。關於 MSS 下行鏈結 7250-7375 MHz 頻段的研究部分，研究指出，只要視布建與雜波情境不同而維持數公里以上的基地臺物理分隔距離，IMT 可與 MSS 地球電臺共存。在 MSS 上行鏈結 7900-8025 MHz 的頻段部分，研究則出現分歧。美國、愛立信、高通、巴西認為在低密度布建、考慮雜波損耗等情況下，IMT 聚合干擾已被證實可低於保護標準，所以共存是可能的。反之，法國與德國指出，在 IMT 高密度布建下，特別是對 GSO 與 NGSO 衛星的全球波束與區域波束，IMT 干擾將超過 MSS 保護標準，甚至超標達 20-30 dB，因此不宜共享。

綜整目前的研究，WP5D 範疇下可能促進共存的技術策略包含合理布建模型選擇、雜波損耗考慮、排除甚至忽略使用者設備干擾、

[86] United States of America (2025), Sharing and compatibility of the FSS/MSS (earth-to-space) operating in the frequency band 7 900-8 400 MHz and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz (or parts thereof), Document 5D R23-WP5D-C-0763!!MSW-E.

[87] Brazil (2025), WRC-27 AGENDA ITEM 1.7 – Sharing study between the mobile satellite service (earth to-space) in the frequency band 7 900-8 025 mhz and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0673!!MSW-E.

[88] France (2025), Sharing studies between FSS and MSS (earth-to-space), and IMT systems in the frequency band 7 900-8 400 MHz under wrc-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0750!!MSW-E.

[89] Germany (2025), Sharing and compatibility studies between FSS and MSS (earth-to-space) and imt in the frequency band 7 900-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0632!!MSW-E.

[90] India (2025), Sharing and compatibility studies between MSS (e-s) in the frequency band 7 900-8 025 MHz and IMT systems under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0693!!MSW-E.

[91] Telefon AB – LM Ericsson (2025), WRC-2027 agenda item 1.7 coexistence study between IMT and FSS/MSS in the UL (earth-to-space) for the 7 125-8 400 MHz band (or parts thereof), Document 5D R23-WP5D-C-0645!!MSW-E.

[92] Qualcomm Inc.(2025), Sharing and compatibility of the MSS (earth-to-space) GSO systems operating in the frequency band 7 900-8 025 MHz and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz (or parts thereof), Document 5D R23-WP5D-C-0778!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

確認並合理化保護標準、與選擇性布建區域排除或距離控制等。整體而言，在 MSS 下行鏈路 頻段，兩系統的共存被多數研究認為是可行的；但在 MSS 上行鏈路方向，由於涉及衛星接收的高保護需求，部分研究指出 IMT 的聚合干擾過高，不具備共享條件。這些差異的原因主要源自於分析模型選擇、布建情境與保護標準應用方式的不同，顯示未來決策需建立在統一假設與場景評估基礎上，結合技術與政策工具以確保頻譜有效且安全共享。

(6) MetSAT 氣象衛星用途

7.125-8.400 MHz 頻段雖已成為潛在的新興 IMT 系統運作區域，該頻段目前已分配予多項現有用途，包括 MetSAT 氣象衛星用途，涵蓋下行鏈路（7.450-7.550 MHz 與 7.750-7.900 MHz）與上行鏈路（8.175-8.215 MHz）。由於此衛星用途對於干擾極為敏感，因此需要詳細評估與 IMT 系統的共存可能性。主要癥結點在 IMT 系統可能對 MetSat 接收端產生電磁干擾，進而影響氣象資料的即時收集與氣候監測作業。此外，不同國家在模擬中採用的布建情境、網路參數與傳播模型差異，導致對所需地理物理分隔距離的估算結果相當分歧，無法一致推導出通用的共享標準。

針對 IMT 系統與 MetSAT 氣象衛星用途在 7 GHz 頻段下行鏈路的共存研究，各國提出的建議物理分隔距離差異顯著。美國[93]建議約 60 公里的物理分隔距離以保護非地球同步軌道之 MetSat 地球電臺；中國[94]則提出更保守的建議，物理分隔距離需達 127 至 210

[93] United States of America (2025), Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and IMT systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0765!!MSW-E.

[94] China (2025), Updates to sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and imt systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0710!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

公里；巴西[95]指出在雜波損耗同時應用於干擾鏈路兩端時僅需 5 公里物理分隔距離，但若僅應用於一端則可能需達 100 公里；GSMA[96]則認為針對 GSO MetSat 地球電臺，只需 1 至 8.5 公里物理分隔距離，且透過站點協調即可實現共存。這些顯著差異反映出雜波損耗應用方式、IMT 布建情境與網路密度假設，對干擾評估與所需緩解措施的決定性影響。

為確保 MetSat 使用的保護並同時允許 IMT 運作，目前研究提出以下幾點建議: (1) 採用雜波損耗於干擾鏈路的兩端，可顯著降低所需的地理物理分隔距離至 5 公里甚至更少；(2) 若僅於一端應用雜波損耗，則可能需要 100 公里以上的緩衝區；(3) 制定場址協調機制以保護地球電臺，例如設定保護區範圍；(4) 採用現實的基地臺布建模型（如基於人口密度）以提升模擬準確性；(5) 加強對最差情境（低仰角、高增益、低損耗）下的評估，以設定足夠保護餘裕。WP5D 後續將整合現有研究結果進行跨國比較尋求技術共識，修訂兩系統共存的頻譜管理指引，加強對地面與太空端接收端靈敏度與抗干擾能力的分析，以及促進形成一致的保護條件與協調機制建議，以利頻譜共用政策落實。

(7) EESS 衛星地球探測用途

在 WRC-27 議題 1.7 之框架下，ITU 亦須積極處理 IMT 系統與 EESS 衛星地球探測用途在 7125-8400 MHz 頻段的頻譜共用與相容性問題。由於 EESS 衛星地球探測用途在氣候監測、災害預警與地球觀測上扮演著極為關鍵之角色，因此系統與新興的 5G 或 6G

[95] Brazil (2025), WRC-27 AGENDA ITEM 1.7- Sharing study between the meteorological satellite service (space-to-earth) in the frequency bands 7 450-7 550 mhz and 7 750-7 900 MHz and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0674!!MSW-E.

[96] GSMA (2025), sharing study between IMT and Metsat (space-to-earth) in the band 7 450-7 550 MHz for WRC-27 Agenda Item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0703!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

IMT 系統共存需要審慎規劃。主要問題是 IMT 系統可能對 EESS 接收站與發射站造成有害干擾，反之亦然。須特別留意的是，不同地理與布建情境，以及 IMT 網路密度和雜波損耗參數，都會影響所需的隔離距離與保護條件。

針對主題之相關議題，亦有多個會員提交詳實的研究與成果。例如，美國提出動態模擬分析[97]，建議針對不同 IMT 網路密度，建議 EESS 地球電臺需隔離 38-55 公里。歐洲太空總署（European Space Agency、ESA）則是據站點地形差異，建議的物理分隔距離從數公里至百逾公里不等[98]。根據德國與法國之研究，部分情境下，短期保護可能將需超過 200 公里距離[99]。針對 NGSO 衛星，愛立信[100]與中國[101]分別指出，在特定情境下，所需距離將介於 7-430 公里，顯示其挑戰顯著。不過，巴西的研究則指出在大規模 IMT 布建下，經過計算 IMT 輻射仍低於干擾門檻，共享具可行性[102]。

WP5D 的研究普遍建議透過空間隔離數十至數百公里的保護距離、站點之間的協調、設定布建限制以及利用現有 ITU-R 傳播

[97] United States of America (2025), Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and imt systems in the frequency band 7 125-8 400 MHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0765!!MSW-E.

[98] European Space Agency (2025), Compatibility study between EESS (space-to-earth) non-GSO systems and potential allocation of imt in the frequency band 8 025-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0514!!MSW-E.

[99] Germany and France (2025), Sharing studies for AI 1.7 between IMT and EESS (s-e) in the 8 025-8 400 MHz frequency range, Document 5D R23-WP5D-C-0539!!MSW-E.

[100] Telefon AB – LM Ericsson (2025), Sharing study between IMT and EESS in the DL (space-to-earth) in the frequency band 7 125-8 400 MHz (or parts thereof), Document 5D R23-WP5D-C-0683!!MSW-E.

[101] China (2025), Sharing and compatibility studies of the earth exploration satellite service and IMT operating in the frequency band 8 025-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0709!!MSW-E.

[102] Brazil (2025), WRC-27 AGENDA ITEM 1.7- Considerations on studying sharing between the earth exploration satellite service (earth-to-space) in geostationary orbit in the frequency band 7 190-7 250 MHz and IMT operating in the frequency band 7 125-8 400 MHz, Document 5D R23-WP5D-C-0677!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

模型來進行模擬與干擾評估。甚至也有必要根據不同衛星軌道、IMT 系統類型與布建密度進行個別評估，並考慮時間可變性與實地地形因素，以精確制定頻譜共用條件。基本而言，EESS 與 IMT 在此頻段的共存問題是一項技術挑戰，仍需國際間持續協商與科學依據支持下解決。未來 WP5D 將進一步審議並將研究成果進行彙整，預期將影響 7 GHz 頻段的頻譜分配政策與技術標準的制定。

(8) MMSS 海事衛星行動用途

MMSS 海事衛星行動用途是一種提供全球性海事通信的關鍵衛星用途，涵蓋太空到地球方向的多個頻段，並受到特定「國際無線電規則」註腳的規範。此議題之研究聚焦於 IMT 系統與 MMSS 地球電臺之間可能發生的干擾情境，即 IMT 發射端亦可能對 MMSS 下行鏈路造成干擾，而 另一方面 MMSS 衛星的發射端也可能影響 IMT 接收端。雖然 MMSS 發射必須遵守 PFD 功率通量密度限制來保護地面系統，但在實際運作中，一些地區可能會經主管機關同意超出此限制。因此 WP5D 將有必要進行共用性研究以協助處理爭議的議題。

針對 MMSS 海事衛星行動用途於 7125-8400 MHz 頻段之共存議題，目前僅有來自法國與盧森堡之研究[103]。研究結果顯示，IMT 大型基地臺對衛星接收站產生的總體干擾，超出了衛星所能承受的保護標準，在某些情況下對非同步軌道和同步軌道衛星系統甚至接近 23.54 dB 和 24.4 dB。這代表在 7900-8400 MHz 頻段內，IMT-2020 與衛星上行鏈路幾乎不可能同時使用。不過該研究並未提供相關具體之干擾評估、模擬參數與結果，因此還需要進一步的分析來驗證，但由於干擾的程度實在太大，必須要非常審慎研究處理。

[103] France and Luxembourg (2025), Sharing studies between FSS, MSS and MMSS (earth-to-space), and IMT systems in the frequency band 7 900-8 400 MHz under wrc-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0548!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

雖然實質研究細節尚未呈現，且目前尚無明確技術解決方案，不過 WP5D 初步結果仍認為 IMT 的聚合干擾，皆超過 MMSS 的短期與長期保護標準，暫時認為共用不可行。未來若 WP5D 欲進一步釐清 MMSS 是否應獲 IMT 保護，則可能需設計基於功率臨界值、地理區域或頻率隔離的協調機制。此外，IMT 系統布建應充分考慮 MMSS 在特定海域的使用密度與用途區域，並可利用現有 ITU-R 模型進行交互干擾評估。因此有不同會員對是否需要進一步研究此頻段的立場分歧，預示後續仍需在 ITU-R 工作組內進行更多技術討論與政策協商。

3. 發展趨勢與觀察整理

依據目前 WP5D 關於 7125-8400 MHz 頻段之貢獻提案與研究討論，包括 FS 固定用途、SRS 太空研究用途、SOS 太空運行用途 FSS 衛星固定、MSS 衛星行動、MetSAT 氣象衛星與、EESS 地球探測、以及 MMSS 海事衛星行動等等，相關研究結果顯示，不同用途間的共享可行性差異顯著，依傳輸方向、衛星軌道型式及地理環境條件等因素而異。

在部分頻段中，IMT 與衛星用途的共存明顯存在重大挑戰。例如在 7900-8400 MHz 的地球到太空方向，有多方研究認為聚合干擾水準經常超過保護標準，因而認定共存不可行。同樣地，在 EESS 太空到地球的 8025-8400 MHz 頻段，多項研究指出所需隔離距離可能長達數百公里，顯示出高度干擾風險與共存的困難。不過另一方面，也有部分研究指出在特定條件下之共享可行性。例如在部分頻段中，有多國研究顯示 IMT 干擾有可能低於保護標準，且具有相當充裕之干擾餘度，例如 7145-7190 MHz 與 8175-8215 MHz 等頻段。此外，也有研究指出在 7250-7750 MHz 頻段，可透過短距離之隔離或城市之布建下實現共存。

整體而言，7125-8400 MHz 頻段的共享潛力存在著可能性，端

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

看如何找出共存可行之情境、以及必要之協調限制。這反映出 IMT 系統布建對現有衛星用途之影響高度依賴技術參數與地理環境。本研究將此頻段之現行研究貢獻與議題發展整理如下表。

表 2- 2、7125-8400 MHz 研究貢獻與發展趨勢整理

頻段	服務	研究現況觀察	觀察
7125 – 8400 MHz	FS	初步研究支持足夠的分隔距離，與 FS 接收天線跟 IMT 網路間的方位角錨位是實現共存的關鍵技術。	可能共存
	SRS	初步結果支持IMT 系統與 SRS 於此頻段存在著相容性，但仍需進一步的研究討論與更新。	可能共存
	SOS	建立研究結構以作為未來徵求貢獻之基礎。	仍待確認
	FSS	多數研究認為IMT 系統與 FSS 之共存為可行，並可透過適當協調滿足現有保護標準，但亦有研究指出措施將超出FSS之保護標準。	仍待確認
	MSS	導因於對保護標準(如I/N臨界值)的認知不同，部分研究認為IMT干擾低於長期標準主張可共享，但另有研究認為IMT聚合干擾超標。	仍待確認
	MetSAT	初步研究認為在基於人口考量的網路佈建下，IMT與MeSAT的共存是可行的。	可能共存
	EESS	大部分研究結果認為即使在不同的基地台佈建密度下，IMT與EESS之共存仍是可行的，	可能共存
	MMSS	初步結果認為IMT的聚合干擾，皆超過了MMSS的短期與長期保護標準，暫時認為共用不可行。	共存困難

來源: ITU-R，本研究整理

(三) IMT 新頻譜研究- 14.8-15.35 GHz

1. 發展背景與議題概述

在現行的 14.8-15.35 GHz 頻段配置中，雖因區域發展與各國政策不同而存在一定差異，但此頻段主要用於固定用途、衛星固定用途、太空研究及無線電天文觀測等用途。相關細部規範則透過附註方式反映區域或國家的特定使用情形。下圖整理了本研究所歸納的概要資訊。

	Allocation to Services		
(GHz)	Region 1	Region 2	Region 3
14.75 – 14.8	FIXED FIXED-SATELLITE (E-s) 5.510 MOBILE Space research 5.509 G		FIXED FIXED-SATELLITE (E-s) 5.509 B/C/D/E/F 5.510 MOBILE Space research 5.509 G
14.8 – 15.35	FIXED MOBILE SPACE RESEARCH 5.510 A 5.339		
15.35 – 15.4	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (passive) RADIO ASTRONOMY SPACE RESEARCH (passive) 5.340 5.511		

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 2- 15、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：14.8-15.35 GHz

來源: ITU-R，本研究整理

在此項研究中，WP5D 所針對 IMT 系統於 14.8-15.35 GHz 頻段的運作，以技術特徵和營運特徵為研究出發點[104]。在此頻段，IMT 系統一般使用高度密集的基地臺網路，以確保用戶間的穩定通信。這些系統設計為支援高速數據傳輸，並且通常在較高的頻率範圍內運行，因此具有較強的頻譜需求。在此頻段內，IMT 系統需要考慮與其他用途的共用，包括固定用途、衛星用途及空中用途等。根據這些技術特徵，IMT 系統可能會面臨來自其他用途的干擾，尤其是在頻段重疊或接近的情況下。這使得進行詳細的共用和相容性分析變得尤為重要，以確保 IMT 系統在提供高速數據用途的同時，不會對其他用途產生不利影響。

依照現存資料，14.8-15.35 GHz 頻段運作之 IMT 系統，對使用相同頻段進行太空對太空通信的太空研究用途資料中繼衛星（Data Relay Satellite, DRS）系統所可能造成的干擾風險。此類 DRS 系統多數採用近地軌道至同步軌道之間的交互衛星連結方式，而潛在的干擾場景通常涉及 IMT 系統的多個地面基地臺在衛星天線波束涵蓋區內同時發射信號。該研究基於 ITU-R 建議書 SA.1155-2[105]中的保護準則，評估干擾與系統雜訊功率通量密度比（I/N）不應超過-10 dB 的限制，且該狀況出現時間不得超過 0.1%。IMT 系統的具體技術參數、天線特性與布建模式將納入模擬假設，並搭配 ITU-R 建

[104] WP5D (2025), SWG agenda item 1.7 : ANNEX 3 – Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and IMT systems in the frequency band 14.8-15.35 GHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-250204-TD-0240!!MSW-E.

[105] ITU-R (2017), Protection criteria related to the operation of data relay satellite systems, ITU-R SA.1155-2.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議書 SA.2141[106]與 SA.509-3[107]中的技術細節，進行干擾評估與統計模擬。WP5D 之干擾計算將納入各 IMT 基地臺與用戶端設備至目標衛星間的天線增益、路徑損耗與其他傳播效應。最終的總體干擾值將與 ITU-R 所訂定之保護準則進行比對，據以判定 IMT 系統布建是否對 SRS 系統構成不可接受之干擾。

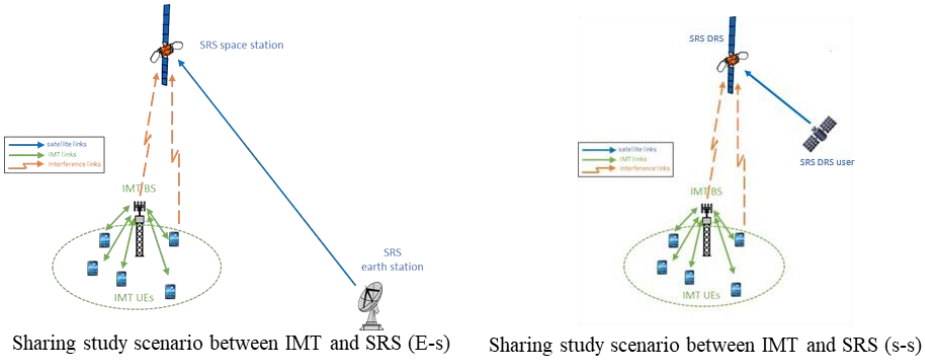


圖 2- 16、IMT 行動通信於 14.8-15.35 GHz 干擾研究情境示意圖

來源: ITU-R，本研究整理

2. 研究重點與觀察整理

為了保障 IMT 系統的有效運行，相關的共享和相容性研究將有可能加入包括對現有用途進行逆向研究分析，這些分析將有助於確定其他用途對 IMT 系統的影響，並評估如何最佳地管理干擾。WP5D 在此過程中，將使用各種傳播模型來預測不同用途間的干擾，並為 IMT 系統的設計和營運提供重要參考。這些研究成果將為確保 IMT 系統在 14.8-15.35 GHz 頻段內的順利運行提供科學依據，並促進各用途間之協同發展。

(1) FS 固定用途

隨著 IMT 系統的快速發展，全球對額外中高頻段頻譜的需求

[106] ITU-R (2025), Characteristics of space research service systems in the frequency range 14.8-15.35 GHz, ITU-R SA.2141.

[107] ITU-R (2025), Space research earth station and radio astronomy reference antenna radiation pattern for use in interference calculations, including coordination procedures, for frequencies less than 30 GHz, ITUR SA.509.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

日益增加。WRC-23 正在評估 14.8-15.35 GHz 等頻段是否適合識別作為 IMT 使用的一部分。由於該頻段已分配給 FS 固定用途作為主要用途，因此，如何確保 IMT 系統與現有 FS 用途的共享與相容性成為關鍵議題。研究議題將聚焦於 IMT 系統與 FS 系統在 14.8-15.35 GHz 頻段中的干擾風險，特別是來自 IMT 基地臺與用戶終端對 FS 接收端的影響。

依據不同的 IMT 布建密度、負載因數、地形條件與傳播模型，美國與日本分別提出研究，並針對 IMT 干擾所需的隔離距離進行了評估。美國的研究雖尚未完成數據彙整，但已建立了詳細的 IMT 與 FS 技術模型與模擬框架[108]。日本的研究則在具體場景中提出了初步結論，即若 IMT 網路在城市或郊區熱點布建，為保護 FS 接收站不受長期干擾，實際地形條件下需 30 至 45 公里之隔離距離[109]。

由於目前之成果對於未來政策制定具有參考價值，未來在補足尚未完成的研究結果，並進一步探討動態頻譜管理、地區布建條件、干擾緩解技術等實務應用後，這些研究將可能為此 WRC-27 議題提供實證依據，以平衡行動通信拓展與現有用途保護的雙重需求。

(2) AMS 航空行動用途

14.8-15.35 GHz 頻段是國際間高度重視的無線電頻譜，已分配予包括 AMS 航空行動用途等多個主要無線電用途。隨著 IMT 系統對中高頻段的需求增加，ITU-R 正針對是否可在不影響既有用途的前提下，引入 IMT 作為該頻段的使用而進行深入研究。這些研究將成為 WRC-27 決策的重要技術依據。核心議題在於 IMT 系統布建可能對航空行動用途造成干擾，特別是地面與機載 AMS 接收端

[108] United States of America (2025), Sharing between fixed systems and IMT systems operating in the frequency band 14.8-15.35 GHz, Document 5D R23-WP5D-C-0768!!MSW-E.

[109] Japan (2025), Proposals on Sharing studies between the fixed service and IMT operating in the frequency band 14.8-15.35 GHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0736!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在不同距離與高度下的保護問題。

此議題之挑戰在於要找出合理的布建模式與隔離距離，既能推動頻譜再利用，又不對既有 AMS 應用構成不當風險或需額外限制，而目前乃由美國提出主要研究[110]。該研究採用蜂巢式架構模擬 IMT 基地臺與使用者設備於單一網路系統的運作，並與各類 AMS 系統，如機載、地面、船載等情境，進行干擾評估，並模擬各種距離與仰角條件下的情境。此外，多種 IMT 網路布建之情境亦將在未來陸續提出研究成果。

由於目前僅提供研究框架與初步分析，同時相關之結果尚在初步階段，WP5D 預期未來將陸續徵求研究並鼓勵由貢獻國與研究小組提出完整分析結果，以確保對航空行動用途等重要現有系統的充分保護。

(3) SRS 太空研究用途

依據「國際無線電規則」，14.8-15.35 GHz 頻段已分配給 SRS 太空研究用途的地球至太空鏈結與衛星間鏈結（Inter-Satellite Link），並涉及關鍵科學與通信衛星系統。此頻段對於 SRS 之關鍵議題在評估 IMT 系統於此頻段的布建是否會對 SRS 系統造成干擾，尤其是從地面基地臺聚集射出的無線電波對位於 GSO 軌道或 NGSO 軌道的衛星接收端的影響。技術挑戰在於不同 IMT 系統布建情境下的干擾水準差異甚大，需精細模型的討論分析。

針對此頻段之議題，目前共有兩件代表性研究。美國專注於單一 IMT 蜂巢網路對 SRS 地球對太空鏈路以及星際鏈路的潛在干擾影響，採用蒙地卡羅模擬與 建議書 P.619 傳播模型，並納入 IMT 網路同步性、天線增益、人體與雜波損耗等參數，模擬超過 69 萬

[110] United States of America (2025), Sharing between the aeronautical mobile service and IMT operating in the frequency band 14.8-15.35 GHz, Document 5D R23-WP5D-C-0769!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

個基地臺[111]。俄羅斯採用城市與郊區小基地臺布建情境，並同時針回傳鏈路與太空鏈路進行模擬，並提出有良好相容性潛力的研究結論[112]。經討論後，研究顯示 IMT 微型基地臺的聚合干擾仍 SRS 的保護標準內，顯示 IMT 系統營運的可行性。

WP5D 後續將在貢獻各會員提供關鍵與進一步數據後，繼續進行詳細干擾分析，特別是在高密度城市與郊區環境中的影響評估，並整合多種 IMT 布建模式，最終形成技術報告，為 WRC-27 頻段規劃與政策討論提供科學依據，確保在推動頻譜效率的同時維持對太空研究任務的有效保護。

(4) RAS 無線電天文用途

依據現行「國際無線電規則」之規範記載，此頻段與 15.35-15.4 GHz RAS 無線電天文用途的主要保護頻段相鄰，因此，IMT 系統有可能產生的頻外發射對 RAS 接收站的潛在干擾，成為相容性研究的關鍵議題之一。考量到 RAS 對無線電干擾極度敏感，核心問題在於 IMT 基地臺於鄰接頻段的操作是否會對 RAS 接收站造成聚集干擾（Convergence Interference）。若 IMT 頻外發射的總體干擾超過此限制，即使發生率極低，也可能導致 RAS 系統的數據錯誤以及科學損失。

針對 IMT 系統於此頻段之議題，中國提出了採用蒙地卡羅模擬與 ITU-R 建議書 P.452 和 P.2108 傳播模型，模擬 50-200 平方公里不同區域內的城市與郊區微型基地臺對 RAS 接收站的干擾累積

[111] United States of America (2025), Sharing and compatibility studies between services to which the band is currently allocated and imt systems in the frequency band 14.8-15.35 GHz under WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0767!!MSW-E.

[112] Russian Federation (2025), Sharing studies between space research service in frequency band 14.5-15.35 GHz and IMT operating in the frequency band 14.8-15.35 GHz, Document 5D R23-WP5D-C-0647!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

影響[113]。該研究考慮的參數與設置包含基地臺密度、TDD 活動率、頻譜遮罩、天線設計、人體與雜波損耗等實際參數。模擬結果顯示，即使在具備雜波損耗的保守情境下，IMT 布建仍須與 RAS 接收站維持 147-189 公里左右之隔離距離，顯示其聚集頻外干擾對 RAS 的影響不可忽視。因此，初步研究結果顯示 IMT 系統的布建面積將影響保護 RAS 所需的隔離距離，因此將繼續進行細部分析。

儘管目前之研究已建立了評估架構並提出初步干擾距離建議，其最終干擾分析與結論仍待 WP5D 後續之討論與確認，尤其是釐清不同布建規模、雜波條件與頻譜遮罩最佳化對保護距離的實際影響。此外，其他成員是否提出互補性研究或對 RAS 觀測技術進行干擾容忍性評估，也將影響 ITU-R 在 WRC-27 前是否能提出具體的頻段共享建議與保護措施。

3. 發展趨勢與觀察整理

ITU-R 正針對 14.8-15.35 GHz 頻段進行技術研究，評估其作為 IMT 系統使用的可行性，同時確保不對現有用途，如固定、航空、太空研究與無線電天文等用途，造成不當干擾。研究涵蓋 IMT 系統對既有用途的共用與相容性影響，並考慮不同布建情境與傳播模型來進行共存之可行性評估。初步研究顯示，FS 固定用途與 IMT 共存時需維持約 30-45 公里的物理分隔距離，而 IMT 系統對 AMS 航空行動用途的干擾評估則仍待後續補充數據。至於在 SRS 太空研究方面，有研究指出 IMT 布建對上行與下行鏈路的干擾仍在可接受範圍內，但仍需針對其他網路布建之進一步分析。至於在 RAS 無線電天文用途方面，初步結果發現，即使考慮雜波損耗，仍需 147-189 公里的隔離距離，方能控制聚集頻外干擾在容許值保護範

[113] China (2025), Proposal on sharing and compatibility studies of IMT systems in the frequency band 14.8-15.35 GHz in relation to WRC-27 agenda item 1.7, Document 5D R23-WP5D-C-0708!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圍內。本研究將此頻段之研究貢獻與發展趨勢簡要整理如下表。

表 2- 3、14.8-15.35 GHz 研究貢獻與發展趨勢整理

頻段	服務	研究現況觀察	觀察
14.8 – 15.35 MHz	FS	初步研究果顯示，在都會地區IMT系統著對FS的聚合干擾，需30-45公里的分隔距離來進行保護。	可能共存
	A-MS	僅提供研究框架與初步分析，干擾評估與建議的分隔距離仍待進一步討論。	仍待確認
	SRS	研究顯示IMT微型基地台的聚合干擾仍在SRS的保護標準內，顯示IMT系統運營的可行性。	可能共存
	RAS	初步研究結果顯示IMT 系統的布建面積將影響保護RAS所需的隔離距離，因此將繼續進行細部分析。	仍待確認

來源: ITU-R，本研究整理

三、 議題 1.12- LDR-MSS 衛星物聯網

(一) 發展背景與議題概述

依據 WRC-23 第 252 號決議，ITU-R 將針對 LDR 低資料速率衛星行動用途系統，尤其是物聯網的發展，進行頻譜需求研究。此類系統屬於 NGSO 非同步軌道系統，具備突發式資料傳輸、周期或間歇性資料交換的特點，並能在資料封包遺失時重傳以持續維持用途品質。然而，現有頻譜，特別是 5000 MHz 以下的 MSS 頻段，卻無法滿足如此新興低資料速率 NGSO 非同步軌道 MSS 系統的需求。另一方面，隨著小型衛星系統數量的增加，對適合頻譜的需求亦逐步上升，尤其是 5000 MHz 以上的頻段對小型衛星的尺寸、重量和功率限制亦無法適用。因此根據該決議，為應對這些挑戰，需要進一步進行深入研究，評估如何在現有系統與頻段中實現共享和相容性，並考慮緩解技術來保障現有無線電通信用途的安全性。這些研究將於 WRC-27 前完成，以決定是否在相關頻段進行 MSS 的進一步劃分與監管行動。

在規劃研究用於 LDR 衛星行動用途的頻段中，1427-1432 MHz 頻段目前已被用於太空運行用途、無線電天文、太空研究，以及固定與行動用途。1645.5-1646.5 MHz 和 1880-1920 MHz 頻段則已有現行的衛星行動用途布建。至於 2010-2025 MHz 頻段，儘管在三個 ITU 區域間存在細部管制上的差異，其主要仍被分配用於固定和行動通信用途。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 2- 4、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：LDR 衛星行動用途

	Allocation to Services		
(MHz)	Region 1	Region 2	Region 3
1427 – 1432	SPACE OPERATION (Earth-to-space) RADIO ASTRONOMY SPACE RESEARCH (P)		
	FIXED MOBILE except aeronautical mobile 5.341A	FIXED MOBILE 5.341B 5.341C	
1645.5 – 1646.5	MOBILE-SATELLITE (Earth-to-space)		
1880 – 1920	FIXED MOBILE 5.484A 5.388 5.388A		
2010 – 2025	FIXED MOBILE 5.388 5.388A	FIXED MOBILE 5.388 MOBILE-SATELLITE	FIXED MOBILE 5.388 5.388A

來源: ITU-R，本研究整理

WP4C 針對非同步軌道低傳輸速率衛星行動用途系統的特性已逐步開展頻譜研究，並彙整相關頻譜需求、技術參數與操作條件，以支援 ITU-R 進行後續之共用與相容性研究[114]。此類系統預期將提供涵蓋全球或區域範圍的低速率雙向通信用途，特別適用於物聯網、遠端感測與機器對機器應用，並可補充地面網路未能涵蓋的偏遠地區通信需求。在確定需求後，文件中針對不同候選頻段，即 1427-1432 MHz、1645.5-1646.5 MHz、1880-1920 MHz、2010-2025 MHz 進行技術可行性與潛在干擾風險的分析，並提出可能的系統配置與使用情境。為便利研究之發展與進行，WP4C 彙整了多項 ITU-R 建議書與其他標準化技術文件作為研究基礎，包括 F.758、F.1245、F.1336 等固定與行動系統之天線特性模型建立建議，用以準確模擬干擾路徑與干擾強度；建議書 M.1184 與 M.2101 則提供了 MSS 系統與 IMT 系統的模型建立與模擬架構；建議書 S.1528 則針對 NGSO 衛星天線輻射模式提供技術依據；建議書 SM.329 與建議書 SM.1541 則定義了不必要的發射限制，以作為鄰頻與雜散干

[114] WP4C (2024), Working document regarding WRC-27 agenda item 1.12- Studies on low-data-rate non-GSO mobile-satellite systems in the mobile-satellite service, Document 4C R23-WP4C-241010-TD-0050!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

擾分析的評估依據。此外，WP4C 也引用了 3GPP TS 38.101[115]中有關用戶終端的射頻特性，協助評估與地面 5G 系統之潛在共用可能性。透過這些技術文件與模型建立方法的整合，可支持完整且精確的頻譜共用與相容性研究，為 WRC-27 對 LDR MSS 系統的頻譜分配決策提供科學參考基礎。

在正式開啟頻譜研究之前，WP4C 首先確認 LDR 低傳輸速率衛星行動用途係指一類以 NGSO 非同步軌道衛星為基礎之衛星行動系統，其設計特性與營運模式皆不同於傳統的 GSO 同步軌道或語音導向衛星系統，所交換的資訊多為非即時（Non-Realtime）應用，例如遠端監控、感測器資料回傳、物聯網設備通信等。因此，LDR MSS 特別適用於對傳輸延遲與可靠性要求相對較低的場景。

WP4C 研究認為，此議題系統之頻譜需求，主要源於其廣泛應用於衛星物聯網場景，例如針對布建於大面積區域之感測節點進行數據蒐集，這些節點可為固定、行動或遊牧型終端，所需的頻譜資源雖不多，但具備雙向通信能力的必要性。為提升系統效率並減少干擾，衛星亦需透過控制訊號通道定期向終端廣播訊息，協助終端判斷適當的傳送時機。這些功能顯示 LDR MSS 系統在空對地及地對空方向皆有實質頻譜需求，而資料下行所需頻寬則可能依終端數量而異。

此外由於 LDR MSS 系統通常採用低成本、快速布建且週期較短的衛星平臺，其短生命週期雖需頻繁補充衛星資源，卻亦促使用途技術與頻譜使用效率的快速演進。這種以快速迭代方式實現創新應用的模式，有利於新進業者參與並支持頻譜的有效利用。因此，全球若能為 LDR MSS 系統配置一致且具彈性的頻譜資源，將有助於提升其布建與營運效率。尤其在 MSS 指定頻段內，需考量多

[115] 3GPP (2025), Technical Specification Group Radio Access Network; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone, 3GPP Specification TS 38.101.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

系統共存性，以確保既有與新興應用得以公平存取資源。

WRC-27 議題 1.12 之 LDR MSS 系統通常採用不同的運作模式，並可能應用多種干擾緩解（Interference Mitigating）技術[116]，以促進與其他同頻段或鄰頻用途之共用與相容性。其架構與傳輸特性經設計可減少與其他非同步軌道系統間的相互干擾，有助於提升頻譜使用效率並實現多系統共存。WRC-23 在制訂相關研究議題時，即考量此類系統對未來物聯網、大規模裝置連接等應用場景的潛在貢獻，並強調需在不影響現有用途的前提下進行共享研究與規劃。由於議題涉及甚廣， WP4C 仍在等待其他補充之研究資料，包括有關 1645.5-1646.5 MHz 頻段的使用狀況，以及國際海事組織（International Maritime Organization，IMO）提供該頻段於其系統中現行或規劃用途的相關資料。另一方面，本議題所涵蓋的頻率範圍亦與 WRC-27 議題 1.13 及 1.14 所提出之研究頻段有所重疊，未來在進一步協調及研究工作中，仍須審慎考量相互間的影響與規劃一致性。本研究依照 WP4C 目前研究進度將可能之干擾情境研究與示意資料，整理如下圖。

[116] 在無線電通信領域中，干擾抑制是指一系列用來降低不希望信號對傳輸品質影響的技術。這些方法可從不同層面進行，如頻率領域(Frequency Domain)、時間領域(Time Domain)、空間領域(Space Domain)、以及訊號領域(Signal Domain)。透過在各個領域的技術與其結合，如分時多工與多輸入多輸出，來隔離或導引訊號，藉此促成實現通信系統即使在密集或雜訊嚴重的環境下，仍能保持高度可靠與容量維持的傳輸品質。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

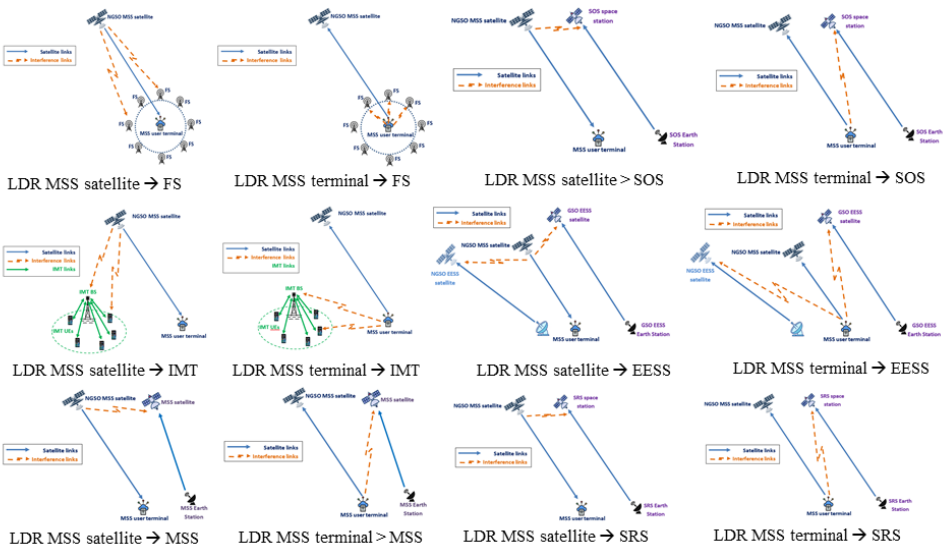


圖 2- 17、LDR 衛星行動干擾研究情境示意圖

來源: ITU-R，本研究整理

(二) 研究重點與觀察整理

1. 1427-1432 MHz

從 WRC-23 第 252 號決議可以得知，此頻段之探討議題在 1427 至 1432 MHz 頻段可能的頻譜分配和相關監管措施。研究將涵蓋 LDR-MSS 系統的頻譜需求、技術及操作特性，並進行與現有主要用途及相鄰頻段的共享與相容性研究，包含干擾緩解技術的評估，研究重點則在衛星對地球方向的傳輸。在此頻段之配置中，已識別予 FS 固定用途、SOS 太空運行用途以及 AMS 航空行動用途。此外，此頻段也已同時分配予 IMT 行動通信應用使用。目前已整理出多種 LDR-MSS 系統可能對現有用途造成干擾的場景，而這些干擾研究即是 WP4C 之討論重點[117]。以下針對各無線電用途簡要說明之。

(1) FS 固定用途

[117] WP4C (2025), Working document regarding WRC-27 agenda item 1.12 : Studies on low-data-rate non-GSO mobile-satellite systems in the mobile-satellite service, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0093!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

固定用途系統主要分為點對點（Point-to-Point）和點對多點（Point-to-Multipoint）鏈路。前者通常提供固定點間的高速通信，應用於寬頻網路和行動網路回傳，距離約 4 公里以內，而後者則多用於城鄉區域，為分散用戶提供中速率接取，涵蓋半徑約 2 公里，採用多種多工和雙工技術。這些系統的共享和干擾參數參考 ITU-R 建議書 F.758，該書區分長期與短期干擾情境。

關於此頻段議題之研究，WP4C 得到多國及多家國際組織的支持和貢獻。主要貢獻除國家會員外，國際組織如 ITU-R 多個工作組、國際海事組織[118]等也提供技術文件與資訊，涵蓋 IMT 參數、航空遙測、固定用途、太空操作等相關領域。然而，目前針對 LDR-MSS 對固定用途的多數議題與相關文件仍在討論階段，初步干擾研究結果及共享相容性評估仍未確定。WP4C 未來將持續完善研究成果，並在後續 WRC 會議中推動相關決策。

(2) IMT 行動通信應用

導因於 ITU-R 目前尚無針對 1427-1432 MHz 頻段 IMT 系統的完整技術參數表，但相關研究依據 ITU-R 的多項建議書，包括 M.1036、M.2101 以及 M.1825 等，皆被納入研究文件中，成為相容性評估的討論基礎。針對 LDR-MSS 對 IMT 用途的干擾場景，WP4C 目前已初步討論研究之範圍，可能包含 IMT 對 LDR-MSS 以及 LDR-MSS 對 IMT 之雙向干擾研究。然而，也有部分研究認為研究應聚焦於保護現有用途，IMT 對 LDR-MSS 的反向干擾研究則非目前重點。

此議題目前已有多個國家及國際組織積極參與。主要行政機構

[118] International Maritime Organization (2025), Report of the twentieth meeting of the joint IMO/ITU Experts Group on maritime radiocommunication matters, Document 4C R23-WP4C-C-0206!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

包括美國[119]、法國[120]、加拿大[121]、中國[122]、澳洲[123]、墨西哥[124]、俄羅斯[125]、日本[126]、南非[127]等。ITU-R 之 WP5A 與 WP5D 工作組，以及 GSMA[128]等也提供技術資料和專業意見，以協助推動研究。以目前進度來看，1427-1432 MHz 頻段內 LDR-MSS 與 IMT 系統的干擾及相容性研究尚未得出最終結論，仍需持續完善模型與數據，並同時加強國際協作。WP4C 未來將根據持續提交的技術資訊和分析結果，在後續會議中制定更具體的分配和監管建議。

(3) SOS 太空運行用途

在 1427-1432 MHz 頻段中，SOS 為需受到保護的主要用途之一，然而所需之具體技術特性及保護標準尚未明確，相關之 ITU-R 建議書亦仍在確認中。由於現有 SOS 技術參數多來自其他相鄰或相關頻段，但尚無法直接適用於此頻段，因此需進一步研究以制定

[119] United States of America (2025), Working document on sharing and compatibility studies of possible new allocations to the low-data-rate non-GSO MSS on WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0258!!MSW-E.
[120] France (2025), Characteristics and protection criteria of the existing SAP/SAB wireless video links for sharing and compatibility studies under agenda item 1.12 in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0266!!MSW-E.
[121] Canada and Norway (2025), Studies and elements for the working document regarding WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0277!!MSW-E.
[122] China (2025), Proposal on sharing and compatibility studies between MSS and IMT under WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0287!!MSW-E.
[123] Australia (2025), Representative MSS system characteristics for studies related to WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0300!!MSW-E.
[124] Mexico (2025), Input for working document regarding WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0301!!MSW-E.
[125] Russian Federation (2025), Technical and operational characteristics of mobile satellite system in the frequency band 1 980-2 010 MHz for sharing and compatibility studies on WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0308!!MSW-E.
[126] Japan (2025), Proposed modifications on working document regarding WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0320!!MSW-E.
[127] South Africa (2025), Characteristics and protection criteria of the existing studio transmitter links (uni-directional point-to-point) for sharing and compatibility studies under agenda item 1.12 and 1.14 in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0344!!MSW-E.
[128] GSMA (2025), Considerations for studies regarding WRC-27 agenda item 1.12, Document 4C R23-WP4C-C-0303!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

適合的技術指標和保護準則。研究專注於保護現有用途，將對 SOS 對 LDR-MSS 干擾之反向研究列為次要。

此無線電議題吸引多國主管機關及多個 ITU-R 工作組的積極參與。主要貢獻者如同前述之美國、法國、加拿大、挪威、中國、澳洲、墨西哥、俄羅斯、日本、南非等。ITU-R WP 7B 主要負責 SOS 相關資訊包含技術參數和保護準則，並協同提供 EESS 衛星地球探測用途、MetSAT 氣象衛星用途與 SRS 太空研究用途資料。其他如 WP7B 之相關工作組，亦提供必要之技術參數和保護準則基礎。此外，國際海事組織、世界氣象組織[129]及全球行動通信系統協會等也參與討論與意見提供。此時 1427-1432 MHz 頻段 SOS 與 LDR-MSS 系統的相容性研究仍處於初步階段，干擾分析及保護標準亦尚未確定。但多國及國際組織持續提供之技術資料與意見，已為接下來之研究奠定基礎。

(4) AMS 航空行動用途

1427-1429 MHz 頻段目前尚不包含 AMS 分配，但鄰頻 1429-1432 MHz 頻段已在第一區部分國家專門用於航空遙測（Aeronautical Telemetry）。研究已明確列出 LDR-MSS 對 AMS 系統可能產生的正向與反向干擾場景，同時已涵蓋遙測系統在其他頻段的保護及共享技術之 ITU-R 建議書 M.1459 亦列入討論參考。然而目前議題在該建議書之保護規範是否仍適用於 NGSO 非地球同步軌道系統以及反向干擾之研究，同時對既存之 AMS 航空行動用途提供足夠之保護，此議題尚待進一步釐清。

此議題之相關研究在 WP4C 之引導下，亦有多國主管機關積極參與，包括前述之美國、法國與加拿大等國家會員等。ITU-R WP 5B 則專門提供航空遙測相關技術資料，並參與研究文件之整合。

[129] World Meteorological Organization (2025), Preliminary position on WRC-27 agenda, Document 4C R23-WP4C-C-0243!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

其他相關工作組也提供背景技術支持，整體協同推動此頻段相容性研究。目前 WP4C 尚未完成 AMS 與 LDR-MSS 系統的干擾及相容性研究，同時具體保護措施和技術標準仍待確定，各主管機關及國際組織亦將持續提供研究貢獻。

2. 1645.5-1646.5 MHz

針對 1645.5-1646.5 MHz 頻段的研究，核心議題在於探討該頻段是否適合 LDR-MSS 的未來應用，並確保其與現有 MSS 用途及 GMDSS 全球海上遇險與安全系統等用途的相容性。雖然該頻段目前主要分配給 MSS 用途用於衛星對地通信，且長期未實際使用，但根據「國際無線電規則」仍限制其用於遇險、緊急和安全通信。該研究涵蓋了 LDR-MSS 的技術參數配置、干擾場景及系統間互動，特別強調新衛星系統導入對現有 MSS 系統可能造成的干擾風險，初步研究已發現多種干擾超標情況，尤其在 LDR-MSS 系統對現有同步軌道衛星和地球電臺的影響方面[130]。

(1) MSS 衛星行動用途

著眼於 LDR-MSS 於此頻段之可行性及與現有地球同步軌道衛星行動用途的相容性問題，WP4C 在 WRC-23 第 252 號決議下啟動必要研究，重點包括頻段重新分配、與現有遇險與安全通信限制的衝突，以及新系統導入後可能造成的干擾。儘管此頻段長期未被國際積極使用，現行「國際無線電規則」仍對其用途設有限制，使得新系統的引入需審慎評估共享與干擾風險。

此頻段之關鍵問題在 LDR-MSS 系統對 GSO MSS 的干擾風險、受限頻段的有效再利用潛力，以及現有系統是否將對新系統的造成影響等。此研究目前已有如美國、中國、法國、俄羅斯等國家

[130] WP4C (2025), Working document regarding WRC-27 agenda item 1.12 : Studies on low-data-rate non-GSO mobile-satellite systems in the mobile-satellite service, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0093!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

會員，以及 IMO 和 GSMA 等國際組織提供研究並發表看法。以討論現況來看，一些國家支持更廣泛研究以促進創新，而另一些國家則關注現有系統保護，因此目前觀點仍然出現分歧。由於 WP4C 之干擾研究尚屬初步，部分因缺乏足夠系統細節與相關干擾參數，因此未來需進行更精細的傳播模型建立與模擬，以釐清並確認後續研究與結論。

3. 1880-1920 MHz

此頻段已廣泛用於地面應用，如數位增強無線通信（Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT）無線電話和鐵路通信等固定無線電用途應用，同時部分子頻段亦正在規劃供高空平臺無人機、以及 IMT 行動通信使用。在此現況背景下，是否仍存在可供衛星應用共享之空間則為此頻段之重點發展議題[131]。

(1) FS 固定用途

作為 WRC-27 議題 1.12 的一部分，此議題圍繞著 LDR-MSS 與 FS 固定用途間的相容性與干擾問題展開探討。FS 固定用途主要的點對點與點對多點兩種架構，已經廣泛布建於市區與郊區，提供高頻寬或中等速度的數據連接，而 WP4C 即是參考 ITU-R 建議書 F.758，針對 LDR-MSS 系統在此頻段操作對此兩種 FS 系統的干擾進行評估。

對於此項研究，WP4C 接收到來自 WP5C 工作組與多國主管機關的貢獻文件，包含美國、中國、法國、俄羅斯等。經由初步研究討論後發現在大多數情境下，LDR-MSS 所產生的 PFD 功率通量密度符合保護 FS 固定用途的一般性要求，但在某些地區，卻超出了針對 FS 設定的更嚴格 PFD 限值，可能導致相容性風險。另一方面，關於固定用途對 LDR-MSS 反向干擾的評估目前亦尚未

131 同前駐.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

展開。整體而言，WP4C 研究強調需針對 LDR-MSS 的具體運作模式與其可能造成的區域性干擾進行更細緻分析，以平衡創新應用與現有系統保護的需求。

(2) MS 行動用途

此頻段已分配給多種 MS 行動用途，包括 DECT 數位增強無線通信、未來鐵路行動通信系統（Railway Mobile Radio, RMR）以及無人飛行器系統（Unmanned Aerial Systems, UAS），這些用途的技術特性及布建情境差異大，增加了與新進 LDR-MSS 系統共用頻譜的挑戰。研究重點在於評估 LDR-MSS 系統運作，是否會對現有非 IMT 之行動用途造成干擾與共存風險。

此研究項目亦有多個單位廣泛參與，包含 WP5A 與 WP5B 工作組，以及包含歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）、3GPP、GSMA 與美國、歐盟、中國、俄羅斯、日本等多國的主管機關。以研究現況來看，DECT 數位增強無線通信的干擾研究最為完整，顯示需要約 1 公里以上的空間隔離距離以避免干擾。不過，有意見指出 LDR-MSS 未必只布建於農村，對 DECT 系統的相容性應更保守評估。至於對 RMR 與 UAS 的干擾研究，目前仍在進行中，尚無結論。WP4C 亦依據 WRC-23 第 252 號決議之指示，希望以保護現有主要用途為優先，將主要用途對新用途之反向研究視為非必要。整體而言，目前 MS 行動用途與 LDR-MSS 的相容性尚未形成一致結論，研究仍在進行，後續需補充更多技術資料與測試結果以確保頻譜共用安全且可行。

(3) IMT 行動通信應用

1880-1920 MHz 頻段雖主要分配給 FS 固定用途與 MS 行動用

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

途，但其中 1900-1920 MHz 子頻段已被通過 WRC 決議[132,133]識別為 IMT 用途，此外並已經 3GPP 標準納納入成為對應於 Band 39 之 TDD 頻段。此頻段在全球 IMT 布建中雖然應用有限，未來若將此頻段進一步納入 LDR-MSS 使用，是否會對已識別或潛在布建中的 IMT 系統造成有害干擾，亦或 LDR-MSS 自身能否承受來自 IMT 的干擾。

議題之研究資料主要來自 WP5D，主要提供包括窄頻物聯網以及 HIBS 等的技術參數與使用場景。此外，包含美國、中國、歐洲、加拿大、日本、澳洲等多個國家的主管機關亦提交了相關研究資訊，以補充各國的頻譜使用情況與相容性考量。其他產業與標準化組織，如 GSMA、ETSI、3GPP 等，也提供多份資料作為研究參考依據。初步研究指出，LDR-MSS 的衛星與地面終端在上行與下行鏈路中皆可能對 IMT 基地臺產生干擾，尤其在多個用戶隨機布建於城市區域的情況下，總體干擾可能難以控制。此外，甚至有部分國家主張，應聚焦於保護現有的 IMT 用途，因此不需進行 IMT 對 LDR-MSS 的反向干擾研究。不過也有觀點指出，若未評估反向干擾，可能會忽略 LDR-MSS 在 IMT 高密度環境中自身面臨的通信品質問題。整體而言，LDR-MSS 的引入使此頻段面臨更高的共用與管理壓力，同時由於目前大多數相容性研究仍未完成，IMT 是否能與 LDR-MSS 共存尚無結論。

4. 2010-2025 MHz

針對 2010-2025 MHz 頻段中可能布建的 LDR-MSS 系統與其

[132] WRC-23 (2023), Resolution 212- Implementation of International Mobile Telecommunications in the frequency bands 1 885-2 025 MHz and 2 110-2 200 MH.
[133] WRC-23 (2023), Resolution 223- Additional frequency bands identified for International Mobile Telecommunications.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

他現有用途的相容性問題，ITU-R 正展開一系列深入研究[134]。此頻段目前已分配給 FS 固定用途與 MS 行動用途等主要用途，同時也被識別為可用於 IMT 的頻譜範圍。此外，在第二區域則被廣泛應用於包含例如無線攝影機之節目製作和特殊活動（Program Making and Special Events, PMSE）。鄰近頻段亦包含其他多項用途，如 MSS 衛星行動、SOS 太空運行用途、與 SRS 太空研究用途，進一步增加了頻譜管理的複雜性。

(1) FS 固定用途

此議題之研究主要聚焦於確保未來 LDR-MSS 布建不會對現有 FS 構成不可接受的干擾，同時也探討了固定用途對 LDR-MSS 的潛在影響。由於此頻段之 FS 固定用途之技術使用廣泛，LDR-MSS 系統的引入可能引發顯著的干擾問題，特別是當其 PFD 功率通量密度超過保護標準時。

為促進適當的技術研究來設定新準則，WP4C 統整來自多個國家與地區的主管機關，包括美國、加拿大、中國、歐洲郵政和電信管理局（European Conference of Postal and Telecommunications, CEPT）、日本、南非等所提出之貢獻研究，也積極參與文件討論與干擾評估。有初步研究指出，LDR-MSS 系統在某些操作模式下的 PFD 功率通量密度可能超出為類似系統所設下之標準。然而也有部分國家會員認為此標準不應直接套用於 LDR-MSS，建議需另行進行適當的技術研究來設定新準則。在研究過程中，各國主管機關針對干擾保護標準存在不同見解。部分認為應維持對固定用途的高保護標準，防止 LDR-MSS 系統破壞既有連線品質；另有機構則主張應根據 LDR-MSS 系統的實際特性進行專屬評估，而非直接套用 HIBS 的標準。同樣地，對於是否應研究 FS 固定用途對 LDR-MSS

[134] WP4C (2025), Working document regarding WRC-27 agenda item 1.12 : Studies on low-data-rate non-GSO mobile-satellite systems in the mobile-satellite service, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0093!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的反向干擾也存在爭議。未來幾場 ITU-R 會議將成為這些研究的關鍵時點。WP4C 呼籲各國主管機關持續提交資料與模擬結果，以充實模型、釐清干擾影響以及必要之保護標準。

(2) IMT 行動通信應用

此部分之研究亦源自於 WRC-23 第 252 號決議的要求，目的是評估是否能在該頻段內分配給未來的 LDR-MSS 系統，同時保護現有用途，特別是 IMT 系統。此頻段目前已被多個國家識別用於 IMT，並涵蓋一般行動用途及 HIBS 的應用。由於 LDR-MSS 系統的引入可能對 IMT 基地臺及用戶終端造成干擾，WP4C 正在積極進行相容性評估。

對於此議題之研究貢獻，主要來自於 WP5D 與 WP5A 工作組，提供了許多關於 IMT 系統參數、HIBS 資訊與蜂巢式行動系統的運作特性。此外，包括美國、CEPT、中國、加拿大、澳洲、墨西哥、俄羅斯、日本與南非等國家會員，均提供了相關的研究數據與看法。產業組織，如 GSMA，也參與了研究討論與文件提供，反映業界立場與技術考量。不過對於研究方向與看法，各單位的意見卻有所分歧。首先，多數主管機關認為 研究應聚焦於 LDR-MSS 對現有 IMT 的潛在干擾，以保障已布建的 IMT 系統不受影響。針對 IMT 對 LDR-MSS 的「反向干擾」研究，一些會員國認為 WRC-23 決議並不要求進行此類研究，因此有機構反對將其納入研究範圍。另外，關於 PFD 功率通量密度的保護標準，部分會員國指出，現行的保護標準[135]乃是針對 HIBS 而設，未必適用於 LDR-MSS，需要另行研議適當的標準。藉由此議題之研究討論過程，可以反映出衛星與地面行動用途在中頻段的共存挑戰日益複雜。儘管各方均認同需保障現有 IMT 布建，但對於是否允許 LDR-MSS 進入該頻段，以

[135] WRC-23 (2023), Resolution 221- Use of high-altitude platform stations as International Mobile Telecommunications base stations in the frequency bands 1 710-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz and 2 110-2 170 MHz.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

及如何設定技術準則與保護機制，仍存在重大分歧。後續研究結果將對 WRC-27 是否針對此頻段進行 LDR-MSS 分配具有決定性影響。

(3) MSS 衛星行動用途

此研究之目的，在評估新提議 LDR-MSS 是否能與既有之 MSS 系統共享頻譜並相容運作。由於鄰近 1980-2010 MHz 頻段已有 MSS 系統存在，因此新舊系統之間的干擾評估成為研究核心。關於此議題之文件，主要由前述之美國、法國、中國、加拿大、澳洲、日本、墨西哥、俄羅斯、南非等國家會員所提出。不過其他國際組織，如 GSMA 與 IMO，也嘗試提供分析與立場，甚至對其他 MSS 頻段的未來規劃提出建議，間接影響此項研究。

在技術討論層面，研究主要關注 LDR-MSS 對既有 MSS 的干擾，但部分會員國也主張應考慮 MSS 對 LDR-MSS 的干擾，即所謂的反向干擾研究。不過也有建議不應優先考慮保護新興 LDR-MSS 系統之意見出現。在系統特性差異之討論部分，鄰近頻段的 MSS 系統通常為圓形軌道與固定參數，明顯與設計更靈活、低資料率、低活躍程度的 LDR-MSS 系統形成鮮明對比，這也使得相容性評估更具技術挑戰性。這項針對其他 MSS 無線電與 LDR-MSS 系統共存的研究，代表了 ITU-R 在頻譜管理上的重要轉型挑戰。LDR-MSS 作為潛在新興通信模式，能否在已擁擠的中頻段（如 2010-2025 MHz）中取得一席之地，取決於其是否能在技術上不影響既有用途，以及需釐清政策上的優先順序與保護原則。基本上，如果新用途與既存用途能夠越同質(Homogenous)，在鄰近頻段所能夠容納的衛星系統將會越多，不過此項研究仍在 WP4C 持續討論中。

(4) SOS 太空運行用途

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

儘管 SOS 太空運行用途並未在此頻段內獲分配，但由於鄰近 2025-2110 MHz 頻段以提供做為 SOS 之主要使用，因此研究仍然聚焦於 LDR-MSS 系統對 SOS 的可能鄰頻干擾。關於此研究項目之相關參數，主要由 WP7B 來提供，而同時 WP3L 與 WP3M 則提供電波傳播模型以支援干擾模擬與相容性分析。其他研究貢獻則來自於美國、法國、中國、加拿大、挪威、澳洲、日本、俄羅斯、墨西哥與南非等國家會員。

對於此議題研究之干擾評估的範圍與方向，不同會員國間存在著不一致之立場。有不少會員強調需保護 2025-2110 MHz 頻段內的 SOS，並應重點研究 LDR-MSS 系統對 SOS 的鄰頻干擾。然而卻也有部分文件建議亦評估 SOS 對 LDR-MSS 的潛在干擾。然而多數國家會員認為，根據 WRC-23 第 252 號決議，WP4C 研究應著重於保護既有 SOS 用途，而非新提案的 LDR-MSS。此外，由於因 SOS 與 LDR-MSS 設備在功率、軌道高度、天線增益等多方面存在顯著差異，因此如何建立合理的干擾門檻與保護準則，是評估的關鍵。但整體方向仍是以保護既有 SOS 系統為優先。實質干擾模擬與保護準則尚待進一步資料與共識，預計需在後續再依據貢獻文件來更新研究成果。

(5) SRS 太空研究用途

此部分之研究重點為評估 LDR-MSS 在 2010-2025 MHz 頻段的發展是否會對鄰近 2025-2110 MHz 頻段內運作的 SRS 太空研究用途造成干擾。相關之研究文件主要來自於 WP7B 工作組，以及其他會員國家，如美國、歐洲、中國、加拿大、挪威、澳洲、日本、俄羅斯、墨西哥、南非等。WP4C 也同時引用相關之建議書作為主要技術標準與參數來源。

類似於前一議題之討論，成員機構亦對干擾研究的重點方向存在明顯分歧。支持鄰頻保護的一方，強調研究應優先評估 LDR-

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

MSS 對 SRS 的潛在干擾，避免對現有運作的深入太空與近地太空研究任務造成中斷。反之，擔心反向干擾爭議的另一方認為應評估 SRS 系統反向干擾 LDR-MSS 的可能性。目前研究進度集中在技術參數彙整與干擾場景設計，具體結論並未形成，尚在確認可供適用之保護準則。總體而言，針對 2010-2025 MHz 頻段的 LDR-MSS 系統與 SRS 間之相容性研究，目前正處於資料彙整與模型建立階段。雖有研究清楚指出需高度關注來自 LDR-MSS 的鄰頻干擾風險，特別是對已在 2025-2110 MHz 頻段運作之 SRS 系統。然而，各會員國對反向干擾是否納入研究尚無共識，具體的保護標準與干擾界限仍有待進一步協調與試算。

(三) 發展趨勢與觀察整理

針對 WRC-27 議題項目 1.12 展開關於 LDR-MSS 在四個頻段的可能發展與相容性研究，主要涉及的頻段為：1427-1432 MHz、1645.5-1646.5 MHz、1880-1920 MHz 及 2010-2025 MHz。研究核心目標是評估 LDR-MSS 與這些頻段中已存在的主要用途之間的干擾風險與相容性，並確定是否有必要進行法規修改以容納 LDR-MSS 的運作。關鍵議題在 LDR-MSS 系統可能對現有主要用途造成鄰頻或同頻干擾。同時，待議頻段之間的特性差異大，也將因每個頻段所涉及的用途背景與使用情境不同，而增加研究之困難度。此外，技術不確定性與數據不足，以及反向干擾是否應納入研究，都將增加研究與討論共識的挑戰。現今對四個候選頻段中布建 LDR-MSS 的研究仍處於進行階段。主要問題在於干擾風險的確定與可接受程度的界定。研究目前仍傾向透過技術限制與緩解措施來尋求頻譜共用的可能性，但尚未有任何頻段獲得明確建議納入未來 MSS 分配。本研究將各個議題之發展趨勢整理如下表。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 2- 5、LDR-MSS 發展趨勢整理

頻段 (MHz)	服務	研究現況與分析整理	觀察
1427 – 1432	FS	保護標準仍未確認，將繼續討論干擾情境與議題，具體研究仍在進行中。	仍待確認
	IMT	評估新服務的引入是否將對現存IMT系統造成影響，干擾結果和相容性研究仍在進行中。	仍待確認
	SOS	確認將由WP7B提供技術參數和保護準則，具體內容持續討論中。	仍待確認
	AMS	擔憂現有服務對新服務的「反向干擾」，保護準則與適用性仍在確認協商中。	仍待確認
1645.5 – 1646.5	MSS	GMDSS議題背景與適用於相容性研究的特性與參數皆已提供，具體研究仍在討論中。	仍待確認
1880 – 1920	FS	初步認定新服務之干擾有可能超過FS的保護標準，將繼續研究確認。	仍待確認
	MS	具體評估新服務對DECT、RMR、UAS的可能影響，並討論「反向干擾」的可能性。	仍待確認
	IMT	提出新服務的終端裝置對IMT基地台的共享與相容性研究方法，能否共存尚無結論。	仍待確認
2010 – 2025	FS	相異運作模式操作下之新系統將對既存系統產生不同程度之影響，持續研究適當之保護標準。	仍待確認
	IMT	新服務與HIBS存在著技術與操作上之差異，需要進行針對性之相容性研究以確立保護標準。	仍待確認
	MSS	初步研判如果新服務與既存服務越同質，能容納的衛星系統將會越多，但具體研究仍在持續中。	仍待確認
	SOS	整體方向仍是以保護既有 SOS 系統為優先，需確認對既有服務的保護準則。	仍待確認
	SRS	討論新服務對此鄰頻服務的干擾影響，並確認適用之保護準則，將持續協商「反向干擾」議題。	仍待確認

來源: ITU-R，本研究整理

四、 議題 1.13- D2D-MSS 衛星直連終端

(一) 發展背景與議題概述

依據 WRC-23 第 253 號決議，ITU-R 將考量涉及在全球範圍內研究為衛星行動用途系統新增頻譜劃分的可能性，特別是為了實現太空站與 IMT 使用者設備之間的直接連接，進而補充地面 IMT 網路的涵蓋。隨著 IMT 系統的發展，尤其是其支援地面和衛星裝置的能力，MSS 系統能提供太空站與 IMT 使用者設備之間的直接連接，特別是在地面 IMT 網路無法涵蓋的偏遠地區和用途不足區域。此外，衛星行動系統能為用途不足的社區、鄉村和偏遠地區提供替代的網路韌性，在地面 IMT 網路故障或遭遇自然災害時保持用途，這對於改善全球連結性至關重要。然而，現有頻段的壓力及衛星元件頻譜的短缺，使得在現有頻段內長期維持 MSS 用途變得困難，進而促使對新頻譜劃分的需求。因此，WP4C 研究將集中於主要劃分給 IMT 並用於 IMT 的頻段，並考慮與現有用途的共享與相容性。研究結果將提交給 WRC-27 審議，以決定是否為 MSS 進行新的頻譜劃分及相關監管行動。

由於 WRC-27 議題 1.13 探討的是利用國際行動通信所使用之頻譜來實現衛星直連終端用途，此議題涵蓋的無線電頻率皆為目前

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

廣泛布建於行動通信之頻段，包括 694/698-960 MHz、1427-1518 MHz、1710-1785 MHz、2010-2025 MHz、2110-2200 MHz、2300-2400 MHz 以及 2500-2690 MHz。為評估本議題所涉之技術與頻譜影響，本研究彙整了需特別納入考量的相關無線電用途，包括廣播用途、固定用途、無線電導航、無線電定位，高空行動通信平臺站，以及其他可能受到干擾的既有無線電系統，詳列於下表。WP4C 將針對各類系統進行干擾影響的審慎評估，以完成相關相容性與共存性的頻譜研究。

表 2- 6、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ：D2D 衛星行動用途

	Allocation to Services		
(MHz)	Region 1	Region 2	Region 3
694/8 – 960	BS, FS, MS, RNS, RLS, 5.295, 5.296A, 5.307A, 5.308A, 5.313A, 5.317A, HIBS		
1427 –1518	SOS, FS, MS, BS, BSS, 5.341A, 5.341B, 5.346, 5.346A,		
1710 – 1785	FS, MS, 5.384A, 5.388, HIBS		
2010 – 2025	FS, MS, MSS, 5.384A, 5.388, HIBS		
2110 – 2200	FS, MS, SRS, MSS, 5.388, HIBS		
2300 – 2400	FS, MS, AS, RLS, MSS, RDS, 5.384A		
2500 – 2690	FS, MS, FS, FSS, MSS, BSS, EESS, RAS, 5.384A, HIBS		

來源: ITU-R，本研究整理

WP4C 在 WRC-27 議題 1.13 之範疇下，設定研究目的是確保根據「國際無線電規則」對現有用途的保護，並評估相關技術與操作措施，以避免造成有害干擾，同時避免 MSS 系統向地面用途提出保護要求，同時實現如何讓 MSS 系統在 694/698 MHz 至 2.7 GHz 的頻率範圍內，直接連接 IMT 用戶終端，以補足地面 IMT 網路涵蓋範圍的技術可行性、頻譜需求及監管事項。

依照 WP4C 先前之研究共識[136]，可直連衛星之無線電終端用途

[136] WP4C (2024), Working document on sharing and compatibility studies in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-241010-TD-0058!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

旨在為高山、偏遠島嶼、沙漠等不便布建地面基地臺的地區提供補充性的行動連接涵蓋。提供該用途之衛星系統的特徵為：一、其運作頻率與地面 IMT 網路使用的頻率相同；二、可直接使用與地面 IMT 網路相同的終端設備通信。因此，D2D 衛星直連，是指可直接與地面 IMT 用戶終端通信的衛星行動用途系統，其設計理念是與現有地面 IMT 網路緊密整合，實現互通互操作的延伸涵蓋。此類設備不需硬體修改，無需重新認證，使用現有的 3GPP 標準之 IMT 晶片組與介面，並具備 4G/LTE 功能，確保與既有地面行動網路相容。由於衛星酬載可主動補償 LTE 時序、都普勒（Doppler）頻移、延遲與路徑損耗等問題，使得用戶終端能以與連接地面基地臺相同的方式，連接至衛星上的基地臺，實現完整的 D2D 衛星直連通信功能。

依據 WRC-23 第 253 號決議，MSS 衛星行動用途不得對 MS 行動用途系統造成有害干擾，亦不得要求來自 MS 系統的保護。因此，WP4C 針對 D2D 衛星直連與地面 IMT 系統之共存研究中，不需考慮地面 IMT 基地臺對 D2D 衛星直連的干擾，應聚焦於 D2D 衛星直連發射對地面 IMT 系統的潛在干擾。於下行鏈路干擾場景中，可透過針對地面 IMT 終端的功率通量密度保護準則，適當保護地面 IMT 布建；若 D2D 衛星直連與地面 IMT 皆採用相同方向之 FDD 傳送模式，則可僅基於 IMT 終端接收端特性，在 694/698 MHz 至 2.7 GHz 頻段內導出 PFD 限制。若任一系統採用 TDD 模式，則應依運作頻段分析對地面 IMT 基地臺與 IMT 終端之干擾可能性。在上行鏈路干擾情境下，若與 MSS 通信之 IMT 終端具備與一般地面 IMT 終端相同的發射特性，則鄰國地區接收的干擾問題可視為地面 IMT 系統間的互相干擾，需考量在此議題下如何處理。因此，WP4C 研究認為進行議題 1.13 的共存研究，應分析以下情境：一、運作於 IMT 頻段的 D2D 衛星直連對既有 MSS 系統可能造成的干擾；二、運作於相同頻段並於鄰近國家地區涵蓋之 D2D 衛星直連系統間的

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

潛在干擾問題。本研究概要示意 D2D 衛星直連行動通信之干擾研究情境如下圖。

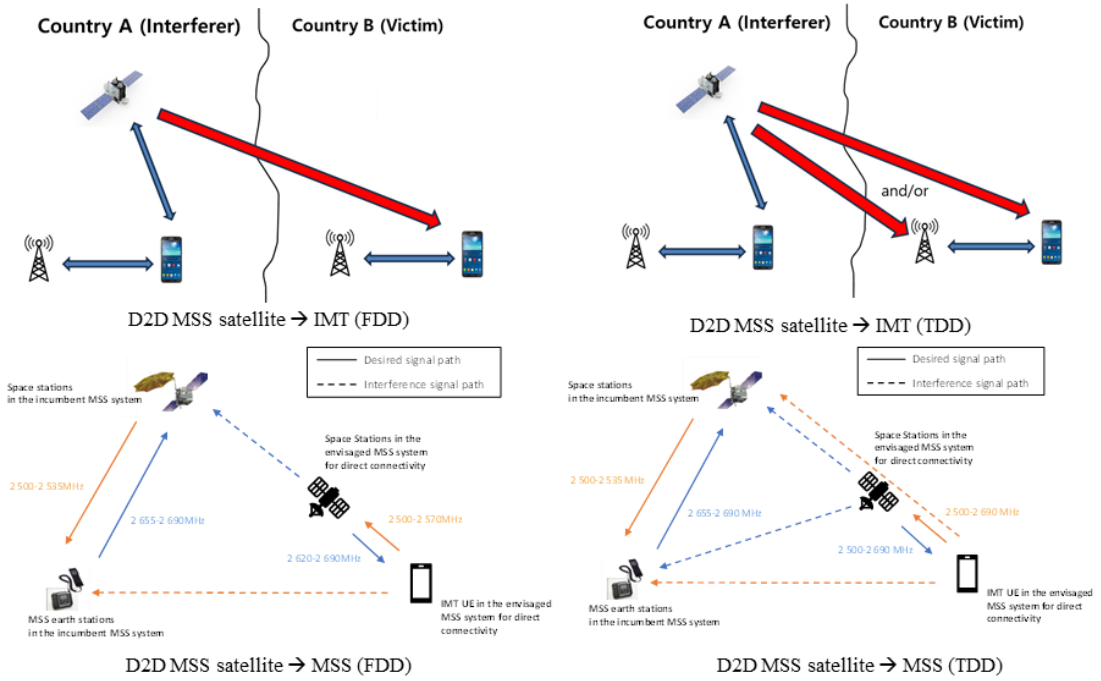


圖 2- 18、D2D 衛星直連衛星直連行動通信之干擾研究情境示意圖

來源: ITU-R，本研究整理

(二) 研究重點與觀察整理

1. 698-960 MHz

WRC-27 議題 1.13 的核心目標是在探討是否可以將 MSS 衛星行動用途頻譜分配給 IMT 系統，以實現衛星對用戶終端的直接連接，進而補強現有地面 IMT 網路在偏遠或難以涵蓋區域的用途能力。此部分之研究鎖定於 700 MHz 至 2.7 GHz 的頻段，其中 694/698-960 MHz 是關鍵研究範圍。WP5C 目前研究聚焦在包含 FS 固定用途、IMT 通信應用、BS 廣播用途、以及 AMS 航空行動用途等多項議題[137]。

[137] WP4C (2025), Working document on sharing and compatibility studies under WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0098!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(1) FS 固定用途

FS 固定用途是此頻段內既定之主要用途，也涉及相鄰頻段使用，因此任何新的 D2D-MSS 分配都必須謹慎評估對 FS 的潛在干擾。在干擾評估方面，WP 4C 已初步歸納出 D2D-MSS 太空站發射器對 FS 接收端的潛在頻內干擾情境。然而，整體的干擾模型建構與評估仍未完成。WP 4C 正持續蒐集 D2D-MSS 系統的技術與操作參數，並預計進一步分析其對包括 FS 在內的既有用途的干擾風險。

此議題之主要的貢獻單位為 WP 5C，負責則提供 WP4C 相關於 FS 的運作資訊與模型，供共享與相容性分析之用。在國家會員的貢獻方面，美國與中國分別從不同角度對 D2D-MSS 系統在 698-960 MHz 頻段的布建可能性提供了重要貢獻。美國聚焦於 IMT 頻率安排與系統干擾管理策略，中國則著重於 MSS 系統參數與 FS 相容性研究方法。儘管兩國都尚未針對 FS 在此頻段公開具體結果，但其在其他頻段的研究經驗與方法，為未來相容性評估提供了可行的技術基礎與方向。WP4C 之初步研究亦提及一些通用性的干擾緩解技術，包括波束成形、功率控制、與邊界區域的動態管理等方法，旨在滿足跨境 PFD 總體功率通量密度限制。然而，這些技術多屬於一般性通用之框架，尚未針對 FS 在 698-960 MHz 頻段的具體應用情境進行專門研究。以目前研究而言，此議題已被明確認知，且其受干擾的風險也已被納入評估考量，但目前關於 D2D-MSS 系統與 FS 之間共享與相容性的具體研究成果尚未出現，仍屬於研究進行中的狀態。

(2) IMT 行動通信應用

此問題核心在於探討是否可透過 MSS 衛星行動用途直接連接至 IMT 系統使用者設備，以補足現有地面 IMT 網路的涵蓋範圍。此項研究必須在不影響現有用途的前提下進行，並符合「無線電規則」的規定。在研究當下，698-960 MHz 頻段已被列為 IMT 候選頻

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

段之一，目前正進行共享與相容性評估。主要的干擾場景包括：D2D-MSS 太空站的下行發射對地面接收設備造成干擾。

目前已有多個國家會員針對 D2D-MSS 系統提出技術參數與干擾分析方法。美國提供了其國內 IMT 頻段使用情形，如 698-798 MHz 與 814-894 MHz，並提交了涵蓋 698-960 MHz 的兩套 NGSO 非同步軌道 MSS 系統資訊。中國則提供了此頻段內之其餘 D2D-MSS 系統，包含軌道高度 500 公里，傾角 55 度，布建總數達 3600 顆衛星等資訊。俄羅斯、紐西蘭與印度亦分別提交了其國內 IMT 頻段使用情形，並標註部分為高度優先研究頻段，與相關研究現況。由於目前尚無明確的 ITU-R 建議書針對 MSS 系統提供干擾保護準則，因此有會員建議需重新評估並制定更符合實際運作的保護準則。總結來說，針對在 698-960 MHz 頻段中提供 D2D-MSS 直連用途的研究仍在進行中。各國正積極提供系統技術參數與研究方法，試圖釐清新興 MSS 系統與現有地面用途的相容性。

(3) BS 廣播用途

依據 WRC-23 議題 1.13 之決議，此頻段被納入為 IMT 潛在候選頻率配置，因此 BS 廣播用途於 698-960 MHz 頻段的共享與相容性也成為研究重點之一。在此頻段內，廣播用途是頻段內的主要用途，且其存在也延伸至頻段相鄰範圍。干擾風險的核心在於從 D2D-MSS 太空站所發射的下行訊號，可能對廣播站的接收端產生不利影響，特別是在接收敏感度高的地面接收裝置上。

依據 ITU-R 之研究任務規劃，WP6A 為廣播用途相關研究的主要來源，不過 WP4C 目前尚未得到來自 WP6A 進一步說明廣播系統的技術細節。雖然整體研究仍屬初期階段，部分文件也已列出多種潛在干擾場景，但關於 BS 的詳細相容性分析與共享可能性，目前依然未有定論。整體而言，在 698-960 MHz 頻段導入 D2D-MSS 直連用途的可行性研究中，廣播用途已被視為一項需嚴格保護的現

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

有用途，而且已經建立起初步的技術框架與保護準則。

(4) AMS 航空行動用途

在 694/698-960 MHz 頻段內，AMS 航空行動用途被列為帶內主要現有用途之一，而緊鄰頻段還包含 ARNS 航空無線電導航用途。主要的頻內干擾情境是來自直連 D2D-MSS 太空站發射器對 AMS 接收端的干擾。

關於此議題之研究，國際民用航空組織（International Civil Aviation Organization, ICAO）是航空行動及航空無線電導航相關資訊的重要來源，同時 WP 5B 工作組也提出了航空通信及監控系統的干擾保護準則。另一方面，美國則提交了關於 MSS 系統在 925-960 MHz 頻段與 ARNS 航空無線電導航系統相容性的研究。雖然該研究聚焦於鄰近頻段，但提供了航空系統保護的重要技術觀察，包括測距設備、監視雷達、廣播式自動相關監視（Automatic Dependent Surveillance- Broadcast, ADS-B）、通用存取收發機、多邊定位系統及空中防撞系統（Traffic Collision Avoidance System, ACAS）等。美國亦提供 MSS 衛星配置的相關數據，用於評估對地面與空中系統的潛在干擾。雖然航空行動用途在 698-960 MHz 頻段被認定為主要的現有用途，較詳細的研究目前仍主要針對鄰近的 960-1215 MHz 頻段航空系統。WP4C 未來研究將持續深入評估並制定相關保護與共存措施。

2. 1427-1518 MHz

1427-1518 MHz 頻段是 WRC-23 議題 1.13 範圍內，被列為重要的候選頻率之一。此頻段內已有多項既有用途，包括 FS 固定用途、BS 廣播用途、BSS 廣播衛星用途及部分地區的 AMS 航空行動用途，而鄰近頻段則包含-SOS 太空運行用途等。研究的重點干擾情境是 D2D-MSS 太空站對上述既有用途接收端的潛在干擾，尤其

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

是在邊界區域及與鄰頻 MSS 地球電臺的相互影響[138]。

(1) FS 固定用途

依據「國際無線電規則」之規範，FS 固定用途為頻段之主要分配用途之一，意味著 D2D-MSS 的引入必須評估對 FS 的干擾風險並提出保護機制。此議題關注來自於 D2D-MSS 太空站發射訊號對 地面 FS 接收站的潛在干擾，因此將研究定調在探討 D2D-MSS 系統對 FS 站接收端造成的頻內干擾。

以目前研究來看，中國提交一份具體針對 FS 與 MSS 共享的研究報告[139]，並列出多種 MSS 系統的技術特性，包括來自中國與美國的 GSO 地球同步軌與 NGSO 非同步軌道系統。這些系統在 1427-1518 MHz 頻段內的運作參數，例如頻譜功率通量密度、發射功率、衛星軌道與天線特性，都已詳列於 WP4C 之工作文件當中，為接下來的干擾評估提供了一致之基礎依據。儘管 ITU-R 已有相關建議書來進行傳輸損耗模型建立與干擾計算，並透過累積分佈函數來呈現統計結果，建立起一定之討論基礎，但目前針對 FS 的相容性研究尚處於初期階段。

(2) IMT 行動通信應用

1427-1518 MHz 頻段被列為 IMT 潛在候選頻段之一，因此受到特別關注。研究目的與方向在如何透過 MSS 太空站直接連接 IMT 使用者設備，進而補足地面 IMT 網路的涵蓋，並同時確保對現有用途的保護。

138 同前註.

139 China (2025), Proposal for sharing and compatibility studies in the frequency bands 1 427-1 518 MHz in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0281!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在具體研究貢獻中，中國[140]、美國[141]與東加[142]提交了不同方向的分析資料。中國研究聚焦於與 D2D-MSS 之間的相容性評估，並研究設計了完整的方法論流程，包括干擾鏈路模型建立、使用 ITU-R 建議書建立傳播模型，以及考量如建築物進入損耗（Entering Loss）、叢集損耗（Clustering Loss）等多項因素。美國則集中於分析 D2D-MSS 系統在 1475-1518 MHz 頻段下行時，對鄰近頻段 1525-1559 MHz 可能造成的干擾，該研究並提出採用 ITU 建議的保護準則。東加則提出多種干擾緩解技術，例如在邊境地區調整主波束方向、優先使用本國上空衛星等方式，以減少跨國界的 PFD 功率通量密度干擾。該研究結果指出，若有效應用這些緩解策略，即使在多個 D2D-MSS 系統運作的邊界區域，系統間的聚合干擾也可維持在可接受範圍內，對自身 IMT 用戶終端達到良好保護的效果。綜合而言，儘管研究架構與方向已有基本一致性，對「未經修改（unmodified）」的現有 IMT 使用者設備進行直接通信之研究，但多項關鍵技術與標準仍需進一步研議。目前雖有多國已提出技術模型與初步研究，真正針對地面 IMT 網路本身的詳細分析尚未展開，大部分研究著重於 D2D-MSS 系統對其他既有用途的潛在影響與緩解手段。

(3) BS 廣播用途

在 1427-1518 MHz 頻段內，BS 廣播用途已被明確列為主要現有用途之一，並在各會員國一致認同下，WP4C 應對 D2D-MSS 太空站發射器對 BS 接收端造成的頻內干擾進行重點分析。因此，為 BS 廣播用途在引入 D2D-MSS 用途時獲得有效保護，即是目前共

140 同前註.

141 United States of America (2025), Working document on sharing and compatibility studies in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0246!!MSW-E.

142 Tonga (2025), Working document on sharing and compatibility studies in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0338!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

享與相容性研究的重要基礎。

在中國提交的文件中[143]，針對 1452-1492 MHz 子頻段提出了關於 BS 與 MSS 共存進行了初步技術研究，研究重點放在兩者之間的共享與相容性。中國的研究廣泛採用 ITU-R 建議書中所列的傳播與干擾評估模型，使各方對使用標準化模型建立工具與分析框架達成一致方向。不過儘管研究架構與重點干擾場景已確定，相容性評估的具體技術結果仍待後續更多技術細節與協調工作來完成完整評估。

(4) BSS 廣播衛星用途

BSS 廣播衛星用途已被明確列為此頻段的主要現有用途之一，與 FS 固定用途、IMT 應用用途、BS 廣播用途、SOS 太空操作用途及 AMS 航空行動用途等無線電用途一樣，同為需受保護之對象。目前研究情境假設 BSS 發射衛星位於太空、其主波束直指地面接收站，而 D2D-MSS 太空站則可能從不同軌道方向造成干擾。這些基本干擾條件已獲廣泛共識，成為後續進行技術模型建立與相容性分析的出發點。

中國為目前針對 BSS 干擾問題的主要貢獻會員之一，針對 1452-1492 MHz 頻段進行了具體的共享與相容性研究[144]。該研究涵蓋了 D2D-MSS 與 BSS 系統的技術參數、操作特性與空間布局，為整體討論提供了參考案例，亦有助於了解雙方系統如何在現實環境下共存。就研究方法論而言，WP4C 已初步形成共識，普遍採用 ITU-R 建議書作為模型建立依據，包含用以評估對流層折射與波束擴展造成的傳輸損耗之建議書 P.619-5、計算自由空間基本傳輸損耗之建議書 P.525-5、考慮大氣氣體造成的衰減之建議書 P.676-13、

[143] China (2025), Proposal for sharing and compatibility studies in the frequency bands 1 427-1 518 MHz in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0281!!MSW-E.

[144] 同前註.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

評估地面雜波如建築物與植被造成的附加損耗之建議書 P.2108、以及建築物進入損耗之建議書 P.2109。這些建議書提供了標準化的傳輸損耗模型，使研究具有一致性與可比性，並確保後續分析具科學性。整體而言，儘管 BSS 的地位與干擾情境已獲確認，且研究方法具備共通性，但最終是否可實現 BSS 與 D2D-MSS 的頻段共用，仍需依賴未來 WP4C 會議的進一步技術討論與政策協商。

(5) SOS 太空運行用途

在 1427-1518 MHz 頻段中，SOS 太空操作用途為地球到太空方向的主要現有用途之一。儘管 SOS 為該頻段內的現有主用途之一，但在目前的干擾情境分析中，尚未明確列出 D2D-MSS 系統對 SOS 的具體干擾評估。

WP4C 目前缺乏針對 SOS 的直接干擾模型或情境描述，但 WP7B 工作組已被指定為負責提供 SOS 系統技術資料的單位，代表其可能已向 WP 4C 提供了 SOS 的特性資訊，例如鏈路模型或敏感參數，用於後續的共享與相容性分析。WP4C 目前尚未針對 SOS 提出具體研究結果或分析細節，不過依然指出進行這類研究時需考量多項技術面，包括完整的 MSS 系統參數、不同雙工模式對共享性的影響，以及干擾預估所需的鏈路預算（link budget）。基於 SOS 太空操作用途在 1427-1518 MHz 頻段內為已分配的主要用途，理應受到保護，不過受限於研究的貢獻狀態，該頻段的共享評估尚處於初期階段，需進一步釐清 D2D-MSS 系統對 SOS 的潛在影響。

(6) AMS 航空行動用途

在此頻段內，AMS 航空行動用途雖非全球性主要配置，但在部分國家或地區透過「國際無線電規則」的註腳額外分配，因此被明確列為現有主要用途之一，與其他主要無線電用途同樣需要受到

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

保護。 在干擾情境方面，各方普遍認為需研究來自 D2D-MSS 太空站對 AMS 地面接收設備造成的潛在干擾，而頻內干擾應是評估 D2D-MSS 與 AMS 共存可行性的核心技術議題。研究重點將放在模擬實際運作情境，包括航機與地面通信站的位置與操作特性，以及 D2D-MSS 太空站可能產生的聚合功率與波束指向。

在研究貢獻部分，中國、美國與東加等國家所提出相關於 1429-1518 MHz 頻段的研究，也包含了涉及此頻段之系統運作特性，因此成為未來 AMS 干擾評估的重要參考系統。同時 ITU-R 的建議書也提供了標準化模型使各國研究結果具有可比性，並可提供初步的技術風險評估框架。儘管 WP4C 已有初步保護條件與研究範圍的一致性討論，但針對 AMS 的具體相容性結論與可接受干擾門檻、緩解技術建議等，目前仍未形成最終共識。所有相容性結果仍處於草案階段，需待未來會議中進一步技術分析與政策協調。

3. 1710-2200 MHz

1710-2200 MHz 頻段為 IMT 國際行動電信之識別頻率，在 WRC-23 第 253 號決議之下，已研究準備供未來布建之 D2D-MSS 系統透過衛星直接連接 IMT 使用者設備之使用。此頻段內已存在多種用途，包括 FS 固定用途、AMS 航空行動用途、IMT 行動通信、SOS 太空運行用途、MetSAT 氣象衛星用途、與 SRS 太空研究用途等。這些既有用途在新系統引入時需獲得適當之保護[145]。

(1) FS 固定用途

FS 固定用途系統是 1710-2025 MHz 和 2110-2200 MHz 頻段內的主要現有用途，必須在引進 D2D-MSS 新系統時獲得妥善之保護。此外，存在於鄰近頻段，如 1700-1710 MHz、2025-2110 MHz、2200-

[145] WP4C (2025), Working document on sharing and compatibility studies under WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0098!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2290 MHz，之 FS 固定用途，亦需納入研究與干擾評估之考量。先前之 WP4C 討論已明確指出需針對 D2D-MSS 太空站發射對 FS 接收站的頻內干擾進行研究，主要關注下行鏈路造成的干擾。而上行鏈路，即地面至衛星方向，對 FS 的影響雖在陸地場景中預期較小，但海上場景則需被列入研究。

關於此議題之研究，美國、中國和代表歐盟之德國為主要貢獻之國家會員。美國提出針對 1780-1850 MHz 子頻段的共享與相容性研究，關注來自 D2D-MSS 衛星系統之干擾源[146]。中國亦提供以 NGSO 非同步軌道之 D2D-MSS 為干擾源之共存研究成果[147]。德國則分享數據資料，說明了多個頻段在歐盟與第一區域之分配與應用情況，同時提供相關應用的特性與保護準則給 WP4C，用於後續相容性研究[148]。簡言之，美國與中國針對兩無線電系統的干擾進行了具體技術模擬，分別涉及不同的頻段與衛星系統設計。德國則著重於頻段分配資訊與特殊應用的保護需求，補充了在歐洲特定使用情境下的相容性考量。具體共存之最終可行性與緩解措施，仍待進一步研究與國際共識建立。

(2) AMS 航空行動用途

基於 AMS 航空行動用途在 1780-1850 子頻段之實際存在與運作需求，儘管 AMS 在「國際無線電規則」中未被明列為主要用途，WP4C 經討論後仍決定針對 AMS 的共享與相容性進行研究。

146 United States of America (2025), Working document on sharing and compatibility studies in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0263!!MSW-E.

147 China (2025), Proposal for sharing and compatibility studies in the frequency bands 1 710-2 025 MHz and 2 110-2 200 MHz in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0290!!MSW-E.

148 United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (2025), Characteristics and protection criteria of the existing SAP/SAB wireless video links for sharing and compatibility studies under agenda item 1.13 in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0273!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

美國藉由文件之提交針對 1780-1850 MHz 頻段內 AMS 的相容性問題進行深入分析，主要研究針對來自 NGSO 非同步軌道衛星 D2D-MSS 系統的潛在干擾[149]。該研究採用蒙地卡羅模擬，在丹佛市附近模擬 AMS 系統的運作情境，透過百萬次之干擾分析，涵蓋上下行干擾、距離變因、接收高度與指向方式等多項參數。值得一提的是，美國目前是唯一針對 AMS 干擾問題提出詳盡技術研究的國家，並建議了明確的保護準則。其他國家則多聚焦於頻段內其他既有用途，對 AMS 的直接研究參與仍屬有限。截至目前為止，WP4C 所有相關研究結果尚未達成共識，未來仍需進一步討論與驗證。

(3) IMT 行動通信應用

這項研究聚焦於 1710-2200 MHz 頻段內，D2D-MSS 衛星行動用途太空站與 IMT 使用者設備直接連接的潛在應用場景。IMT 系統在 1710-2025 MHz 和 2110-2200 MHz 頻段內本身即為既有的主要用途，因此保護現有陸地 IMT 系統亦是研究範圍之一。研究目的在引入新型態 D2D-MSS 用途以補足陸地 IMT 網路的涵蓋之時，同時確保對既有 IMT 系統的保護。干擾主要來自 D2D-MSS 太空站的下行發射，潛在干擾對象包括 HIBS 基地臺以及 D2D-MSS 本身的太空站接收端。此外，若 IMT 系統之終端裝置於海上使用，考量到干擾情境不同於陸地情境，該海上場景也須特別納入研究範圍。

對於此議題之研究，美國提供的研究建議採用 ITU 建議的傳播模型與保護標準進行相容性評估[150]。中國則針對整個 1710-2200

[149] United States of America (2025), Working document on sharing and compatibility studies in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0264!!MSW-E.

[150] United States of America (2025), Working document on sharing and compatibility studies in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0263!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

MHz 頻段進行全面性分析，涵蓋眾多既存系統的相容性[151]。德國則強調應對既有無線電用途提供相應之保護準則[152]。整體而言，目前 WP4C 之研究為評估 D2D-MSS 是否能在不造成有害干擾的前提下引入 1710-2200 MHz 頻段，並提供了初步的技術依據與分析框架，對於未來此類用途的頻譜規劃與政策制定具高度參考價值。

(4) MetSAT 氣象衛星用途

WRC-23 議題 1.13 之研究原則，在確保在引入新用途的同時，不對既有系統造成有害干擾，而 MetSAT 氣象衛星用途雖不在此頻段內直接運作，卻因其位於緊鄰頻段而被列為需特別關注的保護對象。經由先前之討論，D2D-MSS 系統在 1710-2200 MHz 頻段的發射訊號有可能對鄰頻之 MetSat 接收系統造成干擾，此部分之研究即在分析這種相鄰頻段干擾，並評估雙方共存的可能性。

在研究貢獻部分，中國是主要技術分析報告的提供者，並提出了針對 1710-2200 MHz 頻段內 D2D-MSS 與 MetSat 系統在 1700-1710 MHz 頻段間之相容性評估[153]。WP7B 雖未直接提交干擾評估報告，卻亦提供了與 MetSat 用途相關的必要技術參數與背景資料，對整體相容性分析提供了幫助。綜整而言，WP4C 於此問題之研究提醒了 D2D-MSS 系統布建於 1710-2200 MHz 時，雖然目前這些研究多為初步性質，但亦提醒了未來應審慎考量其對 1700-1710 MHz 頻段內 MetSat 系統可能造成的干擾風險。

---

[151] China (2025), Proposal for sharing and compatibility studies in the frequency bands 1 710-2 025 MHz and 2 110-2 200 MH in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0290!!MSW-E.

[152] United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (2025), Characteristics and protection criteria of the existing SAP/SAB wireless video links for sharing and compatibility studies under agenda item 1.13 in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0273!!MSW-E.

[153] China (2025), Proposal for sharing and compatibility studies in the frequency bands 1 710-2 025 MHz and 2 110-2 200 MHz in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0290!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(5) SRS 太空研究用途

在此頻段範圍內，SRS 太空研究用途被識別為一項重要的現有用途，其運作情境涵蓋頻段內與相鄰頻段兩種情形。首先，SRS 地球對太空鏈路在 2110-2120 MHz 頻段屬於頻內用途，此部分直接與 D2D-MSS 系統的候選頻率重疊，因此潛在干擾風險需特別關注。第二，在相鄰頻段方面，SRS 的衛星間鏈路運作於 2025-2110 MHz，而太空對地球鏈路則使用 2200-2290 MHz 頻段。雖然這些頻段與 D2D-MSS 不完全重疊，但其接收端可能因鄰頻干擾而受到影響。

關於此議題之研究，中國為核心的貢獻者之一，並藉由文件之提供，提出了涵蓋前述兩個場景之具體相容性分析。儘管目前研究多數結果仍處於未確定狀態，但中國的初步模擬結果，已為未來可能的頻譜調整與保護準則奠定了技術基礎。

(6) SOS 太空運行用途

SOS 太空作業用途雖然並非 D2D-MSS 的影響之主要對象，但作為鄰近頻段的主要用途，仍是此議題評估中的重要保護對象。WP4C 研究特別設定了相關情境，用以評估這些潛在干擾是否會對 SOS 系統造成不利影響。

在先前之討論中發現，在 1710-2200 MHz 頻段運作 D2D-MSS 系統，有可能對 2025-2110 MHz 和 2200-2290 MHz 頻段內之 SOS 太空作業用途造成影響。中國則藉由研究之貢獻，提出了包括 SOS 在內的相鄰頻段相容性研究，明確針對 SOS 系統與 D2D-MSS 的相容性進行分析[154]。另一方面，WP7B 工作組雖未直接提交相容性評估報告，但其提供了 SOS 與其他相關太空用途的操作參數和技

[154] 同前註.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

術資料，為整體評估提供了重要基礎資訊[155]。未來還需進一步模擬和協調，以確認此類新型通信用途是否能在不影響 SOS 系統運作的情況下布建於 1710-2200 MHz 頻段。

4. 2300-2690 MHz

此研究主要在探討在 2300-2690 MHz 頻段內，推動新型用途 D2D-MSS 新型用途的可行性。研究聚焦於此系統與頻段內及相鄰頻段既有用途的共享與相容性，以確保現有用途不受到有害干擾。目前此頻段已被多個用途所使用，包括 FS 固定用途、IMT 行動通信、FSS 衛星固定用途、BSS 廣播衛星用途、RDSS 無線電衛星測定用途與 RLS 無線電定位用途等。

(1) FS 固定用途

關於此議題之研究，WP4C 將整個頻段分為兩個子頻段進行分析：2300-2400 MHz 和 2500-2690 MHz。在這兩個頻段中，FS 固定用途均為主要用途，這表示 D2D-MSS 系統的任何使用都必須在 FS 得到保護的前提下運行。研究指出在 2300-2400 MHz 頻段內，從 D2D-MSS 太空站對 FS 接收站可能造成的干擾是重要考量。同時，D2D-MSS 系統在 2500-2690 MHz 對 FS 接收端的干擾風險亦不可忽視，必須加以分析。

在研究貢獻方面，多個會員國和組織參與了 FS 共享與相容性模擬工作。中國針對 2620-2690 MHz 頻段提出 FS 與 D2D-MSS 系統之相容性研究 ，但具體結果仍待未來補充。WP4C 於工作文件中說明了干擾緩解技術的重要性，並建議透過一些方法，如波束成形、功率管理、以及在邊界關閉用途單元等方法，可以顯著降低對 FS 的干擾，並滿足國際間對越境功率通量密度的管制需求。整體

[155] WP4C (2024), Working Party 7B : Reply liaison statement to Working Party 4C on WRC-27 agenda items 1.12, 1.13, 1.14 and 1.15, Document 4C R23-WP4C-C-0196!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

而言，此部分之研究仍屬初步階段，後續結果可能隨研究進展與工作組討論而有所調整。

(2) IMT 行動通信應用

此議題所涵蓋之 IMT 候選頻段包括：2305-2320 MHz（上行）、2345-2360 MHz（下行）、2500-2570 MHz（上行）和 2620-2690 MHz（下行），並已在多個國家已有實際布建，因此在共享時需優先考慮對其保護。此外，不同之國際區域間的配置差異亦有可能導致跨境干擾，需要協調。經 WP4C 討論研究後發現，D2D-MSS 系統的下行鏈路是主要干擾來源，尤其可能對眾多既存系統構成干擾。此外，在海事用途之情境中，IMT 用戶終端的上行鏈路也需額外評估其對 MSS 地球電臺的干擾。

關於此部分研究，有來自不少國家的技術提案與干擾模擬方法貢獻。中國提供了 FS 與 D2D-MSS 之間在 2500-2690 MHz 的共享研究[156]；美國提出針對 FS 系統之保護準則，並分析了多頻段的 MSS 干擾情境；日本模擬海上 IMT 終端設備對 MSS 地球電臺的干擾[157]。WP4C 為降低干擾風險，研究提出一系列緩解技術，如波束成形、功率管理、邊界用途單元關閉、衛星選擇、防護頻帶與射頻濾波器等。初步分析指出，在實施這些技術後，大部分干擾可有效抑制，但部分用途仍難以被充分保護。整體而言，若要實際布建 D2D-MSS 於此頻段，仍須克服干擾與相容性挑戰，特別是在多用途共存與跨境協調方面，並需進一步深入研究和國際間的共識。

(3) FSS 衛星固定用途

[156] China (2024), Technical and operational characteristics of the existing mobile-satellite service system for sharing and compatibility studies in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0154!!MSW-E.

[157] Japan (2025), Sharing and compatibility studies between the incumbent MSS systems and the envisaged MSS systems for direct connectivity in the 2.5/2.6 GHz frequency bands, Document 4C R23-WP4C-C-0323!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

依據「國際無線電規則」，FSS 於此頻段中被列為現有主要用途，具備空對地與地對空的傳輸功能，因此在進行 IMT 頻譜共享與相容性研究時，應被視為優先保護的系統。D2D-MSS 太空站普遍被認為可能對 FSS 接收站造成頻內干擾，然而依據 WP4C 先前之研究尚未提供實際模擬數據以支援此論點。

雖然參與 WRC-27 議題 1.13 討論之國家會員眾多，包含美國、中國、印度、俄羅斯、法國、日本等，但貢獻多集中於其他用途的相容性分析，尚未有國家針對 FSS 於此頻段之問題提出具體研究或保護提案。目前 WP4C 僅先引用 ITU-R 建議書 M.1183 之內容，在進行 MSS 或 FSS 系統間的共享時，會考慮長短期保護準則。不過，這些內容僅先作為背景參考而非核心研究重點。簡而言之，WP4C 雖認可 FSS 在 2500-2690 MHz 頻段的主要用途地位，並應受到保護，但在實際研究內容上，仍然缺乏針對 FSS 的具體分析與緩解對策。

(4) BSS 廣播衛星用途

WP4C 依據先前討論，已確認 BSS 廣播衛星用途為 2500-2690 MHz 頻段內的主要用途。這代表在任何針對此頻段 D2D-MSS 系統布建規劃中，BSS 必須被納入保護範疇。然而，儘管 BSS 的地位被清楚標示，實際研究內容中卻仍然缺乏針對 BSS 提出具體的干擾模擬或相容性分析。

在眾多國家會員中，印度曾經提出此頻段相關之 D2D-MSS 系統特性，然並對 BSS 廣播衛星用途提出具體之技術參數或干擾研究[158]。中國雖然也在其他頻段提及進行 BSS 與 MSS 相容性研究

[158] India (2025), Incumbent system characteristics in the 2.4/2.5/2.6 GHz frequency bands for sharing and compatibility studies in preparation for WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0340!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

之必要性，但可惜的是對於此頻段仍無更進一步之研究[159]。以研究現況來看，即便 BSS 廣播衛星用途被認定為此頻段需保護的現有用途，卻仍未有實質的干擾情境分析或緩解策略被納入 WP4C 之研究文件中。未來若要推動 D2D-MSS 系統在此頻段內布建，將需補足對 BSS 的詳細干擾評估與保護對策，才能符合「國際無線電規則」下的無線電用途共存原則。

(5) RDSS 無線電衛星測定用途

在 2500-2690 MHz 頻段內，RDSS 無線電衛星測定用途被列為主要現有用途之一，這意味著在進行任何新頻譜分配前，RDSS 系統的運作需受到保護。不過，RDSS 的分配可能是特定國家基於「國際無線電規則」註腳而取得，並非全球普遍配置。另外值得注意的是，在緊鄰的 2438.5-2500 MHz 頻段，RDSS 因實際運作而同樣具有優先保護之地位。WP4C 先前並未提供針對 2500-2690 MHz 頻段中 RDSS 的共享或相容性分析結論，以及在 2438.5-2500 MHz 頻段運行之 RDSS 系統之技術參數。

關於此議題，印度已通過文件提供了運行於 2.4 GHz 頻段的 RDSS 系統與運行之相關技術資料，足供作為鄰頻干擾研究的參考[160]。WP4C 身為負責 RDSS 無線電測量衛星用途的技術研究與協調單位，亦為處理此用途相關議題戮力研究與協調必要之保護機制。儘管 RDSS 在此頻段內擁有主要的用途地位，且有來自印度的技術參數貢獻，但在目前之研究成果當中，仍缺乏 RDSS 的共享與相容性進行實際干擾模擬或評估分析。對於 RDSS 作為受害用途在 D2D-MSS 系統布建下的保護策略，仍需進一步技術評估與具體研究支

[159] China (20252), Proposal for sharing and compatibility studies in the frequency bands 1 427-1 518 MHz in relation to WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0281!!MSW-E.

[160] India (2025), Incumbent system characteristics in the 2.4/2.5/2.6 GHz frequency bands for sharing and compatibility studies in preparation for WRC-27 agenda item 1.13, Document 4C R23-WP4C-C-0340!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

持。

(6) RLS 無線電定位用途

在此議題之 2300-2400 MHz 頻段中，RLS 無線電定位用途被列為現有的主要用途之一，並經討論發現 RLS 接收端有可能為潛在的干擾受害者，受到來自 D2D-MSS 發射端的干擾。再加上 RLS 於緊鄰之 2500-2690 MHz 頻段，也被列為既有之無線電用途，顯示其在更廣泛頻率範圍內都需在此議題下被納入相容性考量。然而，雖然 RLS 被明確識別為一項應受到保護的無線電用途，但可惜的是先前之 WP4C 研究並未包含針對 RLS 的具體共享或相容性分析結果。

針對此議題之貢獻研究方面，目前僅有 WP4A、WP4B 與 WP4C 相互交流以分享研究狀態，但尚未有任何國家會員提出具體之研究資料與結果。雖然 RLS 無線電定位用途在 2300-2400 MHz 頻段中擁有主要地位，並被認定為在 D2D-MSS 系統規劃中需考慮的鄰頻段受害用途，然而目前 WP4C 仍無法完成任何針對 RLS 的詳細相容性研究、技術參數或干擾緩解措施。未來仍需進一步的技術評估與研究才能保障其運作不受新興用途干擾。

(三) 發展趨勢與觀察整理

根據 2025 年 WP4C 的研究資料，目前的研究仍處於初步與持續討論階段。儘管多數技術參數，如軌道配置與運作條件等，已有初步共識，但仍有若干重要技術議題尚未達成一致，包括對相鄰頻段的影響以及跨境干擾的管理與緩解技術等。此外針對不同頻段的研究已初步展開。在 694/698-960 MHz 頻段，主要在評估 MSS 於 925-960 MHz 對外的干擾情形，目前尚未有定論，但有研究認為透過調整靠近邊界的 PFD 功率通量密度可有效降低干擾風險。在 1710-2200 MHz 頻段中，研究重點放在 MSS 與 FS 固定用途與 AMS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

航空用途間的共用情況，目前相關研究仍在進行中。初步研究指出，在此頻段中既存之無線電系統極易受到 D2D-MSS 系統的干擾，且保護所需的隔離度極高幾乎難以有效共存。相對而言，2500-2690 MHz 頻段的研究結果較為樂觀。討論認為可透過設置防護頻段、實施功率控制與使用濾波器進一步緩解干擾問題。整體而言，雖然多數研究仍未完成，結論尚待確認，但已初步發現部分頻段具備實現 D2D-MSS 的潛力。後續仍需仰賴各會員國提供更多數據，並透過國際協調與技術細化，逐步完成相容性評估，以作為 WRC-27 頻譜決策的依據。本研究將各研究頻段以及對應無線電用途之討論觀察整理於下表。

表 2- 7、D2D-MSS 研究貢獻與發展趨勢整理

頻段	服務	研究現況與分析整理	觀察
698 – 960 MHz	FS	大部分軌道配置、技術和操作特性項目已達成共識，但跨境干擾管理等特性仍需要進一步確認。	仍待確認
	IMT	研究框架和干擾情境已明確，但下行鏈路干擾是重要的研究焦點，詳細的干擾分析仍在進行中。	仍待確認
	BS	確定了干擾情境與保護條件，但具體分析結果仍待進一步討論確認。	仍待確認
	A-MS	確定了干擾情境與保護條件，但容易受到干擾影響之共用與兼容性仍待進一步討論確認。	仍待確認
1427 – 1518 MHz	FS	大部分軌道配置和技術操作特性已達成一致，但目前針對 FS 的兼容性研究尚處於初期階段。	仍待確認
	IMT	關鍵在對「未經修改 (unmodified)」的現有 IMT 用戶設備(UE)進行直接通訊之研究，但具體兼容性研究結果仍待確定。	仍待確認
	BS	大部分軌道配置、技術和操作特性項目已達成共識，兼容性評估的具體技術結果仍待完整評估。	仍待確認
	BSS	確認保護地位，並參考ITU-R建議書進行研究討論。	仍待確認
	SOS	尚處於初期階段，並未有具體之共享與兼容性研究。	仍待確認
	A-MS	大部分干擾情境與保護條件已達一致，但仍有更多技術細節須進一步討論。	仍待確認
1710 – 2200 MHz	FS	大部分軌道配置和技術操作特性已達成一致，將繼續討論跨境干擾的相容性與緩解議題。	仍待確認
	A-MS	美國是唯一針對此議題提出研究之國家，但如何應用到共享與相容性研究仍待討論。	仍待確認
	IMT	初步結果認為可透過保護準則來促成共享與兼容性，但仍需進一步研究確認。	可能共存
	MetSAT	WP7B將提供具體技術和操作特性，目前研究仍在進行中。	仍待確認
	SRS	研究強調頻內與頻外發射所造成的干擾，目前尚未有具體結果。	仍待確認
	SOS	WP7B將提供具體技術和操作特性，目前研究仍未有具體成果。	仍待確認
2300 – 2690 MHz	FS	在此頻段的研究上屬初始階段，共享與相容性研究仍待更多的研究貢獻。	仍待確認
	IMT	大部分干擾可有效抑制，但研究仍在進行中，重點在在於確保現有 IMT 系統免受有害干擾。	可能共存
	FSS	研究仍在討論進行中，仍然缺乏具體之分析與緩解對策。	仍待確認
	BSS	已被確認為此頻段之受害者而須進行保護，但實質的干擾情境分析或緩解策略仍待討論。	仍待確認
	RDSS	直接干擾情境尚未被明確定義或納入，但RDSS的保護機制已列入考量。	仍待確認
	RLS	潛在的干擾情境已被討論識別，但尚無具體相容性研究細節或結果。	仍待確認

來源: ITU-R，本研究整理

五、 議題 1.14- New MSS 新興衛星通信

(一) 發展背景與議題概述

依據 WRC-23 第 254 號決議，ITU-R 將主要針對頻段 2010-2025 MHz 和 2160-2170 MHz 在第一區域和第三區域，以及頻段

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2120-2160 MHz 所有區域，研究為衛星行動用途系統新增頻譜劃分的可能性。自多年前進行對衛星行動用途的頻譜劃分以來，MSS 系統的應用範圍與系統數量已大幅成長，隨著技術演進及外部標準的推進，MSS 的潛在使用者規模也持續擴大。MSS 已被證實是一種實用且具成本效益的電信解決方案，特別適用於偏遠與用途不足地區，對促進全球經濟與社會發展具有重要貢獻。隨著行動通信需求不斷上升，對於 MSS 及其實現「隨時隨地連接能力」的需求亦日益殷切。WRC-23 決議指出，連續頻譜與監管確定性不僅能提升頻譜管理效率，亦對衛星與地球電臺的設計與布建至關重要。在此背景下，有必要研議於 WRC-27 進行新的 MSS 頻譜劃分，並評估是否可透過將部分現有的次要劃分升格為主要劃分以擴增容量。然而，相關研究須審慎考量上述頻段已廣泛用於地面 IMT、太空用途等主要應用，必須確保新劃分不會對現有用途造成干擾或衝突。最終研究成果將提交 WRC-27 審議，以決定是否進行新的 MSS 頻譜劃分及其配套的監管措施，以因應未來日益增長的行動通信衛星用途頻譜需求。

在 WP4C 於此議題之研究頻段中，頻段 2010-2025 MHz、2120-2160 MHz 以及 2160-2170 MHz 均在全球範圍內以主分配方式劃分給固定用途與行動用途，並根據「國際無線電規則」第 5.388 號附註所規定，已被確認可用於 IMT。這些頻段的頻率安排依據 ITU-R 建議書 M.1036，其中 2010-2025 MHz 為非對稱使用頻段，而 2120-2160 MHz 與 2160-2170 MHz 則為基地臺發射下行頻段，分別對應使用 1930-1970 MHz 或 1720-1760 MHz、以及 1970- 980 MHz 或 1760-1770 MHz 作為行動站上行頻段。此外，這三個頻段亦依「國際無線電規則」第 5.388A 號附註被確認可供 HIBS 作為高空 IMT 基地臺使用，以支援新型態的寬頻涵蓋解決方案。在第 2 區域中，這些頻段另具有 MSS 衛星行動用途使用的區域性分配。具體來說，2010-2025 MHz 頻段在第 2 區被以主分配方式劃分給 MSS；2120-

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2160 MHz 則為次要分配用於 MSS；而 2160-2170 MHz 則在第 2 區以主分配方式分配給 MSS，同時在第 1 與第 3 區域也確認供 HIBS 使用。這些分配使得在 WRC-27 議題下，針對非同步軌道低資料率或 MSS 衛星直連系統的應用具有可行性。為說明各候選頻段的現行使用情況，本研究整理其頻譜配置情形如下圖所示。

表 2- 8、WRC-27 研究頻譜之現行配置 ： 新衛星行動無線電用途

	Allocation to Services		
(MHz)	Region 1	Region 2	Region 3
2010 – 2025	FIXED MOBILE 5.388 5.388A	FIXED MOBILE 5.388 MOBILE-SATELLITE	FIXED MOBILE 5.388 5.388A
2120 – 2160	FIXED MOBILE 5.388, HIBS	FIXED MOBILE 5.388, HIBS MSS	FIXED MOBILE 5.388, HIBS
2160 – 2170	FIXED MOBILE 5.388, HIBS	FIXED MOBILE 5.388 MSS	FIXED MOBILE 5.388, HIBS

來源: ITU-R，本研究整理

WP4C 在此議題之研究目的在於提供與頻譜需求、技術、操作以及法規事項相關的資訊，並評估是否應在前述候選頻段中為 MSS 衛星行動用途考慮新增分配，以因應需求日益上升，應用範疇和使用案例日益多樣化之衛星行動通信發展[161]。

在技術層面，低軌道（Low Earth orbit, LEO）與中軌道（Medium Earth orbit, MEO）系統皆為能提供全球雙向語音與數據通信的非同步軌道與中軌道衛星行動系統，能滿足地面通信無法涵蓋區域的連線需求，特別是在偏遠地區、海上航行途中以及航空飛行階段等場

[161] WP4C (2024), Working document on sharing and compatibility studies of possible new allocations to the MSS on WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-241010-TD-0055!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

景。這些系統可支援從簡訊傳遞、語音通話到中低速資料傳輸等多樣化的用途應用。其終端設備涵蓋從手持式裝置、筆記型電腦大小的可攜式終端、到安裝於船舶、航空器或地面車輛上的固定式或移動式天線系統，具備強大環境適應能力及即時通信功能，能在靜止或移動條件下維持穩定通信。這些 MSS 系統在設計上具備高度頻譜靈活性與共享能力，可在 2010-2025 MHz、2120-2160 MHz 與 2160-2170 MHz 頻段或其部分範圍內運作。這些頻段在某些地區已獲分配給 MSS 或其他用途，若能統一於更多地區進行分配，將有助於衛星營運商進行系統升級、簡化頻譜管理並實現跨區域漫遊能力。此外，由於這些 MSS 系統多數採取動態波束指向與自動功率控制技術，能有效減少與其他無線電用途間的干擾風險，提升頻譜使用效率與共存性。透過這些技術特性，MSS 系統能夠在全球不同地區提供可靠、靈活且具延展性的衛星行動通信用途，進一步支援如災難救援、邊境監控、智慧運輸與全球衛星行動連網應用的持續發展。

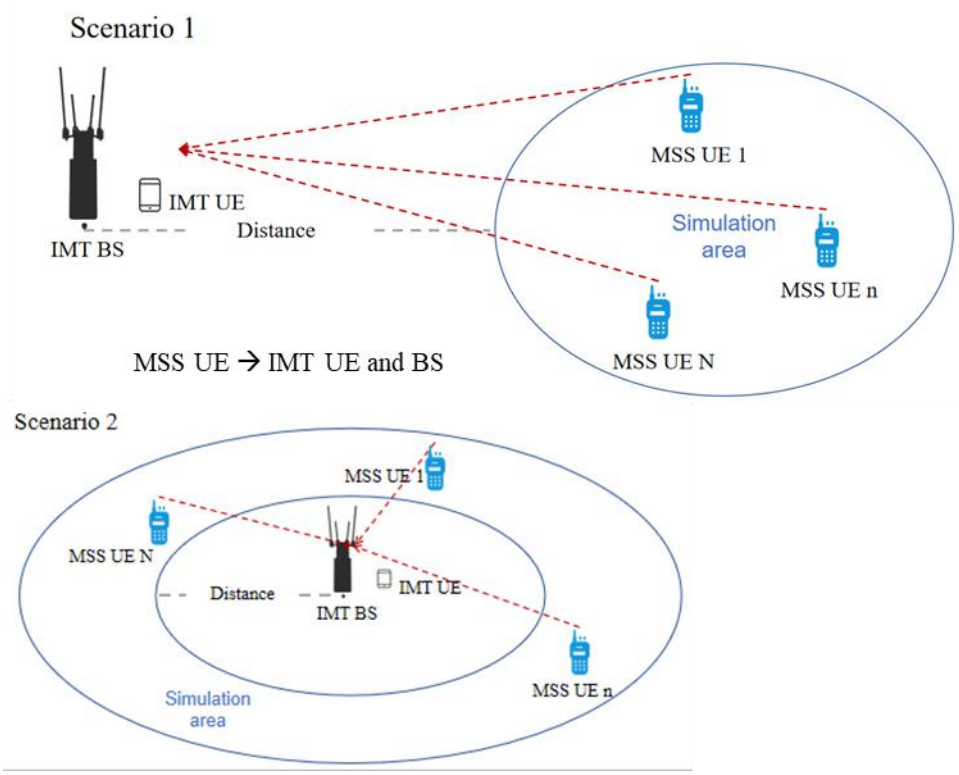


圖 2- 19、新衛星行動無線電用途之干擾研究情境示意圖

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源: ITU-R，本研究整理

由於 2120-2170 MHz 頻段已被 IMT 系統廣泛使用，主要用於 IMT-2000 與 IMT-Advanced，有些國家甚至已在該頻段布建 IMT-2020。若該頻段分配給衛星行動用途，預期將導致大規模的衛星用戶終端布建。然而，這可能會產生重大的法規限制，尤其是 MSS 一旦獲得分配後，即可根據「國際無線電規則」主張保護權，從而限制現有 IMT 系統的彈性。正如 WRC-23 通過的第 254 號決議所強調，任何新的 MSS 頻段分配不應對現有用途造成額外的法規約束。鑑於 IMT 網路在此頻段廣泛用於城市、郊區和鄉村地區的下行傳輸，新 MSS 分配可能會限制未來 IMT 基地臺的擴展。上圖展示了用於模擬研究分析之干擾情境，其範圍取決於 IMT 基地臺對 MSS 用戶端設備產生的干擾水準。WP4C 將持續針對 MSS 可能對 IMT 在不同布建環境所產生的法規影響進行分析與探討。值得一提的是，亦有研究單位主張應考慮到 IMT 系統的實際運作條件與干擾傳播特性，可假設多數用戶終端通常位於室內環境，並受建築物牆壁與結構遮蔽的自然衰減效應影響，因此能有效減弱來自 MSS 終端的干擾；甚且，IMT 基地臺的架設高度較高，使其更易受到遠距離干擾源的影響，進一步降低其上行鏈路的抗干擾能力。

(二) 研究重點與觀察整理

針對 WRC-27 議題項目 1.14 的研究工作，本項目主要目標是評估是否可為 MSS 衛星行動用途新增頻譜分配，目前正處於一個高度協作與不斷發展的階段。同時依循 WRC-23 第 254 號決議，WP4C 在這一研究過程中必須確保不對現有主要用途造成干擾之原則。此議題之研究涵蓋多個面向，包含 MSS 在 2010-2025 MHz 和 2120-2170 MHz 等頻段與其他現有用途之間的技術相容性。特別是在 IMT 系統可能共存的環境中，針對來自 MSS 衛星行動終端的可能干擾進行模擬評估。此部分之研究資料與貢獻，主要來自等國

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

家會員如美國[162]、希臘[163]、中國[164]、俄羅斯[165]、法國[166]與南非[167]，而 IMO[168]與 GSMA[169]亦額外提出許多補充資訊。

1. 2010-2025 MHz

關於此頻段之研究，目前已被識別有 IMT 和 HIBS 系統用途，在部分區域的國家，也將 2010-2025 MHz 也被用於節目製作輔助（Services Ancillary to Programme making, SAP）與廣播輔助用途（Services Ancillary to Broadcasting, SAB）等無線影像鏈路(Wireless Video Lilnks）。這導致共享與相容性成為研究的核心議題，需評估 MSS 與其他既存無線電用途是否能共存[170]。

(1) IMT 行動通信應用- 地面通信

在 2010-2025 MHz 頻段內，IMT 系統地面通信的使用已在全

[162] United States of America (2025),Working document on sharing and compatibility studies of possible new allocations to the mss on WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-C-0257!!MSW-E.
[163] Greece (2025), Characteristics and protection criteria of the existing SAP/SAB wireless video links for sharing and compatibility studies under agenda item 1.14 in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0269!!MSW-E.
[164] China (2025), Considerations on protection criterion related to interference to GSO MSS in the frequency range 1 980-2 010 MHz (e-to-s) and 2 170-2 200 MHz (s-to-e) for sharing studies for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0291!!MSW-E.
[165] Russian Federation (2025), Technical and operational characteristics of mobile satellite system in the frequency bands 1 980-2 010 MHz and 2 170-2 200 MHz for sharing and compatibility studies on WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-C-0310!!MSW-E.
[166] France (2025), Reply liaison statement to Working Party 5D on protection criterion for terrestrial IMT, Document 4C R23-WP4C-C-0331!!MSW-E.
[167] South Africa (2025), Characteristics and protection criteria of the existing studio transmitter links (uni-directional point-to-point) for sharing and compatibility studies under agenda item 1.12 and 1.14 in preparation for WRC-27, Document 4C R23-WP4C-C-0344!!MSW-E.
[168] World Meteorological Organization (2025), Preliminary position on WRC-27 agenda, Document 4C R23-WP4C-C-0243!!MSW-E.
[169] GSMA (2025), Considerations for studies regarding WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-C-0304!!MSW-E.
[170] WP4C (2025), Working document on sharing and compatibility studies of possible new allocations to the MSS on WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0094!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

球範圍內獲得識別，並受到「國際無線電規則」特定附註之明確規範[171]。此頻段目前以 TDD 模式使用，並與 WRC-27 的其他議題（如議題 1.12 與議題 1.13）所涉頻段有部分重疊，因此在新 MSS 用途引入時必須考量對現有系統的保護與協調，包含 IMT-2000、IMT-Advanced 以及 IMT-2020。為進行共享與相容性評估，這些全球廣泛布建的標準系統均須詳細列出關鍵參數，包括頻寬、天線配置、基地臺發射功率、干擾保護標準等。研究重點將在評估 MSS 終端對 IMT 系統，特別是基地臺上行鏈路接收端的潛在干擾。

此項研究的參數與模型由 ITU-R 多個工作組共同貢獻。IMT 系統參數主要來自 ITU-R WP 5D 工作組，並依據 ITU-R 建議書來進行模型建立。另一方面，傳播模型則由 WP 3L 和 WP 3M 工作組來共同提供相容性分析的具體方法。綜合來看，此議題之研究建立 2010-2025 MHz 頻段內地面 IMT 系統的全面參數資料與干擾評估方法，為未來頻譜分配與系統共存提供了必要的技術依據，但目前資訊仍屬暫時性質，尚未形成正式共識。不過，其成果對 WRC-27 頻譜決策具有重要參考價值，亦反映出跨工作組合作對於全球無線通信規劃的關鍵角色。

(2) IMT 行動通信應用- 高空行動通信平臺站

2010-2025 MHz 頻段已在全球識別為 IMT 使用頻段，HIBS 作為 IMT 系統之高空平臺基地臺，正在此頻段中被納入此 WRC-27 議題的共享與相容性研究。因 HIBS 布建於高空，更易受干擾，因此研究重點在於評估 MSS 地球到太空上行鏈路對 HIBS 造成的潛在干擾，尤其是基地臺接收方向的影響。

此研究主要由 WP 5D 工作組提供技術參數，包括 HIBS 特性與布建模型，而共享與相容性研究的整體規劃則由 WP4C 工作組

[171] Radio Regulation (2024), NO. 5.388.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來統籌完成。平時兩工作組經常性地透過連絡函來交換並確認相關保護準則與參數的應用細節。目前 WP4C 研究成功量化了在不同保護準則、MSS 活動密度及環境條件下，HIBS 與 MSS 共用頻段的可能性。這些結果可為未來頻譜分配與管理政策提供科學依據，尤其在 IMT 與 MSS 需共存的頻段上特別重要。整體研究有助於促進高空平臺與其他無線用途之間的頻譜共用與技術相容，為未來互補之保護準則可能行性奠定基礎。

(3) MS 行動通信用途

在包含歐洲之第一區域，2010-2025 MHz 頻段亦被應用於 SAP/SAB 的無線影像鏈路，此無線電屬於 PMSE 歐盟節目製作與特別活動應用的一部分。這些應用涵蓋常用於新聞轉播、現場活動等場景之無線攝影機、可攜式與移動式影像傳輸鏈路，包含不同之技術參數與設定，以及不同之保護準則與標準[172]。

此部分之研究主要由歐盟國家主導，考量來 WP3L/3M、WP5D 以及 WP7B/7C，相關於訊號傳播模型、IMT 設置參數、和太空科學用途的保護標準，在 WP4C 工作組之協調下逐步穩定進行研究。以目前討論進度來看，雖然 SAP/SAB 應用於歐盟國家貢獻之下較具體明確，但由於其影響範圍主要限於第一區域，研究仍處於動態發展中，未來成果仰賴更多貢獻者的參與與保護共識的形成。

2. 2120-2170 MHz

2120-2170 MHz 頻段已在全球範圍內識別為 IMT 系統用途之用途，尤其是作為下行鏈路傳輸。同時根據 WRC-23 第 221 號決議，此頻段也被納入 HIBS 空行動通信平臺站提供 IMT 下行鏈結用途之使用。此外 MSS 衛星行動用途對鄰頻用途的影響，如對 SRS

[172] WP4C (2025), Report of the thirty-second meeting of Working Party 4C, Document 4C R23-WP4C-C-0204!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

太空研究用途等之干擾影響，也須列入研究考量範圍[173]。此外，由於此頻段也與 WRC-27 議題項目 1.12 和 1.13 的研究範圍部分重疊，因此對現有主要用途的保護措施亦需跨議題協調。

(1) IMT 行動通信應用- 地面通信

根據 WRC-23 第 254 號決議，MSS 的任何新分配均不得對現有用途造成額外限制，因此必須留意 MSS 的進一步引入可能妨礙 IMT 的地面網路擴展及新基地臺布建。此研究的另一重點，在於評估若 MS 衛星行動用途獲得該頻段的新分配，其終端設備是否會受到來自 IMT 基地臺的有害干擾，以及此種分配對 IMT 發展的潛在監管影響。

此研究由 WP4C 工作組所主導，並結合 ITU-R 技術文件與其他工作組之協助來進行，包含 WP5D 提供 IMT 系統參數，WP3L/3M 提供干擾模擬所用的傳播模型，以及其他多項建議書所提供相關於 IMT 系統之布建模型與天線設置。整體而言，此研究是多個 ITU-R 工作組協同進行的技術與監管分析，目前正在評估如何確保對既存用途的保護，且不對現有用途施加額外的監管限制。

(2) IMT 行動通信應用- 高空行動通信平臺站

雖然 2120-2170 MHz 頻段的主要研究焦點是 IMT 地面系統與 MSS 衛星行動用途間的相容性，但此頻段實際上也涵蓋 HIBS 之運用。因此做作為 IMT 系統與網路組成之一的 HIBS，其技術特性與相容性理應被一併納入評估，尤其是在與 MSS 共存方面的可行性方面。WP4C 研究關注的核心為 MSS 終端對 HIBS 上行鏈路的干擾，以及對 HIBS 頻譜效率的影響。

此研究為 WP4C 依據 WRC-27 議題 1.14 所進行之共享與相容

[173] WP4C (2025), Working document on sharing and compatibility studies of possible new allocations to the MSS on WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-250423-TD-0094!!MSW-E.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

性評估工作的一部分，相關研究資訊來源包括 WP5D 所提供之系統技術參數[174]，WP3L/3M 所提供之傳播模型，以及相關之 ITU-R 建議書與研究報告等。目前研究顯示，在滿足保護準則下，每個活躍 MSS 終端的可容許活動範圍從數十平方公里到數千平方公里不等，具體取決於 IMT 類型、布建環境與終端功率。若活動因子為 100%，HIBS 所能容納的可干擾 MSS 區域可達 3853 平方公里；若考慮 10%活動因子，則面積可大幅縮小。研究證實，HIBS 對 MSS 終端的干擾潛力較小，而 MSS 終端對 HIBS 尤其上行鏈路的干擾風險則需謹慎管理，特別是在 MSS 布建密集情況下。這些研究提供了重要的結論依據，但結果尚待後續確認同意。

(3) SRS 太空研究用途

在 2120-2170 MHz 頻段，SRS 太空研究用途並未直接被納入成為核心研究對象，但考量到 MSS 衛星行動通信依然有可能對位於鄰頻之 SRS 太空研究用途造成影響，WP4C 因此決定研究討論 MSS 衛星行動通信對 2025-2120 MHz 頻段之鄰頻干擾與對 SRS 太空研究用途必要之保護準則。

關於研究此部分議題之技術資料與基礎，主要來自 WP7B 與 WP7C，提供了包含 EESS、MetSat、SOS、SRS 等用途的特性資料與相關資訊。ITU-R 亦有相關之建議書與技術報告可供作為討論基礎，包含針對 2025-2110 MHz 頻段的操作與保護準則之 SA.609，應用於深入太空 SRS 的鏈路特性與干擾評估之 SA.1014 與 SA.1157，以及包含用於 SRS 系統的天線圖樣參考之建議書 S.672。不過整體而言，SRS 在此頻段的干擾風險與保護需求尚未被深入量化，若未來有新的頻譜分配或共享需求，將需要進一步研究相關技術參數和保護準則。

[174] WP4C (2024), Working Party 5D : Reply liaison statement to Working Party 4C-WRC-27 agenda item 1.14, Document 4C R23-WP4C-C-0200!!MSW-E

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(4) EAN 歐洲航空網路應用

在此頻段，歐洲航空網路（European Aviation Network, EAN）應用雖非 2120-2170 MHz 頻段之主要研究對象，但歐盟國家考量到該應用現行位於 1980-1995 MHz 與 2170-2185 MHz 可能遭受 MSS 衛星行動用途之鄰頻干擾影響，因提請 WP4C 於 WRC-27 議題 1.14 中一併討論研究。

關於對 EAN 歐洲航空網路應用已被加入 WP4C 之共享與相容性評估之中，同時 EAN 的技術特性也已納入即將修訂的 ITU-R 建議書 M.1184 建議書草案。由於目前尚無具體技術評估，歐洲航空網路之航空終端與衛星元件之未來發展與衝擊，仍待後續更多的觀察與確認。

(三) 發展趨勢與觀察整理

目前 WRC-27 議題項目 1.14，探討 MSS 衛星行動用途在 2010-2025 MHz 與 2120-2170 MHz 頻段的潛在新頻譜分配及其對現有系統所產生的共享與相容性影響。綜整而言，目前研究顯示在 2010-2025 MHz 頻段引入 MSS 存在顯著挑戰，尤其在需保護 IMT 用途的前提下。未來若要實施 MSS 新分配，須極度謹慎地規劃其技術與監管框架，避免對現有系統造成干擾或限制。同時，對 SAP/SAB 和其他現有用途的共享研究仍待補充完善。另一方面，MSS 於此 2010-2170 頻段亦將對現有 IMT 系統構成的重大相容性與政策挑戰，而 SRS、HIBS 和 EAN 雖未在該頻段進行直接研究，但其在相鄰頻段的特性也提供了關鍵參考，後續將待更多研究成果來討論確認其干擾影響。

表 2- 9、New MSS 研究貢獻與發展趨勢整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段 (MHz)	服務	研究現況與分析整理	觀察
2010 – 2025	IMT - TS	以詳細列出關鍵參數，確定與既存服務相容性之研究基礎與技術依據。	仍待確認
	IMT - HIBS	研究以互補之保護準則以避免既存服務造成有害干擾，卻確保相容性。	仍待確認
	MS	確認典型應用之技術參數與使用特性，將繼續探討必要之保護準則。	仍待確認
2120 – 2170	IMT - TS	討論評估如何確保對進存服務的保護，且不對現有服務施加額外的監管限制。	仍待確認
	IMT - HIBS	檢視受影響系統之特徵參數與相關文件，並討論是否可繼續沿用，但結果尚待確認同意。	仍待確認
	SRS	研究新服務對鄰頻鏈結的干擾影響程度，並檢討相關技術參數和保護準則。	仍待確認
	EAN	討論歐洲航空網路之航空終端與衛星元件之未來發展與衝擊，並持續關注影響。	仍待確認

來源: ITU-R，本研究整理

六、 ITU-R 頻譜發展與研析觀察

ITU-R 自 WRC-23 閉幕後，從 2024 年起開始承接 WRC-27 各項議題之研究與準備工作，已於 2025 年初完成研究基礎之奠定，並接著於同年中，經由研究群組間聯絡函之交換，確認相關議題間之相互影響。ITU-R 已於 2025 年間啟動貢獻提案徵求與研究討論，並規劃於 2026 年底彙整研究報告，接著提交至 CPM 會議完成確認並正式對外公開，以確保技術成果與政策框架在 WRC-27 大會前成熟。截自 2025 年第三季為止，負責 6G 頻譜研究之 WP5D 與 WP4C 工作組已在研究基礎奠定完成後，積極徵求提案並分別針對行動無線電與衛星無線電持續進行研究。下圖概要整理顯示 WRC-27 發展與 ITU-R 研究之時程。

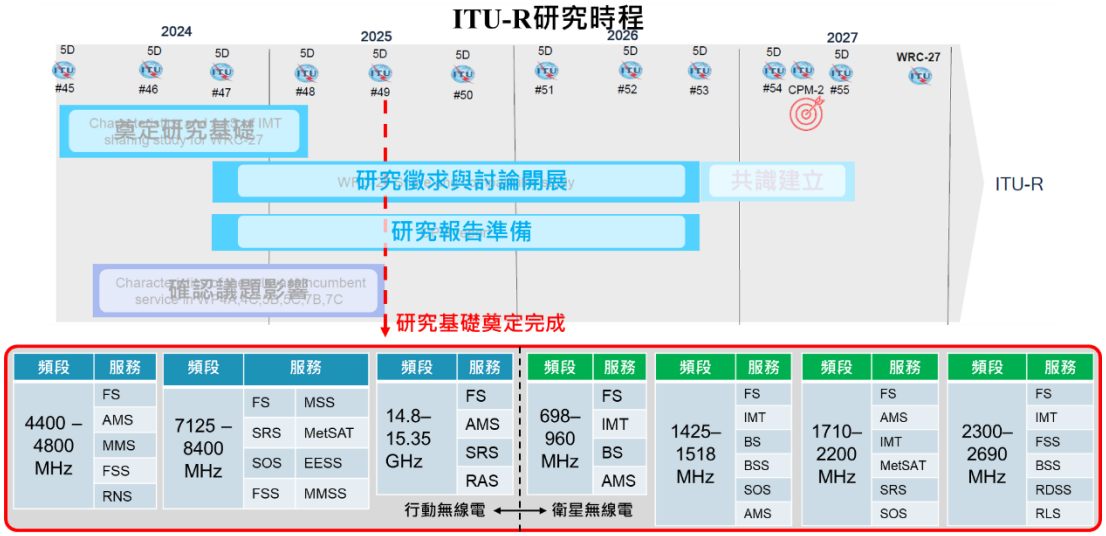


圖 2- 20、WRC-27 發展與 ITU-R 研究時程

來源: ITU-R，本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

依據本章節之整理研析，連結 6G 地面頻譜之 WRC-27 議題 1.7 聚焦三大候選頻段。首先，目前研究資訊顯示 4400-4800 MHz 與 FS、MMS、FSS 等用途於次頻段之共存可行，雖然航空與導航系統干擾尚未產生定論，但共識凝聚阻力較小，待共存條件確立後應有機會產生結論。接著，由於 7125-8400 MHz 涉及多種衛星用途，雖有部分研究顯示存在共存可能性，但著眼於 IMT 對 MSS 與 MMSS 之潛在干擾議題，整體共識凝聚不易。再者，雖有提案認為 14.8-15.35 GHz 與 FS、SRS 相容性較佳，但受限於有限的資訊，貢獻與討論熱度皆稍嫌不足，仍需更多國際支持來強化共識。

另一方面，涵蓋 6G 衛星直連頻譜之 WRC-27 議題 1.12、1.13、1.14 則是聚焦在探討 700-2700 MHz 頻段的 D2D 與 MSS 新應用。眾多議題，包含 700-960 MHz 著重於下行干擾與跨境管理，1425-1518 MHz 聚焦未改造 IMT 用戶設備直連，1710-2200 MHz 評估新增 MSS 分配與 FS/IMT 保護，以及 2300-2690MHz 需保障既有 IMT 並保護 BSS 等，ITU-R 之研究方向雖已明確，但受限於 D2D 頻段議題繁複，仍有許多關鍵議題尚待溝通，特別是對地面 IMT 系統之干擾與相容性仍為討論重點。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第三節 ITU 活動與實質參與研析

ITU 國際電信聯合會活動多元且具高度國際影響力，涵蓋政策制定、標準發展、技術研究、能力建構與發展援助等領域。ITU 依其三大部門與會員大會制度，規劃出一系列定期與專案性質的國際會議與合作機制，成為推動全球資通信科技協調與治理的重要平臺。以下就 ITU 國際電信聯合會參與程序機制概況以及代表世界資訊社會之重要國際活動進行簡介，並進一步說明 ITU 活動參與研析成果以及執行建議。

一、 ITU 國際電信聯合會參與

(一) 會員制度概述

ITU 國際電信聯合會是聯合國旗下負責全球資訊通信事務的專門機構，其會員制度具高度包容性，允許不同層級與背景的組織參與全球電信治理與標準制定。ITU 的會員主要分為四大類別：首先是國家會員（Member States），為 ITU 的正式成員，須為聯合國會員國並完成 ITU 憲章與公約的簽署，目前共有 194 個國家會員，享有全面的決策與投票權[175]。其次為觀察會員（Observers），多為特殊政治地位的國家，經聯合國授權後可參與 ITU 會議並擁有類似國家會員的參與權限，雖無正式表決權，仍能充分參與討論與資訊接取[176]。第三類為非國家會員（Sector Members 或 Associates），涵蓋企業、研究機構、學術單位等，這些單位須以所屬國家會員的

[175] 自 2024 年 9 月帛琉(Palau)加入成為會員後, ITU 國際電信聯合會目前為止共有 194 個國家會員. 資料來源: https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2024-09-19-the-Republic-of-Palau-becomes-ITUs-194th-Member-State.aspx . 最後閱讀日期 2024 年 10 月 10 日.

[176] 以巴勒斯坦為例, ITU 國際電信聯合會於 2018 年會員大會通過決議, 允許巴勒斯坦以觀察員之身分參與其相關活動. 資料來源 : ITU Resolution 99（PP-18）, “Status of Palestine in ITU,”Dubai, 2018.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

名義登記，並遵守 ITU 相關規定[177]。雖無投票權，但可深度參與技術研究、標準制定及政策討論，是 ITU 推動產業合作與知識分享的重要支柱[178]。最後，ITU 亦設有特別活動參與資格，可根據特定議題或任務需求，邀請特定單位以有限權限之身分，如不具發言或投票權等活動資格，來參加相關會議[179]。此外，ITU 國際電信聯盟的秘書長及事務局局長，亦可在 ITU 公約授權的範圍與特定期間內，邀請特定單位或組織參與特定議題的討論[180]。

本研究延續 113 年針對非國家會員參與 ITU 活動之成果，繼續探討 ITU 國家會員之各項權利義務與機制。過往研究果與今年研究範圍活動示意如下圖。本專案今年度所聚焦的國家會員研析範圍，與 113 年完成的非國家會員參與方式相比，主要差異在於：非國家會員的參與僅限於 ITU 部門內相關研究群組及其會議活動，無法直接與 ITU 秘書處進行正式往來，也不具備向 WRC 大會提出提案或參與決策的權能。此外，依據 ITU 憲章，唯有國家會員能以簽署國際條約的方式行使修訂《國際無線電規則》的法定權能，此及是本研究之討論重點。

177 ITU Constitution, Article 3, “Right and Obilitions of Member States and Sector Members,” 頁 8-9.

178 隨著世界各地的快速發展，ITU 國際電信聯合會歡迎各類專長於經濟、電信、網路、資通信、能源、財金、與醫療健康相關領域之大中小企業來參與全球電信研究議題之討論。在此制度之下，ITU 國際電信聯合會得以在接收世界各專業領域之貢獻資訊下，以新興技術來因應並滿足持續變動演化之全球資通信產業與各類民生需求。

179 ITU (2006), Participation of observers in conferencces, assemblies and meetings of the Union, ITU-R Resolution 145.

180 Convention of The International Telecommunication Unit (1992), Participation of Entities and Organizations Other than Administrations in the Union’s Activities, Article 19, pp. 121-125.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

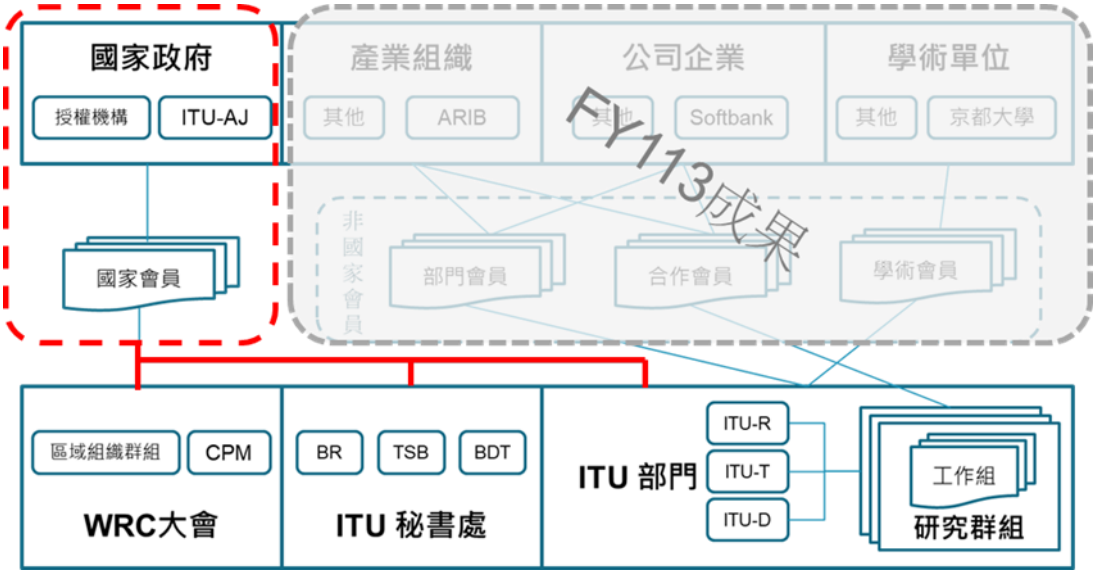


圖 2- 21、ITU 會員資格與活動參與範圍

來源: ITU-R，本研究整理

(二) 國家會員與參與範圍

任一國家申請加入 ITU 的正式國家會員，需遵守以下基本規則與履行相關義務，以確保公平參與、促進合作與維持組織治理運作。首先，該國家須正式簽署並核准「ITU 憲章」[181]與「ITU 公約」[182]，並在文件遞交後正式成為會員。ITU 國家會員可定期或不定期出席參與 ITU 各級會議、技術研究及決策程序，包含會員大會（Plenipotentiary Conferences），無線電大會（Radiocommunicaion Conference），世界電信標準大會（World Conferences on International Telecommunication），電信發展大會（Telecommunication Development Conference）與其他代表大會（Assemblies）等。依據 ITU 憲章與公約，國家會員同時擁有以下權利以及必要遵守之義務。

首先，國家會員之權利在可派遣代表參與各種研究小組、工作組與專案會議，同時對於 ITU 各項政策、預算、技術標準以及各種

[181] 同前註 Constitution of the International Telecommunication Union.
[182] 同前註 Convention of The International Telecommunication Union.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

管理決策，皆擁有平等表決權。此外，國家會員亦可提交貢獻文件，包含技術提案、頻譜需求、國家觀點，以積極參與決策過程與標準草案討論，並促成各項共識與決議之產生。另外，國家會員可提名候選人，參與秘書長、事務局局長等高層職位選舉，亦可提名本國專家擔任研究小組主席或報告人。

相對的，ITU 國家會員亦須遵守一定之義務。首先，國家會員必須遵守 ITU 規範，包含憲章、公約及所通過之決議與章程，並配合國際共識執行相關技術標準與規則。另外，國家會員亦有按照會員國分類繳納年度會費之財務義務，若逾期未繳會費，將可能喪失表決權。同時國家會員亦有資訊通報與合作義務，有責任向 ITU 通報本國頻譜使用、衛星登記與電信法規發展，並參與配合國際查核與干擾協調機制。此外，國家會員亦必須尊重技術中立與多邊合作原則，必須鼓勵採用開放、透明的標準制定過程，並禁止以會員身份推動排他性技術或單一廠商標準。

表 2- 10、ITU 國家會員與權利義務

會員資格：簽署並核准「ITU 憲章」與「ITU 公約」	
權利	義務
• 參與會議 • 擁有表決權 • 提交貢獻 • 提名候選人	• 遵守 ITU 規範 • 財務義務 • 資訊通報與合作義務 • 尊重技術中立與多邊合作

來源: ITU-R，本研究整理

二、 世界資訊社會高峰會

在為數眾多的 ITU 活動中，世界資訊社會高峰會（World Summit on the Information Society, WSIS）是聯合國體制下一項相當重要之全球活動。此活動是由聯合國主導、由 ITU 所帶頭發起的重要全球倡議，旨在依循 ITU 憲章與公約推動世界資通信的應用，建構一個以人

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

為本、具包容性、以發展為導向的資訊社會[183]。其主要目標是確保每個人都能公平接取、使用與分享資訊與知識，藉由解決資訊社會的挑戰和機遇，來促進資訊與通信技術的應用，推動社會和經濟的發展。本研究就由簡介 WSIS 大會與整理相關結果，來研析 ITU 國家會員之參與機制。

(一) 發展歷程與重要性

WSIS 大會起源於 1998 年，當時突尼西亞在 ITU 全權代表大會上提出召開全球會議的倡議，目的是促進資訊與通信技術對社會與經濟發展的貢獻。這項構想於 2001 年獲得聯合國大會支持，通過第 56/183 號決議[184]，正式核准召開 WSIS，並規劃為兩個階段進行之高峰會。

WSIS 第一階段於 2003 年 12 月在瑞士日內瓦舉行。該階段重點在於建立一個以人為本、包容性強、發展導向的資訊社會。與會各國通過了「日內瓦原則宣言」與「日內瓦行動計畫」，制定了 11 項「行動方針（Action Lines）」，涵蓋基礎建設、數位能力建構、媒體自由與多語內容等領域，並設下十項 2015 年前實現的全球連線目標。第二階段於 2005 年 11 月在突尼斯舉行，著重於實施日內瓦階段的成果，並深化在網路治理與資金籌措方面的共識。該階段最重要的成果之一是經由「突尼斯議程」，確立「網路治理論壇（Internet Governance Forum, IGF）」之設立，並透過一個多方利害關係關係方之對話平臺，來推動包容性網路治理機制。

兩階段高峰會後，WSIS 的實施進程並未停止。根據突尼斯議程的規定，WSIS 成果需持續追蹤與擴展。從 2006 年起，一系列 WSIS 相關活動在日內瓦每年舉行，並於 2009 年正式命名為「WSIS

[183] ITU Gateway for WSIS, available from https://www.itu.int/en/itu-wsis/Pages/default.aspx (last visited 2025.10.01).
[184] UN (2001), World Summit on the Information Society : resolution / adopted by the General Assembly, Resolution A/RES/56/183.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

論壇（WSIS Forum）」。該論壇由 ITU 主辦，並與聯合國教科文組織（United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO）、聯合國開發計畫署（United Nations Development Programme, UNDP）、與聯合國貿易和發展會議（UN Trade and Development, UNCTAD）等合作，成為聯合國體系內推動數位發展與多邊對話的重要平臺。其後，隨著聯合國在 2015 年通過「2030 永續發展議程」[185]，WSIS 進程也開始與永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）相呼應。2014 年舉辦的 WSIS+10 高階會議回顧過去十年成果，並提出「WSIS Beyond 2015」願景。接著 2015 年聯合國大會針對 WSIS+10 執行成果進行審查，藉由決議之通過[186]，重申 WSIS 的架構，並將 IGF 網路治理論壇的授權延長至 2025 年。此階段 WSIS 論壇成為推動 SDG 與 ICT 實踐的核心平臺，明確對應了行動方針與 SDG 各目標，涵蓋 e-Government、e-Health、e-Learning、數位包容與資安等議題[187]。論壇也成為分享創新實踐、表揚成功案例（如 WSIS Prizes）與建立夥伴關係的年度盛會。

其 2024 至 2025 年間，聯合國開始進行數位治理之整合，藉由 2024 年舉辦的 WSIS+20 高階論壇為 2025 年之審查鋪路。同年聯合國通過「全球數位契約（Global Digital Compact, GDC）」[188]，將 WSIS 納入其實施機制中。2025 年 7 月，WSIS+20 高階會議於日內瓦舉行，並計畫於同年 12 月聯合國大會將進行 WSIS 二十年來

185 The 2030 Agenda for Sustainable Development, available from https://sdgs.un.org/goals . (last visited 2025.10.01)

186 UN (2016), Outcome document of the high-level meeting of the General Assembly on the overall review of the implementation of the outcomes of the World Summit on the Information Society, Resolution A/70/125.

187 這些行動方針不僅是 WSIS 實施的核心架構，也構成各聯合國機構（如 ITU、UNESCO、UNDP 等）推動 ICT 發展與 永續發展目標對應的實務指南。

188 Global Digital Compact, available from https://www.un.org/digital-emerging-technologies/global-digital-compact. (last visited 2025.10.01)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的總體審查，其結果將成為 2030 SDG 審查過程提供政策與執行依據。WSIS 亦將持續作為推動全球數位合作的制度化平臺，結合 SDG 發展目標，成為持續演進的全球數位發展平臺，敦使 ITU 依循該技術與政策框架穩定推進，以應對 AI、6G、物聯網等技術帶來的新機遇與挑戰。ITU 作為 WSIS 的核心協調者，亦將繼續推動數位包容、政策創新與發展導向的全球資訊社會建構，朝向一個更公平、安全、永續的數位未來前進。



圖 2- 22、WSIS 發展與時間軸

來源: ITU-R，本研究整理

(二) WSIS 高峰會獎項與表揚

如前所述，分別在 2003 年與 2005 年日內瓦與突尼斯通過「日

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

內瓦行動計畫」與「突尼斯議程」，明確提出了建構資訊社會的 11 項行動方針，涵蓋從基礎設施、數位素養、電子政府、e-Health 到文化多樣性等多個面向。在資訊與通信技術蓬勃發展、各國積極推動數位轉型的背景下，若欲使這些行動方針真正落實，仍需依賴各國與國際社會各界的實際行動與應用專案支持。

因此，ITU 於 2012 年發起 WSIS Prize 計畫，目的在於：

(1)表彰對行動方針落實有具體貢獻的專案與實踐，

(2)提供成功案例的全球展示平臺，以及

(3)鼓勵各界投入創新與合作，推動資訊社會的共創與共享。

WSIS Prize 不僅是種獎勵，更是一項「全球實踐促進機制」，希望透過年度提名與公開評選制度以激勵實作團隊、促進合作與知識移轉、與連結政策與行動。從最初的獎項制度出發，WSIS Prize 已逐步發展成為多方利害關係者共同參與的實踐平臺。此獎項自 2012 年設立，至今已成為全球最具代表性的數位發展實踐獎之一。

WSIS Prize 的獎項類別涵蓋 11 項行動方針與其延伸應用，主要包括 C1 至 C11 之行動方針核心領域，如資通基礎設施、能力建構、信任與安全等，以及 C7 所包含之電子應用類別，如電子政府、電子健康、電子學習、電子商務、電子就業等。為宣揚數位發展實踐，此獎項為公開設置，年度報名通常開放給全球各地政府單位、企業、NGO、研究機構與社群團體。參賽項目經專家初選後，開放公眾參與並行全球線上投票，最終由主辦單位確認「18 名得主（Winners）」與「72 名冠軍（Champions）」。得獎者將在年度舉辦之 WSIS 論壇的頒獎典禮中公開表揚，並獲邀展示其專案成果與影響力。截至目前，WSIS Prize 已累積超過 數千件專案報名來自 100 多個國家[189]。獲獎專案涵蓋智慧農業、AI 醫療平臺、女性數位

[189] 同前註, ITU Gateway for WSIS.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

賦能、偏鄉數位教育、資安能力建構等多元領域，而得獎者不僅獲得國際肯定，更促進了區域複製、政策參考與資源鏈結。

今年 WSIS Prizes 2025 共有來自全球 973 件專案報名、200 萬次投票參與[190]，並於 2025 年 7 月在 WSIS+20 高階會議中進行公布並頒獎[191]。本研究將 WSIS 高峰會依據行動方針所設置之獎項與今年得獎之專案整理如下表。其中我國之非洲友邦史瓦帝尼，亦以其"Capacity Building for Elderly and Disabled Persons"專案，協助年長與殘疾不便族群學習獲取數位能力以融入資訊社會，展現出在「數位包容與社群能力建構」上的突破性與創新性，榮獲 C4 行動方針獎項之冠軍頭銜[192]。

表 2- 11、WSIS Prize 獎項分類與得主

類別	行動方針	得獎專案	國家組織
C1 – Government	角色與責任	Situational-Analytical Complex	哈薩克技術中心
C2 – Infrastructure	資通基礎建設	Internet para Todos	秘魯 Telefónica
C3 – Access	資訊與知識接取	Digital Awareness Programme	奈及利亞 NCC
C4 – Capacity	能力建構	National Information Dissemination Centre	馬來西亞 MCMC
		Capacity Building for Elderly and Disabled Persons	史瓦帝尼通訊委員會(Champion Award)
C5 – Security	信任與安全	AI & Facial Recognition...	印度電信發展中心
		Anti Online Scam Operation Center	泰國數位經濟部
C6 – Environment	治理環境實現	Digitech	南非政府
C7 – ICT	電子政府	TAMM AI Assistant	阿拉伯聯合大公國
	電子商務	From Weeks to Minutes...	菲律賓 MIMAROPA
	電子學習	Madrasati LMS	沙烏地阿拉伯教育部
	電子健康	Digital Unique IDs	尚比亞 PharmAccess
	電子就業	Graduate Employment Ranking	亞塞拜然勞工部
	電子環境	Early-warning for meteorological disaste	中國 CAICT
	電子農業	Vegetable Market Information System	不丹農委會
	電子科學	Brain proteostasis strategy	智利大學 BNI
C8 – Culture	多語與在地內容	Empowering Youth Through Digital Innovation	印尼 BASAibu
C9 – Media	媒體	Girls Speak Out	辛巴威Usawa Institute
C10 – Ethics	倫理	Cyber Security Education Curriculum	卡達國家資安局
C11 – Cooperation	國際 / 區域合作	One Health Data Alliance Africa	德國 GIZ

190 WSIS Prizes Home, available from https://www.itu.int/net4/wsis/stocktaking/Prizes/2025. (last visited 2025.10.01)

191 WSIS Winning Projects, available from https://www.itu.int/net4/wsis/stocktaking/Prizes/2025/Winners?jts=0XR0IW#start . (last visited 2025.10.01)

192 Tech Review Africa, "Eswatini Communications Commission wins WSIS 2025 champion award," available from https://techreviewafrica.com/news/2486/eswatini-communications-commission-wins-wsis-2025-champion-award#0. (last visited 2025.10.01)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源: ITU-R，本研究整理

WSIS Prize 之誕生，是為了讓 WSIS 的理念從政策文件，走入全球社會的真實場域與數位行動之中。而 WSIS 高峰會則是透過 WSIS Prizes 之設置與頒發，將活動參與主體從政府擴展至非政府組織、企業、學術機構與技術社群，體現了 WSIS 核心精神：「包容性」、「多方參與」與「以人為本的數位發展」。

三、 參與研析與執行成果

ITU 國家會員之參與方式已明確建置在包括憲章、公約及通過的決議與章程之內，只要符合並遵守 ITU 相關之規範，即可在維護技術中立與多邊合作原則之條件下，自由參與 ITU 相關活動，甚至進行多邊合作。另一方面，在迎合 WSIS 高峰會之宗旨目標下，ITU 亦開放國際專案之參與及貢獻，甚至還可透過該全球展示平臺表彰具體貢獻於資訊社會行動方針的專案。本研究即在此法制規範與現實基礎下，藉由解析 ITU 國家會員參與制度，以及深入了解 WSIS 高峰會之宗旨與執行方式之後，本研究整理出具備國家會員參與可能性之方式。以下分別概要說明之。

(一) 專家派遣協助模式

依據 ITU 成立之宗旨與精神，國家會員邀請外國專家參與 ITU 相關討論，主要基於掌握國際最新技術發展、標準制定趨勢及強化國際合作的需求。這些專家通常具備豐富的專業知識與實務經驗，涵蓋電信技術、頻譜管理、網路安全、人工智慧、量子通信等多個領域，不僅能協助 ITU 組織及相關社群深入了解複雜技術議題，亦能在多邊談判中提出具體技術建議，提升國家會員在 ITU 中的發言權與影響力。

ITU 章程與內部規範對於會員國的參與方式採取靈活態度，並未限制會員只能指派本國國民擔任專家或代表，也未禁止接受來自

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

其他國家的技術支援或顧問協助。會員國只要確保參與人員是由本國正式提名並註冊，便可合法參與會議或提交技術文件。甚至，若某一會員國在特定領域技術能力較為薄弱，邀請外國專家進行技術撰稿、資料準備或會議發言輔助，應屬合理可行且合法的合作方式。從可行性角度來看，ITU 的會員制度允許非國家會員及特定單位在授權的框架下參與技術討論，國家會員可透過正式管道邀請符合資格且具中立性及專業背景的外國專家。此舉不僅有助於跨國技術交流，也有利於吸納全球最佳實務與創新思維，推動該國在 6G、頻譜分配及新興 ICT 技術標準等領域的布局。

對邀請外國專家之國家會員而言，在邀請外國專家參與 ITU 相關討論時，主要必須考量技術專業性、國際影響力及國家利益保障。首先，外國專家通常具備深厚的專業知識和豐富的國際經驗，能協助國家掌握最新技術發展趨勢，特別是在 6G、頻譜管理、人工智慧與網路安全等前瞻領域，提升該國在 ITU 各個領域之技術話語權。其次，透過邀請具有全球視野和跨國合作經驗的專家，也有助於加強該國與其他會員國及國際組織的聯繫，拓展外交與產業合作機會。

另外，對於派遣外國專家協助其他國家會員之專家模式，勢必也必須考量並面對多重風險。首先，專家身份與背景可能引發利益衝突疑慮，若專家代表特定產業或國家利益，可能導致技術路線或政策偏頗，影響協作公平性與決策透明度。其次，安全風險不可忽視，外國專家可能涉及情報蒐集或敏感技術洩露，特別是在頻譜管理、網路安全及軍事應用相關領域，對國家安全造成潛在威脅。此外，文化差異與政策價值觀的不同，也可能影響合作效率與溝通效果，導致技術標準或治理模式難以整合。再者，技術成熟度與知識轉移的平衡亦是關鍵，受協助國可能忽略本地自主能力培育，可能造成長期依賴，影響國家產業發展。最後，外國專家參與的法規遵

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

循及保密義務管理，需嚴謹規範，以避免法律風險與資訊洩漏。

總結來說，派遣外國專家協助國家會員之過程需考慮政治、商業及安全層面的風險，包含專家利益衝突、技術立場偏頗及可能涉及國家敏感訊息的洩露。因而，須建立嚴謹的審查機制，確保專家身份透明、利益揭露完整，並明確限定其參與範圍及保密義務，以保障國家利益與資訊安全。整體而言，國家會員在符合法規與政策框架下，邀請外國專家參與 ITU 討論，具有高度可行性且具戰略價值，也可是推動國際合作與技術發展的重要手段。

表 2- 12、國家會員專家協助模式

派遣與協助議題	專家協助國	專家派遣國
目的與功能	– 需具備專業和國際經驗之專家，協助國家掌握掌握國際最新技術發展、標準制定趨勢及強化國際合作的需求。 – 提升國際發言權與影響力。	– 掌握國際最新技術發展、標準制定趨勢及強化國際合作的需求。 – 深入了解複雜技術議題，並提出具體技術建議。
可行性與考量	– ITU允許非國家會員及特定單位在授權的框架下參與技術討論 – 國家會員可透過正式管道邀請外國專家代表參與。	– 國家考量包括技術專業性、國際影響力及利益保障。 – 派遣專家須符合資格且具中立性及專業背景，並能協助國家掌握最新技術發展趨勢
風險與挑戰	– 專家身份與背景可能引發兩國利益衝突疑慮，導致路線或政策偏頗。 – 外國專家可能涉及情報蒐集或敏感技術洩露，對國家安全造成潛在威脅。 – 文化差異與政策價值觀的不同，也可能影響兩國合作效率與溝通效果。 – 受協助國可能忽略本地自主能力培育，可能造成長期依賴，影響國家產業發展。 – 需嚴謹規範外國專家參與的法規遵循及保密義務管理，以避免法律風險與資訊洩漏。	
總結	派遣外國專家協助國家會員發展，基本符合ITU制度規範，同時具備高度可行性且具戰略價值，但亦需考量政治、商業及國安風險，。	

來源: 本研究整理

(二) 專案推動模式

WSIS 作為聯合國主導的重要 ICT 發展平臺，涵蓋數位包容、智慧應用及永續發展等多元議題，對提升國家資訊社會建設與國際形象具有戰略意義。許多開發中國家或中低收入會員國在 ICT 基礎建設、政策規劃或數位應用方面仍面臨挑戰，缺乏足夠技術能量或國際經驗，使得參與國際專案或競逐 WSIS 獎項的門檻偏高。因此，國家透過與技術成熟國家的專案合作，可成為補足技術落差與策略執行能力的重要方式。

從 ITU 的管理與會員制度設計角度來看，會員國具有高度自

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

主權，在不違反章程與公約的前提下，可自由決定是否採用外部技術支援或顧問協作。ITU 並未對 WSIS 專案提報或會議參與設下「國籍限制」，只要提交者是會員國主體，參與內容符合該會員國發展目標，便屬合法、有效參與。例如，2025 年史瓦帝尼的獲獎專案"Capacity Building for Elderly and Disabled Persons[193]"，即為結合本國推動力與外部技術顧問支援的成果，顯示小型國家透過外部協助也能在 WSIS 架構下獲得高度國際肯定。ITU 同時透過 WSIS 平臺與相關機制，鼓勵跨國合作、資源共享與能力建設，並未禁止專案合作模式，只要最終成果屬於會員國領導、對內部發展具正面影響，即被視為合規參與。

在他國專案協助國家會員參與 WSIS 專案的情境下，受協助國雖能藉此提升能見度與專案品質，但同時也需審慎評估數項潛在考量與風險，以確保國家主體性、政策一致性與長期利益不受影響。第一個挑戰在於主體性與政策一致性，須確保專案內容由本國主導、外部僅為技術支援角色，避免導致與本國發展目標、政策或現行法規等不一致，甚至出現偏離政策重點之情形。第二個風險在國際觀感與透明度，提案國須確實於官方資料、簡報或評估報告中，明確揭示合作模式與在地主導性，清楚界定專案的來源與合作方式，避免被解讀為「被動接受」他國政治或技術影響。第三議題在資安與數據主權風險，外部協力單位是否符合本國資安法規或相關之國際資料保護標準，亦需納入事前審查，即必須審慎處理數據存取、資料主權與資安控制權等問題。第四個風險在專案可持續性與在地能力延續，受協助之提案國應要求協助單位納入移轉機制與中長期培訓規劃，確保知識在地化與可持續性。

另一方面，國家或單位組織提供技術支援、內容協作或顧問資源協助其他 ITU 國家會員參與 WSIS 專案與 WSIS Prize，雖可能促

[193] 專案細節請參考 Universal Access Service Fund 官方網頁, available from https://uasf.esccom.org.sz . (last visited 2025.10.01)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

進數位外交、技術擴散與國際能見度，但也必須審慎評估政策風險、地緣敏感度及國際觀感等多重考量。在協助利基與考量方面，協助國可借由此類技術合作，將本國數位治理經驗模組化輸出至其他國家，藉由展示本國 ICT 政策與成果，在聯合國框架下增加國際影響力。此外，技術領先國協助開發中國家或小型國家申投 WSIS 專案，可作為數位外交的一環，強化雙邊合作基礎，進一步擴展經貿或多邊合作。若從產業面角度觀之，協助內容涉及試點用途或產業平臺，亦可作為進入目標國市場的前哨站，先行理解在地條件與適配性以測試新興市場潛力與布局。

然而，協助國對於專案協助其他國家會員執行並提案 WSIS Prize，亦須審慎考量以下風險與挑戰。首先，WSIS 屬聯合國旗艦倡議，其主軸應聚焦「促進資訊社會建設」，但若提供協助國過度干預內容或主導提案方向，恐引起國際社群對其動機的不信任，甚至被視為借機進行地緣擴張或數位滲透，引發政治中立性質疑。第二，若專案獲獎或獲提名，而主導內容多數由協助國開發，易引發對「實質受益國是否具備貢獻與代表性」的質疑，衍生專案歸屬與成果代表權爭議。第三，協助專案若涉及平臺建置、資料分析、主權 AI 等，須承擔資料倫理、資料主權與跨境技術規範的法律風險，亦即必須擔負敏感技術與數據處理責任。第四，若頻繁協助多個開發中國家進行 WSIS Prize 申報，可能引發其他會員國對其介入程度或政策意圖的質疑，甚至在後續相關會議中面臨透明性或程序正當性的挑戰，甚至遭受國際觀感與合作正當性之質疑。

在 WSIS 世界資訊社會高峰會與 WSIS Prize 獎項參與過程中，由他國專案協助國家會員進行提案、執行或競逐獎項，已逐漸成為可行且具有實益的合作模式，尤其在 ITU 制度與政策架構下，具備明確的背景需求與高度可行性。提供協助國透過專案參與支持他國申報 WSIS 專案，確實可發揮正向影響力與外交軟實力。然而，應

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在尊重國家主權、確保透明程序與維持國際觀感中取得平衡，方能長期參與並維持可信度與合法性。

表 2- 13、國家會員專案推動模式

專案推動議題	專案申請國	專案協助國
目的與功能	– 提升國家資訊社會建設與國際形象 – 補足技術落差與策略執行能力	– 協助開發中國家或中低收入會員國基礎建設、政策規劃或數位應用
可行性與考量	– 不違反章程與公約前提下，可自由決定是否採用外部技術支援或顧問協作。 – ITU並未設下「國籍限制」，只要提交者是會員國主體，參與內容符合該會員國發展目標，便屬合法有效之參與。	– 本國數位治理經驗模組化輸出至其他國家展現成果與實力 – 強化雙邊合作，延伸數位外交 – 擴展經貿，測試新興市場潛力與布局
風險與挑戰	– 確保國家主體性與政策一致性 – 國際觀感與透明度 – 資安與數據主權風險 – 可持續性與在地延續	– 尊重目標國主體性，確定支援者角色定位 – 設置合作備忘錄或聲明，界定成果歸屬、使用權與資料主權。 – 避免將敏感政治、產業標準直接嵌入專案主軸，以降低國際爭議風險。
總結	協助國家會員申請執行WSIS專案，可發揮正向影響力與外交軟實力，但應在尊重國家主權、確保透明程序與維持國際觀感中取得平衡，方能長期參與並維持可信度與合法性。	

來源:　本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第四節 6G 頻譜整備政策觀察整理

一、 WRC-23 後頻譜發展觀察

自 WARC-92 至 WRC-23，IMT 頻譜識別歷經三階段演進：初期從 230 MHz 起步，至 WRC-07 擴增至 977 MHz 以支援 3G 與 4G 技術；發展期則於 WRC-12 與 WRC-15 擴展至 1886 MHz，聚焦中頻段以滿足 5G 需求；自 WRC-19 起進入快速擴展階段，頻譜識別大幅躍升至 19136 MHz，WRC-23 更推升至 20436 MHz，顯示行動網路朝 5G 與 6G 演進下對頻譜資源日益倚重。依據本研究對國際無線電頻譜發展之研析，WRC-23 後 6G 頻譜發展呈現以下兩大趨勢。

(一) 低頻段涵蓋效益的重視與對多用途共存協調的堅持

在 WRC-23 中，對於 470-700 MHz 的低頻段，會議強調其在具備廣域涵蓋能力上的關鍵性，特別適用於鄉村或人口密度較低的地區，為實現普及性行動通信提供重要資源。考量到各地區在 1 GHz 以下頻段的現況及廣播用途的保護需求，WRC-23 決議允許將 470-694 MHz 納入 IMT 地面行動通信用途的規劃與管理，同時強調需在不干擾現有廣播用途的前提下增加 IMT 布建。此外，會議亦針對 HIBS 高空行動通信平臺站技術進行布建頻段規範，開放 694-960 MHz 與中頻段供 HIBS 使用，並要求與航空導航、無線電定位等現有用途協調，避免干擾發生。至於 3 GHz 與更高頻段，包括 4 GHz、6 GHz 與 10 GHz，WRC-23 雖同意多數為 IMT 潛在發展頻段，並於特定國家和地區進行識別，但均未賦予 IMT 優先權，且須保護既有無線電用途，確保頻譜使用的協調與共存。這些決議體現出在擴展 IMT 頻譜資源的同時，WRC-23 亦高度重視平衡各用途間的干擾管理與國際合作。

(二) NGSO 衛星爆炸性增長凸顯衛星共存與頻譜監控之必要性

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

NGSO 非同步軌道衛星系統，特別是低軌衛星的布建呈現爆炸性成長，成為 WRC-23 後的重要挑戰之一。根據 ITU-R 資料，自 2020 年以來，布建於 2000 公里以下，尤其是 1000 公里以下軌道的 NGSO 衛星數量快速增加，預計 2025 至 2030 年間將有大量星座系統進入通知與協調階段，顯示業者正積極爭取頻譜與軌道資源以取得合法營運地位，也意味著使用密度將大幅上升。如此密集的布建對 ITU 原為少量衛星設計的監管機制構成壓力，尤其在面對成千上萬顆衛星組成的星座系統時更顯吃力。展望 WRC-27，ITU 將須積極處理 NGSO 與 GSO 系統間的干擾協調、非授權地球電臺的監控挑戰，以及強化星座運作資訊透明化，以確保衛星系統頻譜共存與有序發展，維持全球太空通信生態的穩定與永續。

本研究將 WRC-23 後之頻譜發展觀察整理如表 2- 14。

表 2- 14、WRC-23 後頻譜發展觀察整理

趨勢	觀察整理重點
低頻段重要性增加、強調多用途共存	470–700 MHz 具廣域涵蓋能力，WRC-23 支持作為 IMT 但須保護廣播用途。 HIBS 開放使用 IMT 之 694–2700 MHz 部分頻段，需與航空導航等協調。 11 GHz 以下屬 IMT 潛力頻段，但確保共存與干擾管理。
NGSO 增長促使衛星共存與監管強化	2020 年後低軌衛星爆炸性成長，2025–2030 年間預期大量星座將進入協調程序。 ITU 現行管理機制因大量衛星網路布建而面臨壓力。 WRC-27 聚焦：NGSO–GSO 干擾、非法地面站監管、星座資訊透明化。

來源: 本研究整理

二、 WRC-27 頻譜關注重點與面臨挑戰

WRC-27 議程並已於 WRC-23 正式確立，其中 80%議題將設定以衛星與太空議題為核心，顯示出全球各界空前的重視程度。因此，WRC-27 被視為自 1980 至 1990 年代針對 GSO 地球同步軌道公平存取與 NGSO 非同步軌道規範制定以來，最具創新性與戰略影響力的一屆，涵蓋月球通信網路建置、NGSO 頻譜分配、太空永續治理，以

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

及防止衛星網路提供未授權用途等關鍵挑戰。以下為本研究之統整概要整理：

(一) 衛星通信與頻譜秩序議題

WRC-27 涉及固定與廣播衛星用途的議題包括 ESIM 使用 47-51 GHz 頻段（即議題 1.1）、小型地球電臺在 13.75-14 GHz 的應用與共存挑戰（即議題 1.2）、NGSO 閘道站使用 51.4-52.4 GHz 的潛力（即議題 1.3）、第三區域 FSS/BSS 下行應用及頻譜對稱性強化（即議題 1.4）、未授權 NGSO 地球電臺的監管與主權維護機制（即議題 1.5），以及促進 FSS 在 30、40、50 GHz 等頻段之公平近用（即議題 1.6）。這些議題凸顯在技術創新與衛星需求快速成長下，頻譜政策須同步調整，以兼顧創新發展、用途保護與全球公平。

(二) 固定與行動通信頻譜需求議題

固定與行動用途方面，議題 1.7 評估將 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz 頻段識別為 IMT 系統頻率，以支援高容量、低延遲的次世代行動用途。該議題強調需進行技術與法規層面的共享與相容性研究，並考量區域差異與發展中國家的布建需求。議題 1.8 則針對 RLS 無線電定位用途在 231.5-275 GHz 分配新頻段，並研究對 275-700 GHz 的潛在識別，強化毫米波與太赫茲頻段的科學與應用。議題 1.9 聚焦更新「國際無線電規則」附錄 26，推動航空 HF 通信現代化並確保與既有系統相容。議題 1.10 則擬定 71-76 GHz 和 81-86 GHz 衛星用途之功率限制，以平衡固定、行動與衛星用途的使用需求。

(三) 衛星行動用途與全球連接議題

在衛星行動用途方面，議題涵蓋 1-3 GHz 頻段的多項調整與新應用，包括評估衛星對衛星通信的頻譜安排（即議題 1.11）、支援 LDR 低數據速率 MSS 系統的頻段調整（即議題 1.12）、探討 MSS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

與地面裝置直接通信的可行性（即議題 1.13）、以及在 2-2.17 GHz 中增設 MSS 分配以因應全球連線需求（即議題 1.14）。這些議題展現 MSS 對低軌通信、物聯網與偏遠地區涵蓋的重要性，亦凸顯需透過詳實技術與干擾評估，確保現有用途不受影響，並推動數位包容。

(四) 科學觀測與頻譜保護議題

科學與觀測用途方面，議題 1.15 至 1.19 涵蓋行動通信與地球觀測系統的頻譜需求與保護。議題 1.15-1.16 評估法規之更新，以因應未來各項新興科學應用之流量成長，包含月球活動與無線電寧靜區。議題 1.17 關注太空天氣監測所需之 EESS 頻譜保護，確保關鍵傳感器穩定運作。議題 1.18 則強調需保護 EESS 與 RAS 無線電天文用途免受 76 GHz 以上主動用途干擾，議題 1.19 則評估為 EESS 在 4.2-4.4 GHz 與 8.4-8.5 GHz 增設分配，以提升氣候與海洋觀測能力。整體顯示 WRC-27 在推動科技發展的同時，亦重視環境監測與科研用途的頻譜保障。

本研究將 WRC-27 之頻譜發展與議題重點整理如表 2- 15。

表 2- 15、WRC-27 重點議題與整理

議題類別	議題範圍	核心重點
衛星通訊	• ESIM 47–51 GHz • 小型地球站 13.75–14 GHz 共存 • NGSO 閘道站 51.4–52.4 GHz • FSS/BSS 下行與頻譜對稱性 • 未授權 NGSO 地球站監管 • 1.6 - FSS 30/40/50 GHz 公平近用	• 衛星需求暴增下，需重新調整頻譜秩序以兼顧 創新、保護既有用途、確保全球公平存取。包括高頻 ESIM、新興 NGSO 系統、頻譜對稱、以及防止未授權衛星營運。
固定與行動通信頻譜需求	• 1.7 - IMT 潛在頻段：4.4–4.8、7.125–8.4、14.8–15.35 GHz • 1.8 - 231.5–275 GHz；275–700 GHz 之 RLS 研究 • 1.9 - 航空無線電現代化 • 1.10 - 71–76 與 81–86 GHz 衛星功率限制	• 評估新 IMT 頻段需求、毫米波/太赫茲研究、航空通訊更新，以及高頻功率限制以平衡固定／行動／衛星使用。強調相容性、共享、區域差異、發展中國家需求。
衛星行動	• 1.11 - 衛星對衛星通信	• MSS 對 低軌寬涵蓋、IoT、偏

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議題類別	議題範圍	核心重點
用途	• 1.12 - LDR 低速 MSS 系統 • 1.13 - MSS 與地面裝置直接通信 • 1.14 - MSS 於 2 GHz 頻率範圍之新增分配	遠地區連接極為關鍵。議題聚焦新的 MSS 應用、頻段調整、衛星—地面直接通訊等。需透過精準干擾評估確保現用系統不受影響，並推動 全球數位包容。
科學觀測與頻譜保護	• 1.15–1.16 - 新增與更新科學應用頻段 • 1.17 - EESS 太空天氣監測保護 • 1.18 - 保護 EESS 與 RAS 免受 76 GHz 以上之主動式無線電干擾 • 1.19 - EESS 新增 4.2–4.4、8.4–8.5 GHz	• 支援地球觀測、氣候海洋監測、天文觀測、太空天氣等需求，確保科學用途免受干擾。強調高頻干擾管理、科研保護、環境與太空永續。

來源: 本研究整理

三、 ITU 實質參與研析彙整

本研究基於 ITU 憲章、公約與相關規範，分析國家會員在技術中立與多邊合作原則下的參與方式，並結合 WSIS 架構對跨國合作的開放性，整理出可行的參與模式。ITU 允許會員國自由選擇合作方式，只要程序合規、由會員國正式提名，即可合法參與技術討論或國際專案，而 WSIS 亦鼓勵跨國協作、能力建設與成果展示，使本研究所提出的模式具備充分的制度基礎。

第一項模式為「專家派遣協助」。國家會員可依規向外尋求專家協助，以補強技術能力、掌握標準制定趨勢並提升在 ITU 的發言權。此模式具高度可行性，但也伴隨利益衝突、資訊安全、政策一致性與技術依賴等風險，需透過審查機制、保密義務與角色界定進行完整管理，方能兼顧合作效益與國家利益。

第二項模式為「專案推動合作」。在 WSIS 體系下，會員國可與他國或外部團隊合作提出專案、競逐獎項或共同執行計畫，以提升國家能見度與資訊社會發展成效。然而，此模式亦須確保提案國主體性、透明程序及資料主權，並避免外界誤解為政治介入或不當影響。整體而言，兩項模式皆具策略價值且合乎制度規範，但需在法規遵

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

循、國際觀感與長期能力建構間取得平衡。

本研究將 ITU 實質參與之研析彙整如表 2- 16。

表 2- 16、 ITU 實質參與研析彙整

	專家協助模式	專案推動模式
我國角色	專家派遣國	專案支援國
目的與功能	– 掌握國際最新技術發展、標準制定趨勢及強化國際合作的需求。 – 深入了解複雜技術議題，並提出具體技術建議。	– 協助開發中國家或中低收入會員國基礎建設、政策規劃或數位應用。
可行性與考量	– ITU允許非國家會員及特定單位在授權的框架下參與技術討論。 – 國家會員可透過正式管道邀請外國專家代表參與。	– 不違反章程與公約前提下，主權國家可自由決定是否採用外部技術支援或專案協作。 – ITU並未設下「國籍限制」，只要專案提交者是會員國主體，參與內容符合該會員國發展目標，便屬合法有效之參與。
受協助友邦可能獲益	– 具備專業和國際經驗之外部專家，可協助掌握國際最新技術發展、標準制定趨勢及強化國際合作的需求。 – 提升國際發言權與影響力。	– 提升國家資訊社會建設與國際形象。 – 補足技術落差與策略執行能力。
小結	– 派遣外國專家協助國家會員發展，基本符合ITU制度規範，同時具備高度可行性且具戰略價值，但亦需考量政治、商業及國安風險。	– 協助國家會員申請執行WSIS專案，可發揮正向影響力與外交軟實力，但應在尊重國家主權、確保透明程序與維持國際觀感中取得平衡，方能長期參與並維持可信度與合法性。

來源: 本研究整理

四、 6G 候選頻譜初步研析與觀察

(一) 頻譜實務考量

在 6G 候選頻段中，低頻段因其優越的涵蓋能力與穿透性，被視為支援廣域通信與 NTN 非地面網路的理想選擇，特別適用於偏遠地區、車聯網與物聯網等應用場景。其具備頻譜再利用與技術重整潛力，並有利於推動頻譜共享與系統連續性。然而，由於現有系統高度佔用及頻譜資源本身稀缺，新頻譜釋出的空間受限，再加上頻譜效率相對較低，使其難以完全滿足 6G 對超高容量與高速率的要求。此外，該頻段在系統共存、升級與設備設計方面也面臨不小挑戰，對使用者體驗與終端發展造成潛在壓力。

中頻段（7-24 GHz）被視為 6G 實現高容量與高效率的關鍵，尤其 7-15 GHz 已被納入 WRC-27 研究議題，具有成為全球協調頻段的潛力。此頻段可有效彌補低頻與高頻間的性能落差，兼顧涵蓋與傳輸能力，並能善用既有站點以降低建設成本，具備高度實務應

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用價值。毫米波頻段（24-90 GHz）則提供極寬頻寬，支援高密度用戶與大流量交換，適合城市熱點、工業自動化與高精度定位等場景，但面臨訊號易阻擋、涵蓋範圍小等挑戰，需高密度布建，導致成本與能耗上升。次太赫茲頻段（90-300 GHz）雖為 6G 的前瞻頻譜，具備支援沉浸式應用的潛力，但仍受限於高損耗、高成本與技術未成熟等因素，目前全球主流產業對其實務應用持審慎態度。

(二) ITU-R 研究重點

ITU-R 關於 WRC-27 頻譜之研究以 WP5D 與 WP4C 為主要權責單位。WP5D 專責規劃與發展 IMT 系統之地面無線電技術與頻譜應用，並負責支援 WRC 頻譜議題的技術研究。針對 WRC-27 議題 1.7，WP 5D 正評估 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz 及 14.8-15.35 GHz 等頻段納入 IMT 用途的技術可行性與共存性分析。該工作組亦制定系統參數與傳播模型，為 WRC-27 頻譜決策提供科學依據與建議。WP4C 則是專責推動衛星行動用途與無線電衛星導航用途之頻譜與系統協調，並支援 WRC-27 多項議題的技術研究。著眼衛星行動之發展，WP 4C 已開啟正式研究，評估低速率 MSS 系統（議題 1.12）、衛星直連通信裝置（議題 1.13）及未來 MSS 頻譜配置（議題 1.14）等關鍵主題，以因應地面與非地面通信整合的趨勢。研究涵蓋 694-2700 MHz 間頻段的可行性分析與系統共存性，為衛星行動用途的持續發展提供基礎。

(三) WRC-27 地面行動通信頻譜研究進程整理

WRC-27 議題 1.7 的研究顯示，6G 頻譜規劃逐漸往中頻與高頻段延伸，以滿足高容量與高速率的需求。然而，在三個候選頻段中，最主要的挑戰在於如何與高敏感度的既有用途共存，特別是衛星用途。首先，在 7 GHz 頻段（7125-8400 MHz），存在衛星上行鏈路，干擾風險極高，且所需的隔離距離過長之關鍵議題。此外，在 15 GHz 頻段（14.8-15.35 GHz），亦將因涉及無線電天文用途，對干

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

擾極為敏感，也使得共享難度極大，造成國際關注度稍嫌不足。針對頻譜訊號干擾與無線電用途共存之問題，國際研究傾向透過技術限制，如功率控制、波束成形、雜波損耗模型建立及地理隔離等方式，來尋求共存的可行性。依照目前 ITU 之研究進程與貢獻資訊來觀察，4400-4800 MHz 頻段因具備連續大頻寬，對 6G 發展具戰略價值，但仍需克服整備成本與航安干擾風險，而 7125-8400 MHz 頻段若無國內短期或急迫需求，可考慮持續追蹤國際發展，待時機成熟後再另行規劃。

(四) WRC-27 衛星行動通信頻譜研究進程整理

WRC-27 議題 1.13 主要探討衛星直連通信裝置（D2D-MSS）是否能在 694 MHz 到 2.7 GHz 的現有行動通信頻段運作，且同時面對其他相關衛星行動通信議題所帶來之影響，包含議題 1.12（LDR-MSS）與議題 1.14（New MSS）。D2D-MSS 主要目標是為偏遠地區或地面網路故障時提供替代性的通信，並增強網路韌性，同時亦須必須避免對地面行動用途造成有害干擾。此議題之研究重點在於候選頻段的干擾與共存問題。下行鏈路方面，衛星向地面終端發射訊號可能干擾 IMT 系統，而在上行鏈路方面，終端與衛星通信亦有可能影響鄰國 IMT 系統。由於不同頻段所面臨的挑戰各異，例如 694-960 MHz 需保護廣播用途，1427-1518 MHz 多衛星用途共存需調整波束方向，1710-2200 MHz 顯示保護地面行動 IMT 之困難，以及 2300-2690 MHz 用途複雜等等，國際研究仍在初步討論階段，但必須採取嚴格緩解措施。著眼於 D2D-MSS 的未來發展潛力大，但核心挑戰在於如何在不影響既有用途的前提下，實現衛星與地面網路的共存與補充功能。未來或可持續關注並參考國際研究成果，選擇具發展潛力的頻段，並制定適切的技術規範與管理措施，以支持 6G 的應用發展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第三章 國際間 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點

第一節 國際組織推動 6G 發展資訊研析

一、 APT

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

亞太地區電信組織（Asia-Pacific Telecommunity, APT）是 ITU 所認可的六大地區電信組織之一。APT 因應 WRC-27 成立籌備組（APT Conference Preparatory Group for WRC-27，簡稱 APG-27），負責召集亞太地區會員國討論無線電通信相關議題，並彙整與協調會員國對於 WRC-27 各議題之立場與技術意見。APG-27 會議成果將以 APT 共同建議書（APT Common Proposals, ACP）形式提交至 ITU-R，作為亞太地區的區域立場。截至目前，APG-27 已完成召開兩次籌備組會議，會議結果如表 3- 1 所示。

表 3- 1、APG-27 召開兩次籌備組會議結果

	第 1 次籌備組會議（APG27-1）[194]	第 2 次籌備組會議（APG27-2）[195]
時間	2024/6/3-6/6	2025/7/28-8/1
地點	上海	泰國
會議結果	• APG-27 主席是 Nobuyuki Kawai 先生（日本 KDDI）[196]； • APG-27 將召開 5 次籌備會議(可能再增加一次)，分別於 2024 年、2025 年、2026 年各舉行一次；於 2027 年舉行 2 次，協調並凝聚成員共識，如圖 3- 1； • 將 WRC-27 討論議題分成 5 大議題，設立 5 個工作小組（Working Parties, WPs）[197]，並任命各工作	• 已任命 APG-27 重要職務： ➢ 副主席：Christopher Worley 先生（澳洲）與 Ali Reza Darvishi 先生（伊朗） ➢ 特別顧問：趙政先生（中國） ➢ 文件編輯委員會主席：Bharat Bhatia 先生（印度） • 確定工作小組（WPs）及撰寫小組（Drafting Groups, DGs）主席，完成建立 APG-27 的組織架構與

[194] APT（2024）, The 1st Meeting of the APT Conference Preparatory Group for WRC-27 (APG27-1), https://www.apt.int/2024-APG27-1

[195] APT （2025）, The 2nd Meeting of the APT Conference Preparatory Group for WRC-27 (APG27-2), https://www.apt.int/2025-APG27-2

[196] APT, APG Office Bearers, https://apt.int/OB/APG

[197] APT, APT Conference Preparatory Group for WRC-27 （APG-27）, https://apt.int/APTAPG

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

	第 1 次籌備組會議（APG27-1）[194]	第 2 次籌備組會議（APG27-2）[195]
	小組主席，如表 3- 2。	管理團隊； • 根據會員國提交的意見文件，已擬定各項 WRC-27 議題之 APT 初步意見（Preliminary Views)。 • APG27-3 預計於 2026 年 7 月在日本舉行

資料來源：APT

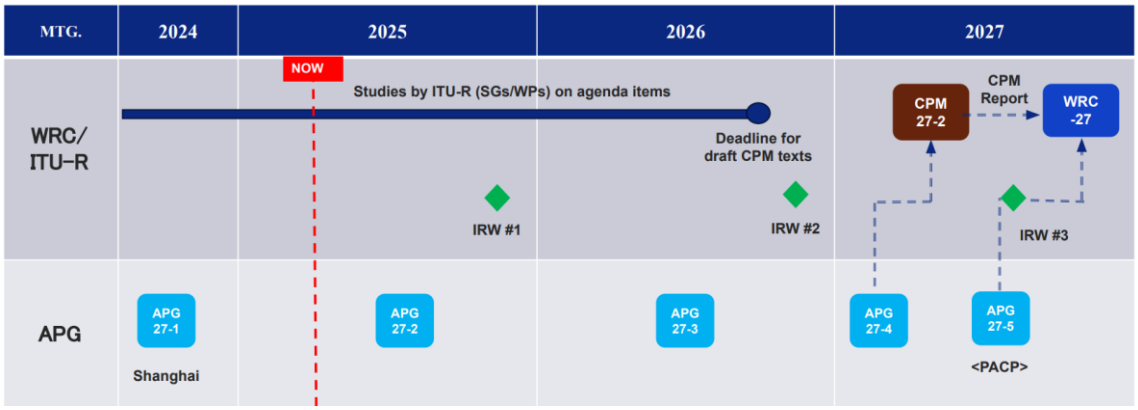


圖 3- 1、APG-27 之會議時程表

資料來源：APT

表 3- 2、APT 設立 5 個工作小組討論 WRC-27 議題

工作小組（WPs）	議題分類	分配 WRC-27 討論議題（Agenda Items）
WP1	衛星固定和廣播衛星議題（Fixed-satellite and broadcasting-satellite issues）	1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、1.6、7
WP2	固定、行動和無線電定位議題（Fixed, mobile and radiolocation issues）	1.7、1.8、1.9、1.10
WP3	衛星行動議題（Mobile-satellite issues）	1.11、1.12、1.13、1.14
WP4	科學議題（Science issues）	1.15、1.16、1.17、1.18、1.19
WP5	一般議題（General issues）	2、4、8、9、10

資料來源：APT

在研究報告方面，APT 於 2025 年 4 月發布「2025 至 2030 年亞太地區國際行動通信（IMT）使用趨勢和頻譜發展」（Trends And Spectrum Developments For IMT Usage In 2025- 2030 In Asia-Pacific

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Region, APT/AWG/REP-136（Rev.1））修訂版[198]，以下簡稱「APT之IMT使用趨勢和發展報告」。該報告主要探討亞太地區IMT地面通信系統未來的頻譜需求組合，並指出為充分發揮5G與下世代（6G）的潛力，必須釋出與搭配低、中、高頻段，以兼顧廣泛涵蓋與支援多元應用。低、中、高頻段之界定與特性如下：

- **低頻段頻譜（1 GHz 以下）**：具備大範圍涵蓋能力，能在各地區提供更普及的行動寬頻服務，特別適合人口稀少或偏遠地區的連接需求，有助於促進數位平權。
- **中頻段頻譜（1-7 GHz 之間）**：兼具涵蓋範圍與傳輸容量的平衡，是各國電信主管機關與產業界積極投入布建5G網路的核心頻譜資源。許多新興行動寬頻應用，如增強型行動寬頻（enhanced mobile broadband, eMBB）、固定無線接取（fixed wireless access, FWA）、物聯網（Internet of Things, IoT）及工業4.0，均仰賴中頻段頻譜。中頻段可再區分為：
  - 較低之中頻段：1500 MHz、1800 MHz、2100 MHz、2300 MHz、2600 MHz；
  - 較高之中頻段：3.3-3.8 GHz、4.8-4.99 GHz、6.425-7.125 GHz。
- **高頻段頻譜（24.25 GHz 以上）**：適用於提供高容量及低延遲的應用服務。如超高畫質影音串流、沉浸式AR、VR等。

依據WRC-23的決議，3.3-3.4 GHz、4.8-4.99 GHz及6.425-7.025 GHz頻段已在部分第三區（亞太地區）國家中劃定為IMT使用；而7.025-7.125 GHz頻段則在整個第三區規劃供IMT使用。此外，3GPP對於以上頻段制定相應技術規範，分別對應於n77/n78、n79及n104頻段。各會員國將根據自身頻譜分配現況與國內需求，

[198] APT（2025）, TRENDS AND SPECTRUM DEVELOPMENTS FOR IMT USAGE IN 2025- 2030 IN ASIA-PACIFIC REGION, https://apt.int/awg-Reports。

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

評估並規劃後續 IMT 頻段之釋出與應用。

表 3- 3、WRC-23 新增或更新 IMT 頻段之註腳

頻段	IMT頻段註腳		
	第一區	第二區	第三區
3300-3400 MHz	5.429B	5.429D	5.429F
3600-3800 MHz	5.433B、5.434B	5.434、5.435B	/
4800-4990 MHz	5.441B		
6425-7125 MHz	5.457E	5.457F	5.457E、5.457D
10-10.5 GHz	/	5.480A	/

資料來源：APT/AWG/REP-136（Rev.1）

WRC-23 決議後，第三區之 IMT 頻譜總量如表 3- 4 所示。回顧自 WARC-92/WRC-97 至 WRC-23 之 IMT 頻譜演變趨勢可以發現，IMT 所獲分配的頻譜總量持續增加，從 WARC-92/WRC-97 至 WRC-15 所決議之 IMT 頻譜總量由 230 MHz 逐步上升至 1,786 MHz。近十年來，隨著全球 4G 網路蓬勃發展與 5G 持續發展中，新興應用相繼出現，各地區域對於頻譜需求大幅成長，尤其是毫米波或以上頻段納入 IMT 使用後，於 WRC-19 可明顯觀察到 IMT 頻譜總量大幅擴增至 19,036 MHz；至 WRC-23，該數量仍持續成長，達到 19,736 MHz，顯示國際間對高頻段資源開放與行動通信應用拓展的趨勢愈加明確。

表 3- 4、WRC-23 決議後第三區用於 IMT 頻譜之總量

頻率範圍	IMT 頻譜總量
1 GHz 以下	510 MHz
1-7 GHz	1976 MHz
24.25 GHz 以上	17.25 GHz

資料來源：APT/AWG/REP-136（Rev.1）

此外，APT 之 IMT 使用趨勢和發展報告中，以問卷蒐集方式調查亞太地區各國 IMT 頻譜分配的現況與挑戰以及未來頻譜藍圖規劃等議題之看法，部分國家回應如表 3- 5。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3-5、亞太地區 IMT 頻譜分配的現況與挑戰、未來頻譜藍圖規劃

國家	IMT 頻譜分配現狀與挑戰	未來頻譜藍圖規劃
不丹	• 目前僅分配 3.5 GHz 頻段供 IMT 使用（但尚未實際分配）。 • 電信營運商尚未對其他頻段提出需求，且受限於技術和地理環境，其他頻段尚未布建。	毫米波頻段主要用於 5G 服務。
尼泊爾	• 470-698 MHz 頻段：已分配予數位地面電視廣播（Digital Terrestrial Television Broadcasting）和電視分配網路使用中，因此未分配予 IMT 使用。 • 1427-1518 MHz、4800-4990 MHz 以及所有毫米波未分配予 IMT。 • 已分配予 IMT 使用的頻段中，700 MHz 和 C 頻段的需求逐漸增加，但截至目前尚未實際分配。 • 已計畫釋出所有 ITU 決議之 IMT 頻段，但 C 頻段的部分頻譜仍用於廣播（衛星），相關重整計畫準備中。	正考量未來幾年釋出 700 MHz、2100 MHz、2300 MHz、2600 MHz 和 C 頻段用於 IMT。
泰國	目前挑戰在於 3500 MHz 頻段必須與電視接收專用系統（Television Receive-Only system, TVRO）共存。	正考量釋出 1500 MHz、3500 MHz 和 28 GHz 頻段。
帛琉	仍在規劃階段。	仍在規劃階段。
越南	在國家頻譜分配表中，3.56-4 GHz 頻段已列為 IMT 頻段。然而，目前已核准 3400-3700 MHz 頻段用於 Vinasat-1 衛星。因此將此頻段重新分配給 IMT 時，應考量 Vinasat-1 和 Vinasat-2 在 3700 MHz 頻段用於追蹤、控制和通信（TT&C）。	• 已考量將 694-806 MHz、2300-2400 MHz、2500-2690 MHz 和 3560-4000 MHz 頻段用於 IMT（4G、5G 或 6G）。其他既有使用頻段，如 900 MHz、1800 MHz、2100 MHz 正在重新整備以用於 4G。 • 希望與其他國家合作，2030 年 6G 商用化時，7-24 GHz 範圍內用於 IMT 的潛在頻段。
中國	（未表達意見）	2023 年 4 月 26 日修訂通過「中華人民共和國無線電頻率分配規定」，正式將部分特定頻段（如：6 GHz、26 GHz 及 40 GHz 等頻段）新增分配為 IMT 用途
韓國	鼓勵 ITU 繼續探索新的 IMT 頻譜，以提高頻譜使用效率，並協助成員根據國家政策選擇不同頻段。	依國家頻譜計畫，3700-4000 MHz 頻段將在 2025 年釋出。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

國家	IMT 頻譜分配現狀與挑戰	未來頻譜藍圖規劃
斯里蘭卡	目前 IMT 頻譜使用受既有使用者、經濟狀況以及應用情境影響。	規劃未來釋出以下頻段：3.2-3.4 GHz、3.6-3.8 GHz、26/28 GHz
汶萊	現有已分配的頻段足以滿足目前市場和技術的需求。	目前沒有需求。應取決於目前網路服務提供商的需求和要求。
巴基斯坦	正考慮將無線電規則中決議為第三區可使用之所有 IMT 頻段用於 IMT。	目前用於或考量用於 IMT 的頻段，包括 700 MHz、900 MHz、850 MHz、1427-1518 MHz、1800 MHz、2300 MHz、2600 MHz、3300-3600 MHz、24 GHz 和 39 GHz 等。
印尼	根據 ITU 無線電規則決議供 IMT 使用的頻段，尚未分配。例如：2.6 GHz 和 3.5 GHz 頻段，此兩頻段目前仍分別用於衛星廣播和衛星固定。	已優先考量並規劃 700 MHz、2.6 GHz、3.5 GHz 和 26 GHz 頻段用於 IMT，其他 IMT 頻段仍在研究中。
菲律賓	未將某些頻段分配予 IMT，可能因技術、監管、經濟和政策等多種因素的綜合作用而有所不同。	規劃未來釋出以下頻段：24.25-27.5 GHz、37-43.5 GHz、66-71 GHz。

資料來源：APT/AWG/REP-136

從上表可見，亞太地區各國在 IMT 頻譜的分配與發展策略上差異顯著，整體處於持續推進階段。多數國家已開放部分中低頻段，如 700 MHz、1800 MHz、2300 MHz 和 3.5 GHz 用於 IMT，並積極評估毫米波頻段（如 26 GHz、28 GHz、37-43.5 GHz）以因應 5G 及未來 6G 的高頻寬需求。然而，多數國家仍面臨現有用戶（如電視接收、衛星）使用頻段的干擾與技術挑戰，需透過重新規劃或跨國協調以釋出頻譜。部分國家如巴基斯坦、斯里蘭卡等國則尚處於早期研究階段。整體而言，未來的頻譜布局將取決於市場需求、技術演進、政策導向與國際合作的綜合考量。

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

APT 於 2024 年 9 月發布「多層網路接取使用地面和非地面系統的多重連接」[199]（Multi Connectivity for Multilayered Network

[199] APT （2024）, APT REPORT ON MULTI CONNECTIVITY FOR MULTILAYERED NETWORK ACCESS

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

Access Using Terrestrial and Non-Terrestrial Systems）報告，主要關注於衛星系統整合至下一代通信接取技術中。

多層網路由多種類型的平臺與連接組成，形成一個相互連接的通信系統，如圖 3-2 所示。其結構涵蓋多個層級的網路，包括同步軌道衛星（GeoStationary satellite Orbit, GSO）、中軌道衛星（Medium Earth Orbit, MEO）、低軌道衛星（Low Earth Orbit, LEO）、高空通信平臺（High Altitude Platform Station, HAPS）、無人機（Drone）、地面網路（Terrestrial Network, TN）及地球電臺（Earth station）。各層之間透過多種互連方式進行通信，如表 3-6 所示。

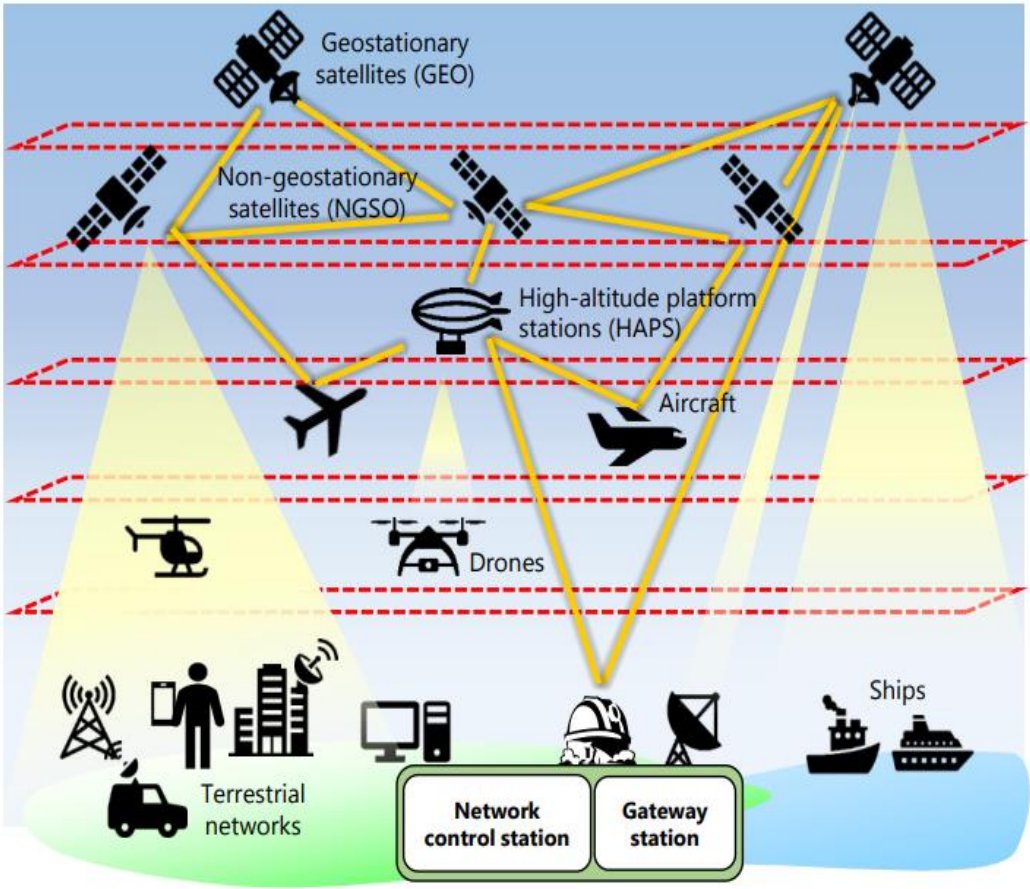


圖 3-2、多層地面網路（TN）與非地面網路（NTN）示意圖

資料來源：APT, No. APT/AWG/REP-142

USING TERRESTRIAL AND NON-TERRESTRIAL SYSTEMS, https://apt.int/awg-Reports

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 6、多層網路之互連方式

由衛星和其他通信系統互連組成的網路	由 GSO 與 NGSO 衛星互連組成的網路
• 衛星與地面網路 • 衛星網路作為地面後傳網路（backhaul） • 衛星網路作為地面前傳網路（fronthaul） • 衛星與高空通信平臺系統（HAPS）	• GSO 與 NGSO（包含 MEO 或 LEO）互連的網路，以及 MEO 與 LEO 互連的網路 • 在 LEO 星座（Constellation）內部互連 • 單一地球電臺同時連接到 GSO 和 NGSO

資料來源：APT, No. APT/AWG/REP-142

多層網路拓展通信服務的應用範疇，能支援多樣化的使用情境，包括太空與空中、海洋、地面及各類緊急應變場景等，如表 3- 7 所示。

表 3- 7、使用衛星系統的多層網路連接新應用

範圍	應用
太空和空中	• 深空任務的高速連續寬頻連接 • 地球觀測衛星的數據中繼 • 飛機和無人機的連接，用於控制數據和用戶數據傳輸
海洋	• 船舶的遠距控制、物流和網路接取 • 水下航行器（Autonomous Underwater Vehicle, AUV/ Autonomous Surface Vehicle, ASV）的控制和數據傳輸
地面	• 偏遠地區（如山區和島嶼）的網路涵蓋 • 建築工地的網路連接
緊急情況	• 災害預防操作，例如火山、氣象和地形監測 • 災難應變操作，例如在災區快速布建區域 5G 網路

資料來源：APT, No. APT/AWG/REP-142

多層網路所面臨之挑戰主要包含：（1）不同層級和平臺之間的鏈路特性（如延遲、吞吐量等）存在差異，因此需要定義實體層（Physical Layer）和邏輯層（Logical Layer）互連規範；（2）中繼節點（nodes）可能會動態移動，需採用新的網路控制技術來處理網路拓撲（Network Topology）和封包路由（packet routing）的動態變化；（3）天氣條件可能會影響地面網路和非地面網路之間的鏈路品質；（4）多個營運商之間的互通性需要解決安全性和用戶身份驗證程序等問題。

目前，各國和標準組織都在積極推動多層網路的發展。ITU-

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

R 正在研究與多層網路相關的標準、3GPP 正在制定將衛星系統整合到 5G 和未來通信技術的標準。此外，日本和韓國等國家正在進行多層網路的模擬和實驗，以驗證其技術可行性。

綜上所述，多層網路是未來通信技術發展的重要方向，不僅可為亞太地區提供更廣泛的網路涵蓋與更高品質的服務，亦將促進更多創新應用場景。

二、 3GPP

(一) 無線通信技術演進觀測

自 5G Advanced（Release 18）起，3GPP 無線電介面（Air Interface）標準聚焦於原生導入人工智慧/機器學習（Artificial Intelligence/Machine Learning, AI/ML）、大規模天線技術（Massive Multiple Input Multiple Output）持續精進，以及網路自動化與永續發展等核心領域，並逐步邁向 6G 新世代的架構創新與應用融合。以下簡要說明 Release 18 至 Release 20 的技術演進方向與關鍵發展重點。

Release 18 的主要工作為引入 AI/ML 原生能力，以提升無線資源管理、自動化運作與網路優化效能，同時推動 Massive MIMO 技術精進，並支援延展實境（Extended Reality, XR）、5G 輕量化裝置（Reduced Capability, RedCap）、工業物聯網、非地面網路通信（Non-Terrestrial Networks, NTN）等新興應用。此外，Release 18 亦強調綠色網路發展與節能功能，並持續強化動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS）機制。

Release 19 是 5G-Advanced 的第二階段，重點在於深化 5G Advanced 相關技術，包括分散式天線技術（Distributed Multiple Input

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Multiple Output, D-MIMO）、強化 AI/ML、XR 與 NTN 的進階應用，以及網路自動化技術與永續性發展。同時，Release 19 亦啟動 6G 技術之先期研究，包含初步探討 6G 之效能評估與基礎架構，為未來通信技術奠定基礎。

對於 Release 20 的 5G-Advanced，重點是增強 5G 的現有功能，確保持續升級穩步，3GPP 制定三階段路線圖[200]，第一階段（服務要求）於 2025 年 6 月凍結；第二階段（系統架構方面）預計於 2026 年 9 月最終凍結；第三階段（協議細節）計畫於 2027 年 3 月完成。

Release 20 於 2025 年下半年正式啟動 6G 研究工作，展開 6G 技術可行性研究、頻譜探索、架構創新等前瞻工作。此階段將聚焦於新一代無線電介面與網路架構的探索，預期引入多項創新技術，包括全新波形、原生人工智慧（AI-native）架構，以及整合感測與通信（Integrated Sensing and Communication, ISAC）等關鍵能力。

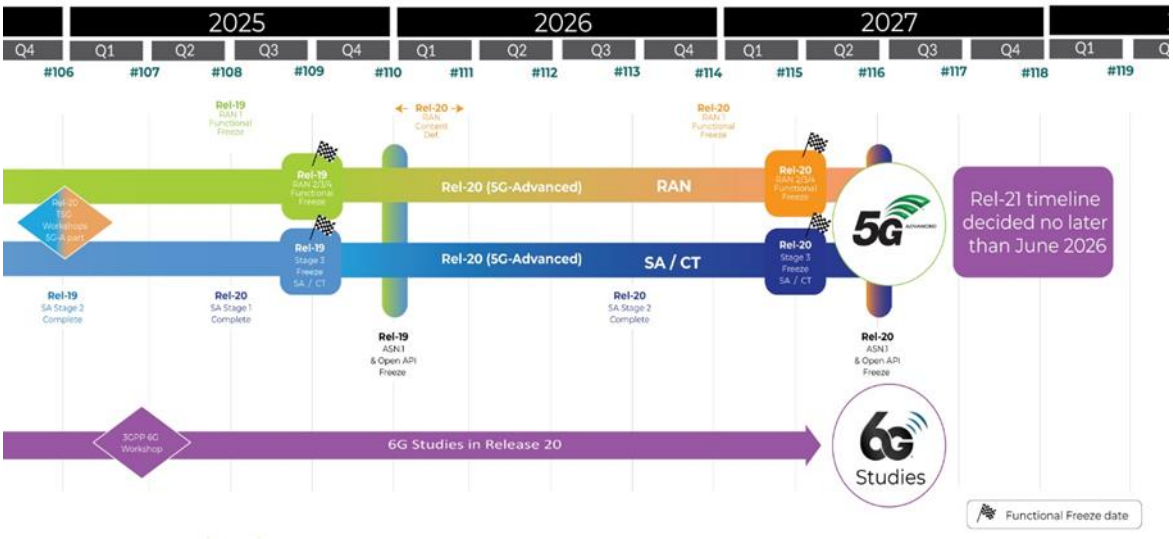


圖 3- 3、3GPP R20 之 5GA 及 6G 研究時間表

資料來源：3GPP（2025 年 2 月）

200 3GPP(2025), Rel-20 Planning and Progress in TSG SA. https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/sa-rel20 （last visited 2025.06.01）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

目前，3GPP 內部的 6G 工作計畫分為兩個主要階段：

Release 20 從 2025 年起，將展開 6G 早期階段之研究工作。其中，6G 使用案例和服務要求研究項目已於 2024 年 9 月核准（SP-241391）；無線電接取網路（Radio Access Network, RAN）的 6G 研究（第一部分：聚焦於 ITU 之需求）已於 2024 年 12 月核准（RP-243327）。6G 無線介面和核心網路架構的技術研究於 2025 年 6 月在 RAN 和 SA 工作組同步啟動。

Release 21 將正式啟動 6G 標準化工作，預計將於 2030 年之前完成第一份正式的 6G 技術規範，以符合 IMT-2030 之要求。Release 21 的時程表預計最遲將於 2026 年 6 月確定，而 ASN.1/OpenAPI 的凍結日期預計不早於 2029 年 3 月。

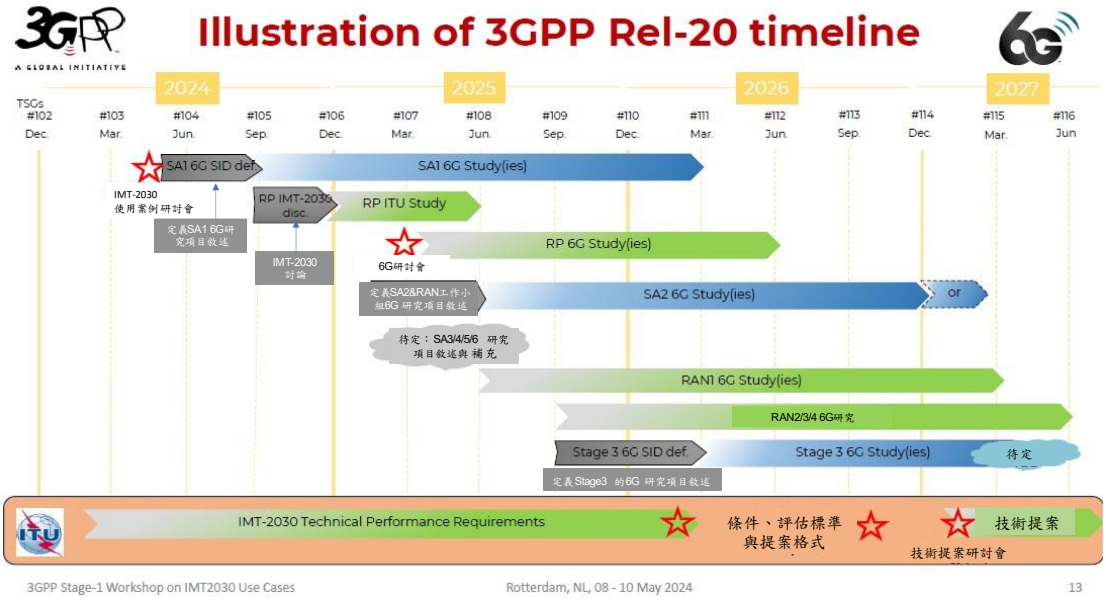


圖 3- 4、3GPP R20 之 6G 研究細項時間表

資料來源：3GPP（2024 年 5 月）

本研究觀測 3GPP 對於未來無線通信技術之進展與願景[201]，歸

[201] 5G Americas （2024），3GPP Technology Trends- White Paper 1 HTTP://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2024/01/3GPP-Technology-Trends-WP.pdf（last visited 2025.06.01）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

納出以下 6G 主要演進方向：

1. 原生 AI/ML 應用與網路智慧化[202]：

- 5G-Advanced（從 Release 18 起）強調將 AI 與 ML 深度導入無線網路，提升網路的自動化、資源調度、能耗優化、負載平衡與管理能力。
- AI/ML 不僅應用於核心網路，也將擴展到無線電接取網路與終端，強化端到端的智慧協作。
- 針對新興應用（如 XR、工業物聯網、智慧感知等）提供更高效能、更低延遲與更高可靠性的網路支援。

2. 原生雲與開放架構[203]

- 6G 強調原生雲（Cloud-native）核心網路與開放式架構，支援多方協作、靈活擴展與第三方服務接取。
- 網路功能模組化、可編程化，便於快速引入新技術與創新應用
- 採用聯合通信與感測（Joint communications and sensing, JCAS）將感測能力添加到無線通信系統中，此一進展為實現新應用案例的關鍵，並能夠支援建立實體世界的真實數位分身。

3. 可持續發展與高能源效率

- 強化網路效能、降低碳排放，並提升網路韌性與信任度，

[202] 3GPP(2025), Overview of AI/ML related Work in 3GPP. https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/ai-ml-2025 （last visited 2025.06.01）

[203] Nokia（2025）, 6G system architecture: where innovation meets evolution for a more sustainable and connected world. https://www.nokia.com/6g/6g-system-architecture-where-innovation-meets-evolution-for-a-more-sustainable-and-connected-world/ （last visited 2025.06.01）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

支援未來智慧社會與產業數位轉型[204]。

4. 網路涵蓋：

- 為提供無所不在的涵蓋，包括偏遠地區、海上和太空，須將網路涵蓋擴展到三維空間。透過非地面網路（NTN），整合 HAPS 和低軌道衛星實現。
- 研究將 4G LTE FDD 低頻段重複使用於 6G，提升涵蓋與連接密度。

5. 全新 6G 無線電介面：

3GPP 初步討論建議未來的 6G 無線電介面採用非向下相容（Non-Backward Compatible）設計[205]，以充分發揮新一代無線技術的潛力，並突破現有 5G 架構限制。本研究歸納其主要考量如下表。

表 3- 8、3GPP 未來 6G 無線電介面設計論點與業界考量

關切重點	非向下相容設計的論點與效益	平滑演進與電信業者之考量
技術潛力與性能	發揮 6G 潛力，實現高性能、低延遲等目標。	6G 空中介面需與 4G/5G 相似，以提供動態頻譜共享並重複使用既有無線電設備。
網路架構與效率	6G 採獨立運作，簡化網路架構，減少協定疊床架屋，提高效率與維護性。	電信業者期待透過軟體升級將較低頻段升級到 6G。
新功能支援	6G 引入 AI/ML 等新功能。強行相容舊系統會大幅增加設計難度，難以充分發揮效益。	資料收集須符合相關法規。3GPP 正研究將資料採「部分可見性」（Partial Visibility）的處理方法。

[204] 同上。

[205] 3GPP（2025），Summary of 3GPP's 6G Workshop （March 2025）. https://www.free6gtraining.com/2025/03/summary-of-3gpps-6g-workshop-march-2025.html （last visited 2025.06.01）

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

關切重點	非向下相容設計的論點與效益	平滑演進與電信業者之考量
頻譜與硬體最佳化	6G 拓展中高頻段、大規模天線。新設計有助於新頻段硬體最佳化，提升頻譜利用率、支援 THz 頻率。	設計應確保較高的 6 GHz、7 GHz 和 8 GHz 頻段可用於大蜂巢（Macro Cell）行動網路布建。
投資與成本考量	避免過去 5G 非獨立組網的複雜性。全新設計可簡化無線電接取網路與核心網路架構，減少協定疊床架屋，提高系統效率並降低維護成本。	電信業者認為 6G 支出可能不會像 2G 至 5G 出現大幅增長。在頻譜使用上，業者希望能以既有 FR1、FR2 頻段演進升級至 6G 。
THz 頻段挑戰	目前技術水準下，難以產生足夠的輸出功率。	面臨成本、小型化等挑戰。目前仍為小規模研究測試階段。
互通性與移轉方案	3GPP 研究 5G/6G 互通與平順移轉方案，如允許單一終端同時連接 5G 與 6G 網路，並進行流量分流與切換。	確保用戶體驗與服務連續性，實現服務層面平順移轉。

資料來源：本研究整理

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

2025 年 3 月，3GPP 於韓國仁川舉辦 6G 之首屆技術規範組（Technical Specification Group, TSG）研討會[206]，集結產業、學界、營運商與設備商，針對 6G 願景、無線電技術、系統架構等展開討論。TSG 研討會以二個聯合會議的方式進行。

第一個聯合會議為 SA1 工作小組之 6G 研究狀態更新、下一代總體願景和優先事項。在此會議下，另再加開二個平行會議：(1) TSG RAN 平行會議：討論新一代無線電技術的願景和優先事項；(2) TSG SA/CT 平行會議：討論新一代系統架構、核心網路和協定的願景和優先事項。第二個聯合會議為大會的總結及摘要會議，針

[206] 3GPP（2025）, 3GPP workshop on 6G. https://www.3gpp.org/technologies/6gworkshop-2025（last visited 2025.06.01）

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

對總體願景、無線接取（RAN）、系統架構與協定（SA/CT）等方面進行討論。

在該研討會中，3GPP 成員表達對下一代無線電技術、系統架構、核心網路和協議的願景和優先事項。會議收集超過 240 份技術提案，並由各工作組主席彙整討論重點，會後發布會議摘要 6GWS-250243 作為其產出成果。

必須留意的是，3GPP 聲明摘要是針對文件及會議討論所產出的彙總，並不代表所有成員的共識觀點或決議，並說明 3GPP 的工作範圍由其既定的工作程序決定，並無法保證本次會議所提及的所有潛在技術領域都將作為 Release 20 的研究範圍。

本研究針對大會總結摘要對於 6G 建設動機、6G 頻譜考量及網路技術開發方面之各項議題討論，分別呈現如下。

1. 6G 建設動機

建設 6G 網路的主要動機在於支援新的服務和使用案例，例如整合感測與通信（ISAC）、延展實境（XR）、沉浸式通信以及人工智慧服務。6G 建設的目標則在於充分發揮網路能力，並支援各行各業的應用，進而創造新的營收來源。

2. 6G 頻譜考量

透過提升既有使用頻譜之效能延續使用，如 FR1 和 FR2[207]，並使用既有 5G 中頻段基地臺網路進行 6G 布建，透過 MIMO 技術增加連接埠和天線單元數量，以支援中高頻段的新頻譜，此為實現 6G 網路效能的關鍵因素。該研討會結論摘要文件中雖提及中高頻段，但未特別指出中高頻段之實際頻段範圍。

[207] 根據 3GPP 5G NR 的定義，FR1 頻段為包括 6GHz 以下（sub-6GHz）的頻段，為 410 MHz 至 7125 MHz。FR2 為毫米波頻段，24.25 GHz 至 71 GHz 頻段，其中 57-71GHz 為免執照頻段。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

此外，6G 將透過降低重複性及能耗，改善高速率傳輸的延遲，並降低在標準化層面、應用與布建層面的複雜性，增加對各個不同頻譜資產的支援。

3. 網路技術開發方面

針對系統設計考量與潛在技術領域，會議中探討支援人工智慧方面、核心網路設計、無線電接取網路等各項系統設計之考量，在人工智慧與自動化方面，3GPP 規劃願景如下：(1)實現原生 AI 的網路，以進行網路管理和資源分配的自動化、最佳化和提高效率；(2)目標是建立一個由原生 AI、可程式化且具有服務感知能力的 6G 無線電接取網路（RAN）驅動的服務感知型智慧網路。

在核心網路方面，考量架構設計、安全與韌性、新服務與技術支援、互通性與演進等面向，分別介紹如下：

(1) 架構設計（Architecture Design）

- 從 5G 吸取的經驗，傾向優先採用單一的 6G 獨立組網（Standalone Architecture, SA）架構，避免非獨立組網（Non-Standalone, NSA）布建的複雜性。
- 6G 系統設計遵循雲端原生架構（Cloud-Native Architecture）原則。
- 核心網路設計需支援地面網路與非地面網路（Non-Terrestrial Networks, NTN）的無縫整合。
- 考量可能重用或增強現有 5G 以服務為基礎之架構（Service-Based Architecture, SBA）及以服務為基礎之界面（Service-Based Interface, SBI）框架。
- 需簡化架構，精簡網路功能（Network Function, NF）的定義、互動方式、介面與協定。
- 6G 在所有領域都需要比目前的 4G 或 5G 網路更加高效。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 應專注於一套合理且精簡的功能集（well-dimensioned set of functionalities），降低複雜性（complexity）。
- 需確保網路功能（NF）具備高效的規模設計（efficient sizing）、保持功能之間的明確分離（clear decoupling），並進一步探索無狀態架構（stateless architectures）。
- 透過簡化系統降低總體擁有成本（Total Cost of Ownership, TCO）。
- 提升能源效率（Energy Efficiency）並減少能耗，以促進環境永續。

(2) 安全與韌性（Security and Resilience）

- 安全性（Security）與隱私（Privacy）是 6G 從設計之初就需要強化的重點。
- 需納入零信任原則（zero trust principles） 與後量子安全措施（post-quantum security measures）。
- 網路系統必須是值得信任的（trustworthy）。
- 核心網路設計需涵蓋對網路韌性的要求，使系統能承受操作錯誤、高流量及災害等各種事件衝擊。

(3) 新服務與技術支援（New Service and Technology Support）

- 核心網路設計需滿足 6G 對於人工智慧與連接能力、安全、隱私、韌性等方面的新需求。
- 需研究 SBA 架構的新功能，以支援新的 6G 服務。
- 從 6G 啟用起，即設計以支援各種物聯網 IoT 設備類型和使用案例，並側重於長期承諾和多代解決方案。
- 從 6G 啟用起，即支援具有可擴展設計的多樣化設備類型，可基於頻寬/數據速率、外形尺寸、能耗等因素進行

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

設計。

- 應能實現一個服務感知型智慧網路（Service-Aware Intelligent Network）[208]。
- 需原生支援 AI/ML 管理，並探索新的 AI/ML 應用案例。

(4) 互通性與演進（Interworking and Evolution）

- 設計具備可互通介面（Interoperable Interfaces）及整合管理框架（Unified Management Framework）的元件，確保系統的互通性並避免碎片化。
- 需考慮與 5G 系統的無縫互通。與 4G 系統互通需進一步討論，但不與 2G、3G 系統互通。
- 建立與 5G 系統的演進選項，例如 5G-6G 雙連接（Dual Connectivity）和 5G-6G 雙堆疊（Dual-stack）。

(5) 接取網路層面之設計考量為：

- 6G 無線介面之設計(從終端的角度),採不向下相容(Non-Backward Compatible）之設計，以充分發揮其潛力。某些特性（例如波形、調變和通道編碼）則基於 5G NR，並可能有所增強。
- 未來需研究證明 6G 無線介面的顯著優勢，以證明使用該介面之合理性。
- 精簡且合理規劃功能集，最大限度地減少相同功能採用多個選項，避免過度設定。

[208] 服務感知智慧網路（Service-aware intelligent network）是指 6G 網路具備對不同用途需求（例如：超低延遲的工業控制、超大頻寬的沉浸式媒體、海量連接的物聯網等）的深度理解與智慧管理能力，能根據用途特性自動調整資源分配、網路配置與運作策略，提供最佳的用途品質與用戶體驗。https://arxiv.org/html/2407.09398v2 （last visited 2025.06.01）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 6G 啟用起即應為無線網路提供卓越（Superior）的涵蓋。
- 在頻寬/速率、外形尺寸、能耗等層面，提供多樣化且可量產的設備功能設計。
- 和諧共用的 TN 和 NTN 網路設計。
- 在 RAN 設計中，計畫建立一個可擴展的 AI/ML 框架，基於 5G-A 的發展框架，提供 AI/ML 對網路生命週期管理（Lifecycle Management, LCM）[209]，例如：系統設定、效能監控、停用以及向傳統演算法的無縫轉換的原生支援，並持續探索新的應用案例。
- 與 FWA、Wi-Fi 和其他接取技術整合，確保一致且靈活的連接。

2025 年 8 月 25 日至 8 月 29 日期間，3GPP 分別在瑞典哥德堡舉行核心網路與終端（Core Network and Terminals, CT）工作組會議、服務與系統方（Service and System Aspects, SA）工作組會議，以及印度班加羅爾舉行無線存取網路（RAN）工作組會議，對 Release 19 進行最終定稿，並針對 Release 20 展開早期階段討論，啟動 6G 標準化研究項目，為 6G 規範奠定基礎，早期 Release 20 的 6G 研究包括以下三個研究[210]：6G 使用案例和服務需求研究（WG SA1，FS_6G_REQ）、6G 系統架構研究（WG SA2、FS_6G_ARC）、6G 無線電研究（WG RAN1，FS_6G_Radio）。分別歸納研究重點如下：

[209] 生命週期管理（Lifecycle Management, LCM）在 3GPP 針對 6G 接取網路的 AI/ML 原生支援中，指的是對 AI/ML 模型從建立、布建、運作到退役的全過程進行系統性管理與控制。這個流程涵蓋了模型的設定、效能監控、停用，以及在需要時能夠無縫切換回傳統演算法等功能。http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arxiv.org/pdf/2504.02406 （latest view 2025/5/24）

[210] 3GPP(2025), Toward Rel-19 freeze date. https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/augwg-report

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

1. 6G 使用案例與服務需求研究（FS_6G-REQ）

這是 SA 第一工作小組主導的第一階段研究，題目為「6G 使用案例與服務需求研究」（Study on 6G Use Cases and Service Requirements），縮寫 FS_6G-REQ。這是 SA2 6G 系統架構研究的源頭研究項目，目標是發展新的服務並強化現有服務，研究將根據 IMT-2030 使用場景，界定潛在需求，以建立超越 5G 系統的能力，成果將以 TR 22.870 發布於 TSG#110（2025 年 12 月）。預計於 TSG#111（2026 年 3 月）核准。

2. 6G 系統架構研究（FS_6G_ARC）

這是 SA 第二工作小組主導的研究。題目為 Study on Architecture for 6G System，縮寫 FS_6G_ARC。目標是定義 6G 行動網路系統架構，以改進現有服務並支援新服務，滿足 3GPP SA1（TR 22.870）和 TSG RAN（TR 38.914）所定義之 6G 系統要求。預期成果將發表在 TR 23.801-01，預計在 TSG#113（2026 年 9 月）提供資訊。

系統架構之設計原則著重於適當的功能及設計，盡量減少針對相同功能採用多種選項，避免過度配置。研究將考慮雲端原生、永續性和能源效率、穩健性和韌性等方面。任務涵蓋多個較高層次範疇，包含：

- 定義整體 6G 架構，包括支援控制信令、增強或支援 SBA 框架、網路切片、網路共享、QoS 框架、使用者平面架構等。
- 遷移與互通：研究如何支援遷移至 6G 生態系（6G System, 6GS），以及如何與 5G 生態系（5G System, 5GS）、EPS[211]

[211] EPS 是 3GPP 在 4G LTE 時代定義的整體系統架構名稱。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

（4G）和 4G/5G NTN/衛星接取互通。

- AI 支援：研究如何在 6G 中支援和啟用 AI（例如 AI 代理、框架）。
- 感知：研究如何支援感知服務。
- 資料框架：研究資料收集、分發、處理、儲存和資料對外提供或開放存取（暴露）的高效且可擴展的資料框架。
- 運算支援：研究如何支援終端設備、核心網路和應用伺服器的計算。
- NTN/物聯網：支援 6G RAT 用於 NTN 及服務連續性、研究支援行動物聯網。

3. 6G 無線電研究（WG RAN1，FS_6G_Radio）

這是無線電接取 RAN 工作小組（RAN1 為主，RAN2/3/4 為次）主導的研究項目。目標為開發非向下相容的無線電接取技術，以滿足廣泛的使用案例和需求。該研究著重於實現大幅度的效能提升、高效率、簡單性、使用者體驗和系統可擴展性。其設計重點為：

- 單一技術框架：基於獨立組網（SA）架構，避免過度配置和最小化功能的多重選項。
- 能源與頻譜效率：網路和裝置的能源效率和節能，以及增強頻譜效率。
- 涵蓋範圍：增強整體涵蓋範圍，特別是蜂巢網路邊緣效能和上行鏈路（Uplink, UL）涵蓋。
- 頻率範圍：研究頻率範圍包括 FR1（最高至 7.125 GHz 頻段）、FR1 和 FR2-1 之間的範圍（7 GHz 頻段附近），以及 FR2-1（24.25-52.6 GHz）。不包括 52.6 GHz 以上之頻率範

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圍。

在技術層面的研究內容包含：

- 實體層結構：波形（基於 OFDM，以 5G NR 波形和調變為基準）、訊框結構（考慮與 5G NR 相容以允許高效的 5G-6G Multi-RAT 頻譜共享，MRSS）、通道編碼（以 LDPC 和 Polar Code 為基礎）。
- 無線電介面協定與程序：使用者平面架構、控制平面架構、接取層安全、資料傳輸設計以支援 AI/ML 或感知等各種資料類型。
- 無線電介面/無線資源管理之要求：探討基地臺及用戶終端的無線電介面要求、無線資源管理方面及解調效能之需求研究，目標為針對 5G NR 進行改進和簡化。
- AI/ML 和感知：識別 6GR 和 RAN 中 AI/ML 的使用案例及框架，並研究感知技術的物理層功能和程序。
- 遷移和互通：5G NR 到 6GR 的遷移，以及 5G NR 和 6GR 之間的互通性與行動性。

針對接取網路的研究時程上，RAN 6G 無線電研究已設立階段性里程碑如下表。

表 3- 9、3GPP 對 6G 無線電研究之階段性里程碑

里程碑	時間	工作組	內容重點
中期評估	TSG#112 2026/6	RAN1	對波形、調變、通道編碼、通道頻寬（最小和最大）、訊框結構、數值學以及基本同步信號結構進行中期評估。
中期研究結果	TSG#112 2026/6	RAN3	提供中期結果，供 TSG 決定：RAN-CN 介面（P2P vs SBI）和 RAN 內部介面（CU-DU/CP-UP 分割）。
決策	TSG#112	RAN Plenary	決定除了 6G 載波聚合（CA）之外的 6G-6G 聚合（例如 6G-6G 雙連接）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	2026/6		

資料來源：3GPP，本研究整理

以上三個技術規範小組之研究成果在 2025 年 9 月 15 日至 19 日北京召開 TSG#109 全體會議中進行討論[212]，R19 之技術規範和技術報告已完成最終討論，RAN 主席宣布 R19 的 RAN 第三階段已正式凍結。預計在 2025 年 12 月宣布 R19 的 ASN.1 凍結。

此次全體會議總結 5G-Advanced 在 R19 的標準制定，並為 6G 在 R20 的系統級架構和無線技術研究確立清晰的藍圖。在新提案方面，會議中也討論 NTN 的新頻段，但最後並未通過。該案緣起於澳洲 Telstra Limited、美國 T-Mobile、KDDI 和 SpaceX 共同發起的新工作項目提案（New WID on Introduction of NR-NTN in terrestrial bands），主張在地面 n7 頻段（2600 MHz）引入 NR 非地面網路（NR-NTN）。該提案在討論過程中經歷修改，最終縮小範圍為在澳洲國內的 n7 頻段中引入 NR-NTN（New WID on Introduction of NR-NTN in n7 band for Australia）。修訂後的提案（RP-252932）在會議上被進一步討論，希望列為 R20 的工作項目提案（RP-252933），但最終因尚未在 ITU 進行討論及和諧共存疑慮等爭議而未被採納。儘管該 n7 頻段的 NTN 提案未獲通過，但它明確表達地面行動通信業者與國際衛星業者試圖標準化 NR-NTN 地面頻段之企圖。

三、 GSMA

(一) 6G 頻譜規劃之政策動向

隨著全球積極布局下世代行動通信，6G 頻譜的前期規劃已成為

[212] 3GPP(2025), Draft meeting report 109. https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_109/Report/ (last visited 2025/10/16)

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

政策制定之重點關注事項。全球行動通信系統協會（Groupe Speciale Mobile Association, GSMA）根據 ITU 提出之頻譜需求模型，於 2025 年 2 月發布「頻譜政策趨勢報告」（Spectrum Policy Trends 2025）[213]，指出為達成 2030 年全球 5G/6G 使用之目標，每個國家平均需配置約 2 GHz 之中頻段頻譜資源，以支援高速率、低延遲與大規模連接之應用需求。其中，6 GHz 上半部分頻段共有 700 MHz 頻寬（6.425-7.125 GHz 頻段，簡稱 U6 頻段）因具備大容量，被視為最具潛力且可行之中頻段之候選頻段。該頻段不僅能使用既有基地臺架構進行建設，亦有助於擴展基地臺容量、提升網路能效，並促進數位包容性。

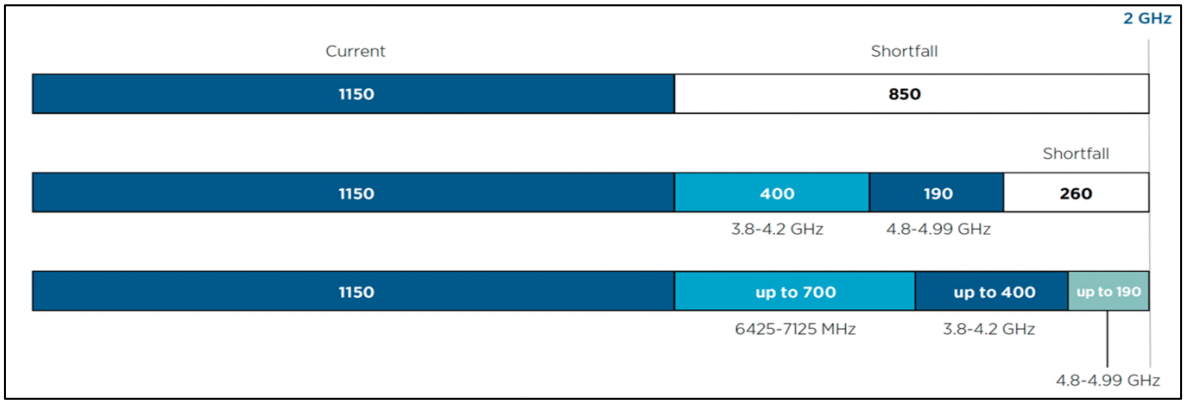


圖 3- 5、GSMA 預估達成中頻段所需 2 GHz 頻寬之可能釋出頻段
資料來源：GSMA[214]

2023 年世界無線電通信大會（WRC-23）已決議將部分 6 GHz 頻段納入 IMT 用途，並獲得全球 60%人口國家的支持，為未來全球協調奠定良好基礎。GSMA 在後續分析中強調，大會成果亦涵蓋非地面網路（NTN）、低軌衛星與航空通信頻譜共存的初步共識，反映「地空融合」已成為行動網路發展的重要方向。

GSMA 於 2025 年 3 月發布「WRC-23 之決議對 2024 年頻譜政

[213] GSMA（2025）, Spectrum Policy Trends 2025, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2025/02/GSMA-Spectrum-Policy-Trends-2025-1.pdf
[214] GSMA（2022）, The Maths of Mid-Band Spectrum, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/the-maths-of-mid-band/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

策的影響」（The impact of WRC-23 decisions on spectrum policy in 2024）[215]，WRC-23 之決議應成為各國主管機關制定政策時的依據，涵蓋保護區設置、相鄰頻段干擾限制與跨境協調等面向。若未遵循 WRC-23 之決議共識，恐使設備互通性下降、跨境干擾風險增加，因此建議各國應及早將相關決議納入法規檢討與調整程序。

WRC-27 預期進一步探討此議題，促使 6 GHz 邁向全球一致化。GSMA 建議各國應釋出至少 200-400 MHz 的連續中頻段之頻寬供業者使用，並針對 U6 頻段提出開放使用的政策指引。另一方面，隨著 6G 對頻譜需求更加多元，各國亦開始針對 7-8 GHz、4.5-5 GHz 等頻段，進行干擾分析與共存模擬等，以考量氣象、衛星、軍事與固定通信等既有用途需求。

此外，GSMA 於 2025 年 8 月發布「專網發展策略發展趨勢」（Private Mobile Network Strategies Gain Momentum）[216]報告指出，專網（Private Mobile Networks, PMN）的需求隨著全球數位化轉型正快速成長，其可行性高度取決於頻譜政策的設計，核心挑戰在於如何在「專用頻譜」與「共享頻譜」的模式之間取得平衡。部分國家已釋出專屬頻譜供企業自建網路，例如德國的 3.7-3.8 GHz 頻段；另一些國家則推動共享頻譜，例如美國的公民寬頻無線電用途（Citizens Broadband Radio Service, CBRS）。GSMA 建議，各國應建立靈活的授權制度，確保企業能在安全、可靠的頻譜環境下建置專網，並與公共網路形成互補。

隨著全球多數行動通信業者所持有的頻譜執照將於 2025 年起陸

[215] GSMA（2025）, For the benefit of billions: the impact of WRC-23 decisions on spectrum policy in 2024. https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/for-the-benefit-of-billions-the-impact-of-wrc-23-decisions-on-spectrum-policy-in-2024/#:~:text=WRC%2D23%20marks%20a%20significant,harmonisation%20and%20avoid%20interference%20issues.

[216] GSMA（2025）, Private mobile network strategies gain momentum. https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/private-mobile-network-strategies-gain-momentum/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

續到期，各國政府面臨如何設計「續照機制」以兼顧投資穩定性、資源分配效率與市場競爭公平性等多重目標。GSMA 提出可採用下列三種政策模式：

1. 預設續照（Presumption of Renewal）：適用於業者無違規、未閒置頻譜的情境。此制度有助於降低業者營運風險，鼓勵長期資本支出與技術升級，亦可縮短行政程序、避免市場不確定性擴大。

2. 重新拍賣（Re-auction）：雖可提升資源配置效率與新進者參與機會，但也伴隨價格波動、投資風險升高，故僅限於政策目標明確或頻譜需重新分配之特殊情境使用。

3. 混合模式（Hybrid）：透過將部分頻譜續照、部分重新拍賣的方式，兼顧市場韌性與預測性。其制度設計與執行成本相對較高，故需明確定義適用條件與配套政策。

GSMA 建議，各國應提前至少 5 年以上公告頻譜續照原則，提供市場充分準備期，以降低政策變動對業者基礎設施布建與商業模式之衝擊。此舉亦可避免執照過期導致頻譜閒置與用途中斷之風險。未來頻譜續照制度設計將是考驗各國政策之重要關卡。GSMA 強調，續照政策應在「保障國內產業投資穩定性」、「確保與國際市場接軌」與「建構靈活、有效率的頻譜管理制度」三者之間取得平衡[217]，從而建立具前瞻性與韌性之頻譜政策架構，協助各國於全球 6G 競爭中，爭取頻譜分配與技術治理的主導地位。

(二) 6G 產業新技術推動之政策動向

隨著行動通信進入 5G 與 6G 世代，未來產業技術布建逐漸趨

[217]GSMA （2024）, Mobile Evolution in 6 GHz, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/09/GSMA_Mobile-Evolution-in-6-GHz.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

向創新應用之開發，以及既有基礎設施之汰換與重整。根據 GSMA 頻譜政策趨勢報告顯示，舊有 2G 與 3G 網路技術已邁入關閉潮，截至 2025 年預計將有超過 61 個國家關閉 2G/3G 網路用途，主要集中在亞洲與歐洲地區；預估至 2030 年，全球將有高達 131 個國家完成淘汰舊網路系統。此舉主要目的為提升頻譜使用效率、降低營運維護成本，並釋出有限頻譜資源以支持新一代網路技術布建，即頻譜重耕（Refarming）。

GSMA 建議各國主管機關應採取「技術中立」原則，重新設計頻譜執照制度，使業者依據市場需求與技術成熟度，調動通信技術布建。同時，各主管機關亦可提供設備升級補助、終端淘汰補貼等機制，協助用戶從 2G/3G 平順轉換至 4G/5G，以確保用途不中斷與社會穩定。

此外，針對近年快速發展之衛星直連通信裝置（Direct-to-Device, D2D），已成為各國主管機關與產業關注的新興議題，特別在低軌衛星業者持續擴展容量、國際間討論 6G 架構整合之際，GSMA 於 2025 年 9 月發表「D2D 衛星直連通信頻譜」（Spectrum for D2D）[218]提及，其可有效補足偏遠地區約 4%無法觸及通信需求之人口涵蓋問題，適用於農業監測、緊急用途與偏鄉戶外連線等場景。然而，其對於涵蓋區內 37%未使用行動通信用途之人口則無法直接改善[219]。

WRC-27 將首次針對 D2D 應用進行討論，其焦點包含衛星行動與 IMT 頻段中可支援 D2D 技術之頻譜資源。目前納入 WRC-27 討論議題，涉及 D2D 或混合型直連用途（含衛星與地面網路共存）

[218] GSMA (2025), Spectrum for D2D.https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2025/09/Spectrum-for-D2D-Public-Policy-Paper-v2.pdf

[219] GSMA （2025）, Moving Beyond the Hype: Assessing the Potential, Challenges, and Path to Adoption for D2D Connectivity

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

之潛在頻段如下圖所示。

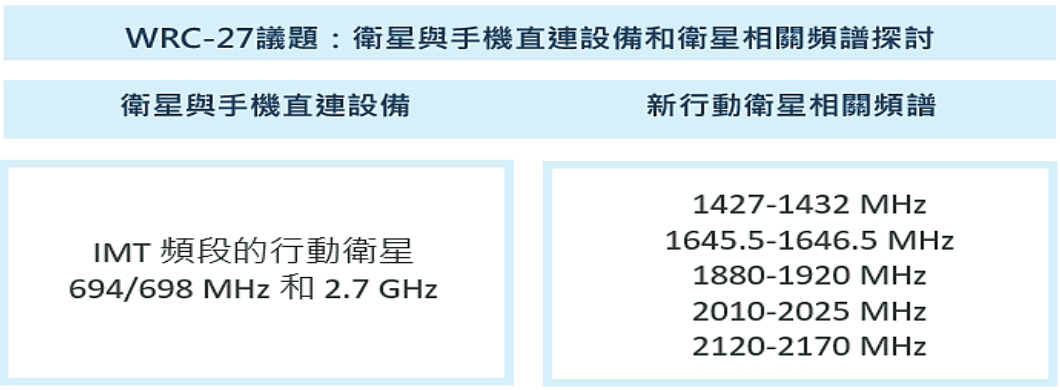


圖 3- 6、衛星與手機直連設備和衛星相關頻譜探討圖

資料來源：GSMA

由於 D2D 須與地面網路共存，避免衛星與地面系統間產生干擾，故 GSMA 建議，各國主管機關應建立明確授權條件與測試規範，允許新型態非地面網路如低軌衛星等，於合法且穩定之頻譜環境下運行與商轉，進一步擴展網路接取方式，作為 6G 多層架構之關鍵技術。

整體而言，6G 產業技術的政策推動需涵蓋從既有網路淘汰、頻譜重新分配至多樣化接取技術導入的全流程架構。面對高密度連接、動態應用需求與能源效率等挑戰，政府應同步推動頻譜管理制度改革、頻譜釋出時程規劃及跨部門政策協調機制。

四、 NGMN

(一) 下世代無線通信願景與近況觀測

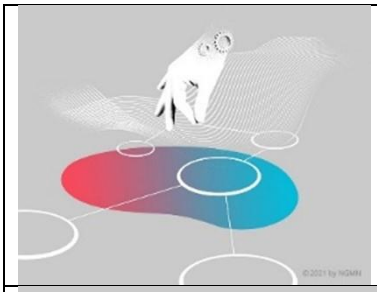
次世代行動網路聯盟（Next Generation Mobile Networks Alliance, NGMN Alliance）成立於 2006 年，由超過 80 家公司和組織所組成，是一個以國際行動網路業者為主所創立的聯盟。聯盟成員包含三大類，第一類為行動網路營運商（會員）、第二類為供應

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

商、軟體企業和其他重要企業（貢獻者）、第三類則是對中長期研發創新具有重大貢獻的機構（顧問）。

NGMN 聯盟成立目標是尋求並整合行動產業利害關係人的意見，確保下世代網路基礎設施、用途平臺和設備能夠滿足業者需求和期望，並且最終滿足消費者的需求和期待；在組織願景（Vision）方面，提供具有影響力的指導，使得最終使用戶得以使用具有創新、可持續性，並且負擔的起的行動電信用途，特別關注且繼續支持的部分是對於 5G 的全面實施、掌握分散化之途徑、綠色未來網路以及 6G 未來前進的路線；在組織使命（Mission）方面，主要朝向三個策略重點主題發展：（一）掌握分散化之途徑（Mastering the route to disaggregation）、（二）綠色未來網路（Green future networks）、（三）6G，如**表 3- 10** 所示。

表 3- 10、NGMN 聯盟三大任務

	掌握分散化之途徑 （Mastering the route to disaggregation）
	領導開放式、分散化、虛擬化和原生雲解決方案的開發，重點關注於終端到終端營運模式。
	綠色未來網路 （Green future networks）
	建構可持續性且環保的解決方案。
	6G
	透過強調關鍵技術趨勢和社會需求，並且概述解決問題的案例、需求和設計考量因素預測 6G 的出現。

資料來源：本研究整理

本研究關注 NGMN 聯盟的使命之一：6G。2020 年第三季 NGMN 聯盟啟動 6G 研究專案，除了持續參加 6G 外部相關活動之

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

外，至今也已陸續發表 8 份 6G 報告書。在 2021 年 4 月時，隨著 5G 技術逐步邁向商用階段，NGMN 聯盟先發布「6G 驅動因素與願景」（6G Drivers and Vision）報告書[220]，表達聯盟成員對於未來下世代 6G 技術的關鍵驅動因素看法，以及傳達 NGMN 聯盟對於未來 6G 網路發展的願景；後續在 2022 年 2 月發布 6G 應用案例與分析（6G Use Cases and Analysis）報告書[221]，集結相關經營者、技術供應商、學術顧問等，共同預測未來十年內將出現的應用案例與分析。

2023 年 2 月發布「6G 要求與設計考量因素」（6G Requirements and Design Consideration）報告書[222]，針對 6G 設計考量因素（Design Considerations）進行探討；2023 年 9 月發表「6G 立場聲明」（6G Position Statement）報告書[223]，這份報告書說明網路通信的未來方向，並呼籲業界引入新技術，為終端用戶提供引人注目的新用途和功能，同時簡化網路運作並優先考慮永續性；緊接著於同年 10 月發表「6G 可信度考量因素」（6G Trustworthiness Considerations）報告書[224]，提供了在 6G 網路建立可信度的綜合指南，藉由報告內容以指導產業增強網路安全性和隱私保護之設計；2024 年 2 月發布「ITU-R IMT-2030 框架：回顧與未來方向」（ITU-R Framework for IMT-2030）[225]，報告中介紹 ITU-R IMT-2030 的框架和目標，以

[220] NGMN （2021）, 6G Drivers and Vision, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final_New.pdf
[221] NGMN （2022）, 6G Use Cases and Analysis, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/220222-NGMN-6G-Use-Cases-and-Analysis-1.pdf
[222] NGMN （2023）, 6G Requirements and Design Consideration , https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Requirements_and_Design_Considerations.pdf
[223] NGMN （2023）, 6G Position Statement: An Operator View, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Position_Statement.pdf
[224] NGMN （2023）, 6G Trustworthiness Considerations, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Trustworthiness.pdf
[225] NGMN （2024）, ITU-R Framework for IMT-2030: Review and Future Direction, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/ITU-R_FRAMEWORK_FOR_IMT-2030.pdf

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

及 NGMN 對未來行動通信技術發展的期望，強調行動網路全球統一標準的重要性，並以營運商角度提出對於 ITU-R 在 IMT-2030 過程中應考慮面向之建議，俾利未來形成雙贏之局面。

2025 年 2 月發布「網路架構邁向 6G 演進」（Network Architecture Evolution Towards 6G）報告書[226]，該份報告以 2023 年 9 月發布「6G 立場聲明：營運商之觀點」（6G Position Statement: An Operator View）報告為基礎，建議未來的 6G 網路架構應該汲取 5G 的經驗與教訓、支援新的場景和需求、適應無線電接取網路（RAN）技術的變化，並且接受新興技術的演變。2025 年 6 月發布「6G 關鍵資訊-營運商觀點」（6G Key Messages- An Operator View）報告書[227]，整合過去有關 6G 發展的關鍵資訊，從營運商的觀點重申 2023 年發布的 6G 立場聲明報告，提出 3GPP 6G 標準化之發展基礎。詳細報告發布順序、時間點與主題如**圖 3- 7** 所示。

[226] NGMN （2025）, Network Architecture Evolution Towards 6G, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/250218_Network_Architecture_Evolution_towards_6G_V1.0.pdf

[227] NGMN （2025）, 6G Key Messages – An Operator View, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/2506_NGMN_6G-Key-Messages_An-Operator-View_V1.0.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

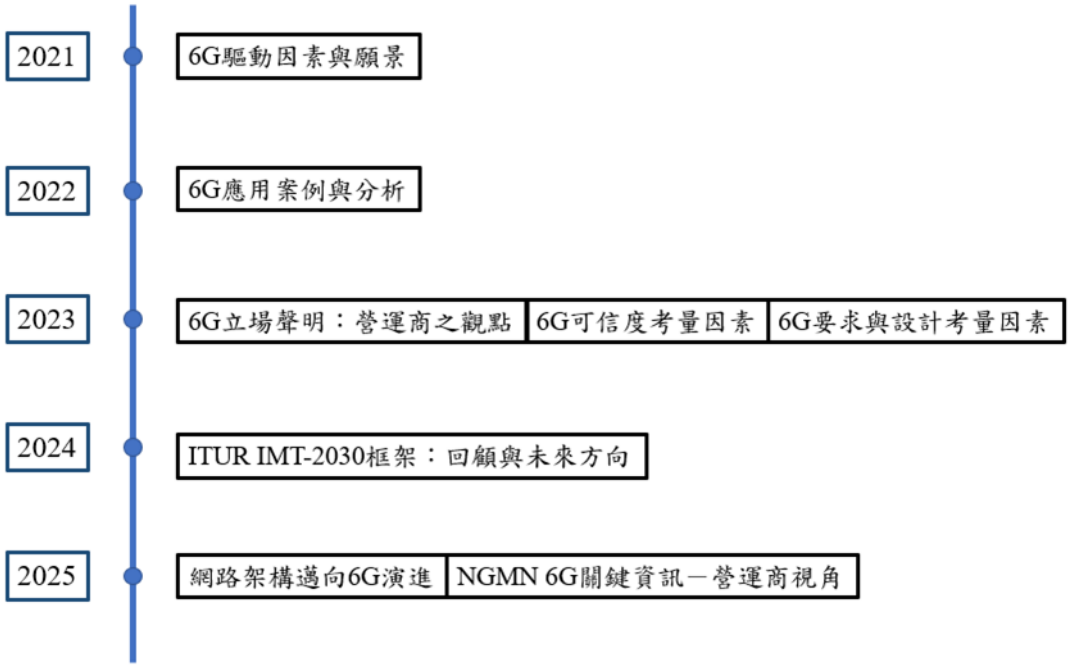


圖 3- 7、NGMN 聯盟發布報告時序與主題

資料來源：本研究整理

(二) 推動 6G 產業發展之策略方向

2025 年 6 月發布「6G 關鍵資訊-營運商觀點」（6G Key Messages-An Operator View）報告書，係以 2023 年 9 月發布「6G 立場聲明：營運商之觀點」（6G Position Statement: An Operator View）報告為基礎，重新申明 6G 標準化之發展。NGMN 表示 6G 的發展應屬演進式（Evolutionary）、全球發展之 6G 標準應達成一致並且應汲取 5G 的經驗與教訓。

報告中提及 6G 標準化之發展基礎，如 6G 使用案例、需求與設計考量、網路架構演進設計原則、無線電效能評估框架（Radio Performance Assessment Framework, RPAF），內容如下：

1. 6G 使用案例之四大類別：

（1）增強人類通信（Enhanced Human Communications）：沉浸式體驗、遠端操控和多模式互動等；

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

（2）增強機器通信（Enhanced Machine Communications）：反映協作式機器人的成長，需要機器人、其環境與人類之間的可靠通信；

（3）支援附加功能用途（Enabling Services）：高精準定位、地圖製作或感測；

（4）網路演進（Network Evolution）：人工智慧即用途（AI-as-a-service）、能源效率（energy-efficiency）、無處不在的涵蓋範圍（ubiquitous-overage）。

2. 需求與設計考量：

（1）永續性（Sustainability）：降低對環境的衝擊、確保經濟可行性以及社會永續性；

（2）可信任性（Trustworthiness）：確保 6G 系統的安全性與隱私權並提供可衡量的解決方案；

（3）創新（Innovation）：新的無線電介面應優於 IMT-2020 的效益，並且應考慮在現實技術與經濟環境中的布建問題。

3. 網路架構設計原則：

關鍵設計原則須包括促進創新、以模組化的方式提供新功能、簡化網路營運、可持續性、可信賴性、原生雲方法以及從 5G 的平穩遷移等。

（1）模組化（Modularity）：新功能可以按照需求布建，不會影響現有的核心連接用途；

（2）簡易化（Simplicity）：6G 標準應包含實際需要的功能和規格，並且僅有一種架構；

（3）開放性（Openness）：6G 網路應支援開放性、原生雲和

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

分解性，在 RAN 中，這些原則應被納入為網路布建的替代方案；

（4）簡化網路營運（Network Operational Simplification）：應透過自動化（包含 AI）、數位孿生（Digital Twin）、原生雲、開放式標準、可互操作元件、網路揭露以及以用途為基礎的架構（Service Based Architecture, SBA）簡化網路作業；

（5）可持續性（Sustainability）：透過降低能源消耗和最低化資源使用量降低對環境的影響；透過具成本效益的布建與營運模式確保經濟的永續性；在數位包容和可信度等方面確保社會的永續性；

（6）可信賴性（Trustworthiness）：運用不斷演進的安全案例和技術，並且實施量子安全基礎架構以強化安全性、隱私權和韌性，從而確保固有的安全性；

（7）網路即用途（Network as a Service）：利用網路的能力和資產提供新用途，例如運算即用途、資料即用途和人工智慧即用途，以提升電信基礎設施的價值；

（8）互通性和相容性（Interoperability and Compatibility）：確保與固定網路、NTN 和 5G 系統的相容性、互通性，以實現無所不在的連線；

（9）平穩遷移（Smooth Migration）：評估從 5G 獨立組網（SA）到 6G 的平順移轉路徑，避免不必要的布建選項；

（10）向後相容性和可重複使用性（Backwards Compatibility and Reusability）：透過軟體升級以最大化現有基礎架構的再利用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

4. 無線電效能評估框架（Radio Performance Assessment Framework , RPAF）：

（1）5G 獨立組網應透過 Rel-18（對應 5G-Advanced）功能實現先進技術；

（2）必須在基準比較中認可 5G 與 IMT-2020 最新版本的先進能力，如下載速率 140 Gbps、上傳速率 65 Gbps；

（3）新的技術方案需要實現能源效率、永續性以及網路簡化的價值。

NGMN 表示 6G 的全球標準應該協調一致以支持行動產業的持續演進，為終端使用者和營運商帶來實質利益，同時滿足不斷變化的社會需求，促進健康的生態系統發展。

五、 Next G 聯盟

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

Next G Alliance（以下簡稱 NGA）發表一系列文件闡述對 6G 頻譜的觀點和相關工作內容，由於 NGA 是彙集北美業界、學術界和政府多元利害關係人的研究機構，其成立目的是透過私營部門主導的努力，推動北美在 6G 無線技術方面的領導地位。因此，在推動 6G 頻譜規劃的政策動向方面，主要產出是其針對 6G 最新技術的研究成果，這些研究成果將成為未來提交給 3GPP 會議討論之主題，以建構適合 6G 發展之頻譜使用方式及應用標準。

在整體頻譜規劃方面，NGA 在「NGA 對 NTIA 提交 6G 發展之關鍵洞察報告」（Next G Alliance Submits Key Insights on 6G

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Advancement to NTIA）[228]文件中有關 6G 頻譜觀測及研究內容，對於美國政府的 6G 頻譜政策建議方向，茲分點摘要如下：

1. 頻譜的重要性與挑戰：頻譜的可用性過去一直是阻礙非傳統營運商採用蜂巢式技術的障礙之一。確保頻譜的可得性和增強是實現 6G 成功的重要步驟。

2. 6G 使用頻譜之特性：6G 在設計上考慮共存性（Coexistence By Design），以便在多樣化的頻段組合下布建 6G 網路，包括支援更廣泛的頻率範圍、頻寬，以及在執照頻段和免執照頻段進行頻譜共享的能力。

3. NGA 在頻譜方面的研究與評估：NGA 的工作組發布關於頻譜的專家見解報告，已發布的多份與頻譜相關報告如下：

   - 「6G 頻譜需求」（Spectrum Needs for 6G）[229]：根據情境特定的關鍵性能指標（KPIs）和應用之特定技術性能要求以評估 6G 的頻譜需求，並專注於北美地區的需求。

   - 「6G 頻譜考量」（6G Spectrum Considerations）[230]：根據應用和技術要求（包括所需的頻寬/頻譜量）評估潛在適合 6G 的頻譜頻段。報告總結加拿大、墨西哥和美國目前對 3G/4G/5G 頻譜的分配狀況，並研究適合 6G 的頻段。

[228] NGA（2024）, Next G Alliance Submits Key Insights on 6G Advancement to NTIA. https://nextgalliance.org/ （2025/5/31）

[229] NGA（2024）, Spectrum Needs for 6G. https://nextgalliance.org/white_papers/spectrum-needs-for-6g/ （last view: 2025/6/1）

[230] NGA（2023）, 6G Spectrum Consideration. https://nextgalliance.org/white_papers/6g-spectrum-considerations/ （last view: 2025/6/1）

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

- 「用於整合通信與感測以及 7-24 GHz 通信的通道量測與建模」（Channel Measurements and Modeling for Joint/Integrated Communication and Sensing, as well as 7-24 GHz Communication）[231]：研究涵蓋中頻寬（Midbands）、毫米波 （mmWave）和 sub-THz 頻段的通信通道以及聯合通信與感測（JCAS）/整合感測與通信（ISAC）通道模型。特別強調基於新量測結果對 3GPP TR 38.901 中為 7-24 GHz 開發的通道模型進行的修改。

- 「頻率範圍術語」（Terminology for Frequency Ranges）[232]：定義 6G 無線電涉及的特定頻譜範圍之術語指南。根據 ITU-R 無線電法規對無線電頻譜的現有理解，並對超高頻（UHF）到 THz 頻率範圍進一步界定，避免術語上的模糊。

4. 特定頻段關注範圍：NGA 將中高頻寬無線接取技術（Upper Mid-band Radio Access Technologies, 7-24 GHz）列為其優先研究領域。研究包括權衡涵蓋範圍和乘載容量最佳化的物理層和媒體接取控制層設計，如波形和通道估計的新範例，以及在中高頻寬的頻譜接取和共享。

對於 6G 頻譜規劃政策，NGA 強調頻譜可用性在 6G 的重要性，特別是對於非傳統電信業者的發展。非傳統電信業者希望採用

[231] NGA（2024）, Channel Measurements and Modeling for Joint/Integrated Communication and Sensing, as well as 7-24 GHz Communication. https://nextgalliance.org/white_papers/channel-measurements-and-modeling-for-joint_integrated-communication-and-sensing-as-well-as-7-24-ghz-communication/ （last view: 2025/6/1）

[232] NGA（2025）, Terminology for Frequency Ranges. https://nextgalliance.org/white_papers/terminology-for-frequency-ranges/ （last view: 2025/6/1）

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

蜂巢式技術(如 6G)來營運自己的非公眾網路(non-public networks, NPNs），以滿足其特定的需求。NGA 為了促進 6G 的市場發展，已經確定北美地區的一些優先發展的產業垂直領域（industry verticals），這些垂直領域也代表潛在的非傳統使用者群體，包括：醫療保健、汽車、農業、公共安全和緊急服務、教育、遊戲和娛樂、工業（支援工業 4.0 等）、採礦、智慧城市。

NGA 於 2025 年 3 月公布的 FWA 研究報告[233]指出，FWA 為工業自動化解決方案提供可靠的網路基礎設施，支持機器人、自動化車輛和人工智慧驅動的設備及系統。工業物聯網平臺和預測性維護服務提供商可利用 FWA 發展即時數據收集和分析服務。此外，為中小型企業提供客製化網路基礎設施也是一個潛在的市場，FWA 可以以較低的成本提供高速連接。隨著 FWA 在智慧工廠的應用，網路安全解決方案的需求也將增加。此外，FWA 也將為智慧倉儲和智慧物流帶來提升效率和降低成本的機會。

為滿足不斷增長的頻寬需求，NGA 指出未來將需要提供更多 FWA 之頻譜分配。目前美國 FWA 服務使用分配給行動通信的頻譜，如 2.5 GHz（n41）和 C 頻段 3.3-4.2GHz（n77）頻段，預計足以支持 FWA 服務至 2028 年左右。美國各行動業者也規劃保留部分行動頻譜於非 FWA 用途，以免未來 6G 應用所需的行動通信頻寬被成長快速的 FWA 頻寬需求擠壓，NGA 指出，由此可見美國業者的頻譜規劃同時也說明未來 6G 將會產生更多的頻寬需求。儘管毫米波(mmWave)頻譜(24 GHz 以上)也開始被應用於 5G FWA，然而毫米波的涵蓋範圍有限，仍需配合低頻段和中頻段頻譜使用。

NGA 建議現在就開始規劃更多的頻譜以滿足未來 FWA 持續

[233] NGA（2025), Fixed Wireless Acces. https://nextgalliance.org/white_papers/fixed-wireless-access/?dl=19802008 （last view: 2025/6/1）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

增長的需求，提出以下可供考慮之潛在頻段：

- 釐米波（cmWave）頻段：例如 7.125-8.4 GHz、3.1-3.45 GHz 和 13 GHz。這些頻段在涵蓋範圍和頻寬容量之間提供較好的平衡，是未來 FWA 在郊區和偏遠地區的重要頻譜資源，偏遠地區之無線寬頻特別需要釐米波頻譜。
- 毫米波（mmWave）頻段：隨著資料運算需求的持續攀升，毫米波頻譜的應用將會持續增加。在光纖普及的城市，毫米波也能補充 6 GHz 以下（sub-6 GHz）和中頻頻段的容量。在郊區和偏遠地區，如果 FWA 普及率提高，也將需要更多的毫米波頻譜。
- 6G 可能支援的新頻譜：隨著 3GPP 的規格討論，未來 6G FWA 預計將支援頻譜共享以及新的釐米波（cmWave）頻段。

在與頻譜需求相關的技術發展層面，NGA 嘗試評估 FWA 在邁向 6G 技術演進過程中，所需具備的潛在技術能力要求及關鍵表現指標：

1. 6G FWA 潛在技術能力包括：
    - 透過增強型 MIMO 等技術實現非常高的數據傳輸速率和涵蓋範圍。
    - 釐米波（cmWave）頻段的頻譜共享和新頻譜。
    - 增強的用戶終端設備性能。
    - 低延遲以支援增強型行動寬頻（eMBB）。
2. 針對不同應用場景之相關技術要求：
    - 偏遠無線寬頻：需使用釐米波（cmWave）新頻譜、使

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用者體驗平均數據下行速率至少 100+ Mbps 及上行速率 20+ Mbps、頻譜共享以及 eMBB 的低延遲能力。

- 密集都市區域：應支援中頻段釐米波（cmWave）和毫米波（FR2）頻譜的新頻譜，以及 eMBB 的低延遲。

3. 6G FWA 之關鍵績效指標（Key Performance Indicators, KPIs）如下表。

表 3- 11、6G FWA 關鍵績效指標

KPI	KPI （數值或數值範圍）
上行使用者體驗數據速率 （Mbps）	~100 Mbps
上行端到端封包延遲	30-50 ms
下行使用者體驗數據速率 （Mbps）	~250 Mbps
下行端到端封包延遲	30-50 ms
服務可用性	99.999%
可靠性	99.999%
存活時間	N/A
位置準確度	N/A
感測範圍	N/A
速度解析度	N/A
移動性	固定位置（Fixed position）

註：N/A 表示不適用或沒有提供具體的數值範圍或值。
資料來源：Next G Alliance

FWA 朝向 6G FWA 的發展進程，需達到極高的數據傳輸速率和更廣泛的涵蓋範圍，6G FWA 將支援頻譜共享以及新的釐米波（cmWave）頻段，並提升用戶終端設備的效能。技術發展重點包括：提升頻譜使用效率、優化 Massive MIMO 和波束成形等先進天線技術，此外，亦將針對 FWA 的固定特性發展簡化的網路架構，降低信令的重複使用。未來的 FWA 用戶終端設備將支援更先進的 Wi-Fi 功能，並結合各種內建的資訊安全標準。

總而言之，NGA 關切非傳統電信業者在採用行動通信技術上

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

受到障礙，例如頻譜可用性、系統管理的複雜性以及終端使用者設備和相關基礎設施多樣性不足以滿足特定需求等問題。NGA 認為，6G 的設計目標之一即為解決這些問題，使其更容易被垂直業者及非傳統電信使用者所採用。目前 NGA 雖未明確向政府提出具體的 6G 頻譜分配建議列表，但本節提及之 NGA 各項頻譜相關研究及 6G FWA 研究報告，已呈現其對 6G 發展的關鍵頻譜範圍與特性。

(二) 6G 產業新技術推動之政策動向

NGA 於 2025 年 6 月舉辦垂直產業研討會[234]，針對農業、公用事業及公共安全三個關鍵垂直產業進行對話，以深入了解垂直產業的通信需求及目前行動通信技術可為其提供的價值，確定垂直產業採用及其整合行動技術的主要障礙，並建立持續合作的框架，優化垂直產業之行動技術優勢。

這場研討會針對垂直產業面臨的問題及未來發展共識做出以下結論，並提出 NGA 可協助之改善方向：

- 現有行動網路涵蓋不足：公共行動無線網路之涵蓋範圍不足以滿足垂直產業的所有需求。
- 在設備方面，目前各個垂直產業之痛點及未來發展方向：
  - 農業：土壤、環境和水監測需每英畝數百或數千個感測器之低資料速率解決方案，未來技術方向為大規模感測器、環境物聯網設備、大區域行動網路涵蓋及用於行動和可攜式專用網路的 NTN 解決方案。
  - 公用事業：先進智慧電錶。未來 6G 低功耗廣域（LPWA）可滿足智慧公用事業與鄰近設備溝通之需

234 NGA(2025), Forging the Future with Industry Verticals. https://nextgalliance.org/forging-the-future-with-industry-verticals/ （last view: 2025/6/4）

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

求。

- 公共安全：新技術開發的上市時間緩慢為主要障礙，保障關鍵任務操作之低延遲及安全存取為未來發展重點，未來 6G 進展將集中在分散式感測、精準定位、TN/NTN 整合以擴大涵蓋範圍、人工智慧驅動的功能及安全性設計。

- 缺乏專業知識與認知：垂直產業對 3GPP 的技術專業知識有限，構成採用障礙，未來需加強教育。

- 設備可用性不足：目前市場上的 4G 和 5G 設備多為一般消費使用，垂直產業需有具強固耐用、防塵防水、戴手套觸控操作以及能整合到特定系統中之設備可用性設計，且 3GPP 晶片組納入各產業設備之供應鏈不足。NGA 將制定戰略行動計畫，以促進基於 3GPP 的無線技術在無線產業和垂直產業中的設備開發應用。

NGA 於 2025 年展開之針對各項垂直產業需求調查工作，部分為基於 2024 年「NGA 對 NTIA 提交 6G 發展之關鍵洞察報告」（Next G Alliance Submits Key Insights on 6G Advancement to NTIA）針對 6G 產業技術推動政策發展提出的建議：

- 整體 6G 生命週期之實現：成功推進 6G 需要專注於從研究到市場實現的整個生命週期；

- 增加 6G 研究、開發和布建的公共投資：目前其他國家在 6G 研究、技術展示和概念驗證方面投入大量資源。美國必須透過撥款和財政政策將此類投資作為優先事項，彌補與其他國家的差距。應透過公私協力（Public private partnership, PPP）加強投資。NGA 提出一個具體的 PPP 模型，建議與國家科學基金會技術創新協力局（National

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Science Foundation Technology Innovation and Partnerships, NSF TIP）合作，建立應用研究中心，在五年內的建議總資助金額目標為 1.5 億美元，以求結合基礎研究與應用導向的創新，透過研究中心和概念驗證專案，加速 6G 技術的產業採用和市場化，促進北美在 6G 領域的領導地位。

- 支持和維護民營部門主導、自願、共識制的標準制定模式：此模式在促進技術創新和提升美國競爭力方面已證明非常成功。美國政府應站在支持該模式的立場，並在全球標準化機構中，代表民營部門的利益發聲，制衡其他國家的影響。應降低參與成本和障礙，鼓勵更多美國實體參與國際標準化工作。

- 加強政府與產業間的協作與溝通：需要政府和產業在相關政策問題上緊密合作，並提出清晰、符合私營部門優先事項的政府立場。建議由一個單一機構（如 NTIA）作為美國政府 6G 政策活動的協調中心。

- 解決非傳統電信業者採用行動通信技術的障礙：過去非傳統電信業者（如產業、企業或學術園區）採用行動通信技術布建非公眾網路受到頻譜可用性、系統管理複雜性等限制。因此，6G 的設計應考慮共存性（Coexistence By Design），並在技術上解決這些問題。雖然頻譜可用性主要是一個監管問題，但確保其可得性是實現 6G 成功的關鍵步驟 。

- 發展國內技術人才：這是美國政府參與 6G 的一個主要重點。目標為解決阻止學生攻讀碩士或博士學位的經濟和社會障礙，並支持社區大學提供可負擔的無線技術學位和認證，以及鼓勵學徒制。同時，政府政策應支持美國跨國公司與來自世界各地的頂尖技術專家合作。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 將永續性納入 6G 設計的基礎：能源效率是一個關鍵問題。應將能源消耗視為設計 6G 時的重要指標。需要對能耗進行精細和即時的監測。應建立永續性關鍵績效指標（KPIs），並在整個系統生命週期中應用可觀察性（Observability）、選擇（Choice）和循環經濟（Circular Economy）的原則。

- 支持強大的知識產權環境：強有力的專利保護是保護商業價值和激勵研發投資的關鍵手段，從歷史上看，總部位於美國的公司持有的標準必要專利（Standard Essential Patents, 以下簡稱 SEP）比例已從 2015 年的 30%下降到 2023 年的 19%。相反，中國公司的 SEP 比例則從 2015 年 19%上升到 2023 年的 32%。根據 IPLytics 於 2024 年 5 月 17 日提取歐洲技術標準協會（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）資料庫的資料顯示，其中沒有北美大學聲明 3GPP 專利的記錄，與之形成鮮明對比的是，亞洲（包括中國大陸、日本、韓國和我國）的大學和研究機構已作出 442 項 SEP 聲明，另有 860 項聲明來自其他國家。為避免未來美國專利數減少的類似情況持續，建議美國政府應積極倡導強大的專利環境。

- 積極參與全球標準化進程：美國政府應繼續以身作則，參與相關標準機構（如 ATIS 和 3GPP），監督相關標準機構並為其提供技術給與貢獻，例如參與關鍵標準制定流程。對於 6G 發展，包括參與 ATIS 等標準制定組織和 3GPP 等組織，積極且持續地參與標準制定流程是確保政府觀點在標準制定過程中得到充分展現的最有效途徑，同時也能加強政府對私部門主導模式的支持，政府的參與對於制定

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

技術標準的政府間組織（例如 ITU）尤其重要。此外，也建議美國政府應審查其貿易、出口管制以及簽證和移民政策，以確保這些政策與推動民間企業主導的自願標準制定的策略一致。

- 確定以下 10 個優先研究領域，分別是：安全性、信任與韌性（Security, Trust, & Resilience）、新的無線電組件與天線（New Radio Components and Antennas）、原生雲架構（Cloud Native Architecture）人工智慧與機器學習（Artificial Intelligence/Machine Learning）、頻譜共享與增強頻譜接取（Spectrum Sharing and Enhanced Spectrum Access）、中高頻段無線接取技術（7-24 GHz）（Upper Mid-band Radio Access Technologies（7-24 GHz））、聯合通信與感測基礎設施（Joint Communication and Sensing Infrastructure）、開放、去聚合系統的架構與控制（Architecture and Control of Open, Disaggregated Systems）、永續性/降低能源消耗與成本（Sustainability/Reduced Energy Consumption & Cost）、分散式雲端（Distributed Cloud）。

NGA 於 2025 年 9 月發表「整合感知與通信準備報告（第一階段）」（Integrated Sensing and Communications Readiness Report, Phase I）[235]，探討整合感知通信（Integrated Sensing and Communications, ISAC）在模擬和實際環境中對頻譜及技術能力之要求。該報告綜 ISAC 在全球標準制定機構（如 ITU 和 3GPP）中的現況，及 ISAC 對 6G 系統的潛在影響，本研究摘錄其中針對 ISAC 系統在北美頻譜考量之內容，說明感知性能與頻譜資源之間的關係：

[235] NGA (2025), Integrated Sensing and Communications Readiness Report, Phase I. https://nextgalliance.org/white_papers/integrated-sensing-and-communications-readiness-report-phase-i/ (last visit: 2025/10/16)

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

1. 距離解析度感知性能對頻譜的需求 (Range Resolution vs. Bandwidth)

距離解析度（Range Resolution）傳統上是雷達的術語，隨著無人機應用在物流配送、災害應變與空中監控等關鍵場域，ISAC 將研究支援射頻感知的未來規範，包括網路架構、基地臺及程式等規範，以實現透過基地臺感知無人機的飛行路徑、方向與高度，並即時預測潛在碰撞風險。未來 6G 網路將規劃通信基地臺同時作為高解析度雷達使用，用於環境監測、交通管理、健康監測等。在這些應用中，距離解析度決定了網路能夠多精確地感知周圍環境中的目標（例如，區分兩輛緊密跟隨的汽車、或測量微小的身體活動）感知的性能。距離解析度（Range Resolution）與基礎的感知訊號設計及頻寬需求直接相關。NGA 以下圖表示頻寬與距離解析度之關聯。

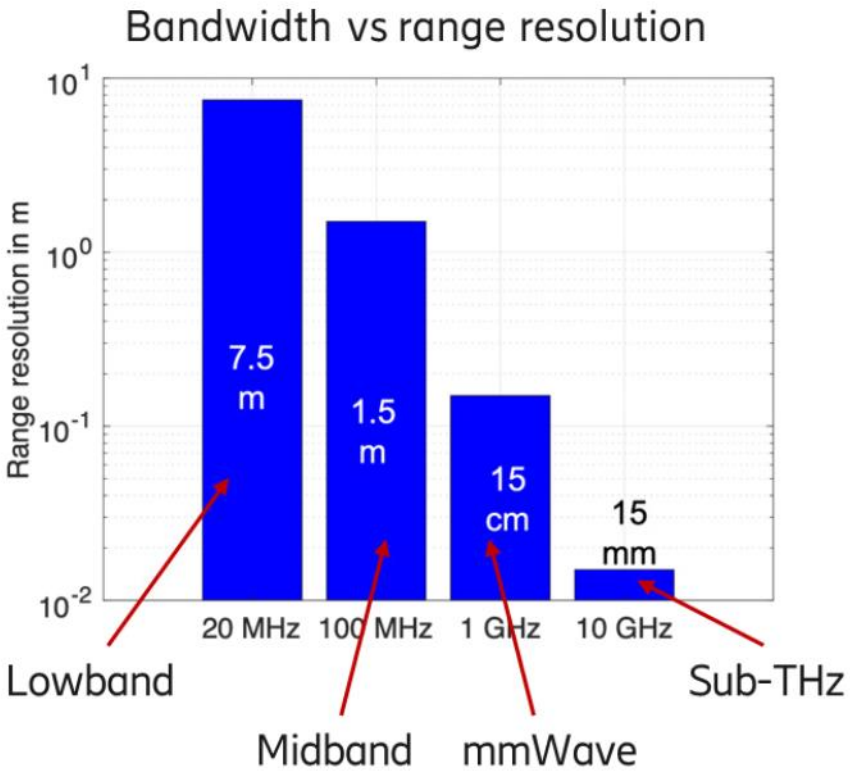


圖 3- 8、頻寬與距離解析度之關聯

資料來源：Next G alliance

距離解析度代表雷達或感測器能夠區分開來的兩個目標之間

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的最小距離，要獲得更高的距離解析度（即數值在縱軸上越低），就必須使用更大的訊號頻寬。

縱軸數值越低，表示解析度越高，區分兩個相鄰目標的能力越強。橫軸列出了四種不同頻寬的訊號，對應不同的無線通信頻段。下表進一步說明四種頻段對應距離解析度之表現。

表 3- 12、頻寬與距離解析度之對應頻段說明

頻寬	距離解析度	典型對應頻段	說明
20 MHz	7.5 m	Lowband (低頻段)	使用頻寬最小的訊號，因此解析度最差，兩個目標需要相隔 7.5 公尺以上才能被雷達分辨出來。
100 MHz	1.5 m	Midband (中頻段)	頻寬增加，解析度獲得明顯改善，相隔 1.5 公尺的目標可被分辨出來。
1 GHz	15 cm (0.15 m)	mmWave (毫米波)	頻寬大幅增加至 1 GHz，距離解析度提高到公分級，這是高精度雷達（如汽車雷達）的典型性能。
10 GHz	15 mm (1.5 cm)	Sub-THz	這是圖中頻寬最高的訊號，解析度達到公分以下（毫米級），是 6G ISAC 追求的超高解析度水準。

資料來源：Next G alliance，本研究整理

基於以上分析，NGA 提出 ISAC 之具體需求為：達到 5 公尺的距離解析度，所需的感知訊號頻寬約為 30 MHz。但 NGA 考量由於北美大多數地區 1 GHz 以下頻段缺乏感知訊號所需的較大可用頻寬，因此該頻段無法滿足 5 公尺距離解析度的要求。

2. 系統參數與感知關鍵性能指標（KPIs）的關係

感知應用及其關鍵性能指標(KPIs)決定哪些頻段適合該應用。NGA 在文件中列出系統參數與 KPI 之間的組合範例，預設波頻率為 3.5 GHz、所需距離解析度為 1 公尺、所需速度解析度為每小時 1 公里且最大無模糊可偵測速度為每小時正負 50 公里的情況，所需頻寬為 150 MHz，工程師可微調各項參數，以增強不同層面之效

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

能，來適用於不同的感測服務之需求。例如在無人機的應用中，可以調整參數設計，犧牲不必要的最大距離，來大幅提高最大可測速度。

設計 ISAC 系統的挑戰在於，工程師必須在這些相互制約的物理限制下，找到一個最佳平衡點，以同時滿足通信和高精準感知兩方面的要求。

3. TDM 對資源分配彈性控制的優勢

在感知訊號和通信數據訊號之間進行資源多工處理是可行的，但必須考慮兩種功能之間的效能要求和折衷。舉例來說，考量到感測距離偵測對頻率區域的依賴性（例如，需要增加頻寬以獲得更好的距離偵測，以及需要在連續資源之間設置較小的間距，以便實現更大的最大無模糊可偵測距離），加上天線架構實作的要求，分頻多工（Frequency-Division Multiplexing，以下簡稱 FDM）可能不是操作模式的恰當選擇。

相反地，分時多工（Time-Division Multiplexing，以下簡稱 TDM）提供彈性，可以獨立於通信來控制感測的傳輸和方向。這使得系統能夠為每項通信和感測功能實現靈活的波形選擇、參數設定和資源利用。

報告指出，FDM 不適合作為 ISAC 系統的基礎操作模式，主要有三個原因：

- 感測對頻寬的依賴性：感測的距離解析度與所需的頻寬成反比。如果需要高解析度（例如 5 公尺的解析度需要約 30 MHz 頻寬），系統必須分配大頻寬。FDM 會將總頻寬切割，這可能限制單一感測分配資源的有效頻寬。
- 最大無模糊距離的需求：為了允許實現最大無模糊可偵測

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

距離（maximum unambiguous detectable range），FDM 要求在相鄰的感測資源之間保持較小的間距。這種對於頻率區域的依賴性使得資源規劃變得複雜，並限制靈活性。

- 天線架構實作要求：FDM 可能對收發器硬體（transceiver hardware）和天線架構的實施帶來額外的複雜性或限制。

相較之下，TDM 被認為更適合作為 ISAC 系統的基礎操作模式，因為它提供了更大的靈活性，包括：

- 獨立控制能力:TDM 允許系統在時間段上獨立控制感測的傳輸和波束方向，不受通信功能參數的限制。
- 靈活的資源使用：由於感知和通信在不同的時間段運行，系統可以為每種功能選擇最優的波形、參數化和資源使用。例如，當通信參考訊號缺乏感知所需的規律性和頻譜跨度時,TDM 允許在專屬的時隙中傳輸專門設計的感知訊號。
- 避免複雜性：TDM 作為基礎操作模式，使得系統能夠避免 FDM 在實施高解析度感知時所需的複雜頻域規劃和潛在的硬體限制。

NGA 在報告中透過工廠環境中的自動導引車輛（Automated Guided Vehicle, AGV）偵測與追蹤及戶外環境中無人機（UAV）飛行軌跡追蹤之關鍵優先使用案例,驗證目前 ISAC 之技術能力範圍。

室內工廠自動導引車輛偵測：以 Nokia 工廠室內布建概念驗證（PoC）之方式進行實際驗證，使用 7 GHz 頻段之 400 MHz 頻寬，進行偵測，模擬結果顯示，低解析度模式下，偵測距離可達 851 公尺。

Nokia 於公司屋頂布建測試點進行戶外實地測試,使用 28 GHz

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段之 400 MHz 頻寬，無人機感知涵蓋距離在自由空間模型下可達 1,176 公尺，且 Nokia 成功在屋頂布建之測試點偵測到 380 公尺處的車輛（戶外移動目標）；同時，Keysight 在電波暗室中進行 OFDM 雷達測試，模擬結果顯示，於同樣在 28 GHz 頻段，使用頻寬約 800MHz，可成功在受控環境中偵測靜止和移動的無人機，至於需使用高解析度之人類手勢識別，則需使用 1.6 GHz 頻寬。

NGA 總結，感知功能正成為未來網路不可或缺的一部分。因此，ISAC 的波形選擇、設計和參數化，以及幀結構（Frame Structure）和資源分配（在時間、頻率和空間）應根據各種通信和感知性能要求進行調整。這些效能要求涵蓋高可靠性、高速率和/或低延遲通信，以及高保真度（例如高解析度、高更新率和/或高最大可偵測距離或速度）感知，以及硬體和複雜性的權衡。同時，ISAC 設計應支援兩種功能之間高效靈活的頻段內重複使用（Flexible In-Band Multiplexing）和資源共享。

總體而言，作為研究幕僚單位的 NGA 透過其 6G 研究能量，除了舉辦垂直產業需求調查研討會，以收取業界回饋外，也同時貢獻對 6G 未來發展關鍵技術如 ISAC 展開深入研究。2025 年 9 月提出之 ISAC 第一階段研究審視 ISAC 技術在通道建模、雷達截面積（RCS）建模、感知參數、使用案例和感知波形設計方面的重大進展，示範理論架構及使用案例，確認關鍵應用包括在工廠和倉庫環境中對自動導引車輛（AGV）的偵測與追蹤，以及在城市或郊區環境中對無人機（UAV）飛行軌跡的追蹤，為 6G 技術發展之重要進度。

除了最新技術之研究外，NGA 也對美國政府提出建議，呼籲政府應採取協調一致的策略，透過增加公共投資、加強公私合作、支持私營部門主導的標準化、培育人才、並列出優先研究關鍵技術和領域（特別是安全和永續性），以確保北美在 6G 時代的全球領

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

導地位，其建議可供我國未來發展 6G 產業新技術推動政策之參考。

六、 小結

本研究研析之主要國際組織 APT、3GPP、GSMA、NGMN 與 Next G Alliance，從區域協調、技術標準、政策倡議、網路架構與應用場景等面向提出策略藍圖與推動重點，展現出不同的角色分工與未來導向。

(一) 國際組織 6G 發展重點綜合比較

隨著 6G 技術的發展逐漸成為全球關注的焦點，國際主要組織陸續提出相關策略與政策規劃，積極布建未來通信生態系之發展藍圖。相較 5G 時期由標準化組織主導的發展模式，6G 時代展現更多樣且互補之發展模式，逐步呈現出由「分工」轉向「協同整合」的全球治理趨勢。茲整理國際組織 6G 發展綜整分析如下表所示。

表 3- 13、國際組織 6G 發展重點比較表

國際組織	性質	關注頻段	未來 6G 頻譜觀點
APT	區域性電信組織，協調亞太頻譜與 IMT 發展議題	<1 GHz、3.5 GHz、6 GHz、mmWave	聚焦於頻譜規劃與籌備 WRC-27 亞太地區之立場，強調以低、中、高頻段整體布建以供 IMT 使用，並進行亞太區域意見整合。
3GPP	無線通信技術標準制定組織，制定 5G/6G 演進架構	7-24 GHz、5150-7125 MHz（免執照）、4.4-15.35 GHz	• 自 Release 18 導入 AI/ML 與非地面網路應用，Release 20 起正式啟動 6G 研究，聚焦 4.4-15.35 GHz 等新 IMT 頻段與網路架構設計。 • 建議未來 6G 發展電信業者所需之最低頻寬為 200 MHz。
GSMA	全球行動通信業界協會，引導行動產業 6G 策略共識	6 GHz（中頻段為重點）、部分毫米波	• 2030 年全球 5G/6G 使用之目標，每個國家平均需配置約 2 GHz 之中頻段頻譜資源。 • 提出 6 GHz 中頻段國際協調建議及頻譜續照、技術中立原則，以維護產業布建穩定性。
NGMN	電信營運商聯盟，提出行動網路架構與策略方向	<7 GHz、6-15 GHz、Sub-THz	從營運商角度出發，重視永續性、模組化與 AI 驅動的 6G 網路，探討<7 GHz、6-15 GHz 與

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

國際組織	性質	關注頻段	未來 6G 頻譜觀點
			sub-THz 頻段以支援新型服務
Next G Alliance	北美區域產業聯盟，主導 6G 應用驗證與研發推動	中頻、高頻、感測融合頻段	著眼產業需求與場景驗證，關注 FWA、感測融合等應用場景所需之中高頻段，並連結頻譜政策與產業推動機制

資料來源：本研究整理

綜上所述，6G 發展將不再以單一頻段為核心，而是轉向多頻段整合、多場景協同與跨領域技術融合的新典範。標準組織、區域協調機構與產業聯盟三者各自發揮角色功能，在技術與政策路徑上形成多軸推進的態勢。

(二) 國際組織 6G 產業新技術推動政策綜合比較

在新技術政策推動層面，各組織逐漸從技術願景進入政策研擬與標準布局階段，積極展開新一輪的產業技術推動策略。不同於 5G 世代多聚焦於高速率、低延遲與大連結能力，6G 在設計理念上已明顯轉向跨域整合、AI 驅動、模組化架構與永續導向。在此背景下，各組織依據其功能定位與區域角色，提出具體推動方向，如下表。

APT 針對多層網路架構提出具體建議，強調地面與非地面系統如低軌衛星以及高空通信平臺整合，以涵蓋偏鄉與應對災難場景，並針對跨平臺互連、氣候干擾等技術挑戰提出對應策略。3GPP 作為全球主要標準制定機構，則在 6G 發展初期（Release 20）即將原生 AI、原生雲架構與 JCAS 納入研究核心，並規劃未來核心網與無線接取網融合設計，奠定智慧型 6G 系統基礎。GSMA 則從政策面推動「技術中立」原則與頻譜重耕策略，支援 2G/3G 汰換，釋出頻譜資源，並推動低軌衛星 D2D 應用技術納入 6G 接取方式選項。NGMN 以行動營運商聯盟角色，提出 13 項設計原則，涵蓋模組化架構、量子安全、原生 AI 與網路數位雙生，主張以簡化、可擴展且永續的系統設計因應未來挑戰。而 Next G Alliance 則從北美應用

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

場景出發，以固定無線接取（FWA）為切入點，發展釐米波、中高頻段接取能力，並延伸至工業自動化、低延遲通信與邊緣網路應用，串聯技術開發與市場需求。

表 3- 14、國際組織 6G 推動重點比較表

國際組織	推動策略方向	推動時程與目標	技術發展重點
APT	建議建構多層網路架構以涵蓋偏鄉與災難應變場景，強調地面與非地面系統整合	2023-2027 為 WRC-27 前期準備階段	聚焦於跨平臺互連與氣候干擾等技術挑戰，涵蓋低軌衛星與高空通信平臺應用整合
3GPP	自 Release 20 起導入 AI 與感測融合設計，推動智慧型 6G 系統核心標準研究	Release 19-20 目標 2030 前完成	聚焦原生 AI、原生雲架構、JCAS、核心網與接取網融合
GSMA	推動技術中立與頻譜重耕政策，支援傳統網路退場與新技術導入	每年 MWC 與白皮書推進策略共識	2G/3G 退場與 D2D（Device-to-Device）低軌衛星技術納入 6G 接取選項
NGMN	主張以簡化、模組化與永續原則設計 6G 網路架構	2023-2030 擬定 6G 需求藍圖	提出 13 項設計原則，包括量子安全、原生 AI、數位雙生與模組化網路系統
Next G Alliance	以北美實際應用場景為主，推動技術與市場需求對接	2021-2030 分階段推動	著重 FWA 接取、中高頻段運用、工業自動化、低延遲通信與邊緣網路布建

資料來源：本研究整理

綜上所述，國際組織在 6G 新技術推動策略上，已明顯從傳統的單一無線通信架構，轉向融合 AI、跨域接取、多層頻譜與安全治理的全面通信策略。此一趨勢不僅顯示 6G 將成為技術創新與政策協調並進的新一代網路平臺，亦顯示全球通信產業往持續性邁進實踐方向。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 主要國家與地區推進 6G 現況觀測

一、 歐盟

(一) 6G 頻譜規劃政策動向

近年來歐盟積極進行 6G 頻段整備工作，歐盟執委會轄下之無線電頻率政策小組（The Radio Spectrum Policy Group , RSPG）已規劃完整 6G 頻段整備工作時程，如下表所示。

表 3- 15、歐盟 6G 頻段整備工作時程表

產出報告	提出草案	公開諮詢	最終版
6G 策略願景報告	2024 年 11 月 13 日	2024 年 11 月 15 日至 2024 年 12 月 27 日	2025 年 2 月 12 日
U6 頻段長期願景意見書	2025 年 6 月 17 日	2025 年 6 月 20 日至 2025 年 8 月 31 日	2025 年 11 月
6G 頻率藍圖	2026 年 2 月	-	2026 年 6 月

資料來源：RSPG（2025）

1. 6G 策略願景報告

RSPG 於 2025 年 2 月 12 日發布「6G 策略願景報告」[236]，針對 6G 使用頻段，RSPG 參酌國際組織、WRC-23 決議、WRC-27 以及 WRC-31 議程項目，並考量歐盟先前釋出之行動通信使用頻段，決定將較無疑義之頻段列為 6G 候選頻段，並另外將具有高度不確定性之頻段列為待討論頻段，綜整如下表所示。

表 3- 16、歐盟 6G 頻段整備工作時程表

6G 候選頻段	待討論頻段
已完成協調用於電子通信服務(無線寬頻）之頻段：	WRC-27 議程項目 1.7 所列頻段： ● 4400-4800 MHz（第 1、3 區）；

[236] RSPG (2025), 6G Strategic vision- RSPG Report, https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/89457260-ab6b-495a-9a10-437711cbe831_en?filename=RSPG25-006final-RSPG_Report_on_6G_strategic_vision.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G 候選頻段	待討論頻段
● 低頻段：700 MHz、800 MHz、900 MHz； ● 中頻段：1500 MHz、1800 MHz、paired terrestrial 2 GHz、2.6 GHz、3.6 GHz； ● 高頻段：26 GHz、42 GHz。	● 7125-7250 MHz、7750-8400 MHz（第 1 區）； ● 14.8-15.35 GHz（第 1、2、3 區）
供低功率及中功率區域網路使用(經協調）：3.8-4.2 GHz。	WRC-31 議程項目所列頻段： ● 470-698 MHz； ● sub-THz 頻段。
WRC-23 決議頻段：6425-7125 MHz（U6 頻段）。	-

資料來源：RSPG（2025）

2. U6 頻段長期願景意見書

同上所述，RSPG 配合 WRC-23 決議將 U6 頻段列為 6G 候選頻段，並於 2025 年 6 月 17 日發布「U6 頻段長期願景意見書草案」[237]。目前 U6 頻段之主要既有使用者為固定、衛星固定（地對空）以及行動用途。此外，ITU「無線電規則」（Radio Regulations, RR）雖未將 U6 頻段分配給無線電天文（Radio Astronomy Service, RAS）與衛星地球探測用途（Earth Exploration Satellite Service, EESS）使用，然而 RR 卻就 U6 頻段中使用特定頻率之 RAS 及 EESS 訂定保護規範。

[237] RSPG (2025), Draft Opinion on Long-term vision for the upper 6 GHz band, https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/1436dce2-8160-470e-9db0-0b70ec9e7a74_en?filename=RSPG25-018final-Draft-RSPG_Opinion_Upper_6GHz.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

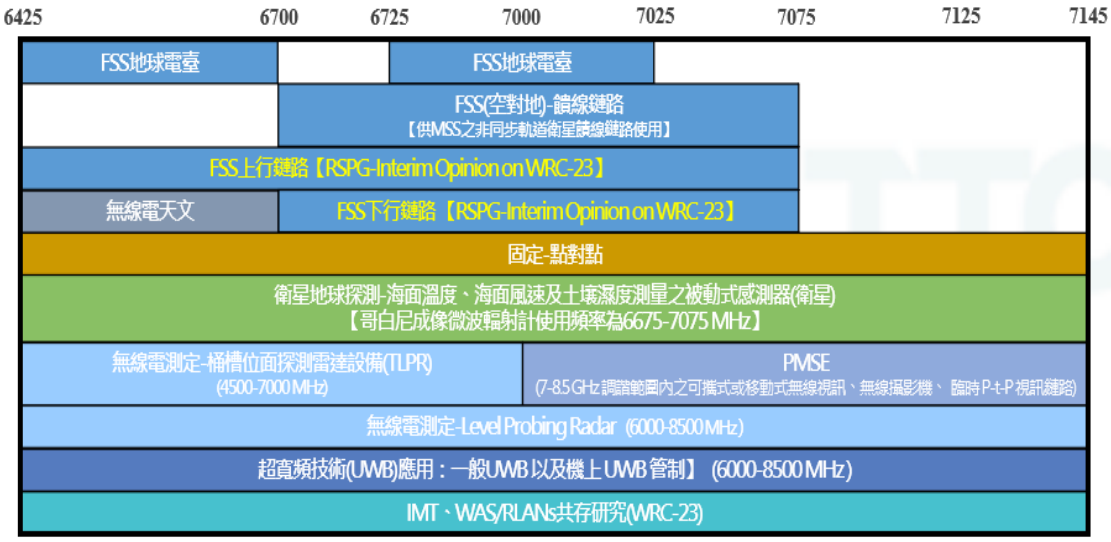


圖 3-9、歐盟 U6 頻段之既有使用者

資料來源：CEPT（2023）、RSPG（2025）、本研究自行繪製

(1) 既有使用者

A. 固定用途

RSPG 說明目前歐洲地區約有 1 萬多條之固定鏈路使用 U6 頻段，其中瑞典、義大利、德國、挪威、法國、西班牙等會員國各有上千條固定鏈路，部分會員國表示目前國內固定鏈路之應用廣泛，包含：公共安全與救難應變（Public Protection and Disaster Relief, PPDR）之後傳網路、災防告警服務、調頻廣播電臺（FM radio station）、地面數位電視（Digital Terrestrial Television, DTT）電臺、行動網路之後傳網路等，使用率逐年上升，短期內難以找到可行的替代方案。此外捷克指出 U6 頻段之固定鏈路清移頻工作耗費甚鉅，光是給予固定鏈路既有使用者之補償金就需花費至少 400 萬歐元。

為開放 U6 頻段供行動通信使用，RSPG 建議各會員國得評估以下方式之可行性：將固定鏈路移頻、限縮固定鏈路之使用地區、僅開放部分 U6 頻段供固定鏈路使用，RSPG 亦建議可改用光纖以取代固定鏈路之使用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

B. 衛星固定用途

RSPG 說明目前會員國多數衛星及地球電臺係使用 5925-6425 MHz（上行鏈路）及 3700-4200 MHz（下行鏈路），而 6700-7075 MHz 頻段雖分配供衛星固定用途使用，然而其主要係供衛星行動用途之非同步軌道衛星饋線鏈路使用。考量 U6 頻段之衛星固定用途於應用上之重要性，RSPG 建議各會員國應依 WRC-23 Resolution 220 決議就行動通信基地臺訂定等效全向輻射功率（Equivalent isotropically radiated power, EIRP）遮罩（Mask）之相關規範，以保護衛星固定用途之運作。

C. 行動用途

RSPG 說明目前使用 U6 頻段之行動通信非常有限，為配合 WRC-23 決議，已經請歐洲郵政和電信管理局（European Conference of Postal and Telecommunications, CEPT）針對行動通信與 WAS/RLAN 共用 U6 頻段所涉及之技術進行研究。RSPG 要求各會員國應配合歐盟執委會以及 CEPT 之規範，就 U6 頻段之使用訂定明確監管規範，以確保未來開放行動通信、無線接取系統/無線區域網路（Wireless Access Systems / Radio Local Area Networks, WAS/RLAN）等新用途時，亦能兼顧既有使用者權益。

D. 無線電天文用途

依 RR 5.149 規定，各主管機關應採取措施，保護 6650-6675.2 MHz 頻段之 RAS 不受有害干擾。目前該頻段主要供歐洲甚長基線干涉網（European Very Long Baseline Interferometry Network）使用，用於觀測甲醇譜線（Methanol Spectral Line），對於恆星形成（Star Formation）研究至關重要。由於甲醇譜線測量作業僅能使用 6668.518 MHz，因此 RSPG 強調各會員國進行 U6 頻段規劃時，皆應遵守 RR 5.149 規定。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

E. 衛星地球探測用途

依 RR. 5.458 規定，各主管機關未來就 6425-7075 MHz 及 7075-7250 MHz 進行頻段規劃時，應將衛星地球探測（被動式）及太空研究（被動式）之頻率需求一併納入考量。目前歐盟哥白尼成像微波輻射計（Copernicus Imaging Microwave Radiometer, CIMR）係使用 6675-7075 MHz 頻段進行海水表面溫度測量（Sea Surface Temperature, SST），此為歐盟哥白尼計畫（Copernicus Programme）之優先任務，有助於應對氣候變遷。RSPG 說明未來開放行動通信及 WAS/RLAN 使用 U6 頻段後，將會影響 SST 任務，考量 SST 任務亦可使用其他頻段，因此 WRC-27 議程項目 1.19 將爭取新頻段（4200-4400 MHz、8400-8500 MHz）供 SST 使用。

(2) U6 頻段之具體規劃

針對 U6 頻段之規劃，RSPG 試圖朝全頻段及頻段分割 2 大方向，提出以下 5 種方案：

- 方案一：整個 U6 頻段供 WAS/RLAN 使用；
- 方案二：整個 U6 頻段供行動/固定通信網路（MFCN）使用；
- 方案三：劃分 MFCN 與 WAS/RLAN 可使用之頻率範圍；
- 方案四：將 U6 頻段分為 MFCN、WAS/RLAN、共用部分，WAS/RLAN 及低功率 MFCN 皆可使用共用部分，兩者並無優先順序之分。
- 方案五（優先頻段分配）[238]：將 U6 頻段劃分為 WAS/RLAN 優先部分（近 6425 MHz 端）及 MFCN 優先部分（近 7125

[238] 等同於 Ofcom 所提出之優先頻譜分配（Prioritised spectrum split）方案。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

MHz 端），兩者得於不干擾的情況使用對方的優先頻段。

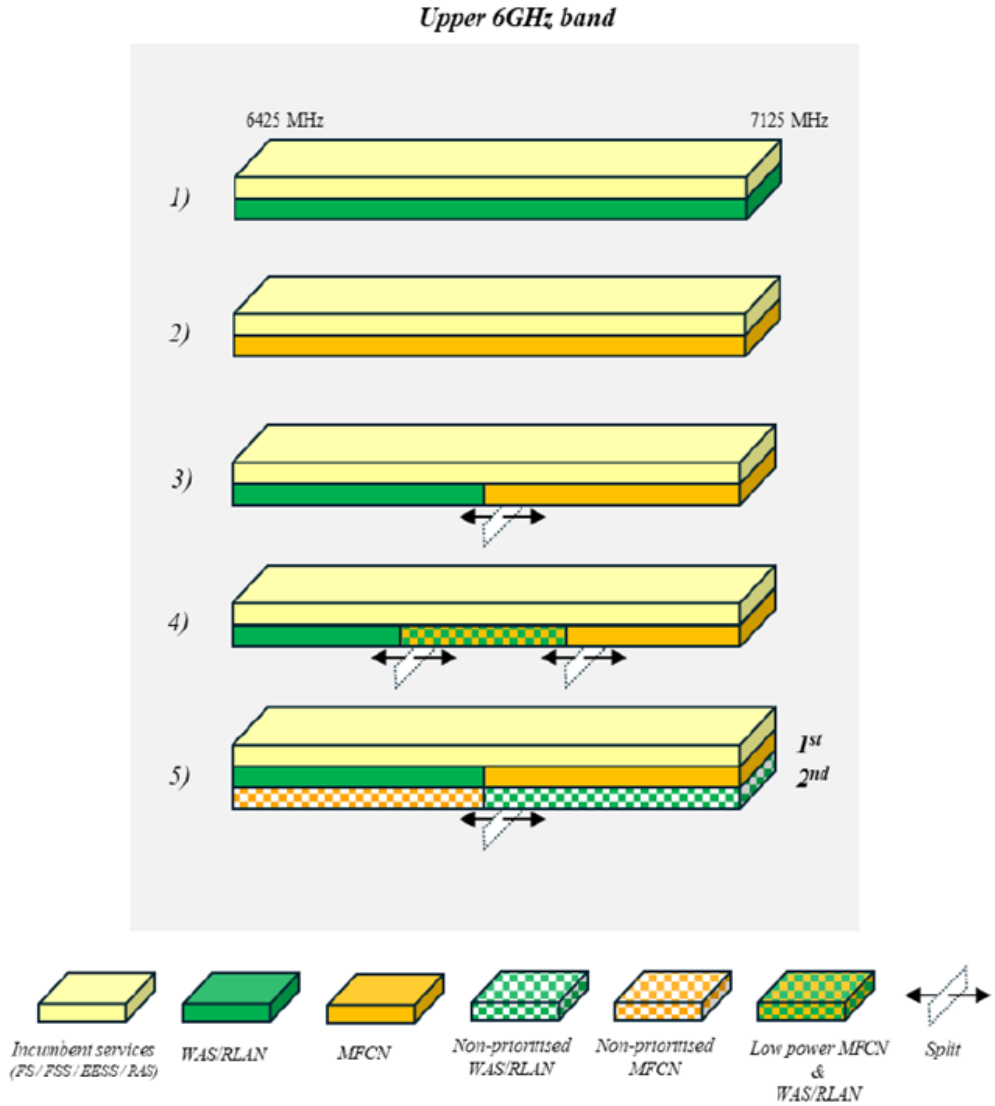


圖 3- 10、歐盟 U6 頻段規劃之 5 種方案

資料來源：RSPG（2025）

RSPG 目前傾向於選擇方案五，考量 MFCN 與 WAS/RLAN 之共存性，RSPG 認為應僅開放低功率 MFCN 於不干擾之情況下使用 WAS/RLAN 優先部分。同時為保護 RAS 之運作，RSPG 強調應就 6645- 6685 MHz 頻段協調 MFCN 之使用。另針對優先部分之劃分點，RSPG 提出以下幾種選項，未來將依公眾諮詢結果選擇合適的劃分點，綜整如下表所示。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 17、歐盟「優先頻段分配方案」之劃分點

劃分點	WAS/RLAN 頻寬	MFCN 頻寬
6425 MHz	0 MHz	700 MHz
6505 MHz	80 MHz	620 MHz
6585 MHz	160 MHz	540 MHz
6745 MHz	320 MHz	380 MHz

資料來源：RSPG（2025）

(二) U6 頻段之產業意見

歐洲電信業者（包含：德國電信、英國電信集團、Vodafone 等）於 2025 年 5 月 7 日發布聯合協議，呼籲歐洲應盡快釋出 6425-7125 MHz 頻段供 6G 使用。該協議說明：

1. 目前歐洲境內之 Wi-Fi 服務提供商主要為電信業者，電信業者認為 Wi-Fi 使用頻率並無短缺不足之情形；
2. 都市地區之行動網路訊務量預計於 2030 年達到飽和，屆時既有頻譜僅能支援 5G 服務，而難以供 6G 使用；
3. 3GPP 指出未來 6G 發展電信業者所需之最低頻寬為 200 MHz，而目前僅有 U6 頻段符合此需求。
4. 基於歐洲整體策略使用，CEPT 就 WRC-27 議程項目 1.7 持反對態度，CEPT 目前僅同意研究 7125-7250 MHz 頻段開放給 IMT 使用之可能性[239]，此舉將影響歐洲未來於 WRC-27 之立場[240]。

[239] RSPG (2025), 6G Strategic vision- RSPG Report, https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/89457260-ab6b-495a-9a10-437711cbe831_en?filename=RSPG25-006final-RSPG_Report_on_6G_strategic_vision.pdf

[240] RSPG 於 2025 年 6 月 17 日針對 WRC-27 議程項目發布初步意見，關於 WRC-27 議程項目 1.7 所提及之 7125-7250 MHz、7750-8400 MHz 頻段，已有北約、哥白尼計畫等涉及國防、政府、氣象、SST 等重要應用，因此 RSPG 目前仍持保守態度，並未明確同意開放 7125-7250 MHz、7750-8400 MHz 頻段供行動通信使用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

鑒於上述因素，歐洲電信業者呼籲歐盟執委會應傾聽歐洲電信業者之意見，盡快釋出 6425-7125 MHz 頻段供 6G 使用，確保歐洲 6G 發展及未來競爭力。

(三) 6G 產業新技術推動的政策動向

為鼓勵 6G 技術之發展，歐盟執委會於 2021 年 4 月公布「歐洲地平線計畫」[241]，並通過該計畫第 10 條之規定，於同年 11 月正式成立歐洲智慧網路與服務聯合倡議（The European Smart Networks and Services Joint Undertaking, SNS JU）[242]，透過提供補助款之方式，鼓勵 6G 相關技術之研究。

SNS JU 於 2024 年共有將近 20 個專題計畫，可分為無線通信技術、SNS 垂直領域之大規模試驗與測試地等主題，綜觀各專題計畫之研究，可發現人工智慧、非地面網路、無線接取網路（Radio Access Network, RAN）為現行發展 6G 技術研究之重點。SNS JU 已於官方網站上公開 2025 年之提案徵集，將以「提升歐洲在 Beyond 5G 及 6G 技術方面之領導地位」、「支援關鍵垂直領域之 5G/6G 試

資料來源：RSPG(2025), RSPG Interim Opinion on WRC-27, https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/026c0088-c2ba-4c68-bebe-5019fbe2d38d_en?filename=RSPG25-022final-RSPG_Interim_Opinion-WRC27.pdf

[241] Regulation (EU) 2021/695 of the European Parliament and of the Council of 28 April 2021 establishing Horizon Europe – the Framework Programme for Research and Innovation, laying down its rules for participation and dissemination, and repealing Regulations (EU) No 1290/2013 and (EU) No 1291/2013, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0695&qid=1686987058047 .

[242] 歐盟係於 2021 年公布「歐洲地平線計畫之聯合企業建立規範」，透過與歐洲 6G 智慧網路和服務產業協會(6G Smart Networks and Services Industry Association, 6G-IA）合作，建立 SNS JU。資料來源：Council Regulation (EU) 2021/2085 of 19 November 2021 establishing the Joint Undertakings under Horizon Europe and repealing Regulations (EC) No 219/2007, (EU) No 557/2014, (EU) No 558/2014, (EU) No 559/2014, (EU) No 560/2014, (EU) No 561/2014 and (EU) No 642/2014, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/2085 .

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

驗與測試地」為主軸徵集提案[243]。

表 3- 18、歐盟 SNS JU 補助計畫一覽表

主題	分類	申請獲准之研究案
無線通信技術	系統架構	新型 6G 連接平臺之彈性化開放式架構及 AI 驅動賦能技術
		針對開放式無線接取網路(Open RAN)之分散式、可擴展、可持續的增強型 6G 網路，建立統一架構
	無線通信技術與訊號處理	6G 通信系統之 LEArning 驅動及演進式無線電
		透過多技術、多感測器融合、多頻段及多靜態感知推進 6G-RAN
	通信基礎設施技術與設備	為環境供電之能源中及物聯網設備之標準化 6G 連接
		NexGen 3D 網路於 6G、AI 以及統一地面網路/非地面網路間和諧化
	可靠服務與智慧安全	面向 6G 生態系統的可編程、模組化及分解式安全平面
		延展性之零信任及智慧安全性，實現具有韌性及量子安全之 6G 網路及服務
	國際合作(歐盟-日本)	以機器智慧為基礎之無線接取基礎設施
	國際合作(歐盟-韓國)	6G 原生 AI 應用（Ai-Native)整合 Ran-COre 網路
	可持續發展之方向	可持續性-先進及創新之 6G 獨立式網路
	用於 6G 通信系統及服務之可靠 AI	透過端到端 AI 框架實現 6G Data 及機器學習營運自動化
SNS 垂直領域之大規模試驗與測試地	-	永續性 6G 垂直試驗
	-	6G 垂直領域之大規模試驗與測試地

資料來源：SNS JU(2024), Wireless Communication Technologies, https://smart-networks.europa.eu/call-3-stream-b/ 、SNS JU(2024), SNS Large Scale Trials and Pilots with Verticals (IA), https://smart-networks.europa.eu/call-3-stream-d/

[243] SNS JU(2025), SNS JU CALLS for Proposals 2025, https://smart-networks.europa.eu/current-call-for-proposals/ (last visited 114.06.06).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、 美國

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

美國目前對 6G 頻譜仍在研究階段，尚未明確指定 6G 頻率範圍。美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission, FCC）研究與考慮的 6G 地面頻段包含 10.0-10.5 GHz、12.7-13.25 GHz 及 110-170 GHz[244]，國家電信與資訊管理局（National Telecommunications and Information Administration, NTIA）負責執行的「國家頻譜策略」（National Spectrum Strategy）研究頻段則包含 3.1-3.45 GHz、5030-5091 MHz、7.125-8.4 GHz、18.1-18.6 GHz 與 37.0-37.6 GHz。[245]

因應頻譜需求日益增加，美國政府亦逐步釋出更多頻譜，以供應 Wi-Fi 與行動通信使用。相關頻譜釋出情形，依序說明如下：

1. FCC 進一步開放超低功率（Very Low Power, VLP）裝置可使用完整 6 GHz 頻段

2024 年 12 月 11 日，FCC 進一步開放 VLP 裝置可新增使用 6425-6525 MHz 及 6875-7125 MHz，且仍不須受 AFC 系統控制，運作位置亦不受限制。至此，VLP 已被允許使用完整 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）[246]。

---

[244] FCC Technology Advisory Council （2023）, 6G Working Group Position Paper, https://www.fcc.gov/sites/default/files/Consolidated_6G_Paper_FCCTAC23_Final_for_Web.pdf

[245] NTIA （2024）, National Spectrum Strategy Implementation Plan. https://www.ntia.gov/sites/default/files/publications/national-spectrum-strategy-implementation-plan.pdf

[246] 6 GHz 頻段原主要應用於公用事業、公共安全與無線後傳（wireless backhaul）之微波用途。2020 年，FCC 開放 6 GHz 頻段供 Wi-Fi 6 等免執照使用。其中，室內低功率（low-power indoor, LPI）裝置可使用完整 6 GHz 頻段；標準功率裝置則可在 AFC 系統的控制下使用 5925-6425 MHz 及 6525-6875 MHz 頻段。2023 年，FCC 再開放 VLP 裝置可在室內及室外使用 5925-6425 MHz 及 6525-6875 MHz 頻段，且不須受 AFC 系統控制。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

為確保頻率和諧共用，FCC 針對標準功率、室內低功率（low-power indoor, LPI）及 VLP 三種裝置分別訂定相關適用規範，如裝置是否須受自動頻率協調（AFC）系統控制、遵循競爭式協定（Contention-Based Protocol, CBP）或發射功率控制機制（Transmit Power Control Mechanism, TPC）等。詳如表 3- 19。

表 3- 19、6 GHz 頻段頻率和諧共用規範

裝置功率	標準功率	室內低功率（LPI）	超低功率（VLP）
可用頻段	5925-6425 MHz 6525-6875 MHz	完整 6 GHz 頻段	完整 6 GHz 頻段（惟須優先使用 6105 MHz 以上頻段）
受 AFC 系統控制	✓		
競爭式協定（CBP）		✓	✓
發射功率控制機制（TPC）			✓
禁止使用之地點	-	-	• 鑽油平臺 • 低空飛行的飛機及無人機系統上（10,000 英尺以上的飛機，可使用 5925-6425 MHz 頻段） • 作為固定室外基礎設施（如：安裝在電線桿或建築物上）

資料來源：https://www.fcc.gov/document/fcc-opens-entire-6-ghz-band-very-low-power-device-operations-0，本研究整理。

2. 美國 FCC 推動 AWS-3 頻段拍賣

為有效利用頻譜資源，FCC 於 2024 年 3 月 11 日就剩餘的先進無線服務（Advanced Wireless Services, AWS-3）頻譜，進行關於執照拍賣的公開諮詢[247]。本次拍賣之頻率範圍包含 1695-1710 MHz、1755-1780 MHz 與 2155-2180 MHz，並規劃採用上升鐘拍

[247] FCC, FCC Seeks Comment on Auction of AWS-3 Licenses, March 11, 2025. https://www.fcc.gov/document/comment-sought-auction-aws-3-licenses

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

賣（Ascending Clock Auction），共計 200 張執照。本次公開諮詢於 2025 年 4 月 25 日截止，FCC 後續將持續蒐集各界意見，以做出最終決議。

3. 美國「大而美法案」規範 FCC 應於 2034 年前陸續完成拍賣合計 800 MHz 頻寬之頻譜

「大而美法案」（One Big Beautiful Bill Act）於 2025 年 5 月由眾議院共和黨議員阿靈頓（Jodey Arrington）提出，是一項綜合稅收與支出的龐大法案，立法內容涵蓋稅制改革、支出重分配、邊境安全及頻譜政策等眾多面向。眾議院於 5 月 22 日通過大而美法案後，隨即提交參議院審議。參議院則在 7 月 1 日通過修正版本，並經眾議院於 7 月 3 日同意，川普總統於 7 月 4 日已簽署法案，正式完成立法程序。[248]

大而美法案之頻譜整備與拍賣規劃，包含下列主要內容：

A. 重新授權 FCC 頻譜拍賣權力至 2034 年，惟不包含 3.1-3.45 GHz 與 7.4-8.4 GHz 頻段；

B. FCC 應在 2034 年前完成總頻寬至少 300 MHz 之頻譜拍賣。其中，在本法案生效後 2 年內，應就 3.98-4.2 GHz 頻段，完成總頻寬至少 100 MHz 之頻譜拍賣；

C. 除上述頻寬 300 MHz 之拍賣頻譜，NTIA 應與 FCC 協商，於 1.3-10.5 GHz 頻率範圍中選定總頻寬 500 MHz 且現為聯邦使用[249]之頻譜，以重新分配予非聯邦使用、聯邦與非聯邦共用或全商用用途。在本法案生效後 2 年內，應完成總頻寬至少 200 MHz 之整備；在本法案生效後 4 年內，

[248] Congress.gov, One Big Beautiful Bill Act, 119th Congress (2025-2026), https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/1/text

[249] 即本法案生效時為分配予聯邦使用之頻段。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

應完成全數 500 MHz 之整備。

D. 針對 NTIA 所選定之 500 MHz 頻寬，FCC 應在本法案生效後 4 年內，完成至少 1 次拍賣，且拍賣頻寬不得低於 200 MHz；FCC 應於本法案生效後 8 年內，完成剩餘頻譜之拍賣。

E. 自 2025 財政年度起，編列共 5 千萬美元（約新臺幣 14.5 億元[250]）預算，供 NTIA 進行：

- 2.7-2.9 GHz、4.4-4.9 GHz、7.25-7.4 GHz 頻段之分析研究；
- 針對所有聯邦機構使用頻段進行價值評估，並每兩年出版一次相關報告(最後一次不得晚於 2034 年 6 月 30 日)。

本研究將 FCC 與 NTIA 相關作業時程彙整於圖 3- 11。

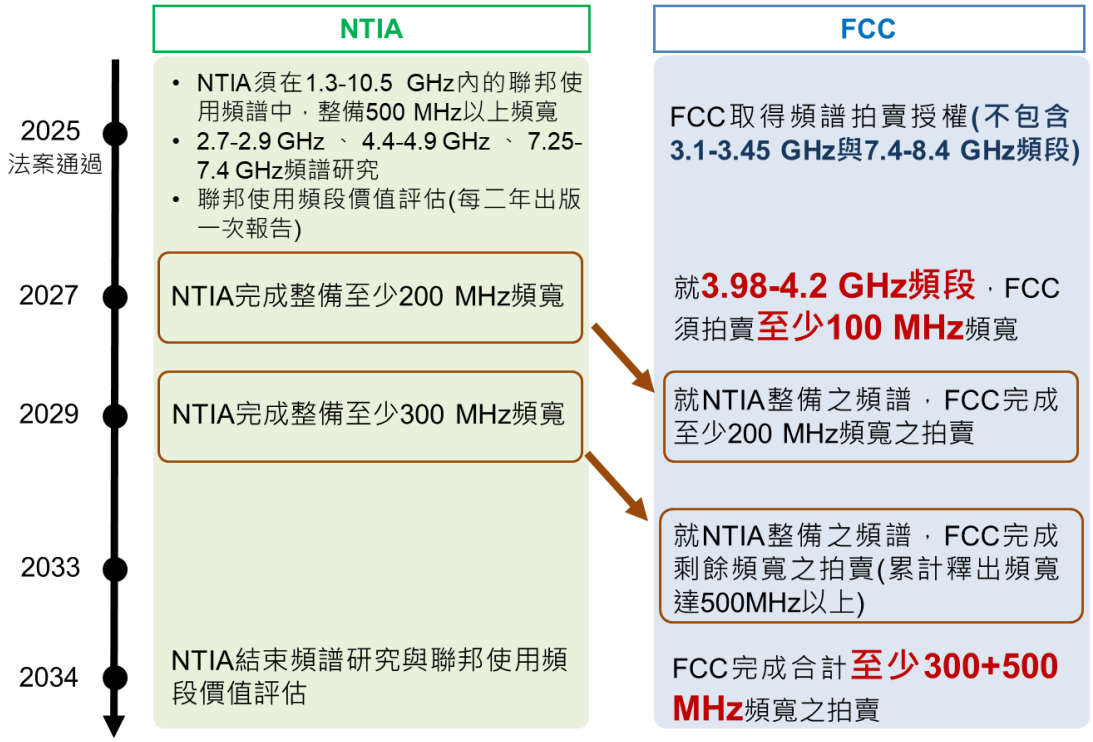


圖 3- 11、美國「大而美法案」之頻譜整備與拍賣時程

[250] 依 2025 年 7 月 4 日美元兌新臺幣匯率換算。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

資料來源：https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/1/text，本研究整理。

觀察上述內容，可發現美國未來頻譜釋出架構主要分為兩部分。第一部分是由 FCC 釋出 300 MHz 頻寬，其中至少 100 MHz 來自 3.98-4.2 GHz 頻段，且此 100 MHz 更被要求於兩年內完成拍賣，顯示政策目的應為儘速增加 C 頻段之供應-此頻段相對於更高頻率，有利於廣域布建-以深化美國行動通信服務之發展。

第二部分則是從既有聯邦使用頻段中，另行整備的 500 MHz 頻寬。此部分要求 FCC 應於 4 年內完成至少 1 次拍賣，且頻寬不得低於 200 MHz，剩餘頻寬則應於 8 年內完成拍賣。此一時程設計應與 6G 次世代行動通信技術預計於 2030 年前後推出有關，政策目的可能旨在確保美國屆時有充足 6G 頻譜供應。

此外，NTIA 除具有 500 MHz 頻寬整備工作之權責，亦同時獲得進行頻段分析研究與聯邦使用頻段之價值評估分析的執行預算。此點顯示法案之用意應為，透過頻段分析研究與定期檢討評估聯邦用途之經濟效益，作為 NTIA 選定整備頻段之參考依據。

與前總統拜登任內提出的「國家頻譜策略」相比較，「大而美法案」作為川普政府重大施政法案，在頻譜政策上的著墨點有明顯不同。前者定位屬長期頻譜政策藍圖，著重建立制度、推動科研及培育人才，後者則較為強調頻譜資源的整備及拍賣。兩者差異綜整如表 3- 20：

表 3- 20、「大而美法案」與「國家頻譜策略」頻譜規劃比較

	大而美法案	國家頻譜策略
總統	唐納·川普（Donald Trump）	喬·拜登（Joe Biden）
主導機構	國會（由共和黨團推動）	白宮
執行機構	FCC、NTIA	NTIA
性質	預算調整法案（包含頻譜政策條款）	長期策略規劃文件，作為頻譜政策之藍圖
發布時間	2025 年 7 月 4 日川普總統完成	• 2023 年 11 月 13 日白宮發布

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	大而美法案	國家頻譜策略
	法案簽署。	「國家頻譜策略」。 • 2024 年 3 月 12 日 NTIA 發布「國家頻譜策略實施計畫」。
頻譜政策重點	• 重新授權 FCC 頻譜拍賣權力至 2034 年，惟不包含 3.1-3.45 GHz 與 7.4-8.4 GHz 頻段。 • 指定 2034 年前陸續拍賣合計頻寬 800 MHz 以上之頻譜（其中 500 MHz 由 NTIA 整備），用於行動寬頻服務。	• 建立頻譜供應管道，確保美國具充足頻譜資源。 • 建立長期性、科學的頻譜規劃流程。 • 推動可促進頻譜創新、接取及管理的科技研發（如頻譜共享等）。 • 培養相關人才及推廣知識。
頻譜整備及拍賣規劃	• 規定 FCC 須於 2034 年前拍賣至少 300 MHz 頻寬。其中，在法案生效後 2 年內，應就 3.98-4.2 GHz 頻段，拍賣至少 100 MHz 頻寬。 • NTIA 應在 1.3 GHz- 10.5GHz 聯邦使用頻譜中，於法案生效後 2 年內，整備至少 200 MHz 頻寬；於法案生效後 4 年內，完成整備全數 500 MHz 頻寬。 • 就 NTIA 整備完成之頻譜，FCC 應於法案生效後 4 年內，完成至少 1 次拍賣，且頻寬不得低於 200 MHz；於法案生效後 8 年內，完成剩餘頻譜之拍賣。	未指定釋出頻段。
頻譜研究	• 2.7-2.9 GHz、4.4-4.9 GHz、7.25-7.4 GHz 頻段之分析研究。 • 針對所有聯邦機構使用頻段進行價值評估，並每兩年出版一次相關報告。	• 推動多個頻段的研究計畫，並擬根據研究結果確定可重新利用之頻譜。 • 推動動態頻譜共享示範計畫、頻譜沙盒計畫等。
目標頻段	拍賣頻率範圍： • FCC 釋出 300 MHz 頻寬，其中至少 100 MHz 來自 3.98-4.2 GHz 頻段。 • NTIA 於 1.3 GHz-10.5 GHz 聯邦使用頻段中，整備 500 MHz 頻寬交給 FCC 拍賣。 • 上述規劃釋出頻寬合計達 800 MHz，惟排除 3.1-3.45 GHz 與 7.4-8.4 GHz 頻段。	研究頻段： • 3.1-3.45 GHz • 5030-5091 MHz • 7.125-8.4 GHz • 18.1-18.6 GHz • 37.0-37.6 GHz

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

資料來源：本研究整理。

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

為加速頻譜相關創新技術之發展，美國「國家頻譜策略」第三項主軸即為「透過科技開發，促進頻譜創新、接取及管理」，其中多項策略目標及具體計畫皆與 6G 產業新技術息息相關（詳表 3-21）。

就推動技術研發之面向，相關內容包含：建立頻譜相關關鍵科技（Enabling Technology）之識別流程、制定反有害干擾技術之研發路徑圖、指定先進頻譜共享之全球標準、建置共享頻譜接取共同平臺、推動國家頻譜研發計畫（National Spectrum Research And Development Plan）、建立頻譜研發基礎設施與工具之評估及認證流程、建立頻譜沙盒計畫、推動動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS）示範計畫及建立 DSS 國家測試平臺等。

另外，在促進相關投資方面，國家頻譜策略亦透過盤點影響頻譜創新投資之因素及放寬監管韌性，塑造有利技術創新投資之政策環境，同時也依據智慧頻譜管理科技之評估結果，提出潛在投資建議，以促進對新興科技的投資。

截至 2025 年 12 月 5 日，本計畫蒐集之「國家頻譜策略」相關技術研發政策之後續主要進展如下：

- 2024 年 10 月公布國家頻譜研發計畫，明訂多個關鍵創新領域（如：頻譜性能(Spectrum Capability)；頻譜科學；整合式創新；經濟、制度與法規；系統與解決方案等）及加速頻譜研發之相關措施。[257]
- 有關「提出建置共享頻譜接取共同平臺之相關建議」，NTIA 官網未有公布相關進展資訊，惟美國聯邦審計總署（Government Accountability Office, GAO）於 2025 年 5 月

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

22 日指出，儘管 NTIA 致力於將其頻譜管理資訊系統現代化，並在 2024 年 12 月委外兩份總價值為 1.1 億美元之資訊系統現代化工程合約，但現階段仍將繼續使用舊有的資訊系統。[258]

- 美國戰爭部（Department of War, DoW）259 資助的先進動態頻譜共享示範（Advanced Dynamic Spectrum Sharing Demonstration, ADSSD）計畫，於 2025 年 10 月 1 日公布獲選者名單，旨在展示頻譜共享解決方案，提升美國頻譜韌性及無線技術的領導地位。[260]
- NTIA 已建立頻譜共享創新測試平臺試點計畫，以評估聯邦與非聯邦使用者間增加共享的可行性。[261]
- 2025 年 9 月 10 日，NTIA 宣布將利用頻譜遷移基金的資金，用於識別新的可用頻譜，特別是 7 GHz 頻段。[262]

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 21、美國「國家頻譜策略」主軸三相關內容概要

主軸	策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間	相關成果資訊
透過科技開發，促進頻譜創新、接取及管理	透過促進對新興科技的投資，改良頻譜效率並促進共享	（a）建立頻譜相關系統之關鍵科技（Enabling Technology）的識別流程，以提升頻譜效率並促進共享	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC	2025 年 10 月起，預計完成需 6 個月	尚未公布。
		（b）盤點促進及阻礙頻譜創新投資之因素，並提出相關建議	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC	2026 年 3 月起，預計完成需 6 個月	尚未進行。
		（c）就提升接收器對有害干擾之抵抗能力，制定相關研發路徑圖	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC	2025 年 10 月起，預計完成需 9 個月	尚未公布。
		（d）依據智慧頻譜管理科技之評估結果，提出潛在投資建議	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC	2026 年 3 月起，預計完成需 6 個月	尚未進行。
		（e）指定先進頻譜共享之全球標準	NTIA/FCC	CSMAC、NIST	2025 年 9 月起，預計完成需 3 個月	尚未公布。
		（f）提出建置共享頻譜接取共同平臺之相關建議	NTIA	各聯邦機構、CSMAC、FCC	2024 年 9 月起，預計完成需 6 個月	已委外推動頻譜管理資訊系統現代化，但尚未完成，仍使用舊有資訊系統。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

主軸	策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間	相關成果資訊
	透過整合性與聚焦性的研發規劃，提升產官學研各界對無線電頻譜的瞭解	（a）制定並發布國家頻譜研發計畫	白宮科學技術政策辦公室（OSTP）	NTIA、NSF、FCC、ISAC、各聯邦機構、公眾	2024年3月起，預計完成需6個月	2024年10月公布國家頻譜研發計畫，明訂多個關鍵創新領域及加速頻譜研發相關措施。
		（b）修訂國家頻譜研發計畫	OSTP	NTIA、NSF、FCC、ISAC、各聯邦機構、公眾	2025年3月起，預計完成需12個月	尚未公布。
		（c）建立頻譜研發基礎設施與工具之國家（含政府、產業與學術界）評估及認證流程	NTIA	CSMAC、國家標準暨技術研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）、各聯邦機構、FCC	2026年3月起，預計完成需6個月	尚未進行。
		（d）進行資料蒐集與頻譜使用測試計畫	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC	2025年10月起，預計完成需12個月	尚未公布。
		（e）建立頻譜沙盒計畫	NTIA	CSMAC、FCC、各聯邦機構、國家先進頻譜與通信測試網路（National Advanced Spectrum and	2025年12月起，預計完成需6個月	尚未公布。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

主軸	策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間	相關成果資訊
				Communications Test Network, NASCTN）		
		（f）進行動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS）示範計畫	國防部（DoD）/NTIA	FCC、NIST、各聯邦機構	2024年3月起，預計完成需18個月	2025年10月1日公布先進動態頻譜共享示範（Advanced Dynamic Spectrum Sharing Demonstration, ADSSD）計畫之獲選者名單。
		（g）建立國家DSS測試平臺	NTIA	NSF、DoD、FCC、各聯邦機構	2024年3月起，預計完成需18個月	NTIA已建立頻譜共享創新測試平臺試點計畫，以評估聯邦與非聯邦使用者間增加共享的可行性。
	追求最大化頻譜韌性使用的頻譜政策，結	（a）採行儘可能放寬監管韌性之政策措施，以促進美國科技創新與機會共享	NTIA/FCC	CSMAC、各聯邦機構	2025年10月起，預計完成需6個月	尚未公布

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

主軸	策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間	相關成果資訊
	合新興及創新科技，並識別出擴大頻譜接取的機會	（b）提出運用頻譜遷移基金（Spectrum Relocation Fund）提升頻譜共享與相容性之相關建議	NTIA/OMB	各聯邦機構、FCC	2024 年 9 月起，預計完成需 6 個月	2025 年 9 月 10 日，NTIA 宣布將利用頻譜遷移基金的資金，用於識別新的可用頻譜，特別是 7 GHz 頻段。

資料來源：NTIA（2024），本研究整理。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

除上述進行中的政策，美國國會為強化美國於通信網路及相關應用科技之創新能力，確保無線網路安全性，並在全球 6G 競賽中取得優勢，目前正在審議「未來網路法案」（Future Uses of Technology Upholding Reliable and Enhanced（FUTURE）Networks Act，簡稱 FUTURE Networks Act）[251]，其主要內容包括：

A. 規定 FCC 在法案生效後 120 天內成立 6G 任務小組（6G Task Force）。

B. 6G 任務小組將由電信產業、公共利益組織、學術機構與聯邦、州、地方或部落政府的代表組成。

C. 6G 任務小組應在成立後一年內發布一份全面報告，內容涵蓋：

- 6G 技術標準制定機構之角色。
- 6G 技術的潛在應用場景。
- 供應鏈或網路安全等潛在威脅。
- 各級政府推動 6G 布建之協調策略。

D. 報告草案將公開徵求民間意見，以確保透明度並納入各方反饋。

目前，眾議院已於 2025 年 4 月 28 日表決通過「未來網路法案」，並提交參議院審議。截至 10 月 19 日，仍停留在參議院審議階段。

[251] Congress.Gov, H.R.2449- FUTURE Networks Act, 119th Congress（2025-2026）. https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/2449/text/ih?format=txt&overview=closed

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

三、 英國

(一) 6G 發展規劃政策動向

英國通信管理局（Office of Communications, Ofcom）積極推動 6G 相關政策，Ofcom 於 2025 年 3 月 28 日公布「2025-2028 年之 3 年計畫」（Ofcom's Three-Year Plan 2025-2028）[252]，宣布英國未來頻譜政策將著重於太空領域(如：低軌衛星、衛星直連通信裝置等)、行動頻譜釋出兩大主軸，Ofcom 說明將持續協調並釋出頻率，以滿足新興通信發展之頻率需求，同時 Ofcom 會在 WRC-27、ITU 等國際活動中積極爭取權益：

- 太空領域：因應衛星通信之高速發展，以及考量太空政策在 WRC-27 之重要性，Ofcom 將太空政策、衛星直連手機列為優先項目，並規劃釋出更多頻率供其使用。
- 行動頻譜釋出及拍賣：為支援商用行動通信與 Wi-Fi，Ofcom 將於 3 年內完成毫米波、1.4 GHz 頻段之釋出及拍賣程序，並完成 U6 頻段之初步釋出工作。

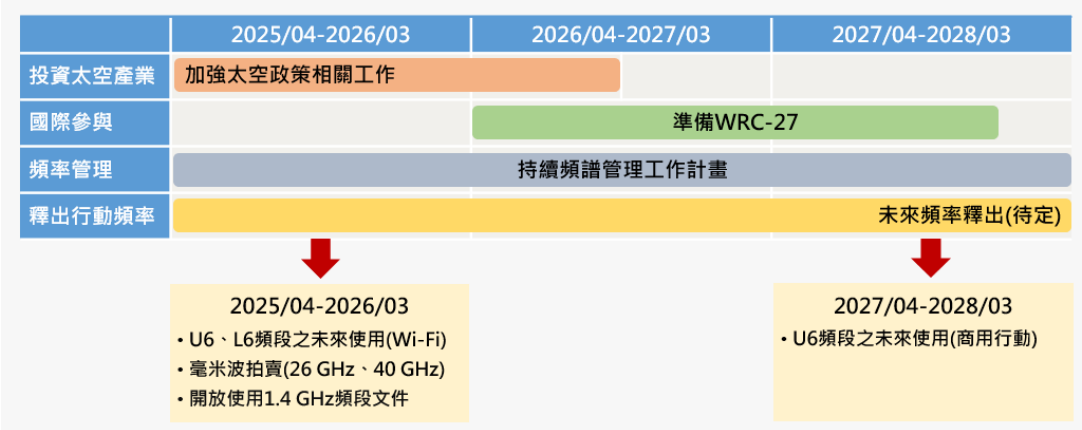


圖 3- 12、2025-2028 年之 Ofcom 頻譜政策重點

資料來源：Ofcom（2025）, Ofcom's Three-Year Plan 2025-2028

[252] Ofcom（2025）, Ofcom's Three-Year Plan 2025-2028, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/about-ofcom/how-ofcom-is-run/annual-reports/ofcoms-3-year-plan/three--year-plan-2025-2028.pdf?v=393493

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Ofcom 於同日公布「2025 財政年度工作計畫」（Ofcom's Plan of Work 2025/26）[253]，宣布今年預計執行以下項目，綜整如下表所示。

[253] Ofcom（2025）, Ofcom's Plan of Work 2025/26, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-2-6-weeks/consultation-ofcoms-plan-of-work-202526/main-document/statement-ofcoms-plan-of-work-2025-26.pdf?v=393600.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 22、2025 財政年度 Ofcom 預計執行項目

用途	預計執行項目（形式）	主旨	預計發布時間	截止 2025 年 10 月中旬進度
行動	審查行動頻率執照費（發布文件）	考量英國電信集團（BT Group）之請求，Ofcom 將針對 900、1800 以及 2100 MHz 行動頻率執照之年度頻率使用費標準作出決定。	2025 財政年度第 2 季	2025 年 7 月 18 日發布正式文件[254]。
	核發毫米波頻率執照（26 GHz、40 GHz）（頻譜拍賣）	Ofcom 規劃於高密度地區開放毫米波頻率執照之拍賣申請，並於 2025/26 Q3 核發執照供行動用途使用。	2025 財政年度第 3 季	2025 年 9 月 16 日至 17 日開放申請，並於同年 10 月完成拍賣作業[255]。
	U6 頻段之未來使用（發布文件）	Ofcom 初期將開放 U6 頻段供 Wi-Fi 及行動用途共享使用（授權室內低功率 Wi-Fi）。	2025 財政年度第 3 季	● 2025 年 2 月 13 日至 5 月 8 日辦理公開諮詢[256]。 ● 2025 年 6 月 16 日舉辦研討會。

[254] Ofcom(2025), Review of Annual Licence Fees-Decision to revise Annual Licence Fees for 900, 1800 and 2100 MHz spectrum, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-review-of-annual-licence-fees/main-documents/statement-review-of-annual-licence-fees.pdf?v=403704 (last visited 114.07.18).

[255] 4. Ofcom(2025), mmWave Auction, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/spectrum-awards/award-of-26-ghz-and-40-ghz-mmwave-spectrum-by-auction (last visited at 2025.10.09).

[256] Ofcom(2025), Consultation: Expanding access to the 6 GHz band for commercial mobile and Wi-Fi services, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/innovative-use-of-spectrum/consultation-expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-commercial-mobile-and-wi-fi-services (last visited 114.10.09).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用途	預計執行項目（形式）	主旨	預計發布時間	截止 2025 年 10 月中旬進度
	開放使用 1.4 GHz 頻段（發布文件）	Ofcom 預計開放 1492-1517 MHz 頻段供行動用途使用，Ofcom 將開始規劃此頻段之拍賣程序。	2025 財政年度第 4 季	● 2025 年 2 月 4 日至 4 月 25 日辦理公開諮詢[257]。 ● 2025 年 7 月 18 日至 9 月 12 日辦理進一步公開諮詢[258]。
	L6 頻段之未來使用（發布文件）	透過自動頻率協調（AFC）系統資料庫，Ofcom 將決定是否開放 L6 頻段供標準功率以及室外 Wi-Fi 使用。	2025 財政年度第 4 季	● 2025 年 2 月 13 日至 5 月 8 日辦理公開諮詢[259]。 ● 2025 年 6 月 16 日舉辦研討會。
衛星	更新衛星授權框架-NGSO 釋照規範（公開諮詢）	Ofcom 將審查並更新現行衛星相關管理規範，包含：非同步軌道衛星（Non-geostationary satellite orbit, NGSO）釋	2025 財政年度第 1 季	2025 年 9 月 16 日至 11 月 18 日辦理公開諮詢[260]。

[257] Ofcom(2025), Award of 1492-1517 MHz spectrum for mobile services- Consultation on Ofcom's proposals, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/269383-call-for-input-making-more-spectrum-in-the-1.4-ghz-band-available-for-mobile-services/associated-documents/consultation-award-of-1492-1517-mhz-spectrum-for-mobile-services.pdf?v=390906

[258] Ofcom(2025), Award of 1492-1517 MHz spectrum for mobile services- Consultation on Ofcom's proposed competition assessment, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/269383-call-for-input-making-more-spectrum-in-the-1.4-ghz-band-available-for-mobile-services/associated-documents/consultation-award-of-1492-1517-mhz-spectrum-for-mobile-services---competition-assessment.pdf?v=400373

[259] Ofcom(2025), Consultation: Expanding access to the 6 GHz band for commercial mobile and Wi-Fi services, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/innovative-use-of-spectrum/consultation-expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-commercial-mobile-and-wi-fi-services (last visited 114.10.09).

[260] Ofcom(2025), Consultation: Proposals for revising and improving our NGSO licensing process, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/space-and-satellites/consultation-proposals-for-revising-and-improving-our-ngso-licensing-process (last visited 114.10.09).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用途	預計執行項目（形式）	主旨	預計發布時間	截止 2025 年 10 月中旬進度
	更新衛星授權框架-衛星 gateway 執照費（公眾諮詢）	照規範、衛星 gateway 執照費用政策、衛星申請管理程序（Procedures for the Management of Satellite Filings）等。	2025 財政年度第 1 季	2025 年 7 月 1 日至 9 月 9 日辦理公開諮詢[261]。
	更新衛星授權框架-衛星申請管理程序（發布文件）		2025 財政年度第 3 季	2025 年 3 月 28 日至 5 月 23 日辦理公開諮詢[262]。
	擴增衛星 gateway 之使用頻率（公眾諮詢、發布文件）	為滿足與日俱增之衛星互連需求，Ofcom 決定向使用 Q/V、E 頻段之衛星 gateway 提供額外頻率，對此 Ofcom 將規劃相關方式以及辦理公眾諮詢。	2025 財政年度第 2 季、第 4 季	2025 年 7 月 22 日至 9 月 30 日辦理公開諮詢[263]。

[261] Ofcom(2025),Consultation: Updating fees for Satellite Gateways, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/space-and-satellites/updating-fees-for-satellite-gateways (last visited 114.10.09).
[262] Ofcom(2025), Consultation: Updates to Procedures for the management of satellite filings, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/space-and-satellites/updates-to-procedures-for-the-management-of-satellite-filings (last visited 114.10.09).
[263] Ofcom(2025), Consultation: Expanding spectrum access for satellite gateways, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/space-and-satellites/expanding-spectrum-access-for-satellite-gateways (last visited 114.10.09).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用途	預計執行項目（形式）	主旨	預計發布時間	截止 2025 年 10 月中旬進度
	衛星直連手機監管規範（發布文件）	考量衛星直連手機應用有助於擴大行動通信涵蓋範圍，並於緊急情況及災難發生時確保通信韌性，故 Ofcom 將草擬衛星直連手機監管規範。	2025 財政年度第 3 季	● 2025 年 3 月 25 日至 5 月 20 日辦理公開諮詢[264]。 ● 2025 年 9 月 9 日發布正式文件，並辦理進一步公開諮詢[265]。
	擴增航空與海事衛星互連之使用頻率（公眾諮詢）	針對「Ku 頻段及 Ka 頻段之航空及海事衛星用途」擴增使用頻率議題，Ofcom 將辦理公眾諮詢作業，以落實 WRC-23 決議（Item 1.15）。此舉將為船舶與飛機之衛星寬頻服務提供額外容量。	2025 財政年度第 3 季	尚未公告。

[264] Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands/main-documents/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands.pdf?v=404525

[265] Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands-Statement and further consultation, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands/main-documents/statement-and-further-consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands.pdf?v=402573

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用途	預計執行項目（形式）	主旨	預計發布時間	截止 2025 年 10 月中旬進度
其他	簡化與更新海事執照（公眾諮詢）	為落實 WRC 之決議，Ofcom 將以簡化執照條款及條件為目標，規劃更新部分海事執照，並辦理公眾諮詢作業。	2025 財政年度第 3 季	尚未公告。
	審查節目製作及特殊活動（Programme Making And Special Events, PMSE）使用頻率（更新文件）	為確保頻率管理政策能有效支援 PMSE 產業，Ofcom 決定開始審查影音之 PMSE 頻率使用情況。	2025 財政年度第 3 季	尚未公告。
	開放使用 1.9 GHz 頻段（發布文件）	Ofcom 將決定 1900 MHz 頻段的使用方式及授權規則，以供國家基礎設施用戶（如：鐵路安全通信及緊急服務）使用。	2025 財政年度第 3 季	2025 年 3 月辦理公開諮詢[266]。

資料來源：Ofcom（2025）

[266] Ofcom(2025), Consultation: Future authorisation of the 1900–1920 MHz band, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/frequencies/future-authorisation-of-the-19001920-mhz-band (last visited 114.10.09).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 6G 候選頻段之具體規劃

1. 英國 6 GHz 頻段之未來使用規劃

6 GHz 頻段（5925-7125 MHz 頻段）為 Ofcom 未來 3 年之發展重點，配合 WRC-23 決議[267]，Ofcom 積極探討 IMT 與 Wi-Fi 共用 6 GHz 頻段之可能性。目前 6 GHz 頻段之既有使用者眾多，包含：室內低功率 Wi-Fi、短距離設備（Short-range Devices, SRDs）、衛星（衛星地球探測、衛星固定）、英國國防部（Ministry of Defence, MOD）、固定鏈路（L6 頻段：約 350 條/U6 頻段：500 條以上）、無線電天文（Radio Astronomy Service, RAS）、節目製作與特殊事件轉播（Programme Making and Special Events, PMSE），如下圖所示。

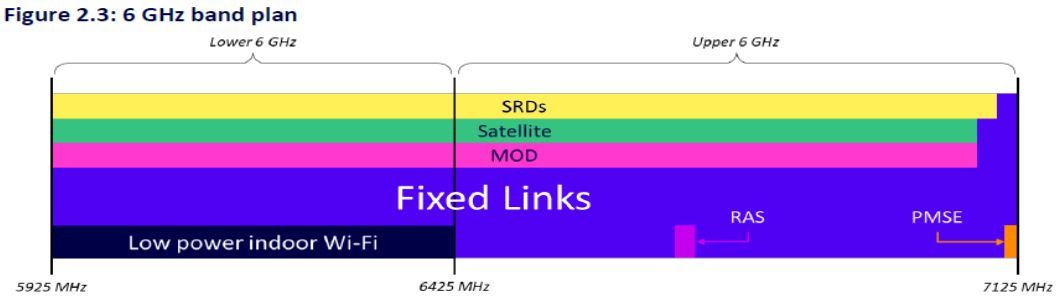


圖 3- 13、英國 6 GHz 頻段之使用情況

資料來源：Ofcom （2025）

為保護既有使用者權益，同時遵循 WRC-23 決議內容以鼓勵創新應用，Ofcom 於 2025 年 2 月公布「擴大 6 GHz 頻段行動與 Wi-Fi 用途接取」諮詢文件[268]，文件中說明 Ofcom 規劃開放標準

[267] WRC-23 最終決議在第 1 區開放 6425-7125 MHz 頻段供 IMT 使用；在第 3 區開放 7025-7125 MHz 頻段供 IMT 使用，且此兩範圍頻段亦可用於 WAS/RLANs。

[268] Ofcom（2025）, Expanding access to the 6 GHz band for mobile and Wi-Fi services, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-3-4-weeks/consultation-expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-commercial-mobile-and-wi-fi-services/main-document/expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-mobile-and-wi-fi-services.pdf?v=391052

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

功率 Wi-Fi 使用 L6 頻段（5925-6425 MHz），並延續去年 5 月的「6 GHz 頻段上半部分供行動及 Wi-Fi 使用文件」(Mobile and Wi-Fi in Upper 6 GHz）[269]，Ofcom 具體提出兩種共享使用方案供未來 U6 頻段（6425-7125 MHz）之行動用途與 Wi-Fi 使用。本次諮詢為期 3 個月，並於 2025 年 5 月 8 日截止。以下就 L6 頻段及 U6 頻段分述之。

(1) L6 頻段（5925-6425 MHz）

A. Ofcom 就 L6 頻段之具體規劃

Ofcom 已開放等效全向輻射功率（Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP）低於 24 dBm 之 Wi-Fi 及其他無線區域網路（Radio Local Area Network, RLAN）設備使用 L6 頻段（限室內），然而考量 CEPT 正在研究標準功率 Wi-Fi（高達 36 dBm）與既有使用者共用 6 GHz 頻段之議題[270]，因此 Ofcom 亦開始評估標準功率 Wi-Fi 使用 L6 頻段之可能影響。

為保護既有使用者，Ofcom 規劃以使用自動頻率協調(AFC）系統為前提，全面開放標準功率 Wi-Fi（36 dBm/4W EIRP）使用 L6 頻段。換言之，除現行已開放之室內低功率 Wi-Fi（低於 24 dBm）外，其餘 Wi-Fi[271]皆需於 AFC 系統控制下始得使用 L6 頻段。具體運作方式及重點如下：

---

[269] Ofcom （2024）, Mobile and Wi-Fi in Upper 6 GHz, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/263766-hybrid-sharing-enabling-both-licensed-mobile-and-wi-fi-users-to-access-the-upper-6-ghz-band/associated-documents/mobile-and-wi-fi-in-upper-6-ghz.pdf?v=357119

[270] CEPT 曾於 2019 年 5 月 29 日發布「5925-6425 MHz 頻段之 WAS/RLAN 相關共享及相容性研究」，目前由 CEPT 轄下之電子通信委員會（Electronic Communications Committee, ECC）所設之工作小組 SE45 進行 WAS/RLAN 於 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz 頻段）之共享與相容性研究，並預計於 2025 年下半年公告相關研究。

[271] 包含：室外 Wi-Fi 以及功率高於 24 dBm 之室內 Wi-Fi。

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

- 具體運作方式：Wi-Fi 接取點應具備定位功能，並定期向 AFC 資料庫請求或更新傳輸許可，AFC 資料庫收到相關請求後，將進行干擾分析，進而回傳可用頻道清單與發射功率限制。
- 限縮 AFC 資料庫之處理範圍：關於 Wi-Fi 設備之安裝協調、保護 Wi-Fi 不受其他既有使用者干擾等事項非為 AFC 資料庫之處理範圍。
- AFC 系統之建置：為促進市場競爭並與消費者選擇，Ofcom 規劃由民間企業等私人組織提供 AFC 系統。

B. 利害關係人之意見

針對 Ofcom 所提出之 L6 頻段規劃，多數利害關係人持正面態度，主張開放標準功率 Wi-Fi 將有助於大型企業園區網路、智慧城市基礎設施、工業自動化等新興應用，且高通、NOKIA 等設備商亦表示願意提供 AFC 系統；然而少數利害關係人（英國電信集團、Vodafone）則持反對態度，主張標準功率 Wi-Fi 可能會影響既有及未來使用 L6 頻段之室內低功率 Wi-Fi 用戶，並減少其他免執照設備可使用之頻寬容量。本研究綜整重點利害關係人意見如下表所示。

表 3- 23、英國 L6 頻段規劃之利害關係人意見綜整表

	贊成方	反對方
利害關係人	Wi-Fi 聯盟、IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會、全球行動通信系統協會（GSMA）、高通、NOKIA	英國電信集團（BT Group）、Vodafone
討論重點：開放標準功率 Wi-Fi 使用 L6 頻段	同意開放標準功率 Wi-Fi 使用 L6 頻段： • 標準功率 Wi-Fi 可用於大型企業園區網路、智慧城市基礎設施、工業自動化等新興	反對開放標準功率 Wi-Fi 使用 L6 頻段： • 標準功率 Wi-Fi 可能會影響既有及未來使用 L6 頻段之室內低功率 Wi-Fi 用戶，並

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	贊成方	反對方
	應用。	減少其他免執照設備可使用之頻寬容量。
討論重點：AFC 系統監理規範	• Wi-Fi 聯盟、高通、NOKIA 皆願意提供 AFC 系統。 • 建議 Ofcom 得參考美國 FCC 相關作法，訂定 AFC 系統監理規範（包含技術條件），以確保技術一致性，並提升 AFC 業者布建速度。 • 部分利害關係人（Wi-Fi 聯盟）：針對已獲得 FCC 授權之 AFC 系統，建議 Ofcom 得採用較簡化的審核流程。	• 建議 Ofcom 應自行訂定 AFC 系統監理規範（包含運作標準、審核程序），並以公平性與透明性為原則，審查 AFC 業者之申請。 • 部分利害關係人（Vodafone）：Ofcom 應依英國國情訂定 AFC 系統監理規範，而非完全援引美國 FCC 相關作法，亦不得直接採納美國 FCC 之審查結果。

資料來源：Ofcom（2025）

(2) U6 頻段（6425-7125 MHz）

A. Ofcom 就 U6 頻段之具體規劃

關於 U6 頻段之規劃，Ofcom 聚焦於研究行動及 Wi-Fi 共用 U6 頻段之可能性。Ofcom 延續 2024 年 5 月的「6 GHz 頻段上半部分供行動及 Wi-Fi 使用」文件，提出「優先頻譜分配（Prioritised spectrum split）」以及「區分室內與室外」共兩種共享使用方案，Ofcom 同時說明未來預計採取分階段策略，第一階段開放室內低功率 Wi-Fi（250mW/24dBm）使用 6425-6645 MHz、6685-7125 MHz 頻段；待歐洲各國有明確協調結果後，Ofcom 將展開第二階段，開放行動用途使用 U6 頻段。

- 優先頻譜分配（Prioritised spectrum split）

因應 WRC-27 議程項目 1.7 將討論於第 1 區開放 7125-7250 MHz、7750-8400 MHz 頻段供 IMT 使用，Ofcom 初步考量以頻譜連續性為核心，規劃將 U6 頻段之下半部（近 6425 MHz 端）分配為「Wi-Fi 優先部分」，U6 頻段之上半部（近 7125 MHz 端）則分配為「行動優先部分」，兩者得於不造成干擾之情況使用對

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

方的優先頻段。

目前具體分配點仍未確定，惟根據市場需求及技術發展，Ofcom 目前較傾向提供「Wi-Fi 優先部分」320 MHz，而「行動優先部分」則為 380 MHz。

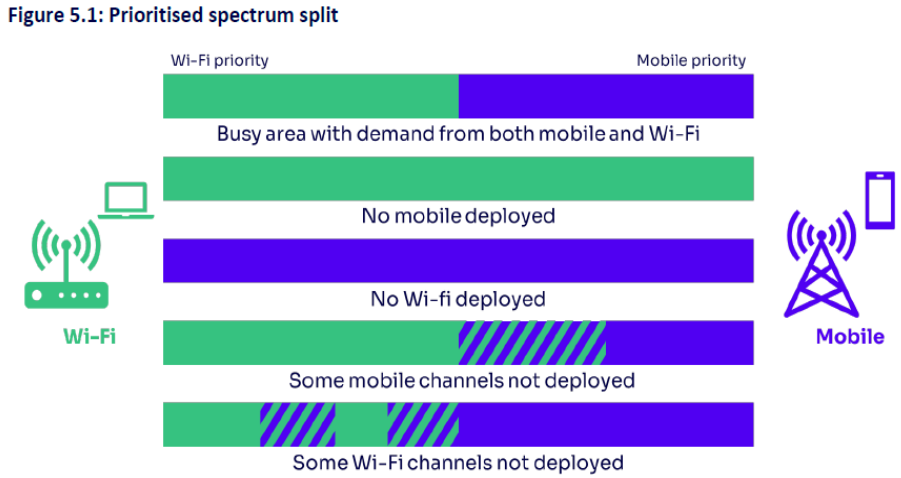


圖 3- 14、英國 U6 頻段之「優先頻譜分配」方案

資料來源：Ofcom （2025）

- 區分室內與室外

考量使用情境及穿透建築物之損耗，規劃將 U6 頻段於室內供 Wi-Fi 使用，於室外則供行動通信服務使用，以降低室外 3 GHz 之訊務量。另為避免對 Wi-Fi 產生干擾，同時確保行動通信既有基地臺提供穩定的室外涵蓋，Ofcom 初步將行動通信服務之發射功率設定為約 58 dBm/100 MHz EIRP。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

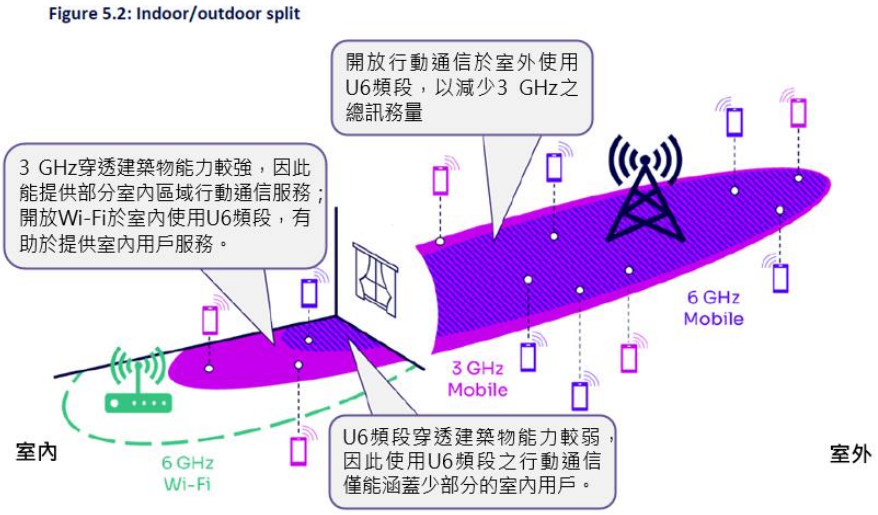


圖 3- 15、英國 U6 頻段之「區分室內與室外」方案

資料來源：Ofcom （2025）

B. 保護既有使用者之應對措施

目前 U6 頻段之既有使用者為短距離設備、衛星地球探測用途、衛星固定、英國國防部（MOD）、固定鏈路、無線電天文、節目製作與特殊事件轉播（PMSE）。針對未來開放行動、Wi-Fi 使用 U6 頻段後，可能對既有使用者產生之影響，Ofcom 初步規劃應對措施，本研究綜整重點如下。

表 3- 24、英國保護 U6 頻段既有使用者之應對措施

項目	既有使用者	應對措施
Wi-Fi	EESS	本頻段之 EESS 主要應用於海面溫度（Sea Surface Temperature, SST），SST 受到干擾之風險較低。配合 WRC-27 議程項目 1.19，Ofcom 將爭取新頻段供 EESS 使用。
	無線電天文用途	Ofcom 規劃禁止 Wi-Fi 使用 6645-6685 MHz，以保護無線電天文用途（使用頻段：6650-6675.2 MHz）既有使用者。
	PMSE	兩者難以於室內相鄰頻道中同時運作，Ofcom 考慮從操作面解決，如：透過調整 Wi-Fi 或無線攝影機使用頻道、使用 PMSE 頻道濾波器等。
行動	EESS	兩者干擾風險評估尚無定論，待 WRC-27 議程項目 1.19 通過後，可降低干擾疑慮。
	無線電天文用途	針對行動用途之同頻、鄰頻使用，增加協調要求。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

項目	既有使用者	應對措施
	PMSE	同頻道布建的情況下，於高功率行動基地臺周圍 10 公里內將產生較高的干擾風險。Ofcom 考慮未來禁止 PMSE 使用 7110-7125 MHz，或者限制 PMSE 僅能於高密度地區以外之區域借用該頻段。
	固定鏈路	高密度地區之固定鏈路受到干擾之風險較高，考量使用效益，Ofcom 考慮未來可能針對高密度地區及其周圍地區之固定鏈路進行清頻作業。
	衛星固定用途	遵循 WRC-23 決議，將 EIRP mask 納入行動通信執照技術條件。
	MOD	MOD 可能對附近的行動設備產生零星干擾，但影響不大。

資料來源：Ofcom （2025）

C. 利害關係人之意見

針對 Ofcom 所提出之 U6 頻段規劃，利害關係人間意見分歧，以全球行動設備供應商協會（Global Mobile Suppliers Association, GSA）、GSMA 為首之行動業者及設備商均持反對態度，除要求 Ofcom 開放完整 U6 頻段供行動通信使用外，亦呼籲 Ofcom 應待 CEPT 協調完成且共享技術成熟後再行規劃；然而 Wi-Fi 聯盟、IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會則持正面態度，認為 Ofcom 提出之分階段策略及優先頻譜分配方案均能有效支援 Wi-Fi 7 之布建，亦能有效鼓勵新興應用。本研究綜整重點利害關係人意見如下表所示[272]。

表 3- 25、英國 U6 頻段規劃之利害關係人意見綜整表

[272] Ofcom（2025）, Consultation: Expanding access to the 6 GHz band for commercial mobile and Wi-Fi services, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/innovative-use-of-spectrum/consultation-expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-commercial-mobile-and-wi-fi-services (last visited at 2025.10.13).

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

	贊成方	反對方
利害關係人	Wi-Fi 聯盟、IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會	GSA、GSMA、高通、NOKIA、Ericsson、BT Group、Vodafone、德國電信
討論重點：分階段策略	同意分階段策略，並建議於 2025 年實施第一階段，以支援 Wi-Fi 7 之布建。	反對分階段策略，建議應待 CEPT 協調完成且共享技術成熟後再行規劃： 若於第一階段開放 Wi-Fi 使用 U6 頻段，先布建之 Wi-Fi 設備技術恐無法符合 CEPT 後續公告之頻譜共享機制。 Wi-Fi 為免執照設備，因此 Ofcom 恐難以掌握 Wi-Fi 設備之具體數量。致使未來推行第二階段時，Ofcom 將耗費大量時間處理使用「行動優先部分」頻率之 Wi-Fi 設備移頻、同頻干擾等問題[273]。
討論重點：優先頻譜分配方案	原則同意優先頻譜分配方案，惟建議應提供充足連續頻譜給多個 Wi-Fi 通道（160 MHz、320 MHz）使用。	反對優先頻譜分配方案： 建議開放行動通信使用完整 U6 頻段，並得以全功率運作全部基地臺，且無需與免執照服務共享 U6 頻段。 建議遵循 3GPP 之決議，於 U6 頻段提供每個行動業者至少 200 MHz 頻率（不含護衛頻帶）。

[273] 若 Ofcom 認為有必要先行開放 Wi-Fi 使用 U6 頻段，Vodafone 建議 Ofcom 得以共享接取執照方式開放業者於 U6 頻段布建 Wi-Fi 設備，此舉不僅有助於掌握 Wi-Fi 之布建情形，亦得於第二階段開放行動通信使用 U6 頻段時，Ofcom 即可就布建於「行動優先部分」頻段之 Wi-Fi 設備，採取撤銷執照等必要措施。資料來源：Vodafone(2025), Vodafone Response to Ofcom Consultation: Expanding access to the 6 GHz band for mobile and Wi-Fi services, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-3-4-weeks/consultation-expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-commercial-mobile-and-wi-fi-services/responses/vodafone.pdf?v=397083

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	贊成方	反對方
討論重點：區分室內與室外方案	無表示意見。	電信業者（BT Group、Vodafone、德國電信）均反對區分室內與室外方案： Ofcom 所設定之功率限制（58 dBm/100 MHz EIRP）將影響消費者於室內使用行動通信服務之權益，亦會導致涵蓋範圍不足。最終行動業者需布建更多小型基地臺以補足涵蓋範圍（室內），不僅拉高行動業者之營運成本，亦會影響室內 Wi-Fi 之運作。
討論重點：無線電天文用途之保護	建議 Ofcom 應再評估無線電天文用途與 Wi-Fi 共存議題，並開放 Wi-Fi 使用 6645–6685 MHz 頻段。	建議 Ofcom 應再評估無線電天文用途與行動用途之共存議題，以避免就行動通信訂定過於嚴苛之技術條件限制。

資料來源：Ofcom（2025）

D. 小結

綜上所述，相較於 L6 頻段，利害關係人對於 U6 頻段之使用意見較為分歧，具體可分為 Wi-Fi 方、行動通信方以及既有使用者（Viasat 等），Wi-Fi 方及行動通信方皆積極爭取完整 U6 頻段之使用權，而既有使用者則呼籲 Ofcom 應採取措施降低新用途所產生之潛在干擾，綜整各方意見如下。

- 既有使用者（如：Viasat 等）

目前 Viasat 衛星上行鏈路之使用頻率為 6425-6575 MHz，由於 ITU、CEPT 之研究均指出於 U6 頻段開放行動通信將對衛星固定用途產生嚴重干擾，因此 Viasat 建議 Ofcom 應錯開兩者使用頻段，亦即將行動通信使用頻率改為 6575-7125 MHz，而 6425-6575 MHz 頻段則僅開放給室內 Wi-Fi 使用[274]。同時 Viasat 建議

[274] Viasat（2025）, Your response, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-3-4-weeks/consultation-expanding-access-to-the-6-ghz-band-for-commercial-mobile-and-wi-fi-services/responses/viasat.pdf?v=397082

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

Ofcom 應依 WRC-23 Resolution 220 決議就行動通信訂定功率限制等相關規範，以保護衛星固定用途（FSS）之運作。

- Wi-Fi 方

綜觀 Wi-Fi 方之利害關係人（Wi-Fi 聯盟、IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會），可發現皆為國際組織，而非英國地區主要 Wi-Fi 提供商。其主張 U6 頻段有助於布建 Wi-Fi 7，能支援醫療、製造業及大型企業等關鍵需求，因此呼籲 Ofcom 儘快於今年開放 U6 頻段供 Wi-Fi 使用。

同時面對行動業者之訴求，Wi-Fi 方說明考量 U6 頻段穿透障礙物之能力以及與既有使用者共存可能性等因素，實在難以相信開放行動通信使用 U6 頻段能有效擴大涵蓋範圍。

- 行動通信方

行動通信方主張 3GPP 指出未來 6G 發展行動業者所需之最低頻寬為 200 MHz，而目前僅有 U6 頻段符合此需求，因此建議 Ofcom 應開放行動通信使用完整 U6 頻段。

同時面對 Wi-Fi 方之訴求，行動通信方強調現今英國主要 Wi-Fi 提供商皆為行動業者，從 Wi-Fi 提供商角度來看，英國目前仍廣泛使用 Wi-Fi 4，且僅有少量 Wi-Fi 設備能支援使用 L6 頻段，故現階段應著重於解決 Wi-Fi 設備技術升級問題，而非取得額外頻譜，因此建議開放 Wi-Fi 使用 L6 頻段即可。

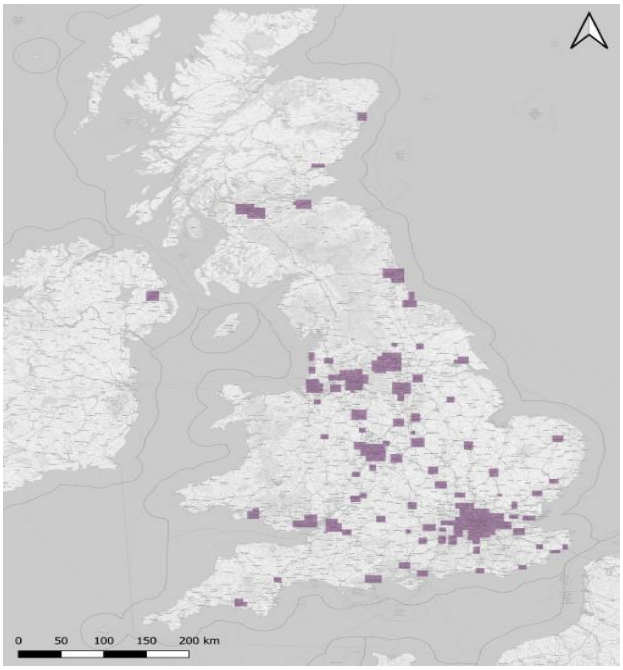
2. 英國毫米波頻段之未來使用規劃

毫米波頻段亦為 Ofcom 未來 3 年之發展重點，尤其 26 GHz 頻段及 40 GHz 頻段已被列為歐洲 5G 使用頻段，因此 Ofcom 自

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2022 年 5 月起開始規劃毫米波頻段之應用[275]。經考量毫米波頻段之傳輸特性及各地區行動通信訊務量需求，Ofcom 初步提出兩種釋照方式：

- 拍賣制：適用於 Ofcom 指定之高密度地區，Ofcom 先將「人口數達 75,000 人以上」且「行動通信資料流量高」之地區納入候選名單，後續依各地區基地臺密度及尖峰時段之行動通信訊務量進行綜合排名[276]，同時新增機場等客流量大之地點，最終選出 68 個高密度地區（如：倫敦、牛津等）[277]。



[275] Ofcom (2022), Enabling mmWave spectrum for new uses- Making the 26 GHz and 40 GHz bands available for mobile technology, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/237135-enabling-mmwave-spectrum-for-new-uses/may-2022-documents/mmwave-spectrum-condoc.pdf?v=327827

[276] Ofcom (2022), Enabling mmWave spectrum for new uses- Making the 26 GHz and 40 GHz bands available for mobile technology, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/237135-enabling-mmwave-spectrum-for-new-uses/may-2022-documents/mmwave-spectrum-condoc.pdf?v=327827

[277] Ofcom (2023), Statement and further consultation: Enabling mmWave spectrum for new uses, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/237135-enabling-mmwave-spectrum-for-new-uses/may-2023-documents/03-23-statement-and-consultation-mmwave2.pdf?v=329329

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 3- 16、英國 Ofcom 指定之 68 個高密度地區（參紫色方塊處）

資料來源：Ofcom （2025）

- 共享接取執照：適用於低密度地區，亦即 68 個高密度地區以外之其他地區。目前 Ofcom 已開放 26 GHz 頻段（24.45-27.5 GHz）供需求者申請[278]。

歷經 3 年之協調及修法後，Ofcom 最終宣布將於高密度地區以拍賣方式釋出 26 GHz 頻段（25.1-27.5 GHz）以及 40 GHz 頻段（40.5-43.5 GHz），供 5G 等行動通信使用，而低密度地區則採用共享接取執照方式，開放給需求者申請[279]。

(1) 26 GHz 頻段之既有使用者與整備作業

26 GHz 頻段（25.1-27.5 GHz）之既有使用者為短距離裝置（Short Range Devices, SRDs）、超寬頻（Ultra-Wideband, UWB）雷達、固定鏈路、衛星地球電臺、共享接取執照（室內低功率）以及英國國防部，而鄰頻（23.5-25 GHz）使用者則為 SRDs、UWB 雷達、無線電天文、衛星地球探測（被動式）、鐵路平交道雷達（Level Crossing Radar）、PMSE、固定鏈路、共享接取執照（室內低功率）。

[278] Ofcom(2025), Shared Access Licence Guidance document, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-supporting-increased-use-of-shared-spectrum/associated-documents/shared-access-licence-guidance-document-2024.pdf?v=388817

[279] Ofcom (2025), Award of licences in the 25.1-27.5 and 40.5-43.5 GHz bands Information Memorandum, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/237135-enabling-mmwave-spectrum-for-new-uses/associated-documents/nov-204-updates/mmwave-information-memorandum-v3.0-002.pdf?v=402790

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

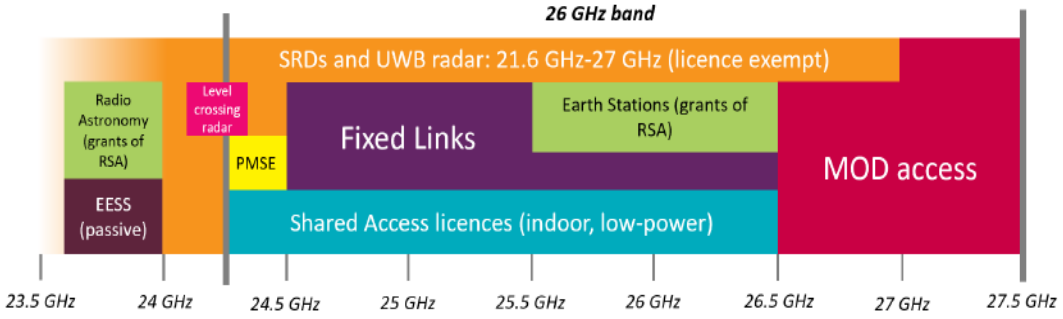


圖 3- 17、英國 26 GHz 頻段之同頻、鄰頻既有使用者

資料來源：Ofcom （2022）

固定鏈路（使用頻率：24.5-26.5 GHz）為 26 GHz 頻段之主要既有使用者，然而 Ofcom 所作之「頻率可用性分析報告」結果顯示若以保護固定鏈路為前提釋出頻率，將大幅影響行動通信等新興使用者之可用頻率及布建地點，不利於頻率創新應用。Ofcom 審慎考慮頻率使用效益及清除固定鏈路之成本等因素後，決定於 2023 年 12 月對高密度地區及其周邊地區之固定鏈路執照持有人（約 550 個）發布通知，要求其於 5 年內完成移頻作業，否則其執照將於 2028 年 12 月 31 日正式被撤銷。

(2) 40 GHz 頻段之既有使用者與整備作業

40 GHz 頻段（40.5-43.5 GHz）之既有使用者為無線電天文、共享接取執照、固定鏈路、衛星固定，而鄰頻（39.5-40.5 GHz、43.5-45.5 GHz）使用者則為英國國防部、衛星地球探測、衛星固定等。

固定鏈路為 40 GHz 頻段之主要既有使用者，截至 2023 年 5 月，高密度地區及其周邊地區共有 3293 個固定鏈路使用 40 GHz 頻段，然而 Ofcom 分析指出固定鏈路會降低行動通信等新興使用之頻率可用性，因此 Ofcom 於 2023 年 5 月 25 日通過「撤銷 40.5-43.5 GHz 既有固定鏈路頻率執照之法定程序」，要求固定鏈路執照持有人於 5 年內完成移頻作業，同時 Ofcom 將於 2028 年 6 月

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1 日正式撤銷其執照。另針對固定鏈路數量較多之部分既有使用者，Ofcom 將以核發單獨臨時執照之方式，另給予 1.5 年之寬限期（2028 年 6 月 1 日至 2030 年 1 月 1 日），惟該臨時執照僅供「位於前 10 大高密度地區以外」之固定鏈路使用，且該固定鏈路之數量上限為 500 個。

(3) 26 GHz 及 40 GHz 頻段之拍賣程序

本次拍賣將採用價格鐘拍賣機制（clock auction），其流程包含申請、資格審查、主要階段（Principal stage）、指派階段（Assignment stage）以及核配階段。Ofcom 將頻段分為 L26 GHz（25.1-26.5 GHz）、U26 GHz（26.5-27.5 GHz）、40 GHz（40.5-43.5 GHz）共 3 組，預計劃分 27 個頻塊（每頻塊為 200 MHz）。針對第 1 輪拍賣階段，L26 GHz、U26 GHz 之底價為 200 萬英鎊，40 GHz 則為 100 萬英鎊。26 GHz 與 40 GHz 頻率執照使用期限均為 15 年。

Ofcom 已於 2025 年 9 月 16 至 17 日開放競標申請，目前英國電信集團（BT Group）、Telefonica UK Limited、Vodafone Limited 共 3 家電信業者確認參與競標[280]。已於 2025 年 10 月 15 日啟動主要階段（Principal stage），而後於 10 月 16 日完成主要階段拍賣，決定取得多少頻寬，隨後於 10 月 24 日公告指派階段（Assignment stage）[281]之結果，決定各競價者實際得標之頻率位置，3 家業者之得標頻段與標金如下表。

表 3- 26、英國 26 GHz 與 40 GHz 頻段拍賣結果

[280] Ofcom (2025), mmWave Auction, https://www.ofcom.org.uk/spectrum/spectrum-awards/award-of-26-ghz-and-40-ghz-mmwave-spectrum-by-auction (last visited at 2025.10.14).

[281] Ofcom (2025), Award of the mmWave (26 GHz and 40 GHz) spectrum bands, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/237135-enabling-mmwave-spectrum-for-new-uses/associated-documents/oct-25-updates/regulation-120-results-of-the-mmwave-auction.pdf?v=406750

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

得標業者	頻率	得標金
BT Group	26.7-27.5 GHz （800 MHz）	£13,000,000
	41.5-42.5 GHz （1000 MHz）	
Telefonica UK Limited	25.1-25.9 GHz （800 MHz）	£13,000,000
	40.5-41.5 GHz （1000 MHz）	
Vodafone Limited	25.9-26.7 GHz （800 MHz）	£13,000,000
	42.5-43.5 GHz （1000 MHz）	
合計	-	£39,000,000

資料來源：Ofcom（2025）

(三) 6G 產業新技術推動的政策動向

非地面網路為 6G 不可或缺之一環，隨著非地面網路之高速發展，衛星直連裝置（Direct to Device, D2D）等新興應用逐步成為全球關注焦點。Ofcom 自 2024 年 6 月起就 D2D 議題發布「從天空及太空改善行動連接性意見徵集文件」（Call for Input：Improving mobile connectivity from the sky and space）[282]，並於同年 11 月就該意見徵集活動發布回應文件[283]，宣布將於 2025 年公告 D2D 具體規劃草案。

Ofcom 於 2025 年 3 月 25 日公布「在行動通信使用頻段啟用衛星直連設備服務諮詢文件」（Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands）[284]，內容說明 D2D 服務有助於

[282] Ofcom(2024), Statement：Improving mobile connectivity from the sky and space-summary of responses and next steps, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-2-6-weeks/call-for-input-improving-mobile-connectivity-from-the-sky-and-space/main-documents/improving-mobile-connectivity-from-the-sky-and-space---summary-of-responses-and-next-steps.pdf?v=385776

[283] Ofcom(2024), Call for Input：Improving mobile connectivity from the sky and space, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-2-6-weeks/call-for-input-improving-mobile-connectivity-from-the-sky-and-space/main-documents/call-for-input-improving-mobile-connectivity-from-the-sky-and-space.pdf?v=370909

[284] Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

補充地面網路涵蓋範圍，並提升通信韌性，確保天災等緊急時刻下之穩定通信，然而考量 D2D 所衍生之頻譜干擾等問題，因此 Ofcom 針對使用 IMT 行動通信頻段之 D2D 服務提出 3 種具體管理方案，並探討 D2D 服務之服務鏈路（Service link）頻譜管理議題。本次公開諮詢時間至 2025 年 5 月 20 日截止。相關重點綜整如下：

1. 基本條件

Ofcom 設有幾項 D2D 服務之基本條件，首先 D2D 服務提供者應為與取得全國性頻率執照之行動網路業者（Mobile Network Operator，MNO）合作之衛星業者，另針對 D2D 服務範圍，僅限於英國陸地及領海，不包含海上平臺、海峽群島（Channel Islands）、曼島（Isle of Man）。

Ofcom 初步規劃開放 3 GHz 以下之 IMT 行動通信頻段供 D2D 服務使用，考量對相鄰頻道之行動系統產生干擾風險可能性，Ofcom 說明短期內不會開放採用分時雙工（Time Division Duplex, TDD）模式之頻段供 D2D 服務使用。

表 3- 27、Ofcom 規劃開放供 D2D 使用之行動通信頻段

頻段	頻率範圍		雙工模式 (Duplex Mode)
	終端設備發射/行動基地臺接收	行動基地臺發射/ 終端設備接收	
700 MHz	703-733 MHz	758-788 MHz	FDD[285]
	-	738-758 MHz	SDL[286]
800 MHz	832-862 MHz	791-821 MHz	FDD
900 MHz	880.1-914.9 MHz	925.1-959.9 MHz	FDD
1400 MHz	-	1452-1492 MHz	SDL

10-weeks/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands/main-documents/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands.pdf?v=393278

[285] 分頻雙工（Frequency Division Duplex，FDD）

[286] 補充下行鏈路（Supplemental Downlink, SDL）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段	頻率範圍		雙工模式 (Duplex Mode)
	終端設備發射/行動基地臺接收	行動基地臺發射/ 終端設備接收	
1800 MHz	1710.1-1785 MHz	1805.1-1880 MHz	FDD
2100 MHz	1920-1979.7 MHz	2110.3-2169.7 MHz	FDD
2600 MHz	2500-2570 MHz	2620-2690 MHz	FDD

資料來源：Ofcom（2025）

2. 干擾風險與技術條件

目前 D2D 服務所產生之干擾風險可分為「區域外干擾」及「不必要發射」兩種情形：

- 區域外干擾（out of area）：係指衛星信號觸及 D2D 服務範圍外之地面，進而提高鄰國行動網路受干擾之風險；
- 不必要發射（Unwanted emissions）：係指衛星使用未取得授權之頻率進行發射。

針對上述兩種干擾情形，Ofcom 草擬 D2D 服務衛星發射之技術條件，並依不同既有使用者分別提出相應解決方式，綜整如下表。

表 3- 28、D2D 干擾情境與 Ofcom 擬議解決方式

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

干擾情境		擬議解決方式
1	衛星業者與 MNO 合作提供 D2D 服務，當 D2D 服務與該 MNO 之既有地面行動服務地點相同，且使用相同頻率時，可能會產生自我干擾，影響該 MNO 之既有地面行動服務。	由衛星業者與 MNO 自行協商處理。
2	D2D 服務可能干擾其他 MNO 之地面行動服務。	• Ofcom 草擬「D2D 衛星傳輸之技術條件」，內容包含衛星發射功率總數限制[287]、發射最小仰角（每個行動用途頻段之發射最小仰角皆為 20 度）。 • 未來待 WRC-27 決議公告後，Ofcom 將視情況調整該技術條件。
3	D2D 服務可能干擾鄰近國家。	• Ofcom 與鄰國間有簽訂相關合作備忘錄，內容包含地面行動網路之跨境功率閾值 (cross-border power thresholds)限制等條件，MNO 必須遵守上述相關條件。 • 縱使現行合作備忘錄中並未就「D2D 衛星發射之跨境功率閾值」訂定相關條件，但業者仍需遵守 ITU「無線電規則」第 4.4 條規範，以「無干擾、無保護」為基礎提供 D2D 服務。

[287] 行動下行頻率（mobile downlink spectrum）之 D2D 衛星不必要發射以及區域外干擾之功率限制（適用於地球表面）：

行動用途頻段	行動下行頻率之功率通量密度(PFD)限制
700 MHz、800 MHz、900 MHz	-119 dBW / MHz / m2
1400 MHz	-113 dBW / MHz / m2
1800 MHz、2100 MHz	-111 dBW / MHz / m2
2600 MHz	-108 dBW / MHz / m2

資料來源：Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands/main-documents/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands.pdf?v=393278

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

干擾情境		擬議解決方式
4	D2D 服務與鄰頻既有使用者之共存。	針對擬開放供D2D使用之行動通信頻段，Ofcom 評估 D2D 服務與鄰頻既有使用者之共存可能性。評估結果顯示使用 1400 MHz 與 2600 MHz 之 D2D 服務將提高鄰頻既有使用者受到干擾之風險[288]，對此 Ofcom 說明將就上述頻段研擬相應之技術條件。

資料來源：Ofcom（2025）

3. 開放 D2D 服務之 3 種監管方案

針對D2D服務之頻譜管理議題，Ofcom認為應著重於探討D2D對同頻與鄰頻既有使用者（包含鄰近國家）之干擾風險，同時以確保衛星業者與 MNO 之間頻率共享為核心，研擬 D2D 用途之衛星發射技術規範。最終 Ofcom 以客觀合理、非歧視性為原則，研擬 3 種 D2D 用途監管方案，並辦理公開諮詢，以下分述之。

（1）方案 1：若 D2D 用途使用之行動裝置符合現行豁免規範，則免除申請執照

為降低產生有害干擾之風險，Ofcom 提出應新增以下條件：開放 D2D 用途使用之頻率、豁免範圍之地理邊界、協調、紀錄保存及報告。

就監管層面而言，Ofcom 考慮修正現行豁免規範所耗費之時間過長，且此方案並未就 D2D 業者訂定相關義務，致使 Ofcom 難以於發生干擾時對 D2D 業者採取法律強制措施，故 Ofcom 並未將此

[288] 針對 1400 MHz，D2D 用途可能會干擾鄰頻既有使用者(英國國防部、無線電天文用途)；而針對 2600 MHz，D2D 用途可能會干擾鄰頻既有使用者(民用及軍用航空雷達、無線電天文用途)。資料來源：Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands/main-documents/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands.pdf?v=393278

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

方案列為首選。

（2）方案 2：針對 MNO 提供的可使用 D2D 用途之行動裝置，若 MNO 已變更現有執照，將 D2D 用途之協調條款納入執照時，則免除申請執照

任何欲提供 D2D 用途之 MNO，應主動向 Ofcom 提出變更現有執照（限於 D2D 用途使用頻段）之申請，業者申請變更執照時，應提供 D2D 用途使用頻率之詳細資訊、MNO 與衛星業者間的商業契約，該商業協議內容應包含要求衛星業者遵守相應技術條件之契約條款，Ofcom 另要求 MNO 應提交有能力遵守 Ofcom 草擬之「D2D 衛星傳輸之技術條件」之證據。

就監管層面而言，此方案透過變更執照方式課予 MNO 相應條件，並確保於發生干擾時 Ofcom 能及時要求 MNO 處理，若 MNO 違反執照條件時，Ofcom 亦得採取法律強制措施。因此 Ofcom 將此方案列為首選。

（3）方案 3：增設「D2D 用途之終端用戶（行動裝置）執照」

針對可使用 D2D 用途之行動裝置，提供 D2D 用途之 MNO 與衛星業者需共同向 Ofcom 提出「D2D 用途之終端用戶（行動裝置）執照」之申請，經 Ofcom 審核通過後，MNO 與衛星業者將共同持有執照。考量該行動裝置之實際使用者為一般消費者，因此 Ofcom 要求 MNO 需將執照利益授權給消費者，並載明於契約。

就監管層面而言，方案 3 有助於確保執照持有人（MNO 與衛星業者）遵守執照條件，包含於 D2D 用途產生干擾時共同解決干擾等，且 Ofcom 亦得針對違反執照條件之 MNO 與衛星業者採取法律強制措施。惟此方案對於利害關係人之負擔較大，由於需要額外的管理和契約步驟，因此 Ofcom 並未將此方案列為首選。

表 3- 29、D2D 用途監管方案之綜整比較

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	條件	方案 1	方案 2	方案 3
共同適用	頻率	要求業者具體提出於各開放頻段欲使用之頻塊。		
	地理範圍	英國內陸及領海，不包含海峽群島、曼島		
	與同頻道、鄰頻使用者之協調	需遵守 Ofcom 草擬之「D2D 衛星傳輸之技術條件」		
	國際跨境協調	須符合 Ofcom 不定期通知的跨境協調公告及共享程序		
	無干擾、無保護原則	需以「無干擾、無保護」為基礎提供 D2D 用途，若產生有害干擾，D2D 用途提供者應立即停止發射。		
	紀錄保存與報告	需製作並保存書面紀錄，供 Ofcom 確認		
僅適用特定方案	有效期間(僅適用方案 2、3)	-	2028 年	
	修改、限制、關閉(僅適用方案 2、3)	-	保留 Ofcom 要求執照持有人修改、限制或關閉使用其無線電設備之權利	
	費用(僅適用方案 3)	-	-	需繳交年費，費用係以行政成本為導向計算。

資料來源：Ofcom（2025）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

四、 日本

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

日本總務省（Ministry of Internal Affairs and Communications, MIC）於 2025 年（令和 7 年）9 月 11 日公告該財政年度之「頻率整備行動計畫」草案版（周波数再編アクションプラン—令和 7 年度）[289]，並自同年 9 月 12 日至 10 月 14 日徵詢各界之意見。令和 7 年之草案版延續 2004 年（平成 16 年）最初制定公布「頻率整備行動計畫」（周波数再編アクションプラン）之核心宗旨，為促進有限無線電波資源之有效利用，並因應新興無線電技術應用系統之導入，以及持續增長之頻譜需求，每年應重新審查、因應調整政策並公布該財政年度之頻率整備行動計畫，確保日本頻譜規劃政策之透明度與可預測性，以促進頻譜資源穩定且順利地重耕（或稱重組）與整備。



圖 3- 18、日本制定頻率整備行動計畫流程圖

資料來源：總務省

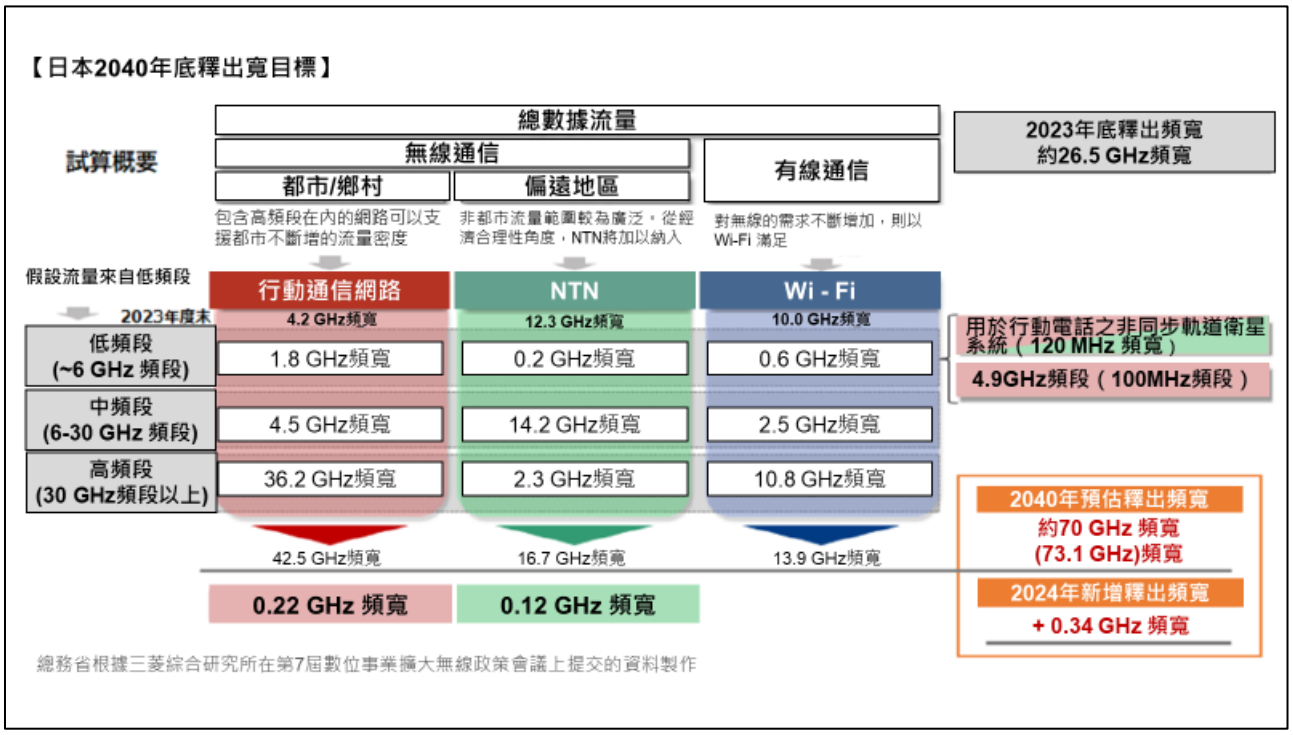
承上，2025 年所公告之頻率整備行動計畫（令和 7 年度版）係

[289] 総務省，周波数再編アクションプラン（令和 7 年度版）の公表草案，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000557.html （最後瀏覽日：2025/9/26）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

根據 2024 年 8 月「無線電政策委員會擴大數位用途之報告」（デジタルビジネス拡大に向けた電波政策懇談会報告書）所調整及撰寫，主要探討直至 2040 年底為止，將如何有效規劃與管理頻譜資源，並釋出總計約 73.1 GHz 之頻寬，以滿足行動通信（約 42.5 GHz）、Wi-Fi（約 13.9 GHz）及非地面網路（約 16.7 GHz）等新興技術與用途之發展與頻譜需求，並專注於推動 5G 普及、改善無線區域網路（Wireless LAN）、擴大無人機之使用範圍、提升公共事業用之頻譜利用效率，以及推動車聯網（Vehicle-to-Everything, V2X）、NTN、Beyond 5G 等研究發展與創新應用。

截至 2023 年底，日本已釋出共計約 26.5 GHz 之頻寬，2024 年再釋出總計 340 MHz 頻寬，其中 220 MHz 頻寬供行動通信網路使用（2 GHz 頻段 120 MHz 頻寬、4.9 GHz 頻段 100 MHz 頻寬[290]）；120 MHz 頻寬供非地面通信網路使用，詳細規劃如下圖所示：



[290] +Digital, 貴重な「4.9GHz 帯」の獲得に名乗りを上げたのがソフトバンクだけだった理由, https://news.mynavi.jp/article/mobiletopics-143/?utm（最後瀏覽日：2025/9/26）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 3- 19、日本至 2040 年底之釋出頻寬目標

資料來源：總務省

MIC 為因應無線電應用場景日趨多元且複雜化，因此在無線電頻譜資源之規劃上，必須整體考量傳統類比無線電系統之數位化、既有頻率資源之遷移與重耕，以及不同無線電用途間頻率共享之可行性等議題，此外，關於新興通信技術之導入與應用場景擴展，諸如：B5G/6G、車聯網，以及高空通信平臺（High Altitude Platform Station, HAPS）等均須納入評估，並妥善配置頻譜資源，以確保頻譜之有效運用及未來通信基礎之持續演進。

其中涉及 6 GHz 頻段（落於 3.4-8.5 GHz 該區段間）之規劃政策，MIC 規劃於 2025 年確認 6 GHz 頻段無線 LAN 於室外使用，以及 6.5 GHz 頻段（6425-7125MHz）頻譜擴展之技術條件。在研究技術條件之過程，將考量 WRC-23 中關於 IMT 之指定頻段（7025-7125 MHz），同時研究自動頻率協調（AFC）系統之配置與運行方式，以避免對既有無線電臺的干擾。此外，針對 6.5 GHz 頻段，將調查目前該頻段之使用狀況，同時評估與無線 LAN 共享頻率之因素後，進行頻譜重耕之考量，至於該項任務之進展或時程規劃，則有待持續追蹤觀察。

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

日本將 6G 產業新技術推動之政策聚焦於引入頻譜拍賣制度以釋出 5G/6G 候選頻段（26 GHz 與 40 GHz）、改善無線區域網路（Wireless LAN）、擴大無人機之使用範圍、提升公共事業用之頻譜利用效率，以及推動車聯網（Vehicle-to-Everything, V2X）、NTN、Beyond 5G 及 6G 等研究發展與創新應用等面向，主要重點措施說明如下：

1. 引入頻譜拍賣制度以釋出 5G/6G 候選頻段

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

日本對於無線電頻譜之管理與核配，長期以來均採取審議制，並以受理申請並核發電臺執照為核心，於此頻譜釋出之制度架構下，日本政府可藉由審查申請、課予條件限制、設定執照期間或頻段重新分配等手段，進行頻譜使用之管理，惟此項制度在頻譜資源稀少、頻譜需求大幅提升、技術發展、產業高度競爭及提升頻譜使用效率等因素下，恐面臨頻譜使用效率及公平性之挑戰。對此，日本於 2025 年 4 月修訂[291]「電波法」第 27 條之 20 之 2（第二十七条の二十の二），首次引入拍賣制度分配無線電頻譜[292]，允許就 6 GHz 以上更高頻段採行有條件拍賣之制度。

承上，MIC 於同年 5 月 19 日發布「26 GHz 及 40GHz 頻段第五代行動通信系統之使用調查」之徵詢文件[293]，並於同年 7 月 15 日公布調查結果[294]，截至意見徵詢期間為止，MIC 共計收到 9 間業者[295]之徵詢回覆意見，多數業者傾向放寬執照條件，諸如：免除基地臺建設義務、將終端設備之普及性納入規劃時程，以及為後進者提供競標優惠，經爬梳與綜整徵詢回覆意見後，具體建議

[291] 電波法の一部改正（令和 7 年 4 月 25 日法律第 27 号〔第 1 条〕公布の日から施行），https://www.sn-hoki.co.jp/article/pickup_hourei/pickup_hourei4116572/?srsltid=AfmBOooVLErsqQ2Tlavq30maTQQc_v_de-OD-gGTlEqWQDQE0QabV4pD&utm （最後瀏覽日：2025/10/01）

[292] 總務省，電波法，https://laws.e-gov.go.jp/law/325AC0000000131/#Mp-Ch_2-Se_1-At_27_20_2 （最後瀏覽日：2025/10/01）

[293] 總務省, 26GHz 帯及び 40GHz 帯における第 5 世代行動通信システムの利用に関する調査の実施，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000698.html （最後瀏覽日：2025/10/01）。意見徵詢期間則為 2025 年 5 月 19 日至 6 月 18 日。

[294] 總務省, 26GHz 帯及び 40GHz 帯における第 5 世代行動通信システムの利用に関する調査の結果の公表，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000716.html （最後瀏覽日：2025/10/01）

[295] 株式会社ＮＴＴドコモ、ＫＤＤＩ株式会社/沖縄セルラー電話株式会社、ソフトバンク株式会 社、楽天モバイル株式会社、Sharing Design 株式会社、ソニーワイヤレスコミュニケーションズ株式会 社、阪神電気鉄道株式会社、一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟及びＡ社(由於該公司名稱不願透露，因此稱為 A 社)。

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

如下：

- 全球 26 GHz 頻段之應用仍處於發展初期，且傳播特性不適合廣域涵蓋，不應強加建設義務，並應考量設備上市進度。
- 反對設定基地臺建設義務目標數量，並建議在設定最低出價金額時，從提高業者出價意願之角度出發，盡可能降低金額。
- 由於日本首次引入拍賣制度，應預留充足時間進行規則設計與說明，並建議採取簡潔的拍賣形式。
- 應對後進業者提供得標折扣優惠，甚至預留特定頻段，以確保參進機會。

至於 40 GHz 頻段，多數業者之競標意願不高，僅建議未來視需求在高流量地區或特定產業中使用。對此，MIC 雖原計畫同時釋出 26 GHz（25.25-27 GHz）與 40 GHz（40.5-43.5 GHz）頻段，但考量到業者對於 40 GHz 頻段採取保守之態度，因此該頻段是否最終納入次首次拍賣仍存在變數。

2. 無線區域網路之效能提升與頻率擴展

提升無線區域網路（Local Area Network, LAN）效能和擴展頻譜為促進無線 LAN 技術升級與頻譜擴展，計畫如下：

（1）5925-6425MHz 頻段：參考國際趨勢，推進窄頻設備之頻譜共享研究。

（2）6 GHz 及 6.5GHz 頻段（6425-7125MHz）：研究 6 GHz 頻段無線 LAN 之室外使用及 6.5 GHz 頻段之頻譜擴展，並將於 2025 年確定技術條件。在此過程中，將考量 WRC-23 中 IMT 指定之頻段（7025-7125 MHz），同時研究 AFC 系統之配置

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

與運行方式，以避免對既有無線電臺干擾。

3. 推動 V2X（Vehicle-to-Everything）研究

為促進自動駕駛（含安全輔助駕駛）技術發展，計畫在現有之 ITS 頻段（760 MHz 頻段等）外，新增 5.9 GHz 頻段（5850-5925MHz）供 V2X 通信使用。根據 2023 年 8 月之總結報告，已提出將 5895-5925MHz 頻段（最多 30 MHz 頻寬）分配給 V2X 通信，並繼續進行相關之具體研究，包含持續推動頻譜共享及現有系統之頻段遷移等工作。同時，政府將在新東名高速等地進行實驗和技術驗證，計畫於 2026 年度內完成 V2X 通信頻譜之分配。

4. 非地面網路之進階應用

為實現超廣域通信，推動 HAPS 及 NGSO 通信系統之發展，日本政府及行動通信業者均致力於研究及開發 HAPS 相關研究與應用，以 HAPS、低軌衛星與頻率共享技術為核心，推動 NTN 生態系統，並持續發展及推動下列技術與制度之建立，確保 NTN、5G 及既有系統能和諧發展：

- 700 MHz 衛星直連通信系統

  為引入使用 700 MHz 頻段運作之衛星直連通信系統，MIC 將持續研究其與既有 ICT 系統之頻率共享技術條件，並預計於 2026 年底完成制度化。

- Ka 頻段非同步軌道衛星

  MIC 目前正研議導入 Ka 頻段低軌衛星通信系統。MIC 將持續考量與現有無線電通信系統共享頻率之條件，並計畫於下一財政年度實施相關制度。

- 拓展 5G 應用空域

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

為擴展 5G 於空域之使用，將推動 3.7 GHz 與 4.5 GHz 頻段結合其他無線頻段的應用。持續研擬避免對既有系統造成干擾，並允許無人機與其他空中設備使用之相關技術。

關於 NGSO 通信系統之發展，日本將立基於 WRC-23 之決議內容與國際發展現狀，推動有關頻率共享、核准程序等技術條件之研究。2025 年 4 月 10 日起，日本行動通信業者 au 透過 Starlink 衛星使用 au 獲配之 2.1 GHz 頻段，向 au 之用戶提供「au Starlink Direct」衛星直連手機之通信用途。現階段 au 用戶使用支援此項直連功能之手機型號，無需申請、更換硬體或下載應用程式，即能免費使用衛星直連行動通信用途[296]。此外，日商 Space Compass 與行動通信業者 NTT DOCOMO2025 年 3 月 3 日，於肯亞萊基皮亞郡（Laikipia County, Kenya）平流層上空，成功完成 HAPS 與地面 4G 通信設備（基地臺及智慧型手機）之傳輸連接測試[297]，並於 2026 年完成相關技術標準和頻譜使用條件之制定。

此外，隨著無人機在物流、災害應對、農業、基礎設施檢查及娛樂等領域之需求增長，日本正推動無人機使用頻譜之研究。計畫使用 4G（3.4/3.5 GHz）、5G（3.4/3.5/3.7/4.5/4.9/28 GHz）及 5G 專網（4.6-4.9 GHz、28.2-29.1 GHz）頻段等，並於 2024 年 7 月啟動技術條件檢討，確保在不干擾其他無線系統之前提下實現無人機空中應用。同時，針對 5.8 GHz 頻段，為促進國際頻譜協調，已於 2024 年 11 月公告特定實驗測試電臺可使用之頻段範圍，讓 5.8 GHz 頻段之無人機能以簡易之程序在日本進行實驗性飛行。

---

296 KDDI, au Expands Coverage to Cover All of Japan with au Starlink Direct, a Direct to Cell Satellite Service, https://s.moda.gov.tw/cXJTQCZXrwA8 （last visited：2025/6/3）

297 Space Compass, Space Compass and NTT DOCOMO Successfully Demonstrate Data Connectivity to 4G Devices via HAPS at 20 km Above Kenya, https://space-compass.com/en/news/000074.html （last visited：2025/6/3）

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

5. 促進公共用途頻率有效使用

針對公共用途用無線系統，調查其使用狀況，並推動數位化及頻譜共用策略，目標是提升防災、防洪系統、石油儲備等與公共用途相關之數位化與通信能力，並在技術條件允許之情況下，分配更多頻譜供其他用途使用。

6. 其他用途之頻率調整

針對「數位 MCA 地面行動通信系統」（Digital MCA（Multichannel Access） Land Mobile Communication System）進行頻率調整，該系統為日本企業、地方政府或交通運輸業（如計程車、物流）使用的專用無線電通信系統，由於該類系統逐漸為行動通信所取代，故總務省規劃於 2029 年終止該系統使用頻率（850-857 MHz、895-900 MHz 與 930-937 MHz 等），並研議釋出供行動通信使用。

7. 推動 Beyond 5G / 6G 頻率與技術布局

為實現 AI 社會之下一代資通信基礎設施，總務省根據 2024 年 8 月發布之「Beyond 5G 推進戰略 2.0」，將重點推動三大領域：（1）全光網路（All-Photonics Network, APN），計畫於 2030 年實現多家營運商之間無縫連接並擴展國際市場；（2）非地面網路（NTN），推動 2025 年高空通信平臺系統（HAPS）之國內應用及衛星通信之全球化；（3）無線電接取網路（Radio Access Network, RAN），擴大 Sub-6 GHz 和毫米波之使用，並確保未來頻譜需求。此外， 日本在 2025 年大阪關西世界博覽會上展示最新技術，並透過新設立之「XG 行動推進論壇（XGMF）」推動產學官合作，以促進下一代行動通信之社會實施及國際合作。

MIC 將依據各界意見修訂與完善 2025 年頻率整備行動計畫，預計在今年底前正式公布，未來 MIC 將依循計畫內容持續推動頻譜整

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

備工作，穩健推進日本電波政策，強化無線通信基礎建設與產業競爭力，持續布局人工智慧與數位轉型的長期發展方向。

五、 韓國

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

韓國於 2023 年 12 月 17 日之 WRC-23 大會中，提出 3 個 6G 候選頻段並獲 WRC-23 會議採納，分別為 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz，共 2.2GHz 頻寬，預計於 2027 年 WRC-27 會議作出 6G 頻段決議[298]。

隨後韓國科學技術資通信部（Ministry of Science and ICT, MSIT）於 2024 年 9 月公布「韓國頻譜計畫」以及同年 10 月公布「第四次電波振興基本計畫」，提出韓國未來行動通信頻譜推動方向，規劃於 2024 年至 2027 年間推動 6G 候選頻段之研究課題，首先將盤點 3 個 6G 候選頻段在韓國之使用情形，並依據國際討論趨勢，決定是否維持原建議之 3 個 6G 候選頻段，最終將確定應以何種方式（如頻譜重耕或共享方式）釋出 6G 候選頻段。有關韓國 6G 候選頻段及目前韓國之使用情形如下圖所示[299]。

---

[298] MSIT（2023）, Spectrum Bands for 6G Successfully Identified at WRC-23, Paving the Way for a New Era of 6G, https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&pageIndex=&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=953&searchOpt=ALL&searchTxt=（last visited：2025/5/29）

[299] MSIT （2024）,전파로 확장하는 디지털 번영 대한민국! 과기정통부,「제 4 차 전파진흥기본계획」발표, https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=238&pageIndex=&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3185007&searchOpt=ALL&searchTxt=

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw



圖 3- 20、韓國 6G 候選頻段及目前韓國之使用情形

資料來源：MSIT，本研究整理

此外，韓國為確保未來行動通信頻率之供應，對於即將到期之行動通信頻率亦展開頻譜整備之規劃，其中 3G 及 4G 頻譜（共 370 MHz 頻寬）將於 2026 年到期，5G 頻譜（共 300 MHz 頻寬）將於 2028 年到期。MSIT 對於各頻段之重新分配考量因素如下[300]：

- 3G 頻段：依既有使用者保護、使用趨勢下降等因素綜合考量。
- 4G 頻譜：依頻率使用狀況、頻率資源必要性、三大電信業者需求等因素綜合考量。
- 5G 頻譜（3.4-3.7 GHz 頻段）：依使用狀況、未來需求等因素綜合考量。

2025 年 7 月 1 日 MSIT 宣布，將對 2026 年屆期之 3G 及 4G 行動通信頻譜進行重新分配，規劃於 2025 年底前公布重新分配之相關政策，包含釋出方式、價金、使用期限等細節。考量網路品質與容量需求，MSIT 擬將屆期頻譜全數重新分配予三家既有 MNOs（SK Telecom、KT、LG U+），以確保用途連續性、用戶權益以及提升頻譜資源效率[301]。有關韓國行動通信頻譜目前之分配情形及規劃，請參下表說明：

表 3- 30、韓國行動通信頻譜分配情形及規劃

[300] Id. At 51-52.

[301] 數位發展部(2025)，國際頻譜趨勢月報(2025 年 8 月)，頁 9。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

分類	頻段						合計	後續規劃
	800 MHz	900 MHz	1.8 GHz	2.1 GHz	2.6 GHz	3.5 GHz		
3G	-	-	-	20MHz 頻寬（SKT、KT，2026 年 12 月到期）	-	-	20 MHz 頻寬	確定於 2026 年重新分配
4G	40 MHz 頻寬（SKT、LG U+，2026 年 6 月到期）	20 MHz 頻寬（KT，2026 年 6 月到期）	35 MHz 頻寬（SKT、KT，2026 年 6 月到期） 55 MHz 頻寬（SKT、KT，2026 年 12 月到期）	100 MHz 頻寬（SKT、KT、LG U+，2026 年 12 月到期）	100 MHz 頻寬（SKT、LG U+，2026 年 12 月到期）	-	350 MHz 頻寬	確定於 2026 年重新分配
5G	-	-	-	-	-	300 MHz 頻寬（SKT、KT、LG U+，2028 年 11 月到期）	300 MHz 頻寬	-

資料來源：MSIT[302]，本研究整理

表 3- 31、韓國三家業者於 2026 年屆期頻譜所持有之頻寬

頻譜到期時間	SKT	KT	LG U+	合計
2026 年 6 月	20 MHz	55 MHz	20 MHz	95 MHz
2026 年 12 月	135 MHz	60 MHz	80 MHz	275 MHz
合計	155 MHz (42%)	115 MHz (31%)	100 MHz (27%)	370 MHz (100%)

資料來源：MSIT，本研究整理

此外，韓國亦積極參與國際 6G 標準化之制定，繼 2023 年 11 月參與 ITU 之 6G 願景框架後，於 2025 年 3 月在韓國仁川舉行之 3GPP 6G 技術研討會中，探討 6G 標準化推進之方向，包含 6G 需求研究成果、6G 所需無線電網路技術、6G 核心網路架構、原生 AI、開放式無線電接取網路、與 5G 技術之相容性、非地面網路技術、獨立組網等，本次會議由 MSIT 贊助，並由全球電信業者、通信製造商等領域，共 1,000 名技術標準專家參與，其中包含韓國電信技

[302] MSIT(2024), 대한민국 스펙트럼 플랜('24~'27), 頁 14。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

術協會（Telecommunications Technology Association, TTA）[303]。

在 U6 頻段之規劃部分，韓國早在 2020 年 10 月決定 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）共 1,200 MHz 頻寬，用於無線區域網路免執照設備使用（即 Wi-Fi）使用[304]。而為確保供應超高速、大容量之無線電頻率以因應數位化之無線網路環境，在 2024 年 10 月 MSIT 所公布之「第四次電波振興基本計畫」中，提出調整 6 GHz 頻段之 Wi-Fi 技術限制規劃。由於目前韓國 6 GHz 頻段雖開放給 Wi-Fi 使用，但仍與微波、中繼等用途共用頻段（如下圖所示），未來，MSIT 將於 6 GHz 頻段內增加低功率室內設備（LPI）之發射功率，但為避免干擾問題，將分階段陸續增加發射功率：

- 階段 1：在較低的 5925-6425 MHz 頻段中，優先增加功率。
- 階段 2：為確保行動廣播用途正常使用，除「行動廣播中繼」用途頻段外，將陸續檢視 6 GHz 中其他頻段是否可提升功率。

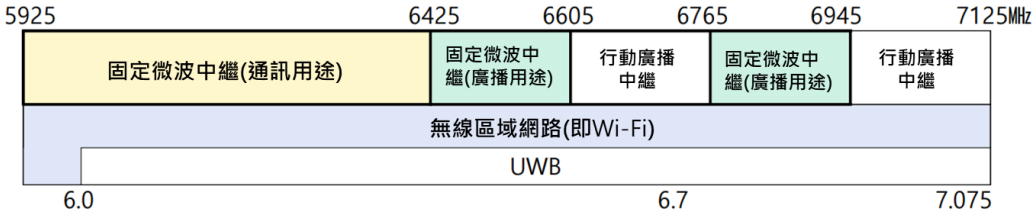


圖 3- 21、韓國 6 GHz 頻段之使用情形

資料來源：MSIT，本研究整理

表 3- 32、韓國 6 GHz 頻段之 Wi-Fi 技術限制調整規劃

項目	現狀	未來規劃

[303] MSIT（2025），6G 표준 글로벌 경쟁 본격화, 한국서 닻 올려, https://doc.msit.go.kr/SynapDocViewServer/viewer/doc.html?key=1ddebf6745a9443191f83150e915f067&convType=html&convLocale=ko_KR&contextPath=/SynapDocViewServer/。依照 3GPP 之 6G 標準化時程，預計 2024 年至 2026 年為 6G 技術標準與方法之評估階段、2027 年至 2029 年為 6G 技術驗證階段、2029 年至 2030 年為確定 6G 技術標準階段，目標於 2030 年實現 6G 商用化（last visited：2025/5/29）

[304] NewDaily, '5G 와이파이' 6 ㎓ 대역, 16 년만에 '비면허 주파수'로 공급, https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/2020/10/15/2020101500052.html（last visited：2025/5/29）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

通道寬度	160 MHz 頻寬內	320 MHz 頻寬內
功率輸出	250mW 以內	1000mW 以內
傳輸速率	10 Gbps 以上	23 Gbps 以上

資料來源：MSIT，本研究整理

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

MSIT 於 2024 年 10 月公布「第四次電波振興基本計畫」，其中提到韓國為成為全球電波產業之領導者，將發展 5 個戰略領域之 10 個關鍵技術（如下圖所示），相關說明簡述如下。



圖 3- 22、韓國推動無線電產業之策略

資料來源：MSIT，本研究整理

1. 衛星通信領域

(1) 物聯網衛星：目標強化韓國之全球行動通信競爭力，預計於 2040 年達到 800 兆韓元的全球低軌衛星市場競爭力。

(2) 下世代衛星：旨將地面之 IoT 用途範圍，延伸至偏鄉、海上等場域，以低成本實現高成本 IoT。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2. 非地面通信領域

(1) 空中通信：指 3D 空間行動通信整合，建構非地面網路新市場，目標 2040 年達到 730 兆韓元的空中交通海外市場。

(2) 水下/地下通信：旨在打造水下無線通信及穿透地層之無線通信，以進行生命探測、解決緊急通信問題。

3. Extreme 頻譜領域

(1) 超高頻通信/感測：利用 sub-Tera 高速無線通信、及利用高解析感測技術偵測氣候變遷。

(2) 突破媒介溝通限制：發展磁性表面/異質材料之電波通信、擴大水下及空中之傳輸範圍。

4. 電波能源領域

(1) 無線電力傳輸：提升現有無線電力傳輸技術，從短距離擴展到長距離。

(2) 降低無線電波功率：打造智慧節能技術，以實現零碳環境，藉由優化能源效率，為碳中和作出貢獻。

5. 電波融合領域

(1) 5G 應用：優化 5G 表現，強化 5G 網路安全，針對既有 5G 網路建設增加附加價值。

(2) 健康照護：藉由無線電技術進行診斷及治療，目標於 2030 年達到 1,000 兆韓元之數位醫療市場。

因應低軌道衛星與 6G 技術在全球通信市場仍處於發展階段，2025 年 2 月，MSIT 宣布與韓國宇宙航空廳（Korea AeroSpace Administration, KASA）啟動「低軌道衛星通信核心技術」計畫，以推動第六代行動通信技術之國際標準。考量低軌道衛星被視為地面

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

通信網路中斷下之有效替代方案，對國家安全之重要性逐漸受各國重視，但因衛星通信產業之技術難度較高、投資成本巨大，且失敗風險高，企業難以投入衛星通信產業。因此在此計畫中，將由政府領頭，並與民間機構合作，開發一套低軌道衛星系統（包含 2 顆低軌道衛星、地面電臺及終端站），計畫規模將達 3,200 億韓元（政府出資 3,004 億韓元，民間投資 196 億韓元），目標於 2030 年發射 6G 國際標準下之低軌道衛星，搶占國際 6G 市場先機[305]。

六、 中國

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

中國於 2023 年 4 月 26 日修訂通過之「中華人民共和國無線電頻率分配規定」，正式將部分特定頻段（包含 6 GHz、26 GHz 及 40 GHz 等各頻段）新增分配為 IMT 用途，惟鑑於各該頻段之應用模式仍處於研議階段，且有關頻率使用規劃、用途間相容共存條件，以及國內協調機制尚未具體明確，故目前仍未進入實質網路布建階段（中華人民共和國無線電頻率分配規定註腳編號 CHN45 參照）。

關於 6G 頻譜規劃之發展規劃與政策，中國延續過往技術先行之策略，中國 IMT-2030（6G）推進組以持續研發 6G 各頻段之技術應用為主要目標，透過發布相關之白皮書及技術研究報告，一方面呈現 6G 技術研發成果，同時表彰中國對於 6G 技術與候選頻段之立場，然而截至目前為止，正式公告之頻譜政策仍然有限，關於中國 6G 各頻段目前之技術應用與規劃，簡述如下：

1. 6 GHz（6425-7125 MHz）

由於該頻段具有傳輸路徑損耗低與涵蓋距離遠之特性，且頻

[305] MSIT（2025），과기정통부, 6 세대 이동통신 국제표준 기반 「저궤도 위성통신 핵심기술 」 확보본격추진 https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=307&mPid=208&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3185513

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

寬資源充足，故為中國發展 6G 通信及一般定位感測之主要重點頻段。此外，中國亦規劃於該頻段將 5G 與 6G 網路進行協同共存及融合之發展。

中國特別重視 6 GHz 頻段之發展潛力，因其具備傳輸損耗相對較低、涵蓋距離廣泛及頻寬資源充裕等特性，十分適合應用於 6G 行動通信與精準定位、感測應用等多元場景之基礎頻段。該頻段不僅可提供穩定之中距離高速傳輸能力，亦具備支援高密度裝置連接之技術潛力，故成為中國 6G 中頻段規劃之重點核心。

為強化技術迭代升級與系統相容之能力，中國於 2025 年 3 月 14 日在泰國所舉辦之 APT 會議上表示：「中國刻正規劃推動 5G 與 U6 頻段之協調運作與共存機制，期能透過頻譜資源共享與動態調度方式，實現跨世代網路間之無縫銜接與整合應用，進而提升整體網路效能與頻譜使用效率。」

中國針對 6 GHz 頻段之相關規劃，除有助於推動頻段利用效率最大化，亦為後續制定頻譜分配策略與產業標準奠定技術與政策基礎，對未來 6G 網路發展具有十分重要之意義。

2. 毫米波頻段

中國目前積極於 26 GHz 毫米波頻段推動可重構智慧表面（Reflective Intelligent Surfaces, RIS）技術之研發與測試應用，該技術藉由在無線通信環境中引入具備電子控制能力之智慧表面，實現訊號方向、幅度與相位之主動操控，進而建構具智慧調控能力之無線通信環境。針對 RIS 技術與該頻段之應用研究，中國透過通道量測與參數優化，積極探索 RIS 於不同頻段（低頻、中頻及高頻）之特性優勢，並特別聚焦於提升網路涵蓋連續性之研究。

此外，中國工業和訊息化部（下稱工信部）核准中國聯通於 2025 年 2 月 7 日至 14 日舉辦第 9 屆亞洲冬季運動會期間，使用

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

26 GHz 之頻段進行毫米波之實驗與多項技術驗證，透過毫米波與 Sub-6 GHz 頻段之低、中、高頻段協調組網運作，成功支援 8K 超高畫質之即時轉播與整合感測與通信，顯示 26 GHz 毫米波頻段於超高速率與超大頻寬應用場景之潛力，亦為中國推進 6G 高頻段之實際應用奠定重要基礎[306]。

3. THz 頻段

THz 頻段目前為各界技術研究關注最為密集之頻段。鑑於國際間及中國國內無線通信標準尚未針對 100 GHz 以上頻段建立完整之通道模型標準，未來針對 100 GHz 以上之通道量測與建模作業，將成為制定 6G 頻譜標準時不可或缺的重要技術基礎，對頻段規劃與系統設計具有關鍵影響。

中國目前正在研究 THz 頻段遠近混合場訊號處理技術、協同感知 THz 頻段之 MIMO 通信技術，以及驅動 THz 頻段高速傳輸等技術，具體之實驗場景及使用頻段主要呈現於：

- 室內辦公室：使用 100 GHz、105 GHz、130-143 GHz 以及 221-224 GHz 等頻段測量；
- 大型會議室：使用 130-143 GHz 及 221-224 GHz 等頻段測量；
- 室內長廊以及半開放式 L 型大廳：使用 300 GHz 頻段測量；
- 室內短距離環境：使用 220-330 GHz 頻段測量；
- 中庭和室外 L 型街道：使用 306-321GHz 頻段測量。

306 中國科技網，亞冬會用上了 5G 毫米波，https://www.stdaily.com/web/gdxw/2025-02/14/content_296939.html（最後瀏覽日：2025/4/14）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

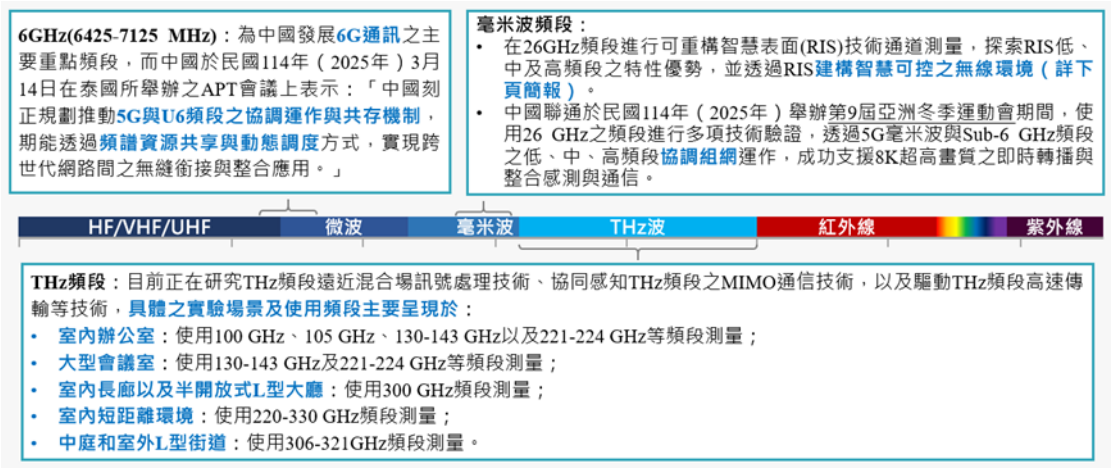


圖 3- 23、中國提出對 6G 各頻段之技術應用

資料來源：本研究整理

中國對於 6G 頻譜之發展規劃，未來可能隨著技術之進展及市場需求而不斷調整與更新，加之 IMT-2030（6G）推進小組近持續研究及發布 6G 技術相關白皮書與研究報告，關於中國 6G 頻譜規劃之政策動向，值得持續關注。

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

隨著全球行動通信技術持續演進及發展，6G 行動通信技術已成為國際各國戰略性布局之重要領域，中國作為全球行動通信產業之重要參與者，近年來不僅投入大量資源探索國家整體產業策略價值，更於 2019 年 6 月成立 IMT-2030（6G）推進小組，和中國主要之電信事業、通信設備製造商、學術及研究機構共同合作；積極進行 6G 發展願景、應用場景需求研究與各項關鍵技術開發；推動 6G 通信技術產業化及國際合作交流等各項工作；並規劃中國 6G 行動通信之十年發展時程[307]，著眼於未來通信技術標準制定及產業應用

[307] IMT-2030（6G）推進小組規劃中國 6G 發展時程如下：
2020-2024 年（概念形成階段）：形成 6G 概念與願景需求，研發與突破關鍵核心技術，為 6G 國際標準奠定技術基礎。
2025-2028 年（國際標準化階段）：開展國際標準研究與制定，形成全球統一之 6G 國際標準。
2029-2030 年（產業研發階段）：全面推動產業發展，建構完整之產業生態，加速產業成熟投入 6G 商用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

上占領主導地位。

1. 國內產業新技術推動之政策動向

由於現階段國際間對於 6G 技術之發展仍處於初期研究階段，就 6G 網路架構與無線電系統等核心技術尚未形成國際一致標準，因此，中國在 6G 概念形成階段，針對 6G 產業新技術推動之發展政策，係採取技術先行之策略，以研發 6G 相關之關鍵技術及相關應用場域之技術試驗為主要發展導向，並透過發布許多 6G 白皮書以及核心技術研究等報告[308]，累積中國於 6G 領域之技術研究量能。

承上，綜觀中國近一年來所發布之技術研究報告，可歸納出中國近期特別聚焦研究之新型無線電及網路架構技術如下：

(1) 6G 新型無線電技術

針對 6G 新無線電技術之發展，中國近期將研發重點投入於 RIS 及整合感測與通信（ISAC）此二項技術，說明如下：

A. 可重構智慧表面（RIS）技術

由於 RIS 技術被視為能重塑無線電傳輸環境，並革新未來行動通信網路之潛力技術（諸如：以 RIS 為基礎之相控陣列天線與新興定位技術等），因此，中國近期致力於探索 RIS 之技術潛力，研析低、中高頻段之容量與連續涵蓋、增強近場通信（或稱近距離無線通信）訊號強度、克服近場通信間干擾等應用場景議題[309]，探討 RIS 技術標準化之過程，以及 RIS 實際應用所面臨之挑戰

[308] 有關中國歷年所發布之 6G 白皮書，詳見 IMT-2030（6G）推進組官方網站之成果發布專區，https://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/chengguofabu/index.html?index=2 （最後瀏覽日：2025/4/8）。

[309] C114 通信網，中國移動張濱：技術、場景、標準三方面發力，攻關 RIS 商用挑戰，https://www.c114.com.cn/news/118/a1277619.html（最後瀏覽日：2025/4/14）。

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

與解決方案，期望透過 RIS 建構可控之智慧無線環境，為 6G 提供全新之網路模式。

過往中國曾在 26 GHz 頻段進行 RIS 技術通道測量實驗，而在 2025 年 3 月 22 日至 23 日舉辦北京昌平延壽越野挑戰賽期間，中國電信研究院聯合中國電信北京公司、中國電信昌平分公司及中國電子科技大學，透過在越野挑戰賽道沿線布建 RIS 設備並進行通信檢測，共同完成 3.5 GHz 頻段 RIS 技術於偏遠地區行動通信網路之通信驗證，在本次賽事中，專案工作小組不僅完成 60 公里賽道網路優化，更採用「應變網路行動車結合 RIS 技術」之立體組網模式，驗證 RIS 技術強化特定區域之訊號能力，而實測數據顯示 RIS 技術能將賽道沿線之平均訊號強度提升三倍（即 5dB）[310]。

B. 整合感測與通信（ISAC）技術

ISAC 技術透過將感測與通信功能於同一頻譜與系統架構下進行整合，可大幅提升網路資源使用效率與用途應用範疇。中國鑒於該技術潛力與應用價值，積極投入技術研發，將研發重點聚焦於介面協作設計、感測需求導向之新型訊號波形、感測訊號設計與處理機制，以及感測功能對通信效能之輔助增益等面向，並預期應用於室內外之目標偵測[311]、定位追蹤、環境目標重構、特徵偵測、協作感測及室內之行為模式識別等多元場域，希望藉由技術研發推動產業鏈上中下游參與者參與技術標準研擬工作，並展望為未來智慧城市、車聯網、工業自動化等應用場景提供技術

[310] 經濟參考報，針對 6G 突破，中國電信完成 3.5GHz 可重構智慧表面鄉村網路驗證，http://jjckb.xinhuanet.com/20250331/2fb86c90ba6d4172b1b6550f5969949f/c.html（最後瀏覽日：2025/4/14）。

[311] 北京未來行動通信論壇，起飛！這個 6G 概念驗證試飛場啟用，https://www.g6gconference.com/index/Details/index.html?id=998（最後瀏覽日：2025/4/10）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

支援[312]。

(2) 6G 新型網路架構技術

針對 6G 新型網路架構技術之發展，中國近期將研發重點投入於分散式組網以及地空整合組網此二項技術，說明如下：

A. 分散式組網技術

由於未來可穿戴式裝置等 IoT 終端設備之數量將急劇增加，加上未來 6G 時代預期將發展出更多元創新之應用場景，因此，集中式網路需獨立負荷超大規模之應用需求，如若出現故障之情形將影響大規模之終端用戶及網路可靠性。對此，中國近一年來積極推動集中式核心網與分散式子網融合之組網模式發展，研析 6G 組網之關鍵技術，包含網路協作機制、功能模組賦能及韌性布建等內容，並聚焦於 6G 網路智慧化自主管理能力之建構，如自治網域分級、資源調度、網路可靠性維運與容錯機制。

承上，中國已在採礦產業通信與無人機低空監管之具體應用場景進行實驗，探討分散式架構於極端或特殊環境下之適應性與實用性[313]，藉此為產業界提供具體參考，以滿未來足 6G 網路無所不在之連接應用場景需求。

B. 地空整合組網技術

面對未來 6G 網路需實現無所不在之通信連接，地空整合技術已成為重要發展方向。其核心目標在於融合陸地、海洋、空中與太空資源，建構全地形、全空間涵蓋之通信體系，確保使用者在各種環境下均可獲得穩定且高品質之連接用途。中國近年積極

312 新浪財經，中國電信海南公司 5G-A 整合感測與通信基地臺首秀博鰲，https://finance.sina.com.cn/stock/relnews/cn/2025-03-26/doc-ineqyzva5788341.shtml（最後瀏覽日：2025/4/14）。

313 IMT-2030（6G）推進組，場景客製化的 6G 分散式網路架構及技術研究，44-46 頁。

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

推動地空整合技術發展，並提出五大典型應用場景，包含高效能後傳鏈路、廣域寬頻接取、物聯網用途，以及高安全及可用性網路，並針對相關場景展開應用試驗與驗證工作。

在技術層面，中國進一步明確地空整合網路於用途模式、系統架構、營運管理與資安保護等方面之需求，並建立關鍵效能指標（Key Performance Indicator, KPI）作為未來系統設計之參考依據。同時，針對衛星通信與 6G 網路融合所引發之新興資安挑戰，涵蓋無線通信保護、用戶認證、隱私維護、衛星裝置安全、金鑰管理、資料安全與行動管理等領域，亦提出具體安全參考架構與關鍵技術，以確保地空整合網路於未來 6G 體系之安全穩定運作。

IMT-2030（6G）推進組近一年來已發布共計 16 篇技術研究報告，關於其所發布之 6G 技術研究報告內容，茲簡要整理如下表格。

表 3- 33、中國 IMT-2030（6G）推進組所發布之 6G 研究報告

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
1.	2024 年 11 月	6G 分散式自治網路架構與關鍵技術研究	本篇報告主要探討 6G 分散式自治網路之架構與關鍵技術，自 6G 對分散式自治網路之需求切入分析，詳細闡述網路架構之設計原則，例如：分散式用途框架、功能用途及介面協定等；此外，本篇報告亦深入研究 6G 分散式網路之智慧自治議題，提出相關架構、網域與分級等概念，探討網路可靠性及提升方案，並展望 6G 分散式自治網路之未來發展，為下一階段 6G 網路架構之研究及設計提供參考。
2.	2024 年 11 月	6G 地空整合網路安全技術研究報告	本篇報告深入探討未來 6G 網路與衛星系統整合所帶來之全新安全挑戰與需求，內容涵蓋無線通信、認證、隱私保護、衛星本體安全、金鑰管理、

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			數據安全以及行動管理等多個面向之議題，並提出相應之安全參考架構與關鍵技術，旨在為 6G 地空整合網路之安全發展提供技術指引。
3.	2024 年 11 月	6G 地空整合網路之場景及需求研究報告	本篇報告闡述 6G 地空整合網路之概念與特點，回顧中國國內及國際間之標準化研究進展，諸如：ITU 與 3GPP。此外，報告詳細提出地空整合之五大類應用場景，分別為：高效後傳鏈路、寬域網路寬頻接取、物聯網用途、高可靠性網路，以及高安全及可用性網路等，並列舉具體之應用案例。最後，報告提出 6G 地空整合網路用途、架構、營運與安全方面之需求，以及關鍵效能指標（KPI），希望透過五大類應用場景之具體應用案例，為建構未來 6G 網路，提供設計與發展之參考依據。
4.	2024 年 11 月	6G 應用案例研究	本篇報告奠基於 ITU 所發布之 6G 整體框架與目標，梳理並總結 6G 各項需求，並以具體應用案例呈現。除 6G 六大典型應用場景外（例如：沉浸式通信、超低遲延及超高可靠通信等），更針對網路能力與營運、終端用戶、安全用途及綠能低碳等多個領域，探討 6G 技術之潛在應用及需求，期許能為後續之技術研究、標準制定及產業發展提供方向性指引。
5.	2024 年 11 月	6G 整合感測與通信之安全需求與技術研究	本篇報告旨在探討整合感測與通信之 6G 系統，未來將面臨之新興安全挑戰與需求。報告首先闡述 6G 整合感測與通信之概念與應用場景，並深入探討整合感測與通信之相關議題（諸如：系統基本安全性、資訊傳輸機密性、完整性與真實性、感測訊號完整性，以及關於終端用戶安全等）以及新興技術安全方向之需求（例如：感測用途之授權與存取控制、隱私保護，感測協作安全等）。而針對上述議題，本篇報告提出應對挑戰之關鍵技術，諸如：密碼學應用技術、物理層安全、無線感測干擾預防、終

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			端用戶安全防護、新興需求之使用授權、隱私保護以及安全數據整合技術，並探討感測輔助通信安全之可能性。
6.	2024 年 11 月	6G 整合感測與通信協作感測關鍵技術前沿報告	本篇報告探討 6G 行動通信系統中整合感測與通信之趨勢，尤其著重於協作感測之技術，從各形態、多頻段與多節點等協作感測場景，深入研究協作感測之接口關鍵技術，例如：功率控制、干擾管理，以及高精準同步等。此外，報告亦介紹針對這三種協作場景之整合演算法，並分享基地間與終端設備間協作感測之原型驗證成果，為未來 6G 通信感測標準之制定，提供技術參考指引。
7.	2024 年 11 月	6G 整合感測與通信接口關鍵技術研究報告	本篇報告探討 6G 網路整合感測與通信接口之關鍵技術，分析感測應用對接口設計之新型態需求，並檢視 OFDM、FMCW、OTFS 及 OCDM 等潛在感測波形之特性，並深入研究感測訊號之設計與處理，諸如：序列設計、圖樣設計、干擾消除，以及感測波束管理之策略，此外，文中亦探討輔助通信之感測技術，其中包含：通道量測與波束追蹤。
8.	2024 年 11 月	6G 整合感測與通信評估方法研究報告（第二版）	本篇報告奠基於第一版之技術報告內容，進一步界定整合感測與通信之評估場景，涵蓋室內外之目標偵測、定位追蹤、環境目標重構和特徵偵測等應用。報告中詳細闡述評估方法，例如：效能指標、通道模型（著重於感測目標之 RCS 特徵和環境模型建構等）、網路布建及擬真參數。此外，報告展示針對不同評估場景之模擬結果，希望能推動產業界探討及制定整合感測與通信之技術標準。
9.	2024 年 11 月	6G 無線系統架構和功能研究	本篇報告從整體設計角度探討 6G 無線電接取網路（RAN）架構及其相關之新技術需求，諸如：6G 無線系統設計之整體設計考量、6G 接取網路功能、6G 接取網路布建、RAN 之架構與介面，以及 5G 迭代至 6G 之演進

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			等關鍵技術，以因應 ITU 定義之六大典型 6G 應用場景。
10.	2024 年 11 月	針對 6G 的通道測量與建模研究報告（第三版）	本篇報告承接前一版之研究內容，進一步分析 THz 通道之特性與建模、整合感測與通信之通信研究、大規模 MIMO 通道特性分析，以及可重構智慧表面（RIS）輔助通道測量與建模等技術議題。此外，本篇報告亦探討多種型態之通信場景，例如：物聯網、地空整合通信，以及在海洋與國內河流等特殊環境下通信等，探討新型態通道建模之技術方法。
11.	2024 年 11 月	針對 6G 無所不在之即時通信網路場景需求與關鍵技術研究報告	本篇報告之探討重點在於 6G 無所不在之即時通信網路（Ubiquitous Real-time Communication Network, URCN）場景與關鍵技術需求，擘劃 6G URCN 之願景，例如：感測、AI、數位身分與多維度連接等。報告中詳細分析沉浸式、AI 賦能及多維連接等主要應用場景需求，並深入研究實現前述場景所需之關鍵技術。
12.	2024 年 11 月	針對 6G 可重構智慧表面（RIS）技術研究報告	由於可重構智慧表面（RIS）技術被視為能重塑無線電傳輸環境，並能革新未來行動通信網路之潛力技術（諸如：以 RIS 為基礎之相控陣列天線與新興定位技術等），因此本篇報告深入分析 RIS 之技術潛力、典型應用場景（例如：增強基地臺網路涵蓋能力），以及 6G 標準化過程中之關鍵考量因素。最後，綜合考量相關內容後，提出 RIS 技術標準化之過程中可能面臨之挑戰，以及相應之解決作法與建議。
13.	2024 年 11 月	整合感測與通信網路架構設計及關鍵技術研究報告	本篇報告探討 6G 關於整合感測與通信網路之邏輯與功能架構，並深入研究感測數據之上傳、傳輸、處理、複製、開放等關鍵技術，以及探討感測技術與人工智慧間之融合應用。
14.	2024 年 11 月	場景客製化之 6G 分散式網路架構及技術研究	由於多元化之創新應用場景，將是未來 6G 實際應用發展之重要目標，因此本篇報告闡述 6G 針對不同應用場

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			景之客製化需求，提出基於集中式網路與分散式子網路之網路架構，並深入分析網路客製化、網路協作與賦能技術等關鍵要素，並提出採礦產業與無人機低空監管等典型應用具體案例，旨在為產業界提供 6G 分散式網路與網路架構研究之參考指引。
15.	2024 年 11 月	新型多工接取技術研究報告	本篇報告探討新型態多工接取技術之應用場景及性能指標需求，並進一步聚焦研討巨量分工接取關鍵技術等相關內容，諸如：通用非同步接收發送（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART）及結合 AI 之接接演算法等。
16.	2024 年 11 月	編碼調變技術性能要求以及評估方法	本篇報告主要內容涵蓋 6G 行動通信系統中通道編碼與調變技術之效能需求，並詳細闡述數據速率、頻譜效率、可靠性、編碼增益、能量效率、譯碼複雜度及時延等關鍵指標。

資料來源：本研究整理

至於產業通信技術之實際發展與推動近況，中國科研團隊 2025 年 8 月 27 於「Nature」期刊上發表能夠支援全頻段之 6G 晶片，以及超寬頻整合式光電架構之研究成果[314]。

中國科研團隊近日於第六代行動通信（6G）技術領域取得重要突破，成功研製出全頻段 6G 晶片與超寬頻光電融合集成系統。該晶片可支援 Sub-6GHz 至 THz 多頻段架構，理論峰值傳輸速率可達 1 Tbps，較現行 5G 技術提升約百倍，並具備動態頻段切換與頻譜智慧分配等功能[315]。

中國科研團隊亦完成跨越 0.5 GHz 至 115 GHz 之超寬頻整合

[314] Tao, Z., Wang, H., Feng, H. et al. Ultrabroadband on-chip photonics for full-spectrum wireless communications. Nature 645, 80–87 (2025). https://doi.org/10.1038/s41586-025-09451-8 （last visited：2025/9/30）

[315] 鉅亨網新聞中心，中國成功研製全球首顆全頻段 6G 晶片！引領通信技術新突破，https://news.cnyes.com/news/id/6133726 (最後瀏覽日：2025/9/30)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

式光電系統架構，該系統架構導入人工智慧演算法，能即時進行環境感知、干擾規避與資源調度，強化智慧化通信管理能力，使該系統架構具備靈活可調頻特性，可在通信受干擾時自動切換至其他適當頻道，避免訊號壅塞與干擾，進而提升網路穩定度[316]。

2. 國際新技術推動之政策動向

中國憑藉其歷年於6G領域所累積之技術研究量能向3GPP提出6G相關標準之研究專案提案，而3GPP亦分別於2024年9月在澳洲墨爾本所舉行之Service and System Aspects（SA）第105次全會上，正式核准中國所提出之「6G 應用案例與用途需求研究（Study on 6G Use Cases and Service Requirements）」標準專案[317]；以及於同年12月在西班牙馬德里所召開之Radio Access Network（RAN）第106次全會上，透過中國所提出之「6G場景與需求研究（Study on 6G Scenarios and requirements）」之無線技術標準專案[318]，使中國進行技術標準之專案研究。關於上述二項技術標準研究提案之研究成果，以及相關技術標準是否獲得3GPP支持，有待持續關注。

此外，中國未來行動通信論壇以及紫金山實驗室於2025年4

[316] 香港01，中國在6G通信領域取得新突破，成功研製超寬頻整合式光電系統架構，https://www.hk01.com/%E5%8D%B3%E6%99%82%E4%B8%AD%E5%9C%8B/60271562/%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E5%9C%A86g%E9%80%9A%E8%A8%8A%E9%A0%98%E5%9F%9F%E5%8F%96%E5%BE%97%E6%96%B0%E7%AA%81%E7%A0%B4-%E6%88%90%E5%8A%9F%E7%A0%94%E8%A3%BD%E8%B6%85%E5%AF%AC%E5%B8%B6%E5%85%89%E9%9B%BB%E8%9E%8D%E5%90%88%E9%9B%86%E6%88%90%E7%B3%BB%E7%B5%B1 (最後瀏覽日：2025/9/30)

[317] 3GPP, Summary Report from 3GPP plenaries #105, https://sns-trackers.sns-ju.eu/standards-tracker/standardisation-updates/summary-report-3gpp-plenaries-105-melbourne-australia-9 （last visited：2025/4/8）。

[318] 3GPP, Summary Report from 3GPP plenaries #106, https://sns-trackers.sns-ju.eu/standards-tracker/standardisation-updates/summary-report-3gpp-plenaries-106-madrid-spain-9-13 （last visited：2025/4/8）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

月 10 日至 4 月 12 日在南京舉行「2025 全球 6G 技術與產業生態大會」，對於中國而言，2025 年作為其 6G 發展之關鍵轉捩點，因此中國以推動「全球 6G 標準價值以形成共識」作為該會議之切入點，期望邁向全球 6G 產業之協作共創，將焦點投向未來產業生態，致力於探索科技研究成果轉化為實質經濟生產力之最佳途徑。本次國際會議主要之重點在於交流各國之新型態場景應用及關鍵技術標準化（諸如：通信與 AI 整合、整合通信與感測、地空整合、高頻段射頻器材與新材料，以及 6G 毫米波與 THz 技術）等相關議題，希望透過國際間之技術交流與合作，共同發展未來行動通信之國際主流技術。

2025 年時值中國 6G 發展之國際標準化階段，今年度中國之政府工作報告首次正式將 6G 技術納入未來產業培育核心框架內，推動產業策略性發展[319]。此外，工信部亦於 2025 年 3 月 12 日召開會議，重申推動通信產業朝向高品質之發展願景，並確立加速 6G 研發時程之目標[320]。對此，IMT-2030（6G）推進組已規劃於 2025 年 6 月啟動 6G 技術標準研究，並在二年內完成技術研究，2029 年 3 月完成第一個版本之技術規範。中國對於國際新技術推動之政策動向，係透過積極投入 6G 關鍵技術之研發工作，透過大規模推動 6G 核心技術之自主創新與標準化制定，並已於多個城市進行 6G 場域實驗與應用驗證，力圖在未來國際標準制定過程中取得領先及主導地位，以鞏固其於次世代無線通信領域之競爭優勢。

---

319 中國人民共和國中央人民政府，政府工作報告，https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202503/content_7013163.htm （最後瀏覽日：2025/4/8）。

320 中華中民共和國工業和資訊化部，工業和資訊化部等三部門關於促進環保裝備製造業高品質發展的若干意見，https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/yj/art/2025/art_e639a3d7eccf48e2bcdef48cb1632813.html （最後瀏覽日：2025/4/9）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

七、 香港

(一) 6G 頻譜規劃的政策動向

1. 頻譜政策框架持續更新

香港政府持續更新頻譜管理，以確保頻譜資源的有效管理和分配，支持創新用途的發展。政策方向重視頻譜共用及釋放靈活性，為未來 6G 技術的發展提供制度保障。[321]

香港通信事務管理局（Office of the Communications Authority, OFCA）於 2024 年 2 月 28 日公布「頻譜釋出計畫」（Spectrum Release Plan, SRP）[322]以通知業界未來三年可能釋出的無線電頻譜供應情況，儘管文件中指出，該計畫僅為參考資訊，並非正式公告，且將依實際情況每年進行滾動式更新，但相關內容仍有助於外界對香港的頻譜規劃有初步了解。以下為 2024 年至 2026 年的「頻譜釋出計畫」（SRP）概況。

表 3- 34、香港 2024-2026 頻譜計畫

頻段 (MHz)	頻寬 (MHz)	最早可釋出時間	目標諮詢時間	備註
832.5-837.5 877.5-882.5 885-890 930-935	20		已完成	現有頻譜將於 2026 年到期後，重新核配用於行動服務。
2300-2390	90		已完成	現有頻譜將於 2027 年到期後，重新核配用於行動服務。
2515-2540 2635-2660	50	2025	2024	現有頻譜將於 2028 年到期後，重新核配用於行動服務。
6570-6770 6910-7125	415	2024	已完成	新增頻譜核配於行動服務。
24250 –26550	2300	2024	已完成	核配可用頻譜於行動服務。

[321] OFCA, Spectrum Management, https://www.ofca.gov.hk/en/industry_focus/radio_spectrum/management/index.html

[322] OFCA（2024）, Spectrum Release Plan for 2024-2026, https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/en/content_144/spectrum_plan2024_en.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段 (MHz)	頻寬 (MHz)	最早可釋出時間	目標諮詢時間	備註
27750 –27950	200			
39500 –43500	4000	2025/2026	2025/2026	新增頻譜核配於行動/無線固定服務。

資料來源: OFCA

2. 國際間首度拍賣 6/7 GHz 頻譜

OFCA 與商務及經濟發展局（Secretary for Commerce and Economic Development , SCED）於 2023 年 7 月 18 日共同就「6/7 GHz 供行動通信用途使用」（Arrangements for Assignment of the Spectrum in the 6/7 GHz Band for the Provision of Public Mobile Services） 發布公開諮詢文件，探討釋出 6570-6770 MHz 及 6925-7125 MHz 共 400 MHz 供行動通信使用。

主管機關於同年 8 月前收到衛星業者及行動通信業者之相關意見，從回覆意見中可看出，業者普遍反對釋出該頻段供行動通信使用，衛星業者主張 IMT 對 FSS 上鏈存在干擾風險，關注其現行使用於點對點微波及衛星上行（Earth-to-space）的設備可能受到新進 IMT 干擾，若未採取保護措施，將面臨更換設備或重新規劃鏈路的高成本。因此衛星業者要求主管機關在釋出頻段時納入保護既有鏈路的干擾處置、功率與天線技術限制，以及過渡期與地理保護區等配套措施；行動業者則主張該頻段之終端設備尚不成熟，建議延後釋出，或建議釋出完整 U6 頻段（700 MHz 頻寬）供行動通信使用，連續頻寬較能發揮頻譜效益。

在 6/7 GHz 頻段規劃中，衛星業者與行動業者所面臨的技術與設備課題，直接左右其參與程度與投標意願。對衛星業者而言，該頻段既有大量固定鏈路與衛星上行應用，若引入 IMT，可能造成干擾或迫使既有設備提前淘汰。倘若政府未能明確提出保護區設計、功率限制、過渡期間或補償配套，將提高維運與移頻成本的不確定性，進而降低衛星業者支持釋照。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

行動業者面臨的問題則在於設備成熟度與市場風險。若相關標準尚未定案、設備供應尚未成熟或建置成本偏高，即便得標也無法立即投入建設，將造成資金占用、延後投資回收。若政府未提供清晰的技術發展路線、釋照時程與彈性布建政策，行動業者可能選擇延後參與、縮小投標規模，或僅投入少量頻寬，導致競標意願下降。

總而言之，政府是否制定完整配套措施，將直接影響各類業者是否願意進入 6/7 GHz 市場；而配套越完整、成本越可預期，參與程度就越高，競標市場也越活絡。

表 3- 35、香港 U6 頻段諮詢衛星業者意見

業者	干擾疑慮	頻譜管理建議	其他意見
AsiaSat 亞洲衛星	• 多個 IMT電臺(station)會產生嚴重累積干擾 • 干擾來源複雜，難以追責	• 對每個 IMT 發射站(transmitting IMT stations)設定技術限制 • 設定總干擾限制(aggregated interference)確保累積干擾維持在可接受等級 • 建議 IMT 採非保護原則(non-protected basis)或認知無線技術(cognitive radio)	-
ViaSat 衛訊	• IMT對FSS上行鏈具高度干擾風險 • 可能需將 IMT 功率減少20 dB 以上較易與FSS上行鏈共存	釋出U6頻段供WLAN / Wi-Fi設備使用	該頻段僅適合超低功率(very low power) IMT 應用
APT 亞太通信衛星	• 對於先到先得的疑慮，APT的地面電臺隨衛星更新而續用。若視為「新站」則可能喪失保護權利 • 新興應用：空對地通信(Air to Ground, ATG) /無人機系統(Unmanned Aircraft Systems, UAS) 可能干擾上行鏈路	• 建議以「衛星網路(satellite network)」及「站址(site/ location)」為單位給予保護 • 嚴格限制空中應用	-

資料來源: OFCA

表 3- 36、香港 U6 頻段諮詢行動業者意見

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

業者	干擾疑慮	頻譜管理建議	分配方式與執行時間	其他意見
China Mobile HK 中國移動香港	共同主要分配可能產生不確定干擾	• 反對共同主要分配，建議專用行動服務用途 • 改用行政分配以減輕MNO業者成本	• 建議延後分配，與中國同步 • 一次性分配完整700 MHz頻寬	建議至少每家分配100 MHz連續頻寬
Hutchison Telephone 和記亞洲電訊	-	建議一次性釋出整個 700 MHz頻段	建議延後時程	建議以100 MHz 頻寬為單位，釋出7個頻塊
HKT 香港電訊	共同主要分配對新進用戶有使用限制	• 建議將現有 FS使用的固定鏈路及戶外廣播鏈路自6425 -7075 MHz頻段中清除，將更方便 MNOs在該頻段布建無線電電台(radio staion) • 設定 MNO設置140 MHz的頻譜上限(spectrum cap)防止壟斷	• 建議延後分配，待設備成熟 • 一次性分配700 MHz頻寬更有效益	每家100 MHz頻寬，利於最大化效益
GSMA 全球行動通信系統協會	-	• 一次性釋出 700 MHz 頻譜 • 反對切分為 20 MHz 區塊，預留 145 MHz (6425–6570 MHz)與 155 MHz (6770–6925 MHz)，將導致無法取得連續100 MHz頻寬，過於碎片化	需連續頻寬，利於5G擴展與創新	可沿用3.5 GHz的基地臺位置或網路架構進行升級布建

資料來源: OFCA

OFCA 與 SCED 於2024年3月1日宣布，將透過拍賣方式[323]分配上述頻段，分配為20個20 MHz 的頻塊，行動網路經營者（Mobile Network Operator, MNOs）之取得上限為140 MHz。為釋出頻段供行動通信使用，OFCA 於2024年底將6570-6770 MHz 及6910-7125 MHz 範圍內原屬固定用途及外勤廣播用途之用戶遷移至其他頻段，如6440-6560 MHz、6780-6900 MHz 及7166-7194 MHz，並於2024年底前完成遷移，以釋出頻段提供行動用途。

2024年11月 OFCA 完成上述頻段的拍賣，成功釋出共300 MHz，由中國移動香港有限公司（China Mobile Hong Kong Company Limited, CMHK）、香港電訊有限公司（Hong Kong Telecommunications Limited,HKT）及數碼通電訊有限公司（SmarTone Telecommunications Holdings Limited, SmarTone）三家 MNOs 各獲得100 MHz，供未來5G 及6G 技術發展使用。此頻段使用已於2025年3月31日正式生效，使用年期為15年。該頻段採

[323] 拍賣分為兩個階段（Two Phase）：第一階段「數量階段（Quantity Phase）」，以價格鐘（Clock auction）方式決定每位投標者獲得的頻塊數量；第二階段「位置核配階段 （Assignment Phase）」，確定在數量階段成功取得頻塊之投標者，最終獲配的具體且連續的頻塊

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用技術中立，得標業者可自由使用頻譜。但頻譜生效後3年內不得進行交易（Restriction on Frequency Swap）。

此外，OFCA 依據國際電信聯合會（ITU）於2023年無線電通信大會（WRC-23）通過的第 COM4/7號決議中的技術條件與研究結果，作為國際行動通信（IMT）系統布建及保障衛星固定用途（FSS）之重要依據。此外，該頻段使用須遵守「共同主要用途」（co-primary service）原則，任何新設立的無線電臺不得對既有無線電臺造成有害干擾，並採用「先到先得」（first-come-first-served）原則，確保既有電臺享有優先保護。

3. 2025 年拍賣 2.5/2.6 GHz 頻段

根據香港「2024 年施政報告」，香港政府持續推動頻譜資源的有效利用，以支援先進通信技術（包括 5G 與未來 6G）的發展。OFCA 與 SCED 於 2025 年 4 月聯合發布聲明，確認將於 2025 年底前拍賣 2.5/2.6 GHz 頻段內 2515-2540 MHz 與 2635-2660 MHz 頻譜，共計 50 MHz 頻寬，用以重新核配即將屆滿的頻譜資源。

依據 OFCA 於 2025 年 7 月 4 日公布「拍賣資訊備忘錄」（Information Memorandum）[324]，本次拍賣將於 2025 年 10 月 20 日舉行；有意參與之行動網路經營者（Mobile Network Operator, MNOs）須於 2025 年 9 月 4 日至 5 日遞交申請。

同年 9 月 5 日公告顯示[325]，三家業者中國移動香港有限公司（China Mobile Hong Kong Company Limited, CMHK）、Genius

[324] OFCA, AUCTION OF RADIO SPECTRUM IN THE 2.5/2.6 GHz BAND FOR THE PROVISION OF PUBLIC MOBILE SERVICES INFORMATION MEMORANDUM, https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/tc/content_1761/2_5_2_6_ghz_band_auction_IM.pdf

[325] OFCA, AUCTION OF RADIO SPECTRUM IN THE 2.5/2.6 GHz BAND FOR THE PROVISION OF PUBLIC MOBILE SERVICES BIDDER NOTICE, https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/tc/content_1761/bidder_notice_20250905.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Brand Limited （GBL）及數碼通電訊有限公司（SmarTone Mobile Communications Limited, SmarTone）均已提交申請。經資格審查後，OFCA 於 2025 年 10 月 3 日正式公布[326]上述三家公司為合資格投標人（Qualified Bidders），得以進入正式投標階段。

本次釋出頻譜的底價（Reserve Price）為每 MHz 400 萬元港幣，拍賣方式及頻譜使用費（Spectrum Utilization Fees, SUF）之計算，依據「拍賣資訊備忘錄」及香港政府憲報所訂相關條例執行。

該頻段最初於 2013 年經公開拍賣分配予四家 MNOs：GBL、中國移動香港有限公司 CMHK、數碼通電訊有限公司 SmarTone 及香港電訊有限公司（Hong Kong Telecommunications, HKT），用於提供公共行動通信用途。原核配期為十五年，將於 2028 年 5 月屆滿。

由於整段 2.5/2.6 GHz 頻譜共計 140 MHz 頻寬，將在 2028 年至 2039 年間陸續到期，主管機關為統整管理並簡化未來再核配程序，決定將此次重新核配的 50 MHz 頻寬統一設定為自 2028 年 6 月 1 日至 2039 年 3 月 30 日，核配期約 10 年 10 個月。這項規範有別於以往常見的 15 年期設計，是為了使整體 2.5/2.6 GHz 頻段能於 2039 年 3 月 30 日同步屆滿，屆時可進行整體性重新規劃與整併，提升頻譜管理的靈活性與政策延展性。

依據「拍賣資訊備忘錄」，本次釋出的 50 MHz 頻譜將劃分為五個頻段區塊（A1 至 A5），每區塊各 2×5 MHz，並採用「同時上升多回合」（Simultaneous Multiple Round Ascending, SMRA）方式進行拍賣。每家投標者最高可取得之頻譜上限（Spectrum Cap）

[326] OFCA, AUCTION OF RADIO SPECTRUM IN THE 2.5/2.6 GHz BAND FOR THE PROVISION OF PUBLIC MOBILE SERVICES QUALIFIED BIDDER NOTICE, https://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/tc/content_1761/qualified_bidder_notice_20251003.pdf

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

為 20 MHz。

表 3- 37、2.5/2.6 GHz 拍賣頻段區塊與頻寬（Frequency Block and Bandwidth）

頻段區塊 Frequency Block	頻段範圍 Frequency Range (MHz)	頻寬 Bandwidth
A1	2515-2520 paired with 2635-2640	2 x 5 MHz
A2	2520-2525 paired with 2640-2645	2 x 5 MHz
A3	2525-2530 paired with 2645-2650	2 x 5 MHz
A4	2530-2535 paired with 2650-2655	2 x 5 MHz
A5	2535-2540 paired with 2655-2660	2 x 5 MHz

資料來源: OFCA

成功投標者可選擇一次繳清頻譜使用費（Spectrum Utilization Fee, SUF），或採 11 期年繳制。若採分期付款，須提交「滾動履約保證金」（Rolling Performance Bond），以確保未來五年應繳金額之履行。

整體設計使 2.5/2.6 GHz 頻譜使用期限得以統一至 2039 年屆滿，除了有助未來頻譜重整與資源整併外，亦強化香港在行動網路頻譜治理上的長期彈性與策略連貫性。

目前 2.5/2.6 GHz 頻段主要用於提供 4G 用途，但具備升級至 5G 與 6G 的潛力。該頻段位於 1-7 GHz 的中頻範圍，傳播距離優於高頻（>7 GHz），頻寬又大於低頻（<1 GHz），兼顧涵蓋與容量，是建構高效行動通信網路的理想頻段。OFCA 表示，此次拍賣是推進香港下一階段高效頻譜利用策略的重要里程碑。

(二) 6G 產業新技術推動的政策動向

1. 首次在亞太地區舉辦「6G 全球高峰會」

2025 年 5 月 8 日至 9 日，香港 OFCA 首次主辦亞太地區「6G 全球高峰會」，吸引來自 80 多個國家和地區的 700 多位代表參與。會議聚焦於 6G 的標準化、技術創新、可持續性及應用潛力，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

強調香港在推動 6G 發展中的戰略角色。在 6G 全球高峰會上，商務及經濟發展局局長丘應樺表示，香港政府將積極參與 6G 政策的制定，並與國際社會合作，推動 6G 技術的發展。強調香港具備良好的創新生態系統和國際連接性，能夠在全球 6G 發展中發揮重要作用。[327]

2. 低軌衛星運用

根據「2024 年施政報告」，香港政府正積極推動先進通信技術的發展，致力加快低軌道衛星（Low Earth Orbit, LEO）的應用，並為 6G 通信技術的發展做完善準備，報告中指出將於 2025 年內完成簡化 LEO 衛星營運執照申請審核程序的研究，以提升產業進入門檻的透明度及效率，推動香港成為區域衛星通信樞紐。

3. 頻段釋出規劃

政府將適時向市場釋出更多合適的無線電頻譜供行動通信使用，計畫於 2025 年舉行頻譜拍賣，釋出 2.5/2.6 GHz 頻段 50 MHz 頻寬，支持包含 6G 在內的先進通信技術應用。

八、 小結

本研究觀測歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國與香港等地區與國家之 6G 頻譜規劃的政策動向與產業新技術推動的政策動向，彙整相關內容並進行綜合比較。

(一) 主要國家 6G 頻譜規劃政策綜合比較

隨著全球 6G 技術與應用逐漸發展，各國依據頻譜需求與戰略定位，展現不同的 6G 頻譜規劃重點。目前主要國際組織與國家普遍認同 6G 將整合低頻、中頻與高頻段進行布建，以兼顧涵蓋廣度

[327] 香港特別行政區政府（2025），新聞公報，https://www.info.gov.hk/gia/general/202505/08/P2025050800336.htm

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

與傳輸容量。各國的具體頻譜政策規劃如下。

歐盟於 2025 年 2 月發布 6G 策略願景，將低頻段（700/800/900 MHz）、中頻段（3.6 GHz、3.8-4.2 GHz）、高頻段（26/42 GHz）及 U6 頻段（7125-7250 MHz）納入 6G 候選頻段，預計於 2026-2027 年公布 6G 頻率藍圖。

美國由 FCC 與 NTIA 主導，聚焦於 10-10.5 GHz、12.7-13.25 GHz、110-170 GHz 等較高頻段，以及 3.1-3.45 GHz、7.125-8.4 GHz 等中頻段，並已開放整段 6 GHz 供 Wi-Fi 使用。近期於 2025 年 7 月，美國通過「大而美法案」，要求 FCC 與 NTIA 於兩年內整備 1.3-10.5 GHz 此區間之頻段（不包含 3.1-3.45 GHz 與 7.4-8.4 GHz 頻段）以拍賣方式釋出，並設定兩個重要里程碑：2027 年前完成拍賣 3.98-4.2 GHz 頻段中至少 100 MHz 頻寬；2034 年前完成拍賣至少 800 MHz 頻寬。

英國在近三年計畫中，規劃於 3 年內完成釋出 1.4 GHz 頻段（1492-1517 MHz）與毫米波頻段（26 GHz、 40 GHz），其中毫米波拍賣已於 2025 年 10 月完成，3 家業者皆於 26 GHz 頻段取得 800 MHz 頻寬、40 GHz 頻段取得 1000 MHz 頻寬。英國積極推動 U6 頻段行動通信與 Wi-Fi 共享機制，並提出具體方案進行公開諮詢。

中國雖尚未明確公布 6G 頻譜，仍持續研發 6G 各頻段之技術應用，如：U6 與毫米波頻段研究與測試。

日本透過每年「頻率整備行動計畫」，規劃至 2040 年釋出行動、Wi-Fi 與 NTN 總計 73.1 GHz 頻寬。

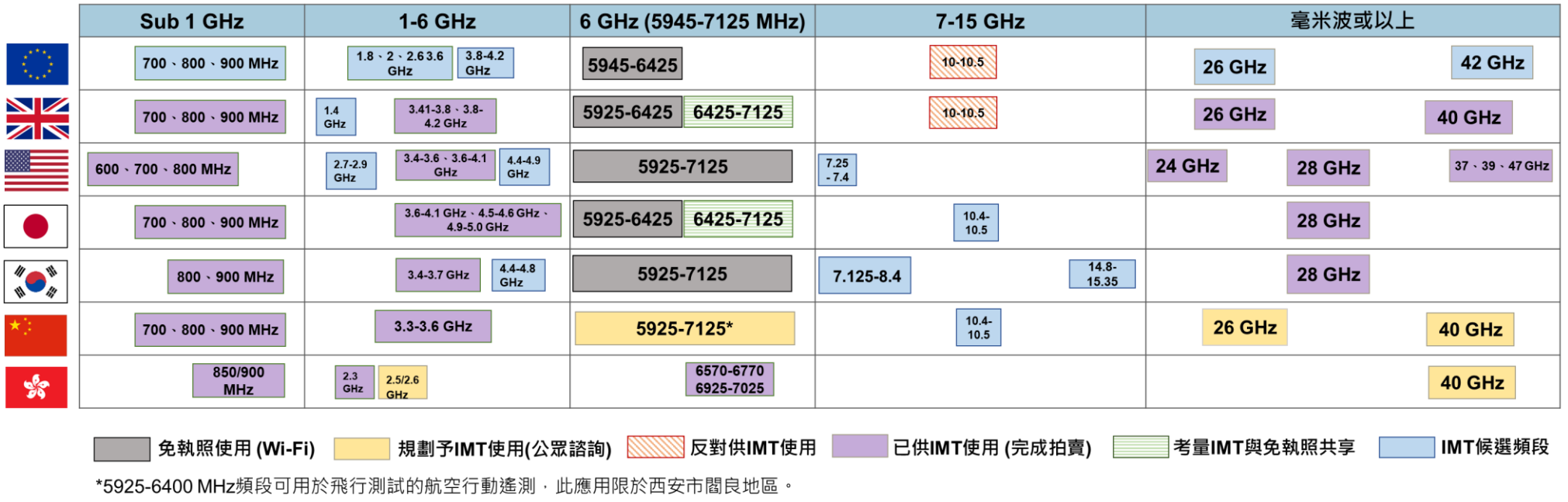
韓國積極研究 7-24 GHz 與 WRC 候選頻段，強化標準制定與國際協調。此外，韓國規劃 2026 年屆期之 3G 及 4G 行動通信頻譜進行重新分配（共 370 MHz 頻寬），規劃於 2025 年底前公布重新分配之相關政策。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

香港則於 2024 年底完成拍賣部分 U6 頻段（6570-6770 MHz、6925-7125 MHz），並計畫於 2025 年舉行頻譜拍賣 2.5/2.6 GHz 頻段（50 MHz 頻寬），並特別設定頻譜執照效期約為 10 年 10 個月，此一設定係由於整段 2.5/2.6 GHz 頻段共計 140 MHz 頻寬，將在 2028 年至 2039 年間陸續到期，主管機關為統整管理並簡化未來再核配程序，決定將此次重新核配的 50 MHz 頻寬統一設定為自 2028 年 6 月 1 日至 2039 年 3 月 30 日。

綜上，各國正依據產業發展與技術成熟度，積極布局 6G 頻譜策略，以確保在未來行動通信競局中取得主導地位。本研究主要研析國家/地區 IMT 頻譜使用現況與 6G 潛在頻譜規劃如下圖。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw



*5925-6400 MHz頻段可用於飛行測試的航空行動遙測，此應用限於西安市閻良地區。

圖 3- 24、主要研析國家/地區 IMT 頻譜使用現況與 6G 潛在頻譜規劃

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 主要國家 6G 產業新技術推動政策綜合比較

在 6G 技術推動方面，各國著眼於智慧頻譜管理、非地面網路、AI 強化網路、衛星直連等創新應用。歐盟方面雖以頻譜政策為主，但業者已呼籲應加快 6 GHz 釋出以配合未來 6G 商用需求；美國以《國家頻譜策略》為核心，規劃動態頻譜共享（DSS）、建立 DSS 國家測試平臺、研發接收器抗干擾技術與頻譜沙盒環境，並透過立法成立 6G 任務小組（FUTURE Networks Act）規劃未來應用；英國則聚焦衛星直連手機、Wi-Fi 與行動共頻、毫米波商用測試，並整合太空與地面通信策略；日本發布「Beyond 5G 推進戰略 2.0」，涵蓋全光網路、HAPS、衛星直連、V2X 與公共頻譜數位化，預計於大阪世博展示實績；韓國則結合企業與政府，推動「未來網路發展戰略」，針對 AI-RAN、開放網路架構（Open RAN）、6G 晶片及空天地融合通信，結合企業與政府資源，打造先進測試平臺與產業生態系，提升全球 6G 競爭力；中國已透過多項研究投入 B5G/6G 實驗網路、THz 傳輸、感知融合與空天地一體化技術試驗；香港推動 6G 測試與技術驗證，聚焦 U6 頻段共享應用、支援 HAPS 及衛星直連通信，並參與亞太地區協調合作，建構國際 6G 測試場域。

表 3- 38、主要研究國家/地區之 6G 產業新技術推動政策

國家/地區	發布時間	發布文件	主要內容摘要
美國	2024/3	國家頻譜策略實施計畫	推動 DSS、頻譜沙盒、抗干擾技術研發、6G 測試平臺建置與產業投資鼓勵
	2025/4	FUTURE Networks Act	成立 6G 任務小組，制定標準、應用場景、安全風險與政府協調架構報告
英國	2025/3	Ofcom 三年計畫（2025-2028）	強調太空通信與行動釋頻、U6 共用架構與毫米波釋出計畫
日本	2024/8	Beyond 5G 推進戰略 2.0	聚焦全光網路、NTN、HAPS 與 6G 應用，規劃於大阪世博展示成果
	2025/4	頻率整備行動計畫（令和 7 年度）	規劃首次以拍賣方式釋出頻譜（毫米波）、改善無線區域網路（Wireless LAN）、擴大無人

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

國家/地區	發布時間	發布文件	主要內容摘要
			機之使用範圍、提升公共事業用之頻譜利用效率，以及推動車連網（V2X）、NTN、Beyond 5G 等研究
韓國	2024/10	第四次電波振興基本計畫	聚焦 AI-RAN、Open RAN、6G 晶片、空天地融合技術與 7-24GHz 頻段應用

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第三節 我國 6G 候選頻段既有使用者盤點與 6G 頻譜規劃方案

一、 我國 6G 候選頻段國內既有使用者盤點

依據 113 年 6G 頻譜整備案所討論之 ITU 識別之 6G 候選頻段、國際上熱門討論之 6G 應用頻段分別盤點既有使用者，做為後續頻譜規劃之基礎資料，其中 U6 與 FR3 頻段盤點資料整理於第五章進行更細部之討論，其餘頻段整理相關頻段逐項排列如下表 3- 39，部分頻段目前無既有使用者，註記於前述表中。

表 3- 39、6G 頻譜調查盤點頻段

項次	3GPP 定義區間	頻段名稱	頻率範圍	備註
1	FR1	400 MHz	405-472.5 MHz	專用電信無線電
2	FR1	600 MHz	627-703 MHz	TVWS 頻段
3	FR1	700 MHz	698-808 MHz	行動通信頻段
4	FR1	800 MHz	811-885 MHz	智慧電表使用頻段
5	FR1	900 MHz	880-965 MHz	ORT 系統使用頻段
6.	FR1	1800 MHz	1700-1890 MHz	行動通信頻段
7.	FR1	2100 MHz	1910-2180 MHz	行動通信頻段
8.	FR1	2300 MHz	2345-2400 MHz	行動通信頻段
9.	FR1	2600 MHz	2490-2700 MHz	行動通信頻段
10.	FR1	3500 MHz	3290-3580 MHz	行動通信頻段
11.	FR1	U3	3570-4210 MHz	行動通信頻段
12.	FR1	U4	4300-5100 MHz	微波系統
13.	n104	U6	6425-7125 MHz	詳見第五章第三節
14.	FR3	FR3	7125 MHz-24250 MHz	詳見第五章第二節
15	FR2	24 GHz	24250-27500 MHz	MEO 下鏈
16	FR2	28 GHz	27500-29500 MHz	NGSO 上鏈
17	FR2	40 GHz	37000-43500 MHz	無既有使用者
18	FR2	46GHz	45500-47000 MHz	無既有使用者
19	FR2	48 GHz	47200-48200 MHz	無既有使用者
20	FR2	68 GHz	66000-71000 MHz	無既有使用者
21	NTN FR1	L Band（下鏈）	1518- 1559 MHz	無既有使用者，3GPP NTN 規劃頻段
22	NTN FR1	L Band （上鏈）	1610-1660.5 MHz 1668-1675 MHz	無既有使用者，
23	NTN FR1	S Band（下鏈）	2170-2200 MHz	3GPP NTN 規劃頻段
24	NTN FR1	S Band（上鏈）	1980-2020 MHz	無既有使用者

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

項次	3GPP 定義區間	頻段名稱	頻率範圍	備註
25	NTN FR1	LS Band n254 上鏈	2483.5-2500 MHz	無既有使用者

資料來源：本研究整理

(一) 400 MHz 既有使用者盤點：

共有 7,781 站電臺資料，170 家既有使用者，多屬無線電系統應用。

表 3- 40、400 MHz 盤點既有使用者資料表

政府機關（共 96 既有使用者）	國營事業（共 5 既有使用者）
民營事業單位（共 50 既有使用者）	公股企業（共 8 既有使用者）
財團法人（共 10 既有使用者）	社團法人（1 既有使用者）

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(二) 600 MHz 既有使用者盤點：

該頻段屬於 TVWS 頻段使用之無線電設備，僅一實驗網路既有使用者。

表 3- 41、600 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者	應用系統	實網行動	實網固定	合計
政府機關	實驗研發無線電	21 站	14 站	35 站

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(三) 700 MHz 既有使用者盤點：

該頻段具有 131,299 站公眾電信網路基地臺，2 站為屬於政府機關實驗研發無線電，共存在 131,301 站電臺。

表 3- 42、700 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/應用系統	站臺數量
民營事業單位	**131,299**
政府機關	**2**

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(四) 800 MHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 13,674 站電臺，主要為國營事業架設智慧電表專

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用網路，共 13,624 站，其餘 50 站均為實驗用途。

表 3- 43、800 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/應用系統	智慧電表	實驗小基地臺	實驗行動	5G 實驗基地臺	4G 實驗基地臺
民營事業單位		23	21	1	1
財團法人		3	3		
國營事業	13,624				

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(五) 900 MHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 110,117 站電臺，主要為電信業者使用頻段，其中交通部設有開放道路收費（Open Road Tolling, ORT）系統，架設 RFID 讀取器 593 站，實驗站臺共 8 站，其餘均為電信業者基地臺。

表 3- 44、900 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/應用系統	4G 實驗基地臺	5G 實驗基地臺	行動寬頻基地臺	RFID 讀取器	無線物聯網	實驗行動
公股企業		2	59,381			
民營事業單位	1	1	50,179		10	4
政府機關				539		

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(六) 1800 MHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 304,552 站電臺，主要為電信業者使用頻段，其中有 13 站為實驗研發用途，其餘均為公眾電信網路基地臺。

表 3- 45、1800 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	公眾電信網路基地臺	實驗研發基地臺
公股企業	170,879	9
民營事業單位	133,660	4

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(七) 2100 MHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 308,307 站電臺，主要為電信業者使用頻段，其中有 63 站為專用衛星、13 站為實驗研發基地臺、10 站廣播無線中

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

繼，其餘均為公眾電信網路基地臺。

表 3- 46、2100 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	公眾電信網路基地臺	專用衛星	實驗研發基地臺	廣播無線電中繼
公股企業	44,741		13	
民營事業單位	263,480			10
政府機關		63		

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(八) 2600 MHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 139,604 站電臺，主要為電信業者使用頻段，其中有 2 站為實驗研發基地臺，其餘均為公眾電信網路基地臺。

表 3- 47、2600 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	公眾電信網路基地臺	實驗研發基地臺
公股企業	62,716	
民營事業單位	76,886	
國營事業		2

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(九) 3500 MHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 83,348 站電臺，主要為電信業者使用頻段，其中有 2 站為行動寬頻基地臺及 36 站為實驗研發基地臺，其餘均為公眾電信網路基地臺。

表 3- 48、3500 MHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	公眾電信網路基地臺	行動寬頻基地臺	實驗研發基地臺
公股企業	32207	2	36
民營事業單位	51103		

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(十) U3 既有使用者盤點：

本頻段總計 19,985 站電臺，主要為民營事業電信業者使用頻段，其中有 39 站為實驗研發行動網路，28 站為固定微波，16 站屬

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

於中繼固定微波，其餘均為公眾電信網路基地臺。

表 3- 49、U3 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	中繼固定微波	公眾電信網路基地臺	固定微波	實驗研發行動	實驗研發基地臺
公股企業	16		28		
民營事業單位		19,902			25
政府機關				5	2
財團法人					2
國營事業				2	3

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(十一) U4 既有使用者盤點：

本頻段總計 259 站電臺，主要為政府機關微波用途，其中有 7 站為法人使用中繼固定微波，71 站為實驗網路，其餘電臺均為微波系統之應用。

表 3- 50、U4 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	中繼固定微波	固定微波	專用微波	實驗研發行動	實驗研發基地臺
公股企業					6
民營事業單位				22	27
政府機關		143	38	1	2
財團法人	7			6	6
國營事業					1

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(十二) 24 GHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 11 站電臺，10 站為中軌衛星實驗地球電臺（下鏈），1 站為 5G 實驗研發基地臺。

表 3- 51、24 GHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	實驗研發基地臺	實驗衛星
公股企業		5
民營事業單位		9
國營事業	1	

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(十三) 28 GHz 既有使用者盤點：

本頻段總計 21 站電臺，10 站為中軌衛星實驗地球電臺（上鏈），11 站為 5G 實驗研發基地臺。

另外於此頻段有 761 站有紀錄之低軌衛星實驗地球電臺（上鏈），屬於低軌衛星實驗網路之應用，未整理於表 3- 52。

表 3- 52、28 GHz 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	實驗研發基地臺	實驗衛星
公股企業	10	5
民營事業單位		5
國營事業	1	

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

(十四) NTN S Band 既有使用者盤點：

本頻段總計 44,761 站電臺，7 站為衛星實驗地球電臺，13 站為實驗研發基地臺，其餘皆為公眾電信網路用途。

表 3- 53、NTN S Band 盤點既有使用者資料表

既有業者/系統應用	公眾電信網路基地臺	實驗研發基地臺	實驗衛星
公股企業	44,741	13	
民營事業單位			3
政府機關			4

資料來源：通傳系統（2025/3/15）、本研究整理

二、 我國 6G 可用頻譜規劃方案

(一) 行動通信產業未來發展分析

1. 6G 技術發展方向

根據 5G America 於 2024 年發布之「6G 技術擴展至 7-8 GHz 頻譜範圍」（The 6G Upgrade in the 7-8 GHz Spectrum Range）[328]報

[328] 5G America (2024), The 6G Upgrade in the 7-8 GHz Spectrum Range, https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2024/10/The-6G-Upgrade-in-the-7-8-GHz-Spectrum-Id.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

告，6G 技術可望實現比 5G 高 10-20 倍的資料傳輸速率及效能。主要的技術進步包括：先進波束成形（beamforming）、大規模天線 （mMIMO）技術與 AI 驅動之演算法等，預期將可提升網路容量（network capacity）及涵蓋範圍。

在上述技術的提升下，6G 將可允許多感官延展實境（multi-sensory XR）、無人機群（drone swarm）及協作機器人（collaborative robot）等多項新興應用。

然而，這些新興應用亦對效能有較高的要求，預期將產生相當高的尖峰負載（peak load），同時也將對上鏈方向（uplink directions）的傳輸產生相當高的要求。因此頻譜供應是否充裕，將影響是否能充分發揮 6G 的潛力。

2. 目前 5G 設備使用頻段

根據全球行動供應商協會（Global mobile Suppliers Association, GSA）統計，在目前所有已發布的 5G 終端設備中，78.6%支援 6 GHz 以下頻段，5%支援毫米波頻譜，4%同時支援毫米波及 6 GHz 以下頻段。

表 3- 54、5G 頻譜之終端設備支援數量與我國已釋出頻段

	3GPP 頻段（3GPP TS 38.101-1）		數量	我國已釋出頻率範圍
排序	頻段	頻段範圍		
1	n78	3300-3800	2,480	3300-3570
2	n41	2496-2690	2,324	• 我國目前 2.6 GHz 頻段為 FDD+TDD 模式（即 n7+n38）。 • n41 為整個頻段為 TDD 模式，其終端設備成熟度高，未來考量是否改為 n41
3	n1	1920-1980 / 2110-2170	2,164	1920-1980 / 2110-2170
4	n77	3300-4200	2,150	潛在釋出頻段（3.57-4.2 GHz）
5	n28	703-748 / 758-803	2,090	703-748 / 758-803

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	3GPP 頻段（3GPP TS 38.101-1）		數量	我國已釋出頻率範圍
排序	頻段	頻段範圍		
6	n3	1710-1785 / 1805-1880	1,942	1710-1775 / 1805-1870
7	n5	824-849 / 869-894	1,861	潛在釋出頻段
8	n8	880-915 / 925-960	1,705	885-890 / 930-935；895-915 / 940-960
9	n7	2500-2570 / 2620-2690	1,472	2500-2570 / 2620-2690
10	n38	2570-2620	1,398	2570-2620
11	n40	2300-2400	1,287	潛在釋出頻段
12	n20	832-862 / 791-821	1,271	潛在釋出頻段
13	n79	4400-5000	1,171	潛在釋出頻段
14	n66	1710-1780 / 2110-2200	1,007	-
15	n2	1850-1910 / 1930-1990	994	-
16	n71	663-698 / 617-652	815	潛在釋出頻段
17	n12	699-716 / 729-746	740	潛在釋出頻段
18	n25	1850-1915 / 1930-1995	699	-
19	n48	3550-3700	625	-
20	n26	814-849 / 859-894	352	潛在釋出頻段
21	n30	2305-2315 / 2350-2360	352	-
22	n14	788-798 / 758-768	253	-
23	n70	1695-1710 / 1995-2020	212	-
24	n75	1432-1517 （SDL）	212	-
25	n29	717-728 （SDL）	200	-
26	n13	777-787 / 746-756	159	-
27	n261	27500-28350	135	27900-29200；29300-29500
28	n260	37000-40000	128	-
29	n18	815-830 / 860-875	123	潛在釋出頻段
30	n258	24250-27500	77	-
31	n257	26500-29500	72	27900-29200；29300-29500
32	n46	5150-5925	17	
33	n39	1880-1920	17	
34	n84	1920-1980 （SUL）	16	
35	n80	1710-1785 （SUL）	15	
36	n83	703-748 （SUL）	10	

註：僅列出至少支援五款終端設備之頻段；底色標記者為我國已釋出頻率之頻段。
統計時間：2025 年 5 月。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

資料來源：GSMA。

3. 6G 頻譜需求及規劃考量重點

根據 GSMA 與 ITU 提出之頻譜需求模型，為達成 2030 年全球 5G/6G 用途目標，每個國家平均需配置約 2 GHz 之中頻頻譜資源，以支援高速率、低延遲與大規模連接之應用需求。5G America 則評估，以美國而言，6G 推出的時間點約在 2028 年至 2030 年間，且屆時 4G 與 5G 用途應仍在美國持續營運，考量 6G 需要的頻道大小（channel size）約為 400-500 MHz，故以 3-4 家營運商推估，美國將需要 1.5-2 GHz 頻寬作為 6G 頻譜。

綜上來看，6G 開臺勢必需要相當頻寬之頻譜供應。然而，儘管 5G 技術已允許支援毫米波，但大多數 5G 終端裝置仍僅支援 6 GHz 以下頻段，且毫米波之涵蓋範圍較小，不利於廣範圍布建。考量這些因素，U6 頻段（6425-7125 MHz）與 7-8 GHz 頻段（7125-8400 MHz）成為國際上討論度相當高的 6G 候選頻段，因其傳播性質相對適合廣範圍布建，且潛在頻寬供應相對較充足。

就 U6 頻段而言，目前國際主要國家與地區對此規劃不一；中國已於 2023 年決議將全部或部分頻段分配予 IMT 用途，香港則更於 2024 年以拍賣方式將 6570-6770 MHz 及 6925-7125 MHz 頻段釋出供行動通信使用，英國規劃同時開放給行動用途與室內低功率 Wi-Fi 使用，歐盟亦將 U6 頻段列為 6G 候選頻段之一；不過，美國與韓國則已於 2020 年將 U6 頻段開放予 Wi-Fi 使用，幾乎確定不會分配予行動通信。（詳表 3- 55）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 55、國際主要國家與地區對 U6 頻段之規劃

國家/地區	U6 分配用途/既有使用者		規劃用途	採取措施
歐盟	-		規劃開放給行動用途及 Wi-Fi 使用	目前由 CEPT 規劃中
英國	分配用途： • 短距離設備(SRD) • 衛星 • 國防部(MOD) • 固定 • 無線電天文(RAS) • 節目製作與特殊事件轉播(PMSE)	既有使用者： • 短距離設備(SRD) • 衛星地球探測 • 衛星固定 • 國防部(MOD) • 固定鏈路 • 無線電天文 • 節目製作與特殊事件轉播(PMSE)	規劃開放給行動用途、室內低功率 Wi-Fi 使用	• **Wi-Fi 與無線電天文用途**：禁止 Wi-Fi 使用 6645–6685 MHz，以保護無線電天文用途(6650-6675.2 MHz)既有使用者。 • **行動與無線電天文用途**：針對同頻、鄰頻使用，增加協調要求。 • **行動與衛星固定用途**：遵循 WRC-23 決議，將 EIRP mask 納入行動通信執照技術條件。 • **行動與固定鏈路**：針對高密度地區及其周圍地區之固定鏈路進行清頻作業。 • **行動與 PMSE**：考慮未來禁止或限制 PMSE 使用 7110-7125 MHz。
美國	分配用途： • 固定 • 衛星固定	既有使用者： • 固定微波 • 衛星固定	2020 年已開放整個 U6 頻段 Wi-Fi 使用	• **標準功率裝置**：AFC 機制 • **室內低功率(LPI)裝置**：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

國家/地區	U6 分配用途/既有使用者		規劃用途	採取措施
		• 廣播輔助用途 • 有線電視中繼		競爭式協定 • **超低功率(VLP)裝置：** 競爭式協定、發射功率控制機制
韓國	• 固定微波中繼(廣播用途) • 行動廣播中繼		2020 年已開放 Wi-Fi 使用，但仍與微波、中繼等用途共用頻段。	調整 Wi-Fi 技術限制(例如：增加發射功率)
香港	分配用途： • 固定 • 衛星固定	6570-6770 、 6925-7125 MHz 頻段既有使用者： • 固定 • 外部廣播鏈路	2024 年 11 月已完成拍賣 6570-6770 MHz 及 6925-7125 MHz 供行動使用	• 既有使用者移頻至 6440-6560 MHz、6780-6900 MHz 及 7166-7194 MHz，並於 2024 年底前完成遷移 • 干擾保護措施
中國	• 固定 • 衛星固定(地對空、空對地) • 行動		2023 年 7 月已決議全部或部分頻段分配給 IMT 用途(含 5G/6G)	以研發 6G 技術為主要目標，尚未見採取移頻或重耕等相關措施
日本	• 固定 • 衛星固定(地對空) • 行動		2025 年將確認： • 6 GHz 頻段無線 LAN 於室外使用 • 6.5 GHz 頻段(6425-7125MHz)頻譜擴展之技術條件	調查目前該頻段公共安全、固定、行動及衛星固定等既有使用者之使用狀況，同時評估與無線 LAN 共享頻率之因素後，進行頻譜重耕考量

資料來源：本計畫整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

至於 7-8 GHz 頻段（7125-8400 MHz），依據 WRC-23 第 256 號決議，ITU-R 將在 WRC-27 前完成 IMT 地面系統使用之共享與相容性研究，並於 WRC-27 決定是否分配作為 IMT 用途。根據 5G America（2024），7-8 GHz 是頗具潛力的 6G 候選頻段。與目前的 5G 頻段相比，在運用先進天線技術下，7-8 GHz 頻譜效率可提高 4-5 倍，顯著增強性能。同時，7-8 GHz 頻段相當接近目前 5G 使用的 C 頻段或更低頻段，因而可重複利用既有的 3.5 GHz 基地臺。因此，考量能在不損及網路效能的前提下，重複利用既有的 3.5 GHz 基地臺有效降低 6G 布建的資本支出（Capital Expenditure, CapEx）與維運成本（Operating Expense, OpEx），7125-8400 MHz 頻段正在成為全球協調頻段，被稱為 6G 黃金頻段（Golden Band of 6G）。

此外，5G America（2024）也指出，在部分地區，頻譜共享可能將是必要作法，以確保具備彈性（flexible）且快速接取新頻段。

(二) 我國可用頻譜規劃方案

1. 我國行動通信頻譜使用現況

目前我國已釋出之行動通信頻譜總頻寬達 2,340 MHz，其中中低頻段部分（3.5 GHz 以下）合計釋出頻寬為 840 MHz，詳細使用現況請見下圖 3- 25。各主要頻段執照之有效期限如下：

- 700 MHz、900 MHz 及 1800 MHz 頻段，將於 119 年屆期；
- 2100 MHz、2500 MHz 及 2600 MHz 頻段，將於 122 年屆期；
- 3.5 GHz 及 28 GHz 頻段將於 129 年屆期。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

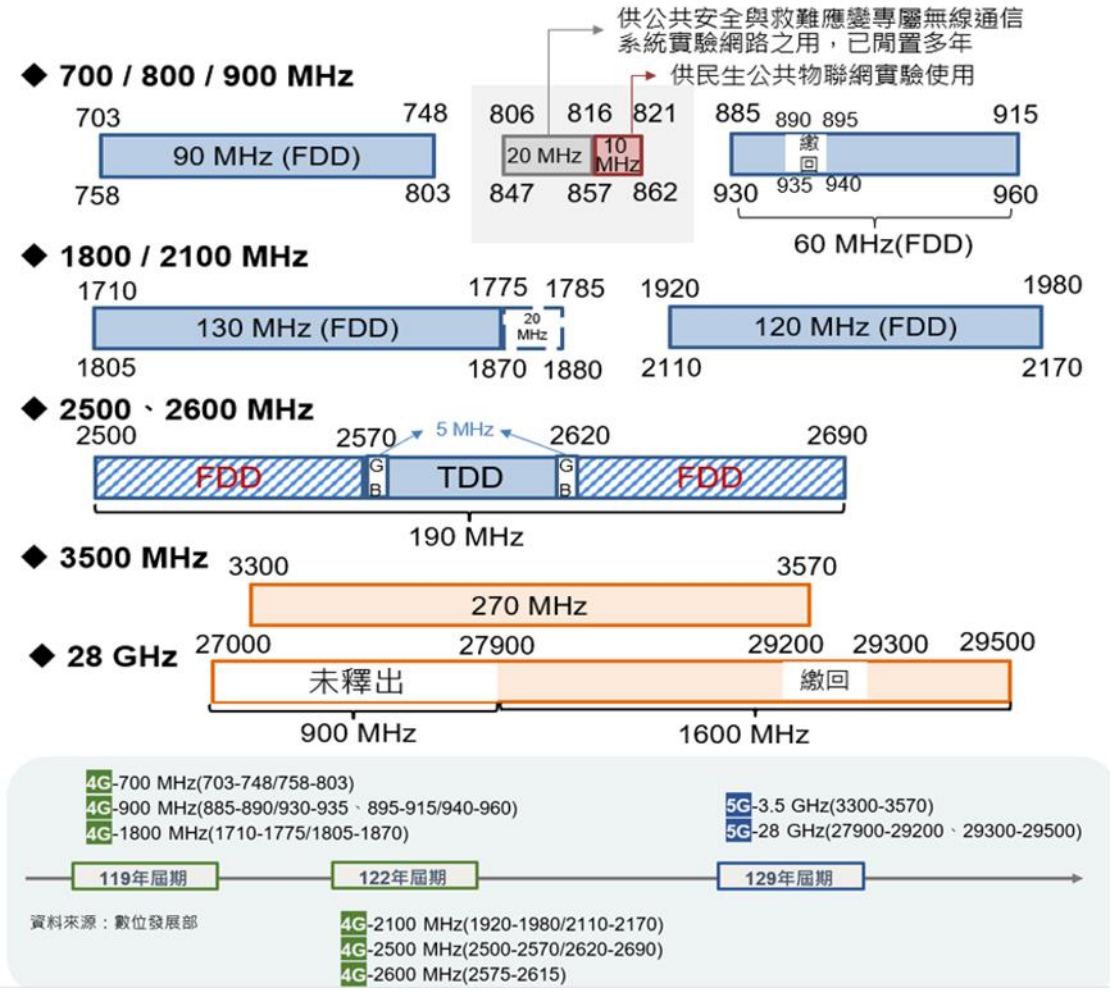


圖 3- 25、我國行動通信頻譜之使用現況

資料來源：本研究整理

2. 我國潛在可供 IMT 使用頻段之盤點

參考各主要國家之頻譜政策、WRC-23 決議與 WRC-27 所探討之最新潛在 IMT 使用頻段，並綜合考量我國《中華民國無線電頻率分配表》與《無線電頻率供應計畫》，同時盤點我國使用現況與未來規劃，彙整我國潛在可供 IMT 使用頻段。再將其與 3GPP 所公告之頻譜配置（Band Plan）及 GSA 發布之終端設備數量進行對照，依頻段由低至高逐一列出我國於各頻段現行使用情況與建議規劃，如**表 3- 56**。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 3- 56、我國頻譜使用現狀與未來 IMT 規劃之盤點總表

頻段	頻率範圍	我國使用現狀與規劃	3GPP Band Plan (TS 38.101-1)	生態系統現況 (終端設備數量)	整備困難點
600 MHz	632-652 / 678-698	無既有使用者	n71 (663-698/617-652)	n71：815	無
700 MHz	703-748 / 758-803	供行動通信使用，將於 119 年屆期 • 遠傳：703-728 / 758-783 • 台哥大：728-748 / 783-803	n28 (703-748/758-803)	n28：2090	無
800 MHz	806-816 / 847-857	規劃供公共安全與救難應變(PPDR)專屬無線通信系統實驗網路之用	n5 (824-849 / 869-894) n20 (832-862 / 791-821) n26 (814-849 / 859-894) n18 (815-830 / 860-875) Band 27 (807-824/852-869)	n5：1861 n20：1271 n26：352 n18：123 Band 27：查無資料	PPDR 存續問題待討論、AMI 既有使用者眾多、Band plan 規劃
	839-847	供智慧讀表 AMI 系統使用(統計至 114/06/30 共計 373 萬具)			
	816-821 / 857-862	僅 1 案實驗網路使用此頻段			
900 MHz	885-915 / 930-960	供行動通信使用，將於 119 年屆期 • 台哥大：885-890 / 930-935 • 台哥大 113/9/3 因合併處分繳回頻率：890-895 / 935-940 • 中華：895-915 / 940-960	n8 (880-915/925-960 MHz)	n8：1705	無
1800 MHz	1710-1775 / 1805-1870	供行動通信使用，將於 119 年屆期 • 台哥大：1710-1725 / 1805-1820 • 中華：1725-1735 / 1820-1830；1755-1775 / 1850-1870 • 遠傳：1735-1755 / 1830-1850	n3 (1710-1785/1805-1880)	n3：1942	無
	1775-1785 / 1865-1880	曾於 106、108 年拍賣，但未成功拍賣之頻段			無
2100 MHz	1920-1980 / 2110-	供行動通信使用，將於 2033 年屆期	n1 (1920-1980/2110-2170)	n1：2164	無

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段	頻率範圍	我國使用現狀與規劃	3GPP Band Plan (TS 38.101-1)	生態系統現況 (終端設備數量)	整備困難點
	2170	• 遠傳：1920-1935 / 2110-2125 • 台哥大：1935-1960 / 2125-2150 • 中華：1960-1980 / 2150-2170			
2300 MHz	2300-2390	部分頻段由公部門使用中	n40 (2300-2400 MHz)	n40：1287	需與公部門協調
2.6 GHz	2500-2690	供行動通信使用，將於 2033 年屆期 • 台哥大：2500-2520 / 2620-2640 • 中華：2520-2540 / 2640-2660；2560-2570 / 2680-2690 • 遠傳：2540-2560 / 2660-2680；2570-2620 (2570-2575、2615-2620 為 Guard Band)	n7 (2500-2570/2620-2690) n38 (2570-2620) n41(2496-2690)	n7：1472 n38：1398 n41：2324	我國目前 2.6 GHz 頻段為 FDD+TDD 模式（即 n7+n38）。n41 為整個頻段為 TDD 模式，其終端設備成熟度高，未來考量是否改為 n41
3.5 GHz	3300-3570	供行動通信使用，將於 2040 年屆期 • 台哥大：3300-3340、3510-3570 • 遠傳：3340-3420 • 中華：3420-3510	n77 (3300-4200) n78 (3300-3800)	n77：2150 n78：2480	無

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段	頻率範圍	我國使用現狀與規劃	3GPP Band Plan (TS 38.101-1)	生態系統現況 (終端設備數量)	整備困難點
U3 頻段	3570-4200	• 3570-3610 MHz 為護衛頻帶 • 3610-3700 MHz 供 ST-2 使用 • 3700-4200 MHz 供固定點對點微波、衛星固定下鏈使用	n77 (3300-4200) n78 (3300-3800)	n77：2150 n78：2480	ST-2 落日時間、為衛星下鏈使用頻段
U4 頻段	4400-4700	供警消微波骨幹使用	n79 (4400-5000)	n79：1171	警消二次移頻問題
	4700-4800	供專用電信、節目中繼固定微波電臺、實驗電臺使用			專頻專網存續與否影響是否可規劃連續頻段
	4800-4900	• 供行動寬頻專用電信網路設置使用 • 自 112 年 6 月截至 114 年 8 月，4.8~4.9 專網申請案累計 127 案，排除短期設置與已廢止案，現已取執照且存續使用計 72 案。			
	4900-5000	供節目中繼固定微波電臺、實驗電臺使用			
U6 頻段	6425-7125	供固定點對點微波、衛星固定上鏈使用	n96 (5925-7125) n102 (5925-6425) n104 (6425-7125)	n96：查無資料 n102：查無資料 n104：查無資料	為衛星上鏈使用頻段
WRC-27 頻段	7125-8400	供專用電信、節目中繼固定微波電臺、節目中繼行動微波電臺、實驗電臺使用	查無資料	查無資料	需評估既有使用者之使用情形
	14800-15350	無既有使用者	查無資料	查無資料	視未來設備成熟度而定
28 GHz 頻段	27000-27900	曾於 108 年拍賣，但未成功拍賣之頻段	n257 (26500-29500) n261 (27500-28350)	n257：72 n261：135	無
	27900-29500	供行動通信使用，將於 2040 年屆期			

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段	頻率範圍	我國使用現狀與規劃	3GPP Band Plan (TS 38.101-1)	生態系統現況 (終端設備數量)	整備困難點
		• 中華：27900-28500 • 遠傳：28500-29200 • 遠傳 113/5/10 因合併處分繳回：29200-29300 • 台哥大：29300-29500			

資料來源：3GPP、GSA，本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

根據以上彙整表資訊，我國潛在可供 IMT 使用頻段除於 119 年、122 及 129 年所屆期之頻段外，還包括閒置之 600、800、2300 MHz 頻段，以及目前存在既有使用者之 3570-4200、4400-5000、6425-7125 MHz 待整備頻段，而 7125-8400、14.8-15.35 MHz 則屬於 WRC-27 探討之潛在頻段。以下分別深入探討各頻段之使用現況與規劃：

- 600 MHz 頻段：該頻段潛在釋出頻率範圍 632-652 / 678-698 MHz，共計 40 MHz，目前無既有使用者，3GPP Band Plan 為 n71，終端設備生態系統成熟，可視情況於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣釋出。

- 800 MHz 頻段：該頻段潛在釋出頻段為 806-821 / 847-862 MHz，共計 30 MHz，目前 806-816 / 847-857 MHz 規劃供公共安全與救難應變（PPDR）專屬無線通信系統實驗網路之用，惟已閒置多年；816-821 / 857-862 MHz 僅一案實驗網路使用；839-847 MHz 則供智慧讀表 AMI 系統使用，考量 AMI 系統使用量眾多，故建議暫不規劃納入釋出頻段。此外，3GPP 之 800 MHz 的 Band Plan 數量有 5 種，各類生態系統成熟度不一，後續應對各類 Band Plan 進行適用於我國之可行性評估。綜合上述，該頻段若在不考慮 AMI 系統頻段之下，剩餘頻段需進行 PPDR 存續問題之討論，以及 3GPP Band Plan 規劃，方可於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣釋出。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

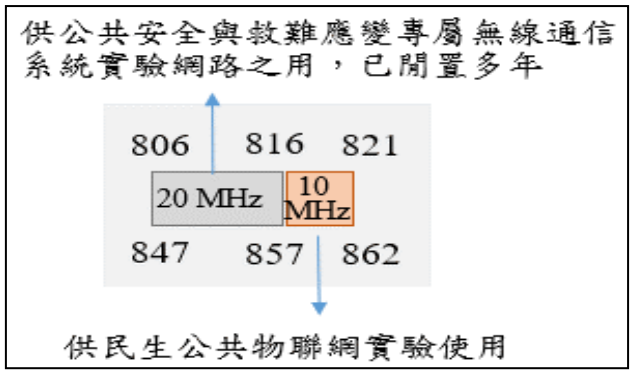


圖 3- 26、我國 800 MHz 頻段規劃使用用途

資料來源：本研究整理

- 2300 MHz 頻段：該頻段潛在釋出頻率範圍 2300-2390 MHz，共計 90 MHz，目前部分頻段供公部門使用中，3GPP Band Plan 為 n40，終端設備生態系成熟，因此需與公部門進行協調後，方可於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣釋出。

- U3 頻段（3570-4200 MHz）：該頻段潛在釋出頻寬至多為 630 MHz，使用現況為 3570-3610 MHz 為護衛頻帶；3610-3700 MHz 供既有 ST-2 使用；3700-4200 MHz 供固定點對點微波、衛星固定下鏈使用，3GPP Band Plan 為 n77、n78，終端設備生態系成熟，惟需考量 ST-2 落日時間與上述既有使用者之後續整備作業，待整備作業完成後，才可於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣視情況部分釋出。

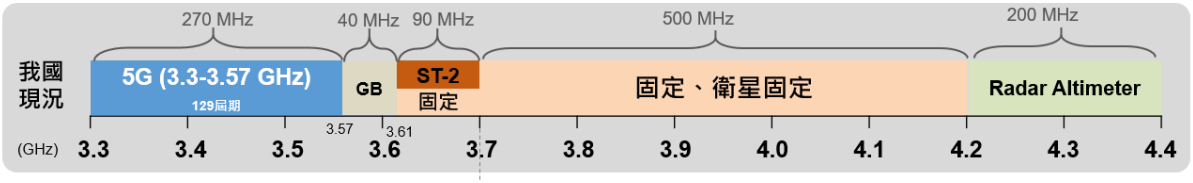


圖 3- 27：我國 3300-4400 MHz 頻段使用現況

資料來源：本研究整理

- U4 頻段（4400-5000 MHz）：該頻段潛在釋出頻寬至多為 600 MHz，使用現況為 4400-4700 MHz 供警消微波骨幹

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

使用；4700-4800、4900-5000 MHz 供節目中繼固定微波電臺、實驗電臺使用；4800-4900 MHz 則供行動寬頻專用電信網路設置使用，3GPP Band Plan 為 n79，終端設備生態系成熟，惟 4400-4700 MHz 需面臨警消微波骨幹二次移頻之情形，應審慎評估，故建議暫不規劃納入釋出頻段。4.7-4.8 與 4.9-5.0MHz 既有使用者已即將完成整備，可作為 6G 候選頻段，至於 4.8-4.9 GHz 目前仍有部分業者申請使用專網，若需整備該頻段供 IMT 使用，需考量申請者之執照期限及使用需求，因此專網存續與否影響是否可規劃連續頻段（與 4.7-4.8 GHz 及 4.9-5.0 GHz 形成 300 MHz 頻寬）之問題，才可於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣釋出。

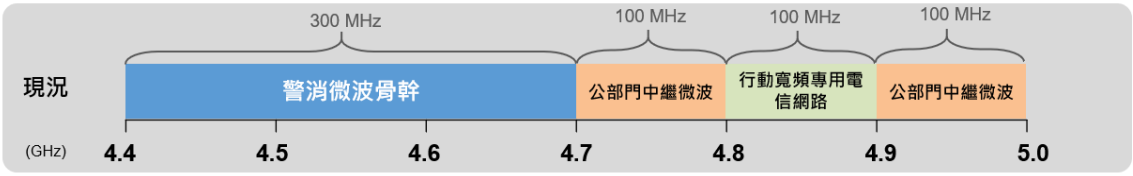


圖 3- 28：我國 4400-5000 MHz 頻段使用現況

資料來源：本研究整理

- U6 頻段（6425-7125 MHz）：該頻段潛在釋出頻寬至多為 700 MHz，使用現況為供固定點對點微波、衛星固定上鏈使用，3GPP Band Plan 為 n96、n104，終端設備生態系仍發展中，但此頻段為各主要國家與設備商聚焦討論之頻段，惟應需進行上述既有使用者之頻譜整備作業後，並持續觀測國際趨勢，才可於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣視情況部分釋出。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

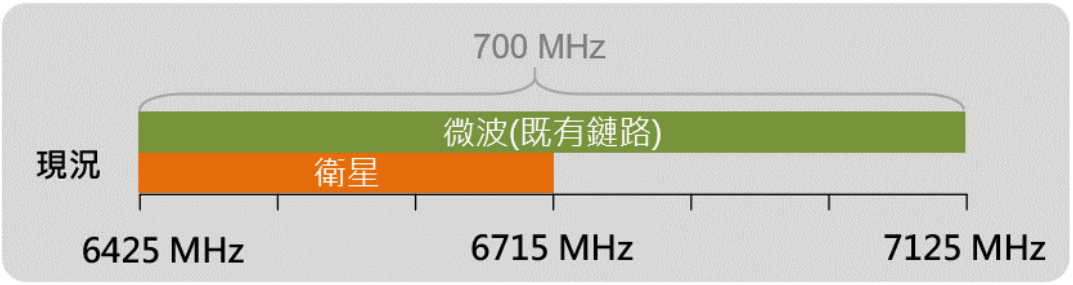


圖 3- 29：我國 6425-7125 MHz 頻段使用現況

資料來源：本研究整理

- 7125-8400 MHz 與 14800-15350 MHz 頻段：為 WRC-27 探討之潛在 IIMT 頻段，使用現況為 7125-8400 MHz 供專用電信、節目中繼固定微波電臺、節目中繼行動微波電臺、實驗電臺使用；14800-15350 MHz 則無既有使用者，惟該頻段之終端設備生態系統尚待發展中，未來需持續觀測 WRC-27 之決議，並評估既有使用者之使用情形以及相關設備之成熟度，建議暫不納入於未來 119 年或 122 年頻譜拍賣釋出。

3. 我國 119 年 5G/6G 頻譜拍賣規劃方案

為研提我國 5G/6G 可用頻譜規劃方案，需將上述潛在頻段加以分類，根據頻段使用狀況與釋出難易度，初步分為三大類，依序為一、屆期與閒置頻段；二、需待與既有使用者達成共識，並完成整備作業之頻段；以及三、待觀察之頻段，彙整如下表、圖所示。其中 839-847 MHz 供智慧讀表 AMI 系統使用，考量 AMI 系統使用量眾多，故暫不規劃納入 800 MHz 釋出頻段，以剩餘 806-821 / 847-862 MHz 為主；4400-4700 MHz 需面臨警消微波骨幹二次移頻之情形，應審慎評估，故暫不規劃納入 U4 釋出頻段，以 4700-4800、4900-5000 MHz 為主。此外，考量待觀察之頻段為 WRC-27 探討之頻段，包括美國 5G America 報告中提及之 6G 潛在 7125-8400 頻段，需視 WRC-27 最終決議而定，且我國對於

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

WRC-27 頻段目前無明顯需求，故以下 119 年 5G/6G 頻譜拍賣規劃方案以屆期、閒置及待整備頻段為主，未將觀察頻段納入方案之中，未來應持續觀察 WRC-27 最新國際動態，滾動式調整我國規劃方案。

表 3- 57、我國潛在可供 IMT 使用頻段之分類表

屆期與閒置頻段	待整備頻段	待觀察頻段
• 閒置頻段：600、800(未包括 AMI 頻段)、2300 MHz • 屆期頻段： ➢ 119 年：700、900、1800 MHz ➢ 122 年：2100、2500、2600 MHz ➢ 129 年：3.5、28 GHz	• 3570-4200 MHz：原既有使用者為 ST-2、固定微波業者、衛星固定下鏈業者 • 4700-4800、4900-5000 MHz：原既有使用者為公部門中繼微波系統使用 • 6425-7125 MHz：原既有使用者為 ST-2、衛星廣播及微波鏈路業者。WRC-23 決議 6425-7025 開放第一區使用，7025-7125 開放全區使用	• WRC-27 探討之頻段：7125-8400 MHz 及 14.8-15.35 GHz

資料來源：本研究整理

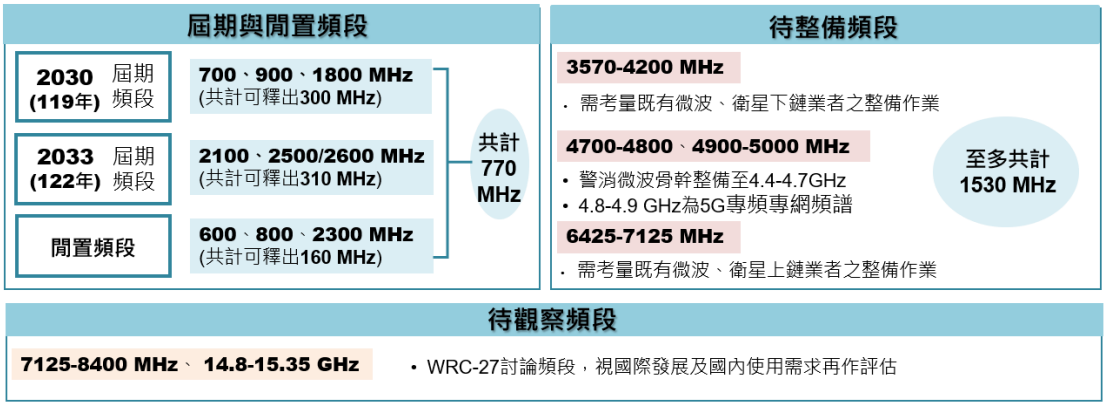


圖 3- 30：我國潛在可供 IMT 使用頻段之分類圖

資料來源：本研究整理

根據上表分類，本研究研提我國 119 年 5G/6G 頻譜拍賣規劃五大方案，首先方案一為僅釋出 119 年屆期之 700、900、1800 MHz 頻段，保留後續頻段規劃之最大彈性。方案二為方案一之頻段與現階段尚未使用之 600、800、2300 MHz 閒置頻段合併釋出，提升頻譜使用效率。方案三則在方案二基礎上，再加上 122 年屆期之

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2100、2500、2600 MHz，有助於整體資源的整合運用，減少頻譜零碎化，多頻段的釋出亦可降低業者拍賣不確定性，惟可能減少後續頻譜規劃之彈性。

上述三種方案之釋出頻段皆屬屆期與閒置頻段，於此基礎，方案四、五為再加上待整備頻段，具體可能釋出頻段包括 3570-4200、4700-4800、4900-5000 及 6425-7125 MHz 頻段。惟考量上述頻段眾多，若一次性釋出拍賣多個頻段，雖可降低業者網路布建之不確定性，但單次多段頻段拍賣可能造成業者財務負擔，且不利於新進業者，影響市場競爭，且缺乏政策彈性，若出現競標異常或市場趨勢變化，不易及時修正策略；另待整備頻段整備難易度不一，需視整備情況而定，因此方案四、五為配合 119 年與 122 年執照屆期，採兩段式拍賣，此方式有助於業者依資金與策略分階段投入，降低單次拍賣財務壓力，主管機關可觀察第一階段結果，調整第二階段規則（如底價、競標上限等），提升政策彈性。

方案四為 119 年第一階段先行拍賣低頻段（2 GHz 以下），包括 600、800、700、900、1800 MHz 等頻段，以滿足基礎涵蓋（coverage）後，再搭配 3570-4200、4700-4800、4900-5000 MHz 等待整備頻段，同時強化網路容量（capacity）與速率；122 年第二階段則為原 122 年屆期頻段（2100、2500、2600 MHz）併同 2300 MHz 一同釋出，有利於整合設備，降低業者設備採購及布建成本，同樣再搭配 6425-7125 MHz 待整備頻段，以強化網路容量（capacity）與速率。而方案五則與方案四相似，差別於將 6425-7125 MHz 移至第一階段拍賣，3570-4200 MHz 則移至第二階段拍賣，實際拍賣順序與頻寬需視整備情況而定。彙整上述如下圖所示。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

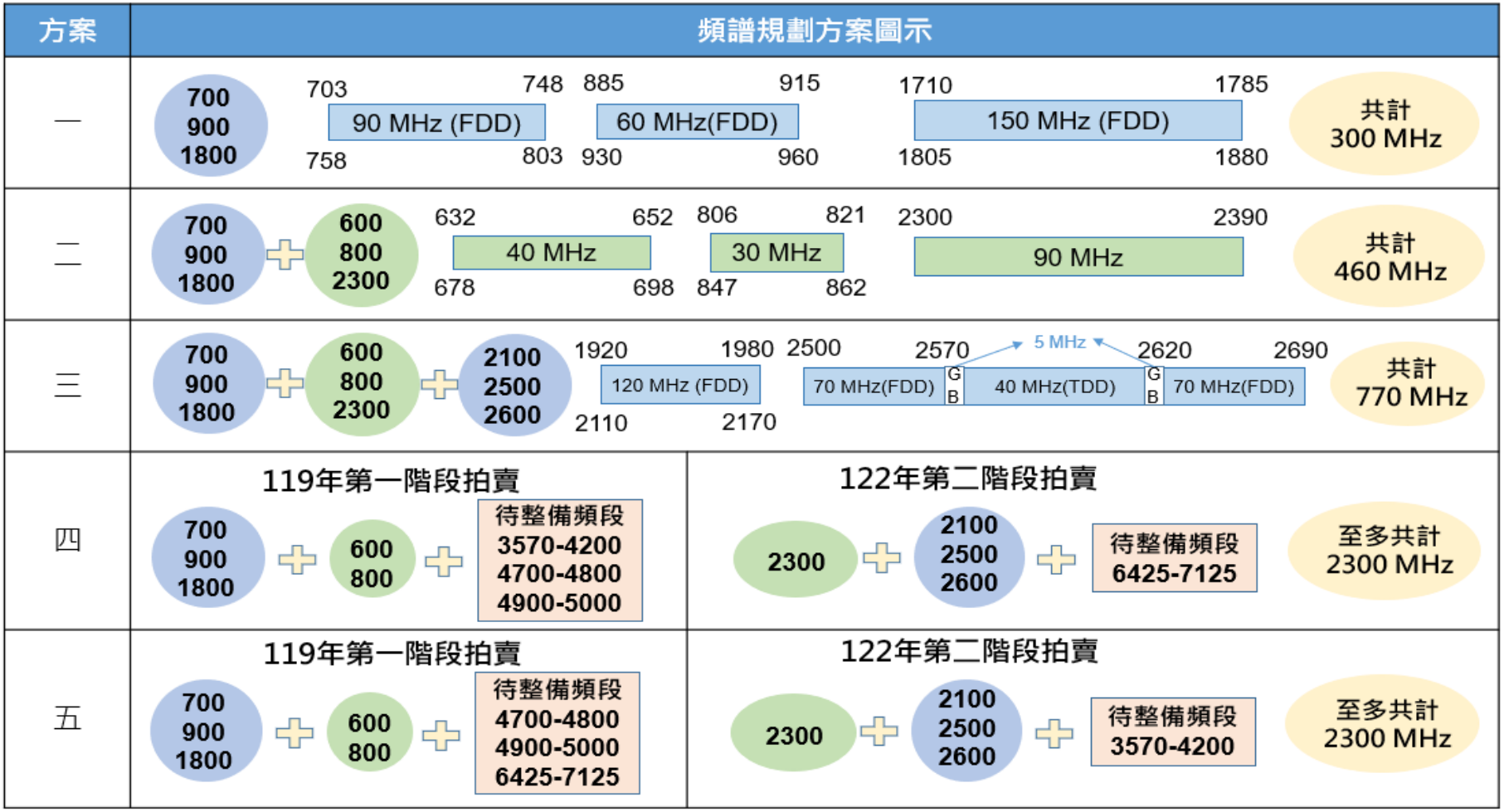


圖 3-31、我國 6G 頻譜規劃方案圖示

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

為提供主管機關作為採用方案之參據，本計畫針對上述我國五大 6G 頻譜規劃方案，分為頻譜政策面、產業發展面及財務效益面三大面向進行優缺點分析，各面向主要考量因素如下：

- **頻譜政策面**：政策彈性、規劃完整性、風險管理、行政可行性。
- **產業發展面**：業者投資負擔、設備整合、網路布建、競爭環境、新進者可行性。
- **財務效益面**：主管機關拍賣收益、標金規模、財政穩定性。

根據以上三大面向整理我國 6G 頻譜規劃方案優缺點分析表，如下表所示：

表 3- 58：我國 6G 頻譜規劃方案優缺點分析表

方案	釋出頻段	頻譜政策面	產業發展面	財務效益面
一	119 年屆期頻段：700、900、1800 MHz	**優點** 保留最大政策彈性，後續頻段可依國際趨勢機動調整。 降低一次釋出大量頻譜的政策風險與規劃壓力。 **缺點** 釋出頻段過少，難以因應 6G 發展之頻譜需求。 需多次拍賣，行政成本與市場不確定性較高。	**優點** 業者投資壓力最低，有助維持穩定布建計畫。 **缺點** 未增加中高頻容量，不利 6G 早期發展。 新進者難以取得足夠頻寬，不利市場競爭。	**優點** 標金競爭集中於少量珍稀低頻段，單段價值相對高。 **缺點** 總釋出頻寬低，整體標金規模有限，政府收益最低。
二	119 年屆期頻段：700、900、1800 MHz 閒置頻段：600、800、2300 MHz	**優點** 活化閒置頻段，提高頻譜使用效率。 增加釋出量但仍保留後續規劃釋出 6G 頻譜彈性。	**優點** 增加低頻段閒置頻段，有助提升網路涵蓋。 **缺點** 未增加 3GHz 以上之頻段釋出，不利 6G 早期發	**優點** 總釋出量增加，拍賣規模與競爭提升，收益高於方案一。 **缺點** 若閒置頻段市場需求不高，可能

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

<table>
<tr><th>方案</th><th colspan="2">釋出頻段</th><th>頻譜政策面</th><th>產業發展面</th><th>財務效益面</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td>缺點
同方案一</td><td>展需求。</td><td>降低部分標金競爭度。</td></tr>
<tr><td>三</td><td colspan="2">119 年屆期頻段：700、900、1800 MHz
閒置頻段：600、800、2300 MHz
122 年屆期頻段：2100、2500、2600 MHz</td><td>優點
大規模整併釋出降低頻譜零碎化，一次完成多頻段規劃。
降低後續拍賣不確定性，提高政策可預測性。
缺點
後續可調整空間大幅降低，彈性不足。
多頻段釋出，規劃複雜度提高。</td><td>優點
各頻段設備成熟，可一次整合網路、降低長期成本。
缺點
一次總釋出量大，業者財務負擔提高。
新進者負擔高，不利市場競爭。</td><td>優點
釋出頻寬大，預期主管機關可獲得高於方案一、二標金收益。
缺點
若業者財務壓力過大，可能降低競標熱度，影響收益。</td></tr>
<tr><td>四</td><td colspan="2">兩階段拍賣
119 年第一階段
屆期頻段：700、900、1800 MHz
閒置頻段：600、800 MHz
待整備頻段：3570-4200、4700-4800、4900-5000 MHz
122 年第二階段
屆期頻段：2100、2500、2600 MHz
閒置頻段：2300 MHz
待整備頻段：6425-7125 MHz</td><td>優點
可依第一階段結果調整第二階段底價、標金上限等規則，政策彈性高。
避免一次釋出過多頻譜導致政策風險。
行政流程可分散，不需一次整備所有頻段。
缺點
需跨年度管理，行政成本較高。
需留意待整備頻段之整備進度。</td><td>優點
分階段拍賣降低業者財務壓力。
釋出頻段滿足未來 6G 發展需求，促進產業發展。
兩階段拍賣提升政策透明度與可預測性，降低業者不確定性。
缺點
若待整備頻段尚有干擾與協調問題，影響業者布建規劃。</td><td>優點
兩階段標金分散，有助提高每階段競標熱度與價格穩定性。
主管機關可視市場狀況調整第二階段底價，提高財務收入彈性。
缺點
無。</td></tr>
<tr><td>五</td><td colspan="2">兩階段拍賣
119 年第一階段
屆期頻段：700、900、1800 MHz
閒置頻段：600、800 MHz
122 年第二階段
屆期頻段：2100、2500、2600 MHz
閒置頻段：2300 MHz</td><td>優點
同方案四
缺點
同方案四</td><td>優點
同方案四。
缺點
同方案四。</td><td>優點
同方案四。
缺點
無。</td></tr>
</table>

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

方案	釋出頻段		頻譜政策面	產業發展面	財務效益面
	待整備頻段：4700-4800、4900-5000、6425-7125 MHz	待整備頻段：3570-4200 MHz			

資料來源：本計畫整理

綜整前述五大方案之優缺點分析，並考量我國 6G 候選頻段之既有使用者盤點結果，以及國內外座談會專家學者之意見，本計畫建議採取方案五。此方案與方案四的主要差異在於：基於目前頻段的既有使用情形及整備難易度，建議於第一階段優先釋出 U4、U6 頻段，並於第二階段再釋出 U3 頻段。

方案五配合 119 年及 122 年執照屆期，採兩階段式拍賣，有助於業者依其資金規劃與發展策略分階段投入，降低單次拍賣所造成的財務壓力；同時，主管機關亦能避免一次性釋出大量頻譜，可在觀察第一階段結果後，調整第二階段的拍賣規則（如底價、競標上限等），以提高頻譜政策的彈性與適應性。

此外，該方案除屆期頻段外，主管機關可依政策目標與整備進度，適度加入 600、800、2300 MHz 閒置頻段，以及 U3、U4、U6 等 6G 重點頻段，在兼顧行動網路的基礎涵蓋需求時，同時提前釋出 6G 之關鍵頻譜，以促進我國 6G 技術與產業發展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第四節 國際會議出席進度與成果

一、 出席泰國亞太頻譜管理會議之成果

(一) 會議簡介

亞太頻譜管理會議（Asia-Pacific Spectrum Management Conference）為全球頻譜系列（Global Spectrum Series）之區域會議之一，於 2013 年召開首次會議，其後每年舉辦一次，主要探討亞太地區頻率規劃、分配與管理之區域性會議。第 11 屆亞太頻譜管理會議於 2025 年 3 月 13 日開始至 3 月 14 日結束，為期 2 天，本次會議聚焦於無線通信與頻譜政策的未來發展、亞太地區 WRC-27 之規劃、6 GHz 上半頻段（U6 頻段）與中頻段之應用、5G SA 與 6G 之演進、超高頻（Ultra High Frequency, UHF）生態系變化、衛星直連通信裝置（Direct-to-Device, D2D）、微波與毫米波頻段前景，以及頻譜訂價與發照制度等關鍵議題。邀請亞太地區主管機關、不同頻率用途之產業代表、國際組織或研究單位分享觀點。



圖 3- 32、第 11 屆亞太地區頻譜管理會議-主要探討議題

資料來源：APT

(二) 會議重點成果

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

本次第 11 屆亞太頻譜管理會議於泰國曼谷舉辦，會議議程為期 2 天、每天召開 8 小時之會議，總共進行 10 場小組討論和演講，邀集 52 位來自國際通信標準組織、產業組織、國家代表、行動網路業者、設備商代表等與會人員進行分享與互動式討論。本次會議聚焦於無線通信與頻譜政策的未來發展，討論亞太地區 WRC-27 規劃、6 GHz 頻段應用、5G SA 與 6G 演進、超高頻（UHF）變化、衛星直連通信裝置（D2D）、微波與毫米波頻段前景，以及頻譜訂價與發照制度等關鍵議題。以下綜整討論度較高之議題及參與本次會議之建議與未來展望。

1. 6G 頻譜規劃與全球協調策略

6G 頻譜的未來發展強調全球協調與區域策略的平衡，尤其在 WRC-27 會議中探討 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz 及 14.8-15.35 GHz 三大關鍵頻段的釋出與規劃。未來頻譜規劃不僅依賴高頻段與中頻段的擴展，還需考量人工智慧、延展實境和邊緣運算等新興技術所帶來的龐大頻寬需求。換言之，唯有精準分配並重耕既有頻譜，才能讓系統在高資料速率與多樣化應用場景中游刃有餘。正因如此，Nokia 和 Qualcomm 均強調，透過科學化的頻譜管理與靈活的再分配機制，才能為 6G 打造兼具高效能與極致擴展性的下一代無線電生態系統。

2. U6 頻段之規劃為目前全球頻譜策略的關鍵轉折點

U6 頻段已成為全球行動與 Wi-Fi 之生態核心，各國在免執照與核發執照使用之間策略存在顯著分歧。澳洲同步推動 RLAN 布建與大規模寬頻基礎建設；印尼結合「數位主權」目標開放 Wi-Fi 6E/7 頻段並預留 IMT 發展空間；泰國透過朱大隆功大學實地測實驗證 6 GHz IMT 大型基地臺的高容量與涵蓋效能；同時，Meta 等業者呼籲釋出完整頻寬以支援沉浸式應用。儘管 U6 頻段在 5G-Advanced 與未來 6G 中，展現出類似 3.5 GHz 的涵蓋範圍

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

及更高容量的優勢，但仍需平衡與現有衛星用途和微波鏈路的共存問題，同時顧及環境永續與成本效益。為了達成免執照與核發執照使用的最佳互補，將須透過跨國協調、公開諮詢與技術中立共享機制。未來的關鍵在於加速標準制定和生態投資擴展，並確定分階段的釋出時程，為行動通信和 Wi-Fi 的共同發展奠定穩固基礎。

3. 衛星直連通信裝置之應用及頻譜管理政策

衛星直連通信裝置之應用有助於補充地面行動通信之涵蓋範圍，為偏鄉、海上、緊急救援與災害應變等提供穩定通信用途。為鼓勵新興應用，同時保護既有使用者，各國已開始就衛星直連通信裝置所衍生之頻譜管理、干擾協調、跨境用途、設備相容性等議題進行深入研究，並且已有部分國家（如：美國、澳洲）率先推出衛星直連通信裝置之監管規範。由於衛星直連通信裝置涉及跨國性用途，因此印度通信部與 Omnispace 建議應於國際層面上建立一致性之頻譜管理框架及技術標準，並進行跨區協調。目前 3GPP、GSOA 等國際組織已開始研擬衛星直連通信裝置之技術標準，且 WRC-27 議程項目 1.13 亦將針對「使用 IMT 頻段提供用途之衛星直連通信裝置」進行討論。

4. 衛星通信頻譜管理政策之革新

隨著衛星產業之快速發展，衛星通信應用數量大幅增長，既有的頻譜管理政策及干擾協調保護規範已難以因應現今衛星通信之發展，如：NGSO 與 GSO 之干擾協調、超大型低軌衛星系統之管理、衛星直連通信裝置等議題。亞馬遜公司與 Viasat 公司建議 ITU 應盡快更新「NGSO 與 GSO 之干擾協調與保護規範」以及「EPFD 評估之技術建議」，以保護 GSO 與既有使用者，同時鼓勵 NGSO 創新應用。目前 WRC-27 已將衛星行動用途之新興應用議題納入議程項目 1.11-1.14，亞太區域電信組織（APT）亦將研

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

析上述議題，並尋求共識。

5. 具體政策建議

隨著 5G 至 6G 技術不斷推進，通信技術出現革命性進展，地面網路與非地面網路互連議題成為全球矚目之重點，同時亦著重於 6G 頻譜規劃。本研究提出以下建議：

(1)建議未來我國頻率主管機關應持續參與亞太地區頻譜管理會議或其他相關會議[329]，縱使我國非為 ITU 會員國，仍可透過參與不同形式之會議了解各國或區域組織之最新技術發展狀況以及頻率管理制度脈動。

(2)建議我國持續爭取加入亞太地區電信組織（APT），將我國所執行關於頻譜管理、B5G/6G、AFC、頻譜共享、消除數位落差等政策與技術能量和其他國家分享，提升我國國際地位。

(3)建議我國持續關注各國際組織及先進國家就 WRC-27 各議程項目之頻率管理政策發展，並就 WRC-27 議程項目 1.7 之 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz 及 14.8-15.35 GHz 之未來三大關鍵頻段研擬我國未來釋出規劃。

(4)建議我國與先進國家就 U6 頻段之規劃進行交流。自 WRC-23 決議公告後，各國目前就開放行動與 Wi-Fi 使用 U6 頻段一事莫衷一是。我國亦持續進行 U6 頻段規劃作業，主管機關或可積極與其他國家交流 U6 頻段規劃之相關意見，以確保我國政策能與國際接軌，兼顧鼓勵創新以及保護既有使用者。

[329] 2026 年第 12 屆亞太頻譜管理會議將於 2026 年 3 月 31 日於柬埔寨舉行，由電信主管機關（Telecommunications Regulatory Commission, TRC）主辦，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、 出席 114 年度亞太經濟合作電信暨資訊工作小組第 70 次、71 會議

(一) 電信暨資訊工作小組第 70 次會議

電信暨資訊工作小組（Telecommunications and Information Working Group, TELWG），由 21 個會員經濟體組成，各會員經濟體每年輪流舉辦兩次會議。其目標是推動資通信政策、交流經驗、研擬人力資源運用及發展合作策略，推動亞太地區的電信和資訊發展，致力實現建立「亞太資訊社會」的目標。我國自 1991 年以正式會員身分加入 TELWG 後，每年例行組織代表團參與會議，並就資通信科技縮短數位落差、推動下世代網路與科技發展、打造數位政府、推動相互承認協議、監理法規革新及資通信安全等議題與會員積極討論，分享我國執行之經驗同時提高我國在國際間的能見度。

1. 會議簡介

本次亞太經濟合作電信暨資訊工作小組第 70 次會議於韓國慶洲舉辦，共有澳洲、汶萊、加拿大、中國大陸、印尼、日本、韓國、馬來西亞、巴布亞紐幾內亞、秘魯、菲律賓、新加坡、泰國、美國及我國等 15 個經濟體代表出席。本次會議由中心推派徐玉珊資深研究員兼副理與呂少琪助理研究員，陪同數發部長官出席會議。

主辦方維持近年 APEC 推行平衡、永續和包容性經濟發展的願景所定之年度三項關鍵字為「繁榮、創新、連結」，以探討透過數位轉型驅動區域經濟繁榮、促進科技創新以應對新興挑戰，並強化各經濟體間於資通信基礎建設、資安韌性及數位素養方面的合作與連結，實現全民參與，並進一步支持亞太區域的綠色成長與永續發展目標。主辦方就這三大優先事項展開廣泛的討論和活動安排，深化具體落實方案，尋求有利於亞太地區實現更加包容和永續發展的契機和路徑。因此，TELWG 在 2025 年將持續探討 TELWG 策略行動方案 2026 年至 2030 年的方針，並針組織章程與所提及之計畫

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

提案進行討論。其內容皆與 APEC 2025 總體目標相同，促進合作和資訊共享。

本次會議中提及 TELWG 71 及 TELMIN 11（電信部長級會議）將於今年 SOM 3 期間在韓國仁川舉行實體會議。此外，說明 TELMIN 11 部長級會議，聚焦於促進數位與 AI 創新、強化數位連結與包容，以及建構安全可信賴的數位與 AI 生態系統等核心議題。透過部長級會議、數位與 AI 論壇及產業考察活動，促進 APEC 經濟體在數位轉型與政策合作之交流與發展，並發表聯合部長宣言，共同推動永續的數位未來。

2. 會議重點成果

2025 年 APEC TEL 第 70 次會議聚焦「繁榮、創新、連結」三大優先事項，展開多場次政策討論與交流，促進具體方案之落實，尋求亞太區域邁向更具包容性與永續性的發展契機與合作路徑。會議主軸圍繞數位轉型與 AI 創新應用，強調 APEC 各經濟體應積極促進普及性的數位連結，並攜手打造安全、可信賴的數位環境。

會中，各經濟體分享近期政策與實作進展，涵蓋 AI 治理、ICT 基礎建設、網路安全、數位包容與標準互認等關鍵領域。例如，我國針對「低功率無線電設備（LPRFDs）」推動進口簡化政策，提出創新標準技術資料庫建置構想，並於 CISG 分組中介紹最新制度設計。此外，STSG 分組中，亦展示強化跨國資安合作與聯防機制的成果，展現持續參與區域資安治理與設備認證制度國際接軌成果。

其他經濟體方面，日本提出三大政策主軸，包括：推動開放可信賴之 Open RAN 網路架構，以降低約 30%建置成本、提升 50%節能效益；進行資料中心分散化之區域分布，以強化災害應變能力；並啟動「數位正向行動（Digital Positive Action）」，提升全民數位素養與教育資源可及性。新加坡則針對資料中心與雲端用途提出安

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

全營運指引，並實施「線上安全行為守則」，要求建置內容管控與年報揭露機制，強化平臺責任及兒少網路保護。

澳洲著重於縮小偏鄉原住民族數位落差，推動「First Nations Digital Inclusion」計畫，並設立「通信韌性創新基金」以強化災害應變通信能力；印尼則透過「SAMAN」內容審核合規系統，提升平臺責任與兒少網安保護，並同步擴展 4G 網路布建與數位政府整合用途；韓國則展現其 AI 治理體系全貌，從立法、專責機構（AI 安全研究院）到高齡者數位包容政策均有系統性之建立，並提及將於 TELWG 71 舉辦研討會，深入探討相關議題。

美國則介紹於 2025 年 1 月所發布之 AI 行動計畫行政命令，提出「科技創新與合理監管」雙策略，強調推動 AI 安全測試、標準化與治理架構建立。同時，亦分享其雲端運算、頻寬建設與低軌衛星合作等領域的推動現況，積極延伸政策影響力至亞太區域。各國經濟體分享多項具代表性的政策作法，展現各國致力推動數位包容與強化韌性基礎建設之多元化發展。

此外，會議透過舉行三場研討會，分別探討：「加速 5G 應用案例以促進數位經濟成長」、「推廣創新數位解決方案以因應社會經濟挑戰」、以及「利用新興技術強化數位基礎設施的韌性」。三場聚焦研討會聚焦 5G 應用、AI 創新與基礎建設韌性三大主軸，展現 APEC 經濟體推動數位轉型的實踐性議題，加速區域數位經濟融合，發展多邊交流。

3. 心得與政策建議

本次會議中各經濟體對於關鍵基礎設施資安、IoT 資安標章、網路犯罪防制與人工智慧治理等議題展現高度共識。多數國家已建立完善的資安法規與聯防機制，並透過跨境合作強化應變能力，例如 APCERT 推動跨國演練與資安事件協調。IoT 資安標章逐漸受到

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

重視，美國啟動標章圓桌會議，韓國則已與德國、新加坡簽署相互承認協議，顯示 MRA 制度即將普及。美國原規劃於 TELWG 71 會期舉辦「物聯網資安標章工作坊」，惟於會前表示因「未預期情況（unforeseen circumstances）」無法如期辦理，並同步說明該工作坊將於未來另擇期重新安排。在防詐方面，多國推動 SIM 卡實名制及區域合作，突顯跨境聯防的重要性；而在 AI 治理上，日本、韓國、美國等國積極建立法律框架與問責制度，以避免技術濫用並兼顧公民權益。

我國在資安政策、IoT 驗證、防詐法制與 AI 討論等面向已有一定基礎。國家資通安全研究院持續參與 APCERT 並主辦演練活動，國內推動 IoT 資安標章並參考國際標準，但尚未建立 MRA 互認機制；在防詐方面，已制定「詐欺犯罪危害防制條例」，並與網路平臺合作，但仍需完善網路危害與違法內容的治理；人工智慧則應持續追蹤國際立法進度，並結合國情制定治理框架。未來，我國若能進一步推動國際合作、MRA 互認、跨境防詐協作與 AI 治理法制化，並同時強化全民數位素養，將有助於鞏固資安能量，提升產業競爭力，並確保數位科技發展與社會利益並行。

基於上述觀察，本次 APEC TEL 第 70 次會議可歸納以下政策建議：首先，應深化關鍵基礎設施資安合作，持續參與 APCERT 與區域聯防演練，以提升跨國協作能量並強化我國國際能見度。其次，應推動 IoT 資安標章的國際互認，積極洽簽 MRA，以降低廠商法遵成本並提升國際市場競爭力。同時，也需強化防詐制度與合作，借鏡區域經驗推動 SIM 卡實名制及跨境合作機制，並完善「詐欺犯罪危害防制條例」的後續配套。此外，應建立 AI 治理架構，密切追蹤各國立法進度，並制定符合我國情境的 AI 法制與問責機制。最後，則應提升國民數位素養，推動全民數位教育，涵蓋資安意識、AI 應用與數位公民責任，以降低風險並促進數位轉型。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 電信暨資訊工作小組第 71 次會議

1. 會議簡介

本次亞太經濟合作電信暨資訊工作小組第 71 次會議於韓國仁川舉辦，共有澳洲、汶萊、加拿大、中國大陸、印尼、日本、韓國、馬來西亞、巴布亞紐幾內亞、秘魯、菲律賓、新加坡、泰國、美國及我國等 15 個經濟體代表出席，智利、香港、墨西哥、紐西蘭、越南與俄羅斯等 6 個經濟體未派員參加。本次會議由中心推派巫國豪主任、馮意庭副研究員與胡依淳副研究員，陪同數發部長官出席會議。

主辦方延續近年 APEC 提倡的平衡、永續和包容性經濟發展的願景，並以「繁榮（Prosperity）、創新（Innovation）、連結（Connectivity）」為年度三大關鍵主題，各經濟體於本次會議提出具體主題與方向，如澳洲聚焦於原住民族數位包容；中國則將重點放在人工智慧人才能力建設，以及推動 5G 案例發展；韓國針對高齡人口數位落差分享相關政策經驗，並提出人工智慧於不同產業應用之架構；馬來西亞提出通信設備核准框架；美國則同時推進多項計畫，包括物聯網資安標籤、低軌衛星寬頻工具包與工作坊等相關用途。

TELWG 在 2025 年將持續探討 TELWG 策略行動方案 2026 年至 2030 年的方針，並針組織章程與所提及之計畫提案進行討論，且主席重申相關文件須於 2025 年 12 月前完成定稿。部分經濟體提出具體修改意見。我國代表建議可透過調整分組會議召開周期，例如將部分分組會議改為一年一次，以降低行政負擔；澳洲則主張採取循序漸進的方式推動改革，避免一次性大幅變動影響小組運作；俄羅斯則提醒，若同時存在多個草案版本，將增加決策困難，呼籲先行確立基本方向。最終，會議尚未形成一致結論，但主席裁示應先完成基於現有架構的草稿，並透過書面意見

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

及後續會期進一步修訂，確保能在年底前完成定稿。

本次會議同時舉辦第 11 屆部長會議（TELMIN11），共有澳洲、汶萊、加拿大、中國大陸、智利、香港、印尼、日本、韓國、馬來西亞、墨西哥、紐西蘭、巴布亞紐幾內亞、秘魯、菲律賓、俄羅斯、新加坡、泰國、越南、美國及我國等 21 個經濟體代表全數出席。同時透過「數位與人工智慧部長宣言」，作為本年度在數位與人工智慧領域的核心成果文件。

「數位與人工智慧部長宣言」主題為「Digital and AI Transformation toward Prosperity and Sustainable Growth for All」與 APEC 2025 主軸「Building a Sustainable Tomorrow：Connect, Innovate, Prosper」相呼應，並再次確認貫徹「2040 布城願景」及其「奧特亞羅瓦行動計畫」，同時延續「APEC 網際網路與數位經濟路線圖（AIDER）」的實施，並且認為 AI 與數位基礎設施（含寬頻、智慧網路）是推動數位轉型的關鍵動能，將深刻影響產業運作與社會互動。各經濟體除看重效率、生產力與互通性帶來的機會，也強調「負責任」使用科技，著眼於安全、信任、可近性與可靠性，並回應各經濟體的在地需求。

數發部黃彥男部長於本次部長會議中，向其他經濟體介紹我國在「促進數位與人工智慧創新以應對社會經濟挑戰」及「強化全民數位連結」方面的具體做法。黃部長說明，我國為實踐所有國民均能平等、安全地受惠於數位轉型，所推動的「On AI（One Network, All People Included）」及「全民共享網路」的社會構建策略。此外，黃部長進一步闡述，我國的 AI 生態系建設仰賴「鼓勵創新」、「安全信任」以及「社會公平」三大支柱，並強調透明度與多方利害關係人共同參與的重要性，獲得與會代表的一致好評。

2. 會議重點成果

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2025 年 APEC TEL 第 71 次會議聚焦「繁榮、創新、連結」三大優先事項，展開多場次政策討論與交流，促進具體方案之落實，推動亞太區域邁向更具包容性與永續性的發展契機與合作路徑。會議主軸圍繞數位轉型與 AI 創新應用，強調 APEC 各經濟體應積極促進普及性的數位連結，並攜手打造安全、可信賴的數位環境。

各經濟體於本次會議提出具體主題與方向，如下：

- 澳洲聚焦於原住民族數位包容，透過案例研究展示在教育、公共用途及社群發展方面的應用與成效，突顯縮小數位落差的重要性。
- 中國則將重點放在人工智慧人才能力建設，以及推動 5G 案例發展以促進數位經濟成長，展現技術與產業融合的政策思維。
- 韓國針對高齡人口數位落差分享相關政策經驗，並提出促進人工智慧在不同產業應用的構想，以回應人口結構變化帶來的挑戰。
- 馬來西亞提出敏捷通信設備核准框架，旨在加快新技術進入市場的速度，提升監管靈活性與創新性。
- 美國則同時推進多項計畫，包括物聯網資安標籤、低軌衛星寬頻工具包與工作坊，以及智慧雲端應用，重點涵蓋資安、寬頻建設與雲端用途，展現其在政策工具與產業支援上的領導角色。

此外，會議透過舉行七場研討會，分別探討：「智慧銀髮創新」、「促進無用途區寬頻基礎建設和用途能力建構之研究」、「促進 AI 應用於 APEC 區域研討會」、「為數位未來建構勞動力 AI 技能」、「強化雲端轉型」、「數位轉型中頻譜安全利用與政策創新」，以及「年長者數位包容政策分享」。七場聚焦研討會聚

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

焦數位包容、AI 創新與基礎建設韌性三大主軸，展現 APEC 經濟體推動數位轉型的實踐性議題，加速區域數位經濟融合，發展多邊交流。

3. 心得與政策建議

本次會議中各經濟體對於資通信政策、網路安全與設備互通性之政策更新，包括 AI 相關議題，涉及 AI 素養、應用、治理與法規等，顯示出現階段各經濟體對於 AI 之重視，除此之外，對於網路韌性、5G 創新應用、頻譜管理、低軌道衛星、數位包容、防制詐騙等相關議題依舊密切關注。

我國《AI 基本法》草案已於 2025 年 8 月由行政院通過並送交立法院審議，草案共 17 條，提出永續、隱私保護、安全、公平、透明、問責等七大原則，建立 AI 研發與應用的治理框架，同時要求政府推動 AI 創新、資料治理及跨部門國際合作。未來可參考韓國、新加坡等國作法，透過跨部會協調推動 AI 人才培育、基礎設施建設與創新應用發展。同時，線上詐騙防制亦為重點議題，我國已設立打詐指揮中心，整合教育宣導、電信用途、數位經濟、金融監理與偵查打擊等面向，形成「打詐國家隊」。建議持續深化與各國反詐騙中心之合作，並探索 AI 技術於防詐應用之可能性。此外，面對天然災害風險，我國應強化網路韌性，運用高空通信平臺、低軌衛星等新興技術，確保災害期間通信穩定。

隨著我國即將於 2025 年邁入超高齡社會，年長者數位包容與素養提升成為重要課題。建議參考韓國、日本等國經驗，通過法令保障年長者接觸數位科技之權利，並運用 AI 與感測技術提供陪伴與關懷，降低孤立感與詐騙風險，促使年長者平順融入數位社會，並掌握全球高齡市場契機。另在通信技術方面，頻譜整備與釋出為各經濟體政策重點，我國可持續蒐集各國實務作法，作為未來釋出屆期頻譜與整備次世代頻段之參考，以強化我國通信技

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

術發展與政策前瞻性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第五節 小結

在國際頻譜政策觀測方面，本研究發現，APT、3GPP、GSMA、NGMN 及 NGA 等國際組織正積極推動 6G 發展，其核心關注頻譜規劃、技術演進與標準制定等關鍵議題。這些國際組織特別著眼於多層網路架構、人工智慧/機器學習（AI/ML）應用、原生雲架構及永續性發展等新興趨勢，並逐漸從過去的「分工導向」轉向更高層次的「協同整合」全球治理模式，以實現更廣泛的網路涵蓋與創新用途落地。

進一步觀察歐美亞等主要國家與地區，包括歐盟、美國、英國、日本、韓國、中國與香港，皆已積極展開 6G 規劃與前瞻研究。其政策動向普遍聚焦於頻譜資源盤點與整合釋出低、中、高頻段，並結合技術創新推動，如 AI 驅動網路、非地面網路（NTN）整合、動態頻譜共享及毫米波應用等，藉此提升網路效能、推動智慧化管理，並兼顧技術進步與環境永續發展之平衡。

在國內頻譜方面，本研究已詳細盤點 6G 候選頻段的既有使用情況，頻率範圍從低頻段 400 MHz 到高頻段 28 GHz，以及 NTN 使用之 S 頻段。這些頻段現階段分別用於公共電信、政府機關、國營事業及實驗用途等。根據盤點結果，本研究將我國可供使用頻譜依釋出難易度與使用潛力，區分為三大類型：屆期與閒置頻段、待整備頻段及待觀察頻段，並據此提出五個頻譜規劃方案，期望在頻譜供應穩定、產業發展推進與市場競爭健全之間取得最佳平衡，以因應 2030 年 5G/6G 用途的發展目標。

此外，我國亦積極參與國際會議，本年度出席第 11 屆亞太頻譜管理會議與亞太經濟合作（APEC）電信暨資訊工作小組會議，藉此掌握全球 6G 頻譜協調策略、U6 頻段開放進程、衛星直連裝置應用，以及頻譜管理政策改革等議題動向。透過積極參與國際會議與資訊交流，我國得以掌握各國最新發展與監管制度，分享頻譜管理與新興技術推動經驗，並強化與亞太地區國家之間的溝通與國際合作。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第四章 Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

第一節 頻率和諧有效使用機制之導入

本研究根據 113 年度研究成果，評估在我國成立符合美國 FCC 要求之 AFC 量測實驗室，本節將探討 FCC 法規對於 AFC 量測之規範，並且依循規則針對 AFC 設備進行量測，評估我國是否有能力來進行 AFC 設備之量測與驗證，並且產出符合美國 FCC 要求之 AFC 設備量測報告，以下將針對法規量測與測試規範進行研析。

一、 FCC 法規規範研析

(一) 前言

美國通信主管機關 FCC 於 2020 年 4 月 23 日通過 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）使用規範，釋出近 1200 MHz 頻寬供免執照設備使用，例如 Wi-Fi 6E 設備，並保護該頻段內既有執照業者之使用。另外，美國 FCC 知識庫（Knowledge Database, KDB）公告標號 987594[330]已於 2025 年 5 月更新 D01 U-NII 6GHz 的通用要求，在原有的低功率室內接取點（6ID）、附屬設備（6PP）、室內用戶端（6XD、6CD）、標準功率接取點（6SD）、固定用戶端（6FC）和標準客戶端（6FX）設備中，增修訂極低功率設備（6VL）的相關要求。如表 4- 1 所示，加上 6VL 後共有 8 種設備適用 FCC Part 15 Subpart E 之法規要求。

表 4- 1、6G UNII 設備之規則簡介

Band	頻段（MHz）	適用規範（CFR）	操作設備種類
U-NII 5	5925-6425	15.407（a）（4）- （8）	低功率室內接取點（6ID） 附屬設備（6PP） 室內用戶端（6XD、6CD） 標準功率接取點（6SD）

330 KDB 987594 : https://apps.fcc.gov/oetcf/kdb/forms/FTSSearchResultPage.cfm?switch=P&id=277034

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Band	頻段（MHz）	適用規範（CFR）	操作設備種類
			固定用戶端（6FC） 標準用戶端（6FX） 極低功率設備（6VL）
U-NII 6	6425-6525	15.407（a）（5）（6）（8）	低功率室內接取點（6ID） 附屬設備（6PP） 室內用戶端（6XD、6CD） 極低功率設備（6VL）
U-NII 7	6525-6875	15.407（a）（4）-（8）	低功率室內接取點（6ID） 附屬設備（6PP） 室內用戶端（6XD、6CD） 標準功率接取點（6SD） 固定用戶端（6FC） 標準用戶端（6FX） 極低功率設備（6VL）
U-NII 8	6875-7125	15.407（a）（5），（6），（8）	低功率室內接取點（6ID） 附屬設備（6PP） 室內用戶端（6XD、6CD） 極低功率設備（6VL）
註：6ID、6PP、6XD、6CD、6SD、6FC、6FX、6VL為美國為6G設備設定的代碼[331]。			

資料來源：FCC-OET-KDB987594

如下圖 4- 1、室內/外接取點（含 AFC 功能）流程示意圖，美國 6 GHz 頻段中各類 Wi-Fi 6E 設備的分類與其操作條件，並依據功率等級及使用情境分為四類型態（P1-P4）：

- P1：低功率室內基地臺（Low Power Indoor, 6ID），可搭配子設備（Subordinate, 6PP）、室內用戶端（Indoor Client, 6XD）、雙模用戶端（Dual Client, 6CD）或極低功率設備（Very Low Power, 6VL）使用。
- P2：標準功率基地臺（Standard Power Access Point, 6SD），並搭配標準用戶端（Standard Client, 6FX）、雙模用戶端（Dual Client, 6CD）、極低功率設備（Very Low Power, 6VL）或固定用戶端（Fixed Client, 6FC），並由 AFC 系統管理。
- P3：標準功率基地臺（6SD）與固定用戶端（6FC），均由

[331] FCC 設備代碼：https://apps.fcc.gov/oetcf/eas/reports/EquipmentRulesList.cfm

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

AFC 系統管理。

- P4：極低功率設備（Very Low Power, 6VL），以點對點（peer-to-peer, P2P）模式運作。

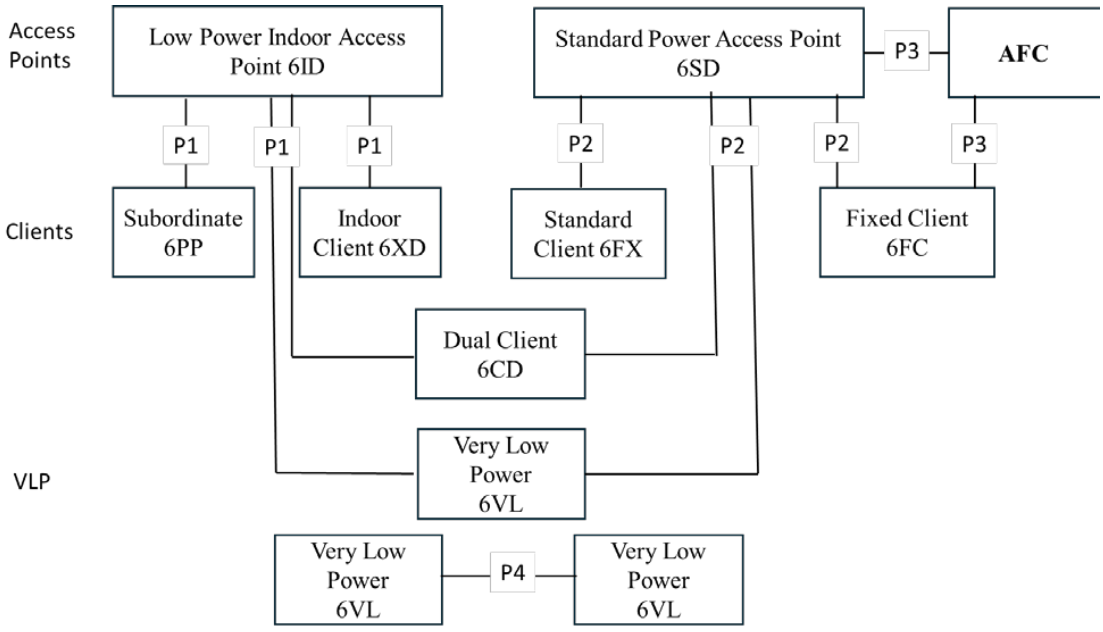


圖 4-1、室內/外接取點（含 AFC 功能）流程示意圖

資料來源：FCC-OET-KDB987594 D01

(二) AFC 標準功率接取點之法規規範

1. 一般要求

本節將針對 CFR 47 Part 15 中關於室內與室外環境中使用 AFC 功能之標準功率接取點（Standard Power Access Points）的相關法規進行分析。在量測前，須遵守 CFR 47 §15.203 的天線要求，此條文規定意圖發射器（Intentional Radiator）必須設計為僅能使用由負責方提供之天線，禁止使用其他天線，以避免使用者外加或更換不符規範的天線，若該裝置採用永久性附加天線，或使用與該意圖發射器相容之專用連接方式的天線，即視為符合本條規定；另，製造商得設計裝置讓使用者能更換損壞的天線，但不得使用標準天線插孔或電氣連接器。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

根據 CFR 47 §15.403 中對「發射頻寬（Emission Bandwidth, EBW）」的定義，應使用頻譜分析儀在信號達最大調變載波功率時，量測其功率下降 26 dB 時的頻率寬度。此外，依據 KDB 789033 的測試要求，進行發射頻寬量測時，頻譜分析儀需符合下列設定條件：

- 解析頻寬（Resolution Bandwidth, RBW）設為發射頻寬約 1 %。
- 視訊頻寬（Video Bandwidth, VBW） > RBW。
- 檢波器= Peak。
- 追蹤模式= max hold。
- 量測發射最大值以下 26 dB 處之頻寬。必要時調整 RBW 直至 RBW 與 EBW 比約為 1 %。

進行發射頻寬量測時，須注意頻譜分析儀應符合特定設定要求。首先，儀器的輸入衰減應設為自動；若需更精細的控制以降低雜訊底限，也可手動調整，但所設定的參考基準位準必須確保其對應功率，仍落在頻譜分析儀製造商建議的混波器線性範圍內。設定參考基準位準時，需保留足夠的動態範圍，其值至少為 10×log（99 %佔用頻寬÷RBW），若無法取得 99 %佔用頻寬，則可使用標稱頻寬作為替代。此外，若量測基於週期性發射的平均功率，則需額外提高參考基準位準，其增幅為 10×log（1/工作週期），例如對於 50 %的工作週期應提高 3 dB。頻寬內與頻寬外的量測應盡可能使用相同的參考基準位準，除非前級濾波器足以有效抑制頻寬內訊號，方可調整參考基準位準。

另根據附件（RF 測試報告）內進行 99 %占用頻寬測試，則是根據 KDB 789033（II）（D）中所述，99 %占用頻寬指發射信號之平均功率中，低於下限與高於上限的部分，各佔總平均功率的

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

0.5 %所涵蓋的頻率範圍。亦可選擇使用 99 %占用頻寬（而非 EBW）作為最大傳導輸出功率量測時整合功率的頻率範圍。但根據第 15.407（a） 條，仍須量測 EBW 以確定最大傳導輸出功率之頻寬限制，測試程序如下：

- 將中心頻率設為待測物（Equipment Under Test, EUT） 頻道中心頻率
- 頻寬設為占用頻寬（Occupied Bandwidth, OBW）的 1.5 至 5 倍
- RBW 設為 OBW 的 1%至 5%
- VBW ≥ 3 × RBW
- 禁止使用視訊平均。若可行，應使用樣本偵測與單次掃描模式，否則使用 峰值(peak)偵測與最大保持值(max hold)模式直到追蹤(trace) 穩定
- 使用儀器之 99% 功率頻寬功能（如有）
- 若無該功能，則以功率單位取回追蹤(trace)資料點並進行累加。從最低頻率起累加至總功率的 0.5%，該點即為下限頻率；再從頭開始至累加至 99.5%，該點即為上限頻率。上下頻率之差即為 99% 佔用頻寬。

2. 傳導測試

標準功率接取點進行傳導測試時，須遵守 CFR 47 §15.407（b）（9）之規定，任何使用交流電源線的 U-NII 設備也必須符合 §15.207 所規定的傳導發射限制，如表 4- 2 所示。

表 4- 2、傳導限制值

頻率（MHz）	傳導限制值（dBuV）	
	準峰值（Quasi-peak）	平均值（Average）
0.15- 0.5	66- 56	56- 46
0.5- 5	56	46
5- 30	60	50
註：隨頻率之對數遞減		

資料來源：FCC-CFR 47 §15.207

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

根據 CFR 47 §15.107（b）-（c），針對操作於 30 MHz 以下的載波電流系統，若其基頻發射位於 535-1705 kHz 且供標準調幅(AM)廣播接收器接收，則無傳導發射限制；其他系統則需符合 1000 微伏的限制，並以 50 μH/50 歐姆 線路阻抗穩定網路(line impedance stabilization network, LISN)量測。此外，該類系統仍須遵守相關的輻射發射限制（如 §15.205 等）。若設備僅以電池供電且無連接交流電源之設計，可免除傳導發射測試；但如具有充電、變壓器或間接連接 AC 電源之功能，則仍須驗證其傳導發射是否符合規範。

3. 輻射測試

根據 KDB 789033 和 KDB 662911 D01 的指南及 CFR 47 §15.407（a）（4），U-NII-5/U-NII-7 頻段的室外標準功率接取點，其最大平均輸出功率限制值（EIRP），不得超過 36 dBm，對於戶外設備，從地平線量測的任何高於 30 度的仰角處，其最大等效全向輻射功率不得超過 125 毫瓦（21 dBm），此限制確保最大輸出功率(Peak Output Power)及功率密度(Peak Power Spectral Density)合理，防止過度干擾。

4. 功率頻譜密度

根據 CFR 47 §15.407（a）（4）法規，U-NII-5/U-NII-7 頻段的標準功率接取點，其最大功率頻譜密度則不得超過 23 dBm/MHz（EIRP），對於戶外設備，從地平線量測的任何高於 30 度的仰角處，其最大等效全向輻射功率不得超過 125 毫瓦（21 dBm），此限制確保最大輸出功率（Peak Output Power）及功率密度（Peak Power Spectral Density）合理，防止過度干擾。

另於 KDB 公告編號 789033 中針對最大功率頻譜密度(Power Spectral Density, PSD）之量測提供詳細的測試方法說明，進行最

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

大傳導輸出功率量測時，須使用頻譜分析儀對涵蓋等效帶寬（EBW）或 99％佔用頻寬的範圍進行積分；但若需依頻寬限制功率，則必須使用 EBW。測試方法應根據 EUT 發射特性選擇：若 EUT 可持續發射或透過觸發方式確保每次掃描皆為最大功率，使用 SA-1 或其替代法；若無法滿足但占空比穩定（變動不超過 ±2%），使 SA-2 或其替代法；若仍無法達成上述條件，則使用 SA-3 或其替代法進行量測。

5. 帶外發射限制值

(1) 帶外發射（1G 以下）

當量測標準功率接取點在 1 GHz 以下的帶外發射時，其限制值須符合 CFR 47 §15.209 的規定。如下表 4- 3 所示，該條文規定了各頻段在一般要求下必須遵守的電場強度限制值及相對應的測量距離，此規範為美國針對免執照設備所訂定的輻射發射限制標準。

表 4- 3、1GHz 以下帶外發射限制值

頻率（MHz）	電場強度（uV/m）	測量距離（m）
0.009- 0.49	2400/f（kHz）	300
0.49- 1.705	24000/f（kHz）	30
1.705- 30	30	30
30- 88	100	3
88- 216	150	3
216- 960	200	3
960 以上	500	3

資料來源：FCC-CFR 47 §15.209

(2) 帶外發射（1G 以上）

對於 U-NII-5 / U-NII-7 頻段的標準功率接取點，其帶外發射限制參考 CFR 47 §15.407（b）之規範，操作頻段於 5925- 7125 MHz 頻段之發射機，帶外發射不得超過-27 dBm/MHz 外，功率頻譜密度應於通道邊緣外 1 MHz 處降低 20 dB，於通道中心一

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

個頻寬處降低 28 dB，於通道中心 1.5 倍頻寬處降低 40 dB。在距離未經授權設備通道邊緣 1 MHz 至距離通道中心一個頻寬之間的頻率範圍內，降低度應於 20 dB 與 28 dB 之間線性內插；在距離通道中心 1 至 1.5 倍頻寬之間的頻率範圍內，降低度應於 28 dB 與 40 dB 之間線性內插；大於通道中心 1.5 倍頻寬的頻率，其發射須至少降低 40 dB。依照上述的帶外發射限制與功率頻譜密度說明，帶外發射需在合法頻段內以及鄰頻的頻率區段，也要依距離進行 20-40 dB 的逐級降低。

另參考 KDB 公告編號 789033 測試指南，進行不必要發射量測時，EUT 應配置為連續發射（工作週期達 100%），或至少達 98%；若因硬體限制（如過熱）無法達成，應使用最大可行工作週期並量測實際工作週期，依規定調整量測程序（如增加掃描時間與追蹤次數），並在報告中詳列限制原因、實際工作週期及量測條件。發射功率不得因降低工作週期而進行調整，合規性評估以傳輸期間的實際發射幅度為準。

根據 KDB 公告編號 789033 測試指南，所有不必要發射量測均須遵循第 2.G.3 節「一般要求」之規定（該節說明所有不必要發射量測皆須使用峰值檢波器、如何進行輻射與傳導量測、EIRP 的換算方式等基本原則）；當頻率低於 1000 MHz 時，應依 2.G.4 節「1000 MHz 以下不必要發射量測程序」所述方法進行量測(該節規定如何使用接收天線進行掃描、如何進行最大化，以及以峰值檢波器進行資料擷取，必要時需進行平均量測）；當頻率高於 1000 MHz 時，則頻寬內/外需執行 2.G.5 節「1000 MHz 以上之最大不必要發射量測」與 2.G.6 節「1000 MHz 以上之平均不必要發射量測」的峰值與平均量測程序，且結果須分別符合峰值與平均限制；若所有峰值結果已符合平均限制，則可免除平均量測（即可不執行 2.G.6 節量測）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

此外，對於 1000 MHz 以上的傳導量測，須依 2.G.3.b 小節計算等效全向輻射功率（EIRP）（該項提供了從傳導量測結果轉換為 EIRP 的公式與方式），並使用 E[dBμV/m] = EIRP[dBm] + 95.2（距離為 3 公尺），公式換算場強（將 EIRP 轉換為場強以比對場強限值）。對於 1000 MHz 以下的傳導量測，場強須依 2.G.1.d 小節規定換算（該項提供將傳導功率轉換為場強的對應方法），並於 30- 1000 MHz 加 4.7 dB，30 MHz 以下加 6 dB，以反映使用接地平面測試場地時的場強上限。

二、 Wi-Fi Alliance & WinnForum 測試規範研析

無線創新論壇（WinnForum），是由一個國際團體組成，包括設備供應商、子系統供應商、軟體開發商、技術開發人員、通信用途供應商、研究和工程組織、學術機構、政府用戶、監管機構和其他相關方，他們擁有共同的商業利益，即推動支援頻譜創新利用和無線通信系統發展的技術，包括基本或關鍵通信系統。美國 FCC 的科技辦公室（Office of Engineering and Technology, OET）授權 WinnForum 進行與訂定 AFC 系統與設備測試規範以及測試計畫，配合 Wi-Fi 聯盟（Wi-Fi Alliance , WFA） 實驗室，共同訂製完整版的 6 GHz 自動頻率協調系統（Automated Frequency Coordination System）規範以及測試計畫，圖 4- 2 為 WinnForum 與 WFA 測試文件制定的流程，其中 WINNF-TS-1014 文件規範了 AFC 系統以及設備的要求以及規格，而 WINNF-TS-5008 文件則是規範補充資料庫，例如通用授權系統（Universal Licensing System , ULS）資料庫等，WFA 根據 WINNF-TS-1014 文件訂定測試計畫，以及參考 WINNF-6GHz-002 Traceability Matrix 來訂製測試向量，並且使用 WinnForum 開發的測試軟體 Test Harness 進行系統以及設備測試，最後產出 AFC 系統或是 AFC 設備之測試報告。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

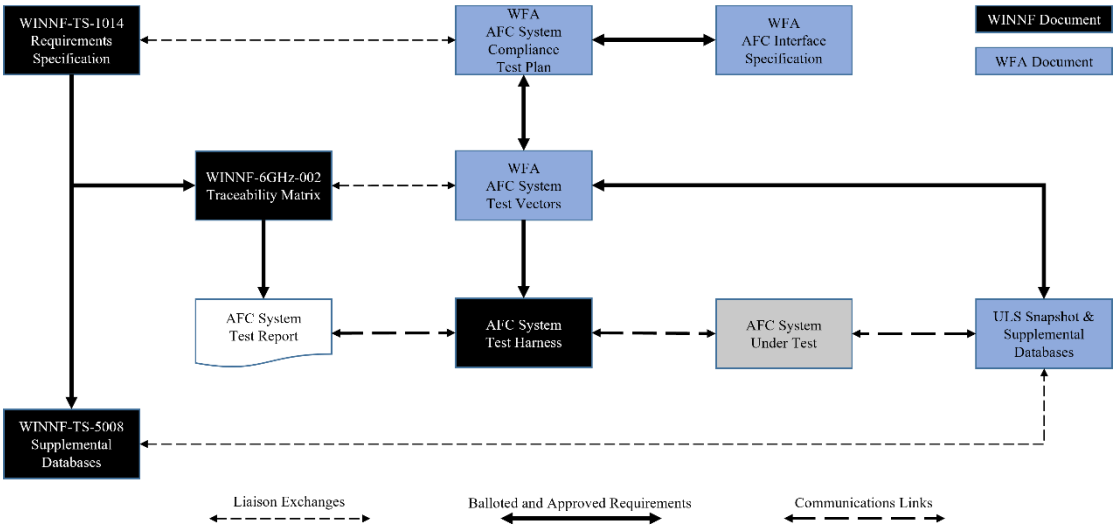


圖 4- 2、AFC 測試文件制定流程

資料來源：本研究整理

WFA 制定的規格和測試計畫分兩項，一項為 AFC System Under Test（SUT），另一項為 AFC Device Under Test（DUT），如圖 4- 3 所示，針對 SUT 的測試部分已於 113 年度計畫說明，本年度計畫將著重於 DUT 之測試，其中包含了 AFC System to AFC Device Interface（SDI）與 AFC DUT 測試，以下將對兩部分測試分開進行說明。

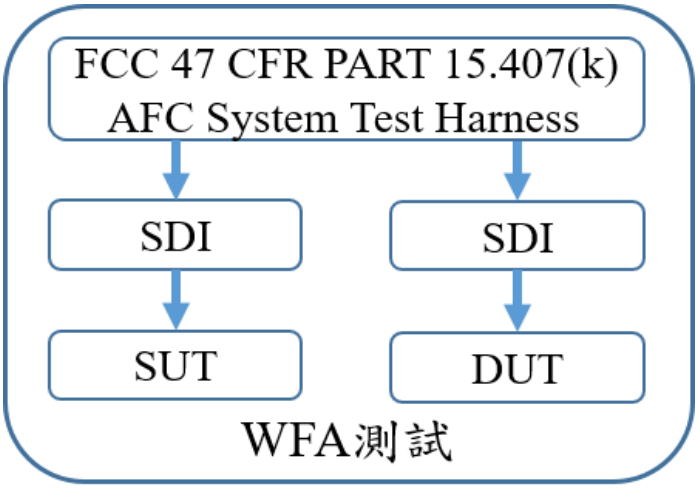


圖 4- 3、AFC 系統與設備測試流程

資料來源：本研究整理

(一) AFC System to AFC Device Interface（SDI）測試

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

SDI 測試中，定義了 AFC 系統與 AFC 設備介面之間的架構、協定和功能，例如標準功率接取點（Standard Power Access Points）、代表一個或多個非獨立標準功率接取點的代理（proxies），以及固定用戶端設備（Fixed Client Devices），如圖 4-4 所示。Wi-Fi Alliance 提供了 AFC DUT Test Harness（測試工具），用於模擬 AFC 系統的行為，並自動化測試程序，以協助裝置製造商進行測試。主要測試如下，

1. **架構與協定驗證**：確保標準功率裝置能正確實作與 AFC 系統的通信協定與架構。
2. **功能性測試**：驗證裝置是否能正確處理 AFC 系統提供的頻譜授權資訊，並依此調整其無線參數。
3. **安全性測試**：確保裝置在與 AFC 系統通信過程中，能正確實作安全性機制，如憑證驗證與加密等。
4. **異常情況處理**：模擬 AFC 系統錯誤回應或裝置異常情況，檢視裝置的錯誤處理能力。
5. **互通性測試**：確保不同廠商的裝置能與 AFC 系統順利互操作。

本測試項目與 113 年度計畫 SUT 測試項目中之 SDI 測試方法相同，本節不再詳細說明。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

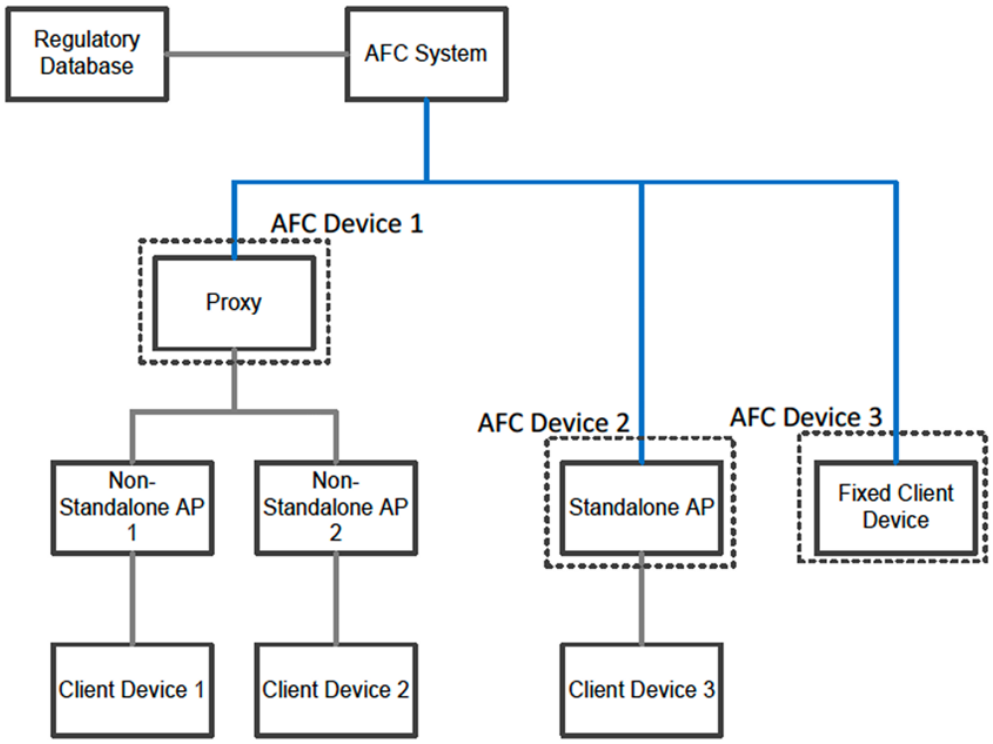


圖 4- 4、AFC 系統與 AFC 設備介面之間的架構

資料來源：Wi-Fi Alliance

(二) AFC DUT 測試

AFC DUT 測試使用 AFC DUT Test Harness 測試工具，針對獨立接取點（Standalone APs）、固定用戶端設備（Fixed Client Devices）以及代理元件（Proxy components）的測試程序，其目標在確保符合監管機構（例如美國聯邦通信委員會 FCC 或其他監管機關）所制定的法規要求，其測試架構分為三種型態，第一種為 Standalone APs 測試，其測試架構如圖 4- 5，第二種為 Proxy components 測試，其測試架構如圖 4- 6，第三種為 Fixed Client Devices 測試，其測試架構如圖 4- 7。以下將對 AFC DUT Test Harness 測試工具進行說明。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

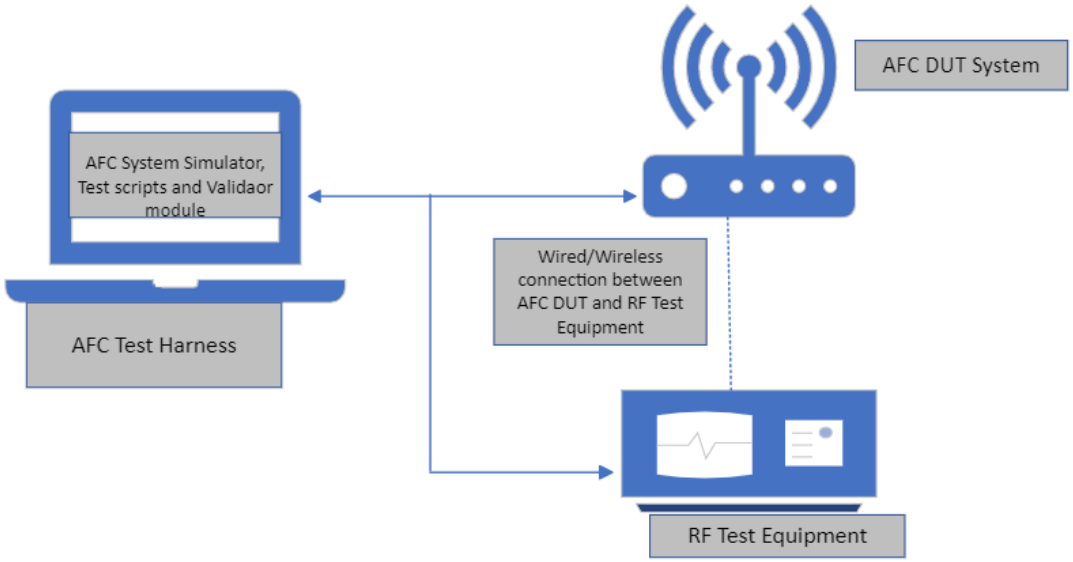


圖 4- 5、標準功率接取點測試架構

資料來源：Wi-Fi Alliance

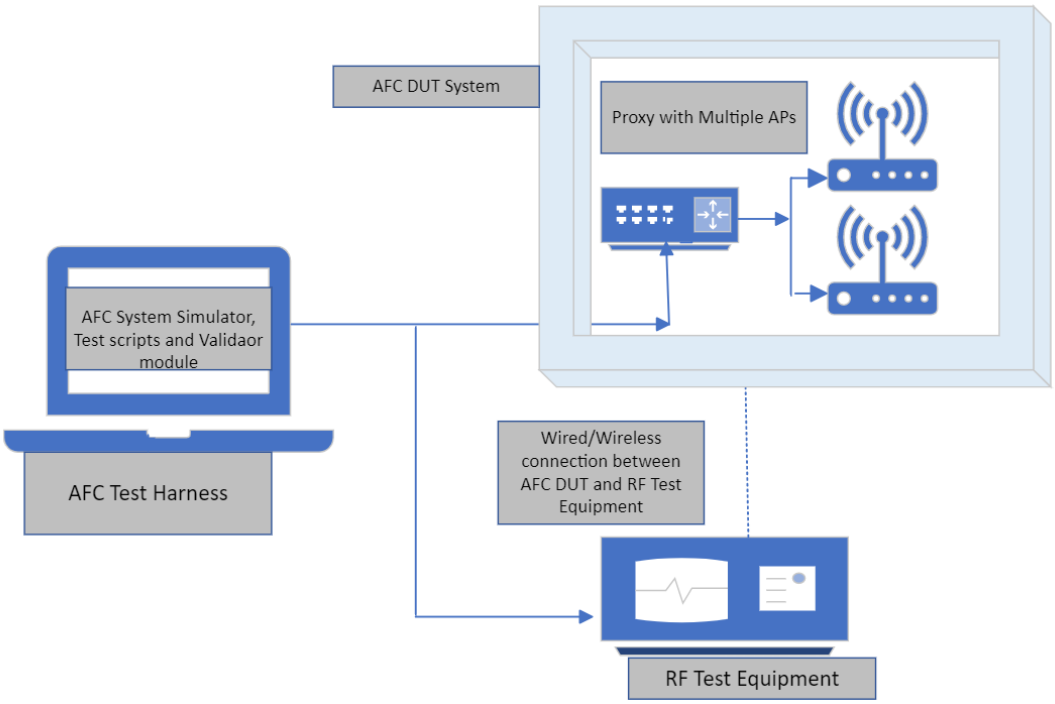


圖 4- 6、代理設備代表一個或多個標準功率接取點之測試架構

資料來源：Wi-Fi Alliance

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

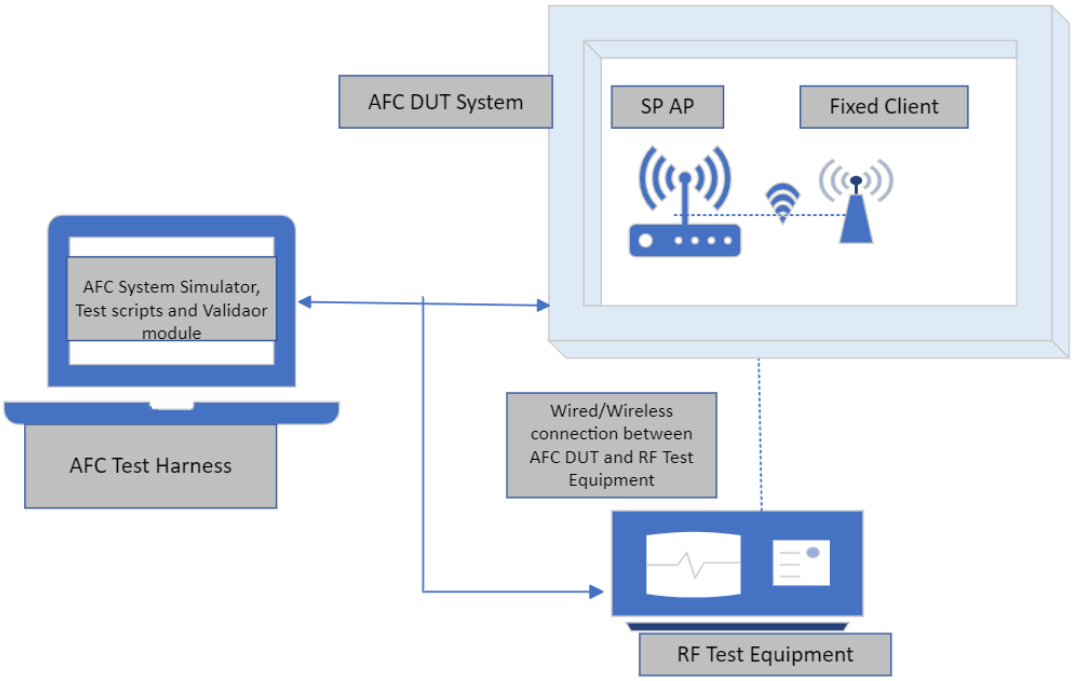


圖 4- 7、固定用戶端設備測試架構

資料來源：Wi-Fi Alliance

AFC DUT 測試工具（Test Harness）應具備以下能力：能夠向 AFC DUT 傳送預先定義的訊息，根據各測試項目表 4- 4 中（Test Vectors）所規定的要求，驗證必要欄位中的資料是否符合定義的預期值（或預先設定的值），並產生測試報告以顯示每個測試項目是否通過。其測試項目，包含測試目標、測試環境、測試配置、測試程序，以及通過/失敗的判定標準，每個測試項目皆依照<測試設備>.<測試目的>.<測試項目編號>格式命名，受測設備為 AFC 裝置，標記為 AFCD（AFC Device）。測試目的以三個字母的縮寫碼表示與其測試內容如下所列：

表 4- 4、測試向量清單

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

測試類別	測試向量
註冊與頻譜存取請求成功	AFCD.RSA.1：根據查詢頻率範圍（inquired frequency range） AFCD.RSA.2：根據查詢通道清單（inquired channel list） AFCD.RSA.3：同時基於頻率範圍與通道清單查詢
頻譜存取請求失敗	AFCD.USA.1：根據查詢頻率範圍 AFCD.USA.2：根據查詢通道清單 AFCD.USA.3：同時基於頻率範圍與通道清單查詢
頻譜存取更新成功	AFCD.SAU.1：根據查詢頻率範圍 AFCD.SAU.2：根據查詢通道清單 AFCD.SAU.3：同時基於頻率範圍與通道清單查詢
頻譜存取更新失敗	AFCD.UAU.1：根據查詢頻率範圍 AFCD.UAU.2：根據查詢通道清單 AFCD.UAU.3：同時基於頻率範圍與通道清單查詢
伺服器驗證失敗	AFCD.USV.1～AFCD.USV.8：伺服器驗證失敗，AFC 無法回應頻譜可用性資料

資料來源：Wi-Fi Alliance

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- **AFCD.RSA：註冊與頻譜存取請求成功**

在進行首次服務傳輸之前，AFC 測試設備（AFC DUT）必須向 AFC 系統註冊並獲得授權，同時接收一份可用頻率清單以及各頻率對應的最大允許功率，本測試項目用於驗證 AFC DUT 是否符合 FCC 表 4-5 中所列的要求。

表 4-5、AFCD.RSA 測試中驗證的 FCC 規範要求

FCC 條文	簡要描述
47 CFR 第 15.407(k)(1) 條	僅能依據 AFC 系統的指示進行發射。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(i) 條	在首次傳輸之前必須向 AFC 系統註冊。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(ii) 條	必須提供註冊所需的參數。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(iii) 條	可以直接註冊，或透過代理（Proxy）進行註冊。
47 CFR 第 15.407(l)(ii) 條	AFC 系統的回應結果應隱含適當的通道配置決策。

資料來源：Wi-Fi Alliance

- **AFCD.USA**：註冊與頻譜存取請求失敗

本測試項目旨在驗證當 AFC 系統回報無可用頻譜時，AFC DUT 是否確實避免在該頻段內運作，用於驗證 AFC DUT 是否符合表 4-6 所列的 FCC 規範要求。

表 4-6、AFCD.USA 測試中驗證的 FCC 規範要求

FCC 條文	簡要描述
47 CFR 第 15.407(k)(1) 條	僅能依據 AFC 系統的指示進行發射。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(i) 條	在首次傳輸之前必須向 AFC 系統完成註冊。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(ii) 條	必須提供註冊所需的所有參數。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(iii) 條	可直接註冊，或透過代理設備（Proxy）完成註冊程序。

資料來源：Wi-Fi Alliance

- **AFCD.SAU**：頻譜存取更新成功

當 AFC DUT 的任何註冊參數發生變更時，該裝置應將更新後的參數提供給 AFC 系統，本測試項目用於驗證 AFC DUT 是否符合表 4-7 中所列的 FCC 規範要求此項要求，並確認其是否依據 AFC 系統所指示的頻譜可用性變更進行相應調整。

表 4-7、AFCD.SAU 測試中驗證的 FCC 規範要求

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

FCC 條文	簡要描述
47 CFR 第 15.407(k)(8)(i) 條	當位置變更時，必須重新向 AFC 系統註冊。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(ii) 條	當註冊參數發生變更時，必須即時更新 AFC 系統。
47 CFR 第 15.407(k)(9)(i) 條	從關機狀態啟動時，必須回報當前位置及其不確定性。

資料來源：Wi-Fi Alliance

- **AFCD.UAU**：頻譜存取更新失敗

本測試項目在驗證當 AFC DUT 的註冊參數發生變更後，若 AFC 系統回報無可用頻譜，AFC DUT 是否確實避免在該頻段內運作，用於驗證 AFC DUT 是否符合表 4-8 中所列的 FCC 規範要求。

表 4-8、AFCD.UAU 測試中驗證的 FCC 規範要求

FCC 條文	簡要描述
47 CFR 第 15.407(k)(1) 條	僅能依據 AFC 系統的指示進行發射。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(i) 條	在首次傳輸之前必須向 AFC 系統完成註冊。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(ii) 條	必須提供註冊所需的所有參數。
47 CFR 第 15.407(k)(8)(iii) 條	可直接註冊，或透過代理設備（Proxy）完成註冊程序。

資料來源：Wi-Fi Alliance

- **AFCD.USV**：伺服器驗證失敗

本測試項目在驗證 AFC DUT 是否能正確執行伺服器憑證驗證，並在驗證失敗時，避免向 AFC 系統發送頻譜存取請求，用於驗證 AFC DUT 是否符合表 4-9 中所列的 FCC 規範要求。

表 4-9、AFCD.USV 測試中驗證的 FCC 規範要求

FCC 條文	簡要描述
47 CFR 第 15.407(k)(8)(v) 條	必須具備足夠的安全機制，以防止裝置存取未經 FCC 核准的 AFC 系統。

資料來源：Wi-Fi Alliance

三、 符合美國 FCC 要求之 AFC 量測驗證與報告

目前我國並未開放 AFC 系統以及設備來進行使用，為了評估未來如果開放 AFC 系統以及設備在我國進行使用，需評估我國是否有可以檢測與驗證的能力，因此本研究在今年度對於支援 AFC Standard

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Power WiFi AP 設備來進行測試與驗證，依據 FCC 法規 47 CFR-PART15 進行測試與驗證，並產出測試報告，一份完整的 AFC 設備的測試報告需包含 RF 測試、AFC DUT 測試以及地理位置合理性測試，其框架如圖 4- 8 所示。 RF 測試主要依循 FCC 法規 15.203、15.207、15.407（a）（4）、15.407（b）（6）、15.407（b）（7），其主要測試分為電源傳導測試、天線埠測試與輻射測試，其測試架構如圖 4- 9 所示，而 AFC DUT 測試主要使用 Test Harness 測試工具來進行測試，依循 FCC 法規 15.407（k），另外地理位置合理性測試，通常委託給專業認證單位來進行認證，其詳細內容於本章第三節第一項第二款進行說明，FCC 認可實驗室可到 FCC 官方網站查詢[332]，WFA 認可實驗室可以到 WFA 官方網站查詢[333]。

若在我國實際落地設置 AFC（Automated Frequency Coordination）量測實驗室，需取得臺灣 TAF（Taiwan Accreditation Foundation）之 ISO/IEC 17025 認證，以及主管機關之指定或認可（如 MODA/NCC 指定認證機構來認可量測實驗室），即可執行相關射頻（RF）測試與 AFC 系統認證業務。根據 FCC 所規範之 AFC 完整量測與驗證流程，實驗室需具備相關設備、量測環境與年度維運能力，並需進行風險評估。以下提供設備費用、建置成本及風險項目之完整分析。

(一) AFC 測試所需設備與費用

依照 FCC Wi-Fi 6E／Wi-Fi 7／AFC 測試流程，需具備以下設備：

1. 頻譜分析儀（6–7.125 GHz）

- 用途：EVM、ACLR、OBW、功率、雜散發射量測。
- 費用：約新臺幣 1,800,000～3,000,000 元。

[332] https://apps.fcc.gov/oetcf/eas/reports/TestFirmSearch.cfm
[333] https://www.wi-fi.org/zh-hant/node/47514

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2. 向量訊號產生器（支援 Wi-Fi/5G 波形）

- 用途：產生測試波形進行 AFC 測試驗證。
- 費用：約新臺幣 1,200,000～2,200,000 元。

3. 通訊測試儀（VSA/VSG，一體式）

- 用途：支援 Wi-Fi 6E/7/AP/STA 功能測試、自動化 AFC 測試。
- 費用：約新臺幣 4,000,000～7,000,000 元。

4. AFC 測試控制與模擬平台（AFC Test Harness／Emulator）

- 功能：模擬 AFC request/response、功率指配、位置 spoofing 測試、FS database API 測試。
- 費用：約新臺幣 1,500,000～3,000,000 元。

5. GPS/GNSS 模擬器

- 用途：地理位置精準度、抗假訊號（spoofing）測試。
- 費用：約新臺幣 800,000～1,500,000 元。

6. OTA（Over-the-Air）測試設備與治具

- 用途：測試無線 AP／Client 的實際輻射特性。
- 費用：約新臺幣 1,000,000～2,000,000 元。

7. 校正設備（Power meter、Noise source 等）

- 用途：量測精度校正與可溯源性維持。
- 費用：約新臺幣 300,000～600,000 元。

（設備費用總計：約新臺幣 10,000,000～18,000,000 元）

(二) 量測環境（無反射室）建置費用

AFC 測試包含 OTA(Over-the-Air)量測，需要無反射室進行：

1. 小型 OTA 無反射室（1–2 m）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 費用：約新臺幣 5,000,000～10,000,000 元。
- 中型 OTA 無反射室（3–5 m）—建議規格

2. 可支援大型 AP 或基地臺量測。

- 費用：約新臺幣 12,000,000～20,000,000 元。

（建議建置成本：約新臺幣 9,000,000～15,000,000 元）

(三) 年度維運成本

年度維護費用包含：

1. TAF 年度認證維持與文件審查。

2. 儀器校正費（年度 calibrate）。

3. 測試軟體與 AFC 測試平台授權更新。

4. OTA 室耗材與吸波材維護。

5. 場地維運（空調、UPS、濕度控制）。

（年度維運費用：約新臺幣 2,500,000～4,500,000 元，最大可達 6,000,000 元。）

(四) 風險評估

在成立 AFC 實驗室時需考量以下風險：

1. 技術風險

- AFC 技術與標準仍在演進，FCC 測試程序可能更新。
- Wi-Fi 7、後續無線技術更新快速。
- GPS spoofing 測試能力不足可能影響測試準確度。

2. 認證風險

- TAF 稽核若未通過，實驗室資格可能被降級或取消。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- NCC 可能新增額外測試能力要求。

3. 財務風險

- 初期投入金額大（合計約新臺幣 20,000,000～35,000,000 元）。
- OTA 室折舊期較長（約 7～10 年）。
- 若市場需求不足，回收期可能延長。

4. 市場風險

- 全球 AFC 導入速度不一，市場尚未完全成熟。
- 台灣對 6 GHz 標準功率 Wi-Fi + AFC 的採行時程未定。

5. 資訊安全風險

- AFC database API、位置 spoofing 測試需符合 FCC 資安要求。
- GPS 定位有洩漏設備位置之風險。

(五) 總結

成立符合 FCC 要求之 AFC 測試實驗室所需：

- TAF ISO/IEC 17025 認證
- MODA 或 NCC 指定
- 設備成本約 新臺幣 1,000–1,800 萬元
- OTA 室建置約 新臺幣 900–1,500 萬元
- 年度維運約 新臺幣 250–450 萬元（上限 600 萬元）

初期整體投入成本約為：新臺幣 20,000,000～35,000,000 元

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

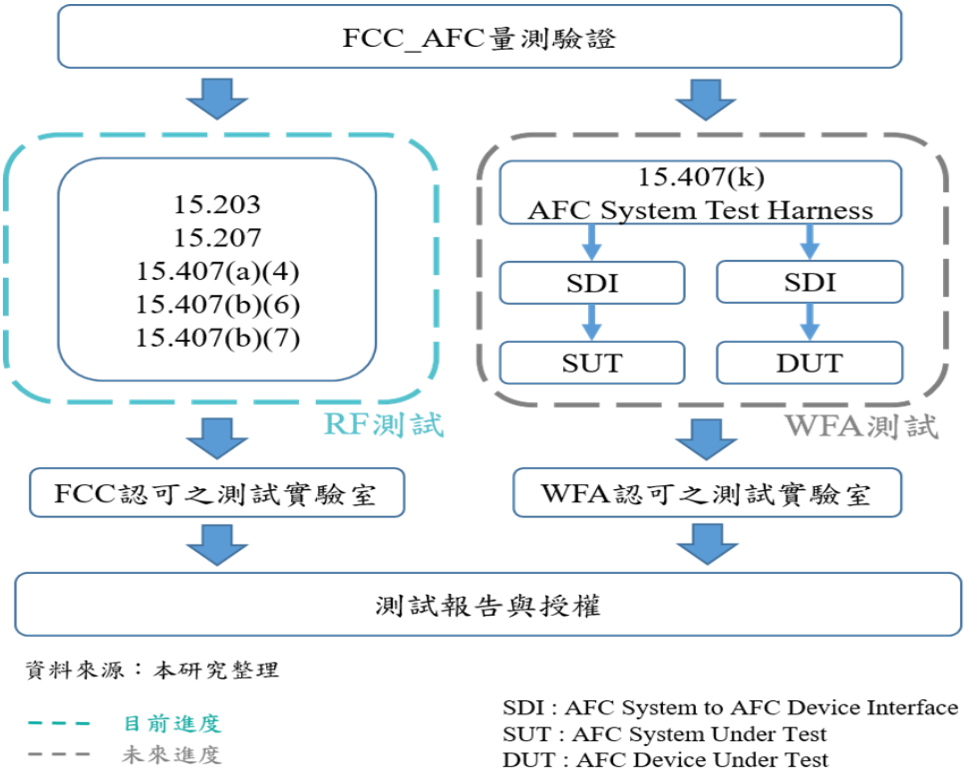


圖 4- 8、完整 AFC 設備測試架構

資料來源：本研究整理

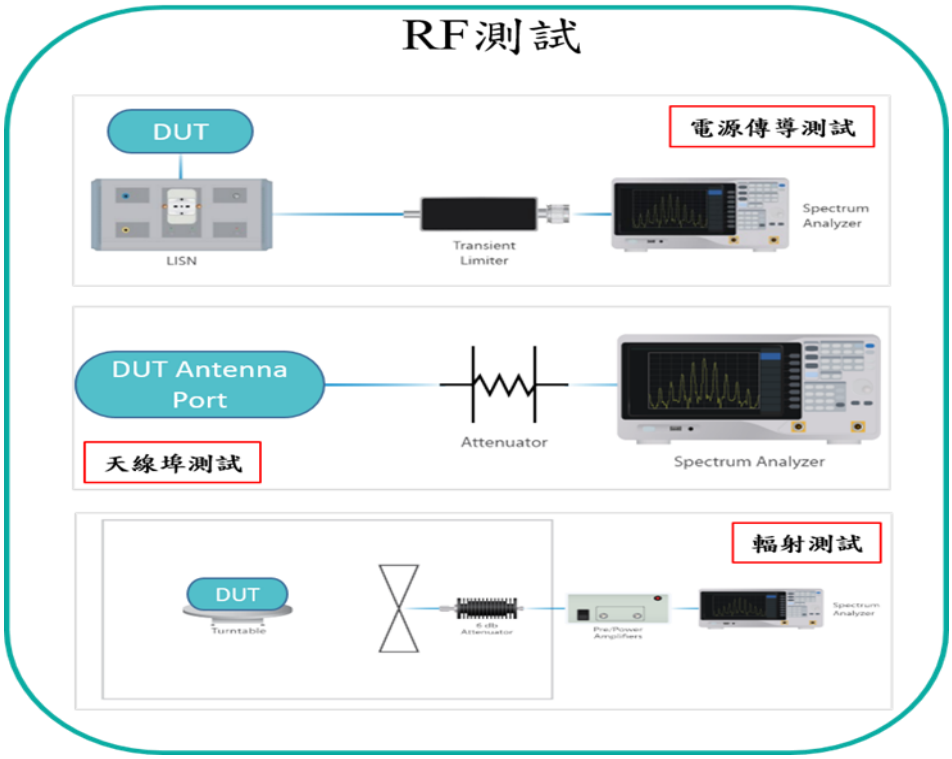


圖 4- 9、RF 測試架構圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 頻率和諧有效使用機制實測評估

一、 優化 TIP OPEN AFC 系統

在 2016 年的世界行動通信大會（Mobile World Congress, MWC）上，Facebook（2021 年更名為 Meta Platforms, Inc.）宣布成立電信基礎設施計畫（Telecom Infra Project, TIP），並展示了該計畫的概念和願景，成功吸引了全球各地的業界專業人士和電信相關公司的關注和參與，共同推動產業的進步和發展。

TIP 是一個全球性的企業和組織社群，成員來自各個領域，包括電信營運商、技術合作夥伴、系統整合商等，並且涵蓋了全球多個國家和地區，致力於推動電信基礎設施領域開放和標準化技術的採用，其提供了一個開放的平臺，讓成員公司共同合作，共享知識，並共同開發解決方案，旨在提供現在至未來幾十年內世界需要之高品質的連接。

TIP 旗下之 Open AFC 軟體小組，主要提供一個雲端共享平臺，讓世界所有的開發者可以參與 AFC 軟體的開發和改善，進而推動 6 GHz 頻段的免執照服務的發展。Open AFC Software Group 主要關注於開發和驗證用於以雲端為基礎的 AFC 服務和裝置之開源軟體，以提供程式原始碼和要求文件，並於 2021 年 11 月釋出 Open AFC 軟體架構 ，以提供 AFC 營運商一個模組化的參考軟體系統，使其可以自行擴展 Open AFC 提供的功能，以滿足不同的市場需求。在 OPEN AFC 軟體小組與各業界先進持續努力之下，於 2024 年 3 月迎來重要變革，TIP 宣布開放 OPEN AFC 軟體，對此感到興趣的人士皆可以在 GitHub 上找到它，後續將持續與開源社群合作，優化程式代碼，在適當的時機發布新標準，並擴展 Open AFC 項目，以涵蓋未來市場。

本研究從去年和諧有效使用機制環境建立開始，為完善 Open

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

AFC 功能和更符合我國使用環境，建置我國 6GHz 既有站臺資料庫，並調整既有站臺資料欄位使其符合 AFC 機制需求，實作 OPEN AFC 介接國家通信傳播委員會（National Communications Commission, NCC）型式認證資料庫，取得 AFC 機制所需之 AP 認證資料，最後優化 Open AFC 圖資，藉由精度 30 公尺的我國地形圖資取代原先精度只有 1 公里的內建地形圖資，達成 Open AFC 圖資精度提升的效果，讓頻譜和諧有效機制之使用環境更加完整，使 AFC 系統在可用頻率與可用最大發射功率的計算更加準確，為外部實地測試實驗打好根基。

OPEN AFC 從 2024 年 3 月發布開源後，不定期會發布更新，尤其是 10 月發布的重大更新，修正超過 70 項系統上的問題。有鑑於此，本研究所用 OPEN AFC 之版本為 2024 年 3 月前的版本實屬老舊，有必要為其進行版本更新以提高系統的穩定性。除此之外，本研究參考美國地貌圖資相關作法，將我國地貌圖資轉換後匯入 OPEN AFC，替代精度較低的人口密度圖資，並讓雜散傳播模型能正常運行，提升頻譜共享的使用效率。

(一) OPEN AFC 系統升級

1. 系統架構介紹

這些功能包含用戶管理、AFC 系統參數管理、用戶參數儲存、AP 頻譜配置功能、虛擬 AP 模擬功能、與針對頻譜的定點分析、排除區域分析、熱點分析。TIP Open AFC 系統架構如圖 4- 10 所示，主要分成三類，實體 AP（橘色）、使用者（綠色）和監管機關資料庫（紅色）。TIP Open AFC 針對這三類對接對象設計了系統介面和功能模組。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

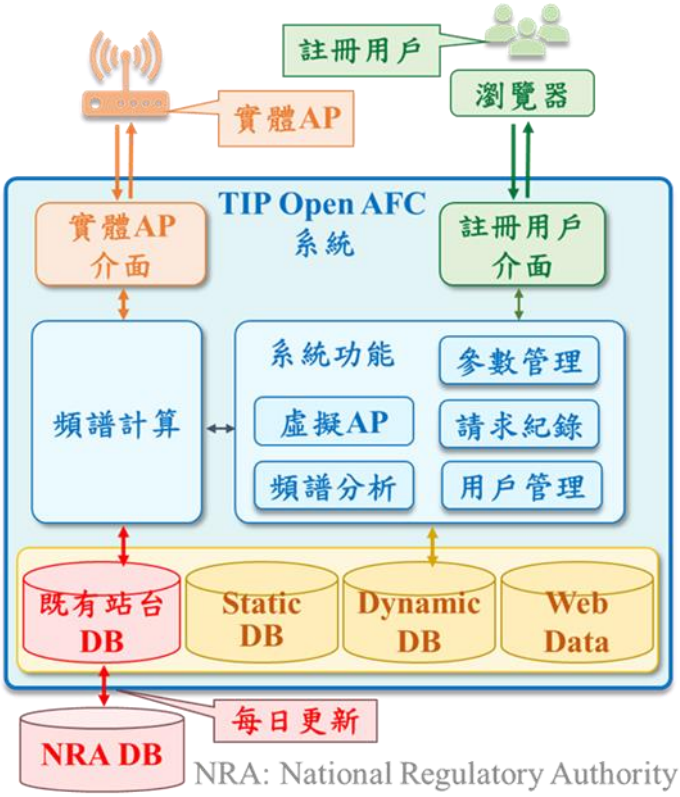


圖 4- 10、TIP OPEN AFC 架構

資料來源：本研究整理

(1) AFC 系統介面說明如下：

- 實體 AP 頻譜請求介面：此介面讓已經註冊的 AP 向系統提出頻譜配置請求，最後回傳頻譜計算後的可使用頻段給 AP，此介面相關功能為橘色。
- 註冊用戶介面：註冊用戶可以用網頁介面進行功能上的操作，此介面相關功能為綠色。
- 既有站臺 DB：每日透過此介面，從監管機關提供資料庫去更新既有站臺資訊，此介面會因應各國提供資料的管道不同而需要去另外設計。

(2) AFC 功能模組（藍色）說明如下：

- 頻譜計算：提供頻譜配置、頻譜分析等功能的核心計算，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

會依照搭配的傳播路徑模型去計算。因實體 AP 與使用者功能皆會運用到此模組的計算。

- 系統功能：使用者可在網頁上操作的相關功能。
- 用戶管理：管理註冊用戶與 AP。
- 參數管理：調整頻譜計算模組使用的參數、資料庫選項。
- 虛擬 AP:模擬實體 AP 在特定地點發出頻譜請求的情形，並用網頁介面顯示該次請求結果供使用者參考。
- 頻譜分析：提供使用者介面定點分析、熱圖分析、排除區域分析等功能。
- 請求紀錄：儲存授權 AP 之 AFC Request Message、AFC Response Message、AFC Engine Log、AFC Config Record 和 Map Data 等紀錄。

(3) 資料庫（紅色和黃色）

- 既有站臺資料庫（紅色）：儲存每日更新既有站臺資訊，此資料庫必須串接監管機關資料庫，會需要另外設計因應的程式。
- Static Database：放置更新週期超過一年之資料庫。地理圖資、建築物圖資、傳播路徑模型相關資料庫屬於此類（既有站臺資料庫是特例，其更新日期為每日，但放置在此區）。
- Dynamic Database：放置短時間內需更新或增添資料庫。天線模型資料庫、使用者用戶資料庫、頻譜請求紀錄資料庫屬於此類。
- Web Data：儲存網頁資料相關資料。

2. 系統更新

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

本研究將以新版本 1.0.3 的 Open AFC 進行系統更新，惟考量舊系統已穩定運行並已有 AP 廠商進行介接測試，所以將採用重新建置的方式，先新建一個 AFC 系統，等運行穩定之後再將之前開發的程式和圖資移植過去。Open AFC 專案目前已經在 GitHub 上開源，所有人皆可以瀏覽及貢獻，也因此該專案會依據各界專業人士的建議進行不定期的軟體更新，更新紀錄除了系統和計算功能錯誤修正之外，其餘為 Log 功能強化及監控管理方面優化，與去年計畫所使用的版本相比，其重要差異之處如下：

- Irregular Terrain Model （ITM） 差值演算法更新。
- 計算溢位：在計算過程中算式因為型別的使用錯誤，造成計算過程溢位和非預期的效果，因此將型別改為更大的計算單位才能夠涵蓋計算數值，並使其正常運作。
- 修正異常的既有站臺接收增益（Rx Gain）產生程式，它會導致系統再計算時會移除既有站臺接收增益小於 10 dBi 的鏈路計算。
- 雙重 Cookie 提交（Double Cookie Submission）防止跨網站偽造要求（Cross Site Request Forgery, CSRF）攻擊，提升網頁安全防護。
- 優化監控管理程式 Grafana 的使用範圍和監控功能，它可以將各種容器的狀態數據以圖表方式呈現並可設定告警條件，對維護和維持系統穩定性有很大助益。
- 強化日誌收集功能，舊版 OPEN AFC 內部各容器所產生的日誌過於凌亂，導致日誌檢視變的非常困難。

在建置 TIP Open AFC 最新版本公開專案後，發現有幾項設定需要修正才能正常啟用，以下說明修正之處：

- Google Maps 應用程式介面金鑰：使用應用程式介面金鑰才能在網頁上搭配 Google Maps 呈現畫面。因為目前 TIP 已將專案公開，所以將先前在私人專案中所使用的金鑰

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

移除，避免遭到濫用。想要設定此金鑰會需要到 config/ratapi.conf 中修改 GOOGLE_API KEY 參數如圖 4-11 所示。目前我們套用先前在私人專案中所使用的金鑰，套用後重啟 AFC server 即可正確讀取到並且成功顯示地圖在網頁上。

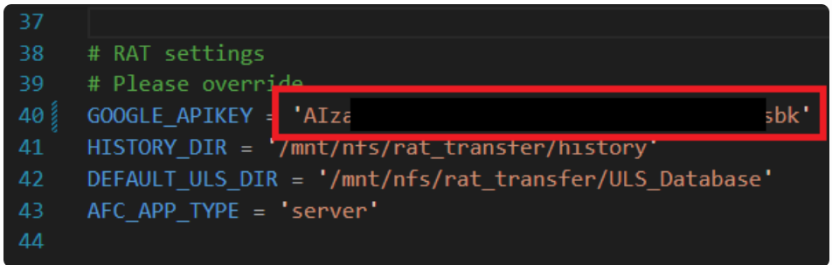


圖 4- 11、寫入 Google Map API Key

資料來源：本研究整理

- 套件版本與 Python 版本衝突：在 rat_server 中所使用的 WsgiDAV 套件與 Python 版本 3.12 有所衝突，套件中所使用的語法在 Python 3.12 已經被移除，所以造成問題。此修復方式為將有問題的語法根據 Python 3.12 更新指示改成符合版本的寫法，即可以修復此問題。

(二) 新增我國地貌圖資

AFC 系統在計算路徑損失時，一般會優先採用該國精度較高的地貌圖資，例如美國是使用國家土地涵蓋資料庫（National Land Cover Database, NLCD），其次才會使用國際人口密度圖資，因為 OPEN AFC 無我國地貌圖資所以採用國際人口密度圖資來判定該區域屬都市、郊區或鄉村，並決定使用之無線通道模型，但由於國際人口密度圖資精度較差（精度一公里），且無法用於計算 1 公里外的雜散損耗傳播模型 ITU-R P.2108 和 ITU-R P.452，導致除了計算準確度較差，1 公里外可使用的頻道和發射功率還會受到限制，從而影響頻譜使用效率。有鑑於此，本研究參考 OPEN AFC 的美國 NLCD 地貌圖資作法，將我國地貌圖資進行轉檔後匯入 AFC 系統圖資資料庫內，以達成優化 OPEN AFC 我國圖資的目標。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

OPEN AFC 使用的美國地貌圖資 NLCD 如圖 4-12 所示，總共有 21 種地貌類別，並分別有各自的代碼：21、22 為郊區型態、23、24 為都市型態、其餘為鄉村型態，且對於植物種類的分類較細（如針葉林、落葉林、常綠林、灌木等），這是因為植物種類與高度會影響雜散損失計算的結果。

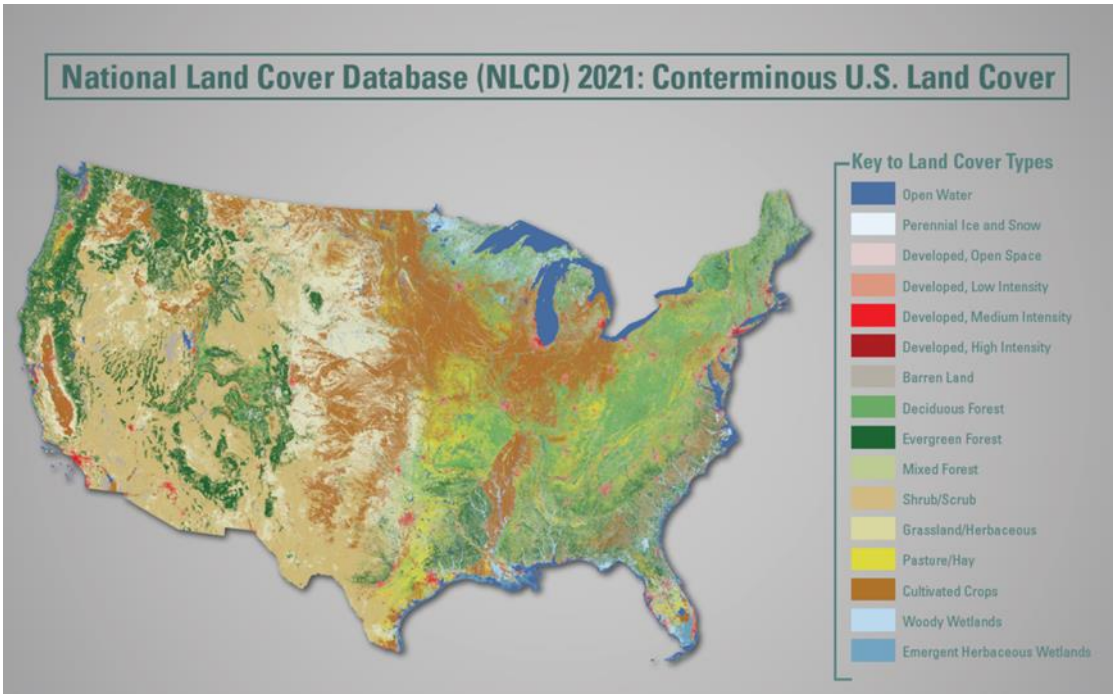


圖 4-12、美國 NLCD 地貌圖資

資料來源：本研究整理

我國的地貌圖資如圖 4-13，地貌類型偏向描述各種建築類型和密集度，植物類型描述只有森林、和公園綠地，地貌類型與 NLCD 相差甚大且代碼沒有對應，因此本研究的做法是參照 NLCD 的地貌代碼來修改我國地貌代碼後，再將我國地貌圖資轉檔後匯入 OPEN AFC 的資料庫。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

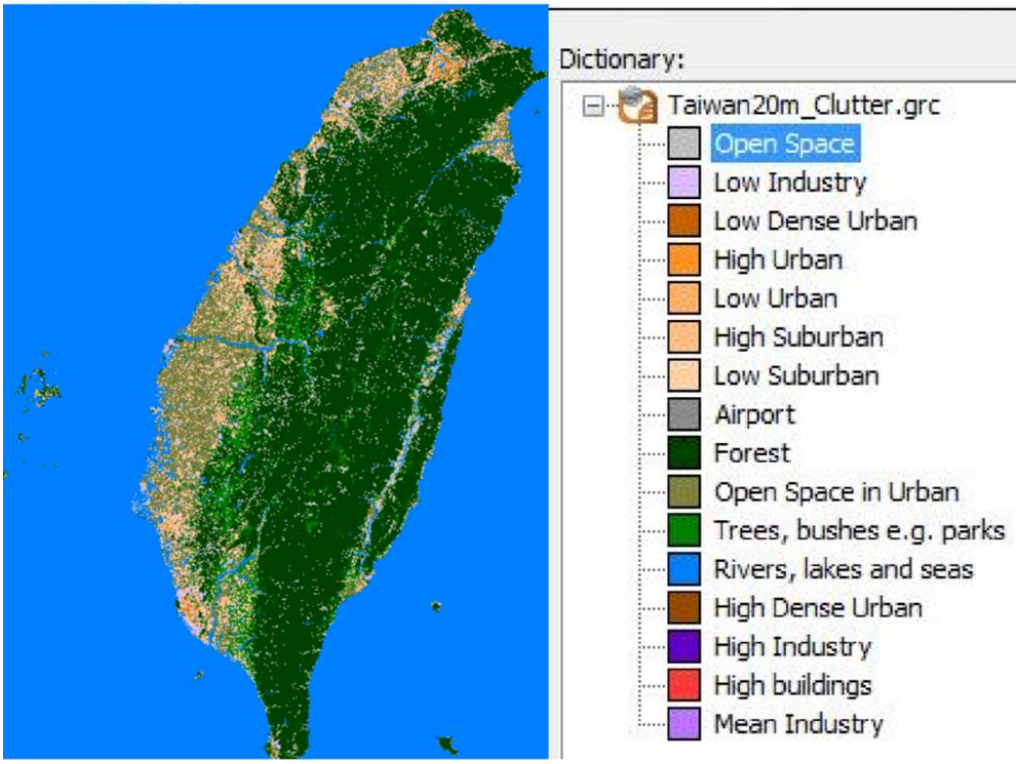


圖 4- 13、我國地貌圖資

資料來源：本研究整理

調整後的美國和我國地貌代碼對應如表 4- 10 所示，主要會分成都市、郊區和鄉村三種類型，代碼 23 和 24 為都市型態；21 和 22 為郊區型態；52 和 42 為鄉村型態，因我國地貌圖資的植物類型只有兩種，因此以植物高度為條件挑擇合適的 NLCD 植物類型代碼做區分。

表 4- 10、美國和我國地貌代碼對應表

我國代碼	我國分類說明	美國代碼	美國分類說明
0	未分類	0	未分類
1	主要道路（開放空間）	21	開發區-開放空間
2	超高樓房	24	開發區-高密度
3	工業區（高度密集區）	24	開發區-高密度
4	工業區（中度密集區）	24	開發區-高密度
5	工業區、加工出口區	24	開發區-高密度
6	高樓房屋集中區域（高度密集區）	24	開發區-高密度
7	高樓房屋集中區域（商業大樓聚集區、住宅區）	23	開發區-中密度

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

我國代碼	我國分類說明	美國代碼	美國分類說明
8	別墅區、都市邊緣房屋（高度密集區）	24	開發區-高密度
9	別墅區、都市邊緣房屋	23	開發區-中密度
10	郊區房屋區（鄉鎮中心）	22	開發區-低密度
11	郊區房屋區（鄉鎮中心）	22	開發區-低密度
12	海洋、溪湖、魚池、湖泊、河流	11	開放水域
13	機場	22	開發區-低密度
14	都市空地（水田、旱作地、藍田、沙地、空地）	21	開發區-開放空間
15	公園綠地（果園、農場、茶林、矮林、綠地、蔬田）	52	灌木/灌叢（高度 5 米以下）
16	森林（灌木林、樹林、林地、崩土、木蔓草）	42	常綠林（高度 5 米以上）

資料來源：本研究整理

最後選擇一個距離既有站臺一公里外且地貌類型屬於鄉村的測試點位，以有無地貌圖資為條件，使用 OPEN AFC 的 Virtual AP 功能進行模擬測試。在有地貌圖資情況下，AFC 系統會使用傳播模型 ITU-R P.452 計算雜散損失，公式如下：

$$L_{452} = 10.25 \cdot F_f \cdot e^{-d_k} \cdot \left[1 - \tanh\left(6 \cdot \left(\frac{h_t}{h_a} - 0.625\right)\right)\right] - 0.33$$

L_{452}：總雜散損耗（dB）。

$F_f = 0.25 + 0.375 \cdot [1 + \tanh(7.5 \cdot (f - 0.5))]$ ：頻率修正係數，根據頻率（GHz）調整。

h_t：發射端高度（m）。

h_a：地面遮蔽物的平均高度（m）。

d_k：遮蔽物到天線的距離（km）。

f：頻率（GHz）。

AP 會因此獲得更大的可用發射功率和可用頻道，而無地貌圖資情況下，AFC 系統因為不會計算雜散損，所以 AP 獲得可用發射

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

功率和可用頻道就會比較差，如圖 4- 14 所示。

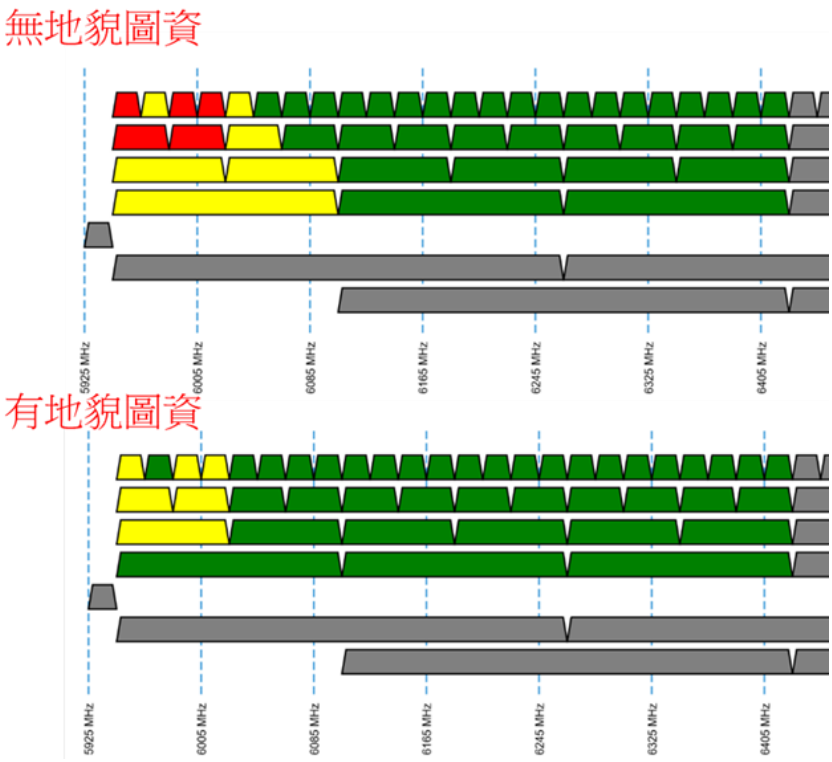


圖 4- 14、無地貌圖資與有地貌圖資差異圖

資料來源：本研究整理

為驗證 OPEN AFC 內部程式是否真有執行雜散損耗計算的函示，可從執行結果紀錄中觀察 Path Clutter Tx 數值變化，從圖 4- 15 沒有計算雜散損失所以 EIRP 限制值約 13.94dBm，而圖 4- 16 有計算雜散損失所以 EIRP 限制值加上 Path clutter TX 約 33.07dBm，可明顯比較出有無使用地貌圖資的差異。

```
Run FCC6GHzReportAndOrderPathLossModel >> Distance > 1000m, Run Terrain propagation: Terrain + ITM
////// FSID = 278 RX RXChannel OP class: 133 Frequecny: [5945 - 6025] EIRP calculation: //////
  Max EIRP = 36 dBm
  rlanDiscriminationGainDB = 0 dB
  Body Loss = 0 dB
  Building Penetration Loss = 0 dB
  Path Loss = 131.101 dB
  Path Clutter TX = 0 dB
  Path Clutter RX = 0 dB
  EIRP Limit = 13.9409 dBm
```

```
Run FCC6GHzReportAndOrderPathLossModel >> Distance > 1000m,
Run Terrain propagation: Terrain + ITM
////// FSID = 278 RX RXChannel OP class: 133 Frequecny: [5945 - 6025]
EIRP calculation: //////
  Max EIRP = 36 dBm
  rlanDiscriminationGainDB = 0 dB
  Body Loss = 0 dB
Building Penetration Loss = 0 dB
  Path Loss = 131.101 dB
Path Clutter TX = 19.1345 dB
Path Clutter RX = 0 dB
EIRP Limit = 33.0795 dBm
```

圖 4- 15、無地貌圖資執行結果　**圖 4- 16、有地貌圖資執行結果**

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三) AFC 系統運行 IMT 7 GHz 頻段的可行性評估

在未來無線通信技術發展中，7 GHz 頻段被視為具有高度潛力的中頻資源，特別是在推動 Wi-Fi 7（IEEE 802.11be）與 5G NR-U（New Radio Unlicensed）等應用時，扮演著關鍵角色。該頻段不僅具備較佳的穿透能力與涵蓋特性，相較於更高的毫米波頻段，其設備建置成本與能耗也相對較低。因此，7 GHz 成為各國監理機關考慮開放的對象之一。然而，由於該頻段部分區段已被雷達、衛星或固定無線用途等現有用戶占用，若要實現有效共存，勢必要參考 AFC 經驗和利用頻譜資料庫工具。

AFC 系統的核心目的，在於動態分配無授權裝置的操作頻率與發射功率，以避免對既有受保護用戶造成干擾。在 7 GHz 頻段的應用情境下，AFC 必須能存取受保護設備的位置與使用頻寬，並根據目前環境參數進行頻譜評估與資源分配。由於 7 GHz 頻段常包含混合用途，其空間與時間上的使用變化複雜，傳統靜態排程或手動協調無法有效支援該頻段的開放。因此，AFC 被視為 7 GHz 頻段可行布建的技術前提之一。

AFC 機制運行在 7 GHz 會先碰到傳播模型適用性的問題，AFC 傳播模型在 6 GHz 頻段的傳播模型如表 4- 11，可發現 AFC 在 30 到 1000 公尺距離之間所使用的 WINNER II（Wireless World Initiative New Radio phase II）模型不適用於 7GHz 以上的頻段，因此需要其他可替代的傳播模型。

表 4- 11、AFC 傳播模型在 6 GHz 頻段的傳播模型

距離（公尺）	傳播模型類型	適用頻段
< 30	Free Space Path-Loss model	300 MHz-30 GHz
30-1000	WINNER II model	2- 7GHz
> 1000	ITM	20 MHz- 20 GHz

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

距離（公尺）	傳播模型類型	適用頻段
	ITU-R P.2108	400 MHz- 100 GHz
	ITU-R P.452	100 MHz- 50 GHz

資料來源：本研究整理

表 4- 12 為適用 7125-8400 MHz 頻段的三種傳播模型，因此需要再從使用情境和距離等因素來評估何種是最適合替代 WINNER II 傳播模型，以下針對表內三種傳播模型和 WINNER II 傳播模型進行說明。

表 4- 12、適用於 7125-8400MHz 頻段的傳播模型

傳播模型類型	適用頻段
3GPP TR 38.901	500 MHz-100 GHz
ITU-R P.1411	300 MHz-100 GHz
ITU-R P.2001	30 MHz-50 GHz

資料來源：本研究整理

1. 3GPP TR 38.901

根據 0.5 GHz 到 100 GHz 頻段的無線電波傳播特性，提供一套可用於系統模擬的通道模型（channel model），針對 5G 和 6G 行動通信所設計，使用場景包括：都市微觀場景 UMi（Urban Micro）、街道、峽谷、都市宏觀場景 UMa（Urban Macro）、室內辦公室、鄉村宏觀場景 RMa（Rural Macro），以及室內工廠，以下將對符合本研究所需之場景進行說明：

- 都市微觀場景 UMi：此場景基地臺安裝在周圍建築物屋頂以下的高度。UMi 開放區域旨在模擬現實生活中如都市廣場或車站廣場等環境。
- 都市宏觀場景 UMa：此場景基地臺安裝在周圍建築物屋頂以上的高度，適用於高樓林立、複雜街道的都市區域。
- 郊區宏觀場景 SMa：基於 UMa 場景變化而來，針對郊區較低的建築物密度和較寬闊的環境進行路徑損耗和可視

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

或非可視機率模型的調整。適用於建築物相對分散、樹木與植被較多的區域。

- 鄉村宏觀場景 RMa：此場景為範圍涵蓋情境，例如農村、高速公路旁、鄉間道路等低人口密度區域。該場景的目的是模擬基地臺布建在高塔上，服務距離遠、環境遮蔽少的情況。

2. ITU-R P.1411

由 ITU-R（國際電信聯盟無線電通信部門）制定，針對短距離的無線通信所設計，適用於 Wi-Fi 無線、點對點連線設備。使用頻率範圍為 300 MHz- 100 GHz，並依站臺點布建位置來決定使用場景，如表 4- 13 所示，包括都市超高層建築、都市高層建築、都市低層建築/郊區、住宅和鄉村，以下將對符合本研究所需之場景進行說明：

- 都市超高層建築和高層建築：主要為街道兩旁有高密度的幾十層樓建築，由於高密度建築與摩天大樓交錯分佈，導致在非視距(NLoS)情況下產生豐富的散射(Scattering)傳播路徑，也可能會造成很長的路徑延遲，並且該地區有極高的車流和人流量會增加反射波（Reflected Waves）的都卜勒偏移（Doppler Shift）。
- 都市低層建築/郊區：建築物的高度通常少於三層樓，因此容易產生屋頂繞射（Diffraction）現象，該地區較低的車流和人流量只會造成較小的都卜勒偏移(Doppler Shift)和較長的路徑延遲。
- 鄉村：房屋密集度低，通常是有著大庭院和花園的別墅、農舍、平房等低矮建築物，容易受到地形高度和大量植物的影響。

表 4- 13、ITU-R P.1411 使用條件

站臺位置	場景類型	可視/非可視	適用距離(公尺)
屋頂以下	都市(高層和低層)	可視	5-600

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

站臺位置	場景類型	可視/非可視	適用距離(公尺)
	郊區		
	都市高層建築	非可視	30-715
	都市低層建築 郊區	非可視	30-250
	鄉村	非可視	30-170
屋頂以上	都市(高層和低層) 郊區	可視	55-1200
	都市高層建築	非可視	260-1200

資料來源：本研究整理

3. ITU-R P.2001

針對點對點的無線通信設備所設計，具有在頻率、距離和時間百分比方面的廣泛適用性。特別的是它還能預測信號強度的衰減與增益，因此特別適用於蒙地卡羅（Monte-Carlo）模擬。七個子模型代表七個獨立的傳播方式。傳播方式有衍射、波導（Ducting）、對流層散射（Troposcatter）、電離層 E 層（Sporadic-E）、大氣吸收、雨衰、多路徑衰減、聚焦。前四種方式自身可以提供從發射到接收的傳播途徑，是終端對終端的方式。原則上，無線電波傳播都是透過大氣和這四種不同的途徑並行到達終端的。後三種方式自身無法提供從發射端到接收端的傳播途徑。相對於前者而言，後者是附加在前者的過程中的額外衰減。

4. WINNER II

WINNER II 通道模型適用於無線系統的連接層與系統層效能評估，以及不同演算法、通信技術和產品之間的比較分析。此模型適用於運作於 2-6 GHz 頻段、最大 100 MHz 頻寬的各種無線通信系統。模型具備良好擴充性，從單輸入單輸出（Single-Input Single-Output, SISO）到多輸入多輸出（Multiple-Input Single-Output, MIMO）連線場景，包含都市宏觀場景（Urban Macro-cell）、都市微觀場景（Urban Micro-cell）、鄉村宏觀場景（Rural Macro-cell）、郊區宏觀場景（Suburban Macro-cell）等，進一步擴充至包

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

含極化（Polarisation）、多天線技術（Multi-Antenna Technologies）、多用戶（Multi-User）、多站臺（Multi-Cell）、多跳網路（Multi-Hop Networks）等，WINNER II 模型具備高度的靈活性與擴展性，適用於現代與未來各種無線通信場景的模擬與研究。

綜合以上傳播模型說明可得知，除了適用頻率範圍的條件外，還需評估是否有都市、郊區和鄉村的使用情境，並且還要將該情境細分成可視和非可視的條件，因此會先剔除無上述三種情境的 ITU-R P.2001，此外，ITU-R P.1411 雖具有上述三種情境，但卻有使用上的限制，如果站臺點是位於屋頂之上，會沒有鄉村場景並且沒考量到都市地層建築和郊區的非可視情況，所以也不適合做為替代 WINNER II 的傳播模型。

最後是 3GPP TR 38.901，它是以 WINNER II 為基礎進行擴充與調整，以符合 4G、5G 和 6G 行動通信的需求，所以在路徑損耗的計算上會跟 WINNER II 略為不同，例如 3GPP TR 38.901 在可視場景以斷點距離（Breakpoint Distance）參數為條件，區分短距離和長距離路徑的損耗區間，當超過斷點距離後，信號會受到地面反射、繞射、散射等影響，路徑損耗的增長速率會變快，因此產生以下兩種可視場景的計算公式：

$d_{2D} \leq d'_{BP}$

$$PL_{LOS} = 32.4 + 21log_{10}(d_{3D}) + 20log_{10}(f_c)$$

$d_{2D} > d'_{BP}$

$$PL_{LOS} = 32.4 + 40log_{10}(d_{3D}) + 20log_{10}(f_c) - 9.5log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$$

$$d'_{BP} = \frac{4h'_{BS}h'_{UT}f_c}{c} \quad ，c = 3 \times 10^8\ m/s$$

d_{2D}：站臺和設備的水平距離

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

d_{BP}：斷點距離

d'_{BP}：有效斷點距離

h_{BS}：站臺高度

h'_{BS}：有效站臺高度

h_{UT}：使用者設備高度

h'_{UT}：有效使用者設備高度

如圖 4-17 所示，本研究以 Seamcat 頻譜分析工具[334]做路徑損耗模擬，設定頻率 7125MHz、可視、距離一公里和四種傳播模型為條件，進行都市型態的路徑損耗模擬，結果為 TR38.901 的損耗會較 WINNER II 小，對 AFC 系統計算最大允許發射功率而言，路徑損耗越小其所允許的發射功率也會越小，因此 TR38.901 對既有站臺的保護會比 WINNER II 嚴謹。此外，在 2025 年 7 月釋出的 19 版中新增了 SMa 場景，使得應用場景更加完整，因此會是替代 WINNER II 模型的首選。

[334] CEPT, SEAMCAT - Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool,https://www.cept.org/eco/eco-tools-and-services/seamcat-spectrum-engineering-advanced-monte-carlo-analysis-tool,（最後瀏覽日：2025/10/17）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

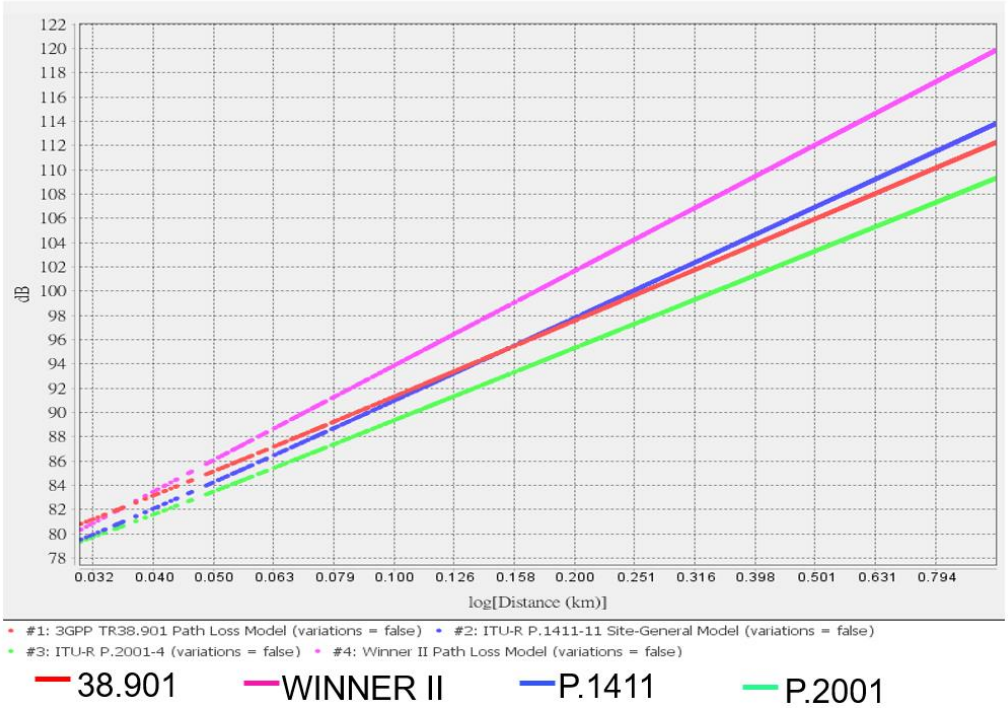


圖 4- 17、傳播模型路徑損耗模擬

資料來源：本研究整理

AFC 系統計算干擾的方式除了路徑損耗外，另外還要考慮 SpectralOverlap Loss（頻譜重疊造成的額外干擾）、Polarization Loss（發射與接收端極化不匹配所導致的衰減）、AntennaFeeder Loss（天線饋線與連接器損耗）、Body Loss（人體遮蔽效應）、rxGain（接收端天線的有效接收增益）、rlanDiscriminationGain（RLAN 訊號在接收端的選擇性抑制能力）、NearFieldOffset（近場區域耦合）以及 Building Penetration Loss（建築物穿透衰減）。因此，本研究搜索 OPEN AFC 程式碼並將相關參數的位置盤點出來，確認每個參數都可調修，如表 4- 14 所示。

表 4- 14、AFC Server 參數對應圖

參數	程式碼位置
rxGain	AfcManager.cpp: 8791 line
rlanDiscriminationGain	AfcManager.cpp: 8645 line
NearFieldOffset	nfa.cpp: 224 line
SpectralOverlapLoss	AfcManager.cpp: 4694 line
PolarizationLoss	AfcManager.cpp: 2902 line

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

參數	程式碼位置
AntennaFeederLoss	uls.cpp: 309 line
BodyLoss	AfcManager.cpp: 1985 line
BuildingLoss	AfcManager.cpp: 6492 line

資料來源：本研究整理

二、 OPEN AFC 資安研析

(一) 系統整體架構

OpenAFC（Open Automated Frequency Coordination）系統是一套專為協調和管理 6 GHz 頻段無線頻譜使用而設計的開源平臺，旨在防止授權使用者與非授權無線裝置間的頻譜干擾，並確保頻譜資源的有效利用。該系統基於微服務（Microservices）架構設計，將各功能分割為鬆散耦合（Loose Coupling）的獨立服務，每個服務專注於特定功能並能獨立布建。微服務架構作為一種現代應用程式設計方法，透過功能隔離和責任分離（Separation of Concerns, SoC）提高了系統的安全性和可維護性，同時降低了單一組件受攻擊對整體系統的影響範圍。

OpenAFC 系統採用 Docker 容器技術實現服務布建，每個功能元件都封裝在獨立的容器中執行。容器化技術提供了隔離環境，既確保了各服務的資源隔離和安全邊界，又簡化了布建流程和版本控制。在安全設計方面，系統遵循縱深防禦原則（Defense in Depth），透過多層次的防護機制形成完整的安全架構，即使一層防護被突破，其他層次仍能提供有效保護。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

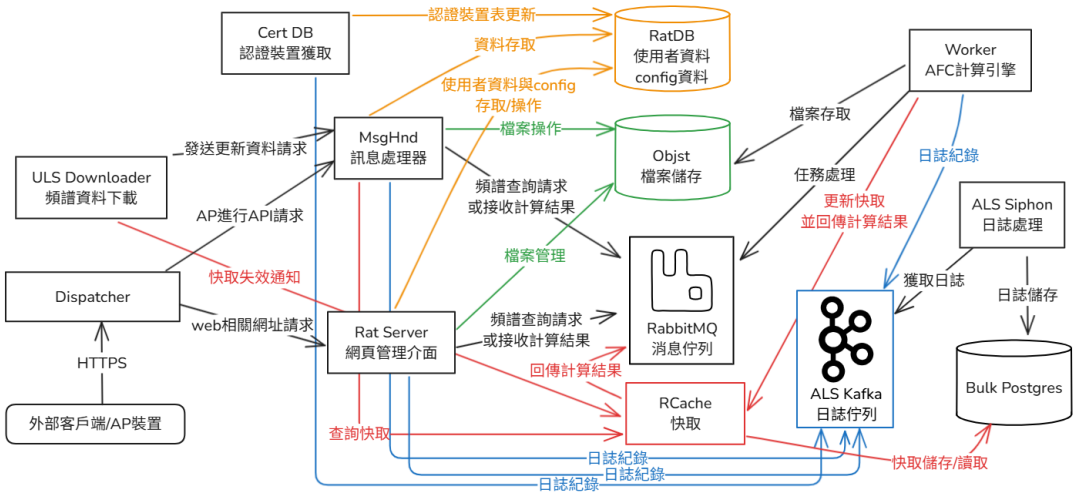


圖 4- 18、OPEN AFC 系統流程圖

資料來源：本研究整理

如圖 4- 18 所示，OpenAFC 系統由多個相互連接的服務組成，各服務透過明確定義的介面和通信協議進行互動。系統的入口點為 Dispatcher，它負責接收外部用戶端和 AP 裝置透過 HTTPS 發送的請求，並將這些請求分發到適當的內部服務。各個核心元件在系統中扮演不同的安全角色：MsgHnd 處理頻譜查詢請求，Rat Server 提供使用者網頁管理功能，Worker 執行頻譜計算，而 RatDB、Objst 和 Bulk Postgres 等元件則負責不同類型資料的安全儲存。這種功能分離與資源隔離設計實現了完整的安全域隔離，提供了增強的安全防護能力。

OpenAFC 系統實現了三大核心功能：頻譜協調與可用頻段計算、使用者與 AP 裝置管理，以及系統監控與日誌分析。這些功能透過系統中的多個元件協同工作實現，形成了複雜但高度安全的資料流。

1. 頻譜協調與可用頻段計算

頻譜協調與可用頻段計算是系統的核心業務功能，當 AP 裝置需要查詢在特定位置可使用的頻段時，系統會進行複雜的干擾分析流程。如圖 4- 19 所示，這一流程涉及多個元件：外部 AP 裝

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

置首先透過 Dispatcher 向 MsgHnd 提交頻譜查詢請求，MsgHnd 向 RatDB 獲取配置資訊和使用者資料後，將請求透過 RabbitMQ 消息佇列轉發給 Worker 進行計算。Worker 負責進行頻譜干擾分析，從 Objst 檔案儲存系統獲取必要的地理和頻譜資料，然後生成授權結果。授權結果經由 RCache 快取系統返回給 MsgHnd，最終回傳可用頻道列表和對應的功率限制給申請的 AP 裝置。這一流程中的每個步驟都經過嚴格的安全控制，確保了新布建的 AP 不會對既有通信系統造成有害干擾。

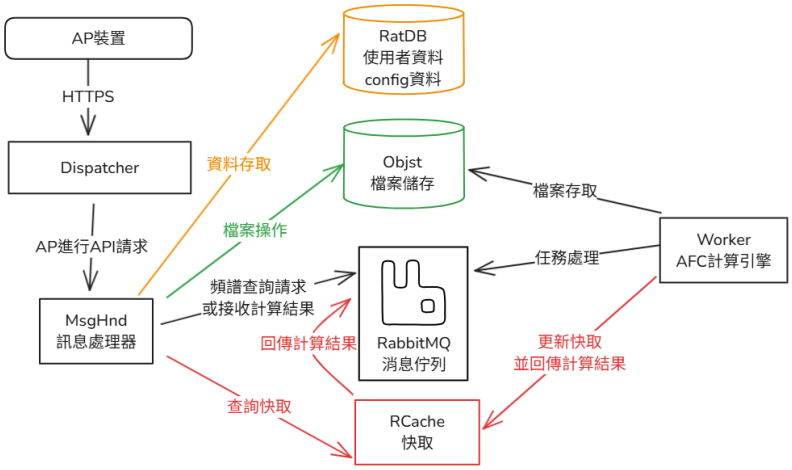


圖 4- 19、頻譜協調與可用頻段計算流程圖

資料來源：本研究整理

2. 使用者與 AP 裝置管理

功能主要由 Rat Server 和 Cert DB 提供。如圖 4- 20 所示，系統管理員透過 Rat Server 的 Web 介面進行使用者帳戶管理、權限設定和 AP 裝置登記。Cert DB 元件定期從 NCC 獲取最新的認證裝置列表，並更新到 RatDB 中。ULS Downloader 負責從 ULS Database 自動下載既有站臺資訊，確保系統掌握最新的裝置狀態。這種自動化的資料更新機制確保了系統運作於最新的資料之下，同時嚴格控制只有經過認證的裝置才能被授權查詢可用頻譜資源。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

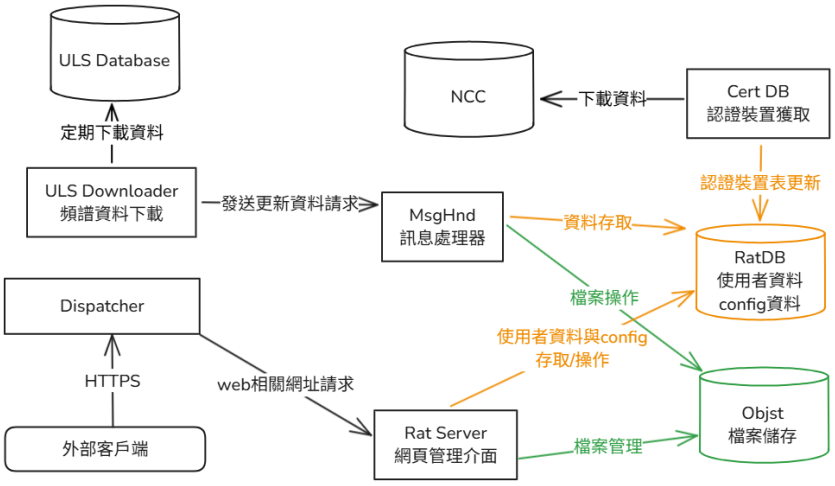


圖 4- 20、使用者與 AP 裝置管理流程圖

資料來源：本研究整理

3. 系統監控與日誌分析

功能分為兩個主要部分。如圖 4- 21 所示，在日誌收集方面，系統採用 ALS Kafka、ALS Siphon 和 Bulk Postgres 構成完整的日誌處理鏈。各個元件（包括 MsgHnd、Worker、Cert DB 和 Rat Server）生成的操作日誌會傳送至 ALS Kafka，經由 ALS Siphon 處理後儲存到 Bulk Postgres 資料庫中。

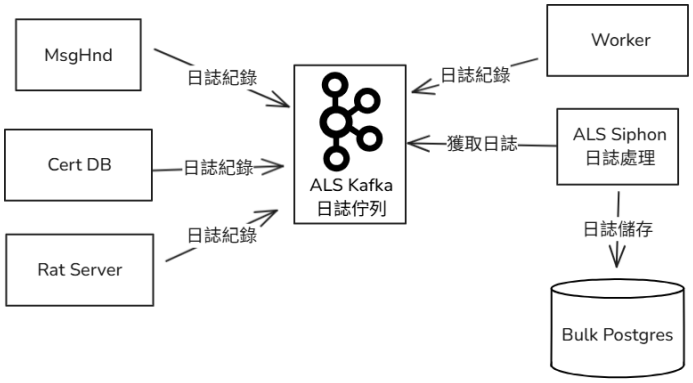


圖 4- 21、日誌系統流程圖

資料來源：本研究整理

如圖 4- 22 所示，在系統監控方面，則採用 Prometheus 收集各服務的執行指標，包括 ALS Siphon、RabbitMQ、MsgHnd、

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

cAdvisor 和 Nginx Exporter 等關鍵服務的狀態數據，並透過 Grafana 儀表板進行視覺化展示。這套完整的監控與日誌架構確保系統管理員能夠全面掌握系統執行狀況，支援即時監控、問題診斷、安全事件追蹤和合規性稽核等多項需求。

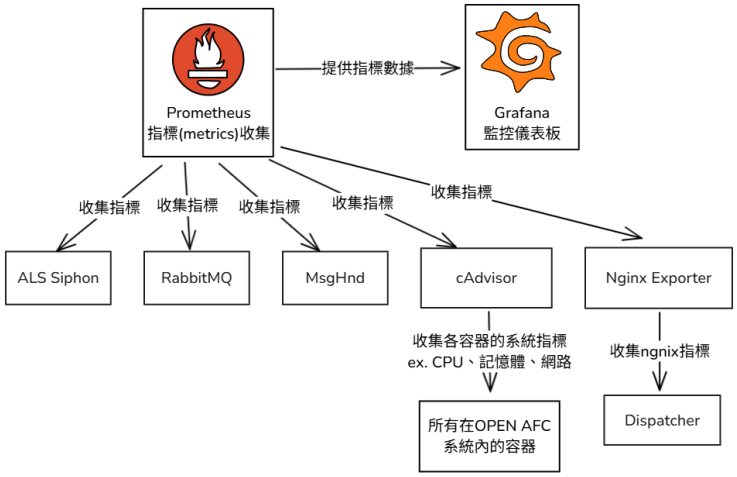


圖 4- 22、系統監控流程圖

資料來源：本研究整理

(二) 身份與存取管理安全

1. 支援多種認證方法

OpenAFC 系統支援兩種認證機制：非身分驗證通信協定（OpenID Connect, OIDC）本機認證和 OIDC 單一登入（Single Sign-On, SSO）認證，讓組織能根據不同的布建環境和安全需求選擇適合的認證方案。非 OIDC 認證採用本機驗證方式，所有身份驗證處理都在 AFC 伺服器的本機資料庫中完成，這是系統的預設配置方式。在 rat_server 容器的程式碼中，系統透過 OIDC_LOGIN 配置參數判斷使用哪種認證方式，並選擇相應的認證方法，如圖 4- 23 所示：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源：ratapi/app.py/create_app 函式

```python
if flaskapp.config['OIDC_LOGIN']: # 判斷是否使用 OIDC 登入
    from flask_login import LoginManager # 匯入 LoginManager
    login_manager = LoginManager() # 建立 LoginManager 實例
    login_manager.init_app(flaskapp) # 初始化登入管理器

    @login_manager.user_loader # 定義使用者載入函式
    def load_user(_id): # 從資料庫載入使用者資訊
        return User.get(_id) # 返回使用者物件
else:
    # 非 OIDC 登入
    from flask_user import UserManager # 匯入 UserManager
    user_manager = UserManager(flaskapp, db, User) # 建立使用者管理器實例
```

圖 4- 23、creat_app 函式

資料來源：rat_server 容器

OIDC 是一種身份層（Identity Layer）規範，建立在 OAuth 2.0 基礎上，提供標準化的使用者認證流程。根據 Cloudflare 的定義，單登入是一種將多個不同的應用程式登入頁面合為一體的技術，使用者只需在單個頁面上輸入一次登入認證即可存取其所有應用程式。OIDC 認證依賴 AFC 伺服器外部的身份提供者來驗證使用者身份，當使用者登入時，AFC 伺服器會將認證請求轉發給身份提供者進行處理。透過支援 OIDC，OpenAFC 系統可以與企業既有的身份提供者（如 Google、Microsoft 等）整合，實現單點登入功能，使用者無需記住額外的密碼，同時又可利用這些平臺提供的多因素認證（Multi-Factor Authentication, MFA）功能。此外，OIDC 還支援聯合使用者認證，可進一步轉發到各自的身份伺服器進行驗證。採用 OIDC 時，使用者密碼不會儲存在 OpenAFC 系統中，降低密碼洩露的風險和簡化管理成本。

2. 密碼雜湊與安全儲存

OpenAFC 系統採用 bcrypt 演算法實施密碼雜湊處理，它是現代網站與應用系統中最推薦的密碼雜湊技術之一，確保在本機認

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

證和 OIDC 認證模式下都能提供安全的密碼儲存機制。在 rat_server 容器中，系統根據認證方式選擇適當的密碼雜湊方法，如圖 4- 24 所示：

來源：ratapi/manage.py

```python
if flaskapp.config['OIDC_LOGIN']:
    # OIDC 模式下，使用者主要透過外部身份提供者認證
    # 但系統仍會儲存註冊時使用的密碼雜湊值
    # 以支援系統在不同認證模式間的切換
    from passlib.context import CryptContext
    # 使用 bcrypt 演算法進行密碼雜湊
    password_crypt_context = CryptContext(['bcrypt'])
    passhash = password_crypt_context.encrypt(password_in)
else:
    # 本機認證模式下，使用 Flask-User 內建的密碼管理器進行密碼雜湊
    passhash = flaskapp.user_manager.password_manager.hash_password(password)
```

圖 4- 24、密碼雜湊處理邏輯

資料來源：rat_server 容器

bcrypt 具有幾個關鍵安全特性：首先，它內建鹽值（Salt）機制，為每個密碼生成唯一的鹽值，防止利用像彩虹表（Rainbow Table）這種可以預先計算好雜湊值的對照表，來嘗試還原加密過的密碼進行攻擊；其次，bcrypt 是一種可調整計算成本的演算法，可透過調整成本參數控制運算時間，有效增加暴力破解攻擊（Brute-Force Attack）的難度。在 OpenAFC 系統中，所有密碼經過單向雜湊處理後儲存，即使資料庫被洩露，攻擊者也無法還原原始密碼。此外，當需要在本機認證與 OIDC 單一登入之間進行轉換時，系統會保留所有使用者的密碼雜湊值，確保在認證模式變更過程中，使用者帳戶的安全性和可用性都不受影響。

3. 基於角色的存取控制（RBAC）

OpenAFC 系統實施了基於角色的存取控制（Role-Based Access Control, RBAC）機制，透過將權限與角色關聯，再將角色指派給使用者，實現了精細化的權限管理。RBAC 是一種被廣泛

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

採用的存取控制模型，它簡化了權限管理和提供強大的安全保障。

在 ratdb 資料庫中，系統的資料庫模型明確定義了使用者、角色和權限之間的關係，如圖 4- 25 所示：

來源：afcmodels/afcmodels/aaa.py

```python
class User(db.Model, UserMixin):
    # 定義與角色的多對多關係映射
    # 使一個使用者可同時擁有多個角色
    roles = db.relationship('Role', secondary='aaa_user_role', back_populates='users')

class Role(db.Model):
    # 系統角色定義，儲存如Admin、AP、Analysis、Super、Trial等角色
    # 不同角色擁有不同的系統功能存取權限
    name = db.Column(db.String(50))
    # 反向多對多關係映射，追蹤每個角色關聯的所有使用者
    users = db.relationship('User', secondary='aaa_user_role', back_populates='roles')

class UserRole(db.Model):
    # 關聯表：記錄使用者-角色配對關係
    # 透過此表實現使用者可擁有多個角色，角色可指派給多個使用者
    user_id = db.Column(db.Integer(), db.ForeignKey(
        'aaa_user.id', ondelete='CASCADE')) # 當使用者刪除時自動移除相關角色指派
    role_id = db.Column(db.Integer(), db.ForeignKey(
        'aaa_role.id', ondelete='CASCADE')) # 當角色刪除時自動解除所有使用者指派
```

圖 4- 25、密碼雜湊處理邏輯

資料來源：ratdb 容器

系統定義了多種角色，如 Super（超級管理員）、Admin（管理員）、AP（接取點管理）、Analysis（分析權限）、Trial（試用權限）等，每種角色擁有特定的權限集合。透過多對多關聯表（UserRole），一個使用者可以被指派多個角色，其實際權限是所有已指派角色的權限集合，而 CASCADE 刪除設計確保當使用者或角色被刪除時，相關的角色指派也會被自動清除。RBAC 模型使 OpenAFC 系統實現了最小權限原則，這是資訊安全中的核心概念，指系統中的實體應該只擁有完成其任務所必需的最小權限集合。例如，普通管理人員被賦予 AP 角色，只能執行裝置管理功能，而不能修改系統核心配置；系統管理員則擁有 Admin 角色，有權進行系統設定變更。這種實現帶來多項安全優勢：嚴格控制

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

使用者權限範圍；透過集中管理角色，簡化權限控制；支援多角色組合，靈活定義複雜的權限邏輯。

4. 組織資料隔離

OpenAFC 系統實施了強大的組織資料隔離機制，確保在多租戶（Multi Tenancy）環境中，對不同組織的資料嚴格分離，防止未授權的跨組織資料訪問。在 ratdb 資料庫中，資料模型明確定義組織結構和資料所有權，如圖 4- 26 所示。

來源：afcmodels/afcmodels/aaa.py

```python
class User(db.Model, UserMixin):
    # 組織識別欄位，記錄使用者所屬組織名稱
    # 作為資料隔離的關鍵欄位，用於限制使用者只能訪問自身組織資料
    org = db.Column(db.String(255), nullable=True)

class Organization(db.Model):
    __tablename__ = 'aaa_org'
    id = db.Column(db.Integer, primary_key=True, autoincrement=True)
    # 組織唯一識別名稱，強制唯一性確保組織區分
    name = db.Column(db.String(50), nullable=False, unique=True)
    # 實現一對多關係映射，使組織能直接訪問所屬的所有AP裝置
    # 同時確保資料隔離的完整性
    aps = db.relationship("AccessPointDeny", backref="org")

class AccessPointDeny(db.Model):
    # 組織外鍵關係，實現裝置資料隔離的機制
    # CASCADE刪除策略確保資料完整性和避免孤立記錄
    org_id = db.Column(db.Integer, db.ForeignKey('aaa_org.id', ondelete='CASCADE'))
```

圖 4- 26、組織資料隔離實現

資料來源：ratdb 容器

系統為每個使用者和 AP 裝置指定所屬組織，並在資料庫查詢時自動套用組織權限限制。當使用者登入後，系統識別其組織身份，並在所有資料存取操作中執行組織檢查，確保使用者只能訪問和管理所屬組織的資料和裝置。如圖 4- 27 所示，系統根據使用者角色和組織身份動態調整查詢範圍：超級管理員可查看全部資料，而一般管理員僅能查看自身組織的資料。這種機制確保了即使擁有相同角色的使用者也無法越界訪問其他組織的資料。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源：src/ratapi/ratapi/views/admin.py

```python
# 查詢使用者時的組織隔離實現
def get(self, user_id):
    # 獲取目前使用者及其角色
    cur_user = aaa.User.query.filter_by(id=id).first()
    roles = [r.name for r in cur_user.roles]

    # 根據使用者角色決定查詢範圍
    if "Super" in roles:
        # 超級管理員可查看所有使用者
        users = aaa.User.query.all()
    else:
        # 一般管理員只能查看同組織使用者
        org = cur_user.org if cur_user.org else ""
        users = aaa.User.query.filter_by(org=org).all()

 # 查詢裝置時的組織隔離實現
def get(self, id):
    user = aaa.User.query.filter_by(id=id).first()
    roles = [r.name for r in user.roles]

    if "Super" in roles:
        # 超級管理員獲取所有裝置
        access_points = db.session.query(aaa.AccessPointDeny).all()
    else:
        # 一般管理員只獲取其組織的裝置
        org = user.org if user.org else ""
        organization = db.session.query(aaa.Organization).filter(
            aaa.Organization.name == org).first()
        if organization:
            access_points = organization.aps
```

圖 4- 27、組織資料隔離查詢實現

資料來源：rat_server 容器

(三) 網路通信與 API 安全

1. TLS/SSL 加密通信

OpenAFC 系統實施了 TLS/SSL 加密通信保護，確保所有外部和內部通信的機密性和完整性。傳輸層安全性協定（Transport Layer Security, TLS） 是一種安全通信協定，可為網際網路通信提供私密性和資料完整性。系統在 dispatcher 和 rat_server 容器中設

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

置了高強度的 TLS 設定，如圖 4- 28、圖 4- 29 所示：

來源：nginx.conf.template

```
server {
    listen 443 ssl; # 使用標準HTTPS埠口
    listen [::]:443 ipv6only=on ssl; # 支援IPv6

    # TLS/SSL核心安全配置
    ssl_protocols TLSv1.2 TLSv1.3; # 僅使用安全的TLS版本，停用所有舊版本
    ssl_prefer_server_ciphers on; # 優先使用伺服器定義的加密演算法

    # 憑證配置
    ssl_certificate /certificates/servers/server.cert.pem; # 伺服器憑證
    ssl_certificate_key /certificates/servers/server.key.pem; # 伺服器私鑰

    # TLS會話管理，提高TLS握手效率
    ssl_session_cache shared:SSL:10m;
    ssl_session_timeout 300; # 會話快取有效期，平衡安全性與效能
}
```

圖 4- 28、dispatcher nginx 設定檔

資料來源：dispatcher 容器

來源：httpd-ssl.conf

```
SSLProtocol +TLSv1.2 +TLSv1.3 # 只允許 TLS 1.2 和 TLS 1.3 協議
SSLProxyProtocol +TLSv1.2 +TLSv1.3 # 代理連接也只允許 TLS 1.2 和 TLS 1.3 協議

# 設定密碼套件，只使用強加密演算法，按安全性排序
SSLCipherSUite "ECDHE-ECDSA-AES256-GCM-SHA384:ECDHE-RSA-AES256-GCM-
SHA384:ECDHE-ECDSA-CHACHA20-POLY1305..."
```

圖 4- 29、rat_server apache 設定檔

資料來源：rat_server 容器

OpenAFC 限制只使用 TLS 1.2 和 TLS 1.3 這兩種最新、最安全的 TLS 版本。TLS 1.3 提供改進的安全性和效能，減少握手延遲並簡化加密通信。系統優先採用具有前向保密性的 ECDHE 密碼套件結合 AES-256-GCM 強加密演算法，確保即使金鑰被洩露，過去的通信內容也無法被解密。這些設定有效防止資料在傳輸過程中被竊聽或篡改，同時抵抗已知 TLS 漏洞攻擊。

2. HTTP 請求處理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

OpenAFC 系統實施了 HTTP 請求處理機制，防範各種常見的 Web 應用安全威脅。這些機制包括安全標頭設定、超時控制和內容安全策略（CSP）等。如圖 4-30、圖 4-31，系統在 dispatcher 和 rat_server 容器中設置了多種安全標頭和請求處理機制：

來源：nginx.conf.template

```
# 防止MIME類型嗅探攻擊
add_header X-Content-Type-Options nosniff;
# 防止點擊劫持攻擊
add_header X-Frame-Options "SAMEORIGIN";
# 內容安全政策，控制資源載入來源，是防止XSS的重要防線
add_header Content-Security-Policy "script-src 'self' 'unsafe-eval'
https://maps.googleapis.com https://code.jquery.com
https://netdna.bootstrapcdn.com/bootstrap https://www.google.com/recaptcha/
https://www.gstatic.com/recaptcha/; style-src 'self'
https://fonts.googleapis.com https://netdna.bootstrapcdn.com
https://www.gstatic.com/recaptcha/ 'unsafe-inline'";
# 啟用瀏覽器內建的XSS防護功能
add_header X-XSS-Protection "1; mode=block";
# 控制HTTP Referer資訊的傳遞方式
add_header Referrer-Policy "strict-origin-when-cross-origin";
# 限制瀏覽器功能和API的使用
add_header Permissions-Policy "geolocation=(self), microphone=(), camera=(),
speaker=(), vibrate=(), payment=(), fullscreen=(self), sync-xhr=(),
magnetometer=(), gyroscope=(), accelerometer=(), usb=(), autoplay=(), midi=
(), encrypted-media=(), vr=(), xr-spatial-tracking=()";
```

圖 4-30、dispatcher nginx 設定檔

資料來源：dispatcher 容器

來源：httpd-default.conf

```
# 設定請求超時時間，防止資源長時間佔用
Timeout 900

# 設定持久連接的空閒超時時間
KeepAliveTimeout 15
```

圖 4-31、rat_server apache 設定檔

資料來源：rat_server 容器

OpenAFC 系統實施的 HTTP 請求處理機制不僅包含基本的安

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

全標頭設定，還實現了多層次的防護策略。X-Content-Type-Options 標頭防止 MIME（Multipurpose Internet Mail Extensions, MIME）類型的偵測攻擊，阻止瀏覽器對資源類型進行自動檢測，避免攻擊者利用偽裝檔案執行惡意程式碼。X-Frame-Options 設為"SAMEORIGIN"確保頁面只能被同源網站嵌入，有效防止點擊劫持攻擊（Clickjacking）。內容安全政策（Content Security Policy , CSP）透過明確指定允許的資源來源，限制瀏覽器可執行的內容，大幅降低跨站腳本攻擊(Cross-Site Scripting, XSS)攻擊風險。系統還實施了請求超時控制，防止分散式阻斷服務（Distributed Denial of Service, DDOS）攻擊，確保服務持續可用性。此外，透過權限政策（Permissions Policy）機制控制網頁及其嵌入內容對瀏覽器功能的存取權限，確保只有獲授權的來源才能使用，例如地理位置、麥克風等敏感應用程式。來源參照政策（Referrer-Policy）的設定則在跨來源請求時，限制資訊洩露以提升系統安全性。

3. 應用程式存取限制

OpenAFC 實施了嚴格的 API 存取限制，確保 API 端點受到良好保護，只允許授權操作。系統在 dispatcher 容器中設置多種 API 應用程式介面（Application Programming Interface, API）限制，如圖 4- 32 所示：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源：nginx.conf.template

```
# 限制此路徑只能使用 GET 方法，拒絕其他方法，防止未授權修改與刪除
location /fbrat/ratapi/v1/files {
    limit_except GET { deny all; }
    # 其他代理設定...
}
# 禁止訪問測試 API
location /fbrat/ap-afc/availableSpectrumInquiryInternal {
    return 403;
}
# 禁止訪問設定檔 API
location /fbrat/ratapi/v1/GetAfcConfigByRulesetID {
    return 403;
}
```

圖 4- 32、dispatcher nginx 設定檔

資料來源：dispatcher 容器

OpenAFC 系統透過限制 API 的 HTTP 方法來強化安全性，例如文件存取 API 僅允許 GET 方法，禁用 PUT、POST 和 DELETE 等可能修改資源的操作。這種做法符合最小權限原則，確保使用者僅能執行其職責所需的最低權限操作，降低未授權存取和潛在安全風險。

系統將內部 API 完全停用，無論內部或外部請求皆會直接回應 403 禁止狀態碼。此舉可防止潛在的風險介面被誤用或遭攻擊，並符合失效安全（Fail-Safe）的安全設計原則：在系統無法正確判斷請求是否合法時，預設拒絕存取，維持系統的安全性。

(四) 資料保護與儲存安全

1. 資料庫安全設計

OpenAFC 系統資料庫採用安全導向（Security-Oriented）的設計策略，透過物件關聯對應（Object-Relational Mapping, ORM）框架框架、約束機制和完整性檢查確保資料安全。系統在 afcmodels 套件中實施了安全的資料庫設計，如圖 4- 33 所示：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源：afcmodels/afcmodels/aaa.py

```python
class User(db.Model, UserMixin):
    __tablename__ = 'aaa_user'
    # 設定唯一性約束，確保每個電子郵件只對應一個使用者
    __table_args__ = (
        db.UniqueConstraint('email'),
    )
    id = db.Column(db.Integer, primary_key=True)
    username = db.Column(db.String(50), nullable=False, unique=True)
    email = db.Column(db.String(255), nullable=False)
    password = db.Column(db.String(255), nullable=False)
    # 與角色的多對多關係
    roles = db.relationship('Role', secondary='aaa_user_role')

class UserRole(db.Model):
    __tablename__ = 'aaa_user_role'
    # 設定複合唯一性約束，確保每個使用者-角色組合只出現一次
    __table_args__ = (
        db.UniqueConstraint('user_id', 'role_id'),
    )
    id = db.Column(db.Integer(), primary_key=True)
    # 使用外鍵關聯，並設定級聯刪除
    user_id = db.Column(db.Integer(), db.ForeignKey(
        'aaa_user.id', ondelete='CASCADE'))
    role_id = db.Column(db.Integer(), db.ForeignKey(
        'aaa_role.id', ondelete='CASCADE'))

class Organization(db.Model):
    __tablename__ = 'aaa_org'
    id = db.Column(db.Integer, primary_key=True, autoincrement=True)
    # 組織名稱必須唯一，防止重複建立組織
    name = db.Column(db.String(50), nullable=False, unique=True)
```

圖 4- 33、OpenAFC 系統資料庫模型安全設計

資料來源：afcmodels 套件

OpenAFC 系統採用 SQLAlchemy ORM 框架進行資料庫操作，透過參數化查詢自動防範 SQL 注入攻擊。系統在關鍵資料表中設定了完整的唯一性約束（UNIQUE Constraint），如 User 表的 email 和 username 欄位、Organization 表的 name 欄位，確保不會出現重複資料而導致帳戶劫持或權限混淆等安全問題。外部索引鍵(Foreign Key)關係搭配級聯(Cascade)刪除機制（ondelete='CASCADE'）保障資料完整性，當主記錄被刪除時相關聯的記錄也會自動清除，防止孤立(Orphaned)外部索引鍵產生。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

這些措施為 OpenAFC 系統建構了安全可靠的資料儲存基礎。

2. 資料庫連接資訊保護

在日誌和錯誤訊息處理中，系統特別注意避免洩露敏感資訊。如圖 4- 34 所示，rcache 容器中的 safe_dsn 函式確保資料庫連接字串中的密碼在記錄到日誌之前被取代為"<PASSWORD>"。

來源：rcache_common.py

```python
def safe_dsn(dsn: Optional[str]) -> Optional[str]:
    """ Returns DSN without password (if there was any) """
    if not dsn:
        return dsn
    try:
        parsed = urllib.parse.urlparse(dsn)
        if not parsed.password:
            return dsn
        return \
            urllib.parse.urlunparse(
                parsed._replace(
                    netloc=parsed.netloc.replace(":" + parsed.password,
                                                 ":<PASSWORD>")))
    except Exception:
        return dsn
```

圖 4- 34、資料庫連接字串安全處理

資料來源：rcache 容器

這防止了因日誌洩露導致的資料庫密碼暴露風險。日誌檔案通常比應用程式本身更容易被訪問，因此確保日誌不包含敏感資訊是一項重要的安全措施。

3. Session Cookie 與認證 token 安全

Session Cookie 指的是沒有指定 Expires 或 Max-Age 的 Cookies，當瀏覽器關閉時，這些 Cookies 也會跟著消失，相關的安全控制措施，如圖 4- 35 所示：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

來源：ratapi.conf

```
# 設定session cookie 只能透過 HTTPS 傳輸，防止中間人攻擊
SESSION_COOKIE_SECURE = True
# 限制第三方網站使用session cookie，防止 CSRF 攻擊
SESSION_COOKIE_SAMESITE = 'Lax'
```

圖 4- 35、Session Cookie 安全設定

資料來源：rat_server 容器

設定 SESSION_COOKIE_SECURE=True 確保 session cookie 只能透過 HTTPS 傳輸，防止透過不安全連接傳送 Cookie 時被竊取。SESSION_COOKIE_SAMESITE='Lax'則限制第三方網站在跨站請求中使用 Cookie，這是防止跨站請求偽造（Cross-Site Request Forgery, CSRF）攻擊的重要機制。

在 OIDC 認證流程中，系統採用了額外的安全措施保護敏感的認證資訊，如圖 4- 36 所示：

來源：views/auth.py

```
# 產生安全的狀態令牌和代碼驗證器
flask.session['app_state'] = secrets.token_urlsafe(64)
flask.session['code_verifier'] = secrets.token_urlsafe(64)

# 狀態驗證防止 CSRF 攻擊
if app_state != flask.session['app_state']:
    als.als_json_log('user_access', {'action':'login', 'user':'unknown',
                     'from':flask.request.remote_addr, 'status':'bad state'})
    return "Unexpected application state", 406

# 使用 PKCE 保護授權碼交換
hashed =
hashlib.sha256(flask.session['code_verifier'].encode('ascii')).digest()
encoded = base64.urlsafe_b64encode(hashed)
code_challenge = encoded.decode('ascii').strip('=')re
```

圖 4- 36、OIDC 認證安全機制

資料來源：rat_server 容器

系統使用安全隨機數生成器產生 64 位元的狀態 token 和程式碼驗證器（Code Verifier），並實施 PKCE（Proof Key for Code Exchange, PKCE）機制保護開放授權 (Open Authorization, OAuth)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

碼的交換過程。程式碼驗證器是 PKCE 標準中，用於確保授權碼安全交換的隨機字串，透過雜湊運算產生程式碼挑戰（Code Challenge）傳送給認證伺服器。狀態 token 驗證確保認證請求的完整性，防止 CSRF 攻擊和授權碼注入攻擊。

4. 系統層級的敏感資訊清理

系統在應用程式初始化階段實施了重要的安全清理機制，防止底層加密模組的敏感資訊洩露，如圖 4- 37 所示：

來源：ratapi/__init__.py

```
# 清理 OpenSSL 錯誤隊列，防止敏感資訊洩露
try:
    from cryptography.hazmat.bindings._openssl import lib as libopenssl
except ImportError:
    from cryptography.hazmat.bindings._rust import _openssl
    libopenssl = _openssl.lib
libopenssl.ERR_clear_error()
```

圖 4- 37、OpenSSL 錯誤佇列清理

資料來源：ratapi 套件

這段程式碼清理 OpenSSL 錯誤佇列中可能包含的敏感資訊。在 Apache mod_ssl 環境中，先前的 SSL 操作可能在錯誤佇列中留下敏感資料，如私密金鑰片段或加密狀態資訊。透過在應用程式啟動時清理這些錯誤，系統確保不會意外洩露底層加密操作的敏感細節。

這些敏感資訊保護措施為 OpenAFC 系統帶來了多方面的安全增強：日誌和錯誤訊息中隱去敏感資訊防止洩露、安全的 Cookie 設定和 OIDC token 保護確保認證狀態安全傳輸、系統層級的安全清理防止底層加密模組洩露敏感細節。此外，系統廣泛使用環境變數來配置和傳遞敏感設定，符合 Twelve-Factor App[335]的配置原

[335] The Twelve-Factors APP(2017)，https://12factor.net/(last visited 2025.06.09).

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

則，使敏感資訊與程式碼分離，便於安全管理和稽核。這些機制共同構建了一個多層次的敏感資訊保護框架，保障了系統在各個環節中的資料機密性。

三、 AFC 系統人口圖資與地貌圖資差異性分析

AFC 系統在計算路徑損失時，必需優先載入該國地形高度圖資(如美國: 3DEP、SRTM、Global 地形圖庫等)，其次優先採用該國精度較高的地貌圖資，例如美國是使用國家土地涵蓋資料庫（National Land Cover Database, NLCD），其次才會使用國際人口密度圖資，最後考量是否存在建物圖資，並決定使用之無線通道模型。

(一) 地形高度圖資

AFC 系統必需要使用地形高度圖資來計算裝置與既有站臺在三維之間的距離，並利用高度地圖來計算裝置與既有站臺之間無線電鏈路是否有地形障礙，其地形高度資料可以透過 LiDAR、IFSAR、GPS 等等測量技術來獲取，並且將 Lidar 資料和影像資料整合，建構出高解析度的三維地形表面模型，目前我國所使用的我國地形圖資其解析度為 30 x 30 公尺。

(二) 人口圖資

我國人口圖資採用行政區來進行劃分，其類型被畫分成三種型態，分別為都市、郊區以及鄉村，其人口密度如下，

- 都市：600.75 人/km^2
- 郊區：211.2 人/km^2
- 鄉村：57.2 人/km^2

(三) 地貌圖資

OPEN AFC 使用的美國地貌圖資 NLCD 如圖 4-12 所示，總共有 21 種地貌類別並分別有各自的代碼：21、22 為郊區型態、23、

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

24 為都市型態、其餘為鄉村型態，且對於植物種類的分類較細（如針葉林、落葉林、常綠林、灌木等）， 我國的地貌圖資如圖 4-13，地貌類型偏向描述各種建築類型和密集度，植物類型描述只有森林、和公園綠地，地貌類型與 NLCD 相差甚大且代碼沒有對應，因此本研究的做法是參照 NLCD 的地貌代碼來修改我國地貌代碼後，再將我國地貌圖資轉檔後匯入 OPEN AFC 的資料庫，調整後的美國和我國地貌代碼對應如表 4-10 所示，每個地塊其解析度為 30 x 30 公尺，主要會分成都市、郊區和鄉村三種類型，其類型與地塊代碼參照如下，

- 都市：代碼 23 和 24
- 郊區：代碼 21 和 22
- 鄉村：代碼 52 和 42

(四) 人口圖資與地貌圖資對傳播模型的影響差異分析

根據 FCC 規定，以距離區間分為近、中、遠(30 公尺以下，30-1000 公尺之間，1000 公尺以上)，其傳播模型在每一個距離區間皆有定義，其傳播模型使用方塊圖如圖 4-38 所示，在 30 公尺以內一律使用自由空間傳播模型(Free Space Propagation Model)，30-1000 公尺的距離區間則是使用 WINNER II 傳播模型，而在 1000 公尺以上，LoS 情況下則使用自由空間傳播模型，NLoS 情況下則使用 ITM（Irregular Terrain Model） + Clutter 來計算路徑損失。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

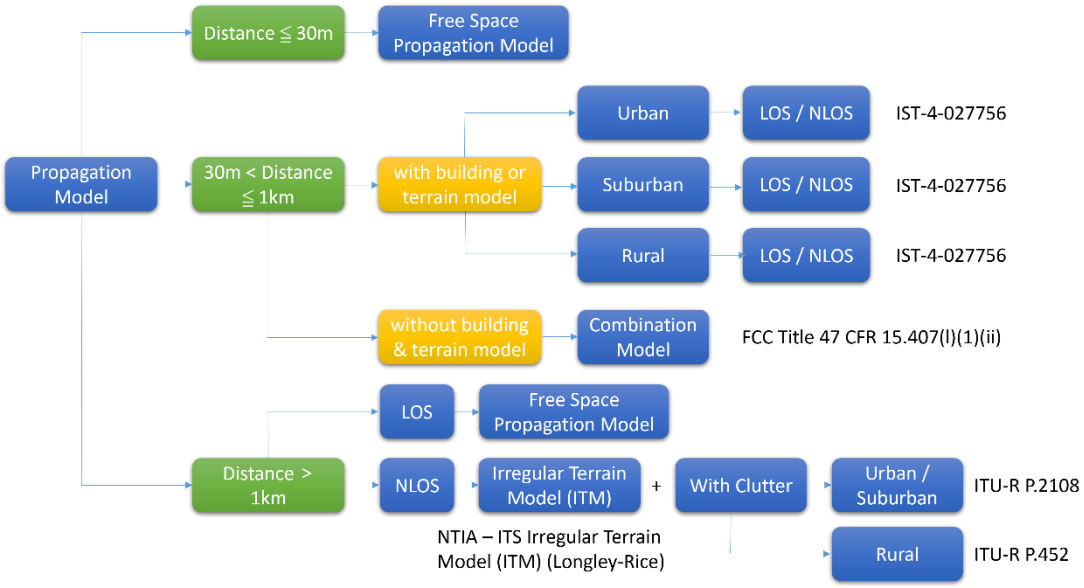


圖 4- 38、各距離區間所使用之傳播模型

資料來源：本研究整理

為了瞭解 AFC 系統對於使用人口圖資與地貌圖資的差異性，本研究以人口圖資的都市型態尋找了都市、郊區以及鄉村三種型態的既有鏈路位置來進行分析，分別為高雄社武變電所、屏東大鵬變電所、花蓮鳳林變電所三個既有站臺來進行模擬干擾分析，其資料如表 4- 15 所示，每個站臺以距離分為三個區間，分別為 30 公尺以內、30-1000 公尺、1000 公尺以上，每個區間內隨機取 50 個點，針對每一個點均使用人口圖資以及地貌圖資各別執行一次結果，再依據 EIRP 找出數值有變化的數據加以分析。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 4- 15、AFC 模擬測試參考點站臺

站臺	緯度	經度	人口圖資都市型態
高雄社武變電所	22°41'51.4"N	120°19'33.6"E	都市
屏東大鵬變電所	22°25'00.1"N	120°36'32.4"E	郊區
花蓮鳳林變電所	23°43'15.2"N	121°25'58.8"E	鄉村

資料來源：本研究整理

如表 4- 16，人口圖資有人口圖資的都市型態定義，地貌圖資也有其都市型態定義，其都市型態的變化會直接影響系統給出各頻道可使用之 EIRP 變化，如圖 4- 15 與圖 4- 16 所示，本研究將針對依照距離區間進行分析。

表 4- 16、人口圖資與地貌圖資都市型態變化圖

人口圖資 \ 地貌圖資	都市	郊區	鄉村
都市	都市→都市	都市→郊區	都市→鄉村
郊區	郊區→都市	郊區→郊區	郊區→鄉村
鄉村	鄉村→都市	鄉村→郊區	鄉村→鄉村

資料來源：本研究整理

1. 30 公尺內

根據 FCC 規定，AP 距離既有站臺 30 公尺以內傳播模型均使用自由空間傳播模型，由於自由空間傳播模型算出來的路徑損耗(Free Space Path Loss, FSPL)只有與頻率以及距離相關，其公式如公式(1)，故都市型態的變化對於 30 公尺以內的距離並不會影響給出之 EIRP 的變化。

$$FSPL\ (dB)=20\cdot\log10(\frac{4\pi fd}{c})\text{……..……..……...(1)}$$

d：距離，單位是公尺（m）

f：頻率，單位是 Hz

c：光速 $\approx 3\times10^8$ m/s

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2. 30-1000 公尺之間

根據 FCC 規定，AP 距離既有站臺 30-1000 公尺以內使用 WINNER II 傳播模型，會依據是否有使用地貌圖資與建物圖資，如圖 4-38 所示，若有則會根據地貌圖資與建物圖資來定義是 LoS 或是 NLoS，再帶入都市型態計算，路徑損失(PL)為 FCC 所使用的 WINNER II 傳播模型，若無則會使用機率模型根據距離來定義 LoS 以及 NLoS 的占比率，再加上 WINNER II 傳播模型各都市型態的 LoS 以及 NLoS 各自乘上占比率的總和來計算路徑損失如公式(2)。

$$PL = P_{LoS} \times L_{LoS} + P_{NLoS} \times L_{NLoS} \quad \text{.....(2)}$$

P_{LoS}：LoS 的機率

L_{LoS}：LOS 時的路徑損耗

$P_{NLoS} = 1 - P_{LoS}$(NLoS2 的機率)

L_{NLoS}：NLoS 時的路徑損耗

(1) 都市型態有變化

根據 WINNER II 傳播模型特性，因都市環境複雜度造成的路徑損失最高的是都市型態，其次是郊區，最小的是鄉村，由此特性來分析當人口圖資為都市而地貌圖資為鄉村時，從都市變為鄉村，則路徑損失下降，故可以使用的最大 EIRP 則會下降，反之，從鄉村變為都市，則路徑損失會上升，故可以使用的最大 EIRP 會上升。

(2) 都市型態無變化

由於 WINNER II 傳播模型影響變化來自於各種都市型態的固定參數，所以當人口圖資與地貌圖資都市型態沒有變化時，則

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

AP 可以使用的最大 EIRP 會維持不變。

3. 1000 公尺以上

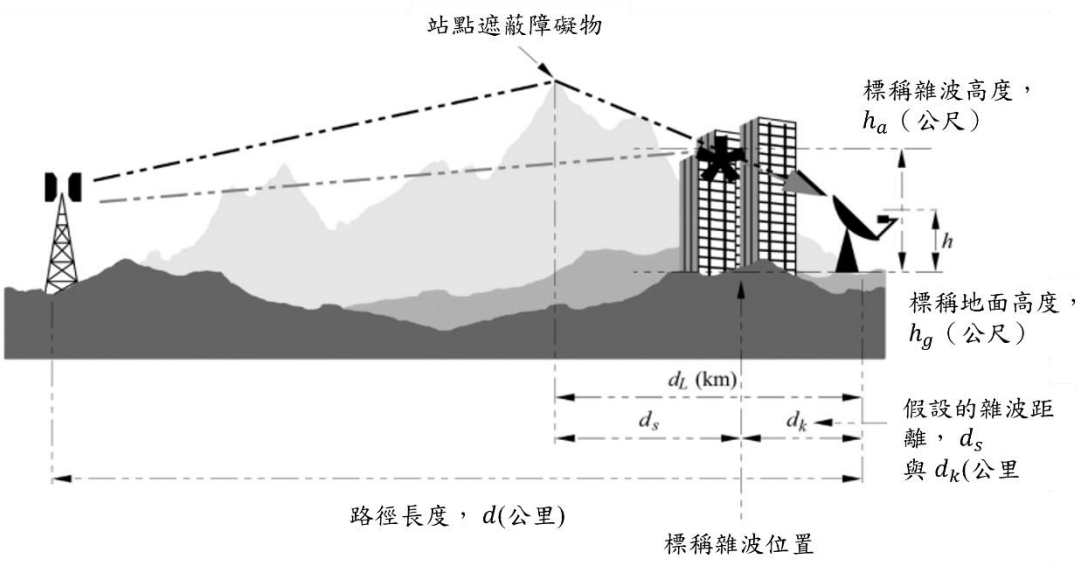


圖 4- 39、應用高度增益修正（A_{ht}或 A_{hr}）的方法

資料來源：ITU-R P.452

根據 FCC 規定，AP 距離既有站臺 1000 公尺以上，當 LoS 情況下使用自由空間傳播模型，當 NLoS 時，使用 ITM + Clutter 來計算路徑損失，ITM 會根據使用者輸入的地形、氣候、頻率、極化等參數來計算路徑損失，而 Clutter 則分為兩種，針對 Ubran/Sububran 使用同一個 ITU-R P.2108 模型，其雜波損失(L_{ctt})公式如公式(3)，透過公式可知道在 Ubran/Sububran 並不會受到地貌類型而影響到損耗，而對於 Rural 則會使用 ITU-R P.452 模型，額外損失(A_h)修正公式如公式(4)，其dk以及h_a可透過如表查表取得，該計算則會受到地貌類型而影響到損耗，其示意圖如圖 4- 39 所示。

$$L_{ctt} = -5\log(10^{-0.2L_l} + 10^{-0.2L_s}) - \sigma_{cb}Q^{-1}(p/100) \text{.....(3)}$$

L_l：低距離（low distance）區段的雜波損失

L_s：遠距離（saturation）區段的雜波損失

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

σ_{cb}：合併的標準差

$Q^{-1}(p/100)$：反常態分佈函數，用於百分位修正

$$A_h = 10.25F_{fc} \cdot e^{-dk}\left(1 - \tanh\left[6\left(\frac{h}{h_a} - 0.625\right)\right]\right) - 0.33 \text{....(4)}$$

$$F_{fc} = 0.25 + 0.375\{1 + \tanh[7.5(f - 0.5)]\} \text{.....(5)}$$

A_h：來自當地雜波遮蔽所造成的額外損失（單位：dB）

F_{fc}：頻率修正因子（無單位），參見公式 (5)

dk：雜波起點至天線的距離（單位：公里）

h：天線離地高度（單位：公尺）

h_a：根據地物類型設定的標稱雜波高度（單位：公尺）

f：頻率（單位：GHz）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 4- 17、名目遮蔽物高度與距離

遮蔽物（地面涵蓋）類別	標稱高度，h_a（公尺）	標稱距離，d_k（公里）
高莖作物田	4	0.1
公園綠地	4	0.1
稀疏且分布不規則的樹木	4	0.1
果園（規則排列）	4	0.1
稀疏房屋區	4	0.1
村落中心	5	0.07
落葉喬木（不規則分布）	15	0.05
落葉喬木（規則分布）	15	0.05
混合林（針葉與闊葉樹）	15	0.05
針葉林（不規則分布）	20	0.05
針葉林（規則分布）	20	0.05
熱帶雨林	20	0.03
郊區	9	0.025
密集郊區	12	0.02
都市區	20	0.02
密集都市區	25	0.02
高樓林立的都市區	35	0.02
工業區	20	0.05

資料來源：ITU-R P.452

(1) 都市型態有變化

如上述，當都市型態有變化時，在 LoS 情況下，因為使用自由空間模型，故都市型態變化時不會影響到系統給出的 EIRP 數值，在 NLoS 情況下，由於多了 Clutter 的原因，在 Ubran 與 Sububran 的都市型態，由公式(3)可以得知，都市型態變化只要跟 Rural 無關，基本上路近損耗是不會改變，故系統給出的 ERIP 數值也不會跟著改變，但是如果都市型態變化中有 Rural 的都市型態，透過公式(4)可知，地貌圖資給出的參數中會帶有地貌的類型，透過地貌類型查表可取得dk以及h_a，故計算後的路徑損失會產生變化，所以系統給出的 EIRP 也會隨著變化。

(2) 都市型態無變化

由上述可知，當都市型態無變化時，因型態為 Rural 時，會參

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

考地貌圖資中地貌類型，故因為類型的不同，查表取得的dk以及h_a也會不同，所以即使是人口圖資 Rural 與地貌圖資 Rural 在計算的結果上也會出現不同，由於人口圖資沒有地貌類型參數，根據 FCC 規定在人口圖資屬於 Rural 時一律使用 Village Centre(村落中心)參數。

4. 綜合分析

使用人口圖資進行 AP 最大 EIRP 計算時，結果相對保守、較具保護性，適用於對既有站臺無干擾容忍度之情境；而使用地貌圖資則因具備更精確之地貌資訊，能提供更準確的路徑損失的判定與 EIRP 輸出，有助於提升 Wi-Fi AP 的效能與頻譜使用效率。

因此建議如下：

- 若既有站臺對干擾的容忍度較高，可採用地貌圖資以提升 AFC 系統運用效能。
- 若既有站臺對干擾容忍度低，則宜採用人口圖資以確保保護機制。

此外，亦可透過設定頻段禁用區域的方式，進一步提升 AFC 系統的使用情境與效益。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第三節 輔導至少兩家 AP 設備製造商於 Mid band 頻段導入和諧有效使用機制與實測

一、 建置 WiFi AP 測試環境

(一) AFC DUT 測試環境建置

本研究基於 FCC 所採用之 Wi-Fi 聯盟 6 GHz 自動頻率協調 AFC 系統的技術規格和測試計畫來建置 AFC DUT（Device Under Test）測試環境，AFC DUT 測試主要是為確保標準功率設備的運作機制符合 FCC 法規，避免干擾同頻段既有用途使用者（如衛星地面電臺、微波鏈路和天文臺等）。

AFC DUT 測試架構主要有三個元件，裝有 AFC Test Harness 軟體的測試電腦用以模擬 AFC 系統、用以驗證比對測試數據的頻譜分析儀和待測物 AFC DUT System，並依照使用情境不同分為三種：獨立存取點（Standalone AP）、非獨立存取點（Non-Standalone AP）和固定用戶端裝置（Fixed Client Device）。非獨立存取點和固定用戶端裝置都是基於獨立存取點所延伸出來的架構，差異點在於受測物是否包含 Proxy Server 或 Fixed Client，考量本研究合作之國內 AP 製造商皆是採用 AP 直接連線 AFC 系統的形式，因此將以獨立存取點架構來建置 AFC DUT 檢測環境。

本研究使用 Wi-Fi Alliance 提供的 QuickTrack Test Harness 工具，其具備自動化測試腳本與圖形化操作介面，能協助用戶依需求執行各項測試。以下將分為兩部份，分別為 QuickTrack Test Harness 以及自動化與擴充功能。QuickTrack Test Harness 負責提供 DUT 測試環境，內建 AFC Server Simulator，無須額外架設實體 AFC Server，即可提供 DUT 請求可用頻譜。Test Harness 也能依照測試需求，改變 AFC Server Simulator 回傳的頻譜資訊，靈活控制測試資料。自動化與擴充功能則是讓 Test Harness 達到自動化測試，所

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

需要額外針對不同廠商製作的腳本，透過腳本的撰寫，能夠讓 Test Harness 對 DUT 控制行為，或是取得 RF 監控設備所量測的數值，整體架構如圖 4- 40 所示。然而，對於 Test Harness 自動化功能並非要求項目，如果沒有實做對應的腳本，仍然可以透過手動操作 DUT 的方式做測試。

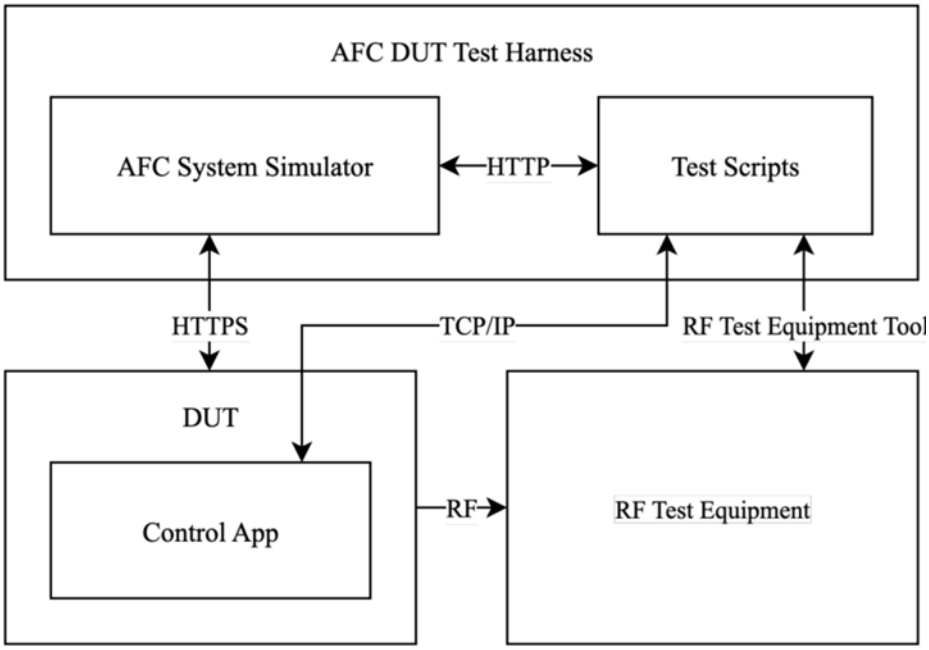


圖 4- 40、Test Harness Settings 頁面

資料來源：本研究整理

1. Test Harness 安裝說明

安裝 QuickTrack Test Harness 需要準備 Ubuntu 20.04 或是 Ubuntu 22.04 的系統環境。接著下載 Wi-Fi Alliance 所提供的軟體（https://www.wi-fi.org/file/afc-test-harness-package），解壓縮檔案後，執行以下指令，即完成安裝 Test Harness。

```
sudo apt-y install ./QuickTrackTool-<version>.deb
```

安裝完成後，系統選單會有個「WFA-QuickTrack-Tool」的應用程式，執行該應用程式即可啟動 Test Harness。啟動 Test Harness 後，系統會在本機 8080 port 啟動網頁介面，可透過瀏覽器進行圖

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

形化操作。介面主要分為兩大區塊，如圖 4- 41 和圖 4- 42：

- Settings 頁面：用戶可設定 Test Harness 的相關參數

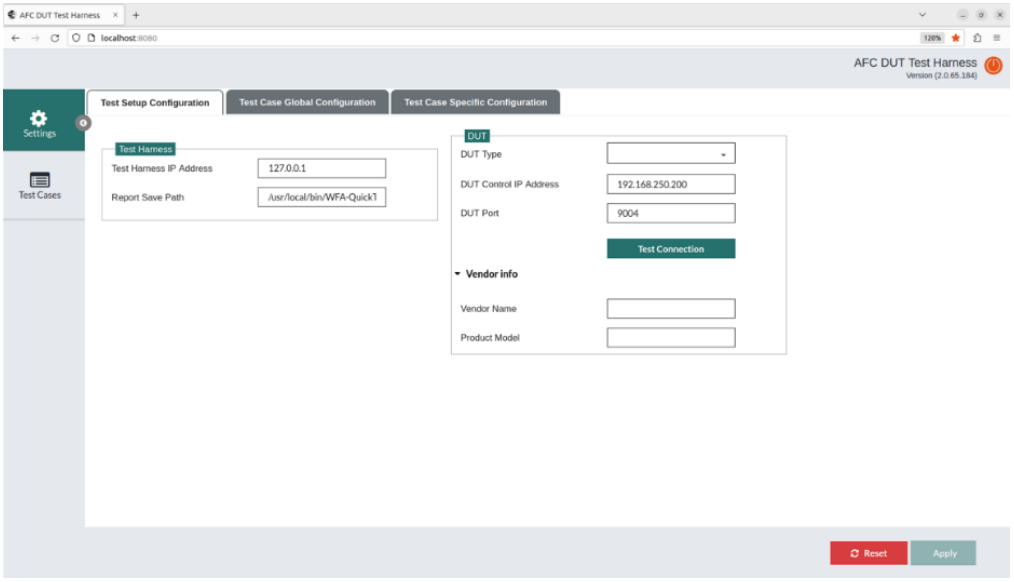


圖 4- 41、Test Harness Settings 頁面

資料來源：本研究整理

- Test Cases 頁面：可選擇欲執行的測試項目與腳本

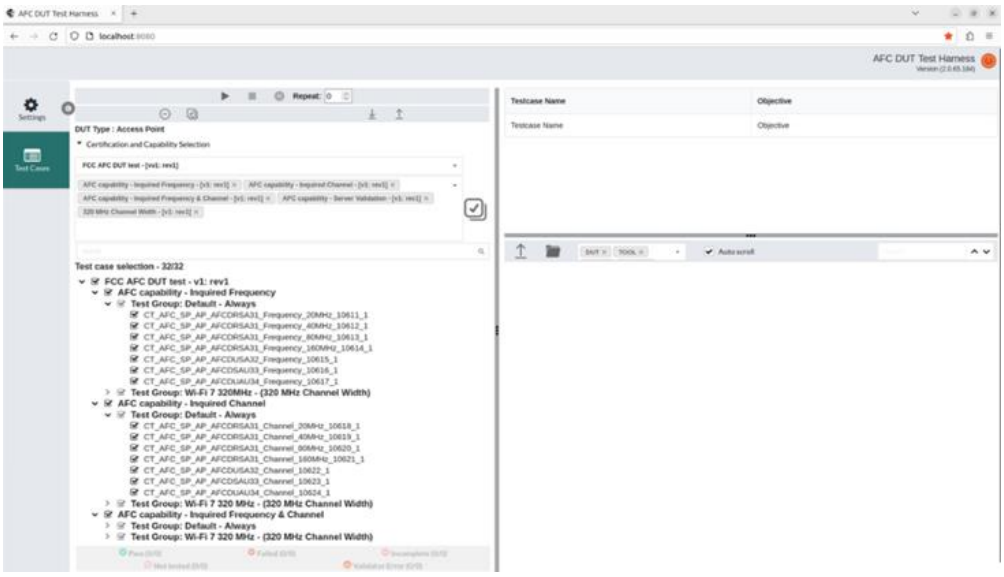


圖 4- 42、Test Harness Test Cases 頁面

資料來源：本研究整理

2. Test Harness 自動化與擴充功能

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Test Harness 雖不具備對 DUT 與 RF 測試設備的直接控制能力，但其提供可擴充模組介面，允許開發商自訂測試設備與 RF 監測設備的控制邏輯：

- RF 監測設備擴充介面

透過修改 Test Harness 中的 spectrum_analyzer_<vendor>.py 函式如表 4- 18 所示，可對不同品牌的 RF 設備實現自動化控制，Test Harness 將根據目前選用的 RF 裝置，載入並調用上述函式自動控制 RF 設備以取得監測結果。

表 4- 18、spectrum_analyzer 函式

函式	說明
spectrum_analyzer_connect	檢查 RF 設備連線
spectrum_analyze_all	在指定時間內對所有通道進行頻譜分析
spectrum_analyze	對特定通道和頻寬在指定時間內進行頻譜分析
spectrum_upload_support_data	上傳與頻譜分析相關的支援資料
generate_report	生成頻譜和頻寬的報告

資料來源：本研究整理

本研究所使用之頻譜分析儀為 Anritsu MS2720T 型號，Test Harness 必須使用 SCPI（Standard Commands for Programmable Instruments）指令才能與頻譜分析儀溝通，SCPI 是國際標準的測試儀器控制指令集，廣泛應用於示波器、頻譜分析儀和訊號產生器等。因此需先下載和安裝 Python 的 VISA（Virtual Instrument Software Architecture）套件，相關套件和版本如表 4- 19 所示。

表 4- 19、pyVISA 套件

套件名稱	版本
pyvisa	1.12
Pyvisa-py	0.5.3
typing_extensions	4.7.1

資料來源：本研究整理

套件安裝完成後就可以使用 SCPI 指令來控制頻譜分析儀，首先要寫入 Test Harness 和頻譜分析儀之間的連線程式，建立 TCP

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

連線並傳送 SCPI 指令*IDN?來確認連線是否成功，如圖 4- 43 所示。*IDN?指令說明可在 Anritsu MS2720T 使用手冊中找到。

```
def spectrum_analyzer_connect(self):
    try:
        visa_address = f"TCPIP0::{self.address}::inst0::INSTR"
        self.rm = pyvisa.ResourceManager()
        self.inst = self.rm.open_resource(visa_address)
        self.inst.timeout = 10000  # 10 second timeout

        # Verify connection by querying device identification
        idn_response = self.inst.query("*IDN?").strip()
        Logger.log(
            LogCategory.INFO,
            f"Successfully connected to Spectrum Analyzer: {idn_response}",
        )
        return True
```

圖 4- 43、頻譜分析儀連線程式

資料來源：本研究整理

再來要寫入頻譜分析儀的設定參數程式，參數有中心頻率（Center Frequency ）、間距寬度（Span Width）、解析度頻寬（Resolution Bandwidth）和影像頻寬（Video Bandwidth），最後設定觸發 SWEEP 和回傳資料，如圖 4- 44 所示。

```
def configure_and_sweep(self, center_freq, span_width):
    self.inst.write(f":SENS:FREQ:CENT {center_freq}MHz")  # Center frequency
    self.inst.write(f":SENS:FREQ:SPAN {span_width}MHz")  # Span width
    self.inst.write(":SENS:BAND:RES 1MHz")  # Resolution bandwidth
    self.inst.write(":SENS:BAND:VID 1MHz")  # Video bandwidth
    self.inst.write(":INIT")  # Trigger sweep
    return self.inst.query(":TRAC:DATA?")  # Get trace data
```

圖 4- 44、頻譜分析儀連線程式

資料來源：本研究整理

- DUT 控制代理（Control App）

為了使 Test Harness 可以控制 DUT 達到自動化測試的目的，Wi-Fi Alliance 提供 QuickTrack Control App，可安裝至 AFC DUT 中以實現遠端控制。但因各家 AP 廠商使用不同的操作方法，會需要修改 QuickTrack Control App 中的 indigo_api_callback_afc.c 檔案以符合各家的 AP 操作，具體會需要添加 3 個 handler 函式如

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 4- 20 所示，經由這些函式來讓 Test Harness 可遠端自動控制 DUT 的操作與狀態查詢，完成全自動測試流程。

表 4- 20、handler 函式

函式	說明
afcd_configure_handler	設定 AFC DUT 的參數
afcd_operation_handler	執行 AFC DUT 的操作
afcd_get_info_handler	取得 AFC DUT 的資訊

資料來源：本研究整理

Wi-Fi 聯盟 AFC DUT 自動測試架構中，AP 需要安裝 Control App 才能進行測試，但不同的 AP 廠牌和型號所使用的系統都有所不同，導致 Control App 需不斷的軟體修改、編譯和安裝，大幅增加整合的成本和難度。因此如圖 4- 45 所示，本研究將 Control App 移至 Test Harness 並引入 AP 指令映射表，再透過 SSH 協定控制 AP。測試時只要修改 AP 指令映射表即可，無須再對 Control App 軟體修改、編譯和安裝，大幅降低使用自動測試功能的門檻。

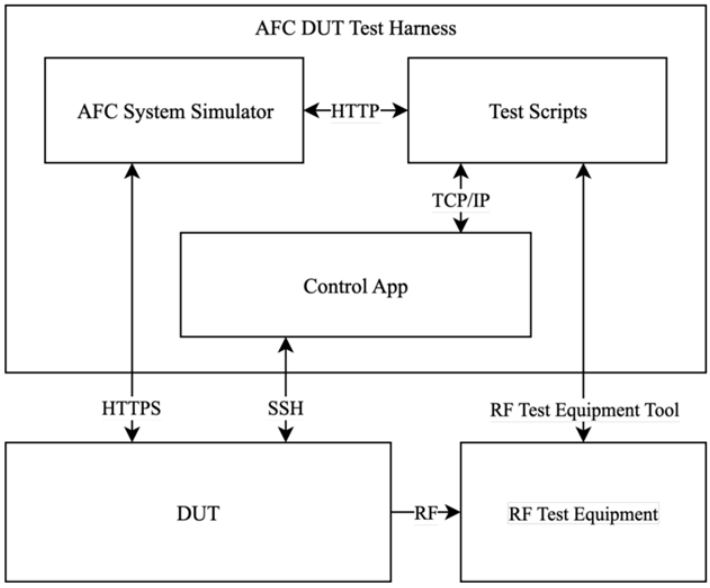


圖 4- 45、頻譜分析儀連線程式

資料來源：本研究整理

3. 實際測試環境展示

實際測試環境如圖 4- 46 所示，Test Harness、頻譜分析儀和

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Wi-Fi AP 接進交換機，由交換機分配同網段的 IP 位址，讓這些處於同網段的設備能互相通信。

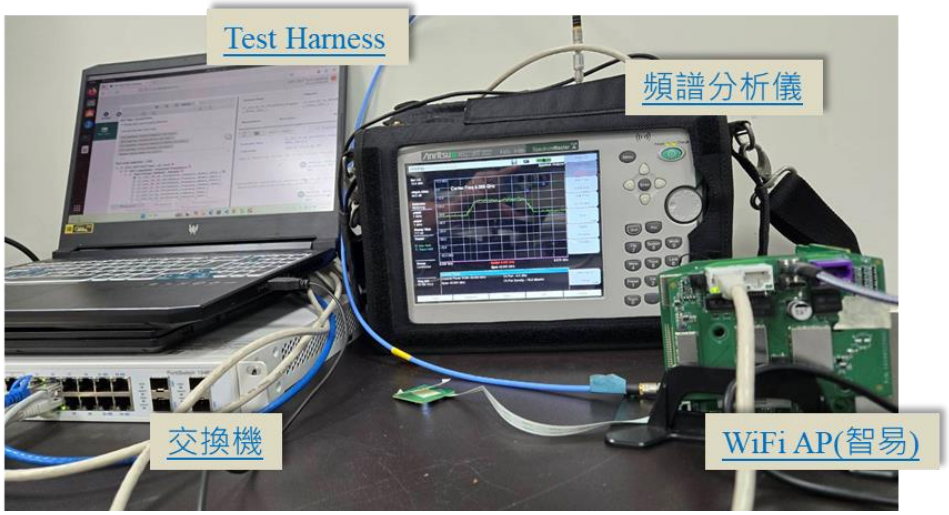


圖 4- 46、AFC DUT 測試環境

資料來源：本研究整理

接下來啟動 Test Harness 的成功註冊和頻譜存取請求（AFCD.RSA）測試項目，測試頁面會有測試案例名稱、量測程序和日誌資訊，量測程序可確認每條測試步驟的結果；日誌資訊可確認 Wi-Fi AP 和頻譜分析儀的回應資訊，如圖 4- 47 所示。

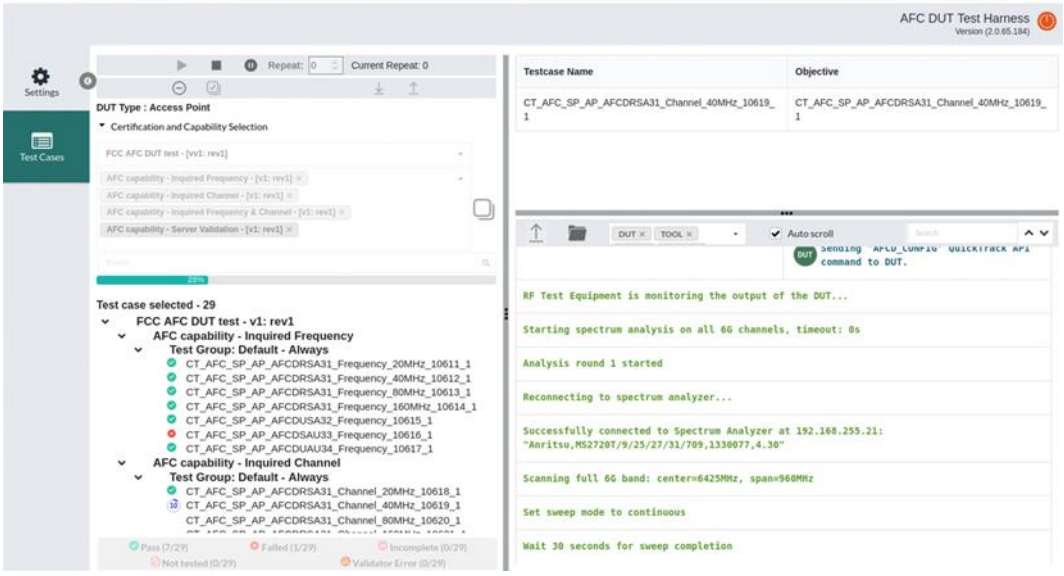


圖 4- 47、Test Harness 測試執行畫面

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Test Harness 控制命令會設定頻譜分析儀要呈現的畫面，包含中心頻率、頻寬和發射功率等資訊，如圖 4- 48。

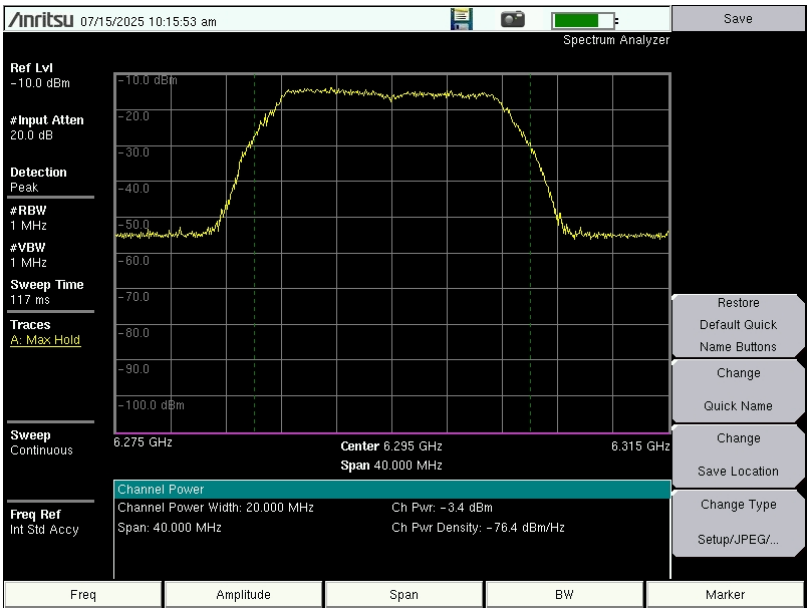


圖 4- 48、頻譜分析儀的畫面

資料來源：本研究整理

最後對本計畫使用之 Wi-Fi 7 開發板進行 Test Harness 測試並產出測試報告如圖 4- 49 所示，測試結果為通過。完成 AFC DUT 測試環境建置。

Test Result

FCC Requirements	TestCaseName	Test Result
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_Frequency_20MHz_10611_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS

Test Measurements

TestCaseName: CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_Frequency_20MHz_10611_1 (Successful registration and spectrum access request)
TestResult:PASS
Band:6GHz

Measurements Name	Description	Value	Validation Result
AFC_DUT_SP_OPERATION	AFC DUT transmit with standard power in the band before the Spectrum Inquiry Response	false	PASS
AFC_DUT_SEND_SPECTRUM_INQUIRYREQUEST_1	AFC DUT sends an Available Spectrum Inquiry Request	true	PASS
AFC_DUT_SPECTRUM_INQUIRYREQUEST_VALID_1	Valid mandatory registration information	true	PASS
AFC_DUT_CONFORM_SPECTRUM_INQUIRYRESPONSE_1	AFC DUT transmit power in the band is less than CEILING[LPI limits (5 dBm/MHz PSD) , SP limits (12.6 dBm/MHz PSD) in Spectrum Reponse] on channel 5 bandwidth 20. - Measurement Report: ./CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_Frequency_20MHz_10611_1/rfMeasurementReport_step_6.json	true	PASS
AFC_DUT_CONFORM_ADJACENT_FREQUENCIES_EMISSIONS_LIMITS_1	AFC DUT conforms to not exceed emissions limits in adjacent frequencies	true	PASS
AFC_DUT_SEND_SPECTRUM_INQUIRYREQUEST_2	AFC DUT sends an Available Spectrum Inquiry Request	true	PASS
AFC_DUT_SPECTRUM_INQUIRYREQUEST_VALID_2	Valid mandatory registration information	true	PASS
AFC_DUT_CONFORM_SPECTRUM_INQUIRYRESPONSE_2	AFC DUT transmit power in the band is less than CEILING[LPI limits (5 dBm/MHz PSD) , SP limits (15.8 dBm/MHz PSD) in Spectrum Reponse] on channel 69 bandwidth 20. - Measurement Report: ./CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_Frequency_20MHz_10611_1/rfMeasurementReport_step_11.json	true	PASS
AFC_DUT_CONFORM_ADJACENT_FREQUENCIES_EMISSIONS_LIMITS_2	AFC DUT conforms to not exceed emissions limits in adjacent frequencies	true	PASS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 4- 49、Test Harness 測試執行畫面

資料來源：本研究整理

(二) 地理定位合理性測試（Geolocation Justification Test）

根據 FCC 法規 PART 15.407 如表 4- 21 所示，此四項無法通過測試工具來進行測試，其中 15.407（k）（8）（iv）可以直接連接系統取系統紀錄檔來進行測試，其他三個項目皆為地理位置合理性的規範，目前 FCC 採用的方式為廠商提供具狀聲明書來認可此功能，具狀聲明書內容根據 KDB 987594 D01 U-NII 6GHz General Requirements v02，6SD 和 6FC 設備需要提供以下文件：

- Geolocation General Description （地理定位一般描述）
- Geolocation Justification Report （地理定位合理性報告）
- Geolocation Accuracy After a Power Cycle （開機後地理定位準確性）

表 4- 21、無法通過測試工具 Test Harness 執行項目

47 CFR 條文	要求說明
15.407(k)(8)(iv)	定時測試：裝置需每日與 AFC 系統聯繫，並遵守寬限期規定（由製造商具狀聲明符合）。
15.407(k)(9)(i)	自動取得地理位置資訊，該功能須於地理位置系統的一般描述與技術佐證報告中說明並由系統識別。
15.407(k)(9)(iii)	與外部地理定位來源之連線必須具備安全機制（由製造商具狀聲明符合）。
15.407(k)(9)(iv)	地理位置精度與不確定性的判定方式，需於地理位置系統的一般描述與技術佐證報告中說明並由系統識別。

資料來源：FCC-OET- KDB 987594 D01 U-NII 6GHz General Requirements v02

通常可以委託外部實驗室進行量測，或是廠商於自己的實驗室進行量測並且產出地理位置合理性報告，報告內容通常包含如下表 4- 22 之內容。

表 4- 22、地理位置合理性報告包含之內容

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

項目	說明
設備識別資訊	裝置型號、申請人資訊、PIA 查詢編號（若有）等
定位技術方法	使用 GPS、Wi-Fi triangulation、Cell ID、BLE beacon 或其他混合式定位方案
定位精度測試資料	實驗室或實地測試結果，證明定位誤差小於規定值（通常需達 95% 信心水準）
不確定度模型	如何計算誤差範圍，是否有動態更新機制
電源重啟後行為	說明是否會保留定位資訊、或重新獲取、精度是否下降
API 描述	若使用第三方方案，需說明如何呼叫該系統的 API 並取得定位資訊
資料保護與安全性說明	如何保護定位資料的隱私性與安全性（如加密、傳輸協議等）

資料來源：本研究提供

目前在美國並未有 FCC 認可之地理位置合理性測試的實驗室，故本項工作著重於衛星定位地理合理性的測試，其測試流程與架構圖如圖 4- 50 所示。

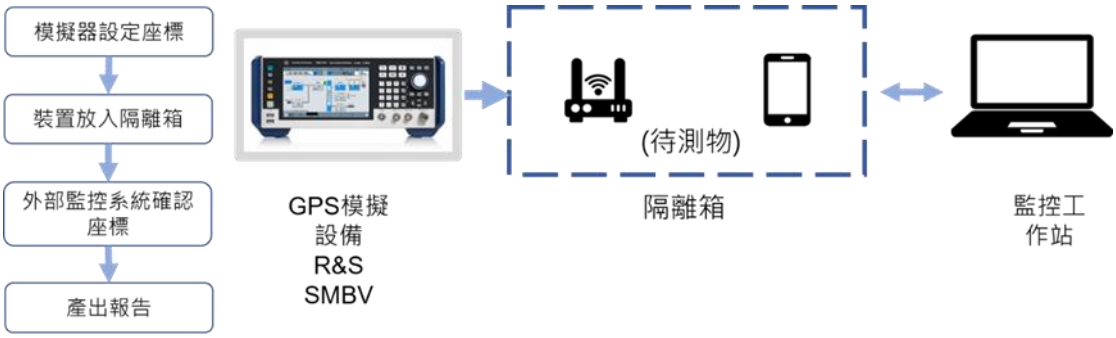


圖 4- 50、GPS 測試流程與架構圖

資料來源：本研究提供

Standard Power WiFi AP 設備地理定位方法目前廠商有兩種實施的方式，第一種方式為 AP 本身具有 GPS 定位模組，測試物則為 AP 本身，另一種方式為透過手機 APP 來對設備進行地理位置定位，測試物則為手機本體，本測試使用手機來進行，其實際量測所使用的隔離箱與設備如圖 4- 51 所示，透過手機 APP 蒐集地理位置以及高度資訊，來取得地理位置樣本，其樣本數（n）為 14524 筆，水平平均誤差($\tilde{x}$)為 134.4083203 公分，水平標準差（s）為 150.4874084 公分，其信賴區間（Confidence Interval, CI）為$CI = \tilde{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$，其中 α 為顯著水準 95%區間為 0.05，取信心水準 95%則查表 t（0.025,14523）=1.96（α/2 常態分佈兩邊各別去掉 0.025，df（自由度） = n- 1），經計算後得出 95%信心水準誤差區間為

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

131.96-136.86 公分，水平誤差精度約為 1.32-1.37 公尺，在垂直部分，垂直平均誤差為-3.126873423 公分，垂直標準差為 3.600594100 公分，取信心水準 95%則其信賴區間為-3.19--3.07 公分，垂直誤差精度約為 0.0319-0.0307 公尺，參考全球定位系統標準定位用途效能標準（Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, SPS）之精度標準如表 4- 23 所示，所量測之水平誤差以及垂直誤差是非常精準。



圖 4- 51、測試設備圖

資料來源：本研究提供

表 4- 23、SPS 位置/速度/時間精度標準

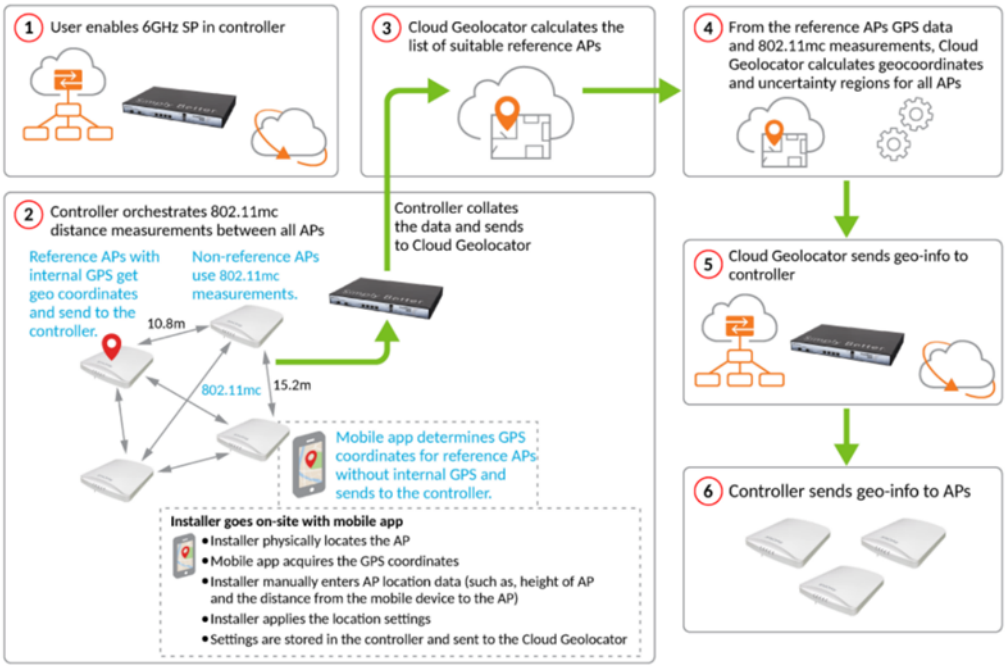
位置/時間精度標準	條件與限制
全球平均位置精度 水平誤差 ≤8 公尺，95% 可信度 垂直誤差 ≤13 公尺，95% 可信度	定義於滿足代表性使用者條件的定位/時間解決方案 定位/時間解決方案可用
最差場站位置精度 水平誤差 ≤15 公尺，95% 可信度 垂直誤差 ≤33 公尺，95% 可信度	定義於滿足代表性使用者條件的定位/時間解決方案 定位/時間解決方案可用
全球平均速度精度 速度誤差 ≤0.2 公尺/秒，95% 可信度，任意軸	定義於滿足代表性使用者條件的定位/速度/時間解決方案 定位/速度/時間解決方案可用
時間傳輸精度 時間傳輸誤差 ≤30 奈秒，95% 可信度（僅限 SIS）	定義於滿足代表性使用者條件的時間傳輸解決方案 時間傳輸解決方案可用

資料來源：（Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、 AP 設備製造廠商導入規劃

盤點國內廠目前有在開發 AFC 設備的有華碩、正文、訊舟與智易等，目前華碩與正文已通過 FCC 認證，但是只有華碩有產品上市，而訊舟與智易仍在開發中階段，本節的目的在於提供業者於開發 AFC 設備，可以透過本研究開發之 AFC 系統來進行我國與美國地區的線下測試，提供業者方便在我國本地進行符合美國 FCC 標準 AFC DUT 測試，透過與本地端 AFC Server 來進行設備與伺服器互通性測試，目前 FCC 標準所規範的 AFC 測試工具 Test Harness 無法對地理定位合理性所包含之項目進行測試，故本中心也規劃了地理定位合理性測試環境，目前國內外 AFC 設備廠商在地理位置定位方法有兩種，一種是設備本身具備 GPS 定位模組，另一種則是透過外部裝置來定義，目前普遍都是用手機來進行，例如，美國廠商 Ruckus 之 AFC 設備，對於設備本身不具備 GPS 模組時，其地理位置設置工作流程如圖 4-52 所示，使用手機來對參考點進行地理位置設定，並透過控制器與 802.11mc 的方式，來對其他設備進行地理位置定義，本研究透過自開發之 AFC 系統來提供介接測試，透過 GPS 量測環境來確認其地理位置合理性，提供廠商在於設備開發與測試上提供便利性。



All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 4- 52 、Ruckus 地理位置定位流程

資料來源：Ruckus

廠商 AP 導入規劃流程如圖 4- 53 所示，首先需了解 AP 廠商在 AFC 功能開發情況，例如 AP 和 AFC 系統連線方式、給予 AP 經緯度座標的方式、AP 設定 AFC 參數的方式和是否執行過 AFC 相關測試工具。接下來會依據廠商 AP 的實際狀況來評估測試項目的可行性，為此可能會需要廠商修改 AP 的韌體和提供工程模式工具來達成測試目的，總共測項有 AFC 系統連線測試、AFC DUT 檢測、RF 項目測試和 GPS 模擬測試四項。

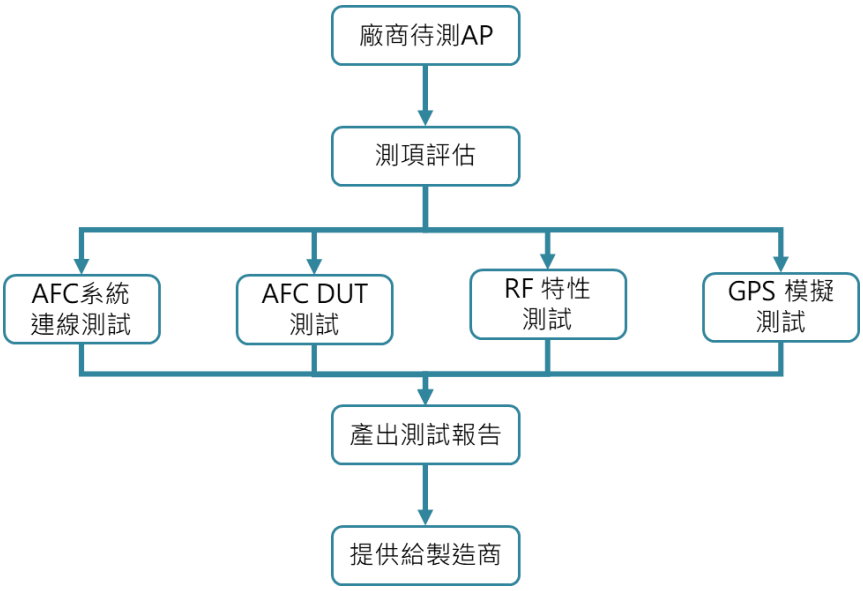


圖 4- 53、廠商 AP 導入規劃流程

資料來源：本研究整理

三、 兩家 AP 設備製造商 AFC 介接與實測

為了瞭解國內是否有能力能夠進行 AFC 的系統測試與驗證，便於國內相關產品進行開發測試與驗證，本研究盤點美國 FCC 法規測試項目，並針對每一種測試項目進行實體測試，因此尋找了兩家已有實際 AFC 產品的國內業者(ASUS)以及國外業者(Ruckus)來進行測試，用以確認國內測試及驗證可行性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一) 國內廠商華碩 WiFi AP 導入測試



項目	ASUS GT-BE19000
產品定位	家用/高階遊戲級 Wi-Fi 7 路由器
無線標準	Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be)，向下相容 Wi-Fi 6E/6/5/4
頻段配置	三頻（2.4 GHz + 5 GHz + 6 GHz）
無線傳輸速率	2.4 GHz：1376 Mbps 5 GHz：5764 Mbps 6 GHz：11,529 Mbps
最大無線傳輸速率(總)	約 19Gbps
MLO（多連結操作）	支援 5 GHz + 6 GHz 串連傳輸
AFC 支援	支援（6 GHz 標準功率模式，合法啟用需配合 AFC 系統）
天線配置	8 根高增益外部天線（3 頻段 4x4 MU-MIMO）

圖 4- 54、ASUS GT-BE98 PRO 規格

資料來源：本研究整理

國內廠商 WiFi AP 導入測試選用 BE98 PRO Tri-band WiFi Router 來進行實測，其實體與規格如圖 4- 54，測試流程如圖 4- 53 所示，測試項目包含 AFC 系統介接測試、GPS 模擬測試、AFC DUT 測試以及 RF 特性測試，其測試結果如下。

1. AFC 系統介接測試

此測試比對 TTC AFC Server LOG 和 AP 設備的狀態來判斷測試是否通過，圖 4- 55 為 AP 發送的頻譜請求命令，ID 欄位為 MSQ-RTBE6M00，經查詢 FCC ID 網站[336]後確認其型號為 ASUS GT-BE98 Pro。圖 4- 56 為 AP 管理頁面，可看到設備通過 AFC 狀態並且處於標準功率模式，判定測試通過。

[336] FCC,華碩 GT-BE98 PRO,https://fcc.report/FCC-ID/MSQ-RTBE6M00,（最後瀏覽日：2025/10/1）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

```
{"availableSpectrumInquiryRequests": [{"deviceDescriptor": {
"certificationId": [{"id": "MSQ-RTBE6M00", "rulesetId": "TW_RULESET"
}], "serialNumber": "R9IG6M2000106BZ"}, "inquiredChannels": [{
"channelCfi": [1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29, 33, 37, 41, 45, 49, 53, 57
, 61, 65, 69, 73, 77, 81, 85, 89, 93, 97, 101, 105, 109, 113, 117, 121
, 125, 129, 133, 137, 141, 145, 149, 153, 157, 161, 165, 169, 173, 177
, 181, 185, 189, 193, 197, 201, 205, 209, 213, 217, 221, 225, 229, 233
], "globalOperatingClass": 131}, {"channelCfi": [3, 11, 19, 27, 35, 43
, 51, 59, 67, 75, 83, 91, 99, 107, 115, 123, 131, 139, 147, 155, 163,
171, 179, 187, 195, 203, 211, 219, 227], "globalOperatingClass": 132},
 {"channelCfi": [7, 23, 39, 55, 71, 87, 103, 119, 135, 151, 167, 183,
199, 215], "globalOperatingClass": 133}, {"channelCfi": [15, 47, 79,
111, 143, 175, 207], "globalOperatingClass": 134}, {"channelCfi": [31,
 63, 95, 127, 159, 191], "globalOperatingClass": 137}],
"inquiredFrequencyRange": [{"highFrequency": 6425, "lowFrequency":
5925}, {"highFrequency": 6875, "lowFrequency": 6525}], "location": {
"elevation": {"height": 34, "heightType": "AMSL",
"verticalUncertainty": 40}, "ellipse": {"center": {"latitude":
25.033976, "longitude": 121.561964}, "majorAxis": 27, "minorAxis": 27,
 "orientation": 0}, "indoorDeployment": 2}, "minDesiredPower": 24,
"requestId": "1704067302"}], "version": "1.4"}
```


圖 4- 55、GT-BE98 Pro 頻譜請求命令

資料來源：本研究整理



圖 4- 56、GT-BE98 Pro 管理頁面

資料來源：本研究整理

2. GPS 模擬測試

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

ASUS AP 地理位置是透過手機 APP 來進行設定，GPS 測試請參考在第三節第一項 GPS 測試部分，在手機 APP 開啟 AFC 功能同時，AP 會去抓取手機地理位置資訊，用來識別裝置位置，其 APP 如下圖 4- 57 所示。

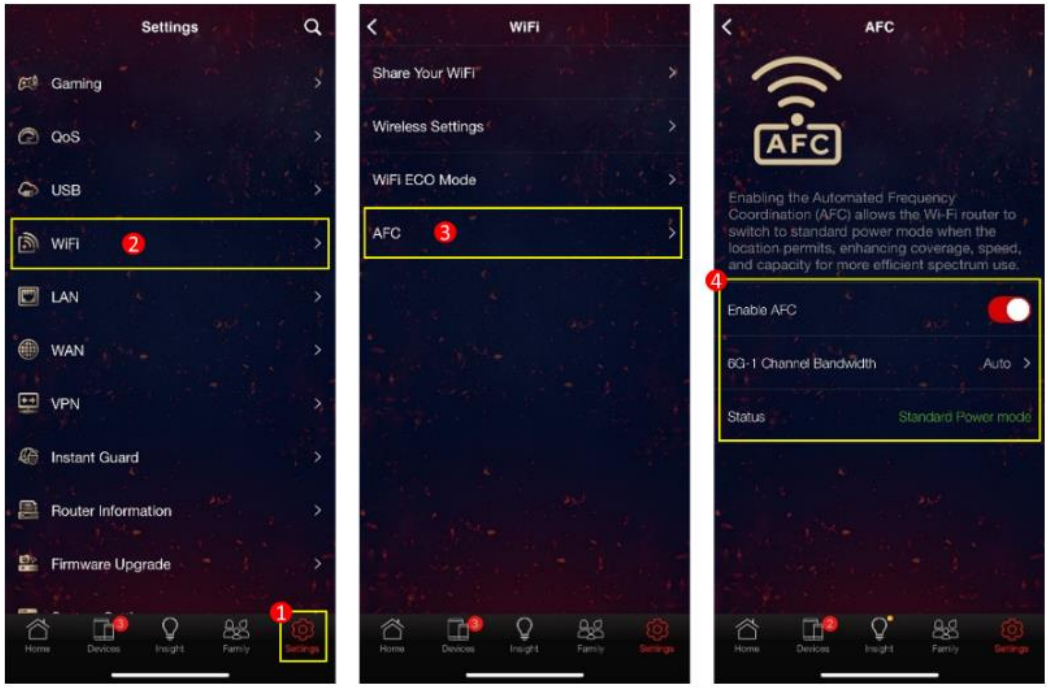


圖 4- 57、ASUS APP 啟用 AFC 功能圖

資料來源：ASUS 官方網站

3. AFC DUT 測試

依據 Wi-Fi 聯盟 AFC DUT 測試計畫項目進行測試，測試結果如表 4- 24、表 4- 25、表 4- 26、表 4- 27 和表 4- 28 所述，詳細測試報告內容請參閱附件 AFC DUT 測試報告–華碩。

- AFCD.RSA：註冊與頻譜存取請求成功

表 4- 24、註冊與頻譜存取請求成功測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(1),	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChann	PASS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	el_160MHz_10628_1 (Successful registration and spectrum access request)	
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_80MHz_10627_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_40MHz_10626_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_20MHz_10625_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.USA：註冊與頻譜存取請求失敗

表 4- 25、註冊與頻譜存取請求失敗測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii)	CT_AFC_SP_AP_AFCDUSA32_FrequencyChannel_10629_1 (Unsuccessful registration and spectrum access request)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.SAU：頻譜存取更新成功

表 4- 26、頻譜存取更新成功測試結果

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(9)(i)	CT_AFC_SP_AP_AFCDSAU33_FrequencyChannel_10630_1 (Successful spectrum access update)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.UAU：頻譜存取更新失敗

表 4- 27、頻譜存取更新失敗測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(9)(i)	CT_AFC_SP_AP_AFCDUAU34_FrequencyChannel_10631_1 (Unsuccessful spectrum access update)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.USV：伺服器驗證失敗

表 4- 28、伺服器驗證失敗測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_NoRootCA_10639_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_TLSCipherSuiteENULL_10638_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_MatchSuffixSAN_10634_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_DifferentRootCA_10633_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_NonMatchSAN_10632_1 (Unsuccessful server validation)	PASS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

資料來源：本研究整理

4. RF 特性測試

ASUS GT-BE19000 Tri-band WiFi Router 委由本中心 RF 測試實驗室檢測，所有項目均符合規定，如圖 4- 58 所示，其完整內容測試報告於附件 R04_ASUS_WIFI 7 VLP 試作檔案呈現。

報告編號	250XXXX-XXX-W-1-1
申請廠商	華碩聯合科技股份有限公司
申請廠商地址	臺北市士林區文林路 342 號 3 樓
製造廠商	華碩聯合科技股份有限公司
產品名稱	BE19000 Tri-band WiFi Router
廠牌	ASUS
產品型號/規格	RT-BE96U
收件日期	2025/05/15
發行日期	2025/05/20
測試標準	FCC 47 CFR PART15
測試結果	合格

項次	量測項目	規範	測試結果	結果判定
1.	電源線傳導干擾	FCC 15.107 (a)	請參閱4.4節	合格
2.	輸出峰值功率	FCC 15.407 (a)(4)	請參閱5.4節	合格
3.	頻帶邊緣限制	FCC 15.407 (b)(7)	請參閱6.4節	合格
5.	天線形式之要求	FCC 15.203	請參閱7.2節	合格
6.	功率密度	FCC 15.407 (a)(4)	請參閱8.4節	合格
7.	傳導不必要之發射	FCC 15.407 (b)(6)	請參閱9.4節	合格
8.	場強輻射及不必要發射	FCC 15.209 (a)	請參閱10.4節	合格

備註:
1. 本測試結果依據FCC Part 15進行測試，並在不考量量測不確定度之影響下判定。

圖 4- 58、ASUS GT-BE19000 Tri-band WiFi Router RF 測試結果

資料來源：本研究整理

(二) 國外廠商 Ruckus WiFi AP 導入測試

Ruckus		
	項目	Ruckus T670
	產品定位	戶外型 Wi-Fi 7 高密度企業級 AP
	無線標準	Wi-Fi 7 (802.11be)，向下相容 a/b/g/n/ac/ax
	頻段配置	三頻（2.4 GHz + 5 GHz + 6 GHz）
	無線傳輸速率	2.4 GHz：689 Mbps 5 GHz：5,765 Mbps 6 GHz：5,765 Mbps
	最大無線傳輸速率(總)	約 9.34 Gbps
	MLO（多連結操作）	支援 5 GHz + 6 GHz 串連傳輸
	AFC 支援	支援（6 GHz 標準功率模式，合法啟用需配合 AFC 系統）
	天線配置	2x2:2 各頻段（Tri-Radio) BeamFlex+ 智能天線系統 天線增益 ≤4 dBi；4000+ 天線模式

圖 4- 59、Ruckus T670 規格

資料來源：本研究整理

國外廠商 WiFi AP 導入測試選用 Ruckus T670 來進行實測，其實體與規格如圖 4- 59，測試流程如圖 4- 53 所示，測試項目包含 AFC 系統介接測試、GPS 模擬測試、AFC DUT 測試以及 RF 特性測試，其測試結果如下，

1. AFC 系統介接測試

此測試比對 TTC AFC Server LOG 和 AP 設備的狀態來判斷

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

測試是否通過，圖 4- 60 為 AP 發送的頻譜請求命令，ID 欄位為 S9GT670，經查詢 FCC ID 網站[337]後確認其型號為 T670。圖 4- 61 為 Ruckus 雲端管理頁面，可看到設備通過 AFC 狀態並且處於標準功率模式，判定測試通過。


```
{"version": "1.4", "availableSpectrumInquiryRequests": [{"requestId":
"00:33:58:34:07:90-2025-08-28T07:47:10Z-2", "deviceDescriptor": {
"serialNumber": "292443000168", "certificationId": [{"rulesetId":
"US_47_CFR_PART_15_SUBPART_E", "id": "S9GT670"}]}, "inquiredChannels":
 [{"globalOperatingClass": 131}, {"globalOperatingClass": 132}, {
"globalOperatingClass": 133}, {"globalOperatingClass": 134}, {
"globalOperatingClass": 137}], "location": {"elevation": {
"verticalUncertainty": 3.5, "heightType": "AGL", "height": 3.5},
"indoorDeployment": 2, "ellipse": {"orientation": 0, "majorAxis": 50,
"center": {"latitude": 22.831111907958984, "longitude":
120.26301574707031}, "minorAxis": 50}}}]}
```


圖 4- 60、T670 頻譜請求命令

資料來源：本研究整理

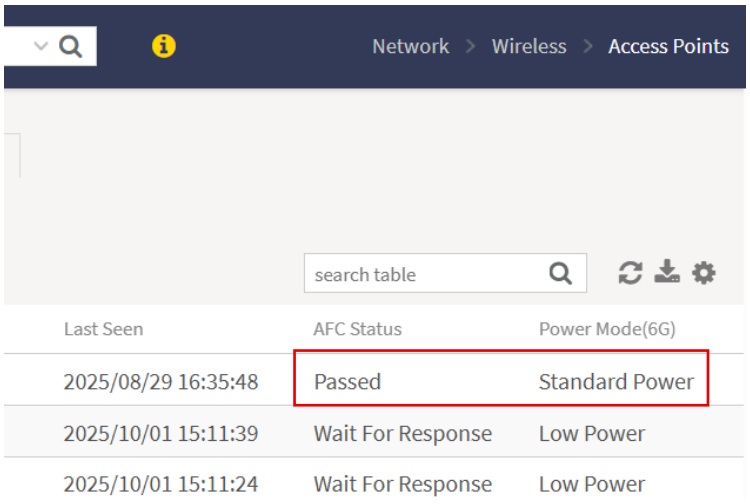


圖 4- 61、雲端管理頁面

資料來源：本研究整理

2. GPS 模擬測試

337 FCC,Ruckus T670 ， https://fcc.report/FCC-ID/S9GT670,（最後瀏覽日：2025/10/1）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Ruckus 地理位置是可以透過手機 APP 來進行設定或者是設備本身自帶 GPS 模組，GPS 測試請參考在第三節第一項 GPS 測試部分，其手機設定示意圖如圖 4- 52，其設定畫面如下圖 4- 62 所示。

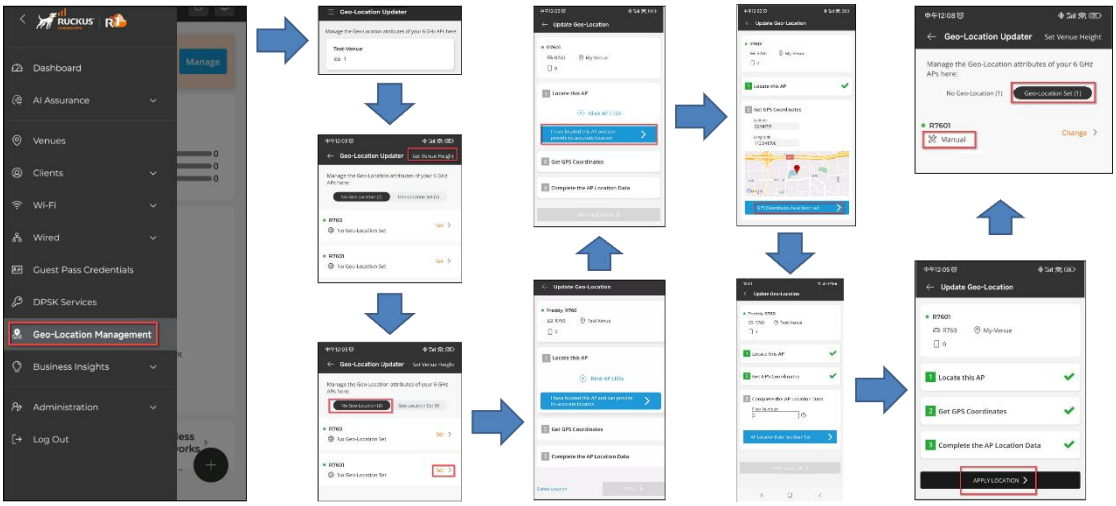


圖 4- 62、Ruckus APP 地理位置設定圖

資料來源：Ruckus 官方網站

3. AFC DUT 測試

因為 Ruckus 當初是以舊版 AFC DUT 測試計畫搭建測試環境，所以系統參數和封包格式跟本計畫採用的測試軟體 QuickTrack Test Harness 有所不同，因而出現相容性的問題，Ruckus 認為這個問題需要修改 AP 和雲端伺服器軟體設定，而且還需反覆進行測試和調校，可能要花費數個月的時間，所需人力和時間成本過大，因此本計畫改用其他廠商 AP 進行 AFC DUT 測試。

4. RF 特性測試

Ruckus T670 委由本中心 RF 測試實驗室檢測，所有項目均符合規定，如圖 4- 63 所示。其完整內容測試報告於附件 R04_Ruckus_WIFI 7 試作檔案呈現。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

報告編號	250XXXX-XXX-W-1-1
申請廠商	Ruckus Wireless LLC
申請廠商地址	350 W. Java Dr., Sunnyvale CA 94089 USA
製造廠商	Ruckus Wireless LLC
產品名稱	T670 Access Point
廠牌	RUCKUS
產品型號/規格	T670
收件日期	2025/05/15
發行日期	2025/09/02
測試標準	FCC 47 CFR PART15
測試結果	合格

項次	量測項目	規範	測試結果	結果判定
1.	電源線傳導干擾	FCC 15.107 (a)	請參閱4.4節	合格
2.	輸出峰值功率	FCC 15.407 (a)(4)	請參閱5.4節	合格
3.	頻帶邊緣限制	FCC 15.407 (b)(7)	請參閱6.4節	合格
5.	天線形式之要求	FCC 15.203	請參閱7.2節	合格
6.	功率密度	FCC 15.407 (a)(4)	請參閱8.4節	合格
7.	傳導不必要之發射	FCC 15.407 (b)(6)	請參閱9.4節	合格
8.	場強輻射及不必要發射	FCC 15.209 (a)	請參閱10.4節	合格

備註:
1. 本測試結果依據FCC Part 15進行測試，並在不考量量測不確定度之影響下判定。

圖 4- 63、Ruckus T670 RF 測試結果

資料來源：本研究整理

(三) 國內廠商智易 Wi-Fi AP 開發板導入測試

1. AFC 系統介接測試

直接從 AP 設備的發送請求命令來判斷測試是否通過，圖 4-64 為 AP 發送的頻譜請求命令後的資訊，紅框處為收到 AFC Server 的成功回應，判定測試通過。

```
root@OpenWrt:~# afc_cli -c req
CLI: AFC-CLI >> (1760349644) afc_cli_parse_opt(167): c:'c', optarg:req
CLI: AFC-CLI >> (1760349644) afc_cli_prepare_request_data(233): cmd SEND_REQ
CLI: AFC-CLI >> (1760349652) afc_cli_send(106): Description of Response from AFC Daemon: 0, Success
root@OpenWrt:~# cat /tmp/afc_request.json
{ "version": "1.4", "availableSpectrumInquiryRequests": [ { "requestId": "1722331203", "deviceDescriptor"
rtificationId" } ] }, "location": { "ellipse": { "center": { "longitude": 120.4561934, "latitude": 22.471
ightType": "AGL", "verticalUncertainty": 2 }, "indoorDeployment": 2 }, "inquiredFrequencyRange": [ { "low
ency": 6525, "highFrequency": 6875 } ], "inquiredChannels": [ { "globalOperatingClass": 131, "channelCfi"
1, 105, 109, 113, 117, 121, 125, 129, 133, 137, 141, 145, 149, 153, 157, 161, 165, 169, 173, 177, 181, 18
nelCfi": [ 3, 11, 19, 27, 35, 43, 51, 59, 67, 75, 83, 91, 99, 107, 115, 123, 131, 139, 147, 155, 163, 171
71, 87, 103, 119, 135, 151, 167, 183, 199, 215 ] }, { "globalOperatingClass": 134, "channelCfi": [ 15, 47
root@OpenWrt:~# cat /tmp/afc_response.json
{"version":"1.4","availableSpectrumInquiryResponses":[{"availableChannelInfo":[{"channelCfi":[37,41,89,93
rp":[36,31.9,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36,36]},{"channelCfi":[123,131,139,147,15
67],"globalOperatingClass":133,"maxEirp":[36,36,36]},{"channelCfi":[143],"globalOperatingClass":134,"maxE
e":{"responseCode":0,"shortDescription":"Success"},"availableFrequencyInfo":[{"frequencyRange":{"highFreq
5930},"maxPsd":-40},{"frequencyRange":{"highFrequency":6048,"lowFrequency":6020},"maxPsd":8.4},{"frequenc
9,"lowFrequency":6078},"maxPsd":6.2},{"frequencyRange":{"highFrequency":6183,"lowFrequency":6109},"maxPsd
{"highFrequency":6241,"lowFrequency":6232},"maxPsd":-18.8},{"frequencyRange":{"highFrequency":6242,"lowFr
8},{"frequencyRange":{"highFrequency":6272,"lowFrequency":6271},"maxPsd":22.9},{"frequencyRange":{"highFr
y":6300},"maxPsd":-18.7},{"frequencyRange":{"highFrequency":6330,"lowFrequency":6301},"maxPsd":-40},{"fre
y":6360,"lowFrequency":6331},"maxPsd":-40},{"frequencyRange":{"highFrequency":6425,"lowFrequency":6360},"
"1722331203","availabilityExpireTime":"2025-10-14T02:00:06Z"}]}root@OpenWrt:~# wl -i wl1 afc_info
```

圖 4- 64、智易開發板頻譜請求命令

資料來源：本研究整理

2. GPS 模擬測試

智易 Wi-Fi AP 開發板仍在開發階段，目前地理位置定位方式由人工手寫入韌體進行定義。

3. AFC DUT 測試

依據 Wi-Fi 聯盟 AFC DUT 測試計畫項目進行測試，測試結

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

果如表 4- 29、表 4- 30、表 4- 31、表 4- 32 和表 4- 33 所述，詳細測試報告內容請參閱附件 AFC DUT 測試報告–智易。

- AFCD.RSA：註冊與頻譜存取請求成功

表 4- 29、註冊與頻譜存取請求成功測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_160MHz_10628_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_80MHz_10627_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_40MHz_10626_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii), 15.407(l)(ii), 15.407(k)(8)(iv)	CT_AFC_SP_AP_AFCDRSA31_FrequencyChannel_20MHz_10625_1 (Successful registration and spectrum access request)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.USA：註冊與頻譜存取請求失敗

表 4- 30、註冊與頻譜存取請求失敗測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(1), 15.407(k)(8)(i),	CT_AFC_SP_AP_AFCDUSA32_FrequencyChannel_10629_1 (Unsuccessful registration and	PASS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(8)(iii)	spectrum access request)	

資料來源：本研究整理

- AFCD.SAU：頻譜存取更新成功

表 4- 31、頻譜存取更新成功測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(9)(i)	CT_AFC_SP_AP_AFCDSAU33_FrequencyChannel_10630_1 (Successful spectrum access update)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.UAU：頻譜存取更新失敗

表 4- 32、頻譜存取更新失敗測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(i), 15.407(k)(8)(ii), 15.407(k)(9)(i)	CT_AFC_SP_AP_AFCDUAU34_FrequencyChannel_10631_1 (Unsuccessful spectrum access update)	PASS

資料來源：本研究整理

- AFCD.USV：伺服器驗證失敗

表 4- 33、伺服器驗證失敗測試結果

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_NoRootCA_10639_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_TLSCipherSuiteENULL_10638_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_MatchSuffixSAN_10634_1 (Unsuccessful server validation)	PASS

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

FCC 法規需求	測試項目	結果
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_DifferentRootCA_10633_1 (Unsuccessful server validation)	PASS
15.407(k)(8)(v)	CT_AFC_ServerValidation_AP_AFCDUSV35_NonMatchSAN_10632_1 (Unsuccessful server validation)	PASS

資料來源：本研究整理

4. RF 特性測試

智易 Wi-Fi AP 開發板仍在開發階段，並無實體產品，RF 測試無法進行測試。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

四、 AFC 商業模式現況

目前尚未有任何一家 AFC 系統營運商對外公告具體收費方案或費率，現階段大多採用與 AP 設備商合作的方式，由 AP 設備商依需求訂閱 AFC 服務授權，市場上最普遍的做法是以產品使用年數核算每臺 AP 裝置的授權，每臺 AP 的收費價格視數量和年限而定並視情況提供相應的量化折扣。使用的授權從產品開始使用並連結到 AFC 服務開始，第一次連線到 AFC 系統就開始計費。AFC 授權通常已納入在 AP 設備價格中，使用者不需單獨支付，但須注意 AP 的型號是否支援 AFC、地理位址的設定方式和是否需添購相應的 GPS 模組、手機、雲端或其他服務，以下將說明國內外 AP 設備商的作法：

- 思科(CISCO)

思科幾乎所有 Wi-Fi 6E AP 均通過 FCC 標準功率認證並支援 AFC，大部分 AP 支援本地端和 Meraki 雲端管理，但要注意軟體授權的部分，本地端 DNA（Digital Network Architecture）功能需要 Essentials 等級的授權：雲端 Meraki 需要 Enterprise 等級的授權。如圖 4- 65 和圖 4- 66 所示，室內型 AP 可安裝全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 模組或外接天線模組來獲取地理位置資訊，布建時可選購合適的模組做使用。



圖 4- 65、GNSS USB 模組



圖 4- 66、外接天線模組

資料來源：CISCO 官網

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 華碩

華碩部分 Wi-Fi 7 AP 型號通過 FCC 標準功率認證並有支援 AFC 功能，使用者需要安裝手機 APP 連線 AP 做設定，主要是開啟 AFC 功能和傳送手機定位的地理位置資訊如圖 4- 67 所示，目前僅支援 Apple iPhone 15 PRO、Samsung S24 Ultra 和之後推出的新型號。

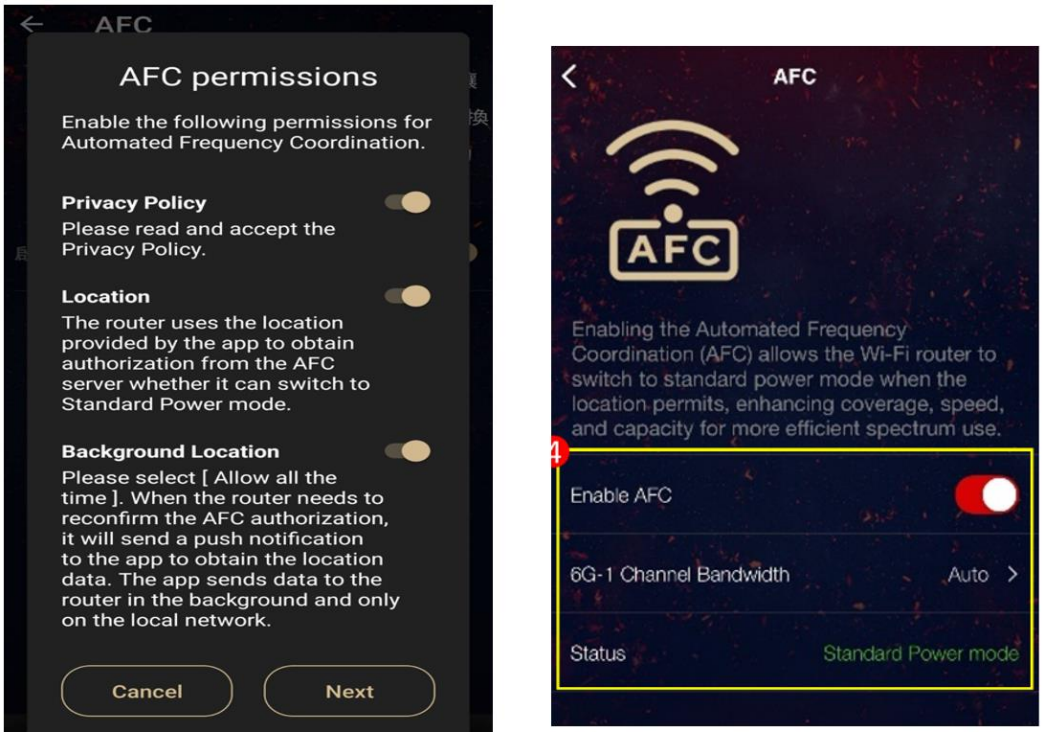


圖 4- 67、地理定位設定

資料來源：華碩官網

- Ruckus

RUCKUS 採用基於雲端的架構，為旗下 Wi-Fi AP 產品提供 AFC 支援。使用者需要與 Ruckus 公司簽訂產品授權和維護合約才能使用雲端服務如圖 4- 68 所示。使用者將 Wi-Fi AP 註冊後就可以使用雲端的 AFC 代理伺服器和地理定位伺服器，若是戶外型的 Wi-Fi AP 則可透過內建 GPS 發送地理定位。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

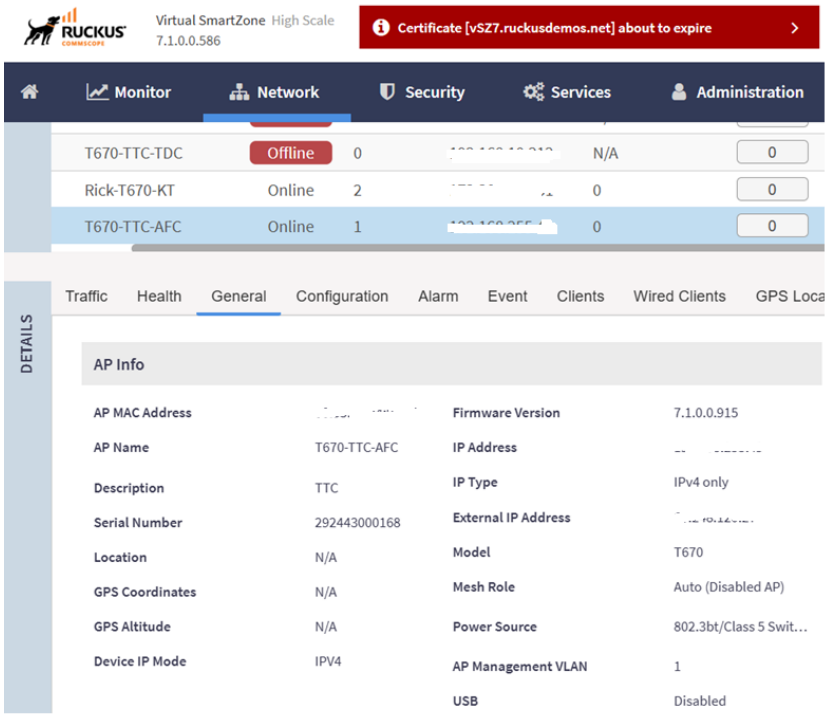


圖 4- 68、Ruckus 雲端服務畫面

資料來源：本研究整理

綜合上述內容可得知Wi-Fi AP設備商目前的商業模式分為兩種，一種是直接購買 Wi-Fi AP 即可；另一種購買 Wi-Fi AP 和訂閱雲端服務授權，主要是面向的客群有所不同，直接購買 Wi-Fi AP 即享 AFC 服務比較偏向個人使用，而訂閱雲端服務授權方式比較偏向企業、學校和政府機關使用，但不論何種方式，Wi-Fi AP 設備商都不會收取額外的 AFC 服務費用，讓它更像是原本就是 Wi-Fi AP 該有的功能而不應該再獨立收費。未來可能是由 Wi-Fi AP 代理商負責向企業、學校和政府機關等推廣，或承包體育場、公園、車站等大型案場，而電信商或有線電視業者則可透過 Wi-Fi AP 租賃的方式，提供給家庭和社區的消費者使用。彙整目前和未來可能的商業模式如表 4- 34 所示。

表 4- 34、AFC 機制商業模式

廠商	目前商業模式	未來可能的商業模式
CISCO	視使用情境訂閱支援 AFC 的雲端授權服務，室內型 AP 可購買	1. 向企業、學校和政府機關等推出更具吸引力的雲端服務方

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

廠商	目前商業模式	未來可能的商業模式
	GPS 定位模組使用 AFC 服務。	案。 2. 由電信商或有線電視業者負責推展相關業務，向消費者提出 AFC 服務的資費方案。 3. 推出支援 6GHz 頻段和 AFC 機制的行動網路 FWA，行動網路與 AFC 服務合併計費。 4. 承接如體育場、公園、車站等大型案場，依案場規模計費。
ASUS	購買支援 AFC 型號的 Wi-Fi AP，透過手機軟體設定和提供地理定位資訊，即可使用 AFC 服務。	
Ruckus	訂閱支援 AFC 的雲端授權服務，AP 可透過內建 GPS 或雲端服務進行定位。	

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第四節 小結

隨著全球頻譜管理政策逐步朝向動態共享機制發展，自動頻譜協調系統（Automated Frequency Coordination, AFC）已成為各國推動 6 GHz 頻段標準功率 Wi-Fi 布建的關鍵技術。為確保 AFC 機制能於我國順利導入並有效運作，本研究針對美國聯邦通信委員會（FCC）相關規範進行深入研析，實作認證機制流程，並進一步優化 AFC 系統功能，使其符合我國本土環境與技術需求，作為未來制度實施與產業導入之基礎。

本研究已完成 OPEN AFC 系統之優化作業，成功導入我國地貌圖資，取代原先解析度較低之全球人口密度圖資，提升系統準確性與實用性。同步進行地貌與人口圖資間的差異性分析，以強化干擾評估模型之精度與可信度。

在系統架構與資安層面，OPEN AFC 已完成軟體版本更新，修正多項系統與程式錯誤，並新增資訊安全防護機制。基礎架構採用微服務設計並結合 Docker 容器化技術，搭配安全性較高的 Alpine Linux 映像檔，提升整體容器運作安全性。系統亦導入多重資安防護措施，包括：身份存取管理、非特權使用者執行、網路通信加密、資料保護與資源限制等，實現服務隔離與縱深防禦機制，進一步強化系統之穩定性與安全性。

此外，依據 FCC 法規及 Wi-Fi Alliance 與 WinnForum 所訂定之測試規範，本研究已於本中心實驗室建置測試環境並進行相關測試。透過導入兩家以上 Wi-Fi AP 廠商設備，進行實際檢測與認證，結果顯示本中心具備符合 AFC 系統及設備測試所需之環境與設施條件。

在測試過程中，亦深入探討相關法規與量測方法，發現目前 FCC 採用的地理位置驗證機制仍存有漏洞，AFC 系統無法有效確認 AP

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

是否遭到人為移動，導致干擾評估結果存在不確定性。未來建議進一步強化地理位置驗證機制，以提升整體干擾管理的可靠度與實務應用效能。

最後，針對 AFC 系統應用於 IMT 7 GHz 頻段之可行性，由於 AFC 系統所使用的 WINNER II 傳播模型不適用於 7125-8400 MHz 頻段，因此本研究對三種可能替代的傳播模型進行評估，經過研析後的結果，3GPP TR 38.901 會是未來替代 WINNER II 傳播模型的首選。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw