

公開版

113年委託研究報告

6G 頻譜整備及應用規劃委託研究案 完整期末報告

計畫委託機關：數位發展部

中華民國 113 年 12 月

113 年委託研究報告

GRB 系統編號：PG11301-0037

6G 頻譜整備及應用規劃委託研究案 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

巫國豪、陳譽明、徐玉珊、劉宜蕎、鍾福祥、劉鴻鈞、
龐士君、江東訓、陳耀坤、吳政翰、呂維曦、鄭吉清、
連益興、楊騰毅、朱繹中、李佳儒、胡依淳、楊智皓、
廖珮如、鄧信豪、薛茂呈、劉政霖、鄭師豪、呂少琪、
李珮綺、賴芄聿、林奕誠、楊韻蓉、李佳欣、黃祺婷、
徐翊菱、涂惠玟、邱儀萱、王彥中、黃繼玄、簡文祥、

王章諭

研究期程：中華民國 113 年 1 月至 113 年 11 月

研究經費：新臺幣 4,781 萬 4,136 元

本報告不必然代表數位發展部意見

中華民國 113 年 12 月

目次

目次	I
表次	III
圖次	VIII
計畫摘要.....	XVII
Abstract.....	XXVIII
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	16
第二章 ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測「本研析案例資料不公開」	20
第三章 國際間對 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點	21
第一節 國際組織推動 6G 發展資訊研析	21
第二節 主要國家與地區推進 6G 現況觀測	102
第三節 6G 候選頻段之國內既有使用者盤點	166
第四節 參與 MWC 會議（西班牙巴塞隆納）之成果	171
第五節 小結	176
第四章 Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	182
第一節 和諧有效使用機制環境建立	183
第二節 和諧有效使用機制實測評估	244
第三節 觀測國際 AFC 系統進展	310
第四節 小結	323
第五章 既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕（refarming）技術研析.....	325
第一節 替代技術實測評估	325
第二節 替代技術建置導入之額外分析	377
第三節 頻譜重耕（refarming）技術研析	393
第四節 盤點 FR3 頻段（7.125-24 GHz）既有使用者	412
第五節 小結	416
第六章 6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析	419
第一節 6G 跨域網路整合與應用型態對頻譜管理制度影響	421
第二節 6G 新興應用衍生之頻譜競合議題	463
第三節 6G 應用之頻譜分配方向及相關頻譜整備策略	494
第七章 公部門連結小組會議	501
第一節 公部門連結小組會議辦理情形	501

第二節 公部門連結電子報.....	504
第三節 MWC 行前交流會之執行成果.....	506
第四節 「6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會」之辦理成果...	508
第八章 其他執行專案與成果彙整	522
第一節 座談會執行成果.....	522
第二節 國內外頻譜資訊定期蒐集與研析.....	562
第三節 派駐人力說明.....	568
第九章 結論與建議	572
第一節 結論.....	572
第二節 政策與技術研析建議.....	590
附件一 下階段國際無線電頻譜議題意見徵詢 – 補充意見.....	594
附件二 「6G 候選頻段既有使用者」分類、去識別化資料.....	595
附件三 6G 頻譜整備之專家學者意見彙整與研析建議.....	599
附件四 「WRC-23 之重要議題決議分享與討論」經驗分享會議紀錄	603
附件五 「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會會議紀錄.....	613
附件六 「6G 跨域應用與頻譜管理探討」座談會會議紀錄.....	621
附件七 「我國 6G 未來方展藍圖及頻譜整備規畫方向研議」座談會 會議紀錄.....	644
附件八 「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」座談會會議紀錄.....	664
附件九 「我國微波移頻與使用其他替代技術探討」座談會會議紀錄..	672
參考文獻.....	679
中英文名詞對照（依縮寫字首排序）	691
期末報告審查會議審查委員意見回覆表	700

表 次

表 1-1、本研究雙周進度表.....	10
表 3-1、WRC-23 議題 1.1、1.2、1.3 之最終決議	23
表 3-2、WRC-23 決議後第三區用於 IMT 頻譜之總量（以低中高 頻分類）	25
表 3-3、亞太地區 IMT 頻譜分配的現狀與挑戰	27
表 3-4、亞太地區 IMT 未來頻譜藍圖規劃	28
表 3-5、APT 設立 5 個工作小組討論 WRC-27 議題	30
表 3-6、3GPP 第一階段 IMT 2030 使用案例研討會討論主題彙整	36
表 3-7、GSMA 之 5G 發展頻譜需求表	57
表 3-8、NGMN 聯盟三大任務.....	66
表 3-9、6G 技術應用及成熟度	83
表 3-10、Next G 聯盟發布報告及白皮書重點摘要	90
表 3-11、Next G 按不同傳輸及使用情境估計之 6G 頻譜需求	97
表 3-12、歐盟提出產業利害關係人對 B5G/6G 重點意見綜整表	102
表 3-13、歐盟整理產業對 B5G/6G 議題與解決方案綜整	104
表 3-14、RSPG 針對 WRC-23 討論議題 1.2 涉及之頻段意見綜整 表	107
表 3-15、美國「國家頻譜策略」之主軸與策略目標	112
表 3-16、美國「國家頻譜策略實施計畫」內容概要	114
表 3-17、英國低功率執照及中功率執照比較表	127
表 3-18、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照用戶之協調方式比較表	129
表 3-19、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之年度費用表	130
表 3-20、英國整理利害關係人對共享頻譜之重點意見綜整	131
表 3-21、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之年度費用表（2024） 版	132
表 3-22、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之技術條件	133
表 3-23、英國 Ofcom 提出《2024/25 年工作計畫》三大目標....	134
表 3-24、日本至 2025 年底之釋出頻寬目標與目前進展	141
表 3-25、中國 IMT-2030（6G）推進組所發布之 6G 白皮書	154
表 3-26、中國 IMT-2030（6G）推進組所發布之 6G 研究報告	154
表 3-27、中國 6G 網路架構設計八大原則	160
表 3-28、6 GHz 以下候選頻段微波既有業者	167

表 3- 29、U6 微波既有業者.....	167
表 3- 30、U6 衛星既有業者.....	168
表 3- 31、NTN 頻段與我國既有使用者.....	169
表 3- 32、6G 候選頻段其他類別業者.....	170
表 3- 33、本研究整理主要國家/地區發表 6G 相關之報告或白皮書	177
表 3- 34、本研究整理主要國家/地區規劃 6G 潛在候選頻段.....	180
表 4- 1、TIP Open AFC 功能列表.....	184
表 4- 2、OPEN AFC 地形圖資.....	189
表 4- 3 臺灣全島涵蓋範圍.....	191
表 4- 4、座標比較.....	192
表 4- 5、ULS 資料庫說明.....	199
表 4- 6、CSV 檔案內容.....	200
表 4- 7、一般參數列表.....	201
表 4- 8、既有服務站臺發送端參數列表.....	202
表 4- 9、既有服務站臺接收端參數列表.....	202
表 4- 10、新增站臺資料方式.....	206
表 4- 11、API 回傳的 AP 認證資料範例.....	212
表 4- 12、NCC AP 認證資料範例.....	214
表 4- 13、AvailableSpectrumInquiryRequest object.....	220
表 4- 14、AvailableSpectrumInquiryResponse object.....	221
表 4- 15、MS2720T Spectrum Master 規格表.....	246
表 4- 16、雙脊寬頻喇叭天線（BBHA 9120 D）規格表.....	247
表 4- 17、帶通濾波器（VBFZ-6260-S+）規格表.....	248
表 4- 18、寬頻低雜訊放大器（ZX60-83LN-S+）規格表.....	249
表 4- 19、干擾站臺候選.....	256
表 4- 20、各站臺發射參數.....	259
表 4- 21、新厝候選測試點量測數據.....	261
表 4- 22、東港候選測試點量測數據.....	263
表 4- 23、枋山候選測試點量測數據.....	265
表 4- 24、內埔候選測試點量測數據.....	267
表 4- 25、行通大樓候選測試點量測數據.....	269
表 4- 26、挑戰結果.....	318
表 4- 27、收費標準.....	323
表 5- 1、Transcelestial CENTAURI 10G 規格.....	330
表 5- 2、Biral SWS-100 規格.....	331
表 5- 3、EML ARG-314 傾斗式雨量計規格.....	331

表 5- 4、Gill MetConnect-One 多參數氣象站規格	331
表 5- 5、FSO 架設完成表	333
表 5- 6、我國 L6/U6 頻段微波鏈路通信距離占比.....	336
表 5- 7、我國 L6/U6 頻段微波鏈路通信頻寬占比.....	336
表 5- 8、LTU Long-Range 規格.....	338
表 5- 9、airFiber 60 Long-Range 規格	338
表 5- 10、免執照微波頻率架設規劃與射頻設備規格	340
表 5- 11、免執照微波站臺架設時程.....	340
表 5- 12、LTU-LR 架設完成表.....	341
表 5- 13、60-LR 架設完成表.....	342
表 5- 14、ComReg 建議的 5G 涵蓋門檻值	345
表 5- 15、TCP 和 UDP 封包差異	348
表 5- 16、5G FWA 實證場域-警政署微波鏈路	350
表 5- 17、FWA 連接 5G 基地臺和微波站點距離	351
表 5- 18、NUQ3000M 規格.....	352
表 5- 19、Fortinet FG40F 規格.....	352
表 5- 20、FSO TCP/UDP 傳輸速度平均值	357
表 5- 21、FSO 鏈路 Y.1564 測試結果	359
表 5- 22、FSO 鏈路 RFC6349 測試結果	360
表 5- 23、5.8 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度平均值.....	362
表 5- 24、60 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度平均值.....	365
表 5- 25、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 Y.1564 測試結果	366
表 5- 26、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 RFC6349 測試結果	366
表 5- 27、5G FWA 三條鏈路 TCP/UDP 傳輸速度平均值.....	370
表 5- 28、5G FWA 三條鏈路可靠度	374
表 5- 29、保五岡山-楠梓 FWA 鏈路 Y.1564 測試結果.....	376
表 5- 30、保五岡山-楠梓 FWA 鏈路 RFC6349 測試結果.....	376
表 5- 31、免授權執照頻段微波設備與建置費用	386
表 5- 32、國際能見度表.....	387
表 5- 33、微波傳遞特性與設備建議鏈路長度	389
表 5- 34、替代技術特性比較表.....	393
表 5- 35、動態、靜態頻譜重耕優缺點比較	410
表 5- 36、6G FR3 頻段微波既有業者	414
表 5- 37、10.7-13.25 GHz 衛星既有使用者	415
表 5- 38、17.7-19.7 GHz 衛星既有使用者	415

表 6-1、6G 應用發展趨勢	431
表 6-2、電信設備商與晶片設計商對 6G 多元視角	439
表 6-3、6G 網路特性與目標	444
表 6-4、國際衛星直連手機應用案例與我國使用頻段對照表	486
表 6-5、3GPP 規劃之 NTN 頻譜	489
表 6-6、中華民國頻率分配表	491
表 6-7、我國電信業者持有 4 GHz 以下之頻寬	495
表 7-1、113 年度電子報填報概況	506
表 7-2、6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會活動規劃	509
表 7-3、6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會講者資訊	509
表 7-4、座談會活動籌備規劃期程	510
表 7-5、座談會活動安排流程	510
表 7-6、場地布置物清單	511
表 8-1、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」座談會擬邀出席人員名單	522
表 8-2、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」討論議題	524
表 8-3、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」分享重點概要	526
表 8-4、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」會後整理	529
表 8-5、「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會擬邀出席人員名單	530
表 8-6、「我國 6G 潛在候選頻譜研議」討論議題	531
表 8-7、我國潛在可供 IMT 使用頻段之盤點總表	533
表 8-8、「6G 跨域應用與頻譜管理探討」座談會出席人員名單	535
表 8-9、「6G 跨域應用與頻譜管理探討」討論議題	536
表 8-10、未來頻譜整備與和諧共用機制發展之國際座談議程	540
表 8-11、「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」座談會擬邀出席人員名單	547
表 8-12、「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」討論議題	549
表 8-13、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」座談會擬邀出席人員名單	551
表 8-14、「我國微波移頻與使用其他替代技術探討」討論議題	553
表 8-15、「我國 6G 未來發展藍圖及頻譜整備規劃方向研議」座談會出席人員名單	555
表 8-16、「我國 6G 未來發展藍圖及頻譜整備規劃方向研議」討論	

議題	556
表 8- 17、頻譜整備規劃方向之意見彙整	560
表 8- 18、規劃與產業及學研單位合作發表	563
表 9- 1、國際組織之頻譜規劃.....	573

圖 次

圖 1- 1、本計畫之研究架構.....	8
圖 1- 2、本研究工作進度時程圖	9
圖 1- 3、實驗研究架構.....	17
圖 3- 1、WRC-23 議題 1.4 之最終決議	24
圖 3- 2、WARC-92/WRC-97 以來 IMT 頻譜的演變情況（以低中 高頻分類）	26
圖 3- 3、歷年來 WRC 會議決議之 IMT 總頻譜量（以 ITU 分區分 類）	26
圖 3- 4、未來 WRC-27 之討論議題	29
圖 3- 5、3GPP 技術版本演進時程概觀	31
圖 3- 6、3GPP 各階段之小組分工示意圖	48
圖 3- 7、3GPP R20 之 5G Advance 及 6G 研究時間表.....	49
圖 3- 8、3GPP R20 之 6G 研究細項時間表.....	51
圖 3- 9、GSMA 6 GHz 發展時程圖.....	55
圖 3- 10、全球衛星和 NTN 技術範例.....	55
圖 3- 11、GSMA 中頻段頻譜分配圖.....	58
圖 3- 12、GSMA 6 GHz 頻譜需求規劃	58
圖 3- 13、WRC-23 對於 IMT 頻段之決議	59
圖 3- 14、全球技術中立概況.....	61
圖 3- 15、專用網路頻譜供應方式	64
圖 3- 16、NGMN 聯盟發布報告時序與主題.....	67
圖 3- 17、NGMN 聯盟提出 6G 應用四大類別與 14 個通用案例 ..	70
圖 3- 18、歐盟美國 B5G/6G 路線圖與 IMT2030 使用情境之對照 合圖	78
圖 3- 19、 6G 技術成熟度及與其應用之關聯熱圖	83
圖 3- 20、 DSAC 和 ISAC/JCAS 功能間的關係。	87
圖 3- 21、智慧停車場的數據收集與傳輸方式	89
圖 3- 22、歐盟建議 6G 開發動機與使用場景等指標（更新版）	105
圖 3- 23、英國 3.8-4.2 GHz 頻段共享接取執照頻寬使用情形統計	128
圖 3- 24、可變動頻譜分配.....	135
圖 3- 25、區分室內與室外，輔以其他行動頻段	136
圖 3- 26、日本 2030 年社會願景.....	137
圖 3- 27、日本 Beyond 5G 使用案例	137
圖 3- 28、日本 Beyond 5G 之研發議題	138

圖 3- 29、日本制定頻率整備行動計畫流程圖	140
圖 3- 30、日本至 2025 年底之釋出頻寬目標	140
圖 3- 31、日本至 2040 年底之釋出頻寬目標	145
圖 3- 32、韓國提出數位轉型關鍵領域間之融合概念圖	147
圖 3- 33、韓國 6G 頻譜利用方案	150
圖 3- 34、韓國行動通信頻譜推進時程表	151
圖 3- 35、韓國行動通信頻譜推進時程表	151
圖 3- 36、中國建議之 6G 無線電系統邏輯視圖	159
圖 3- 37、中國研提之 6G 網路系統架構圖	161
圖 3- 38、中國研提之 6G 網路組網架構圖	162
圖 3- 39、中國提出對 6G 各頻段之技術應用	164
圖 3- 40、研究人員於 MWC 2024 會場合影.....	171
圖 3- 41、MWC 2024 六大主軸.....	172
圖 3- 42、MWC 大會中 GSMA 簡報 Open Gateway 架構.....	173
圖 3- 43、MWC 大會舉辦 6G 頻譜需求討論會議.....	175
圖 3- 44：MWC 會後分享會議.....	176
圖 4- 1、TIP OPEN AFC 架構.....	185
圖 4- 2、TIPOpen AFC 內部計算流程示意圖	188
圖 4- 3、GeoTIFF 格式架構	190
圖 4- 4、Open AFC 轉換流程圖	191
圖 4- 5、地區圖檔.....	192
圖 4- 6、AFC 系統 Log.....	193
圖 4- 7、熱圖分析設定頁面.....	194
圖 4- 8、錯誤訊息與地圖位置.....	194
圖 4- 9、熱圖做動流程.....	195
圖 4- 10、EIRP 分析結果.....	195
圖 4- 11、I/N 分析結果	195
圖 4- 12、台灣既有站臺 CDF 分析結果	196
圖 4- 13、FCC ULS 資料網頁.....	198
圖 4- 14、ULS 資料格式轉換流程.....	200
圖 4- 15、既有站臺資料庫架構.....	204
圖 4- 16、網頁架構.....	204
圖 4- 17、登入畫面.....	205
圖 4- 18、主頁面.....	205
圖 4- 19、ULS 資料表格式.....	207
圖 4- 20、ULS Downloader 功能	208
圖 4- 21、既有站臺資料取得流程	209

圖 4- 22、台灣既有站臺分布圖.....	210
圖 4- 23、AP 認證資料轉換流程	214
圖 4- 24、NCC 資料匯入 AFC 系統流程.....	215
圖 4- 25、臺灣形式認證資料庫介接流程圖	216
圖 4- 26、型式認證代碼表.....	217
圖 4- 27、NCC 電信設備審驗合格清單資料問題.....	218
圖 4- 28、AFC 系統參考架構	219
圖 4- 29、頻譜查詢流程圖.....	223
圖 4- 30、AP 連線流程	224
圖 4- 31、測試環境.....	225
圖 4- 32、AP 請求訊息	226
圖 4- 33、AFC 回應訊息	226
圖 4- 34、AP 選用頻道資訊	226
圖 4- 35、AP 選用功率資訊	227
圖 4- 36、頻譜分析量測結果圖.....	227
圖 4- 37、各國 6 GHz 頻譜開放政策	244
圖 4- 38、干擾實測方式.....	245
圖 4- 39、MS2720T Spectrum Master	246
圖 4- 40、天線場型圖	247
圖 4- 41、雙脊寬頻喇叭天線（BBHA 9120 D）	248
圖 4- 42、帶通濾波器（VBFZ-6260-S+）	249
圖 4- 43、寬頻低雜訊放大器（ZX60-83LN-S+）	250
圖 4- 44、微波與 Wi-Fi LoS 傳播情境條件.....	251
圖 4- 45、LoS 情境試算結果.....	251
圖 4- 46、干擾實測方式.....	252
圖 4- 47、視域分析.....	252
圖 4- 48、移動型發射電臺發射端架構	253
圖 4- 49、干擾作業流程圖.....	254
圖 4- 50、測試範圍範例說明.....	255
圖 4- 51、中華電信新厝＜永興微波鏈路視域分析.....	257
圖 4- 52、中華電信東港＜琉球中興微波鏈路視域分析.....	257
圖 4- 53、中華電信大埔＜埔頂中興微波鏈路視域分析.....	257
圖 4- 54、中華電信枋山＜大坪頂中興微波鏈路視域分析.....	258
圖 4- 55、中華電信內埔＜德文中興微波鏈路視域分析.....	258
圖 4- 56、中華電信行通大樓＜綠島中興微波鏈路視域分析.....	258
圖 4- 57、頻譜分析儀新厝量測設定之參數	260
圖 4- 58、頻譜分析儀東港量測設定之參數	262

圖 4- 59、頻譜分析儀枋山量測設定之參數	264
圖 4- 60、頻譜分析儀內埔量測設定之參數	266
圖 4- 61、頻譜分析儀行通大樓量測設定之參數	268
圖 4- 62、Open AFC 無線傳播模型	272
圖 4- 63、Virtual AP 參數設定表	273
圖 4- 64、Virtual AP 頻段使用圖	273
圖 4- 65、Virtual AP 地理位置圖	274
圖 4- 66、情境一測試示意圖	275
圖 4- 67、情境二測試示意圖	276
圖 4- 68、情境三測試示意圖	276
圖 4- 69、各站臺鏈路頻率表	277
圖 4- 70、情境一干擾測試流程圖	278
圖 4- 71、情境二干擾測試流程圖	279
圖 4- 72、情境三干擾測試流程圖	280
圖 4- 73、嘉義新厝微波站臺	281
圖 4- 74、新厝各干擾點位位置	282
圖 4- 75、新厝各干擾測試點位地圖	282
圖 4- 76、新厝 P1 干擾測試點測試參數	283
圖 4- 77、新厝 P1_n 干擾測試點測試參數	283
圖 4- 78、新厝 P2 干擾測試點測試參數	284
圖 4- 79、新厝 P2_n 干擾測試點測試參數	284
圖 4- 80、新厝 P3 干擾測試點測試參數	285
圖 4- 81、新厝 P3_n 干擾測試點測試參數	285
圖 4- 82、新厝空中平臺 P1 干擾測試點測試參數	286
圖 4- 83、新厝空中平臺 P2 干擾測試點測試參數	286
圖 4- 84、新厝空中平臺 P3 干擾測試點測試參數	287
圖 4- 85、新厝現場情境一干擾測試照片	287
圖 4- 86、新厝現場空中平臺干擾測試照片	288
圖 4- 87、屏東東港微波站臺	289
圖 4- 88、東港各干擾點位位置	289
圖 4- 89、東港各干擾測試點位地圖	290
圖 4- 90、東港 P1 干擾測試點測試參數	290
圖 4- 91、東港 P1_n 干擾測試點測試參數	291
圖 4- 92、東港 P2 干擾測試點測試參數	291
圖 4- 93、東港 P2_n 干擾測試點測試參數	292
圖 4- 94、東港 P3 干擾測試點測試參數	292
圖 4- 95、東港 P3_n 干擾測試點測試參數	293

圖 4- 96、東港現場情境一干擾測試照片	293
圖 4- 97、東港現場情境二干擾測試照片	294
圖 4- 98、臺東行通大樓微波站臺	295
圖 4- 99、行通大樓各干擾點位位置	295
圖 4- 100、行通大樓各干擾測試點位地圖	296
圖 4- 101、行通大樓 P1 干擾測試點測試參數.....	296
圖 4- 102、行通大樓 P1_n 干擾測試點測試參數.....	297
圖 4- 103、行通大樓 P2 干擾測試點測試參數.....	297
圖 4- 104、行通大樓 P2_n 干擾測試點測試參數.....	298
圖 4- 105、行通大樓 P3 干擾測試點測試參數.....	298
圖 4- 106、行通大樓 P3_n 干擾測試點測試參數.....	299
圖 4- 107、行通大樓現場情境一與情境二干擾測試照片	299
圖 4- 108、新厝 P1 與 P1_n 干擾測試結果	300
圖 4- 109、新厝 P2 與 P2_n 干擾測試結果	301
圖 4- 110、新厝 P3 與 P3_n 干擾測試結果.....	301
圖 4- 111、新厝空中平臺 P1 頻寬 20、40MHz 干擾測試結果....	302
圖 4- 112、新厝空中平臺 P1 頻寬 80、160MHz 干擾測試結果 ..	302
圖 4- 113、新厝空中平臺 P2 頻寬 20、40MHz 干擾測試結果 ...	303
圖 4- 114、新厝空中平臺 P2 頻寬 80、160MHz 干擾測試結果 ..	303
圖 4- 115、新厝空中平臺 P3 頻寬 20、40MHz 干擾測試結果 ...	304
圖 4- 116、新厝空中平臺 P3 頻寬 80、160MHz 干擾測試結果 ..	304
圖 4- 117、東港 P1 與 P1_n 干擾測試結果.....	305
圖 4- 118、東港 P2 與 P2_n 干擾測試結果.....	306
圖 4- 119、東港 P3 與 P3_n 干擾測試結果.....	306
圖 4- 120、東港 P2 功率逼近干擾測試結果	307
圖 4- 121、行通大樓 P1 與 P1_n 干擾測試結果	308
圖 4- 122、行通大樓 P2 與 P2_n 干擾測試結果	308
圖 4- 123、行通大樓 P3 與 P3_n 干擾測試結果	309
圖 4- 124、無中央入口之示範案例	311
圖 4- 125、入口概念.....	312
圖 4- 126、南韓 6GHz 頻段既有服務規劃	319
圖 4- 127、KAFC 架構	320
圖 4- 128、KAFC 的南韓既有服務站臺資訊畫面	321
圖 4- 129、KAFC 的可用頻譜資訊畫面	322
圖 5- 1、裝置架構示意圖.....	327
圖 5- 2、其他資料收集範圍.....	328
圖 5- 3、驗證資料收集.....	329

圖 5-4、資料監控與處理分析架構圖	329
圖 5-5、財團法人中央廣播電臺本部與圓山微波站布建	332
圖 5-6、財團法人電信技術中心與台鋼科技大學布建	333
圖 5-7、環境監測站照片	335
圖 5-8、FSO 鏈路場域測試系統架構	335
圖 5-9、微波鏈路系統架設示意圖	339
圖 5-10、雲林縣警察局至雲林縣消防局微波網路區間通信鏈路地圖	340
圖 5-11、嘉義縣警局至嘉義縣消防局微波網路區間通信鏈路地圖	341
圖 5-12、從業業者現行微波網路區間通信鏈路地圖	343
圖 5-13、從業業者微波站臺頻道規劃	344
圖 5-14、國內 2024 年 6 月 5G 平均下載速度	345
圖 5-15、國內 2024 年 6 月 5G 平均上傳速度	345
圖 5-16、5G 替代鏈路傳輸架構	346
圖 5-17、5G FWA 場域測試設備架構	347
圖 5-18、警政署新竹與竹光微波站布建	350
圖 5-19、警政署臺西與斗六微波站布建	350
圖 5-20、警政署保五岡山與楠梓微波站布建	351
圖 5-21、5G FWA 場域設備機箱	353
圖 5-22、場域架設系統架構	354
圖 5-23、大氣穿透率和分子吸收	356
圖 5-24、FSO TCP 傳輸速度分布圖	357
圖 5-25、FSO TCP/UDP 傳輸速度時序圖	358
圖 5-26、FSO TCP 傳輸速度/雨量/氣溫跟露點溫度差時序圖	359
圖 5-27、雲林縣警察局至雲林縣消防局 5.8 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度時序圖	361
圖 5-28、雲林縣警察局至雲林縣消防局 5.8 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度分布圖	362
圖 5-29、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度時序圖	364
圖 5-30、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度分布圖	364
圖 5-31、新竹-竹光鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度分布圖	369
圖 5-32、臺西-斗六鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度分布圖	369
圖 5-33、楠梓-保五岡山鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度分布圖	370
圖 5-34、新竹-竹光鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度時序圖	371

圖 5- 35、斗六-臺西鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度時序圖	372
圖 5- 36、保五岡山-楠梓鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度時序圖	372
圖 5- 37、TCP 建立連線方式	373
圖 5- 38、TCP 滑動窗口機制	373
圖 5- 39、新竹/竹光站 FWA 5G 訊號時序圖	375
圖 5- 40、臺西/斗六站 FWA 5G 訊號時序圖	375
圖 5- 41、保五岡山/楠梓站 FWA 5G 訊號時序圖	376
圖 5- 42、震動感測裝置評估結果與架設方式	378
圖 5- 43、架設示範圖	379
圖 5- 44、程式對焦互動介面	379
圖 5- 45、雲端之資訊儀表板	380
圖 5- 46、微波設備架構圖	381
圖 5- 47、頻段使用情況掃描圖	382
圖 5- 48、臺灣日出日落方位	388
圖 5- 49、0~1000 GHz 每公里大氣衰減	391
圖 5- 50、亞太地區行動通信技術使用預測	397
圖 5- 51、瑞典 900 MHz 頻譜重耕過程	399
圖 5- 52、多接取技術頻率分配圖	401
圖 5- 53、澳洲昆士蘭和偏遠地區的計劃電視頻道	403
圖 5- 54、澳洲 700 MHz 頻譜重耕對照圖	403
圖 5- 55、執照頻段靜態頻譜管理框架	406
圖 5- 56、長期頻譜規劃流程	407
圖 6- 1、6G 標準預計時程	420
圖 6-2、電信服務導入流程	421
圖 6-3、6G 網路架構	422
圖 6-4、6G 應用情境	424
圖 6-5、人工智慧於與 6G 之整合	425
圖 6-6、聯合國永續發展目標	426
圖 6-7、未來 XR 之發展	431
圖 6-8、6G 的 5 大使用情境	434
圖 6-9、6G 未來應用趨勢	440
圖 6-10、數位孿生網路架構圖	441
圖 6-11、遠端控制網路架構圖	442
圖 6-12、人工智慧與動態頻譜共享技術	445
圖 6-13、6G 技術發展趨勢	447
圖 6-14、Nokia 6G 頻譜布建之觀點	448
圖 6-15、低中高頻率特性	449

圖 6-16、TN-NTN 融入 6G 網路	451
圖 6-17、NTN 架構圖	452
圖 6-18、頻譜分配發展三階段.....	455
圖 6-19、兩層式動態頻譜架構.....	459
圖 6-20、基於人工智慧的頻譜共享	461
圖 6-21、AI 決策引擎架構	462
圖 6-22、6G 使用案例分類	463
圖 6-23、智慧交通應用情境.....	467
圖 6-24、智慧醫療應用情境.....	467
圖 6-25、NTN 網路架構	469
圖 6-26、透通型與再生型 NTN	469
圖 6-27、HAPS 架構.....	472
圖 6-28、HAPS 傳輸需求	472
圖 6-29、行動網路涵蓋面積.....	474
圖 6-30、Nyquist 理論之頻寬與容量	475
圖 6-31、數位調變之效能.....	476
圖 6-32、6G 可能新增之頻譜需求	476
圖 6-33、頻譜特性.....	477
圖 6-34、Nokia 對 6G 頻譜的觀點	481
圖 6-35、美國 6G 頻譜規劃預期	483
圖 6-36、7-15GHz 的頻譜需求	483
圖 6-37、Apple 手機直連衛星架構	487
圖 6-38、3GPP 規劃 NTN 頻譜及架構	489
圖 6-39、Feeder Link 之上下鏈路.....	490
圖 6-40、我國 28 GHz 頻譜拍賣結果	491
圖 6-41、通透模式 NTN service link 干擾地面固定通信系統	492
圖 6-42、通透模式 NTN service link 干擾地面行動通信系統	492
圖 6-43、再生模式 NTN service link 干擾地面固定通信系統	494
圖 6-44、C-band 6G 候選頻段.....	496
圖 6-45、6 GHz-band 6G 候選頻段	496
圖 7-1、公部門連結小組架構與分工	501
圖 7-2、電子報填報及發刊規則	505
圖 7-3、公部門連結小組電子報發報格式	505
圖 7-4、MWC 行前交流會主視覺海報.....	507
圖 7-5、MWC 行前交流會概況.....	508
圖 7-6、座談會主視覺.....	511
圖 7-7、活動布置現場概況.....	512

圖 7- 8、EDM 部分頁面宣傳示意	513
圖 7- 9、Dr. Yosuke Aragane 分享 IOWN 發展目標與願景	515
圖 7- 10、Mr. Shiro Fukumoto 分享 NTN 應用及 HAPS 前景	516
圖 7- 11、Prof. J. Morris Chang 分享 6G 時代資料加密及隱私保護 觀點	518
圖 7- 12、各與談人暢談 6G 時代下各領域願景	521
圖 8- 1、Nokia 公司技術主管 Ashwani Kumar 分享 6G 之演進趨 勢	542
圖 8- 2、韓國電信技術協會副總裁 Kyu-Jin Wee 分享 6G 頻譜使用 之情形	543
圖 8- 3、美國 FCC 無線通信局副局長 Kari Hicks 線上分享 6G 之 頻譜發展	544
圖 8- 4、韓國 KISDI 研究員 Ji Hyun Par 分享韓國 6G 之發展戰略 與頻譜管理現況	545
圖 8- 5、我國 6G 未來頻譜發展藍圖	558
圖 8- 6、每月定期公開發布國內外頻譜新聞之格式	562
圖 8- 7、《6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統於臺灣之布建探討》論 文發表	564
圖 8- 8、TANET 台灣網際網路研討會議程	565
圖 8- 9、2024 International Conference on Intelligent Technology and Sustainable Environment 投稿海報	566
圖 8- 10、2024 International Conference on Intelligent Technology and Sustainable Environment 國際研討會海報發表	567
圖 8- 11、每季公告國際頻譜趨勢研析報告之格式	568
圖 9- 1、ITU 與 3GPP 標準制訂時程	573
圖 9- 2、主要研究國家 6G 潛在頻譜規劃	574
圖 9- 3、我國行動通信頻譜之現況	582
圖 9- 4、我國潛在可供 IMT 使用頻段之盤點總表	583
圖 9- 5、本研究提出之我國 6G 頻譜整備時程表	583
圖 9- 6、本研究提出之我國 6G 發展藍圖建議	589

計畫摘要

關鍵詞：6G、6GHz、頻譜、AFC、頻譜共享、頻譜重耕、自由空間
光通訊、5G 固定無線接取、固定微波、中頻段

一、研究緣起

近年來，6G 已成為全球科技與國際權力競爭的核心議題，具有關鍵的產業與國家策略價值。美國、歐盟、韓國、中國等主要國家積極投入資源，推動產業界、政府、學術界及研究機構合作，共同探索 6G 技術、頻譜資源及應用需求，技術標準與頻譜分配成為國際競逐焦點。

本研究聚焦於 6G 頻譜整備與應用規劃。在頻譜整備上，6G 候選頻段已列入 2023 年世界無線電大會（World Radiocommunication Conferences, WRC-23）議題，各國將依決議展開準備，並將於 WRC-27 持續討論。本研究盤點國際頻譜趨勢，分析潛在頻段選項，並驗證自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）機制及替代技術實測，以提升我國頻譜規劃彈性。在應用規劃方面，6G 預期實現跨域連結與網路整合，但亦可能面臨頻譜資源競合。

基於先前 6G 相關計畫的成果，持續推進候選頻段的整備、頻譜和諧有效使用及應用場景規劃。同時，維運公部門連結小組之跨部會協作機制，促進各方協力共同為我國 6G 技術與頻譜整備提前布局，以確保達到主管機關顧及既有使用者合法使用權益與兼顧我國發展新興 6G 通訊應用發展之政策願景。

二、研究方法及過程

本計畫基於文獻分析法、比較分析法、實驗研究法（PoC）等研究方法。首先，透過文獻分析掌握國內外 6G 技術、市場與頻譜管理趨勢，蒐集官方文件、國際研究報告及學術成果，奠定研究基礎。基於文獻與個案分析，協助盤點國際 6G 候選頻段，完善國內頻譜環

境，並提出政策建議以推動產業與技術發展。接者聚焦驗證和諧有效使用機制，進行 AFC 系統測試及替代技術評估，針對多種通信技術進行測試場域布建，驗證無線通信韌性與效能。本研究為了博徵眾議完備研究，舉辦座談會分享成果，邀請國內外專家針對關鍵議題提供意見，調整研究方向並強化研究深度，提出有助於我國 6G 技術發展與政策願景的具體建議，提前布局未來 6G 應用與頻譜規劃，奠定產業發展基礎。

三、重要研究發現

(一)ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測

WRC-23 已於 2023 年底落幕，其由世界各國所共同做成之決議成果，而以此為據修改之 RR 國際無線電規則，也即將形塑未來國際無線電之使用秩序與規管原則。在該決議以及秩序之下，下階段國際無線電之重點趨勢，除 IMT 地面行動通信於 3 GHz、6 GHz、以及 10 GHz 等頻段之新頻譜已經確定之外，未來亦將繼續於 4-15 GHz 間，甚至 100 至 275 GHz，探究配置新頻譜之可行性。另外，在 IMT 非地面行動通信之外，WRC-23 除已決議 HIBS 高空地面行動通信基地臺可在 20-50 公里之高度範圍內使用 700-2700 MHz 頻段對地面行動終端提供行動通信服務之外，也即將在 WRC-27 續行討論相關頻段從太空與地面終端進行雙向行動無線電之發射與接收，此即為目前國際實務所密切關注之 D2D 衛星直連終端無線電服務，顯見其發展重點與趨勢。

另一方面，考量到 ITU 國際電信聯合會為聯合國轄下之專業組織，其平時業務多涉及商業、技術、與管理等專業實務，因此除國家會員之外，亦訂有特殊規定提供機會，讓各界擁有相關專業智識之單位與人員得以藉由活動之參與而貢獻所長。藉由研析 ITU 國際電信聯合會會員與組織參與制度，整理各項會員之會員條件以及其相關之權利義務，我國應有機會參考日本參與 ITU 國際電信聯

合會之發展與管理架構，以非國家或特別會員之身分來參與相關活動，並以身為國際社群之一份子來共同商議國際電信議題，以期實現即時跟上國際潮流並落實國家資源與電信產業保護發展之目標。

(二)國際間對 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點

國際間在推動 5G Advanced 技術發展的同時，將持續探索和發展未來技術，以確保從 5G 平穩過渡至 2030 年及以後的新一代通訊技術。ITU 於 2023 年提出 IMT-2030 趨勢、使用場景及指標，並規劃於 2024 年至 2029 年持續制訂技術要求與建議書；3GPP 則將於 Rel-20 進行 6G 研究（預計於 2025-2026 年）；Rel-21 制定 6G 基本規範（預計於 2027-2028 年）。

全球 5G 持續發展中，多數低頻段仍用於 3G、4G 或 5G（採技術中立），而 1-6 GHz 兼顧涵蓋範圍和容量，被視為 5G 和 6G 發展的核心頻段；6 GHz 上半頻段（6425-7125 MHz）為 WRC-23 重點討論之議題之一，最終決議為第一區國家開放 U6、第二區僅有巴西和墨西哥開放 U6、第三區國家開放 7025-7125 MHz 頻段供 IMT 使用。U6、7-24 GHz 頻段亦為多數國家近幾年重點研析之頻段，然而此頻段存在既有使用者，如何有效分配頻譜將成為一大課題；至於更高頻段應用潛力待開發，包含毫米波（mmWave）和 Sub-THz 頻段具備極高容量和超可靠低延遲通信（URLLC）的潛力，較適合密集的城市環境。

隨著 6G 應用場景的多元化，對頻譜的需求也日益增加。由於目前難以找到完全閒置的頻譜專供 6G 使用，頻譜共享成為 6G 發展的關鍵議題。國際間需要協調頻譜分配和使用，以最大化頻譜利用率和效率，並確保 6G 與其他無線服務的共存。Next G 聯盟建議考慮以下因素：涵蓋需求、頻寬需求、頻譜連續性、協調和頻譜接取。

(三)Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

針對 Mid band 和諧有效使用機制環境，本研究深入探討 AFC 功能架構，並對 Wi-Fi 聯盟釋出之 AFC 系統參考模型進行研析，先期掌握 AFC 系統，同時，加入 Telecom Infra Project 旗下之 Open AFC 小組，取得國際最新資料，採用該小組 AFC 系統之開源軟體，初步完成 AFC 系統基本建置，並以此為基礎，開發適用我國之 AFC 系統，內容包含系統功能/參數、地理圖資、型式認證資料庫與既有站台管理系統等，並針對 AFC 機制建立更完善的驗證策略，掌握該系統的功能與能力，可助益我國頻譜規劃上更富彈性。

綜合上述，今年本項研究內容包含：「和諧有效使用機制環境建立」、「和諧有效使用機制實測評估」、「建立 AFC 測試手冊」。實際場域測試配合 6GHz 既有微波骨幹站台，參考 AFC 系統依據不同通道模型，如自由空間路徑損耗模型(Free Space Path Loss, FSPL)、WINNER II與不規則地形模型(Irregular Terrain Model, ITM)等計算與分配頻道和對應功率，在三種與既有站台不同距離的測試區間，考量城市、郊區及鄉村三種型態與可視/不可視(LoS/NLoS)兩種情境進行干擾實驗。在標註我國既有微波站台之位置、天線高度、天線場型、天線極化、主頻段/備援頻段、發射功率等資訊後，於驗證場域實證量測，確認在 AFC 系統控制下之 WiFi AP 對既有站台並無產生實質性之干擾，同時為確保在最差情境下亦能符合要求，亦採用訊號產生器進行測試，測試結果亦無造成既有站台傳輸品質下降，而影響其業務進行，證明其頻譜共享的可行性。

在第六代移動通訊的設計願景中，已將頻譜共享列為實現網路無遠弗屆之一環，異質網路間的頻譜共享技術仍處於早期研究階段，結合本計畫的研究產出與 AFC 系統的持續優化，可促使我國在此領域上持續茁壯。

(四)既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕（refarming）技

術研析

本研究針對 5G 固定無線接取、自由空間光通訊及免授權執照固定微波通訊技術進行實測評估，並探討頻譜重耕技術運用之情況。

對於自由空間光通訊技術而言，其優勢在於吞吐量大、傳輸不受來源資料型式影響，其安裝便利，並且無需頻譜使用執照、低功耗且具有高安全性，亦沒有頻譜干擾之疑慮，實測結果 TCP 和 UDP 資料傳輸穩定、速度快且可靠性高，符合 97% 以上的既有微波業者需求，適合 3 公里內的傳輸距離。設置時須對於場域受風力震動之影響進行穩定性評估，另外其傳輸受氣候影響，若有短時強降雨和霧氣時會影響傳輸速度，但不會中斷連線。固定無線接取利用 5G 行動網路進行資料傳輸，具有成本效益、安裝便利、頻譜使用效率高與低設備功耗優勢，設置時需確保站點附近之基地臺參考訊號接收功率（Reference Signal Received Power, RSRP）約為 -65 dBm 左右即可確保訊號品質，並於連結端點布建虛擬專用網路（Virtual Private Network, VPN），亦可保障資料在傳輸過程中的安全性。測試結果 TCP 資料傳輸速度受行動網路幅服務品質（Quality of Service, QoS）之影響；UDP 傳輸速度穩定但有訊框延遲變異，適合傳送乙太網路封包資料。免授權執照頻段微波使用接近日常應用的通信技術設備，在成本和安裝便捷性上具有顯著優勢，而 7 GHz 微波頻段目前頻率使用上較為乾淨，適合做為移頻選項，但需考慮建置、頻率使用費等成本之問題。免授權頻段微波設置時需考慮設置地點同頻是否有干擾，使用頻率與選擇鏈路距離合適時，可大幅降低微波訊號受降雨、大氣環境之影響，5.8 GHz 微波測試結果傳輸速度可維持 163 Mbps 以上，60 GHz 微波則維持 935 Mbps 以上。前述三類通訊技術之三個月測試結果均可達 99.9% 可靠度。

頻譜重耕技術上目前仍持續發展中，除動態頻譜重耕技術上仍需克服許多交互影響外，亦需要確保既有通訊之穩定性和未來發展的可行性。故應持續關注相關國際頻譜使用趨勢，研析未來頻譜重耕技術與相關方法，為 6G 頻譜規劃與重耕提供相關基礎。

(五)6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析

6G 跨域應用整合了多個領域和異質網路，將具備 3D 涵蓋、智慧連結的能力，提供來自地面與非地面的綜合服務。隨著 6G 技術的發展，頻譜使用需求變得多樣化和複雜。本研究分析 6G 對頻譜管理的衝擊，並提出相關的策略和建議。

1. 6G 應用對頻譜的影響：

6G 應用主要特色為 AI 之應用，6G 應用將導致頻譜需求的大幅增加，這也將推動更靈活且高效的頻譜管理技術的發展，6G 系統之頻譜共享技術即是以 AI 為基礎之共享機制，即頻譜之使用，將由自主運作的網路或實體，透過人工智慧、深度學習及分散式協作來協調和管理不同網路之間的頻譜使用，實現頻譜資源的最佳化分配。

2. 6G 新興應用衍生之頻譜競合：

6G 應用時，尤其在跨網路類型地面網路（Terrestrial Networks, TN）與非地面網路（Non-Terrestrial Networks, NTN）使用頻譜時，頻譜競合問題日益重要。TN 通信與 NTN 通信整合為未來 6G 技術應用的關鍵，需考慮與既有系統共享頻譜、避免產生妨害性干擾。NTN 頻譜管理重點在於 service link 干擾議題，其中又以再生模式下，上鏈頻率對既有系統之干擾，最需要關注。NTN 應用，在我國主要用於防救災或防衛動員，商業用途需求有限。

(六)公部門連結小組會議

1. 完成辦理 4 場次公部門連結小組會議，邀集經濟部技術司、經濟部產業發展署及國科會工程處共 3 個單位，針對 6G 推動上之各項議題進行探討與協調，以推動國內 6G 發展。113 年專題包含「WRC-23 世界無線電大會參會分享」、「Innovative Optical Wireless Network Global Forum (IOWN GF) 簡介」、「邁向通訊韌性產業之技術發展」、「6G 國際研發合作案例分享-6G SANDBOX：RISFORCE 計畫」及 3 場次「113 年頻譜發展趨勢分析」。
2. 完成發布 12 期電子報，蒐整國內外會展活動資訊，供產官學界於活動參與前可橫向連結，並提供國際資通訊最新訊息，以促進資源共享，113 年度共發布 105 則國內外活動及資通訊科技發展消息。

(七)其他執行項目與成果彙整

1. 完成辦理 8 場次國內座談會議與分享會議，以及 2 場次國際座談會。邀請先進國家專家學者與我國產、官、學、研機構代表，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。以下分別說明兩場國際座談會議。
 - (1) 為確保我國行動通訊技術演進符合先進國家發展趨勢，並規劃我國 6G 頻譜與國際接軌，針對探究 6G 頻譜整備與共用之發展未來議題延伸探討，邀請印度、韓國及美國等三位國際學者分享 6G 最新趨勢，完成辦理「未來頻譜整備與和諧共用機制發展」之國際座談會。
 - (2) 為掌握我國 6G 應用趨勢，接軌國際標準與制定，並符合 6G 先期產業研發計畫之規劃，聚焦於 B5G、6G 跨域與情

境應用，前瞻 6G 頻譜趨勢，更從 6G 資安與隱私保護，進而探究國際間的技術演進與創新發展。邀請日本、韓國及美國等三位國際學者分享 6G 最新趨勢，完成辦理「6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討」之國際座談會。

2. 完成每月定期發布國內外之頻譜趨勢及發展蒐集相關資料，以每月撰寫 5 則之形式，共完成 60 則國內外頻譜新聞、趨勢及研析，以促進資源共享，掌握國際消息並與國際接軌。
3. 完成每季公告國際頻譜趨勢研析報告，以專題研析之形式撰寫，包含國際頻譜趨勢專題研析 1 篇以及 15 則每月定期公開發布國內外頻譜新聞、趨勢。共完成 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。
4. 以「6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統於臺灣之布建探討」與「行動通訊頻譜規劃及應用策略研究」為論文主題，以產學研究之方式，完成發表 2 篇頻譜效能提升相關主題論文。

四、主要建議事項

(一)立即可行之建議

1. 持續關注國際 6G 發展趨勢

- (1) 應持續關注 ITU 等國際組織在 WRC-27 探討 IMT 頻譜與非地面頻譜於各地區之看法與意見，追蹤 3GPP 制定國際標準之進展，並蒐研主要國家的發展趨勢，如：美國提出未來 6G 頻譜應聚焦於 7-15 GHz 頻段、英國計畫於 2025 年針對 U6 頻段提出混合共享（IMT 與 Wi-Fi）機制之具體方案等。同時，積極參與國際交流與合作，全面掌握 6G 技術發展趨勢。

- (2) 掌握並發展「現行專網場域觀測追蹤」，「Upper 6GHz 影

響評估」，「非地面行動通信研究驗證」，與「未來無線電頻譜資訊更新」等關鍵無線電議題。

2. Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

- (1) 建議針對我國既有站臺資料完善盤點，請業者提供已經拆除或沒有發射的站臺資料，以及正在使用站臺之發射頻率、海拔高度、位置、天線數量、天線型號、空間分集等資料，有利於 AFC 系統計算精度之提升。
- (2) 建議我國 NCC 型式認證資料庫新增針對 6GHz 頻段的產品設備類型如：標準功率、室內低功率和極低功率，制定專屬設備類型代碼，加入相關設備的設備種類，以便 Open AFC 能快速過濾資料並且能更精確地識別設備。

3. 既有使用者移頻替代技術實測評估

- (1) 自由空間光通信安裝便利，無需頻譜使用執照，低功耗且高安全性。適合 2 公里內的傳輸距離，傳輸速度高於 2330 Mbps，可在城市地區的支線使用，具備高可靠度和高速傳輸能力。固定無線接取適合替代已 IP 化之微波系統，目前測試結果傳輸速度上限應設定於 20 Mbps，應與行動業者協調相關 QoS，並需要建立 VPN 保障資料在傳輸過程中的安全性。免授權微波 5.8 GHz 和 60 GHz 頻段可在短距離內提供穩定的資料傳輸，需注意頻段使用情形以減少干擾情況，無線傳輸使用 TDD 多工技術無法介接同步數位階層（Synchronous Digital Hierarchy, SDH）資料，目前僅能傳遞乙太網路封包化之資料。
- (2) 根據測試使用之商用設備，5G FWA CPE 成本約新臺幣四萬，VPN 設備約五萬，免授權頻率微波設備約四萬，自由

光通信設備成本約一百一十餘萬，提供未來作為無線替代技術或增強韌性投入之成本的參考。

(二) 中長期建議

1. 持續關注國際 6G 發展趨勢

- (1) 關注掌握 ITU 與 WRC 議題發展，持續發展討論關鍵無線電議題與凝聚共識，適時提出解決與執行方式，以促進國家頻譜政策之規劃與實施，實現共創共贏。
- (2) 透過會議交流與協商，凝聚各界達成共識，並確保我國通訊及各種新興應用之穩定性與永續性。

2. 多元技術促進頻譜有效使用

- (1) 建議主管機關頻譜管理方面導入新興 AI 技術，包含 AI 資訊系統、AI 感知技術以及 AI 使用者介面，強化頻譜管理的韌性與即時性，提升整體監管效能。
- (2) 持續關注各國頻譜共享議題，包含 AFC 機制以及其他可行共享技術的演進。
- (3) 根據既有使用者的需求，實際導入替代技術評估能否作為移頻或提升通信韌性的參考。
- (4) 未來若有設備商開發更長距離的自由光通信設備，可用於中繼支援長距離骨幹鏈路使用。
- (5) 頻譜重耕技術可依據發展持續研析適用技術，並持續關注國際上之成功案例。未來頻譜重耕應提前準備，特別是針對 6G 中 7-24 GHz 與即將屆期之 4G 低頻段，應對於既有使用者進行詳細盤點與相關應用系統間之干擾分析。

3. 我國 6G 頻譜發展藍圖推動建議

- (1) 針對我國 6G 頻譜整備，本研究已提出我國 6G 頻譜發展藍圖建議，主管機關可參考該整備時程、適用頻段等分年擬定相關推動策略與配套方案。本研究依頻段性質區分為低、中及高頻段，以下分別簡介建議細節。
- (2) 低頻段地面通信用之頻譜，建議分期、分段釋出。例如分 2 期（間隔 3-5 年）及 2 頻段（2 GHz 以下、2-7 GHz）方式釋出頻譜，建議採拍賣方式釋出，以利經由市場機制，反應出頻譜之經濟價值。
- (3) 3.57-4.2 GHz 及 6.425GHz 至 7.125 GHz 之頻譜，建議主管機關持續掌握頻譜使用狀況及頻譜共享技術之成熟度，將之列為 6G 候選頻譜，以利未來規劃使用。
- (4) 6.425GHz 至 7.125 GHz 頻段，在 AFC 驗證可行後，也可以規劃為免執照之 Wi-Fi 7 使用。
- (5) 因應我國部分行動通信頻段於 119 年、122 年陸續屆期，為充分運用並有效分配稀缺資源以發揮其效益，建議主管機關邀集利害關係人召開專題會議，重點討論頻譜釋出順序、配置方式以及新頻譜釋出之可能性等議題。頻率範圍包含屆期重新釋出頻段(700、900、1800、2100、2500/2600 MHz)、閒置頻段（如：600 MHz）、既有使用者頻段（如：U6、7-15 GHz）、毫米波頻段等。
- (6) NTN 應用在我國主要需求為用於防救災或防衛動員，商業用途需求不高。建議主管機關持續掌握市場現況，於 WRC-27 有明確決議後，再考量我國現況進行頻譜整備及規劃。

Abstract

Keywords : 6G 、 6GHz 、 Spectrum 、 AFC 、 Spectrum Sharing 、
Spectrum refarming 、 Free-space Optical Communication 、 5G Fixed
Wireless Access 、 Fixed Microwave 、 Mid Band

I. Introduction

In recent years, 6G has emerged as a central issue in global technological and geopolitical competition, holding critical industrial and national strategic value. Major countries such as the United States, the European Union, South Korea, and China have actively invested resources to foster collaboration among industry, government, academia, and research institutions to jointly explore 6G technologies, spectrum resources, and application demands. Technical standards and spectrum allocation have become key areas of international competition.

This study focuses on 6G spectrum preparation and application planning. In terms of spectrum preparation, candidate 6G frequency bands have been included as agenda items in the 2023 World Radiocommunication Conference (WRC-23), with countries expected to begin preparations based on the resolutions and continue discussions in WRC-27. This study examines international spectrum trends, analyzes potential frequency band options, and verifies the Automated Frequency Coordination (AFC) mechanism and alternative technologies through field testing to enhance flexibility in domestic spectrum planning. On the application side, 6G is anticipated to enable cross-domain connectivity and network integration, but it may also face challenges related to spectrum resource competition.

Building on the achievements of previous 6G-related projects, this

study continues to advance candidate frequency band preparation, efficient spectrum harmonization, and application scenario planning. At the same time, the study maintains Pre-6G Inter-ministerial Cooperation Working Group collaboration mechanism fostering collective efforts to prepare for 6G technology and spectrum development proactively. This ensures that the regulatory authorities can balance the legitimate usage rights of existing users while accommodating Taiwan's policy vision for emerging 6G communication applications.

II. Research Method and Process

This project employs research methods including literature analysis, comparative analysis, and experimental research proof of Concept (PoC). First, through literature analysis, the study examines domestic and international trends in 6G technology, market developments, and spectrum management. Official documents, international research reports, and academic findings are collected to establish a solid research foundation. Based on literature and case analysis, the study identifies international 6G candidate frequency bands, optimizes the domestic spectrum environment, and provides policy recommendations to promote industry and technological development.

Next, the study focuses on verifying effective spectrum harmonization mechanisms by conducting AFC system tests and evaluating alternative technologies. Testing sites are established to evaluate multiple communication technologies, verifying wireless communication resilience and performance.

To ensure a comprehensive and well-rounded study, the project hosts seminars to share research outcomes, inviting domestic and

international experts to provide insights on key issues. Feedback gathered helps refine the research direction and enhance its depth. Ultimately, the study offers concrete recommendations to support Taiwan's 6G technology development and policy vision, laying the groundwork for future 6G applications and spectrum planning to foster industrial development.

III. Important Findings

1. 6G Spectrum and New Regulatory Framework are conducted by ITU

The International Telecommunication Union (ITU) is the leading United Nations agency for telecommunication technologies. The role of ITU Radiocommunication Sector (ITU-R) includes revising the Radio Regulations (RR), studying issues in communication technology and operations, drafting recommendations, and registering radio frequency.

World Radiocommunication Conferences 2023 (WRC-23) have paved a solid path toward a more connected, sustainable, equitable, and inclusive digital future for all. With the remarkable achievements, WRC-23 will be pivotal in shaping the future technical and regulatory frameworks in allocating and identifying spectrum for the provision of radiocommunication services in all countries. To address the unsolved radio frequency issues in WRC-23, ITU-R is invited to conduct studies and provide supporting materials and recommendations toward WRC-27. In the next four years, ITU-R will keep conducting studies for WRC-27 agenda items with determined study groups, including the radio services in both terrestrial and space areas, and keep shaping the future of IMT development in the next decade. The highlight issues in WRC-27 would be the new spectrum from 7 GHz to 15 GHz for terrestrial

services, and also the communication in Mobile Satellite Service (MSS) for Direct-to-Device (D2D) in the frequency bands between 700 MHz and 2700 MHz. Moreover, ITU would also welcome global communities, including administrators, international organizations, and private sectors, to contribute and join the discussion for building the consensus before WRC-27.

2. Analysis of 6G candidate bands worldwide and inventory of existing domestic users

As the global community advances 5G Advanced technologies, efforts to explore and develop future innovations are ongoing to ensure a smooth transition from 5G to the next generation of communication technologies by 2030 and beyond. In 2023, the ITU introduced trends, use cases, and performance indicators for IMT-2030, outlining plans to develop technical requirements and recommendations from 2024 to 2029. Similarly, 3GPP will conduct 6G research in Release 20 (expected in 2025–2026) and establish foundational 6G standards in Release 21 (expected in 2027–2028).

Amid the continued global development of 5G, most low-frequency bands remain allocated to 3G, 4G, or 5G under a technology-neutral framework. The 1–6 GHz range, which balances coverage and capacity, is considered a core spectrum for both 5G and 6G development. The upper 6 GHz band (6425–7125 MHz) was a key topic at WRC-23, resulting in decisions to open U6 for Region 1 countries, allow U6 use in Brazil and Mexico within Region 2, and allocate the 7025–7125 MHz band for IMT use in Region 3 countries.

The U6 and 7–24 GHz bands have also been priority areas of study for many nations in recent years. However, these bands face challenges

due to existing users, making efficient spectrum allocation a pressing issue. For higher-frequency bands, including millimeter-wave (mmWave) and sub-THz frequencies, significant potential exists for ultra-high capacity and ultra-reliable low-latency communications (URLLC), making these bands particularly suitable for dense urban environments.

As 6G applications diversify, the demand for spectrum continues to grow. Given the difficulty of identifying fully vacant spectrum exclusively for 6G, spectrum sharing has become a critical issue in 6G development. International coordination in spectrum allocation and usage is essential to maximize efficiency, ensure coexistence between 6G and other wireless services, and address increasing spectrum demands. The Next G Alliance has recommended considering key factors such as coverage requirements, bandwidth needs, spectrum continuity, coordination, and spectrum access.

3. Establishing and testing of the harmonization and Effective Use Mechanism environment of Mid-band

In the context of harmonized and effective usage mechanisms for the mid-band, this research delves into the architecture of the AFC (Automatic Frequency Control) function and analyzes the AFC system reference model released by the Wi-Fi Alliance. The study aims to grasp the AFC system in advance, while also joining the Open AFC group under the Telecom Infra Project to obtain the latest international data. By utilizing the open-source software of the AFC system from this group, we have initially completed the basic setup of the AFC system. Based on this foundation, we are developing an AFC system suitable for our country, which includes system functions/parameters, geographic

data, certification databases, and existing station management systems. Furthermore, we are establishing a more comprehensive verification strategy for the AFC mechanism to understand the system's functions and capabilities, which will benefit our country's spectrum planning with greater flexibility.

In summary, this year's research includes: "Establishing a harmonized and effective usage mechanism environment," "Evaluating the practical implementation of the harmonized and effective usage mechanism," and "Creating an AFC testing manual." Practical field tests will be conducted in conjunction with existing 6GHz microwave backhaul stations, referencing the AFC system based on different channel models, such as the Free Space Path Loss (FSPL) model, WINNER II, and the Irregular Terrain Model (ITM) for calculating and allocating channels and corresponding power. Interference experiments will be carried out in three test areas at varying distances from existing stations, considering urban, suburban, and rural scenarios, as well as line-of-sight (LoS) and non-line-of-sight (NLoS) conditions.

In the design vision for the sixth generation of mobile communications, spectrum sharing has been identified as a key component for achieving ubiquitous network access. The technology for spectrum sharing among heterogeneous networks is still in the early stages of research. The continuous optimization of the AFC system, combined with the outcomes of this project, can foster sustained growth in this field for our country.

4. Evaluating frequency migration alternatives and spectrum refarming technologies for existing users

This study conducts empirical evaluations on 5G Fixed Wireless Access (FWA), Free Space Optical (FSO) communication, and unlicensed fixed microwave communication technologies, and explores the application of spectrum refarming techniques.

For Free Space Optical (FSO) communication technology, its advantages include high throughput, transmission unaffected by the type of source format, easy installation, no need for spectrum usage licenses, low power consumption, and high security, with no concerns about spectrum interference. Empirical results show that TCP and UDP data transmission is stable, fast, and highly reliable, meeting the needs of more than 97% of existing microwave operators, suitable for transmission distances within 3 kilometers. During installation, it is necessary to assess the stability of the site against wind-induced vibrations. Additionally, its transmission is affected by weather conditions; short-term heavy rain and fog can affect transmission speed but will not interrupt the connection.

5G FWA uses 5G mobile networks for data transmission, offering cost-effectiveness, easy installation, high spectrum efficiency, and low equipment power consumption advantages. During installation, it is necessary to ensure that the Reference Signal Received Power (RSRP) near the site is around -65 dBm to ensure signal quality. Deploying a Virtual Private Network (VPN) at the connection endpoints can also ensure data security during transmission. Test results show that TCP data transmission speed is affected by the Quality of Service (QoS) of the mobile network; UDP transmission speed is stable but has frame delay variation, making it suitable for transmitting Ethernet packet data.

Unlicensed microwave frequency bands, often used in communication technology devices close to daily applications, offer

significant advantages in terms of cost and installation convenience. The 7 GHz microwave band, currently less congested, presents a viable option for frequency shifting. However, considerations such as setup and frequency usage fees must be addressed.

When deploying unlicensed microwave frequencies, it is essential to evaluate potential interference at the installation site and ensure that the chosen frequency and link distance are appropriate. This approach can significantly reduce the impact of rain and atmospheric conditions on microwave signals. Test results for 5.8 GHz microwave show transmission speeds exceeding 163 Mbps, while 60 GHz microwave achieves speeds above 935 Mbps. Over three months of testing, all three communication technologies demonstrated 99.9% reliability.

Spectrum refarming technology is still under continuous development. In addition to overcoming many interactive effects in dynamic spectrum sharing technology, it is also necessary to ensure the stability of existing communications and the feasibility of future development. Therefore, it is essential to continuously monitor relevant international spectrum usage trends, analyze future spectrum refarming technologies and related methods, and provide a foundation for 6G spectrum planning and refarming.

5. Analyzing the Impact of 6G Cross-Domain Applications on Spectrum Management Systems

6G cross-domain applications integrate multiple fields and heterogeneous networks, offering capabilities such as 3D coverage and intelligent connectivity, and providing comprehensive services from terrestrial and non-terrestrial sources. As 6G technology evolves, spectrum usage demands have become increasingly diverse and complex. This study

analyzes the impact of 6G on spectrum management and proposes relevant strategies and recommendations.

(1) Impact of 6G Applications on Spectrum:

A key feature of 6G applications is the integration of AI. These applications will significantly increase spectrum demand, driving the development of more flexible and efficient spectrum management technologies. The spectrum-sharing technologies in 6G systems are AI-based sharing mechanisms, where spectrum usage is coordinated and managed through autonomous networks or entities using artificial intelligence, deep learning, and distributed collaboration, achieving optimal allocation of spectrum resources.

(2) Spectrum Competition Arising from Emerging 6G Applications:

With 6G applications, particularly in cross-network types (TN and NTN), spectrum competition issues become increasingly critical. The integration of TN (terrestrial network) and NTN (non-terrestrial network) communications is essential for future 6G technology applications. It is necessary to consider spectrum sharing with existing systems to avoid harmful interference. The focus of NTN spectrum management is on service link interference issues, particularly uplink interference to existing systems in regenerative mode. In Taiwan, NTN applications are primarily for disaster prevention and defense mobilization, with limited demand for commercial use.

6. Pre-6G Inter-ministerial Cooperation Working Group

The Pre-6G Inter-ministerial Cooperation Working Group has made significant progress in advancing 6G development in Taiwan. Four meetings were held, engaging the MOEA, IDA, and NTSC to discuss and

coordinate various 6G-related topics, including WRC-23 insights, IOWN GF introduction, communication resilience technologies, and international collaboration through initiatives like the 6G SANDBOX: RISFORCE project. Additionally, the group released 12 e-newsletters, providing 105 updates on global events and ICT developments to enhance resource sharing among academia, industry, and government.

7. Other Implementation Items and Achievements Summary

(1) Completion of 8 Domestic Seminars and 2 International symposium

A total of 8 domestic seminars and 2 international symposium were successfully held, inviting experts from advanced countries as well as representatives from Taiwan's industry, government, academia, and research institutions. These events focused on discussions related to international spectrum trends, policy promotion, technological evolution, inventory of potential spectrum, and spectrum release planning. Below is a detailed description of the two international symposia:

A. International Symposium of “Spectrum of Tomorrow ”

To ensure the mobile communication technologies of Taiwan evolve in line with the development trends of advanced countries and to plan Taiwan's 6G spectrum in alignment with international standards, this symposium explored future issues regarding the preparation and sharing of 6G spectrum. The event invited international scholars from India, South Korea, and the United States to share the latest trends in 6G. The symposium focused on the development of future spectrum planning and the establishment of harmonized sharing mechanisms, fostering valuable exchanges on these topics.

B. International Symposium of “ 6G prevision of future”

To keep up with Taiwan's 6G application trends, align with international standards and regulations, and meet the early-stage research and development plans for 6G, this symposium focused on B5G and 6G cross-domain and scenario-based applications. The event provided a forward-looking perspective on 6G spectrum trends, with particular emphasis on 6G cybersecurity and privacy protection. The discussions also covered international technological progress and innovative development in the 6G field. Representatives from advanced countries, as well as Taiwan's industry, government, academia, and research institutions, participated in this symposium, promoting collaboration and knowledge sharing International Seminar on 6G Spectrum Development

To ensure that the evolution of Taiwan's mobile communication technology aligns with the development trends of advanced countries, and to plan Taiwan's 6G spectrum in alignment with international standards, an international seminar was held. The seminar explored the future development issues of 6G spectrum preparation and sharing, with three international scholars from India, South Korea, and the United States sharing the latest 6G trends.

(2) Monthly Publication of Spectrum Trends and Developments

A regular monthly publication was completed, collecting and analyzing domestic and international spectrum trends and developments. A total of 60 articles, comprising five articles each month, were written and published, promoting resource sharing, keeping track of international developments, and ensuring alignment with global trends.

(3) Quarterly International Spectrum Trend Analysis Reports

Quarterly international spectrum trend analysis reports were completed, and written in the form of specialized research. Each report included one in-depth analysis of international spectrum trends and 15 monthly updates on domestic and international spectrum news and trends. A total of four quarterly reports were completed, promoting resource sharing, advancing collaboration in spectrum management and technology development, and laying a foundation for future communication technologies.

(4) Publication of Two Papers on Spectrum Efficiency Improvement

Two papers were published on the topics of "Deployment of the 6 GHz Wi-Fi Automatic Frequency Coordination System in Taiwan" and "Mobile Communication Spectrum Planning and Application Strategies." These papers were completed through industry-academia collaboration, contributing to the research on spectrum efficiency improvement.

IV. Main Recommendations

1. Recommendations that can be implemented immediately

(1) Following the continued international 6G development trend.

- A. It is essential to continuously monitor the perspectives and opinions of the International Telecommunication Union (ITU) at WRC-27 regarding IMT spectrum and non-terrestrial spectrum across different regions. Additionally, the progress of international standards development by 3GPP should be closely followed, along with research on the development

trends of major countries. For instance, the United States has proposed focusing future 6G spectrum on the 7–15 GHz band, while the United Kingdom plans to introduce a concrete hybrid sharing mechanism (IMT and Wi-Fi) for the U6 band by 2025. At the same time, active participation in international exchanges and collaborations is crucial to gaining a comprehensive understanding of 6G technological development trends.

- B. Master and develop key radio issues such as "current private network field observation and tracking", "Upper 6GHz impact assessment", "non-terrestrial mobile communication research and verification", and "future radio spectrum information update".

(2) Establishment and testing of the harmonization and Effective Use Mechanism environment of Mid-band.

- A. It is recommended that our country conduct a comprehensive inventory of existing station data, requesting operators to provide information on decommissioned or non-operational stations, as well as details on active stations such as transmission frequencies, altitude, location, number of antennas, antenna models, and spatial diversity. This will help improve the accuracy of AFC system calculations.
- B. It is recommended that our country's NCC certification database add product equipment types for the 6GHz frequency band, such as: standard power, indoor low power, and very low power. Specialized equipment type codes should be established, and relevant equipment categories should be included, so that Open AFC can quickly filter data and more

accurately identify equipment.

(3) Evaluation of frequency shifting replacement technologies for existing users and research and analysis of spectrum refarming technologies

- A. Free-space optical communication (FSO) excels in short-range, high-reliability applications like urban backhaul, boasting easy installation, license-free spectrum, low power consumption, high security, and speeds exceeding 2330 Mbps. Fixed wireless access presents an alternative to traditional microwave systems, although current speeds are limited to 20 Mbps, requiring coordination with mobile operators for QoS and VPN implementation for secure data transmission. Unlicensed microwave operates in the 5.8 GHz and 60 GHz bands, enabling stable short-range data transmission, but careful frequency management is crucial to minimize interference. Limitations include incompatibility with Synchronous Digital Hierarchy (SDH) data interfaces due to TDD multiplexing technology, currently restricting transmission to Ethernet packet data.
- B. Cost Evaluation: Based on commercial equipment used in tests, the cost of 5G FWA CPE is approximately NT\$40,000, VPN equipment around NT\$50,000, unlicensed microwave equipment around NT\$40,000, and free space optical communication equipment around NT\$1.1 million. These costs provide a reference for future investments in wireless alternative technologies or enhancing resilience.

2. Medium- and long-term recommendations

(1) Following the continued international 6G development trend.

- A. Conducting a long-term regulatory framework for sustaining the spectrum provision and facilitating the management work with stability and transparency.
- B. Through conference exchanges and consultations, a consensus among various sectors is forged to ensure the stability and sustainability of Taiwan's communications and emerging applications.

(2) Multiple technologies promote the effective use of spectrum.

- A. It is recommended that the regulatory authorities introduce emerging AI technologies in spectrum management, including AI information systems, AI sensing technologies, and AI user interfaces, to enhance the resilience and real-time capabilities of spectrum management, thereby improving overall regulatory efficiency.
- B. Continuously monitor spectrum sharing issues in various countries, including the evolution of the AFC mechanism and other feasible sharing technologies.
- C. Evaluation of Alternative Technologies: Based on existing user needs, evaluate the feasibility of implementing alternative technologies as a reference for frequency migration or enhancing communication resilience.
- D. Development of Long-distance Equipment: If manufacturers develop longer-distance free space optical communication equipment in the future, it can be used for relay support in long-distance backbone links.

- E. Spectrum Refarming Technology: Continuously analyze applicable technologies based on development and keep track of international success stories. Future spectrum refarming should be prepared in advance, especially the FR3 band in 6G and the expiring low-frequency band in 4G. Conduct a detailed inventory of existing users and analyze interference between related application systems.

(3) Proposals to promote the development of 6G spectrum blueprint in Taiwan.

- A. Regarding the 6G spectrum preparation in Taiwan, this study has proposed a development blueprint for 6G spectrum planning. The regulatory authority may refer to the proposed timeline and applicable frequency bands to formulate phased strategies and supporting measures. Based on the characteristics of frequency bands, this study categorizes them into low, medium, and high-frequency bands, with the detailed recommendations summarized as follows.
- B. It is recommended to release a low-frequency spectrum for terrestrial communications in phases and segments. For example, the spectrum can be released in two phases (spaced 3–5 years apart) and two frequency bands (below 2 GHz and 2–7 GHz), using an auction-based approach.
- C. The 3.57–4.2 GHz and 6.425–7.125 GHz frequency bands are recommended to be monitored by regulatory authorities for spectrum usage and the maturity of spectrum-sharing technologies, and to be designated as candidate spectrum for 6G.

- D. The 6.425–7.125 GHz band, after confirming the feasibility of AFC, can also be planned for unlicensed Wi-Fi 7 use.
- E. In response to the expiration of certain mobile communication frequency bands in Taiwan in 2030 and 2033, it is recommended that the regulatory authority convene dedicated meetings with stakeholders. These meetings should focus on key issues such as the sequence of spectrum release, allocation methods, and the potential release of new spectrum. The frequency ranges under consideration include bands due for reallocation upon expiration (700, 900, 1800, 2100, and 2500/2600 MHz), unused bands (e.g., 600 MHz), bands currently used by existing users (e.g., U6, 7–15 GHz), and millimeter-wave bands.
- F. In Taiwan, the primary demand for NTN applications is for disaster prevention or defense mobilization, with limited commercial use. It is recommended that regulatory authorities continue monitoring market conditions and, after clear decisions at WRC-27, consider Taiwan's specific situation for spectrum preparation and planning.

第一章 緒論

第一節 計畫緣由

一、計畫背景與動機

科技已經成為全球權力競爭的主要戰場，第六代行動通信系統（6th generation wireless systems, 6G）具有產業經濟、國家總體策略等多重關鍵價值，全球主要國家與區域，如美國、歐盟、英國、日本、韓國與中國大陸等，已密切投入資源使產、官、學、研單位一同探索 6G 趨勢，了解 6G 相關頻譜、技術與應用面需求。6G 不同於過去通信世代，將更為確立整合通信系統與數位科技應用的技術架構，因此不只通信系統，相關的數位科技應用、頻譜、技術標準亦將成為國際之間兵家必爭之地。爰此，本研究針對 6G 頻譜整備及應用規劃面向進行研析與驗證。

在頻譜整備方面，6G 使用頻譜資源議已被國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）列入 2023 年世界無線電大會（World Radiocommunication Conferences, WRC-23）議題，各先進國家陸續依照會議決議，進入下一階段 6G 候選頻段整備。爰此，本研究掌握國際組織如 ITU 與先進國家對於 6G 頻譜規劃與整備趨勢、盤點潛在候選頻段選項，及早掌握未來發展方向，同時完成自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）之和諧有效使用機制研析及驗證，以增加我國頻譜規劃之彈性，並研提未來 6G 其他技術和諧共用可行性建議與驗證，顧及既有使用者合法使用權益，且兼顧我國發展新興 6G 通信應用發展之政策願景。

在 6G 應用規劃部分，現階段國際間普遍認為 6G 將可實現跨多個領域整合、跨域連網整合的能力。本研究探究當 6G 跨域應用使用相同範圍或相鄰範圍之頻譜資源時，可能衍生之頻譜競合議題。進一步考量我國資通信產業針對 6G 潛在應用可能發展方向，研擬頻譜分

配之初步建議以及頻譜使用應負擔之規範等。

綜上所述，考量國際間對於 6G 候選頻段之整備進度及和諧共用措施亦有差異，所關注之 6G 應用情境更不盡相同，故本研究延續過往執行數位發展部 6G 頻譜、應用相關計畫之執行成果與經驗，執行本案有關研析 6G 候選頻段之整備制度、和諧共用機制、移頻調查、應用情境等相關研究，達到顧及既有使用者之權益，且兼顧我國發展新興 6G 通信應用發展之政策願景；同時，本研究維運公部門連結小組，針對 6G 頻譜與應用相關議題，橫向連結政府資源，進行跨部會協商與資訊分享，以利提前布局我國 6G 頻譜整備及跨領域應用技術，奠定 6G 產業發展穩固根基，希冀使主管機關完備推動我國 6G 發展各項策略措施，讓國人能早日享有第六代行動通訊帶來之各種創新應用服務。

二、研究主題

科技地緣政治競爭持續發生，促使國際組織與主要國家加速投入資源 6G 技術布局、搶占 6G 市場先機。為協助主管機關完備我國發展新興 6G 通信應用發展之政策願景，故本研究從我國 6G 頻譜整備及應用面向進行研析與驗證，研究計畫主題說明如下：

(一) ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測

著眼全球 6G 頻譜發展趨勢，本案持續參與 ITU 相關會議討論，並追蹤觀測國際無線電管理議題以及其後續發展，做為研擬國家頻譜整備政策之重要參考。此外，考量到長期未來 ITU 相關知識與經驗之專業累積培養，因此亦規劃運用現有資源，向外尋求國際單位之合作，以期實現參與 ITU 相關組織之活動，以利 6G 跨域應用之發展。

綜上，本項研究內容如下：

- WRC-23 會後之頻譜整備政策觀測研析；
- 彙整 ITU 關注議題之發展趨勢、實證專案之最新測試進度；
- 參與 ITU 相關組織，協助掌握 6G 跨域應用之發展方向及我國參與合作機會。

(二) 國際間對 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點

本研究延續 2023 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、WRC-23 大會有關 6G 議題之決議與未來 WRC-27 之聚焦議題，以及對於 6G 技術先期發展所探討之 6G 潛在應用情境、候選頻譜與技術方案立場；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，並參考電信業者參與各國 6G 政策之現況，說明產業界投入 6G 之趨勢。本研究亦派員出席西班牙巴塞隆納舉行之世界行動通信大會（Mobile World Congress, MWC），實際掌握產業第一手推動 6G 發展之狀態，並蒐集相關會議資訊後回國分享給產官學研各界代表，提升各界對於 6G 願景之掌握程度。

本研究研析對象分別包含：國際電信聯合會、亞太地區電信組織、3GPP、GSMA、NGMN、Next G Alliance、6G Flagship、歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國針對各國 6G 政策、頻段計畫之異同進行分析，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，供主管機關早日研擬符合國際趨勢之頻譜政策。

綜上，本項研究內容如下：

- 國際組織推動 6G 相關資訊研析；

- 主要國家與地區推進 6G 發展之現況觀測；
- 6G 候選頻段之國內既有使用者盤點；
- 出席西班牙巴塞隆納舉行之 MWC 會議，並辦理會後分享會議；
- 整理並產出每月國內外頻譜新聞及趨勢至少 5 則；
- 與產業與學研單位合作發表頻譜效能提升相關主題之會議論文至少 2 篇；
- 產出每季國內外頻譜新聞及趨勢初步研析至少 1 篇。

(三) Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

針對 Mid band 和諧有效使用機制環境，本研究深入探討 AFC 釋出之軟體功能架構，並對 Wi-Fi 聯盟釋出之 AFC 系統參考模型進行研析，先期掌握 AFC 系統，研究團隊已加入 Telecom Infra Project 旗下之 Open AFC 小組，並運用該小組主要 AFC 系統之開源軟體初步完成 AFC 系統基本建置，執行時主要針對 AFC 機制進行更完善的建置與驗證，以利我國頻譜規劃上更富有彈性。

綜上，本項研究內容如下：

- 和諧有效使用機制環境建立；
- 和諧有效使用機制實測評估；
- 建立 AFC 測試手冊。

(四) 既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕 (refarming) 技術研析

本研究延續先前於 2023 年 6G 頻譜整備研析計畫中研析之電臺移頻可行性建議與配套方案報告，針對 5G 固定無線接取、自由空間光通信與兩種微波頻段技術進行實測分析，以利評估透過相關替代技術維護我國重要通信鏈路的可靠度，本研究研析固定微波鏈路下其他可行方案，作為未來通信路由替代方案建議，強化無線通

信韌性的可能。

綜上，本項研究內容如下：

- 替代技術實測評估；
- 替代技術建置導入之額外分析；
- 頻譜重耕（refarming）技術研析；
- 盤點 FR3 頻段（7-24GHz）既有使用者各項資訊並加以彙整分類。

(五) 6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析

因應後 5G（第 5 代行動通信系統）時代，全球行動通信產業聚焦於第 6 代（6G）的應用及標準的訂定。目前普遍認為將於 2030 年確定第 6 代行動通信系統的技術標準。技術標準中至關重要的是頻譜使用範圍及所需頻寬。而頻譜整備因要考量既有合法用戶，所以需要長期的規劃與準備。本研究依照不同類型之 6G 網路區分不同情境，分析不同應用間之特性、所需頻譜資源、探討潛在頻譜資源競合議題後，進一步考量我國資通信產業針對 6G 潛在應用可能發展方向，研擬頻譜分配之初步建議以及頻譜使用應負之義務。相關成果可作為主管機關評估未來 6G 頻譜整備之參考。

綜上，本項研究主題安排如下：

- 調適 6G 跨域網路整合與應用型態對頻譜資源管理制度之影響分析；
- 探索 6G 新興應用衍生頻譜競合議題之觀測分析；
- 研析 6G 應用之頻譜分配方向及相關頻譜整備策略。

(六) 公部門連結小組會議

公部門連結小組設立為國家科學及技術委員會科技辦公室指導，為聯繫「6G 產業發展先期研發計畫」項下，各工作組進行跨

部會協商及意見整合，包含雛型系統與國際布局、國際連結暨產業應用、頻譜整備及跨領域發展及部會合作與協調推進等工作專案，將有經濟部產業技術司、經濟部產業發展署、數位發展部資源管理司及國家科學及技術委員會工程技術研究發展處共同參與，進行跨部會協商與意見整合，橫向連結政府資源掌握國際趨勢。

綜上，本項研究主題安排如下：

- 辦理至少 4 場次公部門連結小組會議；
- 每月發布公部門連結電子報；
- 辦理 1 場次國際組織之 6G 應用或標準發展進程分享會議；
- 辦理 1 場次 6G 應用相關議題之國際座談會議，並邀請至少 3 位國際專家學者來臺出席會議。

(七) 座談會或經驗分享會議

本研究座談會探討議題，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專案進行研析與討論，透過舉辦小型座談會方式，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，本項座談會或經驗分享會議安排如下：

- 辦理 6 場次國內座談會；
- 辦理 1 場次頻譜相關議題之國際座談會，邀請至少 3 位國際專家學者來臺參與。

第二節 計畫分析架構

本研究依據委託機關採購案計畫書委託辦理內容，依序敘述執行工作專案如下：

- 工作專案一：履約期間視數發部需求提供與本案相關服務；
- 工作專案二：提供本案計畫未來 2 年之執行架構（Framework）；
- 工作專案三：派駐 2 名常駐履約人員；
- 工作專案四：國際間對 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點；
- 工作專案五：Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測；
- 工作專案六：既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕（refarming）技術研析；
- 工作專案七：ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測；
- 工作專案八：6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析；
- 工作專案九：辦理 7 場次座談會議（國內與國際）或經驗分享會；
- 工作專案十：維運公部門連結小組會議。

本研究之研究架構圖如下：

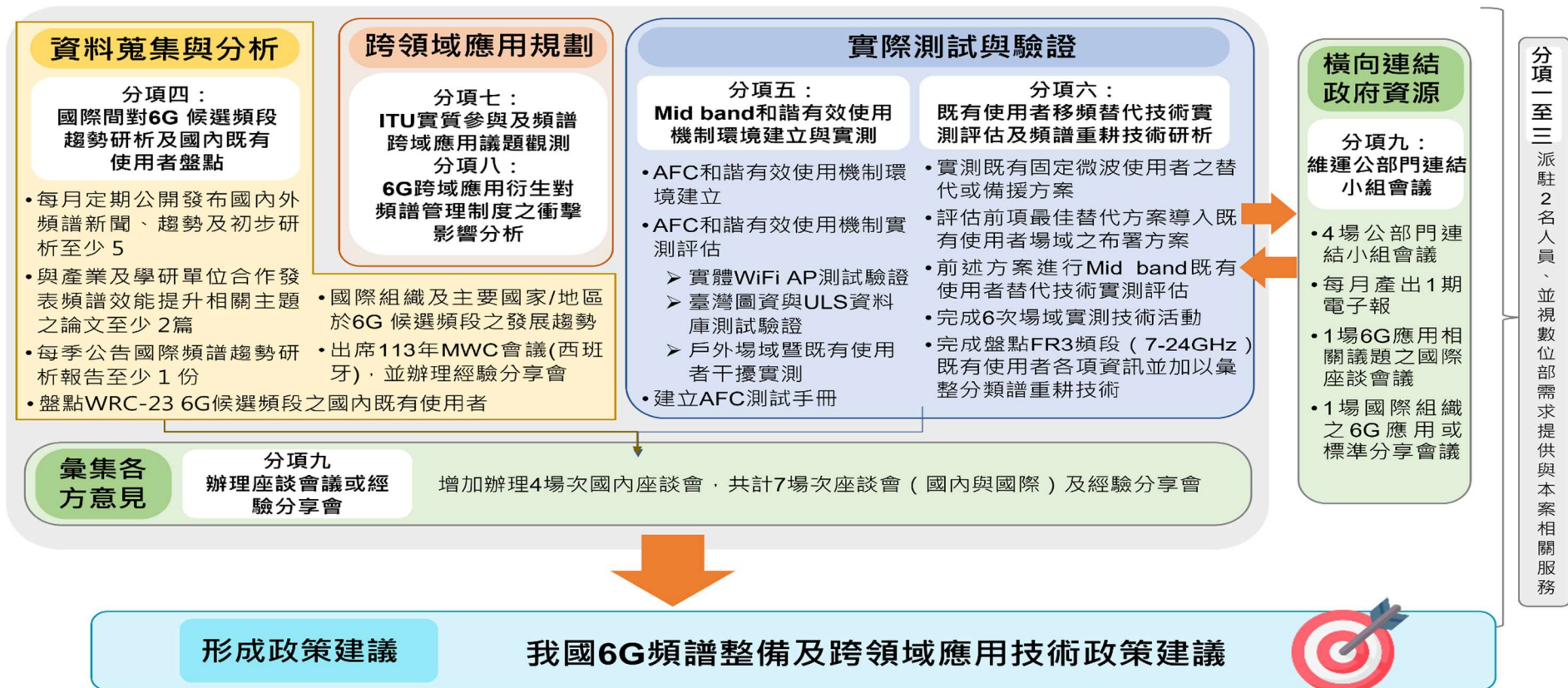


圖 1- 1、本計畫之研究架構

資料來源：本研究整理

根據以上研究架構與工作專案，本研究工作進度時程圖如下：

●：為重要交付時間點

6/3交付期中報告

11/1交付期末報告

工作項目	113年 月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
行政支援與幕僚作業												
1. 履約期間提供服務												
2. 本案計畫未來2年之執行架構												
3. 派駐人力規劃												
國際間對6G候選頻段趨勢與應用												
1. 研析國際標準組織及主要國家 6G 候選頻段之最新發展趨勢												
2. WRC-23 6G 候選頻段之國內既有使用者盤點												
3. 出席113年MWC會議(西班牙巴塞隆納)，提交國際產業界最新頻譜及應用發展趨勢報告、會議紀錄，進行分享報告												
4. 每月國內外頻譜新聞及趨勢至少5則	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5. 每季國內外頻譜新聞及趨勢初步研析至少1篇				●				●		●		●
6. 與產業與學研單位合作發表頻譜效能提升相關主題之會議論文至少2篇											●	●
Mid band和諧有效使用機制環境建立與實測												
1. AFC和諧有效使用機制環境建立												
2. AFC和諧有效使用機制實測評估												
3. 建立AFC測試手冊												
既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術研析												
1. 替代技術實測評估												
2. 替代技術建置導入之額外分析												
3. 頻譜重耕技術研析												
4. 完成盤點FR3頻段(7-24GHz)既有使用者各項資訊並加以彙整分類												
ITU實質參與及頻譜跨域應用議題觀測												
1.彙整WRC-23重要決議、關注重點及發展趨勢。												
2.針對WRC-23出席成果提出政策建議。												
3.彙整ITU關注議題之發展趨勢、實證項目之最新測試進度。												
4.參與ITU相關組織，協助掌握6G跨域應用之發展方向及我國參與合作機會。												
6G跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析												
1.調適6G跨域網路整合與應用型態對頻譜資源管理制度之影響分析。												
2.探索6G新興應用衍生頻譜競合議題之觀測分析												
3.彙整我國產業現況及未來規劃，研析6G應用之頻譜分配方向及應負使用義務，提出研析報告1份。												
公部門連結小組												
1. 辦理公部門連結小組會議4場次			●			●			●			●
2. 每月應產出至少1 期電子報												
座談會辦理												
1. 國內座談會新增4場次，共計6場次				●						●		
2. 國際座談會2場次								●				
3. 經驗分享會議2場次		●			●							

圖 1-2、本研究工作進度時程圖

資料來源：本研究整理

表 1-1、本研究雙周進度表

查核點	一、國際間對 6G 候選頻段趨勢與應用	二、Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	三、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術	四、ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測	五、公部門連結小組	六、6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析
1 (2024/01/12)	【3GPP】對於 5G、6G 技術演進與潛在頻譜議題	OPEN AFC 既有站臺參數研析。 規劃 AFC 測試平臺優化專案。	各技術之站臺篩選標的過濾	WRC-23 會議文件整理研析 – (行動通信議題部分)	MWC 行前交流會籌備	-
2 (2024/01/26)	【歐盟】於 6G 候選頻段之最新發展趨勢	蒐研國內既有站臺資訊。 規劃建置 AP 的 AFC 功能。	頻譜重耕定義與類型介紹	WRC-23 會議文件整理研析 – (行動通信議題部分)	發布 2 月份公部門連結小組電子報	-
3 (2024/02/09)	農曆新年	農曆新年	農曆新年	農曆新年	農曆新年	農曆新年
4 (2024/02/23)	研析 WRC-23 最終決議初稿 (IMT)	規劃建置既有站臺資料庫。	聯繫各單位之站臺架設意願	WRC-23 會議文件整理研析 – (衛星與其他議題部分)	辦理 MWC 行前交流會	-
5 (2024/03/08)	【NEXT G】、【英國】對於 6G 候選頻段之最新發展趨勢 2/24-3/2 出席 MWC 會議	建置既有站臺資料庫開發環境。 規劃干擾測試情境。	頻譜重耕國際案例介紹	WRC-23 後發展趨勢研究彙整	發布 3 月份公部門連結小組電子報	-

查核點	一、國際間對 6G 候選頻段趨勢與應用	二、Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	三、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術	四、ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測	五、公部門連結小組	六、6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析
6 (2024/03/22)	【中國】對於 6G 候選頻段之最新發展趨勢 啟動籌備國際會議	建置 AP 的軟體開發環境。 調整干擾測試情境。	協同系統商進行站臺會勘	公部門連結小組第一次會議 WRC-23 世界無線電大會參會簡報	籌備第一次公部門連結小組會議	-
7 (2024/04/05)	【GSMA】、 【NGMN】對於 6G 候選頻段之最新發展趨勢 完成 Q1 國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	建置既有站臺資料庫功能。 開發 AP 的 AFC 功能。 建立干擾情境測試流程。	協同系統商進行站臺會勘	「WRC-23 之重要議題決議 分享與討論」座談會 - 議題研擬準備	辦理第一季公部門連結小組會議 發布 4 月份公部門連結小組電子報	研析 ITU IMT-2030 之發展
8 (2024/04/19)	【APT】對於 6G 候選頻段之最新發展趨勢 召開「WRC-23 經驗分享座談會」 完成 Q1 發布頻譜研析報告 1 篇、4 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	調整干擾情境測試流程。 調整 AFC 測試平臺的圖資功能	靜態、動態頻譜重耕技術探討	「WRC-23 之重要議題決議 分享與討論」座談會 - 會後整理	國際會議先期籌備	研析 3GPP 6G 之發展
9 (2024/05/03)	【韓國】對於 6G 候選頻段之最新發展趨勢	測試既有站臺資料庫功能。 AP 與 AFC 系統的互通性測試。	FSO (1 場), FWA (3 場), PtP unlicensed (1 場) 場域布建	WRC-23 會議文件整理研析 - (WRC-27 與 WRC-31 議題部分)	發布 5 月份公部門連結小組電子報	6G 網路技術與應用情境分析

查核點	一、國際間對 6G 候選頻段趨勢與應用	二、Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	三、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術	四、ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測	五、公部門連結小組	六、6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析
10 (2024/05/17)	【美國】、【日本】對於 6G 候選頻段之最新發展趨勢 完成 5 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	既有站臺資料庫與 Open AFC 介接測試。	頻譜共享技術與案例研析	WRC-23 後政策建議準備	國際會議籌備	地面通信與非地面通信應用之研析
11 (2024/05/31)	撰寫期中報告	撰寫期中報告	撰寫期中報告	撰寫期中報告	撰寫期中報告 發布 6 月份公部門連結小組電子報	撰寫期中報告
12 (2024/06/14)	期中審查意見修訂 召開「我國 6G 可用頻譜規劃方向研議」之座談會	期中審查意見修訂	期中審查意見修訂 FSO, FWA, PtP unlicensed 場域布建	期中審查意見修訂	期中審查意見修訂	期中審查意見修訂
13 (2024/06/28)	【3GPP】、【歐盟】資訊更新 完成 6 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	干擾情境現場測試- 情境測試 1-2。 配合現場測試調修既有站臺資料庫。 建置 AP 使用者介面功能。	FSO, FWA, PtP unlicensed 場域傳輸 驗證布建	ITU-R 會議與會員活動參與資訊研析	發布 7 月份公部門連結小組電子報	6G 應用型態對頻譜資源管理制度之影響
14 (2024/07/12)	【APT】資訊更新 候選頻段之既有使用者盤點（微波部分） 完成 Q2 發布頻譜研析報告至少 1 篇	干擾情境現場測試- 情境測試 3-4。	PtP licensed（1 場） 場域布建	ITU-R WP5D#46 會議及彙整		6G 對頻寬與頻譜的需求分析

查核點	一、國際間對 6G 候選頻段趨勢與應用	二、Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	三、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術	四、ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測	五、公部門連結小組	六、6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析
15 (2024/07/26)	【NEXT G】、【中國】資訊更新 籌備國際會議 完成 7 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	干擾情境現場測試- 情境測試 5-6。 測試 AP 使用者介面功能。	頻譜重耕技術綜整優缺點比較 召開第一場次替代方案座談會	ITU-R 實務管理架構 研析 (行動無線電部分)	籌備公部門連結小組 第 3 次會議	6G 系統使用低、中、高頻段研析
16 (2024/08/09)	【GSMA】、【英國】資訊更新 籌備國際會議 候選頻段之既有使用者盤點(衛星部分)	干擾情境現場測試- 情境測試 7-8。	PtP licensed 場域傳輸驗證布建	ITU-R 實務管理架構 研析 (衛星無線電部分)	發布 8 月份公部門連結小組電子報	6G 系統使用 7-15 GHz 頻段研析
17 (2024/08/23)	籌備國際會議 舉辦「6G 頻譜相關」之國際座談會 完成 8 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	干擾情境現場測試- 情境測試 9-11。	我國頻譜重耕案例探討與現況分析	WRC-27 行動無線電專案之實務進度	國際會議籌備 辦理公部門連結小組 第 3 次會議	6G 與既有服務及跨網路類型之頻譜競合
18 (2024/09/06)	【日本】資訊更新 候選頻段之既有使用者盤點(其他部分)	干擾情境現場測試- 情境測試 12-15。	FSO 傳輸效能分析	WRC-27 衛星無線電專案之實務進度	辦理國際會議 發布 9 月份公部門連結小組電子報	6G 與既有服務及跨網路類型之頻譜競合
19 (2024/09/20)	【GSMA】、 【NGMN】資訊更新 完成 9 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	干擾情境現場測試- 情境測試 16-18。	FWA 傳輸效能分析	頻譜議題趨勢發展更新		頻譜共享技術與趨勢

查核點	一、國際間對 6G 候選頻段趨勢與應用	二、Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	三、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術	四、ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測	五、公部門連結小組	六、6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析
20 (2024/10/04)	【韓國】、【美國】資訊更新 彙整國際會議紀錄	依測試結果調整 OPEN AFC 傳播模型參數。	未來國際頻譜重耕議題探討 召開第二場次替代方案座談會	ITU-R 研究群組進度更新	發布 10 月份公部門連結小組電子報	我國 6G 頻譜釋照策略
21 (2024/10/18)	召開「我國 6G 未來發展藍圖及頻譜整備規劃方向研議」座談會 完成 Q3 發布頻譜研析報告至少 1 篇、10 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	建立 AFC 測試手冊（含測試流程與方法）。	PtP 傳輸效能分析	參與 ITU 相關組織與合作機會彙整	籌備公部門連結小組第 4 次會議	我國 6G 頻譜整備方向
22 (2024/11/01)	撰寫期末報告	撰寫期末報告	撰寫期末報告	撰寫期末報告	撰寫期末報告 發布 11 月份公部門連結小組電子報 辦理公部門連結小組第 4 次會議	撰寫期末報告
23 (2024/11/15)	期末審查意見修訂 完成 11 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	期末審查意見修訂	期末審查意見修訂	期末審查意見修訂	期末審查意見修訂	期末審查意見修訂
24 (2023/11/29)	完成 Q4 發布頻譜研析報告至少 1 篇	-	-	-	發布 12 月份公部門連結小組電子報	-

查核點	一、國際間對 6G 候選頻段趨勢與應用	二、Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測	三、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術	四、ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測	五、公部門連結小組	六、6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析
25 (2024/12/13)	完成 12 月份國內外頻譜新聞與趨勢 5 則	-	-	-	-	-
26 (2024/12/27)	-	-	-	-	發布 1 月份公部門連結小組電子報	-

資料來源：本研究整理

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，有關各國 6G 政策、技術先期發展所探討之 6G 潛在應用情境、6G 相關政策文件與報告資料，以及展望未來頻譜計畫政策等，盡可能全面性彙整資料，以利研究和協助主管機關研提 6G 頻譜政策建議。

(二) 比較分析法

本研究涵蓋國際電信聯合會、亞太地區電信組織、3GPP、GSMA、NGMN、Next G Alliance、歐盟、英國、美國、日本、韓國、中國等，研究專案多元且涉及多國資料，因此透過文獻分析法完善分類架構，以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、頻段計畫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 (PoC)

1. Mid band 和諧有效使用機制實測

本研究以 2023 年度「6 GHz 和諧有效機制概念性驗證」成果為基礎，在本年度建立和諧有效使用機制環境，透過研析國外 AFC ULS 資料庫相關資料能有效率蒐集所需的國內既有使用者站臺參

數，然後匯入到 AFC 系統資料庫，並搭配調整 AFC 系統圖資與傳播模型設定，為下一階段的實地測試做好準備，並與 AP 設備商合作進行 Wi-Fi AP 與 AFC 系統的互通性測試，依計畫需求調整參數設定。在上述準備工作完成之後，才再進行實機實地驗測，觀察 AFC 系統是否能保護既有使用者站臺不受干擾，如果仍受 AP 設備電波干擾將記錄其干擾程度，作為調修 AFC 系統的依據。在實驗執行過程中，也持續蒐研國際間對 AFC 資安防護的規範。研究架構如下圖所示。

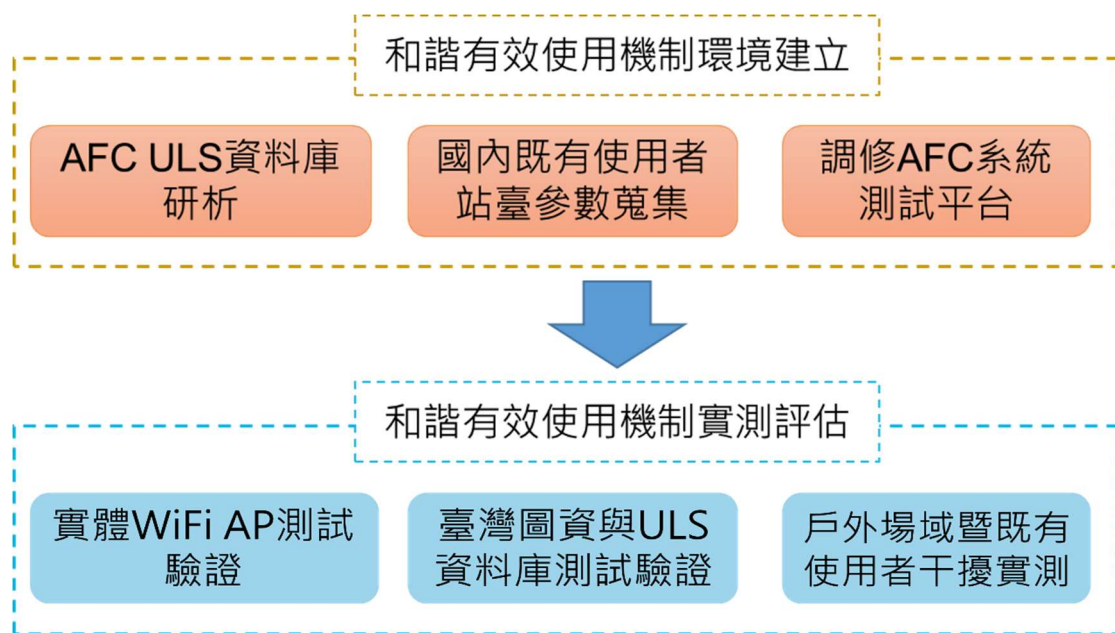


圖 1-3、實驗研究架構

資料來源：本研究整理

2. 既有使用者移頻替代技術實測

針對既有使用者移頻替代技術實測，本研究專注於 5G 固定無線接取、自由空間光通信與兩種微波頻段技術，布建於現有微波站臺或兩站臺間，進行端到端的標準化的通信效能量測，以此評估各鏈路的可靠性。此外，對於技術布建方案之執行面，亦蒐集其執行經費、建置時程與窒礙難行之處，供未來政府單位了解上述通信系統之參考指引。除了基本的通信效能量測，團隊亦研析蒐集影響該

無線通信鏈路之因子，釐清通信不佳的可能成因。

(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，因此，國際研析成果必須考量我國特性。本研究在蒐集各國相關資訊時，透過舉辦座談會方式，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，了解產官學研界對於國際案例、我國政策建議之看法。座談會除蒐集各界意見之外，也具有盤點國際發展現況之特性。因此藉由舉辦國際座談會議，邀請國外 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，匯集國內外各界意見，尋求最適合我國之政策建議。座談會議成果亦進一步整理分析，協助主管機關提出適切之政策建議。

二、施行步驟

本研究規劃執行步驟與流程分為四階段，如下：

階段一：本研究透過文獻分析法，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相關文獻，本研究所蒐集之資料主要分為兩大來源，第一來源為官方政府文件，包含 6G 發展國家官方文件、重大合作案相關之法規、草案、指引、白皮書、專家小組建議、公眾意見徵詢文件等；第二來源為國際組織研究報告，例如 6G 研究報告與學術成果等，顧問公司委託研究報告、學術研究成果等，多方掌握不同利害關係人立場之研究成果，藉由廣泛資料蒐集與彙整，建立後續研究之扎實基礎。

階段二：本研究基於國際資料文獻與個案分析成果，進一步協助主管機關掌握國際 6G 頻譜趨勢、盤點潛在可能候選頻段選項，完善國內 6G 頻譜使用環境，進而帶動產業與技術發展，研提符合我國發展新興 6G 通信應用發展之政策願景。

階段三：針對和諧有效使用機制，參考本研究圖 1-3 之架構，以 2023 年度「6 GHz 和諧有效機制概念性驗證」成果為基礎，進一步建立和諧有效使用機制環境，為下一階段進行實地測試做準備。在上述準備工作完成之後，才再進行實機實地驗測，觀察 AFC 系統是否能保護既有使用者站臺不受干擾。針對既有使用者替代技術，將依據 2023 年各通信之 PoC 規劃來進行。5G 固定無線接取，將選擇站臺距行動網路基地臺不超過 380 公尺（對於 3.5 GHz 頻段）和 130 公尺（對於 28 GHz 頻段），並於行動網路或固定網路之端到端布建安全開道，卻保資料於網際網路上充分受到保護。自由空間光通信，聚焦於 3.5 公里以內的鏈路站臺範圍內，並著重於市區環境與國內政府機關之站臺。固定微波通信，將評估 10 GHz 以下之微波頻段，並考量距 10 公里至 50 公里之鏈路，同時亦考慮採用免授權頻段的設備，作為短距離傳輸鏈路方案。上述各鏈路亦將引入相關網路效能測量指標，如 RFC 2544 和 Y.1564 等技術標準，並綜合各種可能影響鏈路性能的因素，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 6 個測試場域，來驗證其無線通信韌性之可行性。

階段四：本研究透過舉辦座談會，分享研究團隊之階段成果，並邀請國外 6G 相關領域專家，聚焦提出關鍵議題並就教於國內外產官學研等領域之專家學者與業界先進，匯集各界專家人士之意見，一方面協助調整研究後續執行方向與議題；另一方面掌握我國相關利害關係人或專家之立場與專業見解，強化關鍵議題之研究深度使研究內容更為完善，並進一步評估並研提有助於我國發展新興 6G 通信應用發展之政策願景。

第二章 ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測「本研析案例資料不公開」

本章節研析案例資料不公開。

第三章 國際間對 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) 近期召開會議之探討議題

亞太電信組織 (Asia-Pacific Telecommunity, APT) 為 ITU 舉辦之 2023 年世界無線電通信大會 (WRC-23) 成立籌備組 (APT Conference Preparatory Group for WRC-23, APG-23)，負責協調與彙整亞太地區觀點的重要小組。

自 2020 年起召開 6 次 APT 籌備組會議 (包含 2 次虛擬會議和 4 次混合會議)¹，其中第 6 次籌備組會議 (APG23-6) 共有 921 人參與，38 個會員中有 32 個會員、2 個準會員、40 個附屬會員，以及 424 人以個人身分出席參與。APT 向 WRC-23 提交 320 份共同提案 (APT Common Proposals, ACPs)。

儘管 APT 之會員存在不同頻譜使用需求，仍會共同努力以達成 WRC-23 的成果。WRC-23 之最終決議文件已發布，決議將於 2025 年 1 月 1 日生效，新的 RR 於 2024 年 8 月 28 日發布。²

WRC-23 會議後，APT 於 2024 年 3 月 4 日至 3 月 8 日在泰國芭達雅 (Pattaya) 召開第 32 次亞太地區電信組織無線小組會議 (The 32nd Meeting of the APT Wireless Group, AWG-32)，主要探討 WRC-23 會議之主要成果³。針對 WRC-23 討論 IMT 議題 (Agenda items,

¹ 2020 年 9 月 24 日 - 2020 年 9 月 25 日：APG23-1 (線上會議)；2021 年 4 月 19 日 - 2021 年 4 月 23 日：APG23-2 (線上會議)；2021 年 11 月 8 日 - 2021 年 11 月 13 日：APG23-3 (線上會議)；2022 年 8 月 15 日 - 2022 年 8 月 20 日：APG23-4 (泰國曼谷/線上會議)；2023 年 2 月 20 日 - 2023 年 2 月 25 日：APG23-5 (韓國釜山/線上會議)；2023 年 8 月 14 日 - 2023 年 8 月 19 日：APG23-6 (澳洲布里斯本/線上會議)

² ITU, 2024 edition of the Radio Regulations, <https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2024/>

³ APT (2024), The 32nd Meeting of the APT Wireless Group, MAIN WRC-23 RESULTS, https://www.apr.int/sites/default/files/2024/03/AWG-32-INF-02Rev.1_Main_WRC-23_Results.pdf

AI) 包含 1.1、1.2、1.3 與 1.4：

- 議題 1.1：考量可能採取措施，在 4800-4990 MHz 頻段內保護在國際空域和水域運作的航空及水上行動用途電臺，免受各國領土內其他電臺干擾之問題，並根據 WRC-19 修訂版第 223 號決議審議第 5.441B 款中的 PFD。
- 議題 1.2：考量將 3300-3400 MHz (1、2 區)、3600-3800 MHz (2 區)、6425-7025 MHz (1 區)、7025-7125 MHz (全區) 和 10.0-10.5 GHz (2 區) 頻段用 IMT，包括可能對行動用途以外之分配。
- 議題 1.3：第 1 區 3600-3800 MHz 頻段給行動用途（航空用途除外）作為主要用途之議題。
- 議題 1.4：在 2.7 GHz 以下特定頻段中，透過使用高空通信平臺作為國際行動基地臺，促進行動用途之互通性。

WRC-23 議題 1.1、1.2、1.3 之最終決議如表 3-1。其中 6 GHz 上半頻段(U6, 6425-7125 MHz)為 WRC-23 重點討論之議題之一，整個第 3 區（即亞太地區）針對 6425-7025 MHz 頻段之決議未有任何變動，也未納入未來 WRC 之討論議題；針對 7025-7125 MHz 頻段之決議為供地面 IMT 使用，且不排除分配給該頻段的其他用途使用，在 RR 中沒有規定優先權（WRC-23 第 220 號決議）。該頻段也用於無線接取系統（Wireless Access System, WAS），包括無線區域網路（RLANs）。另外，根據 RR 第 5.457D 款僅修改柬埔寨、寮國和馬爾地夫之註腳，此三國家可於 6425-7025 MHz 頻段供地面 IMT 使用。

表 3- 1、WRC-23 議題 1.1、1.2、1.3 之最終決議

AI	頻段 (MHz)	世界無線電頻 率分配區域	WRC-23 決議
1.1	4800-4900	R1 (第 1 區) R2 (第 2 區)	• WRC-19 ➢ 根據 RR 5.441B：39 個國家 4800-4900 MHz 用於 IMT，受 PFD 限制和第 9.21 條協調機制之程序 ➢ PFD 限制保護國際水域中的飛機、船隻：為符合限制，離海岸超過 500 公里的 IMT 設有排除區。 • WRC-23 ➢ PFD 限制沒有變動；在第 223 號決議中被排除在限制範圍之外的國家列表沒有變動 ➢ 在 RR 5.441B 中新增了 12 個 R1 地區和 R2 地區之國家
1.2	3300-3400 (在不干擾無線電定位前提下)	R1	增加 16 個國家供 IMT 使用 (主要為非洲國家)
		R2	分配給行動用途 (Mobile Service)，整個 R2 地區供 IMT 使用
		R3 (第 3 區)	增加 1 個國家供 IMT 使用 (新加坡)
	3600-3700 (IMT 需與 FSS 進行協調)	R2	整個 R2 地區供 IMT 使用
	3700-3800 (IMT 需與 FSS 進行協調)	R2	R2 地區其中 15 個國家供 IMT 使用
	6425-7125	R1	整個 R1 地區供 IMT 使用
		R2	R2 地區其中 2 個國家供 IMT 使用 (巴西、墨西哥)
	6425-7025	R3	R3 地區其中 3 個國家供 IMT 使用 (柬埔寨、寮國、馬爾地夫)
	7025-7125	R3	整個 R3 地區供 IMT 使用
1.3	3600-3800	R1	• 整個 R1 地區，將行動用途 (航空行動用途除外) 由次要用途升級為主要用途
			• 在 60 個國家 3.6–3.8 GHz 用於 IMT；在 6 個國家 3.6–3.7 GHz 用於 IMT

資料來源：APT, AWG-32/INF-02 (Rev.1)

至於議題 1.4，WRC-23 決議開放 694-960 MHz、1710-1980 MHz、2010-2025 MHz、2110-2160 MHz、2160-2170 MHz、2500-2690 MHz 等頻段供 HIBS 使用，並限制平臺飛行高度於 18 至 25 km。其中 1 GHz 以下頻段，第 3 區部分國家可使用 698-960 MHz 頻段；部分國家可使用 703-960 MHz 之部分頻段；1 GHz 以上頻段，整個第 3 區可使用 1710-1980 MHz、2010-2025 MHz、2110-2160 MHz、2160-2170 MHz、2500-2655 MHz 頻段，如圖 3- 1。

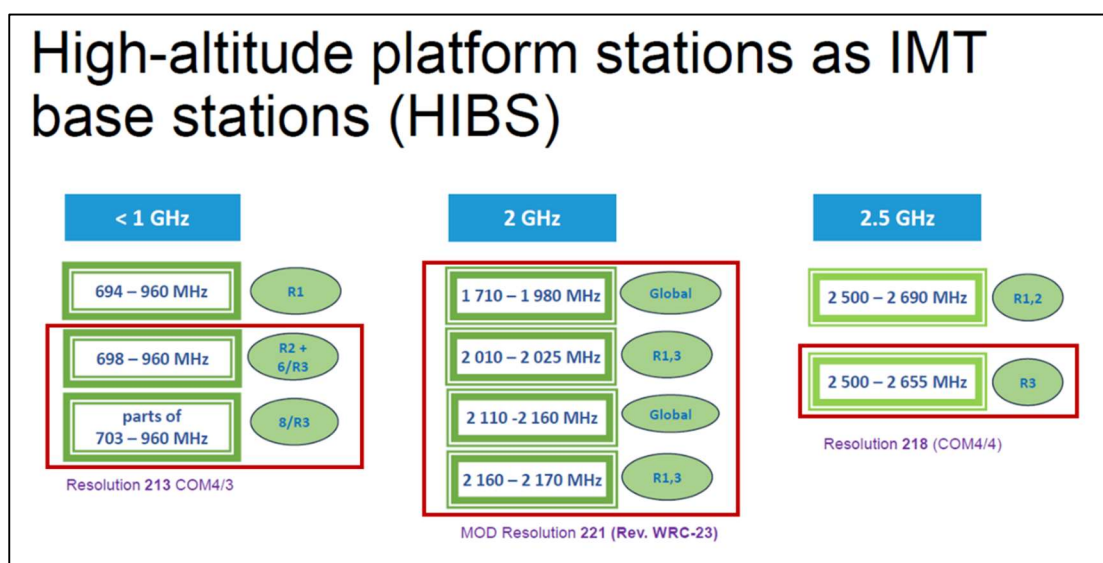


圖 3- 1、WRC-23 議題 1.4 之最終決議

資料來源：AWG-32/INF-02 (Rev.1)

APT 於 2024 年 3 月發布「2025 至 2030 年亞太地區 IMT（國際行動通信）使用趨勢和頻譜發展」⁴（Trends And Spectrum Developments For IMT Usage In 2025 ~ 2030 In Asia-Pacific Region）研究報告（簡稱「APT 之 IMT 使用趨勢和發展報告」），主要探討 IMT 地面未來的頻譜需求組合。為了充分發揮 5G 與下世代(6G)的潛力，必須釋出與搭配低、中、高頻段，以實現廣泛的涵蓋和支援各種使用場景。低、中、高頻之界定如下所述：

- 低頻段頻譜（1 GHz 以下）：適合大範圍涵蓋，並促進數位平

⁴ APT(2024), TRENDS AND SPECTRUM DEVELOPMENTS FOR IMT USAGE IN 2025 ~ 2030 IN ASIA-PACIFIC REGION, <https://apt.int/awg-Reports>

等，其可以在人口較少的地區提供行動寬頻服務。

- 中頻段頻譜 (1-7 GHz 範圍內)：提供大城市範圍的涵蓋及支援 5G 應用的頻寬與容量需求至關重要。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 (IoT) 及工業 4.0，均依賴於中頻段頻譜，包括低中頻段(如 1500 MHz、1800 MHz、2100 MHz、2300 MHz 和 2600 MHz)及中高頻段(如 3.3-3.8 GHz、4.8-4.99 GHz 和 6.425-7.125 GHz)。
- 高頻段頻譜 (24.25 GHz 以上)：用於容量最大、延遲最低的應用。

隨著 WRC-23 的決議，3.3-3.4 GHz、4.8-4.99 GHz 和 6.425-7.025 GHz 頻段已在部分第三區（亞太地區）國家中被指定為 IMT（國際行動通信）頻段；7.025-7.125 GHz 頻段則在整個第三區被指定為 IMT 使用。依 3GPP 對於以上頻段分別制定技術規範，分別對應於 n77&n78、n79 和 n104 頻段。各國將根據其國家需求，考量規劃並釋出 IMT 頻段。WRC-23 後，在第三區為 IMT 頻譜總量如表 3-2。

表 3-2、WRC-23 決議後第三區用於 IMT 頻譜之總量（以低中高頻分類）

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

由圖 3-2、圖 3-3 顯示，自 WARC-92/WRC-97 至 WRC-23 之 IMT 頻譜的演變趨勢；可以發現自 WARC-92/WRC-97 至 WRC-15 所決議之 IMT 頻譜總量逐步上升，由 230 MHz 增加至 1886 MHz，各無線電頻率分配區域之頻譜量相當。近十年來，隨著國際各區域

4G 蓬勃發展與 5G 正發展中，新興應用相繼出現，各地區域對於頻譜需求大幅成長，尤其是加入毫米波或以上頻段後，至 WRC-19 可明顯看出決議供 IMT 之頻譜總量大幅擴增(19,136 MHz)，至 WRC-23 仍在成長中（20,436 MHz）。

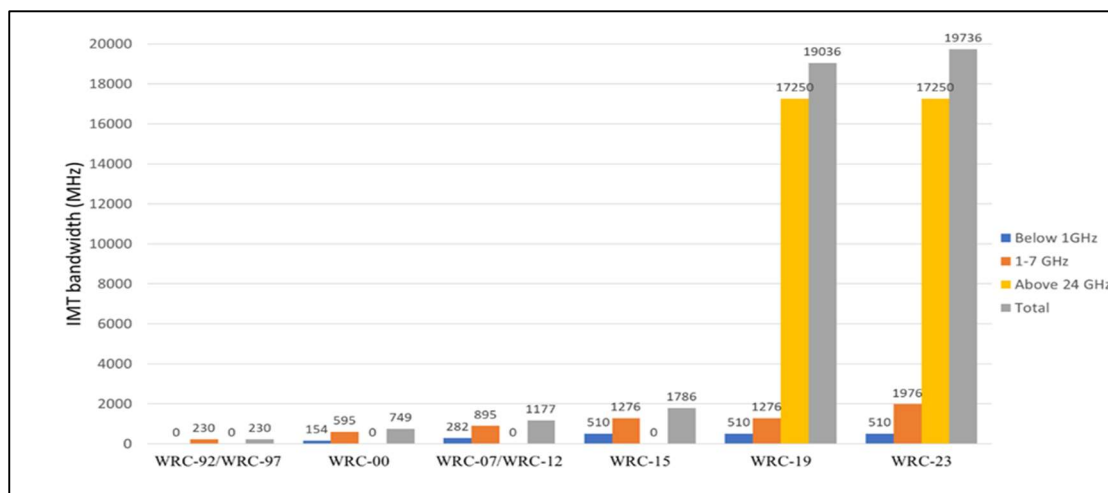


圖 3- 2、WARC-92/WRC-97 以來 IMT 頻譜的演變情況（以低中高频分類）

資料來源：APT/AWG/REP-136

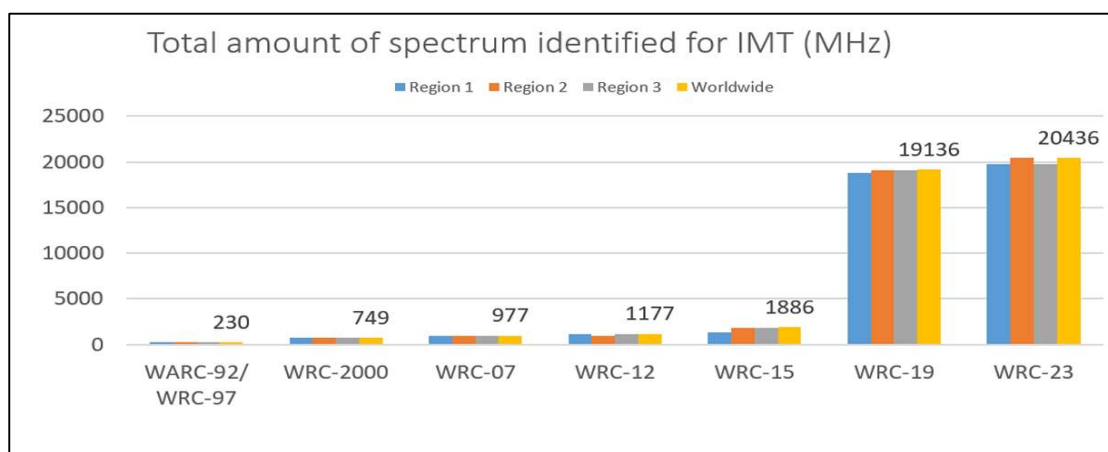


圖 3- 3、歷年來 WRC 會議決議之 IMT 總頻譜量（以 ITU 分區分類）

資料來源：AWG-32/INF-02 (Rev.1)

APT 之 IMT 使用趨勢和發展報告中，以問答之方式調查亞太地區國家對於該國 IMT 頻譜分配的現狀與面臨之挑戰以及未來頻

譜藍圖規劃等議題之看法，彙整如表 3-3 和表 3-4。

表 3-3、亞太地區 IMT 頻譜分配的現狀與挑戰

國家	IMT 頻譜分配的現狀與面臨之挑戰
不丹	目前僅分配 3.5 GHz 中頻段的頻譜。目前電信營運商尚未要求使用其他頻段。此外，由於技術和地理限制，其他頻段尚未布建。
尼泊爾	• 470-698 MHz 頻段已分配給數位地面電視廣播（igital Terrestrial Television Broadcasting）和電視分配網路（television distribution networks），因此該頻段未分配給 IMT 使用。 • 同樣，1427-1518 MHz、4800-4990 MHz 以及毫米波（mmWave）中的所有頻段未分配給 IMT。 • 在已分配給 IMT 使用的頻段中，700 MHz 頻段和 C 頻段的需求正在逐漸增加，但這些頻段目前尚未分配。 • 已計畫盡快釋出所有 ITU 所決議之 IMT 頻段，但 C 頻段的部分頻譜仍被廣播（衛星）使用，相關的頻譜重整計畫正在準備中。
泰國	目前挑戰在於 3500 MHz 頻段，必須與電視接收專用天線（TVRO）系統共存。
帛琉	帛琉並不是 ITU 的成員，對於 IMT 在 ITU 規則中的相關資訊有限，因此存在挑戰。
越南	在國家頻譜分配表中，3560-4000 MHz 頻段已被列為 IMT 頻段，但 3400-3700 MHz 頻段目前正對於 Vinasat-1 衛星進行執照審核。因此，越南在將此頻段重新分配給 IMT 方面面臨挑戰，特別是 Vinasat-1 和 Vinasat-2 在 3700 MHz 的追蹤、控制和通信（Telemetry, Tracking, and Command, TT&C）頻率。
中國	（未表達意見）
韓國	根據無線電規則中的條款，IMT 可使用之頻段為會員國提供靈活性，並根據各國之頻譜政策使用 IMT 頻段。因此，鼓勵 ITU（作為成員的集體代表）繼續探索新的 IMT 頻譜，不僅能保持頻譜的高效使用，還能協助成員根據自身的國家頻譜政策使用或選擇不同的頻段。
斯里蘭卡	目前 IMT 頻譜使用情況受到經濟狀況和現有服務的影響，電信產業的發展和頻譜分配的進展也受到一定限制。
文萊	目前沒有任何問題，現有分配的頻段足以滿足當前市場和技術的需求。
巴基斯坦	正在考慮將幾乎所有在第三區無線電規則中決議之 IMT 頻段用於 IMT。
印尼	根據 ITU 無線電規則中決議之 IMT 頻段尚未被分配用於 IMT，如 2.6 GHz 和 3.5 GHz 頻段，因為此兩頻段目前分別用於衛星廣播和衛星固定。

資料來源：APT/AWG/REP-136

表 3-4、亞太地區 IMT 未來頻譜藍圖規劃

國家	未來頻譜藍圖規劃
不丹	主要用於 5G 服務的是毫米波頻段。
尼泊爾	正在考量未來幾年釋出 700 MHz、2100 MHz、2300 MHz、2600 MHz 和 C 頻段用於 IMT。
泰國	正在考量釋出 1500 MHz、3500 MHz 和 28 GHz 頻段。
帛琉	仍在規劃階段。
越南	- 在頻譜規劃藍圖中，已考量將 694-806 MHz、2300-2400 MHz、2500-2690 MHz 和 3560-4000 MHz 頻段用於 IMT (IMT-Advanced、IMT-2020 及以後)。其他現有頻段，如 900、1800、2100 MHz，則正在重新整備以用於 IMT-Advanced。 - 對於 2030 年 6G 商用化之時程規劃，越南希望與其他國家合作，探索 7-24 GHz 範圍內用於 IMT 的潛在頻段。
中國	正在考量 6425-7125 MHz 頻段或其部分頻段用於 IMT，同時考量 24.75-27.5 GHz 和 37-43.5 GHz 頻段或其部分頻段用於 IMT，並修訂至最新版的《中華人民共和國無線電頻率分配規定》中。
韓國	根據國家頻譜計畫，3700-4000 MHz 頻段將在明年（2025 年）釋出。
斯里蘭卡	規劃未來釋出以下頻段： 3.2 -3.4 GHz 3.6 -3.8 GHz 26/28 GHz
文萊	目前沒有需求，根據一般之作法，應取決於當前網路服務提供商的需求和要求。
巴基斯坦	目前用於 IMT 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 等頻段。
印尼	已考量並優先使用 700 MHz、2.6 GHz、3.5 GHz 和 26 GHz 頻段用於 IMT，而其他 IMT 頻段仍在研究中。

資料來源：APT/AWG/REP-136

(二) WRC-27 頻譜議題觀測

ITU 將於 2027 年召開世界無線電通信大會 (WRC-27)，展望未來重要之探討議題如下：

- 議題 1.7：主要用於 IMT-2030 及以後的 IMT 之頻段 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz、14.8-15.35 GHz。
- 議題 1.13：694-2700 MHz 頻段為衛星行動用途 (Mobile Satellite Service, MSS)，探討太空電臺與 IMT 陸地設備之間

的直接連接。

- 議題 1.2：修改 13.75-14 GHz 的共享條件，以允許使用更小天線的 FSS 地面電臺，以提供更多頻譜。



圖 3- 4、未來 WRC-27 之討論議題

資料來源：AWG-32/INF-02 (Rev.1)

APT 因應 WRC-27 成立籌備組 (APT Conference Preparatory Group for WRC-27, 簡稱 APG-27)，於 2024 年 6 月 3 日至 6 月 6 日在上海召開第 1 次籌備組會議 (APG27-1)⁵，此次會議主要任務如下：選舉 APG-27 主席和兩位副主席、確立 APG-27 的會議結構 (會議進行形式，如實體、虛擬或混合會議、會議頻率與程序規則等)、根據結構任命 APG-27 的其他職位、審查 APG 的工作方法、制定為 RA-27/WRC-27 準備的工作計畫、任命 WRC-27 議題起草小組的主席，以及對 WRC-27 議題的初步討論。本次會議結果如下：

- 確定 APG-27 主席是 Nobuyuki Kawai (日本 KDDI)⁶；

⁵ APT (2024), The 1st Meeting of the APT Conference Preparatory Group for WRC-27 (APG27-1), <https://www.apr.int/2024-APG27-1>

⁶ APT, APG Office Bearers, <https://apr.int/OB/APG>

- APG-27 副主席目前沒有共識，延後至 APG27-2 會議決定⁷；
- 設立 5 個工作小組（Working Party, WP），如表 3- 5；
- APG27 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，2027 年舉行 2 次；
- APG27-2 預定於 2025 年 6 月或 7 月舉行。

表 3- 5、APT 設立 5 個工作小組討論 WRC-27 議題

工作小組 (WP)	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	行動衛星議題 (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：APG-27

二、3GPP

(一) 無線通信技術演進觀測

3GPP 從 2024 年第一季開始進行 Rel-19 研究，5G Advanced 的技術工作主要將在 Rel-18 及 Rel-19 完成，Rel-19 將為 6G 討論提供一個橋樑，預計於 Rel-20 開始進行 6G 研究，於 Rel-21 制定 6G 基本規範並提交給 IMT-2030。

首屆 Rel-20 研討會預計於 2025 年 3 月舉行，並於 2025 年 6 月審核 Rel-20 提案（包含 6G 研究），同時凍結 Rel-19。在 6G 開發的同時，5G Advanced 的技術演進將持續進行，以提供服務全球

⁷ APT, APT Conference Preparatory Group for WRC-27 (APG-27), <https://apt.int/APTAPG>

市場直到 2030 年及以後的新技術，確保 5G 向 6G 的平穩過渡。



圖 3- 5、3GPP 技術版本演進時程概觀

資料來源：5G America（2024），3GPP technology trend.

作為橋接 6G 研究討論之橋樑，持續觀測無線通信技術演進，Rel-19 的第一階段 Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for the 5G system⁸ 文件之關注議題可做為後續進一步探討 5G Advance 發展及 6G 應用案例之基礎：

- 要求 5G 支援非公眾網路（Non public network）：非公眾網路是專為企業等設計，可利用虛擬及實體網路元件，以多種配置布建，可布建為完全獨立的網路，也可以由公眾地面行動網路（Public Land Mobile Network, PLMN）託管，或可以作為 PLMN 的切片網路提供。依經營者與服務提供商之間的協議、經營者政策以及地區或國家監理要求，5G 系統應支援非公眾網路之用戶：
 - 透過非公眾網路接取已訂閱之 PLMN 服務；
 - 在非公眾網路與 PLMN 之間，針對用戶所訂閱之 PLMN 服務可無縫接軌（seamless service continuity）；
 - 透過 PLMN 接取所選定之非公眾網路服務；
 - 在非公眾網路與 PLMN 之間，非公眾網路服務之無縫接

⁸ 3GPP（2023），3GPP TS 22.261 V19.5.0（2023-12），Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for the 5G system; Stage 1, Release 19

軌（seamless service continuity）；

- 增強 5G KPI：規範增強型行動寬頻（enhanced Mobile Broad band, eMBB）流量及連接密度 KPI、要求更低延遲、可靠性及更高的定位精度，以因應工控、工業自動化、無人駕駛飛行器（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）和 AR 發展。
- AI/ML：將 AI/ML 無縫納入整個網路，跨各網路層，以增強網路能力和整體效率。利用人工智慧的潛力持續優化網路增強效能。
- 具衛星接取的 5G 系統之要求：
 - 應能夠確定用戶設備的位置，以根據適用於該用戶設備的國家或地區法規要求提供服務（例如路由流量、支援緊急呼叫）
 - 應能夠支援低功耗 MIoT 類型的通信。
 - 根據法規要求和營運商政策，應能夠支援用戶終端設備與網路之間的定位方法協商，例如根據 3GPP RAT 和終端設備定位能力、整合非 3GPP 定位技術（例如 GNSS）的可用性。
 - 應能夠支援收集連接到衛星之用戶設備的使用統計和位置資訊。
 - 永續性：改善產生大部分能耗的無線接取網路（Radio Access Network, RAN），減少行動通信的碳足跡。

此外，Rel-19 中被重點關注的 6G 研究專案（Study item, SI）包括⁹：

- 7-24 GHz 的通道模型；
- 整合感知和通信（Integrated Sensing and Communication,

⁹ 3GPP（2024），Introduction to 3GPP Release 19 and 6G Planning. <https://www.3gpp.org/news-events/partner-news/atis-webinar-rel19>

ISAC) 的通道模型；

- 環境物聯網 (Ambient IOT) ；
- 人工智慧/機器學習的行動裝置 (AI/ML for Mobility) ；
- 人工智慧/機器學習參與的次世代無線接取網路 (AI/ML for NG-RAN) ；
- 增強拓撲 (Topological Enhancement) ，專注於無線接取後傳 (Wireless Access Backhaul, WAB) 和毫微微細胞接取點 (Femto Cell) ；
- 空中傳輸強化 (Over-The-Air enhancements, OTA enhancements) ，研究使用 FR2 頻段的終端設備在多個平臺上同時傳輸的測試方法；檢查 2024 年 9 月 AI/ML 研究專案的潛在新 FR2 測試方法。
- IMT 參數研究 (Study on IMT parameters) ，由 ITU WP5D 之請求，著手研究適用於 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz 和 14.8-15.35 GHz 之 IMT 參數。

另有二項被提出但尚未建立研究專案敘述 (Study Item Discription, SID) 的研究專案，分別為太空通道模型研究 (Spatial channel model study) 及破碎頻譜/載波研究 (Study on Fragmented Spectrum/Carriers) 。

3GPP 於 2024 年 5 月 8 日至 10 日在荷蘭鹿特丹召開「第一階段 IMT 2030 使用案例研討會」(3GPP Stage 1 workshop on IMT 2030 use cases) ，其目標是讓 3GPP 更接近全球或各個區域研究組織進行中的發展。會議結論¹⁰中描繪了 6G 的潛在發展驅動：

¹⁰ 3GPP (2024) , SWS240025, Summary of the Workshop, 3GPP Stage 1 workshop on IMT2030 Use Cases. Rotterdam, NL, 08-10 May, 2024. https://www.3gpp.org/ftp/workshop/2024-05-08_3GPP_Stage1_IMT2030_UC_WS

(1) 安全-包括網路安全和用戶資料機密性：

- 維持服務的連續性和強大的安全性，特別在緊急時期尤其重要；
- 識別 6G 的所有相關新威脅因素，並開發緩解解決方案（例如偵測和防禦電磁威脅）；
- 量子安全的安全機制。

(2) 人工智慧的支援：

網路設計/效能：

- 網路最佳化與自動化（智慧網路管理、網路效能）；
- 能源效率/節約/永續性；
- 人工智慧輔助空中介面/無線電性能；
- 用於改善定位的人工智慧。

在應用層面啟用人工智慧：

- 人工智慧資料管理、所有人工智慧輔助「智慧」領域（城市、工業、手術、機器人控制、製造工廠、救援任務等）的模型分發；
- 人工智慧即服務（AIaaS）；
- 實現一系列媒體的個人化和客製化（體育電視節目等）。

(3) 沉浸式通信：

- 擴充實境。
- 全像、遠端呈現。
- 多感官交流。
- 數位雙生；（超現實）元宇宙；虛擬世界。
- 休閒（遊戲、娛樂）、專業（產業培訓）、教育（遠距講座）。

(4) 永續發展：

- 主要指能源效率/減少能源消耗，具體指標因使用者而異；
- 在特定情境中有如下之意涵：
 - 減少環境影響。
 - 支持不同工業領域提升流程效率及增進資源利用，以支持循環經濟。
 - 重複利用 5G 硬體/無強制硬體刷新；基於軟體的升級。

(5) 無所不在且有彈性的涵蓋範圍：

- 非地面網路（衛星）涵蓋。
- 偏遠及服務不足的地區；智慧農業、教育等鄉村無縫涵蓋。
- 汽車（以及自動駕駛）、空中和海上通信所需。
- 網路韌性：最大限度地減少網路中斷，對意外狀況（自然災害等）具應變能力。

(6) 感測：

- 人類活動辨識；定位和追蹤；環境物體重建；監控任務。
- 使用通信基礎設施作為感測器。
- 智慧感測與通信共存。
- 可供不同場域使用，如自動駕駛。

此外，3GPP 之研討會也提到智慧生活的願景，指出「智慧」的一切事物為 6G 發展的潛在驅動力，「智慧」是指可遠端操作/可控制/可設定的系統，一般是由人工智慧輔助的，如智慧城市/家庭/工廠，對於工廠來說則為智慧工業/物流/製造/生產力；人工智慧輔助的需求也包括機器人/協作機器人/個人協助服務機器人

(Sobot) 的控制。此外，智慧基礎設施、智慧電網、智慧農業/教育、智慧健康與保健等專案也是重要的驅動力。6G 網路朝向智慧發展的路徑也包含以下專案：

- 6G 語音(Vo6G)，包括漫遊、依法監聽(lawful interception) 和緊急呼叫。
- 固定無線接取 (Fixed Wireless Access, FWA) 。
- 低功耗廣域網路 (LPWA) 和大規模物聯網/感測器。
- 開放網路可接受請求的 API (Northbound APIs) 。
- 醫療保健所需之監控網路；遠距手術所需之高速低延遲標準。
- 自動駕駛；連網車輛。
- 增強定位 (Enhanced positioning) 。
- 向下相容性 (Backward compatibility) ¹¹ 。

針對所提出之主題，下表彙整各主題專案之提出成員，並可透過該表瞭解各主題之受關注程度。

表 3- 6、3GPP 第一階段 IMT 2030 使用案例研討會討論主題彙整

類別 提出者	安全性	人工智慧	沉浸式通信	永續發展	無所不在的涵蓋	感測	智慧生活	原生 Vo6G	FWA-FWC	LPWA	向上接受請求 API	醫療照護	自動駕駛	定位	新舊相容性
GSMA	✓	✓	✓	✓				✓							
NGMN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓
5GAA	✓	✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	
5G-ACIA	✓	✓	✓	✓		✓					✓				✓
5G-MAG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓				
GSOA	✓				✓									✓	
TCCA	✓	✓			✓										✓

¹¹ 新的通信技術或設備能夠支援並運行舊的通信標準或設備，確保用戶在升級到新技術時仍然能夠享受無縫的服務。

類別 提出者	安全性	人工智慧	沉浸式通信	永續發展	無所不在的涵蓋	感測	智慧生活	原生 Vo 6G	FWA-FWC	LPWA	向上接受請求 API	醫療照護	自動駕駛	定位	新舊相容性
WBA	✓	✓				✓									
B5GPC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	
6GForum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	
IMT-2030RG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							✓	
B6GA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
NextGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓	
6GSNS-ICE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓		✓	
ITU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	

資料來源：3GPP（2024 年 5 月）

全球衛星通信組織（Groupe Speciale Mobile Association，GSOA）與無線寬頻聯盟（Wireless Broadband Alliance, WBA）在衛星及無線通信領域扮演著重要角色，並從異質網路的視角探討其與 6G 通信技術的協同整合¹²。GSOA 指出 NTN 被視為 6G 網路的「關鍵」要素，其將在 5G NTN 的基礎上提供具普遍性、連續性、可擴展性及彈性的聯合網路。因此，6G 的標準制定應自始至終考量天空與太空的因素。GSOA 也強調航空連接（Aeroconnectivity）在飛機與地面之間的數據通信需求上，透過整合地面與非地面網路來提高傳輸容量、安全性和彈性，以提供無縫的寬頻連網服務。NTN 不僅有助於實現 6G 系統的普遍與彈性連接，還有望減少系統能耗，增強其永續性。故 GSOA 建議在 6G 技術標準的發展過程中，應確保衛星組件和功能與地面網路的整合。

WBA 則積極與包含 3GPP 在內的利害關係人合作，以提升全球無線通信技術的協作。隨著全球數據流量的激增，對固網、Wi-Fi 及行動寬頻網路的需求持續上升，促使頻譜資源的分配問題再次

¹² MIC (2024), 從 3GPP 第一階段 IMT 2030 用例研討會展望 6G 發展趨勢。

受到關注。WBA 指出，Wi-Fi 在 5G 時代仍是不可或缺的技術，並強調 5G 和 Wi-Fi 之間非全然替代或競爭，而是相輔相成。故此 WBA 制定了包括 OpenRoaming、即時 QoS、緊急服務及 AI/ML 等發展框架，旨在促進 5G 及行動專網的合作。其中，OpenRoaming 旨在創建無需登錄的安全自動連接 Wi-Fi 體驗，並於 2024 年與 5G 專網及物聯網整合，實現緻密化的異質網路整合。WBA 期望透過更好的 QoS 及 AI 自動化，發展新的商業模式，促進行動通信和 Wi-Fi 的經濟高效整合，為未來的 6G 發展貢獻力量。

綜觀第一階段 IMT-2030 使用案例研討會之討論內容，實為議題討論與共識凝聚的場合，當此同時，5G Advanced 標準仍在進行中，Release 20 才將是 5G 的最終標準版本。而自 3GPP Release 19 已開始逐步討論未來針對 6G 標準制訂需著眼專案，不論是強調安全性，結合人工智慧之未來發展方向，或觸及目前 5G 基站耗電大等隱憂的永續發展、節能等議題，皆已納入規畫範疇。隨著 3GPP 在荷蘭鹿特丹展開的第一階段 IMT-2030 使用案例研討會，產業界將進入 3GPP 研究專案的前哨站，隨著未來 3GPP 各項里程碑的推動，2025 年至 2027 年之間各項應用發展構想之提案及角力即將緊鑼密鼓的展開。

(二) 頻譜議題觀測

1. 頻譜相關工作專案

3GPP 在 Rel-16 中為了使 LTE-V2X 更加完整可用，引入對 NR sidelink 的支援，主要針對 advance V2X 應用的車輛間之通信。在第 17 版中引入了針對資源分配的節能和各終端間協調的增強功能。基於設備對設備之商業應用案例持續成長的利益，為了在免執照頻段中可取得更多頻譜以傳輸更大資料量，3GPP RAN1 根據最新法規制定規則，確保免執照頻段對於側鏈路之支援更加明

確，亦即確保 FR1 免執照頻段（n46 即 5150-5925MHz 和 N96 即 5925-7125MHz/n102 即 5925-6425MHz）在 3GPP 標準中的 Sidelink 使用；Rel-18 是 5G-Advanced 的第一個版本，Rel-18 引入了對 ITS 頻段及 n47 即 5855 -5925MHz 的側鏈路載波聚合支援，以及透過半靜態和動態資源池共享（semi-static and dynamic resource pool sharing）的 LTE 側鏈路和 NR 側鏈路的同通道共存機制。3GPP 對於 6GHz 免執照頻段之協調及頻譜通道共存機制的應用首先出現於 V2X 之應用。

WRC-23 確認了 upper 6 GHz 頻段在 ITU-R 第 1 區用於 IMT，以及第 3 區的 7025-7125 MHz 子頻段用於 IMT 之後，3GPP 也將 upper 6 GHz 頻段設定為 5G 之標準頻段，並將頻段編號定為 n105。3GPP 也透過旗下 WP 5A 和 WP 5D 兩個工作組進行針對車聯網（Connected and Autonomous Vehicles, CAV）等新議題之頻段、案例展開研究。並與 CITS（Collaboration on ITS Communication Standards, CITS）組織及 ITU 自動駕駛通信技術專家組（ITU Expert Group on Communications Technology for Automated Driving，EG ComAD）共同努力推動 ITS 技術的發展，對 CAV 應用、頻譜資源有效利用及國際標準之協調進行合作¹³。

Wi-Fi 等無線區域網路（WLAN/RLAN）的頻譜需求增加，並使用了 upper 6 GHz 頻段，且可與已提供服務的 lower 6 GHz 頻段相配合，近期在 6 GHz 頻段內最新技術標準的布建，包括能提供超過 1 Gbps 速度的 Wi-Fi 6e RLAN 技術。如果 3GPP 在 upper 6 GHz 頻段支持其使用，則運行中的無線本地區域網路設備數量將隨時間增加，這些設備所貢獻的總功率也會增加。業界團體及各國監管機構皆表示擔憂可能導致對其他服務的干擾，考慮未來設備激增的預測，澳洲主管機關 ACMA 認為現有服務可能需要停止

¹³ MIC (2024), 從 3GPP 第一階段 IMT 2030 用例研討會展望 6G 發展趨勢。

在該頻段的運作，或者可能需要實施地理限制以管理與現有用戶的共存¹⁴。這些措施對現有和新服務的影響程度在某種程度上取決於現有用戶的數量。因此，為了降低頻段重新規劃對既有使用的影響，並幫助保留未來的規劃選項，澳洲已對 upper 6 GHz 頻段的新設備許可證發放設置了禁令，但對禁令的豁免仍可根據具體情況進行考慮。

對於 6GHz 同時用於區域無線網路可能產生之干擾問題，如前所述，3GPP 成員之一 WBA 表示在 6G 發展態勢下，未來期望透過更好的 QoS 和人工智慧引擎自動化，促進行動通信和 Wi-Fi 之間發展新的商業模式，實現經濟高效、異質網路間的緻密化整合。另外，Rel-18 的 SA（SP-241291）已有提供透過 WLAN 接取 EPC（Evolved Packet Core，4G 演化封包核心網路）或 5GC（5G Core Network，5G 核心網路）時的多媒體優先服務（Multimedia Priority Service，MPS）。以提供優先性的方式來整合區域網路與行動通信網路之接取能力，降低干擾發生或接取能力不足時所產生的影響。3GPP 將 MPS 定義為其系統服務和功能的一部分。MPS 是一種電信服務，旨在壅塞或緊急情況下為特定用戶提供對系統資源的優先接取。它為國家安全（National Security, NS）或緊急準備（Emergency Preparedness, EP）用戶提供不同級別的高優先權呼叫或資料數據使用。所有訂閱 MPS 的使用者裝置（User Equipment, UE）會根據約定的服務使用者配置的 QoS 取得數據網路的優先權。

對於其他頻段的頻譜工作專案，在 3GPP 的上海 TSG#104 會議摘要報告（2024 年 6 月 17 日至 20 日）中，RAN 工作組也核准了更多頻譜工作專案，特別是 NTN（例如用於物聯網及 NR 的 Ku 頻段、S 頻段以及延伸的 L 頻段）。頻譜工作為此次會議重

¹⁴ ACMA(2024), Future use of the upper 6 GHz band Options paper. https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2024-06/future_use_of_the_upper_6_ghz_band_options_paper.pdf

點，茲列出相關文件標題如下：

- RP-241673 WI：x LTE 頻段、y NR 頻段 ($x < 6$ 、 $y < 6$ 、 $x+y \leq 6$)和單一或兩個NR補充上行鏈路 (Supplementary Uplink, SUL) 的雙連接 (Dual Connectivity, DC) 頻段
- RP-241674 WI：x 頻段 DL 和 y 頻段 UL ($x < 7$, $y < 3$) 的 NR 載波聚合 (Carrier Aggregation, CA)/雙連接 (Dual Connectivity, DC) 和補充 SUL 頻段組合/具有單一 SUL 的 CA 頻段組合或兩個 SUL 細胞。
- RP-241680 WI：用於 NR FR1 TDD/FDD 單頻段的高功率 UE (功率等級 1.5 和 2)，以及用於單一 NR 頻段中的固定無線/車載使用案例的高功率用戶終端操作 (功率等級 1)
- RP-241678 WI：用於 LTE 頻段和 NR 頻段雙連接組合的高功率 UE (功率等級 1.5 或 2)
- RP-241679 WI：用於有/無 NR SUL (補充上行鏈路) 的 NR 帶內 CA 或 NR 帶間 CA/DC 頻段組合的高功率 UE (功率等級 1.5 或 2)
- RP-241677 WI：用於 NR 功能的附加 NR 頻段
- RP-241672 WI：在上行鏈路動態 Tx 切換時 NR 和 EN-DC 頻段組合之下行鏈路中斷
- RP-241682 WI：NR CA/DC、NR SUL 和 LTE/NR DC 的同步 Rx/Tx 頻段組合
- RP-241684 WI：向現有 NR 頻段添加支援通道頻寬
- RP-241690 WI：NR NTN 引入 Ku 頻段
- RP-241648 WI：引入 1.4 GHz 頻段
- RP-241664 WI：引入 NR 頻段 n68
- RP-241663 WI：引入 NR 頻段 n87 和 n88
- RP-241661 WI：引入 NR-NTN S 頻段 (MSS 頻段 2000-

2020 MHz UL 和 2180-2200 MHz DL)

- RP-241662 WI：引入 IoT-NTN S 頻段 (MSS 頻段 2000-2020 MHz UL 和 2180-2200 MHz DL)
- RP-241689 WI：引入新的 NR NTN 頻段以支援擴展 L 頻段 (UL 1668-1675MHz、DL 1518-1525MHz) 以及組合的 MSS L 頻段和擴展 L 頻段範圍 (DL 1518-1559 MHz、UL 頻段和擴展 L 頻段範圍 (DL 1518-1559001 Hz 和 1668-1675 MHz))
- RP-241660 WI：在 NR 頻段 n28 中引入功率等級 2 和 UE 40MHz 頻道頻寬
- RP-241665 WI：FR1 中的 NR 功率等級二之 RedCap (功能降低) 用戶終端。

3GPP TSG #105 在 2024 年 9 月 9 日至 9 月 13 日於澳洲墨爾本舉行，針對 Rel-18、Rel-19、Rel-20 進行進度報告，重點摘要如下：

Rel-18

- RAN 小組中只剩下一些 NR 定位 (NR positioning) 的工作。

Rel-19

- 允許推進新的 Rel-19 RAN 工作及擴展範圍。
- 關於 RAN 的討論主要在各個工作專案，撰寫具體技術規範階段 (Work Item, WI) 和研究專案，研究技術可行性階段 (Study Item, SI) 之目標查核點。
- SA 核准了其餘所有工作小組的新 WIs 及 SIs。
- Rel-20 (5G)
- SA 核准了 SA1 的一個 SI 以及幾個新的 WI。

- Rel-20 (6G)
- 在 RAN 領域，會員公司得就 IMT-2030 相關工作發表意見，並計劃在下一次全體會議上核准一項新的 RAN SI，但本次尚未做出任何決定。
- SA 核准了有關 6G 用例和服務要求的 Rel-20 SI

關於 Rel-18 之細部工作如下：

- (1) Stage 3 自 2024 年 3 月部分凍結、2024 年 6 月完全凍結
- (2) ASN.1 與開放 API 於 2024 年 6 月凍結，而
- (3) RAN4 也在 2024 年 6 月凍結，餘 RAN4 執行 NR 定位工作的部分於 2024 年 9 月凍結。
- (4) SA：
 - SP-241076：鐵路互連及（人/貨）遷移相關（IRail）
 - SP-241077：關鍵任務通信的開道器 UE（User equipment，用戶設備）功能（MCGWUE）
 - SP-241079：關鍵任務安全性
 - SP-241080：對未來工廠（Factories of the Future，FFAPP）應用層的支持
 - SP-241161：EXPOSE—針對產業的公開服務介面
 - SP-241291：透過 WLAN 接取 EPC（Evolved Packet Core，4G 演化封包核心網路）或 5GC（5G Core Network，5G 核心網路）時的多媒體優先服務（Multimedia Priority Service，MPS）
 - SP-241297：服務啟用架構層（SEAL_Ph3）
 - SP-241311：無縫 UE 上下文恢復（Seamless UE context recovery，SUECR）

- SP-241337: 關鍵任務服務中的專案通信支持(Ad hoc Group Communication, AHGC)
- SP-241341: 通用群組管理、暴露與通信
- SP-241342: 啟用垂直應用的服務啟用架構層(SEAL)數據傳遞
- SP-241343: 透過 5G ProSe(Proximity based Services, 鄰近服務)的關鍵任務服務

在 Rel-19 的各項工作中，本研究主要關注與頻譜應用或 NR 空中介面相關的工作專案，在 2024 年 9 月墨爾本會議上核准 Rel-19 中 NR AI/ML 空中介面的工作專案 (Endorsed WF: RP-242351, RP-242387; LSout: RP-242389; Approved revised WID: RP-242399)¹⁵，對於利用用戶終端資料進行 AI 模型訓練的標準化解決方案(是否採標準化解決方案仍在討論中，在此前提是如果有的話)，初步討論規則如下：

1. 所收集的資料是安全的，並且確保資料的完整性及機密性。
2. 尊重用戶資料隱私、匿名及取得用戶之同意。
3. MNO 對於資料標準化的資料擷取傳輸過程具有全盤的掌握控制權，能夠管理資料傳輸到伺服器以進行用戶終端之資料擷取，而無需為此目的提供 SLA，包括啟用、終止和完全管理資料傳輸。
4. MNO 對於標準化資料擁有完全可見能力(Full Visibility)。
5. 此設計須具有未來之可驗證性且可擴展：
 - 進一步研究是否以及如何處理非標準化資料(即部分可見性資料)。

¹⁵ Summary Report from 3GPP plenaries #105 (Melbourne, Australia, 9 - 13 September 2024). <https://sns-trackers.sns-ju.eu/standards-tracker/standardisation-updates/summary-report-3gpp-plenaries-105-melbourne-australia-9>

- 進一步研究資料收集的可控性。
- 標準化解決方案應遵循空中介面負擔及網路運作影響最小化之原則。

Rel-19 已展開 7-24 GHz 相關頻段在新應用上的通道研究工作¹⁶，包括 7-24 GHz 的通道模型、整合感知和通信（Integrated Sensing and Communication, ISAC）的通道模型，3GPP 於 2024 年 7 月收到 Next G 聯盟關於 TR38.901 之研究報告¹⁷，針對 7-24 GHz 開發的通道模型，NEXT G 聯盟的報告提供了對通信通道和聯合通信與感知（JCAS）/整合感知與通信（ISAC）通道模型的研究，並對 TR38.901 進行修改。TR38.901 記錄了 3 個研究專案的結果，分別為：

- 「6 GHz 以上頻譜的通道模型研究」（RP-151606）。
- 「新無線電接取技術（New Radio Access Technology）研究」（RP-162469）。
- 「室內工業場景通道建模研究」（RP-182138）。

該研究專案希望能掌握 0.5GHz 至 100GHz 頻率的通道模型，包括評估方法論，以及 3GPP 系統中的行動裝置及接取網路物理層之建模。這項工作之目的是幫助 TSG RAN 第一工作小組使用適當的通道模型正確建模並評估物理層技術的性能，3GPP 將對此持續進行研究。

關於 Rel-20（5G）之會議結論，主要為各項里程碑時程之確認，其他為與 SA1 有關之內容，羅列如下：

- SP-241392 SI：FRMCS（Future Railway Mobile

¹⁶ 3GPP（2024），Rel-18 Status and Rel-19 Progress in TSG RAN. <https://www.3gpp.org/technologies/ran-r18-r19>

¹⁷ 3GPP(2024), Next G Alliance looks at channel models in 3GPP TR 38.901. <https://www.3gpp.org/news-events/partner-news/channel-measurements>

Communication System，未來鐵路行動通信系統）第六階段研究

- SP-241393 WI：衛星接取網路上的網路共享
- SP-241147 WI：災難情境下的第二階段網路共享
- SP-241149 WI：增強型 5G 家庭閘道器第二階段
- SP-241150 WI：組合 QoS（Quality of Service，服務品質）設定和監控
- SP-241151 WI：支援 5G LAN 類型的傳統家庭閘道器
- SP-241153 WI：暴露虛擬網路資訊與功能

Rel-20（6G）規劃之會議結論中，主要為各項里程碑時程之確認，將於下一小段分別介紹，本次會議主要核准的 6G Rel-20 SI SA（Rel-20 中無 6G WI）為 SP-241391 SI：6G 用例和服務需求研究，這是 3GPP 中的第一個 6G SI）。

在 6G 頻譜規劃方面，探詢我國參與 3GPP 內部討論會議之相關業者，表示目前有觀察到 Rel-19 NR 有一些功能或研究如 MIMO、ISAC 等與 upper 6GHz（6425GHz-7125MHz）相關。6G 的部分也有提出一些討論是關於能否整合 upper 6GHz 跟 7.125GHz-8.4GHz 一起使用，此外也有一些關於重新分配低於 1GHz 供 4G IoT 使用之討論。

低頻段除了使用於 4G IoT，對於改善 5G 基地臺的耗電量極大的問題也是一個重要的頻譜政策安排，未來 6G 將邁向省電節能的基地臺設計，以聯發科在 3GPP 提出的 6G 基地臺節能使用案例為例，技術方向將採取低頻段來服務數據需求較低的用戶端設備，且盡量滿足長期開機待機的狀態，高頻段則可依數據流量需求開關來服務高數據需求的終端設備。通常低頻段所需天線與基地臺數較少，耗電量較少，高頻段所需天線與基地臺數較多，耗電量也較多。在此規劃下，聯發科亦建議未來 6G 頻譜可朝高低頻

段搭配的規劃政策。

至於 6GHz 以上之頻段，NEXT G 聯盟提交給 3GPP 之 JACS/ISAC 研究，對於 ISAC 之使用頻段，在 7-15GHz 及毫米波亦有一些研究。目前較少公開討論 71GHz 以上頻段的相關技術應用。

衛星與地面行動網路融合是 B5G/6G 時代真正實現全球無所不在涵蓋的重要趨勢，未來在衛星服務廣泛滲透消費市場後，頻譜短缺問題將變得更加嚴重。衛星和地面行動網路之間的頻譜共享是緩解頻譜短缺問題的解決方案之一，但若管理不當，將不可避免地導致兩個系統之間的嚴重干擾。我國 IC 設計公司聯發科，及臺大、清大等學者專家於 2024 年初共同於 IEEE 發表新的干擾減輕技術¹⁸，該技術同時考慮具有地球固定波束成形能力的衛星網路和行動網路，提出無線電頻譜資源共享機制的干擾感知演算法（Interference-aware radio resource group sharing mechanism），並透過次優 TN 與 NTN 組群演算法（sub-optimal TN and NTN grouping algorithm），優化整體系統容量，確保每個鏈路上的訊號品質運作在可接受的水準。該機制證明了 NTN-TN 頻譜共享的可行性，在近期 3GPP 的討論中，NTN-TN 的頻譜共享也成為一項重要的討論議題。

2. 各階段工里程碑規劃

3GPP 採用 ITU-T 建議中所定義的三階段方法來發展所推出各版本內容，第一階段是從使用者角度的整體服務描述；第二階段是對網路功能組織的總體描述，以將服務需求對應到網路功能；

¹⁸ IEEE Transactions on Vehicular Technology (2024), Interference Mitigation for Reverse Spectrum Sharing in B5G/6G Satellite-Terrestrial Networks <https://ieeexplore.ieee.org/document/10301688> [http://wmnlab.ee.ntu.edu.tw/lab/publication/Journal/\[J\]2023_\[TVT\]Interference_Mitigation_for_NTN_TN_Spectrum_Sharing_in_B5G_6G_Satellite_Terrestrial_Networks.pdf](http://wmnlab.ee.ntu.edu.tw/lab/publication/Journal/[J]2023_[TVT]Interference_Mitigation_for_NTN_TN_Spectrum_Sharing_in_B5G_6G_Satellite_Terrestrial_Networks.pdf)

第三階段定義了支援第一階段定義的服務所需的交換（switching）和訊號功能。

按照 3GPP 的分工，在第一階段由服務與系統層面第一組（Service and System Aspects 1, 簡稱 SA1）先從用戶的角度蒐集相關需求，敘述整體服務內容，並遞交給其他小組。接著第二階段進入架構的建立，由各 SA 小組及無線接取小組（RAN Radio Access）建立網路功能的相關細項內容，將第一階段之服務需求整合為網路效能，並遞交給後續相關工作小組。第三階段則由核網及終端技術組（Core Network and Terminal, 簡稱 CT）與其他小組合作制定協定，以發展支援第一階段定義服務所需之交換和訊號功能定義，並制定最終協定及編碼。下圖為 3GPP 各階段之小組分工示意圖。

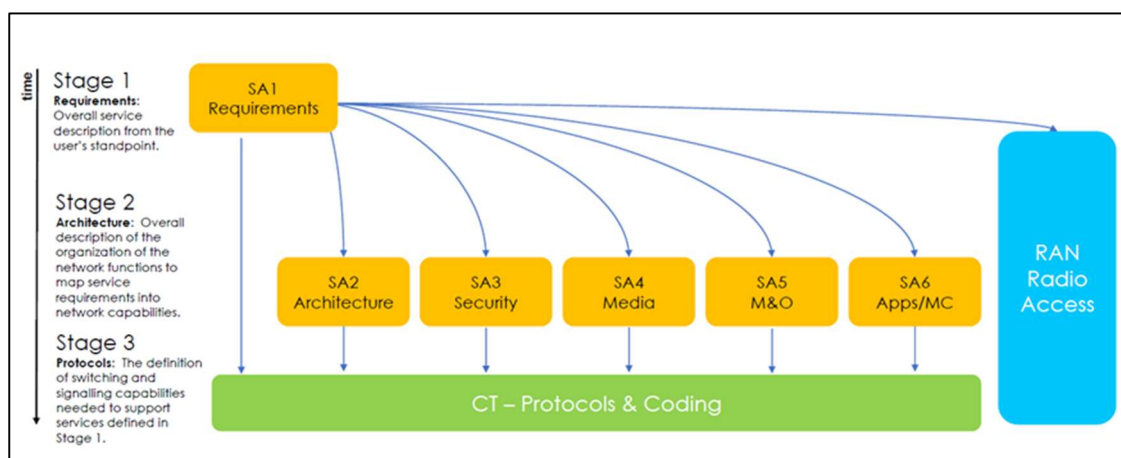


圖 3- 6、3GPP 各階段之小組分工示意圖

資料來源：3GPP（2024 年 5 月）

首屆 3GPP 之 6G 技術規範組(Technical Specification Group, TSG) 19研討會於 2025 年 3 月 10 日至 11 日召開，該研討會時間規劃在 Rel-

19 3GPP 以工作小組進行研析與制定標準，以 NR 標準來說，由 3 個大的技術規範組(Technical Specification Group, TSG)，分別為 TSG RAN(Radio Access Network)、TSG SA(Service & System Aspects)、TSG CT(Core Network & Terminals)組成，每個 TSG 下面還有各項工作小組(Work group, WG)。

19 的 RAN1 凍結（2025 年 6 月）之前，後續 Rel-20 的 RAN 工作小組時程規劃如下：

針對 5G-Advanced：

- 第一階段（Stage-1）凍結：2025 年 6 月
- 第二階段（Stage-2）凍結：2026 年 6 月（達成率 $\geq 80\%$ ）；2026 年 9 月（完成度 100%）
- 第三階段（Stage-3）凍結：2027 年 3 月
- 定案：2027 年 6 月

針對 6G 研究專案（SI）：

- RAN 第 1 工作組（RAN1：探討實體接取網路層相關議題）預計於 2025 年第三季啟動、2027 年第一季完成工作
- RAN 第 2/3/4 工作組（RAN 2/3/4：如下圖）預計 2025 年第四季啟動、2027 年第二季完成工作。

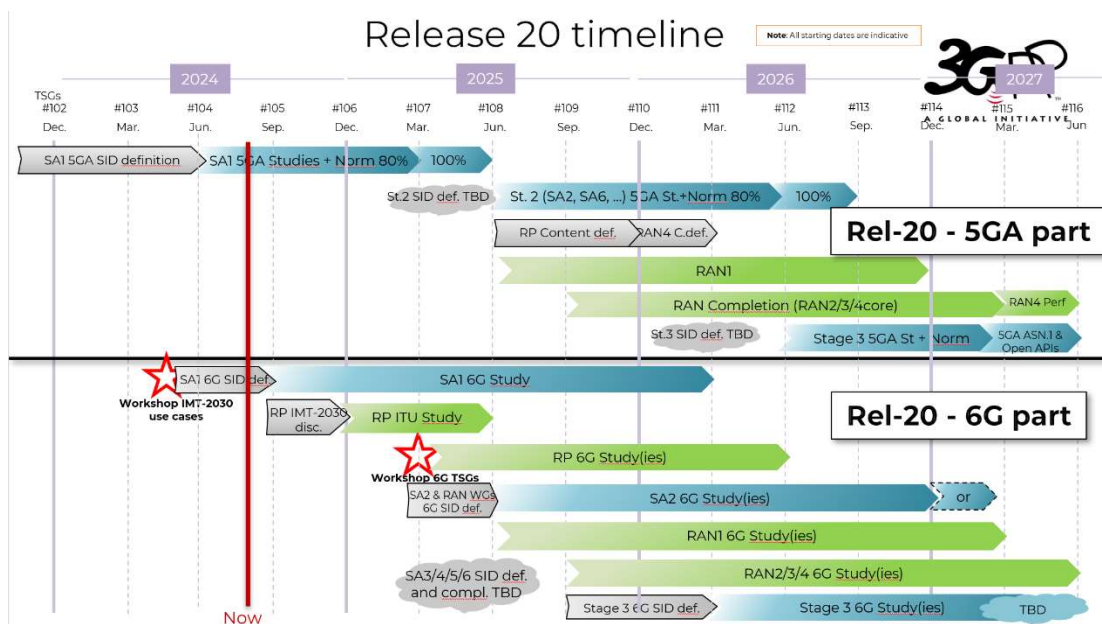


圖 3- 7、3GPP R20 之 5G Advance 及 6G 研究時間表

資料來源：3GPP（2024 年 8 月）

從 5G Advance 延續下來，3GPP 首次進行的 6G 初步討論是在 2023 年 9 月的 RAN#101，會議中首次簡短言及 6G 推進時程

表，在 2023 年 12 月的 RAN#102 討論中，提出 6G 推進時程表之初步考量因素，並確認了 RP-233985 對於 6G 時程的推動方向，2024 年 3 月的 RAN#103 則討論 6G 推進時程表的其他考量因素，更詳細的各組分工及工作時程，彙整 6G 研究時程規劃，說明如下。

3GPP 的 6G 研究工作將自 Rel-20 開始進行，Rel-20 的工作並將 RAN 工作組分為「以 ITU 為重點的研究專案」與「RAN 整體研究專案」兩個小組，IMT-2030 相關的討論預計於 2024 年 9 月至 12 月在 RAN-ITU 小組進行，預計 2024 年 12 月送出審核，至隔年 6 月完成審核。RAN 整體 6G 研究（如無線電需求及關鍵服務指標 KPI），預計於 2025 年 3 月將研究專案送交審核，至隔年 6 月完成審核。

在服務與系統（SA）的 6G 研究專案時程方面，SA1 及 SA2 的研究專案將在 5G Advance 的第一階段及第二階段凍結後持續研究。SA1 研究專案已在 2024 年 9 月的 TSG#105 會議中核定並列入 Rel-20 的 5G 工作。SA2 研究專案將在 2025 年 6 月的 TSG#108 會議中審核。其他 SA 工作小組（SA3、SA4、SA5、SA6）研究專案之審核時間則待日後 TSG 會議決議。

SA1 6G 研究專案的完成時間預計在 2026 年 3 月，SA2 6G 研究專案的完成時間預計在 2026 年 12 月或 2027 年 3 月（將於日後 TSG 會議中決議），SA 之 6G 研究專案之完成時間將會至 2027 至 2028 年。在 3GPP 的規劃中，Rel-20 進行 6G 研究專案工作，Rel-21 則進行 6G 的規範制定工作。

進入第三階段的核網及終端技術組（Core Network and Terminal, CT）所需工作時間至少 9 個月，該組的 6G 研究專案預計於 SA2 研究專案完成審核後才開始運作。下圖為 3GPP Rel-20 之 6G 研究細項時間表，該圖表下方也列出 ITU 的規劃時程作為

對照：3GPP 的 SA1 研究專案工作時程與 IMT-2030 技術與性能要求 (Technical and Performance Requirement) 所需規劃時程拉齊，且其中包含 RP ITU Study、SA2 及 RAN 小組的 6G 研究專案敘述定義以及 3GPP 第三階段 6G 研究專案敘述定義。ITU 訂定需求評估條件及提案格式 (Requirement evaluation criteria and submission template) 之時程規劃在 2026 年第三季。接著，ITU 將於 2027 年初展開技術提案工作坊，於 2027 上半年進行 IMT-2030 技術提案之討論，屆時，配合 ITU 之技術提案討論時程規劃，3GPP 的第三階段工作也接近尾聲，而 6G 的實際規範將在 Rel-21 之中製作。

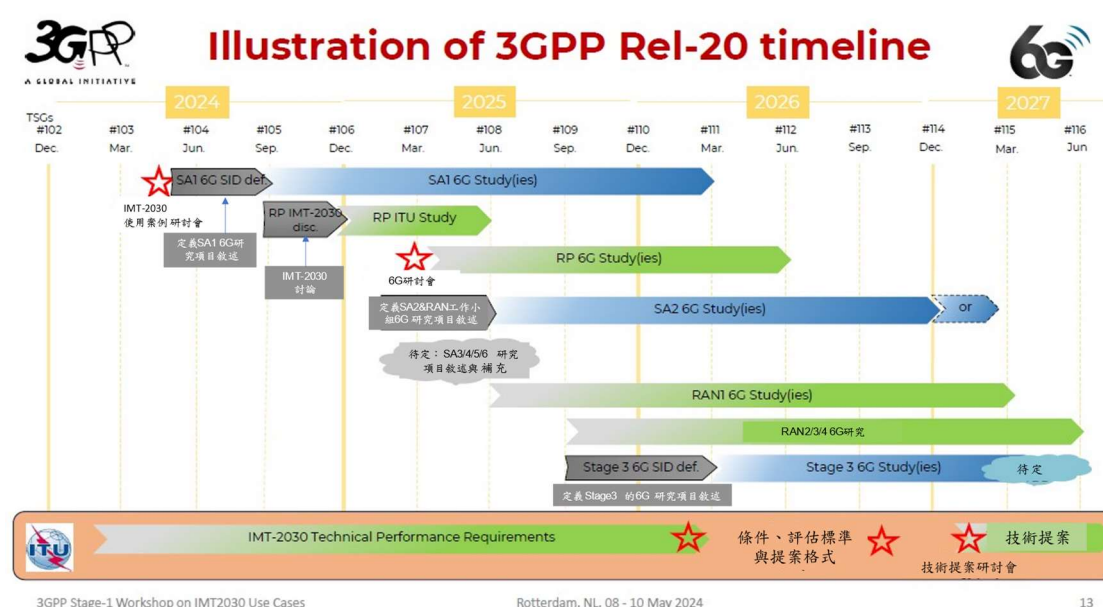


圖 3- 8、3GPP R20 之 6G 研究細項時間表

資料來源：3GPP (2024 年 5 月)

Release 21 將是 3GPP 提交 IMT-2030 的首個版本，其中將包含 6G 的首批技術規範，對於 Rel-21 的時程確認將不晚於 2026 年 6 月，預計在 2029 年 3 月之後才會凍結 Rel-21 公開版。

三、GSMA

(一) 下世代頻譜政策趨勢觀測

根據全球行動通信系統協會（Groupe Speciale Mobile Association, GSMA）於 2024 年 2 月發布之行動經濟年報（The Mobile Economy 2024）²⁰提及近年著重於 5G-Advanced 及 B5G 等技術的實際發展，而非急於探討 6G 應用願景和技術。GSMA 之策略反映行動通信市場現階段處於轉型期，並認定行動通信市場之發展將取決於經濟規模，因此 GSMA 主張強化各種垂直應用領域需求，以滿足通信市場關注之現行技術。此外，GSMA 探討行動通信產業未來之發展路徑。說明 5G 網路技術、新服務模式和生態系統合作等方面的最新發展，為未來 6G 網路奠定基礎。

本計畫擷取 GSMA 關注 5G 獨立組網（Standalone, SA）和 5G-Advanced 之發展、5G 商用化、衛星和非地面網路（Non-Terrestrial Networks, NTN）之使用、eSIM 新服務之推出，以及 AI 應用等議題，描繪邁向未來 6G 願景可能路徑。

目前行動網路的使用人數雖有顯著增加，但增加速度逐漸趨緩，根據 GSMA 的預測，全球行動通信普及率到 2030 年將達到 63 億人，相當於全球人口的 74%。全球 5G 連線數占總人口的比例亦上升至 56%，使 5G 成為當今通信市場中連線數最高的行動技術。顯示出 5G 技術在未來的主導地位，以及其對全球網路通信的重要影響。

GSMA 亦於 2024 年 2 月發布之行動策略手冊²¹中提及 5G 四

²⁰ GSMA (2024), The Mobile Economy 2024, <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-economy/wp-content/uploads/2024/02/260224-The-Mobile-Economy-2024.pdf>

²¹ GSMA (2024), Mobile Policy Handbook – 2024 Edition, <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/mobile-policy-handbook/>

大使用場景：

- (1) 增強之行動寬頻：至少 20Gbps 的尖峰下載速度以及在密集城市地區可靠之 100Mbps 使用者體驗資料速率。
- (2) 超可靠和低延遲通信：1 毫秒延遲和極高的可用性、可靠性和安全性，以支援虛擬實境（VR）和車聯網等服務。
- (3) 大規模之機器類型通信：支援每平方公里至少一百萬個 IoT 連接的能力，以及較長之電池壽命和廣域涵蓋範圍。
- (4) 固定無線接取（Fixed Wireless Access, FWA）：為已開發市場和發展中市場之鄉村和城市地區的家庭和企業提供類似光纖的速度的能力。

行動網路的快速發展，特別是 5G 技術的普及，將對各行各業產生巨大影響，5G 技術之商業化將在全球範圍內持續加速成長。截至 2024 年 1 月，在全球 101 個國家中，已有 261 家營運商推出商用 5G 服務，另有超過 90 家營運商計畫在未來幾年內推出 5G 服務。隨著更多營運商加入 5G 服務的行列，5G 技術的應用範圍擴大布建，亦開始重視 5G SA 和 5G-Advanced 的發展。

截至 2024 年 1 月，57 個國家中的 117 個營運商已推出 5G FWA，此舉說明全球超過半數之國家已推出 5G FWA。目前多數 5G 網路皆建立在非獨立組網（Non-Standalone, NSA），且允許營運商在現有 4G 基礎設施上布建新的 5G 無線電技術，降低營運商的資本支出和商用時間，加速了 5G 的布建和普及。然而，行動通信產業發展向 5G SA 轉移，這些新標準能夠有更多創新的 5G 應用場景，並創造新的收入來源。5G SA 之建置將不再依賴 4G 基礎設施，從而實現更高的性能和靈活性，促進 5G 發展領域帶來新機遇，並提升數位經濟。

GSMA 於 2024 年 6 月發布之 6 GHz IMT 生態系統需求驅動規

模報告²²中，開始探討 6 GHz 生態系統，並且針對 6 GHz 市場開發原則、6 GHz 使用頻段，以及 6 GHz 發展時程等展開說明。6 GHz 於 5G 頻譜應用中可在發揮核心作用，中頻段能夠提供高容量、高涵蓋，並預估將在 2030 年推動全球 GDP 增長超過 6100 億美元，占 5G 產生之總體社會經濟價值的近 65%。

1. 6 GHz 市場開發原則：

- (1) 技術障礙：設備和基礎設施之解決方案可在頻段內運行，故 6 GHz IMT 之開發及商業化不存在技術障礙
- (2) 生態系準備：設備組件和網路基礎設施生態系統的主要參與者已準備好根據客戶需求開發 6 GHz IMT 產品。
- (3) 發展觸發點：啟動產品開發的主要觸發因素將是營運商的需求，而營運商的需求已經受到 WRC-23 和國家監管決策的推動。
- (4) 開發時間表：從開發開始，生態系統參與者期望他們可以在 6 到 12 個月內準備好解決方案。

2. 6 GHz 發展時程

GSMA 考慮國際間對 6 GHz 之需求和布建，估算潛在的 6 GHz 路線圖和時程表如圖 3-9 所示：

- 2022 年：進行第一次 6 GHz 測試、3GPP Rel-17 規範完成
- 2023 年：進行現場測、發布第一個原型，以及 IMT 於 WRC-23 確立用途。
- 2024 年：進一步測試及原型發展。
- 2025 年：根據頻譜可用性和市場需求大規模提供設備。

²² GSMA (2024), The 6 GHz IMT Ecosystem Demand Drives Scale, <https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/07/6-GHz-IMT-Ecosystem-Demand-Drives-Scale.pdf>

6 GHz timeline

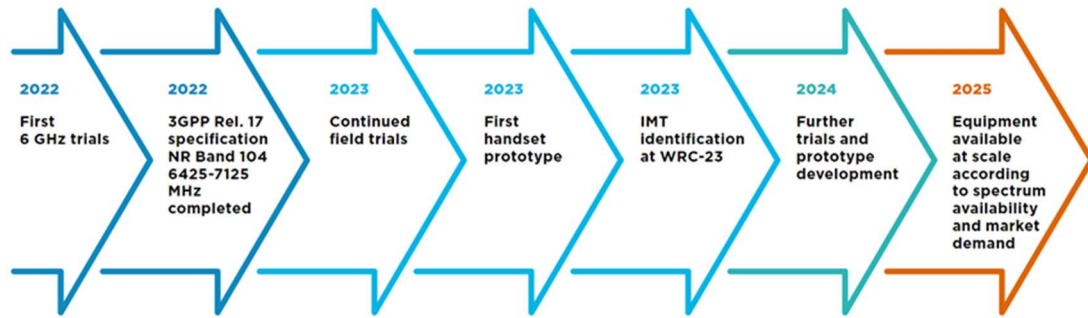


圖 3- 9、GSMA 6 GHz 發展時程圖

資料來源：GSMA

此外，GSMA 在行動經濟年報亦探討下列三項通信趨勢：

(1) 衛星和 NTN 之使用

現今電信網路涵蓋全球 95% 以上之人口，衛星和 NTN 技術僅涵蓋不到 45%的陸地面積。此數據證實衛星和 NTN 技術的發展可擴大網路涵蓋範圍，提供偏遠區域穩定的連接服務。衛星、NTN 以及 D2D 之崛起，得益於技術突破允許衛星連接到手機，並提供全球範圍內的無處不在的涵蓋，目前全球衛星和 NTN 技術範例如下圖所示。

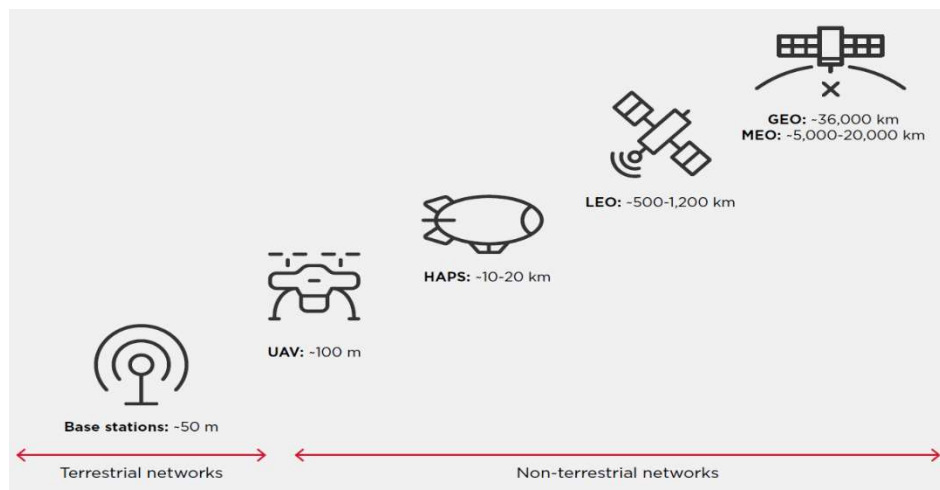


圖 3- 10、全球衛星和 NTN 技術範例

資料來源：GSMA (2024), The Mobile Economy 2024.

(2) eSIM 新服務之推出

儘管 eSIM 已推出多年，支援 eSIM 的消費性設備，如智慧型手錶數量增加，使得 eSIM 逐漸受到重視。據統計至 2023 年 6 月，智慧型手機之 eSIM 服務已在全球 116 個國家推出。據 GSMA Intelligence 之預測，eSIM 連接性至 2030 年將增長到 69 億人口，約占智慧型手機總連接數的四分之三。

(3) 生成式人工智慧之應用

行動通信市場探索生成式人工智慧（Generative AI, GenAI）的廣泛應用潛力，運用引導式方式導入大量積累之資料生成式訓練方式，能夠從文字生成影像，以及從影像生成影像。技術之發展有望開發出智慧客服機器人、個性化推薦系統等，這些應用將為電信產業帶來更多的商業機會。

5G 技術雖已在全球布建，但通信領域的創新仍在持續。現行 5G 的頻譜使用、網路架構、能源效率等方面做出重大突破，實現更高的頻寬、更低的延遲、更廣泛的連接涵蓋。6G 則被視為下一代無線通信的重要發展目標，並預計於 2030 年商用化。GSMA 指出 5G 技術、衛星通信、eSIM 和人工智慧等新興技術的演進，皆是未來通信網路之樣態。這些趨勢反映通信市場正在重塑模式且探索新技術，進而推動各產業實現數位化轉型。

(二) 頻譜需求研析

GSMA 主張 6G 相較 5G 晚 10 年商用化，將在 2030 年中後期開始商用。6G 可使用高達 1Tbps 的數據速率、微秒級延遲（100μs, 10-4 秒）、高精準度定位和感知融合等技術，滿足高頻寬、低延遲、廣泛的連接涵蓋。運用下列新興應用場景中，如全像通信、無間隙 XR、數位雙生、自動駕駛、人工智慧等。

1. 6 GHz 頻譜：滿足 5G 中頻段需求的關鍵

5G 技術需要低、中、高頻段的頻譜資源才能充分發揮其潛力。其中。低頻段雖然涵蓋範圍廣，但容量有限；高頻段容量大，但涵蓋範圍較小。中頻段變為重要的平衡點，因其能提供廣泛涵蓋範圍的同時，也具備承載大量數據流量所需的容量。因此，中頻段被視為 5G 發展的核心，其需求將隨著行動數據流量的增長和 5G 應用場景的擴展而持續增加。在可預見的未來中，6 GHz 頻段（5.925-7.125 GHz）代表了核配給行動服務之中頻段頻譜資源內，最大剩餘之單一區塊。因此，行動產業將 6 GHz 範圍視為 5G 擴展的主要目標，以滿足日益增長的中頻頻譜需求。

茲整理 GSMA 提出之 5G 發展頻譜需求表如表 3-7 所示：

表 3-7、GSMA 之 5G 發展頻譜需求表

頻段	頻率範圍	5G 應用場景	頻譜需求 (平均每個國家)	重要性
低頻段	低於 1 GHz	• 廣域涵蓋，特別是鄉村地區 • 增強室內涵蓋 • 支持 IoT 應用，例如大規模機器類型通信 (mMTC)	擴展盡可能多的頻譜	現有低於 1 GHz 的頻譜容量不足以滿足 5G 需求，擴展此範圍之頻譜使鄉村區公平獲得與城市地區相同之可用行動服務，實現數位包容。
中頻段	1 GHz 至 6 GHz	• 城市範圍內的容量 • 高速行動寬頻 • FWA • 增強型行動寬頻 (eMBB)	到 2030 年平均需要 2 GHz	中頻頻譜一直是 5G 推出的主要驅動力，預計將在未來十年內幫助實現 5G 的大部分社會經濟效益。
高頻段	6 GHz 以上，例如毫米波 (mmWave)	• 極高容量 • 超可靠低延遲通信 (URLLC) • 支持密集的城市環境 • FWA 供類光纖連接	到 2030 年平均需要 5 GHz	高頻頻譜補充密集城市地區的低頻段和中頻段頻譜實施，並透過 FWA 提供類光纖連接。 可確保高密度場所之安全、可靠和低延遲網路。

資料來源：GSMA，本研究團隊整理

2. 中頻段之頻譜分配與社會效益

WRC-23 已將中頻段之 6 GHz 上半頻段（6.425-7.125 MHz）識別為 IMT 頻段，為 6 GHz 生態系統的發展奠定了基礎，並推動設備製造商投入研發。許多國家亦規劃將 6 GHz 頻段供 IMT 使用。據 GSMA 研究顯示，中頻段之 6 GHz 頻譜中的 700-1200 MHz 頻寬之分配給授權 5G 通信技術使用能發揮最大頻譜利益。然而，頻譜分配會受各國分配使用因素影響，每個市場提供之固定光纖、有線寬頻服務的基礎設施，以及固定寬頻皆會影響頻譜效益。

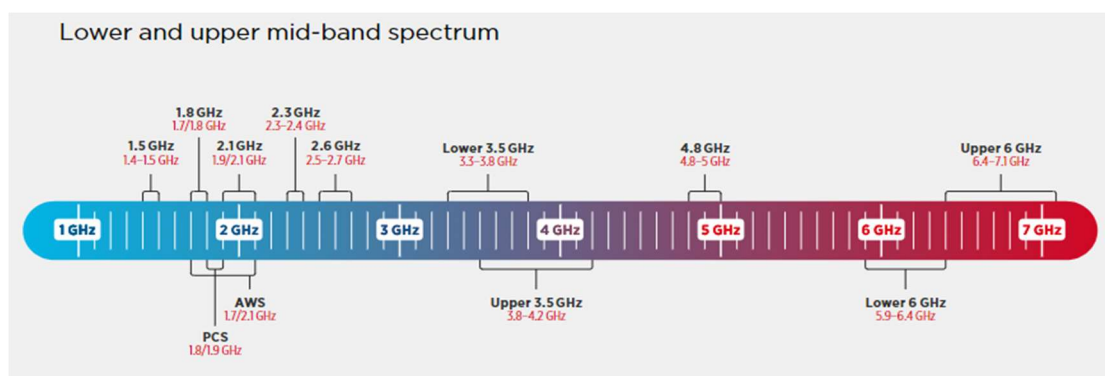


圖 3- 11、GSMA 中頻段頻譜分配圖

資料來源：GSMA

GSMA 對國際間主要行動網路營運商進行的調查²³顯示，大多數營運商預計於 2025 年至 2030 年間規劃 6 GHz 頻譜之使用，如圖 3- 12 所示，部分市場甚至可能在 2025 年就出現需求。

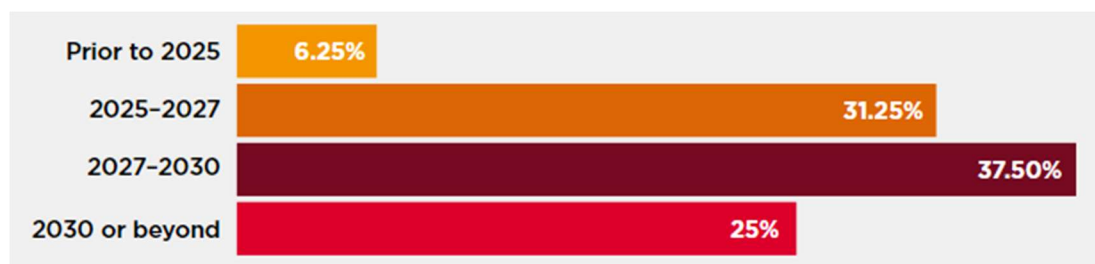


圖 3- 12、GSMA 6 GHz 頻譜需求規劃

資料來源：GSMA

²³ GSMA (2024), The 6 GHz IMT Ecosystem Demand Drives Scale, <https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/07/6-GHz-IMT-Ecosystem-Demand-Drives-Scale.pdf>

因此，為提供各國主管機關及產業之願景，GSMA 從頻譜需求之立場於 2024 年 2 月發布頻譜政策趨勢報告（Spectrum Policy Trends 2024）²⁴，說明五項未來政策趨勢。

(1) 彙整 WRC-23 決議使用頻段與 WRC-27 考量頻段

隨著 WRC-23 決議釋出，WRC-23 對於 IMT 頻段 3.5 GHz、6 GHz 和低頻段之決議：

- 5G 核心頻段：歐洲、中東、非洲地區（Europe, Middle East, and Africa, EMEA）和美洲地區之多數國家 5G 服務達成和諧使用 3.5 GHz 頻段；
- 中頻段擴充容量：確定 ITU 各區域可使用之 6 GHz 頻段範圍，第 1 區 6425-7125 MHz 頻段；第 3 區 7025-7125 MHz 供 IMT 使用；
- 低頻段實現數位平等：中東地區、非洲地區可使用 600 MHz 頻段供 IMT 使用；歐洲可使用 470-694 MHz 頻段供 IMT 使用。

Mid-band capacity expansion	Final harmonisation of 5G core band	Low band for digital equality
6 GHz	3.5 GHz	Low Bands
✓ IMT throughout EMEA and CIS in 6.425-7.125 GHz ✓ IMT footnotes for APAC and Americas ✓ Footprint expansion in 2027 ✓ 60% of global population covered by countries supporting 6 GHz IMT ✓ 700 MHz of new IMT capacity in 6 GHz band	✓ Harmonisation throughout EMEA, CIS and the Americas within 3.3-3.4 and 3.6-3.8 GHz ✓ 400 MHz+ harmonised spectrum in nearly all countries ✓ Harmonisation of 3.5 GHz completed in over 150 countries	✓ IMT throughout Middle East in 600 MHz ✓ Mobile allocation in 470-694 MHz in Europe ✓ 600 MHz foothold in some African countries ✓ 60+ countries signed into new footnotes for low-band spectrum

圖 3- 13、WRC-23 對於 IMT 頻段之決議

資料來源：GSMA

該決議亦說明 WRC-27 將討論 IMT、D2D、MSS 等使用頻

²⁴ GSMA (2024), Spectrum Policy Trends 2024, <https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/02/Spectrum-Policy-Trends-2024.pdf>

段，協助業者順利接軌 IMT-2030 技術，同時確保行動通信業者的 IMT-2020 頻發展基礎。

(2) 技術中立執照和網路落日

5G 發展不斷推進，技術中立執照和汰舊網路成為 2024 年頻譜政策的重點。技術中立執照不會限定使用特定技術，透過技術中立執照，營運商可自由選擇在獲得的頻譜布建最先進且節能的技術，確保頻譜使用效率最大化。GSMA 認為將特定技術執照轉換為技術中立執照時，不應對營運商收取額外的執照費用。若收取額外費用將增加營運商的經營負擔，延緩新技術投資與鼓勵頻譜高效利用的初衷。各國主管機關應秉持技術中立原則，在現有執照有效期內支持營運商自主選擇新技術。

過去主導通信領域的 2G 和 3G 等傳統網路因 4G 和 5G 網路技術發展，進而關閉或淘汰逐漸轉為定局。全球網路關閉之數量亦不斷上升，將有 143 個規劃關閉 2G 和 3G 網路計畫（主要使用 900、1800 或 2100 MHz 頻段），其中約 50%計畫預計將於 2024 年底前實現。此類網路落日的趨勢並非主關機關強制性的政策，需各國主管機關、行動營運商和其他生態系統參與者之間合作，促成頻譜重新分配，以利提升網路連線與降低既有之設備維護的風險。

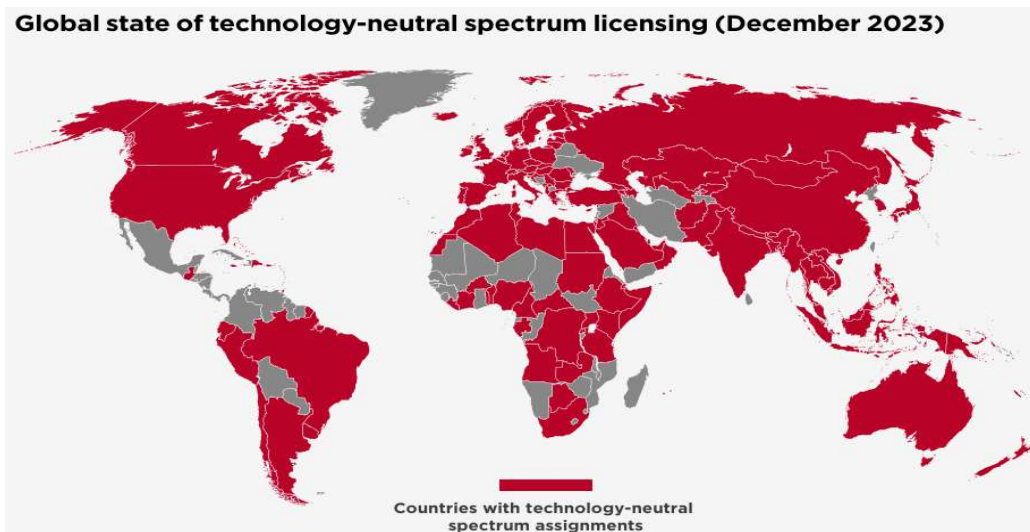


圖 3- 14、全球技術中立概況

資料來源：GSMA（2024），Spectrum Policy Trends 2024.

(3) 頻譜定價消弭涵蓋範圍與使用差距

全球約有 5% 的人口居住在無行動網路涵蓋之區域，亦有高達 40% 的人口雖居住於行動網路涵蓋之區域卻無法使用行動網路服務。對用戶而言，改善網路涵蓋與增加網路連線意味著獲取更廣泛的服務。因此，傳統的高額頻譜執照拍賣模式逐漸被投資承諾機制取代。這種新機制使營運商無需一次性支付鉅額頻譜費用，而是獲得執照後承諾進行相對應的網路投資建設以換取合理的頻譜定價。投資承諾機制的採用強化營運商的積極性，推動偏鄉涵蓋與降低服務資費，並擴大網路涵蓋範圍。投資承諾機制與合理頻譜定價之結合可望縮小全球數位落差。

故 GSMA 針對頻譜定價政策提出 5 點建議：

- 設定適度底價和年費，並依賴市場定價
- 考慮允許營運商將頻譜費用轉化為投資承諾機制
- 因應頻譜稀缺，建議及時頻譜分配
- 避免增加營運商風險與損害市場價值措施
- 發布頻譜規劃藍圖，進行長期規劃

許多國家和地區已開始嘗試使用投資承諾機制取代頻譜執照拍賣模式，如紐西蘭、瓜地馬拉、巴西等國家。

- A. 紐西蘭政府於 2023 年與行動網路營運商（Mobile Network Operator, MNO）協商 3.5 GHz 頻段分配。由政府進行公平分配，確保三家 MNO 均獲得 80 MHz 頻寬。每家業者承諾投入 2,400 萬紐元用於改善偏鄉網路涵蓋，以換取頻譜，促進偏鄉地區 5G 布建。
- B. 瓜地馬拉政府於 2023 年將 3.5 GHz 頻段的底價設置為每 MHz 450 萬格查爾，使得四家營運商均能負擔並獲得頻譜資源²⁵。此價格大幅低於同區域其他國家之定價，推動 5G 快速布建並降低消費者成本。
- C. 巴西通信主管機關 Anatel 於 2021 年採用成本恢復模式（cost recovery model）確認 3.5 GHz 頻段的底價，旨在透過較低的頻譜成本刺激網路投資和服務擴展。巴西政府因合理的頻譜定價，促進行動數據消費成長。

(4) 不再採取單一批發網路政策

近年來許多國家放棄採用單一批發網路（Single Wholesale Networks, SWN）政策，轉而支持競爭性市場方法。雖支持者曾認定 SWN 較傳統競爭模式具備營運商之間的連接性，然而實際上 SWN 採用率低、涵蓋範圍擴展緩慢、價格昂貴、創新有限。總的來說，SWN 導致頻譜閒置、SWN 被授權者無法收回投資、經濟效益有限且服務品質不佳，且截至今日全球沒有任何一個成功的 SWN 實施案例。

過往許多國家和地區嘗試使用單一批發網路模式皆以失敗

²⁵ GSMA (2023), Spectrum management in Latin America, <https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wpcontent/uploads/2023/10/Spectrum-management-in-Latin-America.pdf>

告終。如英國、法國、德國等國家。

- A. 法國是歐洲最早放棄單一批發網路 (SWN) 模式的國家之一。法國曾在 2018 年考量採用 SWN 模式來推行 5G 網路建設，計畫設立一家國有公司，負責在全法範圍內統一規劃、投資和建設。受到營運商強烈反彈，認為 SWN 模式將嚴重扼殺營運商的創新動力和網路投資。此後 GSMA 介入說服法國政府放棄採用 SWN 模式。法國於 2022 年 9 月和 2023 年 1 月，法國政府先後拍賣了 3.5 GHz 和 700 MHz 兩個 5G 頻段，回歸競爭模式。且要求於 2025 年涵蓋法國境內三分之二網路人口區域，以及 2030 年前涵蓋所有村鎮²⁶。
- B. 德國聯邦網路局 (BNetzA) 曾在 2018 年提出 SWN 計畫，由一家新的聯合公司負責在全德範圍內建設 5G 網路基礎設施，其他營運商從中購買服務。在 GSMA 與其他營運商反對下，德國政府放棄此一計畫，改為以競爭方式讓四家營運商各自獲得 5G 頻譜資源自建基礎設施。德國於 2023 年進行諮詢使現有行動網路營運商在 800 MHz、1800 MHz 和 2600 MHz 頻段的頻譜執照延長至 2030 年，且主管機關提出針對偏遠地區的涵蓋目標為每個營運商於 2029 年 1 月 1 日前提供至少 98% 的人口稀少區域家庭 100Mbps 之行動數據服務²⁷。
- C. 英國的郊區共享網路 (Shared Rural Network, SRN) 計畫，屬於非強制性由政府 and 營運商聯合倡議。英國四大營運商於 2020 年與政府達成協議，共同推出 SRN 計畫，

²⁶ GSMA (2022), 5G Drives French Digital Transformation, https://www.gsma.com/get-involved/gsma-membership/gsma_resources/5g-drives-french-digital-transformation/

²⁷ Mobileeurope (2023), German regulator consults on extending spectrum licenses instead of auction, <https://www.mobileeurope.co.uk/german-regulator-consults-on-extending-spectrum-licences-instead-of-auction/>

旨於 2026 年將 4G 涵蓋率提高至 95%，營運商將投資 5.32 億英鎊來消除部分無涵蓋區域，政府則提供 5 億英鎊投資基礎建設。與 SWN 不同，SRN 讓營運商保留獨立核心網路，且是商業驅動而非政府強制，故被證明比 SWN 的壟斷方式更成功。

(5) 專用行動網路監管方式

現今垂直產業需更高的網路需求滿足公眾網路難以完全達成之涵蓋、容量、可靠性和安全性，故行動專用網路（Private Mobile Network, PMN）應運而生。然而 PMN 相關的頻譜使用費計費模式、與公眾網路的界定等細節規範仍在制定中。據 GSMA 的預測，2024 年將有更多國家開放 PMN 頻譜拍賣和頒布相關規則。

PMN 的興起展現出高效率使用頻譜資源的新理念，顛覆過往公眾電信營運商的傳統模式，PMN 允許企業和機構自建小型 5G 專網，可高度定制化以滿足特定業務需求。許多國家開放現有和新興中低頻段頻譜資源，如 3.5 GHz、2.6 GHz 等頻段供 PMN 使用。GSMA 為現有三種專用網路頻譜說明，如下圖所示。

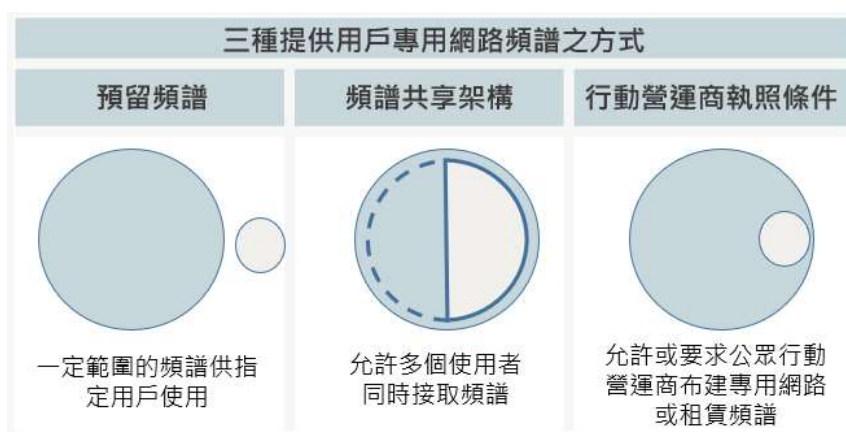


圖 3- 15、專用網路頻譜供應方式

資料來源：GSMA （2024）, Spectrum Policy Trends 2024.

GSMA 長期檢視、提供行動通信頻譜規劃相關建議給各國政府，以促進各國使用願景。目前 6 GHz 頻段為 5G 之核心頻段，持續作為社會及工業發展。現階段各國主管機關需謹慎考量如何有效使用 6 GHz 頻譜，可預期未來中頻段分配於行動執照及免執照服務之最大頻寬，並藉由正確的頻譜管理可推動行動通信發展並帶來新一代技術。

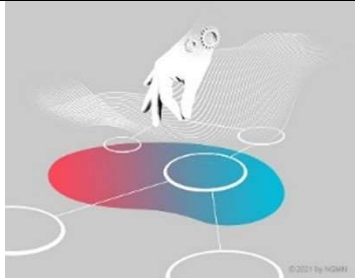
四、NGMN

(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、服務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，並且負擔得起的行動電信服務，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 3-8 所示。

表 3- 8、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來預測 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 外部相關活動之外，至今也陸續發表 9 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，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，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，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，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服務和功能，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，提供了在 6G 網路建立可信度的綜合指南，藉由報告內容來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），報告中介紹了 ITU-R IMT-2030 的框架和目標，以及 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了對 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。詳細報告發布順序、時間點與主題如圖 3-16 所示。

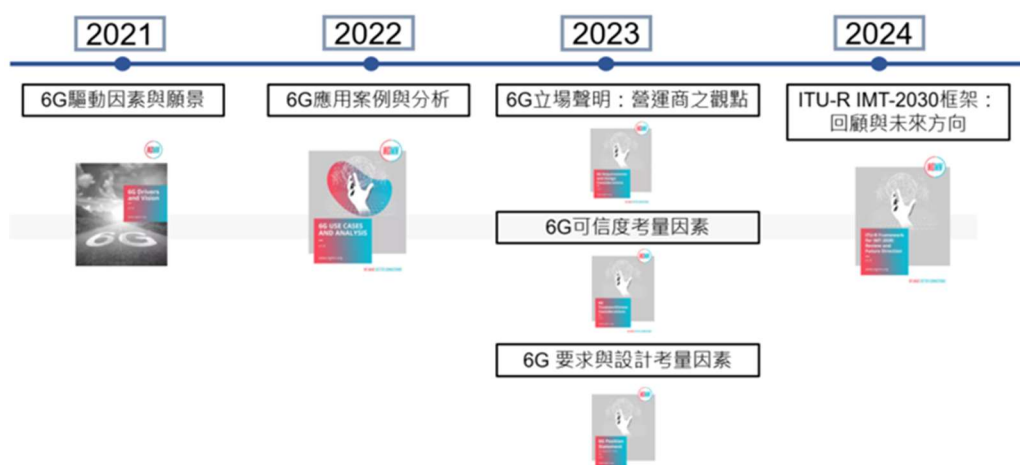


圖 3-16、NGMN 聯盟發布報告時序與主題

資料來源：本研究整理

從 6G 願景與驅動力報告書（6G Drivers and Vision）²⁸中，說明聯盟成員對於未來下世代 6G 技術的關鍵驅動因素以及指導未來技術用以滿足終端使用者、社會、行動網路業者的必要性，以及傳達 NGMN 聯盟對於未來 6G 網路發展的願景。由於 5G、6G 技術不再只是提供通信服務，其更是逐漸成為社會經濟數位化的關鍵基礎技術，因此 NGMN 認為未來 6G 技術必須滿足社會整體發展需

²⁸ NGMN (2021), 6G Drivers and Vision, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final_New.pdf

求，並且從電信產業所直接面臨的基本需求為發展導向，也就是說，未來任何新技術的發展脈絡都應該依循如何幫助社會、終端使用者以及行動網路業者的價值創造和傳遞，進一步而言，主要可以分為（一）社會目標（Social Goals）、（二）市場期望（Market Expectations）、（三）經營需求（Operational Necessities）三大面向：

1. 社會目標：從宏觀角度確立社會目標，正如聯合國（UN）在永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）所表達的觀點。
2. 市場期望：運用不斷發展的技術，以具有成本效益的方式提供新的服務和技能來滿足客戶需求。
3. 經營需求：使得行動業者網路的規劃、佈建、營運、管理和效能越來越高效率。

簡言之，在朝向 6G 的道路上，管理複雜性、提高效率和降低成本對於現階段而言至關重要。又為了確保 6G 技術發展能夠成功，NGMN 聯盟表示必須確定下一代標準和技術的細節，並且必須重新評估標準和技術開發的模式，對此，NGMN 聯盟期望 6G 技術的新穎性和功能可滿足需求驅動因素，在推動網路性能方面取得新進展，並且可促進各領域發展（如環境影響、社會效益、用戶、情境、參與者、價值創造、頻譜等方面），推動新興商業模式以及時至今日未知的潛在新典範，此外，也期望 6G 功能得以增強信賴度、安全性和韌性。

NGMN 聯盟表示，任何新技術都應該提供卓越的功能和能力，支援全新和差異化的服務，推動數位轉型，並且開闢更大的市場機會，盡可能確保 6G 網路基礎設施、服務平臺和設備能夠滿足業者以及消費者的需求和期望，在實現目標的過程中，逐步達成 NGMN

聯盟之願景。

(二) 下世代無線通信頻譜應用研析

NGMN 聯盟延續在 6G 願景與驅動力報告書之立場，重視基於社會目標、市場期待及經營需求等三大驅動力，以及重視網路韌性、支持創新和開拓新市場之立場，NGMN 於 2022 年 2 月發布 6G 應用案例與分析報告書（6G Use Cases and Analysis）²⁹，說明了嘗試預測使用情境的主要趨勢之應用案例。

NGMN 承襲 5G 和 5G Advanced 之技術發展歷程，ITU 由預測使用情境主要發展趨勢為起始點，觀察未來需求和技術要求水準，並且後續將需求預測成果反饋制定 IMT 願景，最終 IMT 願景將完成定義下世代無線通信所需之技術標準與規範，其中規定了未來的連線要求，並且將由標準組織負責開發和標準化適當的技術，成為國際各大通信標準組織研發之最終目標。在本份報告書中，邀集 NGMN 聯盟成員（包含營運商、技術供應商、專家學者顧問等）一同針對未來十年可能出現哪些應用需求和使用案例發表意見，也在過程中採取多種研究方法，分析出 50 個使用案例，接著進一步將這些使用案例進行分類與研析，共分為四個應用類型，其中包含 14 個通用案例（generic use cases），另外，由於現階段 6G 的發展仍然處於萌芽階段，因此 NGMN 表示目前對於未來的應用案例分析存在部分近似於 5G 和 5G Advanced 應用。

²⁹ NGMN (2022), 6G Use Cases and Analysis, <https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/220222-NGMN-6G-Use-Cases-and-Analysis-1.pdf>

ENHANCED HUMAN COMMUNICATION	ENHANCED MACHINE COMMUNICATION	ENABLING SERVICES	NETWORK EVOLUTION
XR沉浸式全影像遠距呈現通訊	機器人網路	3D超高精準定位、定址和追蹤	原生可信賴之AI
遠距操控的多模態通訊	互動協作機器人	互動式映射	延伸通訊覆蓋範圍
智慧互動與共享感知、技能與思維		自動化檢測、識別和檢查	能源效率
		數位醫療	
		智慧工廠	
		服務可信賴元件	

圖 3- 17、NGMN 聯盟提出 6G 應用四大類別與 14 個通用案例
資料來源：6G Use Cases and Analysis 報告

述及 14 個通用案例，雖然當前對於 6G 未來的發展具有高度不確定性，NGMN 聯盟考量案例的相似性和互補性，透過許多研究方法進行歸納，而這些通用案例往後也可能再進行研析與優先順序之排列，具體通用案例及其所屬類型說明如下：

1. 增強型人類通信（Enhanced Human Communication）：包含有可能豐富人類交流的使用案例，例如沉浸式體驗、遠距同步呈現及多模態互動（Telepresence & Multimodal Interaction）、智慧互動。
 - XR 沉浸式全影像遠距呈現通信（XR Immersive Holographic Telepresence Communication）
 - 遠距操控的多模態通信（Multimodal Communication for Teleoperation）
 - 智慧互動與共享感知、技能與思維（Intelligent Interaction & Sharing of Sensation, Skills & Thoughts）
2. 增強型機器通信（Enhanced Machine Communication）：反映協作機器人和自主機器應用的成長趨勢、感測周邊環境和機器人之間、機器人與人類進行通信的需求。

- 機器人網路 (Robot Network Fabric)
 - 互動協作機器人 (Interacting Cobots)
3. 賦能服務 (Enabling Services): 包括需要附加功能的使用案例, 例如高精準度定位、數位雙生、自動識別、環境或人體感測數據。
- 3D 超高精準定位、定址和追蹤 (3D Hyper-Accurate Positioning, Localisation, and Tracking)
 - 互動式映射 (Interactive Mapping, 即數位孿生)
 - 數位醫療 (Digital Healthcare)
 - 自動化檢測、識別和檢查 (Automatic Detection, Recognition and Inspection)
 - 智慧工廠 (Smart Industry)
 - 服務可信賴元件 (Trusted Composition of Services)
4. 網路演化 (Network Evolution) 描述與核心技術演進相關的各領域, 包括人工智慧即服務 (AI as a Service)、能源效率和提供無處不在的通信涵蓋 (Ubiquitous Coverage)。
- 原生可信賴之 AI (Native Trusted AI, AIaaS)
 - 延伸通信涵蓋範圍 (Coverage Expansion)
 - 提升能源效率的自動化系統 (Autonomous System for Energy Efficiency)

NGMN 聯盟在提出未來 6G 潛在的 14 個通用案例, 並將之歸納為四個應用類別後, 於 2023 年 2 月發表 6G 需求與設計考量事

項（6G Requirements and Design Considerations）報告書³⁰中，進一步指出後續 6G 網路演化中所需的 8 個基本要求：

1. 數位包容（Digital Inclusion）：6G 網路應該在經濟上可行的範圍內涵蓋相對偏遠或是人口稀少的地區；使用者介面應盡可能簡易，並且支援直接的互動；避免服務上的數位不平等。
2. 能源效率（Energy Efficiency）：許多營運商都承諾於 6G 時代實現碳中和與淨零碳排等政策，因此 6G 必須持續尋求能源效率上的改進，以降低整體能源消耗，因此，裝置供應商之間應該具有可比性與可互通性的能源消耗數據，以實現並最佳化 6G 系統範圍的監控。
3. 環境影響（Environmental Impact）：未來越來越多的公司需根據環境、社會和公司治理（Environmental, social, and governance, ESG）進行績效衡量與評估，故後續的 6G 基地臺與網路設備、終端製造等，都應該要求對於所排放的溫室氣體擁有監控並製成報告等功能。
4. 原生可信度（Native Trustworthiness）：公共電信網路是國家基礎設施重要的一部分，提供的服務與日常生活密不可分，故須保持可跨多方基礎設施，且保證其服務的保全性、隱私、可靠性、韌性和安全性³¹。
5. 對監管和公共安全服務的支援（Support For Regulated And Public Safety Services）：在推出下一代行動網路時，必須支援國家和地區的監管要求，且緊急服務仍須有語音通信

³⁰ NGMN (2023), 6G Requirements and Design Consideration , https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Requirements_and_Design_Considerations.pdf

³¹ 美國國家標準與技術研究所（National Institute of Standards and Technology, NIST）對於可信度之定義。

服務。

6. 終端服務交付的自動化 (Automation of End to End Service Delivery)：網路營運商於 6G 時代將提供更多、更複雜的服務組合，以便提供符合客戶需求的合適服務，故需要根據客戶需求能夠動態進行提供與調整的服務，此情形下終端服務交付的自動化對於網路營運商至關重要，以便可以有效管理大量的服務組合。
7. 自動化網路可程式化 (Automated Network Programmability)，隨著創新服務與不同環境彈性布建的需求增加，且為了實現 6G 的新功能與服務，擁有自動化網路可程式化至關重要。
8. AI 和電腦計算相關能力 (Artificial Intelligence and Compute Related Capabilities)，提供人工智慧即服務 (AI as a service, AIaaS) 的能力被視為 6G 系統的新推動力，由第三方提供人工智慧 (AI) 外包服務，其可使個人和公司基於各種目的進行 AI 相關實驗，同時毋須於初期即大規模投資或承受高度風險，因此需要在保護數據隱私與主權的情況下，加快提供出可靠且準確的推理結果。

衡量需求並仔細地設計有其必要性，將能確保資料量的增加不會導致能源無限制的增加，從而與降低能源消耗的目標相衝突。

NGMN 聯盟先於 2023 年 9 月發布了「6G 立場聲明：營運商之觀點」(6G Position Statement: An Operator View) 報告³²，探討行動網路朝向簡化、節能、預測性網路管理、資料安全、AI 帶動通信產業轉型、網路韌性、全球 6G 標準等議題，從行動網路營運商

³² NGMN (2023), 6G Position Statement: An Operator View, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Position_Statement.pdf

的角度，說明作為布建 6G 時代網路基礎設施的行動電信網路，如何順利走向 6G 時代，並舉例未來 6G 網路營運將著重於如何使網路簡化、降低營運成本，同時，在面對各種需求不同的 6G 案例能保持彈性且靈活的布建，並持續轉型為低碳經濟，再者，支援自動網路操作和編排的功能（如人工智慧），以實現高效、動態的服務配置。另外，該報告提出，現有 IMT 頻譜（小於 7 GHz）之部分，對於未來 6G 是不可或缺；6-15 GHz 頻段的新頻譜，須符合 IMT-2020 或更高版本之技術規範；在次太赫茲（sub-THz）頻段使用新 IMT 頻譜的布建，可能會採用新的 IMT-2030 及往後的無線電技術。

NGMN 聯盟緊接於同年 10 月發布了「6G 可信度考量因素」（6G Trustworthiness Considerations）報告³³，此報告基於 NGMN 聯盟 3 個 6G 關鍵驅動因素「社會目標」、「市場期望」、「經營需求」與 14 個 6G 應用案例，建立 6G 網路內可信度的綜合指南，依據美國國家標準與技術研究所（National Institute of Standards and Technology, NIST）行動網路之標準，確定了影響 6G 網路可信度的關鍵技術趨勢，提出五大面向之要求：

1. 「保全性」（Security）要求

行動網路確保所有實體或網路基礎設施、流程、機制、協定和服務內部或外部保護，防止意外和未經授權的接取、變更、損壞或使用的能力，包含三個面向：（1）保密（Confidentiality）：對各方之間傳輸資訊的接取和揭露保留授權限制，（2）完整性（Integrity）：防止對傳輸過程中資訊的不當修改或破壞，（3）可用性（Availability）：確保及時並且得以可靠地接取和使用行動網路。

2. 「隱私面」（Privacy）要求

³³ NGMN (2023), 6G Trustworthiness Considerations, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Trustworthiness.pdf

行動網路需保護個人資料不被未經授權的實體接取，並取得用戶同意，定位認證與安全部分須遵守各地區的監管要求，確保個人資訊在網路的機密性和安全性。

3. 「可靠性」(Reliability) 要求

行動網路在預期條件下提供穩定和可預測性能的能力。

4. 「韌性」要求 (Resilience)

行動網路可承受不穩定性和意外情況，並且能正常恢復到可預測但是可能下降效能的能力。

5. 「安全性」要求 (Safety)

行動網路確保對利害相關人的生命、健康、財產或數據以及對物理環境不產生災難性後果的能力，值得注意的是，儘管行動網路有不同的機制來保護傳輸中的數據，但仍然無法保證資料來源的真實性。

可信度與降低行動網路安全風險的能力有關，「6G 可信度考量因素」報告書從保全性、隱私、可靠性、韌性、安全性五大面向提供技術設計上啟發性的指南，透過增強安全性和隱私保護的設計來指導產業，提供了可行的建議和見解，以促進產業網路安全和尊重隱私之面向。

NGMN 聯盟近期於 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: Review and Future Direction) 報告³⁴，內文介紹 ITU-R IMT-2030 的框架和目標，以及 NGMN 對未來行動通信技術發展的期望，以及未來 6G 願景、使用場景、基本功能和永續發展等內容，從營運商角度提出對 ITU-

³⁴ 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

R 在 IMT-2030 過程中應考慮層面之建議，包括對 6G 的期待願景、網路營運之標準化、未來 6G 布建問題等，NGMN 希望在這個階段實際提出營運商之需求，與 ITU 進行交流，俾利未來形成雙贏局面。

組織認為 IMT-2030 不應損害現有服務，例如語音和現有的公共安全服務，並且應該推出符合各國/地區的監管機制，重視 IMT-2030 與非 IMT 系統之間的互操作性，此外，強調行動網路全球統一標準的重要性，即行動網路的標準應該是能反映全球相關行業的共識。

NGMN 聯盟未來將持續透過內部會議廣納外界意見、統整聯盟會員觀點，並且後續將持續更新 NGMN 的 6G 願景，藉此在 6G 技術標準制定過程中表達聯盟會員立場。NGMN 聯盟也於 2024 年 8 月發布資訊，表示一年一度的 NGMN 新聞與產業簡報將於 2025 年 3 月在西班牙巴塞隆納的世界行動通信大會（Mobile World Congress Barcelona, MWC Barcelona）上舉行，邀集聯盟成員共同回顧過去一年的成就，並且作為 2025 年策略和主題擬定之參考。

五、Next G 聯盟

（一）下世代無線通信願景與近況觀測

1. Next G 聯盟主導國際合作

NEXT G 聯盟與世界 6G 主要政策制定者密切合作，積極推動國際合作。Next G 聯盟於 2022 年 8 月、2022 年 5 月和 2021 年 12 月，分別與歐洲 6G 智慧網路和服務產業協會（6G Smart Networks and Services Industry Association, 6G IA）、日本 Beyond 5G 推進聯盟 Beyond 5G Promotion Consortium, B5GPC）及南韓 5G 論壇（5G Forum）簽署合作備忘錄，以促進雙方 6G 及相關通信產業的合作。2023 年 9 月，Next G 聯盟和印度巴拉特 6G 聯盟

(Bharat 6G Alliance) 宣布簽署合作備忘錄，共同發展 6G 無線技術的合作機會，支持共同 6G 願景，創建安全可靠可信任的電信系統，以及彈性的供應鏈。

接著，NEXT G 聯盟/ATIS 和歐盟智慧網路和服務聯合組織 (the EU Smart Networks and Services Joint Undertaking, SNS JU) 在 2023 年 12 月共同發布一份關於 6G 無線通信系統研發的共同願景和產業路線圖之重要文件³⁵ (下稱「歐美 B5G/6G 路線圖」)。該文件包含一系列針對 6G 網路和服務的關鍵策略觀察及建議，表達 Next G 聯盟和 SNS JU 的觀點和優先事項。

由 NEXT G 聯盟主導的「歐美 B5G/6G 路線圖」是根據 2023 年 5 月 31 日在瑞典舉行的貿易和技術理事會 (Trade and Technology Council, TTC) 第四次部長級會議上，歐盟和美國政府重申合作開發 6G 網路的承諾。根據兩國政府之間的聯合聲明：「以 TTC 6G 共同願景為基礎，目標是擴大美國和歐盟資助機構，即 SNS JU 和國家科學基金會 (National Science Foundation, NSF) 之間現有的 6G 研發合作，在全球監理及標準化機構中，透過志同道合的合作夥伴建立起關鍵群體，並在技術試驗和試點方面進行合作，以促進市場應用。」為了履行此職責，「歐美 B5G/6G 路線圖」的文件內容包含 6G 網路及服務的關鍵策略建議，透過歐盟和美國作為政策資助工具，提供候選 6G 發展路線圖，也對於在歐美政策範圍之外的合作機會提供指導原則，協助大西洋兩岸的學術和商業利害關係人找到互利的機會。

NEXT G 聯盟和歐盟智慧網路和服務聯合組織在 2023 年 12 月共同發布的「歐美 B5G/6G 路線圖」，內容包含一系列針對 6G 網路和服務的關鍵策略思考和建議，該文件提供六個具體合作方

³⁵ ATIS (2023), EU-US Beyond 5G/6G Roadmap, <https://6g-ia.eu/wp-content/uploads/2024/01/eu-us-aligned-6g-roadmap-joint-paper.pdf?x44222>

向及 6G 頻譜進一步合作為架構，六個具體合作方向包括：永續發展、微電子學、開放式解決方案、可信度與網路安全、雲端解決方案、分散式運算、人工智慧/機器學習，並外加一項頻譜合作（如圖 3- 18），規劃於雙方的合作短期行動時間表中：

- 在 2024 年第一季組織一次面對面的歐盟-美國研討會，討論重要文件的建議及潛在回饋。
- 透過協同研發以分析機會，並制定具體的策略合作議程（2024 年 6 月）。
- 針對 1 至 2 個垂直產業組織協調概念驗證實驗（PoC）。歐盟和美國應合作投資支持這些活動（2024 年 6 月中旬之前組織，2025 年實施）。
- 歐盟和美國應針對所需 6G 頻譜達成共同願景的可能性，進行相關工作（2024 年 6 月）。

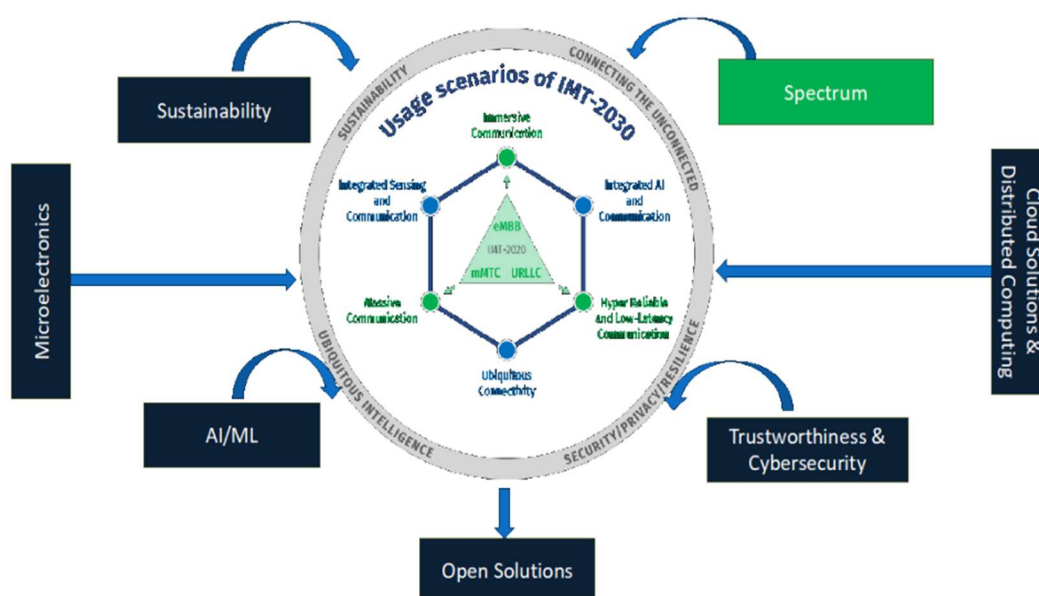


圖 3- 18、歐盟美國 B5G/6G 路線圖與 IMT2030 使用情境之對照圖

資料來源：歐盟美國 B5G/6G 路線圖（2023/12）

在六個具體合作專案的架構下，歐盟、美國之 B5G/6G 路線

圖在微電子學的合作專案之中提出以下重點，並表示相較於既有的 5G 技術，6G 將進一步突破極限，在以下各方面提供新需求，以服務全球市場的工業能力。本文節錄其中與頻譜及 6G 發展有關的內容：

- 增加（7-24 GHz）中頻譜頻譜；該類頻譜可聚合起來支援 6G 行動裝置的更高傳輸速率，同時與既有行動服務進行智慧共享，以上目標需進入 Angstrom 埃米時代³⁶以滿足低功耗計算和人工智慧輔助訊號處理之需求。
- 71 GHz 以上的更高頻譜：目前 5G 不支援此頻段。90 GHz 以上的 sub-THz 通信之應用如「類光纖」後傳網路、工業或高密度場景中的多點接取，這些應用皆需開發新技術能力，以最小損耗涵蓋非常大的頻寬，以及具有最佳化非線性的高功率放大器，所涵蓋的頻譜範圍也需要異質技術的有效整合。
- 聯合通信和感測（Joint Communication and Sensing, JCAS）等新技術的出現需要整合異質技術、超寬頻收發器（基頻 >5 GHz）以及中等到高頻譜效率的支援。
- 複雜的工業應用將推動對整合感測器以及射頻、光學和微機電系統（Micro Electro Mechanical Systems, MEMS）設備的需求。該領域的基本要求包括處理大量邊緣資料的更強大的資料處理能力、用於低延遲過濾的整合人工智慧/機器學習處理以及無電池設備功能。
- 6G 進一步推動處理高資料速率和低延遲要求 SoC 晶片需求，能將數位訊號處理、記憶體和電源管理等各種功能整合到單一晶片中，從而提高效率和成本效益。

³⁶ Angstrom 為英特爾首先提出的新半導體製程名稱，英特爾期待透過其製程超越目前的微米時代，1 埃米=0.1 微米。臺積電於 2024 年 4 月 24 日在年度北美技術論壇公布最新製程 A16 技術，預計 2026 年量產，正式宣告半導體進入埃米（angstrom）時代

- AI/ML 作為一項技術出現，將整合到 6G 平臺的各個層級。隨著業界目前正在研究的「雲端原生轉型」(Cloud native transformation)，6G 目前被視為一個人工智慧原生平臺(即具有從平臺內部或外部生成高數據量的系統性能力)。這可能會在不同層面產生多重影響，例如：
 1. 需要強大的 GPU 技術，能夠根據流量/通道特徵對無線電波形進行 AI/ML 輔助的智慧，重新配置管理，同時也能夠與 NTN 接取能力進行統一；
 2. 從端到端或本地角度支援人工智慧/機器學習輔助安全所需的處理能力；
 3. 即時 AI/ML 輔助功能處置/執行的處理能力，作為案例場景的功能等。
- 建構在可重構智慧表面 (Reflective Intelligent Surfaces, RIS) 之上的新應用場景需取得使用複合材料建造的智慧表面，以減少對公眾產生電磁波。
- 從 5G 開始的虛擬化網路發展預計將繼續下去，將在 2030 年因 6G 的出現而得到加強。

上述內容呈現目前世界各地正在研究的一系列 6G 議題，並將構成歐盟與美國進一步合作的基礎。在此背景下，歐盟與美國在 6G 相關微電子領域的合作目標為：

- 關鍵技術建構模組的可行性和風險消除工作，以實現 6G 願景和新 6G 應用之需求。
- 增強利害關係人對標準化層面支援的關鍵技術之信心。
- 確定這些技術所仰賴的供應方關鍵要素。
- 培養促成這些技術的跨大西洋知識庫。

「歐美 B5G/6G 路線圖」也引述 NGMN 的研究，說明未來 6G 需考慮所有頻段的重要性（從低於 7 GHz 到中上頻段 7-24 GHz、

毫米波至 sub-THz)，6G 使用情境要求在 5G 無法提供的 KPI 上進一步增強，例如峰值資料速率、使用者體驗的資料速率、頻譜效率、延遲、可靠性等，並表示，適當的頻譜規劃需在頻譜干擾管理、感測、共享、監控、控制、預測、適應和保護方面進行大量研究工作。

「6G 路線圖」強調歐美二大經濟體在 6G 應用合作的首要工作為 6G 頻率和諧共用（Harmonizing 6G spectrum），並要求雙方進一步合作確定可用於 6G 之頻譜機會。

2. 北美 6G 路線圖優先專案

NextG 聯盟於 2024 年 5 月發表「北美 6G 路線圖之優先專案報告」³⁷，列出九個 NextG 聯盟關切的多元使用案例，分別如下：

1. 多感官擴充實境（Multi-Sensory Extended Reality, XR）被廣泛使用、橫跨各垂直領域，包含社交通信、娛樂、遊戲、教育、工作、零售、電子醫療、遠端協作等範疇。
2. 數位孿生（Digital Twins）乃將現實生活中的物件複製於數位世界，以在無風險的環境之內進行必要的試驗。
3. 固定無線接取（Fixed Wireless Access, FWA）利用超高速、低延遲和大容量的技術優勢，在地廣人稀地帶設於使用者周邊，則可達成足以堪比有線網路的傳輸速度。
4. 個人化用戶體驗（Personalized User Experiences）客製化為用戶提供超越通信、位置接取、安全的進階服務，其將依靠感測、人工智慧/機器學習、邊緣運算（Edge Computing）來提高協作駕駛、個人化飯店和購物等領域的體驗品質。
5. 機器人（Robots）參與長期照護、貨物運送、智慧交通（例

³⁷ NextG Alliance(2024), Next G Alliance Report: North American 6G Roadmap Priorities.

如協助交通安全性和舒適性）、智慧製造、危險管控等，可望能為各年齡層人口的需求達成輔助作用。

6. 智慧交通系統/連網汽車（Intelligent Transportation Systems（ITS）/Connected Cars）乃是透過感測器進行資料交換，以達成自動駕駛、自動停車等需高精準度的任務。
7. 智慧工廠和工業自動化（Smart Factory & Industrial Automation）用於支撐工業 4.0 的需求，從製造到分銷、農業至礦業，以智慧工廠及自動化系統營運。
8. 低功率廣域連接（Low Power Wide Area（LPWA）Connectivity）包含智慧型電錶（Smart meters）及農業感測，尤在為了實踐永續目標、進行環境監測時扮演重要角色。
9. 短距離大規模感測器（Short Range Massive Sensors）可組成環境物聯網，並用於工業自動化、智慧倉儲、智慧家庭，透過超低功耗、短距離和高密度連接來支援感測器。

該報告評估 6G 各技術對以上九種使用案例之重要性，同時，透過關聯熱圖 3-19，說明 3GPP 目前列出的 21 項 6G 技術之成熟度、開發與應用相關的使用案例分布，並以關聯熱圖所呈現的不同深淺顏色來對應各種案例之應用程度，顏色越深則代表關聯越密切。

	Readiness	Multi-Sensory XR	Digital Twins	Fixed Wireless Access	Personalized User Experiences	Robots, Robotic applications	ITS, Connected Vehicle	Smart factory, Industry automation	LPWA	Ambient IoT / Massive Sensors
Advanced MIMO	High									
Spectrum Aggregation	High									
Spectrum Sharing	High									
LPWA	High									
URLLC	High									
V2X/ Sidelink	High									
Device Power Savings	High									
QoS Framework	High									
mmWave enhancement	Medium									
Upper mid-band enhancement	Medium									
TSN	Medium									
RedCap	Medium									
NTN	Medium									
Advanced relay, repeater or surface	Medium									
Local Communication and Networking	Medium									
Positioning	Medium									
JCAS	Medium									
Distributed computing or cloud	Medium									
Edge computing	Medium									
UE cooperative communications	Medium									
AI/ML	Medium									

圖 3-19、6G 技術成熟度及與其應用之關聯熱圖

資料來源：NextG Alliance 2024

根據以上關聯熱圖所呈現的應用關聯程度，表 3-9「6G 技術應用及成熟度」，闡述 NextG 聯盟對關聯熱圖所列 21 項 6G 技術之應用性及成熟度之評價，並以高中低列出優先專案。

表 3-9、6G 技術應用及成熟度

技術	應用性（Applicability）	成熟度（Readiness）
Advanced MIMO	先進的多輸入多輸出(MIMO)技術被認為是提高行動通信系統頻譜效率和涵蓋範圍的關鍵推動因素。用例包括：多感官 XR、數位孿生、固定無線以及智慧交通和連網汽車。	高 - 對於 6G 系統，先進的 MIMO 技術預計將建置並擴展 5G MIMO 框架和最佳實踐，以增強整體系統效能和使用體驗。
頻譜聚合 (Spectrum Aggregation)	頻譜聚合對於實現高資料速率和低延遲通信非常重要。	高 - 頻譜聚合已在 4G 和 5G 通信系統中成功應用。
頻譜共享 (Spectrum Sharing)	頻譜接取對於持續成長的通信量至關重要，頻譜共享解決了 6G 新頻譜可用性有限的問題。它也被認為是固定無線、智慧交通和連	高 - 自 4G 以來，半靜態和動態頻譜共享技術已均在行動通信系統中應用。頻譜共享的複雜

技術	應用性 (Applicability)	成熟度 (Readiness)
	網汽車在 6G 使用案例的關鍵推動者。4G 和 5G 間的頻譜共享技術仍需加強。	性取決於共享頻譜的是哪些系統。
毫米波增強	毫米波頻段是 6G 布建的重要頻譜資產（例如，用於多感官 XR、數位孿生和固定無線）。6G 預計將繼續發展，目標是提高涵蓋範圍、穩健性、能源和營運效率以及頻譜效率。	中 - 毫米波頻段的規範和布建在 5G 中發展得相當迅速。6G 成功的關鍵是波束成形、波束追蹤和拓撲的增強。
Upper-mid band	提供較為廣域布建的容量涵蓋，並為感測和定位提供高定時（high timing）及角度解析度（angular resolution）。	中 - 挑戰包括開發用於大規模 MIMO 的高效波束成形架構和程序，以及利用分散式 MIMO。
LPWA	針對低功耗、廣域使用案例，益於低功耗、與低容量 UE 的高效通信以及長距離通信。	高 - 4G LTE 的 eMTC 和 NB-IoT 繼續為該用例提供服務，並進行增強以滿足 5G 需求。
URLLC	URLLC 對於多感官 XR、數位孿生、網路機器人和連網汽車等用例非常重要。	高 - 5G 系統已開發出支援 XR、工業自動化和連網汽車的 URLLC。
車聯網 (V2X)	車聯網技術在智慧交通和連網汽車的用例中發揮關鍵作用。	高 - V2X 技術已被開發並納入 4G 和 5G 系統。
TSN	時間敏感網路 (TSN) 技術支援多感官 XR、數位孿生、智慧工廠和工業自動化中通信內容的緊密同步。	中 - 網路實體之間和設備之間的時間同步需要跨多個介面和延遲感知訊號進行仔細協調。
RedCap	RedCap 功能降低了設備複雜性，以支援工業感測器、視訊監控和穿戴式裝置中的使用案例。	中 - 需努力平衡設備複雜性和系統效能，以便 6G 系統擁有支援廣泛用例的統一平臺。
非地面網路 (NTN)	非地面網路 (NTN) 技術預計將在 6G 系統中發揮作用，提供廣域涵蓋和隨時隨地連接，並確保服務可用性、連續性和可擴展性。北美地區將繼續成為太空技術的先驅。	中 - 衛星通信系統的商業布建大幅增加。實現 NTN 全部潛力的關鍵挑戰包括過大的傳播延遲、多普勒效應以及維持服務連續性之行動能力。
先進中繼器、中繼器或表面	先進的中繼器、中繼器或表面可改善涵蓋範圍並增強多感測器	中 - 在提供低延遲多種跳躍 (multiple hops)

技術	應用性 (Applicability)	成熟度 (Readiness)
(Advanced relay, repeater, or surface)	XR、固定無線 FWA、連網汽車和工業自動化的傳輸條件。	通信、分散式資源分配和干擾管理方面仍存在挑戰。
本地通信及網路 (Local communication & networking)	本地通信和網路可降低多感測器 XR、固定無線 FWA、連網汽車、連網機器人和環境物聯網的傳輸功率和延遲，進而提高通信效率。	中 - 在拓撲管理（例如，peer discovery 和行動支援）、分散式資源控制和干擾管理以及支援較低階設備方面，仍存在挑戰。
定位 (Positioning)	定位對於滿足緊急服務的監管要求至關重要，並且有利於多感官 XR、數位孿生、個人化用戶體驗以及機器人和機器人應用等商業用例。	中 - 定位技術已在 4G 和 5G 中得到規範，但尚未實現廣泛的商業化。透過融合 (fusion) 和人工智慧/機器學習，定位技術將進一步增強。
JCAS	現況感知感測在許多新的商業和工業應用和服務中變得越來越重要，例如多感官 XR、數位孿生、個人化用戶體驗、網路機器人、智慧交通和連網汽車以及智慧工廠和工業自動化。	中 - JCAS 是學術界和工業界積極研究的主題。對於 6G 系統，JCAS 預計將在一般的無線電傳輸和接收平臺上支援通信和感測服務。須使用通信系統波形、波束成形和更高頻率範圍操作的知識和經驗。
設備節能 (Device power saving)	設備節能對於多感測器 XR、LPWA、環境物聯網的用例非常重要。它解決了與電池容量和散熱能力相關的限制。	高 - 在開發設備節能技術的研究和規範方面取得了重大進展，例如喚醒訊號/無線電、不連續傳輸和接收、放寬的測量要求等。
QoS 框架	QoS 框架透過確保滿足吞吐量、可靠性、延遲、容量等性能要求，對於多感官 XR、數位孿生、機器人和自動化應用程式用例的體驗滿意度非常重要。	高 - QoS 框架已經透過 3G、4G 和 5G 行動通信系統隨著新興應用的步伐而發展和增強。
分散式運算 (Distributed computing or cloud)	分散式運算和雲端系統中的整合通信和運算功能對於多感官 XR、數位孿生以及網路機器人和自動化應用至關重要。	中 - 行動網路業者將通信和雲端技術融合在一起提供通信和運算服務，需面對服務開發、能力下放 (capability

技術	應用性（Applicability）	成熟度（Readiness）
		exposure）、傳輸管理以及通信和運算聯控等方面的挑戰。
邊緣運算（Edge computing）	邊緣運算有利於多感官 XR、數位孿生以及網路機器人和自動化應用。	中 - 滿足動態延遲和移動性要求方面仍存在挑戰。
UE 協作通信（UE cooperative communications）	終端協作通信利用無線終端設備的高涵蓋密度，提高多感官 XR、數位孿生、連網汽車和智慧工廠的涵蓋範圍和容量	中 - 儘管 D2D/sidelink 技術已經開發和規範了一段時間，但大規模布建尚未發生。
人工智慧/機器學習（AI/ML）	人們普遍認為人工智慧/機器學習將成為推動下一代通信網路發展的主要技術之一，以滿足日益苛刻的效能要求，特別是在多感官 XR、數位孿生、固定無線 FWA、個人化用戶體驗以及網路機器人和自動化領域。	中 - 儘管人工智慧/機器學習在無線網路中的最初應用是從 5G 開始的，但在 6G 系統中整合人工智慧/機器學習仍然面臨著重大挑戰，包括從無線網路獲取真實資料以進行不同操作領域之間的訓練與互通、開發分層架構結構、以及解決眾多利害關係人所造成的問題。

資料來源：本研究團隊整理

以下摘要介紹 Next G 聯盟於 2024 年發表的分散式感測與通信研究報告內容³⁸。

分散式感測和通信之應用依賴與通信緊密整合的感測器來支援許多系統，包括自動化系統。理想的目標是透過新型態的網路服務建立無處不在的連接，實現感測器及數據收集所生的大規模、創造性和價值與機會。

該類應用在幾乎所有市場都有使用案例，包括醫療保健、公共安全、農業和環境監測。它包括使用植入式感測器、全遠端感測器，甚至寬頻成像和資料收集系統。這些未來的能力需要強大的服務效能，特別是設備製造商和網路供應商的生態系統提供高

³⁸ Next G Alliance（2024），Distributed Sensing and Communications.

吞吐量、低延遲和超低功耗操作模式。

目前感測技術和通信技術是兩個獨立運作的系統，在運作時需有穩定的網路及能夠應對各種環境條件挑戰的感測器，因此，設備與網際網路環境都容易影響到兩個系統的效能。新一代 6G 系統致力將分散式感測器和通信網路進行緊密整合的數據交換，使感測器系統能夠協同工作，並為通信網路提供關鍵分析。目標是在安全、穩定又具隱私性的環境下達成數據交換。

其中整合感知和通信（Integrated Sensing and Communication, ISAC）與聯合通信與感測（Joint Communications and Sensing, JCAS）是 6G 願景中重要的技術革新，其旨在將「感知」與「通信」兩種功能整合在單一通信裝置上，同時達成數據交換與情境感知。Next G 透過這份報告描述分散式感測和通信（The Distributed Sensing and Communications, DSAC）與 ISAC/JCAS 的關係，並進一步介紹應用試驗的案例。

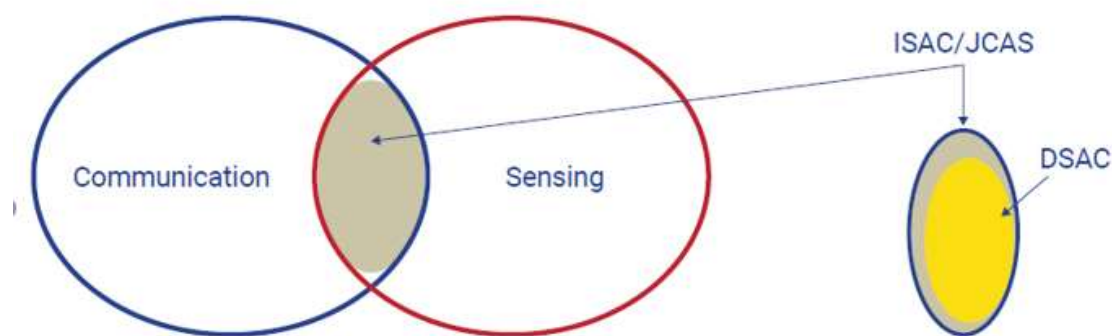


圖 3- 20、 DSAC 和 ISAC/JCAS 功能間的關係。

資料來源：Next G 聯盟（2024 年）

DSAC 可視為 ISAC/JCAS 技術中的一部分，它涵括了植入式感測器、全遠端感測器，乃至寬頻成像和數據收集系統，其將感測和通信設備（即發射器、接收器和處理器）分佈在網際網路內，並且從分散於各處的基地臺或行動裝置收集、融合感測數據，從

而實現大規模、低延遲、低耗能的系統運作。

通信輔助感測 (Communication-Assisted Sensing, CAS) : CAS 利用源自射頻 (Radio frequency, RF) , 如雷達、5G NR、Wi-Fi , 非 RF (例如攝影機) 感測器輸入的感測功能來提高現有服務體驗品質 (Quality of Experience, QoE) 。CAS 還可以為娛樂 (例如遊戲)、環境監控、定位和機動以及汽車、工業機器人和/或 UAV 導航等場域提供新服務。在 CAS 中, 通信能力可用於感測器對於輸入數據的收集, 並將數據從 6G 系統中的一個實體轉送到另一個實體。以智慧停車場為例。智慧停車場利用 6G 技術的 DSAC、通信輔助感測 (Communication-Assisted Sensing, CAS) 以及感測輔助通信 (Sensing-Assisted Communication, SAC) , 不僅實現了即時停車位監控, 利用人工智慧和機器學習 (AI/ML) 即時測數據預測停車客戶的需求、為客戶導出停車的路徑。

停車場內的車位無論是可用還是已佔用, 目前主要是透過如磁性感測器或攝影機來偵測, 這是當前的解決方案。人工智慧/機器學習也可用於透過影像辨識來提高發現可用停車位的準確性, 再加入 DCAS 應用程式可以增強 AI/ML 提供的經驗值。例如, 若未來布建在停車場周圍的基地臺可用作感測器來發現可用停車位, 則電信業者便能夠向服務應用提供者或其用戶提供可用停車位資訊。

智慧停車場域應用之主要功能展現為即時有效地管理單一車輛的停車設施並追蹤單一停車位數據。該應用能監控停車場中的車輛數量並發送開放空間的通知。停車場將能夠更有效地管理停車位，同時又能為駕駛人提供更好的停車體驗。除此之外，這些技術的應用將降低停車場的基礎設施成本（例如攝影機、磁性感測器、感測器的有線連接），提高停車場的永續發展。

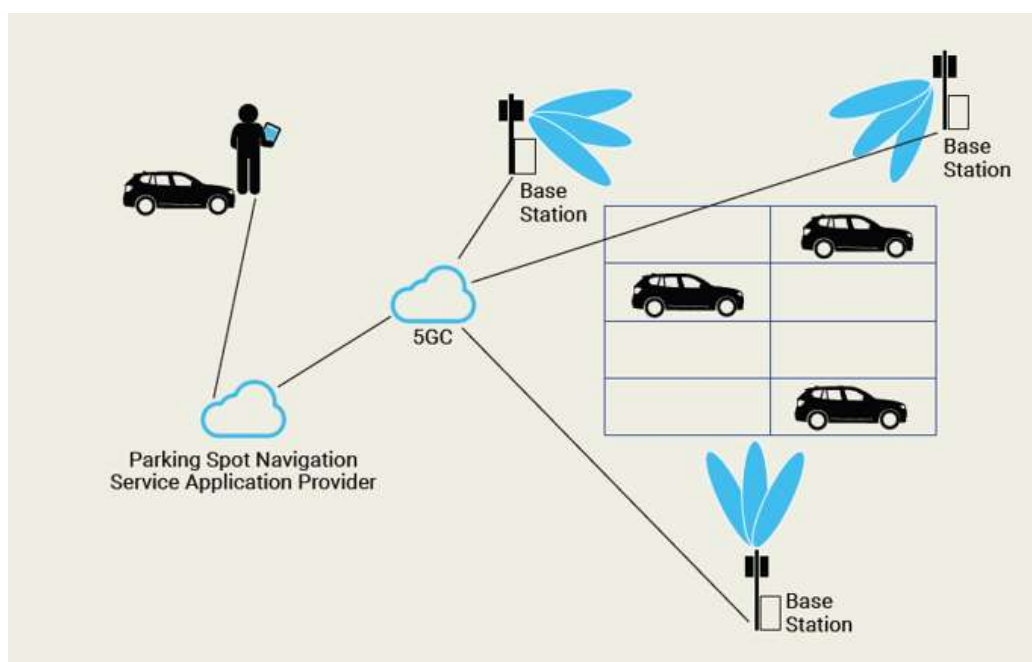


圖 3- 21、智慧停車場的數據收集與傳輸方式

資料來源：Next G 聯盟（2024 年）

6G 做為下一代技術，預計將在速度、容量和穩健性方面顯著提升。在分散式感測和通信的背景下，需編排感測器通信和感測器資料分析來優化並回應網路條件。在感知輔助通信和通信輔助感知領域，制定政策、確保安全、使用並改進人工智慧模型等行動，將是推動其發展之重要工作。

JCAS/ISAC 是 6G 的關鍵新功能之一，其中既有電信基礎設施也可使用射頻感測，而不需要來自待感測目標的主動傳輸。使用既有通信基礎設施以在各種新穎的用例和場景中執行無線感測，但 3GPP 無線接取網路（RAN）目前缺乏工具來充分評估這

些用例的可能解決方案效能。通道模型也取決於目標使用案例及感測環境，這種基於無線電波的感測，無論是在單基地或雙基地設定中，都需要適當的通道建模來評估基準感測性能。

感測通道模型的發展是為了允許在存在雜波的情況下模擬目標訊號的偵測和表徵。目標類型包括人類、車輛、無人機和機器人手臂，雜波反向散射模型則專為室內單基地感測而開發。

Next G 聯盟於 2024 年 6 月發表 JCAS 通道測量與建模報告及 7-24GHz 頻段通信新報告（Next G 發表之各項報告已於後續段落以表列呈現），根據新測量結果檢查 7-24 GHz 頻段的通信通道行為，以評估現有標準傳播模型的準確性。報告為根據是德科技和安立公司在工廠和室外庭院進行的測量，發現測量的頻道（室內工廠和短距離室外，小於 100 公尺）與 3GPP 38.901 傳播模型建議一致。因此，這些管道可能不需要改變。關於其他通路模型的結論有待 NextG 會員相關公司進行更多測量。

3. NextG 文件知識庫

在知識庫的建立上，Next G 聯盟自成立以來，已發表多份研究報告及白皮書³⁹，摘要如表 3- 10 所示。

表 3- 10、Next G 聯盟發布報告及白皮書重點摘要

發布時間	報告（或白皮書）主題	重點內容
2024 年 9 月	數據中心和下一代核心網路可持續性指標的演變（Evolution of Sustainability Indicators for Data Centers and Next Generation Core Networks）	包括行動網路資源的設計、建置、營運和維護以及最終的退役。資料中心布建的核心網路和其他行動網路功能（NF）正在取代傳統的特定硬體建設。文件從多個角度闡述可觀察性、循環經濟原理的使用和選擇如何為組織踏上可持續發展之旅並最終實現 ICT 產業之淨零營運。

³⁹ Next G Alliance, 6G Library, <https://www.nextgalliance.org/6g-library/>

發布時間	報告（或白皮書）主題	重點內容
		整個 ICT 產業的永續發展已達到不同的成熟度，本文件亦可作為進一步教育、評估和實施整體永續發展方法的指南，提出了實用的建議，例如制定組織的永續發展策略及確認並實施與未來相關的關鍵績效指標。
2024 年 8 月	頻譜接取機制 (Spectrum Access Mechanisms)	列出頻譜共享的分類與方法論，探討多種頻譜共享的接取方法，目的在提高頻譜的使用效率和靈活性，以支持未來的無線通信需求。（將於下一小節中介紹）
2024 年 6 月	JCAS 通道測量與建模報告及 7-24GHz 頻段通信 (Channel Measurements and Modeling for Joint/Integrated Communication and Sensing, as well as 7-24 GHz Communication)	本報告專注於聯合通信和感測 (JCAS) 及集成感測與通信 (ISAC) 的通道模型，涵蓋了 7-24 GHz 的通信頻段。報告中包含了基於廣泛測量數據的多種感測目標模型，並介紹了室內背景雜訊模型，為未來 6G 系統的開發提供了實驗數據和分析。
2024 年 6 月	6G 的頻譜需求 (Spectrum Needs for 6G)	該報告探討了 6G 所需的頻譜範圍，分析了不同應用場景下的頻譜需求，並提出了適合 6G 的頻譜建議。報告強調了對現有頻譜使用情況的評估以及未來可能釋放的新頻譜。
2024 年 5 月 30 日	北美 6G 路線圖優先事項 (North American 6G Roadmap Priorities)	此報告概述了北美在 6G 技術發展中的主要優先事項，包括信任、安全性、成本效率、分散式雲端系統等六大目標。它強調了政府支持和產業協作在推動 6G 成功中的重要性。
2024 年 5 月 23 日	6G 無線技術第二部分：基本無線技術 (6G Radio Technology Part II: Basic Radio Technologies)	本報告探討了 6G 無線技術的基本組成部分，包括關鍵技術和架構，並分析了這些技術如何支持未來的通信需求。
2024 年 2 月	6G 技術管理與編排 (6G Technology Management and	報告重點在於如何有效管理和編排 6G 系統中的各種技術組件，以確保其高效運行和資源最佳化。

發布時間	報告（或白皮書）主題	重點內容
	Orchestration）	
2023 年 12 月	分散式感測及通信 （Distributed Sensing and Communications）	整合感知和通信（Integrated Sensing and Communication, ISAC）與聯合通信與感測（Joint Communications and Sensing, JCAS）是 6G 願景中重要的技術革新，旨在將「感知」與「通信」兩種功能整合在單一通信裝置上，同時達成數據交換與情境感知。 Next G 透過這份報告描述分散式感測和通信（The Distributed Sensing and Communications, DSAC）與 ISAC/ JCAS 的關係，並進一步介紹應用試驗的案例。
2023 年 8 月	6G 頻譜的考慮因素 （6G Spectrum Considerations）	著重於從北美角度建立全球對 6G 頻譜需求之共識。 所考慮到的條件：訊號涵蓋、頻道頻寬、頻譜連續性 / 一致性 / 接取架構。 列出建議優先研究之候選頻段，說明其使用現況、潛在可提供頻寬及相關挑戰，以及既設電臺遷移協商或發展能實現多服務共存情境下的頻譜共享方法。 將接續發表第 2 份頻譜文件。
2023 年 8 月	超越速度：透過 6G 及其他技術促進社會和經濟機遇 （Beyond Speed: Promoting Social and Economic Opportunities through 6G and Beyond）	確立 6G 發展所需解決的社會和經濟問題，分為：數位平等、可信賴、可持續性、經濟增長及生活品質。 以環境、社會和治理（ESG）重要性評估為基礎，定義能有所貢獻之處，並與 17 項聯合國可持續發展目標確立的需求相關聯。 需要在技術專家、政策制定者、社會科學家和經濟學家之間建立跨學科的合作關係。
2023 年 6 月	6G 廣域雲端演進 （6G Technologies for Wide Area Cloud Evolution）	概念包括智慧和無所不在的計算、通信和資訊服務。 必須滿足接取和處理 QoS 要求，同時確保資訊的隱私、安全和法

發布時間	報告（或白皮書）主題	重點內容
		律約束。 研究重點包括計算和通信的整合、資訊處理和隱私保護等。
2023 年 5 月	連網機器人和自主系統 （Network-Enabled Robotic and Autonomous Systems）	將 5G、6G 技術應用於機器人和自主系統具有巨大潛力。 探討機器人和自主系統中整合先進通信技術的影響。 介紹遞送機器人、自駕車、協作機器人等領域的服務場景。
2023 年 5 月	垂直產業的 6G 路線圖 （6G Roadmap for Vertical Industries）	探討 6G 如何滿足不同產業的應用需求。 垂直產業具體的用例將影響到 6G 應用，需要進一步研究和工程化。 將北美需求轉化為技術成果，促進 6G 投資和市場推廣。
2023 年 4 月	可持續性 6G 連接、AI 原生無線網路 （Sustainable 6G Connectivity and AI-Native Wireless Networks）	兩份白皮書分別揭示具可持續的 6G 連接研究和技術方向，以及原生 AI 無線網路的推動力、技術挑戰和研究方向。 對於北美在 6G 領域領導和貢獻具有重要意義。
2023 年 3 月	6G 可持續性指標評估及落差分析 （6G Sustainability KPI Assessment – Introduction and Gap Analysis）	介紹和填補環境可持續性指標（KPI）的缺口。 提供可持續性 KPI 的應用範圍，包括 RAN、核心網路、雲端和邊緣資料中心、終端用戶通信設備和供應鏈。 有助於評估 6G 網路的環境影響和能效。
2023 年 3 月	多感官擴增實境在 6G 中的應用 （Multi-Sensory Extended Reality（XR） in 6G）	多感官 XR 在未來 6G 網路中的需求、潛力、挑戰和社會經濟影響。 多感官 XR 創新將對電信行業產生重大影響，並將促進各行業的應用和服務創新。 報告提供了未來 6G 技術發展的重要參考。
2022 年 12 月	成本效益的解決方案 （Cost-Efficient Solutions）	專注於驅動力、必要條件、挑戰和實現有效 6G 網路的途徑，內容涵蓋了先進的無線電技術、擴展的

發布時間	報告（或白皮書）主題	重點內容
		頻譜資源、基地臺增密和網路拓撲，同時強調互通性和開放介面。
2022 年 12 月	數位世界體驗 （Digital World Experiences）	探索多維度和多感官的體驗，將人類互動轉化為物理、人類和數位世界之間的互動，檢視了 6G 數位世界體驗的機會和所需的研究，包括沉浸式擴增實境（XR）和網路驅動的機器人等使用案例。
2022 年 8 月	6G 分散式雲端與通信系統 （6G Distributed Cloud and Communications System）	從設計目標、驅動力、挑戰、研究方向和實現路徑等角度概述分散式雲端與通信系統。 旨在激發研究和設計討論，以實現該聯盟在 6G 分散式雲端與通信系統的宏大目標。
2022 年 8 月	6G 系統的信任、安全和韌性（抗災能力） （Trust, Security and Resilience for 6G Systems）	提出五研究方向：安全保證和防禦、機密計算、安全身分和協定、服務可用性，以及後量子密碼學，以幫助建立 6G 系統的強韌性。 迫切需要消除所有單點故障並構建基於零信任原則的網路，為用戶提供高水平的可靠性，同時關注可用性、功能安全和隱私。
2022 年 7 月	6G 技術報告 （Next G Alliance Report: 6G Technologies）	概述 47 個關鍵的 6G 技術候選專案。 涵蓋領域包括組件技術、無線電技術、系統和網路架構、網路營運、管理和維護以及可信度。 提供進一步研究這些領域的建議，以實現國家 6G 路線圖的願景。
2022 年 5 月	6G 應用和使用案例 （6G Applications and Use Cases）	6G 發展主要驅動因素可歸納為日常生活、用戶體驗、關鍵角色和社會目標。 彙整相關使用案例為四類：連網機器人和自主系統；多感官擴展實境；分散式感應和通信；個人化用戶體驗。
2022 年 3 月	6G 綠色通信：邁向可持續發展 （Green G: The Path）	在日益連接的全球環境中，未來無線通信技術的可持續性將變得越來越重要。

發布時間	報告（或白皮書）主題	重點內容
	Toward Sustainable 6G)	ICT 產業在減少能耗方面的努力將對未來世代的無線通信產生積極影響。
2022 年 2 月	6G 藍圖 (Roadmap to 6G)	在發展願景上，須兼顧不同層次利害關係人的需求，包括：國家當務之急目標、應用和市場，並確認實現每個目標所需的新技術領域。 列出六大發展目標：信任、安全和韌性；增強型數位世界體驗；具成本效益的解決方案；基於虛擬化技術建構分散式雲端和通信系統；AI-Native 網路；與能源效率和環境相關的可持續性。

資料來源：Next G 聯盟；本研究整理

(二) 下世代無線通信頻譜應用研析

NEXT G 聯盟旗下設置頻譜工作小組，致力於瞭解影響 6G 頻譜政策的頻譜接取、管理、政策建議、標準和長期需求。此段簡要介紹 Next G 自 2023 年 8 月至 2024 年 8 月對於 6G 頻譜規劃之考量建議、需求預估以及頻譜接取機制的主要內容。

2023 年 8 月發表的 6G 頻譜之考量（Next G Alliance report：6G spectrum considerations，下稱頻譜白皮書）指出，6G 將利用目前行動服務使用的既有頻段，但僅靠既有頻段無法滿足 ICT 產業的容量需求。原因有二：

1. 一般來說，低頻段通常無法在連續頻譜上維持較大頻寬的波形，迫使人們依賴複雜的技術，例如載波聚合和多種射頻前端（Multiple radio front end）。
2. 對於新型態多應用頻譜接取之峰值數據速率要求，將需要大量頻譜，以支援需充分流量聚合的多重接取使用案例（multiple access use cases），並善用無線電資源維持穩

定的頻寬負載。

NEXT G 聯盟認為未來主管機關可能需考慮提供監理彈性，使 6G 能在既有頻段使用更寬的通道頻寬，也有必要與其他服務（例如衛星和無線電定位）進行相容性協調。另外，空中介面的向下相容性必須具有成本效益，使既有頻段能繼續為跨多個世代之行動通信用戶提供服務。對於未來尋找新頻譜以滿足 6G 需求時，NEXT G 聯盟建議從以下層面進行考量，包括，涵蓋需求、通道頻寬需求、頻譜連續性、協調和頻譜接取：

- 涵蓋需求：6G 可能需要在廣泛的頻率範圍內進行頻譜分配。主要指導原則是頻譜分配滿足相應布建的需求。分配給行動網路涵蓋的 6G 頻譜需要允許重複使用現有 5G 既有涵蓋區的站點，以使 6G 網路布建合乎經濟上的可行性。
- 頻寬需求：支援 6G 應用案例需要提供各種頻道頻寬。為支援各種 6G 使用案例，應允許在多個不同頻段根據頻譜特性（如：數量、頻率範圍）的高效率運用。
- 頻譜連續性：雖然帶內載波聚合技術允許使用不連續的頻譜區塊，但也同時帶來延遲和信令問題。未來 6G 系統對於頻譜資源穩定性及可用性的需求將可支援更廣泛、連續的通道頻寬，以滿足各種潛在 6G 技術和應用案例。
- 協調：頻譜分配和使用的最新趨勢表明，行動服務頻譜根據區域和國內優先順序而存在差異。頻譜規劃和相關監管規則的協調可以創造規模經濟，實現價格實惠的設備和服務。實務上可能很難出現全球性所有頻段都共通可用，然而，設定優先的 6G 頻段將能最大限度地減少頻譜碎片化，並為頻譜之經濟高效率運用創造有效率的生態系統。NEXT G 聯盟建議在最大化頻譜利用和提高頻譜

容量和效率之間取得平衡。

- 頻譜接取：針對潛在 6G 使用案例的適當頻譜接取框架，將取決於未來基於相關候選頻譜範圍內既有業者的研究。

NEXT G 聯盟的結論是，包括 6G 在內，往後各世代商用行動寬頻將繼續依賴既有頻譜，6G 是否能夠獲取更多頻譜取決於新技術及監理制度兩項變數。頻譜接取方式有多種類型，包括免執照、共享執照及特許執照，鑑於頻譜需求隨著每一代商用行動網路的發展而增長，若要能充分利用 6G 的潛力，需對所有潛在可用頻譜進行全面清點。

Next G 於 2024 年 6 月發表 Spectrum need for 6G，按不同傳輸環境及使用情境，預估 6G 頻譜頻譜如下：

表 3- 11、Next G 按不同傳輸及使用情境估計之 6G 頻譜需求

北美 6G 可能頻段	3.1-3.45 GHz			7.125-8.5 GHz			12.7-13.25 GHz		
傳輸環境 * 使用情境*	鄉村 Macro	都市 Macro	都市 Micro	鄉村 Macro	都市 Macro	都市 Micro	鄉村 Macro	都市 Macro	都市 Micro
智慧城市	92	161	125	69	153	85	95	320	170
智慧交通系統	92	161	125	69	153	85	95	320	170
健康與保健	7	11	9	5	11	6	7	22	12
無人機 (UAV)	37	64	50	28	61	34	38	128	68
娛樂	367	642	496	274	611	338	376	1281	678
資產管理	1	1	1	1	1	1	1	1	1
延展實境 (XR)	611	1070	827	456	1019	564	627	2135	1130
聯網機器人與自動系統	367	642	496	274	611	338	376	1281	678
分散式感測與通信	7	11	9	5	11	6	7	22	12
使用者個人化體驗	92	161	125	69	153	85	95	320	170
環境監測	7	11	9	5	11	6	7	22	612

北美 6G 可能頻段	3.1-3.45 GHz	7.125-8.5 GHz	12.7-13.25 GHz
各頻段最大建置需求	1070MHz	1019MHz	2135MHz

資料來源：Next G 聯盟

*傳輸環境乃按不同地理環境所布建之大型基地臺(macro)或小型基地臺(micro)區分。

*計算使用之情境速率假設：XR 之資料傳輸速率為 500Mbit/s., 聯網機器人與自動系統為 300Mbit/s.。

雖然目前這個階段 6G 之應用尚未明朗，但經過設定假設前提的 6G 頻譜需求估算後，Next G 的研究結論為，6G 頻譜需要更多頻譜，並需考慮新的頻譜接取機制。研究結果表明 6G 需要額外的頻譜，強調須以推進新技術、定義新的網路布建方式以提高頻譜效率。未來 6G 系統在既有行動頻段及其他新頻譜中運作，亦應考慮新的頻譜接取機制，跨多頻段的營運方式。

必須很清楚這項估計的研究限制，包括以下幾點：

- 6G 技術假設尚未明朗，目前估計乃以 5G-advance 為假設前提。這份估計的許多假設是基於目前可知最先進的 5G 技術。因詳細 6G 系統設計尚未清晰，目前的 6G 時間表重點仍在用例和需求的階段，這是當前估計無法克服的限制。
 - 使用更大頻寬時，EIRP 假設可能與監管限制不同，未來監管功率限制將影響頻譜效率。
 - 目前尚無 6G 系統特定技術的標準化工作，因此無法充分評估大型陣列的操作複雜性和效率。
 - 由於目前 Radio Regulations. ITU-R. Article 21. No. 21.3 之監管限制，報告假設的最大 EIRP 為 81 dBm/40 MHz，在未來應無法擴展到超過 100 MHz（在固定的 EIRP 下，頻寬越大則分到的能量越小。）
- 此限制會影響某些場景中頻譜需求最高的應用之網

路布建。

- 6G 技術規格仍有待定義，估計未充分考慮現實世界及基礎法規之變化。例如，監管功率限制之變化可能影響頻譜效率或網路布建。
- 與技術性能要求相關的頻譜需求，須採不同頻譜需求推估方法。目前 NextG 的估計僅使用資料速率與頻譜需求之關聯預估方法，但某些潛在應用或使用案例可能有來自與延遲、可靠性或感測等其他技術性能要求的頻譜需求，在這些情況下，必須定義並採用新的方法來得出相應的頻譜需求。

NEXT G 聯盟於 2024 年 8 月發表頻譜接取機制（Spectrum Access Mechanisms），報告中列出頻譜共享的分類與方法論，探討了多種頻譜共享的接取方法，這些方法之目的在提高頻譜的使用效率和靈活性，以支持未來的無線通信需求：

(1) 多無線接取技術頻譜共享（MRSS）

多無線接取技術頻譜共享（Multi-RAT Spectrum Sharing，MRSS）是一種允許不同類型的無線技術在同一頻段內共存的策略。這種方法能夠充分利用現有的頻譜資源，並且能夠根據不同的應用需求動態調整。MRSS 被 3GPP 命名為動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS），是指在傳輸時間間隔（Transmission Time Interval, TTI）範圍內共享頻譜，多半是在單一電信業者內運作的頻譜共享方式，用於 5G 和 4G 空中介面之間的跨技術共享，出於對跨代頻譜重用的興趣，MRSS 將在 6G 標準化過程中透過案例以試驗和測試方法繼續開發，並盡可能增強 3GPP 的動態頻譜共享。6G 與其他無線服務之間的共享

這種共享模式涉及 6G 系統與其他無線服務（如衛星通信或

固定無線服務)之間的協作。透過合理分配資源,6G可以在不干擾現有服務的情況下,獲得所需的頻譜。

(2) 無線網路之間的頻譜共享

無線網路之間的頻譜共享是指不同營運商或網路之間在相同頻段內進行協作,以提高資源利用率。這種模式需要有效的協調機制,以確保各方之間的干擾最小化。

NEXT G 聯盟進一步介紹了幾種實現頻譜共享的營運方法,這些方法有助於提高系統的靈活性和效率。

(1) 地理共享

地理共享是指根據地理位置分配頻譜資源。在特定地區內,某些用戶可以使用特定的頻段,而其他用戶則在不同地區使用相同的頻段。這種方法能夠有效減少干擾並提高資源利用率。

(2) 時空動態頻譜共享

時空動態頻譜共享是一種先進的方法,允許根據時間和空間變化動態調整頻譜使用。這意味著在某些時間段或地區,特定用戶可以獲得優先使用權,而在其他時間或地區則可以由其他用戶使用。

(3) 基礎設施共享

基礎設施共享涉及多個營運商共用相同的基地臺或其他基礎設施,以降低建設成本並提高效率。這種模式不僅能夠節省資源,還能促進不同營運商之間的合作。

(4) 情境感知共享

情境感知共享是指根據實時環境和用戶需求調整頻譜使用。

這種方法依賴先進的感測技術，透過感測技術根據當前情況動態調整資源分配。

NEXT G 聯盟也列出執行未來頻譜共享所必要的工具和技術如下：

- 頻譜數據庫和政策管理：頻譜數據庫提供了關於可用頻段的訊息，並幫助管理者制定相應的政策以促進有效的資源分配。這些數據庫能夠實時更新，以反映當前可用性。
- 傳輸前感測：傳輸前感測技術允許設備在發送信號之前檢測周圍環境，以確保不會對其他用戶造成干擾。這有助於提高系統的可靠性和效率。
- 外部感測器網路：外部感測器網路可以提供有關環境狀況和干擾情況的訊息，幫助管理者做出更明智的決策，以優化頻譜使用。
- 動態頻率選擇：動態頻率選擇技術允許系統根據當前需求和環境條件自動調整使用的頻率，以最大化資源利用率。
- 現有用戶通知功能或入口網站：此功能使得現有用戶能夠獲得關於新進入者的訊息，以便他們可以適當調整自己的操作以避免干擾。
- 波束成形：波束成形技術能夠將信號集中到特定方向，提高信號品質並減少對其他用戶的干擾。
- 其他進一步無線接取安排：探討其他影響無線接取性能的重要因素，包括設備能力、網路架構等。

NEXT G 聯盟總結了在不同共享模式中，各方參與者（如政府、營運商、用戶等）的角色及其責任，強調合作協調、靈活性和效率對於成功實施頻譜共享及未來 6G 無線通信發展的重要性。隨著 6G 技術的發展，採取有效的頻譜管理策略將成為推動創新的重要因素。

第二節 主要國家與地區推進 6G 現況觀測

一、 歐盟

(一) 6G 願景與發展策略觀測

6G 發展為歐盟近年來積極推動之首要目標，歐盟無線電頻率政策小組（The Radio Spectrum Policy Group, RSPG）於 2022 年針對 6G 未來發展、頻率需求等進行研析，進而草擬相關指引意見書⁴⁰。經過 1 年的討論後，RSPG 於 2023 年 6 月 14 日發布《6G 發展與頻率需求之可能影響以及未來無線寬頻網路指引之意見書》草案⁴¹，並辦理公眾諮詢作業，本次諮詢共募集產官學研界共 25 份意見書⁴²，以下針對各界較具代表性之利害關係人所發布之意見，整理多數利害關係人重點關注之議題，如下表。

表 3- 12、歐盟提出產業利害關係人對 B5G/6G 重點意見綜整表

利害關係人	主要意見
GSM 協會（GSMA）、全球衛星營運商協會（GSOA）、IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會	歐盟應遵守技術中立原則：針對未來 6G 之頻率授權等事項，歐盟執委會應遵守技術中立原則，保障各業者之頻譜接取權，避免為開發新技術進而導致現行通信連接服務面臨風險。

⁴⁰ RSPG(2023), Progress Report of the work item on the development of 6G and possible implications for spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/bfc5cedd-a101-4e5c-aa7f-01266f77c1b4_en?filename=RSPG23-039final-Progress_report_6G_development.pdf (last visited 2024.05.13).

⁴¹ 全名為：「the Draft RSPG Opinion on The development of 6G and possible implications for spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks」。資料來源：RSPG(2023), The development of 6G and possible implications for spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks DRAFT RSPG Opinion, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/9cea690e-cc9a-4a14-920a-8c79dfa528e2_en?filename=RSPG23-026final-draft_RSPG_Opinion_on_6G_development_with_Annexes.pdf (last visited 2024.05.13).

⁴² European Commission(2023), Radio Spectrum Policy Group Consultations, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/consultations-0_en (last visited 2024.05.13).

利害關係人	主要意見
全球行動設備供應商協會（GSA）、GSMA、NOKIA、高通（Qualcomm）	支持 RSPG 制定 6G 頻率規劃藍圖： 建議 RSPG 應於 2024 年完成並公布 6G 頻率規劃藍圖，內容應包含：6G 頻率需求之評估、確認未來 6G 布建之先鋒頻段與主要頻段等。
GSA、GSMA、德國電信（Deutsche Telekom）、NOKIA、高通	建議開放 7-15 GHz 之部分頻段供 IMT 使用，並進行共享研究： 建議歐盟應於 7-15 GHz 頻段範圍內研析適合供 IMT 使用之部分頻段，並以確保歐盟共同安全暨防衛政策（the Common Security and Defence Policy, CSDP）及太空政策為前提，於 7-15 GHz 範圍內之候選頻段中，進行 IMT 與既有使用者之共存議題研究。
英國沃達豐（Vodafone）、德國電信	建議開放 6 GHz 頻段供 6G 使用： 考量中頻段之傳播特性、可用通道頻寬、頻譜需求等因素，6 GHz 頻段為唯一適合 6G 使用的選項，因此建議應明確將該頻段分配供 IMT 使用。
Wi-Fi 聯盟、Cisco	建議開放 U6 頻段供免執照設備使用： 為達成歐盟《2030 年數位十年政策計畫》 ⁴³ ，光纖到府（Fiber-To-The-Home, FTTH）服務及 Wi-Fi 技術之結合應用為最可行之方案，得有效解決未來 6G 時代下室內連網之需求，因此建議歐盟開放完整 6 GHz 頻段供 Wi-Fi 使用。
IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會、Wi-Fi 聯盟、Cisco	建議修正草案中對於 Wi-Fi 之錯誤描述： 如「免執照設備不適合企業使用」、「免執照設備無法提供可預測的服務品質」、「歐盟已滿足免執照設備之頻率需求」。現今企業內部使用 Wi-Fi 為常態，且在 Wi-Fi 技術快速成長下，現行 Wi-Fi 6、Wi-Fi 6E、Wi-Fi 7 技術具有客製化能力，不僅能提供可預測的服務品質，亦能支援關鍵任務系統，應用範圍更為廣泛，致使未來 Wi-Fi 之頻率需求將大幅增加。

資料來源：European Commission(2023), Radio Spectrum Policy Group Consultations、本研究自行整理。

從上述利害關係人重點意見綜整可看出多數利害關係人支持 RSPG 制定 6G 頻率規劃藍圖，惟就頻率使用議題，各方並無共識。

⁴³ EUR-Lex, 2022/2481 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 establishing the Digital Decade Policy Programme 2030, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2022/2481/oj> (last visited 2024.05.13).

RSPG 參酌利害關係人之意見後，於 2023 年 10 月 25 日正式透過《5G 發展與其對 6G 頻譜需求之可能影響以及未來無線寬頻網路釋出指引意見書》⁴⁴，該意見書闡明因應 6G 之發展，行動通信技術頻率需求不斷攀升，然而觀察歐盟 5G 各頻段之發展現況後，可發現頻率之使用效率及應用發展不如預期，如 26 GHz 之發展速度明顯比 700 MHz、3.6 GHz 緩慢，因此提升頻率使用效率以及解決頻率需求成為歐盟 6G 發展規劃之關鍵議題，RSPG 對此提出以下幾點解決方案，整理如下表。

表 3- 13、歐盟整理產業對 B5G/6G 議題與解決方案綜整

議題	RSPG 解決方案
1.提升頻率使用效率，消弭發展落差（26 GHz）	鼓勵各會員國以協調一致之方式釋出 26 GHz 頻段供 5G 使用，並參考歐盟執委會與 RSPG 所公布之相關文件。
2.解決頻率需求（6G）	（1）以技術中立、頻率共享方式為主，引入動態及共享頻率之解決方案（5G/6G）。
	（2）提出 6G 頻率規劃藍圖（6G spectrum roadmap），針對 6G 應用案例及場景之涵蓋範圍、非地面網路、免執照設備等重要因素進行研析，儘早評估確認 6G 之頻率需求。
3.解決頻率需求（垂直及區域頻率使用）	（1）歐盟執委會授權歐洲郵政和電信管理局（European Conference of Postal and Telecommunications, CEPT）協助規劃《關於在歐盟內提供區域網路連線之地面無線寬頻系統共享使用 3.8-4.2 GHz 頻段之技術條件報告》 ⁴⁵ 。

⁴⁴ RSPG(2023), RSPG Opinion on 5G developments and possible implications for 6G spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/fa8ec4bd-508c-4c8c-93b9-2ced4c7bedc6_en?filename=RSPG23-040final-RSPG_Opinion_on_5G_developments_and_6G_spectrum_needs.pdf (last visited 2024.05.13).

⁴⁵ 原文為「on technical conditions regarding the shared use of the 3.8-4.2 GHz frequency band for terrestrial wireless broadband systems providing local-area network connectivity in the Union」。該報告係由 CEPT 下轄之電子通信委員會（Electronic Communications Committee, ECC）負責訂定，ECC 將該報告更名為《提供區域（即低/中功率）網路連接性之地面無線寬頻系統於 3.8-4.2 GHz 之頻段內與相鄰頻段之共享使用可行性研究》（In-band and adjacent bands sharing studies to assess the feasibility of the shared use of the 3.8-4.2 GHz frequency band by terrestrial wireless broadband systems providing local-area (i.e. low/medium power) network conn

議題	RSPG 解決方案
	(2) RSPG 考慮釋出 42 GHz 供垂直及區域使用。

資料來源：RSPG (2023), RSPG Opinion on 5G developments and possible implications for 6G spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks.

然而須強調一點，考量當時即將舉行之 WRC-23，RSPG 對於頻率使用議題採保守態度，因此其並未於該意見書內明確就任何頻率分配議題進行表態。該意見書亦更新「6G 開發動機、使用場景、技術推動因素及指標」（參圖 3-22、歐盟建議 6G 開發動機與使用場景等指標（更新版）），初步呈現歐盟對於未來 6G 之願景。

目標及預期影響	使用者及開發者	使用場景	技術推動因素	指標及評估
為何要發展6G? 以人為本及包容性 社會、環境及經濟永續性 <u>可信度</u> <u>韌性及主權</u>	6G之適用對象及開發者? 人 機器 組織 (公、私部門) 團體	用戶使用6G之目的以及如何使用? <u>沉浸式通訊</u> <u>可靠度高且低延遲之通訊</u> <u>大量通信</u> 無所不在的连接性 <u>整合型人工智慧及通訊</u>	如何發揮6G的功能? <u>新興技術</u> <u>賦能技術</u> <u>嵌入式技術</u>	如何評估6G的指標? 關鍵績效指標(KPIs) 關鍵價值指標(KVIs)

圖 3- 22、歐盟建議 6G 開發動機與使用場景等指標（更新版）

註：本次修正部份為底線文字

資料來源：RSPG (2023), The development of 6G and possible implications for spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks

以該意見書為基礎，RSPG 將進一步就 6G 使用案例、應用情境之涵蓋範圍以及容量需求進行評估，規劃於 2024 年 11 月釋出

activity)，ECC 已公布該報告草案，並於 2024 年 3 月 8 日辦理公眾諮詢作業。資料來源：ECC (2024), ECC Consultation, available at

<https://cept.org/ecc/tools-and-services/ecc-consultation> (last visited 2024.05.15).

《6G 策略願景報告草案》（Draft Report/Opinion as appropriate on 6G strategic vision）⁴⁶，並舉辦研討會，以傾聽利害關係人之意見。

綜上所述，RSPG 現行 6G 發展政策係以「提升頻率使用效率」及「解決頻率需求」為主軸，包含：解決 5G 於 26 GHz 之應用問題、提出動態及共享頻率之解決方案等，同時將非地面網路（Non-Terrestrial Networks, NTN）、免執照設備等關鍵技術納入研析範圍，進而評估未來 6G 之應用情境及需求，並配合 WRC-23 之決議，以確保 U6 頻段各用途之和諧共用為主軸，進行 6G 發展之整體規劃。

（二）6G 候選頻段議題研析

1. 《WRC-23 決議之 RSPG 正式回應報告》

綜觀 RSPG 對於 WRC-23 之 IMT 相關議題看法，可發現討論議題 1.2 為其關注重點，RSPG 於 2022 年 12 月已正式公布其與 CEPT 就 WRC 23 討論議題 1.2 皆持反對態度⁴⁷；在 WRC-23 透過正式決議後，RSPG 於 2024 年 6 月公布《WRC-23 決議之 RSPG 正式回應報告》（RSPG Report on the result of the ITU-R World Radiocommunication Conference 2023）⁴⁸，針對討論議題 1.2 所涉及之數個頻段，RSPG 之反對理由各有所不同，綜整如下表所示。

⁴⁶ RSPG(2024), Progress report of the Subgroup 6G strategic vision, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/50eff3af-3ccd-4560-909f-e35c642d4cef_en?filename=RSPG24-021final-Progress_report_6G_strategic_vision.pdf (last visited 2024.10.21).

⁴⁷ RSPG(2022), Opinion on the ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/system/files/2023-01/RSPG22-040final-RSPG_Final_Opinion_on_WRC23.pdf (last visited 2024.10.21).

⁴⁸ RSPG(2024), RSPG Report on the result of the ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/3d8d393b-2067-48c4-98f9-b95f4d8ed960_en?filename=RSPG24-017final-RSPG_Report_%20WRC23.pdf (last visited 2024.10.21).

表 3-14、RSPG 針對 WRC-23 討論議題 1.2 涉及之頻段意見綜整表

頻段	RSPG 回應
3600-3800 MHz (第 2 區)	無意見
3300-3400 MHz (第 2 區)	反對變更此頻段中的 IMT 電臺監管規範，尤其反對放寬與無線電定位用途之相關規定。
3300-3400 MHz(修改第 1 區註腳)	● 反對變更此頻段中「第 1 區之現行 IMT 標識 (identification)」以及「IMT 電臺監管規範」，尤其反對放寬與無線電定位用途之相關規定。 ● 本頻段為北大西洋公約組織 (North Atlantic Treaty Organization, NATO) 之軍用雷達協調使用頻段，且涉及 NATO 會員國之關鍵無線電定位用途，故 RSPG 對此持反對態度。RSPG 進一步要求本頻段中任何國家之 IMT 電臺均應遵守「無干擾，無保護」原則，且須得到鄰國同意。
6425-7025 MHz(第 1 區)、7025-7125 MHz (全球)	建議各會員國謹慎評估後，接受將 6425-7025 MHz、7025-7125 MHz 之全部或部分頻段用於 IMT，前提是： ● 確保既有用途及應用得以繼續運作，且受到《無線電規則》相關規定之保護； ● 為避免危害《歐盟共同安全暨防衛政策》(Common Security and Defence Policy, CSDP) 或歐盟太空政策 (the Union's Space policy)，RSPG 反對 WRC-27 於 7125 MHz 至 30 GHz 頻段範圍內，進行任何 IMT 候選頻段之研究。 ● 針對其他頻段內的海面溫度 (Sea Surface Temperature, SST) 測量應用，應採取其他適當措施。
10.0-10.5 GHz (第 2 區)	● 為保護於全球運行之衛星地球探測用途以及雷達 (包含：相同與相鄰頻段)，RSPG 原則上反對將 10.0-10.5 GHz (第 2 區) 頻段用於 IMT； ● 由於 WRC-23 目前已採取行動 (footnote No. 5.480A) 保護衛星地球探測用途等該頻段之既有使用者，RSPG 建議以建立嚴格的技術與監管限制為前提下，各會員國始得同意將此頻段用於 IMT。

資料來源：RSPG (2024)，RSPG Report on the result of the ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/3d8d393b-2067-48c4-98f9-b95f4d8ed960_en?filename=RSPG24-017final-RSPG_Report_%20WRC23.pdf (last visited 2024.10.21)。

2. 《U6 頻段長期願景意見書》

RSPG 於 2024 年 2 月公布《2024 年及以後的工作計畫》(Work Programme for 2024 and beyond)⁴⁹，內容提及 RSPG 將具體規劃 U6 頻段之使用，並預計於 2025 年 6 月公布《U6 頻段長期願景意見書》(RSPG Opinion on long-term vision for the upper 6 GHz band)。為提高 U6 頻段之使用效率，RSPG 將以確保 WAS/RLANs 設備於 5945-6425 MHz (即 Lower 6 GHz band，為 L6 頻段)之持續運作為前提，同時參酌 CEPT 相關研究報告，如：無線寬頻電子通信服務 (Wireless Broadband Electronic Communications Services, WBB ECS)、WAS/RLANs 與既有使用者之共存與運作技術條件等，草擬《U6 頻段長期願景意見書》，並納入利害關係人之意見，以完善 U6 頻段之規劃。

RSPG 於今年 7 月 8 日正式辦理問卷調查 (Questionnaire) 作業⁵⁰，蒐集行動/固定通信網路 (Mobile/Fixed Communications Networks, MFCN)、WAS/RLAN 利害關係人以及 U6 頻段既有使用者之相關意見，問卷內容包含其對於 U6 頻段之頻譜需求、引進新用途之影響、有助於改善相容性之措施等，本次問卷調查已於今年 8 月 20 日截止。

綜上所述，RSPG 目前持續就 6G 之應用情境及頻率需求進行評估，並未公告 6G 具體使用頻段。觀察 RSPG 近年之研析重點，可發現 6 GHz 頻段(5925-7125 MHz)為其關注焦點，尤其在 WRC-23 最終決議(議題 1.2)宣布開放第 1 區 6425-7125 MHz(即 Upper 6 GHz band，為 U6 頻段)供 IMT、無線接取系統 (WAS) 包括

⁴⁹ RSPG(2024), Work Programme for 2024 and beyond, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/c87dc40a-3221-4842-98af-eb625d3557d2_en?filename=Questionnaire_U6GHz-2024.pdf (last visited 2024.10.21).

⁵⁰ RSPG(2024), Questionnaire on Long-term vision for the upper 6 GHz band, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/d4e46670-313b-4bac-8d8d-760d92f4649b_en?filename=RSPG24-008final-RSPG_WP24_and_beyond_0.pdf (last visited 2024.05.13).

無線電區域網路（RLANs）使用後⁵¹，U6 頻段之應用、干擾、共存等議題更成為歐盟未來之重點發展專案。

二、美國

(一) 6G 願景與發展策略觀測

就 6G 之發展願景，美國白宮於 2024 年 2 月 26 日發表一份多國 6G 原則聯合決議⁵²，聯合澳洲、加拿大、捷克、芬蘭、法國、日本、韓國、瑞典和英國政府就「6G 無線通信系統研發的共同原則」達成共識，各國共同宣布將在 6G 發展上共同努力，支援開放、自由、全球、可互通、可靠、韌性和安全的連線。該決議並呼籲其他政府、組織和利害關係人一同支持和維護這些原則。

除了簽署國之外，多國 6G 原則聯合決議並呼籲簽署國以外的其他政府、組織和利害關係人一同支持和維護這些原則。聯合決議國將在國內採取相關政策，亦鼓勵第三方國家採取這些政策，以推動 6G 網路的研發和標準化。以下為聯合決議之 6 項共同原則：

1. 保護國家安全的可信任技術

由安全和韌性技術支援的 6G 技術，可作為更廣泛的安全可信任通信生態系統的一部分，有助於參與政府和合作夥伴保護國家安全的能力。

2. 安全、有韌性且保護隱私

- 由各組織發展的 6G 技術擁有系統化的網路安全方法，包括透過使用技術標準、介面和規範；其方法包括設計安全

⁵¹ ITU(2024), World Radiocommunication Conference 2023(WRC-23) Final Acts, available at https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.16-2024-PDF-E.pdf (last visited 2024.05.15).

⁵² The white house (2024), Joint Statement Endorsing Principles for 6G: Secure, Open, and Resilient by Design, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/02/26/joint-statement-endorsing-principles-for-6g-secure-open-and-resilient-by-design/>

(security-by-design)確保基本服務的可用性；以及確保遭遇故障時之安全性並能夠快速恢復之系統設計。

- 6G 技術具備可靠、韌性與安全，並保護個人隱私。
- 6G 技術和架構可提供高水準的通信網路安全性，包括減輕因日益增加的網路複雜性或大型攻擊所帶來的潛在風險。

3. 全球產業領導/集體標準制定與國際合作

- 6G 技術建立在全球技術標準、介面和規範的基礎上，透過公開、透明、公正和基於共識的決策過程來制定。
- 6G 技術基於尊重智慧財產權的全球標準，促進永續性、可接取性、共同參與、互通性、競爭力、開放性和安全性。

4. 合作促進開放且互通的創新

- 6G 技術採用符合全球產業領導的共同標準設定及國際合作原則之技術、標準和介面，以實現不同供應商產品之間（包含軟體和硬體）的無縫互通。
- 6G 技術認同在促進開放、安全、韌性、包容、互通網路議題之國際合作重要性，例如開放式無線接取網路（Open Radio Access Networks, O-RAN），並發展安全、韌性、包容和永續之 6G 生態系統。
- 6G 技術從聯合研究、開發和測試中受益，並利用虛擬化、軟體定義網路、人工智慧等創新技術。

5. 可負擔性、永續性和全球連接性

- 6G 技術可實現節能布建及營運，提高環境永續性、設備的修復性和回收性，以及支持社會永續發展所需的可負擔性。
- 6G 技術透過標準化和競爭實現規模經濟環境等機制，實

現永續性與消弭數位落差，提供可靠的涵蓋範圍和一致的使用體驗，減少服務品質之差異，同時允許使用創新案例。

- 6G 技術幫助其他產業和部門實現數位轉型以降低其對環境產生的影響。
- 發展中國家可以廣泛獲取或使用 6G 技術。
- 6G 技術利用非地面網路（Non-terrestrial networks, NTN），例如衛星和高空通信平臺（High-Altitude Platform Station, HAPS）提升其優勢。

6. 頻譜和製造

- 6G 技術具備安全和韌性的供應鏈。
- 6G 技術與多家軟體和硬體供應商合作，促進 ICT 價值鏈並在運算和連接所有要素的全球競爭市場位居要角。
- 6G 技術可使用新頻譜分配或已分配給無線服務的頻譜。
- 6G 技術有效地使用頻譜，並透過設計包含頻譜共享機制，與現有服務供應商共存。

分析以上由美國提出的六項共同原則，基於國家安全之前提，發展 6G 所需的技術共同標準，在國際合作的原則下，透過技術、標準和介面的合作，達成實現不同供應商產品包含軟硬體的無縫互通。在技術上，認同採用開放式無線接取網路（Open Radio Access Networks）作為 6G 之網路模式，此外，對於 6G 研發，約定透過聯合研究、開發、測試，並採用虛擬化、軟體定義網路、人工智慧等創新技術。在網路層面上，也正式建議 6G 採用 NTN 網路包含衛星及高空平臺網路等整合方式提供服務，這也意味著，頻譜監理及使用上必須更加具備彈性，不預設固定的 6G 頻段，但表明其可使用已分配給無線服務的頻譜，透過頻譜共享機制，與既有業者共存。

另外，為了因應新一代 Wi-Fi 網路、低軌衛星、5G、6G、自駕車與其他新興科技應用帶來的龐大頻譜接取需求，白宮亦於 2023 年 11 月 13 日發布「國家頻譜策略(The National Spectrum Strategy)」⁵³，作為美國頻譜政策之藍圖，其中提出四大主軸，並訂定十二項相應的策略目標（如表 3-15），以推動頻譜政策的現代轉型，維持美國在先進無線科技與服務的領導地位。就 6G 之發展願景，美國白宮於 2024 年 2 月 26 日發表一份多國 6G 原則聯合決議⁵⁴，聯合澳洲、加拿大、捷克、芬蘭、法國、日本、韓國、瑞典和英國政府就「6G 無線通信系統研發的共同原則」達成共識，各國共同宣布將在 6G 發展上共同努力，支援開放、自由、全球、可互通、可靠、韌性和安全的連線。該決議並呼籲其他政府、組織和利害關係人一同支持和維護這些原則。

表 3-15、美國「國家頻譜策略」之主軸與策略目標

主軸	策略目標
一、可確保美國在先進與新興科技領域維持領先地位之頻譜供應管道	(1) 確保充足頻譜接取，以支持聯邦機構當前與未來之任務需求
	(2) 確保頻譜資源能夠支持民間部門目前與未來之創新需求
	(3) 透過實施指導原則與計畫管理最佳實務(Best Practices)，識別更多可供研究之頻段，以維持頻譜供應管道
二、透過合作性的長期規劃，支持美國不斷變化中的頻譜需求	(1) 以科學與資料為依歸，建立持續性頻譜策略規劃程序
	(2) 發展並建立一套以實證為基礎的國家頻譜政策制定方法
	(3) 制定蒐集頻譜使用相關資料之方法要求與工具規格，以獲得管理決策所需資料及資訊
三、透過科技開發，促進頻譜創新、接取及管理	(1) 透過促進對新興科技的投資，改良頻譜效率並促進共享
	(2) 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
	(3) 追求最大化頻譜彈性使用的頻譜政策，結合新興及創新科技，並識別出擴大頻譜接取的機會
	(1) 吸引、培訓及培養當前與下一代頻譜人才
	(2) 提升政策制定者對頻譜議題之理解

⁵³ White House (2023), National Spectrum Strategy. https://www.ntia.gov/sites/default/files/publications/national_spectrum_strategy_final.pdf

⁵⁴ The white house (2024), Joint Statement Endorsing Principles for 6G: Secure, Open, and Resilient by Design, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/02/26/joint-statement-endorsing-principles-for-6g-secure-open-and-resilient-by-design/>

主軸	策略目標
四、拓展頻譜相關知識技術，並提升全國對頻譜議題之意識	(3)提高公眾對無線電頻譜之理解及對相關公共議題之意識

資料來源：White House（2023），本研究整理。

為達成「國家頻譜策略」揭示的願景及策略目標，美國商務部轄下的國家電信與資訊管理局（National Telecommunications and Information Administration, NTIA）於2024年3月12日發布「國家頻譜策略實施計畫（National Spectrum Strategy Implementation Plan）」⁵⁵，針對前述每一項策略目標，訂定具體的預期成果（Outcome）、專責單位（Responsible Agency）及預計執行時間，並列出相關協力單位（Contributing Stakeholder）。其內容如表 3-16：

⁵⁵ NTIA (2024), National Spectrum Strategy Implementation Plan. <https://www.ntia.gov/sites/default/files/publications/national-spectrum-strategy-implementation-plan.pdf>

表 3-16、美國「國家頻譜策略實施計畫」內容概要

策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間
1.1 確保充足頻譜接取，以支持聯邦機構當前與未來之任務需求	(a) 將各聯邦機構之頻譜要求建檔記錄，以確保各聯邦機構具有充足頻譜接取支持其任務需求	NTIA	各聯邦機構	2024 年 9 月起，預計完成需 24 個月
	(b) 更新聯邦機構對額外頻譜資源之需求評估流程	NTIA	各聯邦機構	2024 年 9 月起，預計完成需 24 個月
1.2 確保頻譜資源能夠支持民間部門目前與未來之創新需求	(a) 訂定研究計畫及時程表，以完成對以下頻段之研究：(1) 3.1-3.45 GHz；(2) 5030-5091 MHz；(3) 7.125-8.4 GHz；(4) 18.1-18.6 GHz；(5) 37.0-37.6 GHz	NTIA、受影響的聯邦機構	FCC、民間利害關係人	另訂於「國家頻譜策略實施計畫」附錄
	(b) 制定研究各頻段之專案計劃與追蹤進度之時間表	NTIA	各聯邦機構	2024 年 3 月起，預計完成需 2 個月
	(c) 完成頻段研究	NTIA、受影響的聯邦機構	FCC、民間利害關係人	若資金到位，將儘速執行，執行時程另訂於「國家頻譜策略實施計畫」附錄
	(d) 根據研究結果確定可重新利用的頻譜	NTIA	各聯邦機構、FCC、跨部門頻譜諮詢委員會 (Interagency Spectrum Advisory Council, ISAC)	將依研究情形決定，預計完成需 2 個月
1.3 透過實施指導原則與計畫管理最佳	(a) 決定頻譜使用情形之相關評估指標與資料元素，並建立資料蒐集規格	NTIA/FCC	各聯邦機構、商業頻譜管理諮詢委員會 (Commerce Spectrum	2025 年 3 月起，預計完成需 12 個月

策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間
實務，識別更多可供研究之頻段，以維持頻譜供應管道			Management Advisory Committee, CSMAC)	
	(b) 發布頻譜管理員則與最佳實務方法，作為聯邦政府頻譜研究之指引	NTIA	各聯邦機構、FCC	2025 年 3 月起，預計完成需 14 個月
	(c) 建置專案管理功能，以管理頻譜重新分配業務	NTIA	各聯邦機構、FCC	2024 年 3 月起，預計完成需 3 個月
2.1 以科學與資料為依歸，建立持續性頻譜策略規劃程序	(a) 改良協作架構	NTIA/FCC	各聯邦機構、ISAC、原住民部落 (Tribe)、公眾	2024 年 3 月起，預計完成需 18 個月
	(b) 實施國家頻譜長期規劃流程	NTIA/FCC	總統行政辦公室 (Executive Office of the President, EOP)、各聯邦機構、ISAC、CSMAC、公眾	2024 年 9 月起，預計完成需 24 個月
2.2 發展並建立一套以實證為基礎的國家頻譜政策制定方法	(a) 運用以價值為基礎之模型，為頻譜政策決策提供資訊	NTIA/FCC	EOP、各聯邦機構、NSF、ISAC、CSMAC	2026 年 3 月起，預計完成需 12 個月
	(b) 對過去重新分配及拍賣頻段之歷史經驗進行評估研究	NTIA/FCC	各聯邦機構、公眾	2025 年 3 月起，預計完成需 12 個月
2.3 制定蒐集頻譜使用相關資料之方法要求與工具規格，以獲得管理決策所需資料及資訊	(a) 制定一套公認方法，呈現當前頻譜使用情形與未來頻譜需求	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC、公眾	2025 年 3 月起，預計完成需 12 個月
	(b) 記錄處理更精細資料所需之新工具 (包含資訊科技與建模工具) 規格要求	NTIA/FCC	各聯邦機構	2026 年 11 月起，預計完成需 12 個月
	(c) 建立相關技術、科學、任務與經濟分析之最佳實踐，減少研究偏誤	NTIA/FCC	各聯邦機構、CSMAC	2026 年 3 月起，預計完成需 24 個月

策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間
3.1 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
	(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
	(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
	(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
	(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
	(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
3.2 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
	(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
	(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
	(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

策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間
	(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 Communications Test Network, NASCTN)	2025 年 12 月起，預計完成需 6 個月
	(f) 進行動態頻譜共享 (Dynamic Spectrum Sharing, DSS) 示範計畫	DoD/NTIA	FCC、NIST、各聯邦機構	2024 年 3 月起，預計完成需 18 個月
	(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
3.3 追求最大化頻譜彈性使用的頻譜政策，結合新興及創新科技，並識別出擴大頻譜接取的機會	(a) 採行儘可能放寬監管彈性之政策措施，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
	(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
4.1 吸引、培訓及培養當前與下一代頻譜人才	(a) 制定國家頻譜人才計畫	NSF/NTIA	EOP、FCC、CSMAC、各聯邦機構	2024 年 6 月起，預計完成需 18 個月
	(b) 進行聯邦機構頻譜人才計畫	各聯邦機構	NTIA、NSF、FCC、學術機構、專業社群	2024 年 3 月起，預計完成需 12 個月
4.2 提升政策制定者對頻譜議題之理解	(a) 建置頻譜進階議題培訓資源庫	NTIA/FCC	各聯邦機構	2024 年 9 月起，預計完成需 12 個月
	(b) 開發與推廣針對各級政府職員之頻譜入門培訓教材	NTIA/FCC	各聯邦機構	2025 年 3 月起，預計完成需 12 個月
4.3 提高公眾對無線電頻譜之理解及對	(a) 推動頻譜議題基礎知識推廣計畫	各聯邦機構	NTIA、FCC、NSF	2026 年 3 月起，預計完成需 12 個月

策略目標	預期成果	專責單位	協力單位	預計執行時間
相關公共議題之意識				

資料來源：NTIA（2024），本研究整理。

對 6G 的發展與布建而言，將需要更多的頻譜資源及更高效率的頻譜管理支持 6G 高速傳輸與低延遲的通信需求。國家頻譜策略實施計畫透過對頻段重新利用與共享進行多項研究、長期性頻譜規劃及開發新的頻譜接取或管理，預計將有助於為 6G 確保充足頻譜供應。尤其，對 3.1-3.45 GHz 與 7.125-8.4 GHz 等頻段的研究將陸續在 2026 年 10 月以前完成，可望帶來更有效率的頻譜運用，並為 6G 連接奠定基礎。國家頻譜策略實施計畫後續將依實際推動情形進行動態調整，NTIA 預計將每三年發布更新版實施計畫。

此外，NTIA 亦於 2024 年 5 月 21 日就 6G 技術發展狀況展開公眾意見徵詢⁵⁶，議題範圍包含：促進 6G 成功發展之作法、6G 及相關技術之研發、6G 安全性及環境問題，並同時徵求對商業頻譜管理諮詢委員會（Commerce Spectrum Management Advisory Committee, CSMAC）報告⁵⁷之反饋意見。內容摘述如下：

1. 促進 6G 成功發展之作法。

例如：美國與盟國於 6G 開發、標準化與布建上的合作方式；協助美國企業於國際 6G 市場布局之作法；排除 6G 垂直應用所面臨障礙之作法；美國國內相關人力資源之養成與培訓；公私部門之合作方式；具互通性之技術標準的制定；當前 5G 發展上可為 6G 進行超前布建之處；6G 供應鏈可能出現之問題；以及基礎設施布建所面臨之問題等。

2. 6G 及相關技術之研發。

例如：6G 之重點基礎研究領域及關鍵技術；相關標準制定組織、產業聯盟與利害關係人對 6G 之討論及觀點；既有的 6G 發展

⁵⁶ NTIA(2024), Advancement of 6G Telecommunications Technology, <https://www.ntia.gov/federal-register-notice/2024/advancement-6g-telecommunications-technology>

⁵⁷ CSMAC(2023), Report of Subcommittee on 6G, https://www.ntia.gov/sites/default/files/2023-12/6g_subcommittee_final_report.pdf

路線圖之盤點及潛在相互衝突之處；透過 IMT-2030 參與 6G 標準制定之作法；場測（field trial）與商用化之預計時程；未來技術研發方向；以及異質性網路無縫接取之實現等。

3. 6G 安全性及環境問題

例如：在自然與人為災難下的 6G 網路韌性；6G 對公共安全與救難人員任務通信之效益；既有公共安全網路服務升級為 5G 對後續 6G 布建之潛在負面影響；商用無線網路與公共安全網路服務既有的不相容性是否將被 6G 加劇；確保 6G 技術可支援救難或國家安全等關鍵服務之作法；6G 設備及網路之能源效率；以及 6G 相關產業之節能與減廢作法等。

4. CSMAC 報告之反饋意見

就 CSMAC（2023）所探討的美國 6G 總體願景、應用、技術能力及政府潛在用途，NTIA 徵求對該報告調查結果及建議之反饋意見。例如：該報告中值得進一步探討或被遺漏的議題；6G 技術在報告發布後之重大進展；以及任何對政策制定者有助益的資訊或觀點等。

此次意見徵詢至 8 月 21 日截止，NTIA 共收到 43 則來自企業、產業協會、產業聯盟及學術研究機構等利害關係人之回應意見⁵⁸。分析上述 NTIA 所提的意見徵詢議題，可見美國政府於 6G 政策制定上所考量的議題面向相當廣泛。就政策面而言，包含國際合作、國際市場布局、專網垂直應用之推動、產業人力資源之供應、技術標準制定、供應鏈與基礎設施布建問題等。就技術面而言，美國政府亦高度關注技術研發方向、相關標準制定組織、產業聯盟與利害關係人之觀點、參與國際標準制定及預計商用化時程等考。此

⁵⁸ NTIA(2024), NTIA Receives 43 Comments on 6G Policy, <https://www.ntia.gov/other-publication/2024/ntia-receives-43-comments-6g-policy>

外，美國政府亦重視 6G 網路之安全性與韌性、災害防救領域之應用、商用無線網路與公共安全網路服務之不相容性，以及 6G 發展之環境永續性等。

(二) 6G 候選頻段議題研析

美國電信產業解決方案聯盟（Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS）旗下 Next G 聯盟（Next G Alliance, NGA）於 2023 年 8 月發表的「6G 頻譜考量因素（6G Spectrum Considerations）」報告指出，6G 候選頻段的主要重點將在 3-10 GHz 與 10-30 GHz 範圍內，且必須在 10-30 GHz 範圍內增加頻譜，方能確保能兼具良好的涵蓋範圍（coverage）及容量（capacity）。

該報告指出，由於未來網路預計將有更高的容量（capacity）需求，因此當前研究方向旨在維持良好涵蓋的前提下提供更高頻寬，而 7-24 GHz 頻段較具備滿足此一需求的潛力。而 FCC 主席 Jessica Rosenworcel 亦曾在 2022 年世界行動通信大會（Mobile World Congress, MWC）表示，FCC 需要立即展開規劃，以在 7-15GHz 的範圍中識別出兼具速度與涵蓋範圍（coverage）的頻段供 6G 使用。

根據 FCC 技術諮詢委員會（Technology Advisory Council）⁵⁹於 2023 年 8 月 17 日發表的「6G 工作小組立場書（6G Working Group Position Paper）」⁶⁰，FCC 正在研究與考慮的 6G 候選頻段包含：

1. 6G 地面部分

(1) 7-15 GHz 與 15-24 GHz

FCC 考量的候選頻段包含 10.0-10.5 GHz 與 12.7-13.25 GHz。

⁵⁹ 技術諮詢委員會係由公、私部門專家所組成，負責描繪 6G 技術未來雛形之樣貌，並將賦予 6G 技術具體定義。

⁶⁰ 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

前者在 WRC-23 的第 219 號決議⁶¹中，已獲准作為國際行動電信（International Mobile Telecommunications, IMT）之可用頻段。至於後者，儘管 FCC 已排除 12.2-12.7 GHz 作為候選頻段⁶²，但在 FCC 的一份法規制訂通告（Notice of Proposed Rulemaking, NPRM）「FCC-23-36」則已將 12.7-13.25 GHz 納入考量。

業界與學術界普遍認為，由於現行無線電科技的限制，15-24 GHz 頻段的成本仍屬高昂，因此主管機關宜開放更多 7-15 GHz 頻譜，以滿足日益增加的 IMT 需求。許多企業已開始投資頻道分析、建模與頻寬高達 500MHz 的先進無線電系統，以支持此一目標。

(2) >110GHz

在目前構想的多項 6G 應用中，頻譜需求最大的應用將可能需要超過 10 GHz 的頻寬，因此需研究高於 110GHz 的頻率。然而，儘管已在進行 1 THz 的研究，110-170 GHz 仍是 6G 通信中相對具可行性的頻段，故多數研究與投資仍集中於 110-170 GHz。

2. 6G 非地面部分

FCC 亦考慮將整合性（integrated）非地面網路（Non-terrestrial Networks, NTN）頻段供 6G 使用，範圍介於 900 MHz 至 80 GHz 之間。由於傳播性質的因素，預計需多種不同的頻段方能滿足各種 6G 使用情境。

CSMAC 之 6G 小組委員會亦於 2023 年 12 月發表的報告中探討 6G 可能使用的頻段，該報告指出，就地面網路使用而言，目前產業界關注之焦點為中頻段，並將其延伸至 15 GHz 左右；其他

⁶¹ ITU (2023), Final Acts WRC-23. <http://handle.itu.int/11.1002/pub/8225d4fb-en>

⁶² 根據「國家頻譜策略」，FCC 將 12.2-12.7 GHz 頻段保留予衛星服務，並研議擴大該頻段之固定執照或免執照使用（fixed licensed or unlicensed use）。

頻段則主要考慮用於非地面網路使用；至於 sub-THz 頻譜，則大多為短距離通信之研究，距離商用化仍為時過早。CSMAC 針對 6G 於各頻段之可能應用，逐一分析如下：

(1) 低頻段

由於低頻段頻譜通常已相當擁擠，CSMAC 認為低頻段並非 6G 地面網路使用的重點頻段。然而 CSMAC 也指出，當頻譜未被充分利用時（如在使用者密度較稀少的地區），可透過載波聚合（carrier aggregation）與多無線電連結（multi-radio connectivity）將頻譜拼湊在一起，進而增加涵蓋範圍。近期世界上也出現使用低頻段頻譜，從太空直接向用戶裝置提供網路連接（即行動衛星用途（Mobile Satellite Service, MSS）），以增強地面涵蓋的案例。

(2) 中頻段

由於中頻段被認為最能夠同時兼具涵蓋範圍、容量及連續性（contiguity），因此普遍被視為 6G 地面網路使用的重點頻段。

(3) 毫米波頻段

被視為可透過無線區域網路與個人區域網路，在家庭、辦公室、交通樞紐及都會熱點提供「資訊淋浴（information shower）」⁶³的關鍵頻段。另外，一部分毫米波頻段對於衛星仍相當重要。

(4) sub-THz 與 THz 頻段

適用於固定無線與後傳（backhaul）、高頻寬應用（若可行）及被動服務（passive service）

鑒於 6G 缺乏合適的專用（dedicated）或共享頻譜，CSMAC 報告提出多項關於 6G 頻譜的建議：

⁶³ 係指以 THz 頻率為超短距離無線網路提供大於 1 Tbps 資料傳輸速率。

- A.** NTIA 應與 FCC 及各聯邦機構合作，制定更利於頻譜共享的規劃，包括中頻段與 95 GHz 以上頻段。
- B.** NTIA 應強化跨部會合作，推動採購制度改革（acquisition reform）與祭出政策誘因，進而鼓勵聯邦機構與產業界儘可能有效與高效率地使用頻譜，促進頻譜共享及頻譜重分配。
- C.** NTIA 應與聯邦機構合作，更頻繁地更新頻譜概要（spectrum compendium），增加更詳細與更精細的額外數據（如使用位置、時間等），以描述美國的頻譜使用狀況，並將頻譜概要擴展至 7.125 GHz 以上，至少應至 THz 範圍。
- D.** NTIA 應採取靈活的頻譜共享策略⁶⁴，根據不同頻段的特性與使用情況，選擇最合適的共享模式（如基於時間、位置或頻率的共享）。
- E.** NTIA 應與 FCC 合作，促進 6G 於 THz 頻譜之創新。考量 THz 頻段的傳播特性易造成運作侷限於特定地點，NTIA 宜提供豁免（waiver）或額外的免執照頻譜等措施，支持相關的探索性研究。

⁶⁴ 在 CSMAC (2023) 中稱為「工具箱方法(toolbox approach)」。

三、英國

(一) 6G 願景與發展策略觀測

隨著通信技術之高速成長，英國通信傳播管理局（Office of Communications, Ofcom）將 6G、Wi-Fi 7 等新興技術列為重要發展專案，並規劃相應之頻譜策略。

1. 《次世代無線寬頻之頻譜管理討論文件》

Ofcom 於 2023 年 10 月 18 日公布《次世代無線寬頻之頻譜管理討論文件》（Spectrum management for next generation wireless broadband: a discussion paper）⁶⁵，將 6G、新世代的 Wi-Fi（係指 Wi-Fi 7 以後的 Wi-Fi 技術）、非地面網路等嶄新無線技術列為「次世代無線寬頻（Next Generation Wireless Broadband, NGWB）」，該文件包含幾項重點，以下分述之：

(1) 應用情境

NGWB 之應用情境多元，除以往通信領域之應用外，交通領域之新興服務（如：無人機物流、空中計程車等）亦須仰賴 NGWB，致使 NGWB 之需求與日俱增，惟目前 NGWB 之頻率需求大多集中於 15 GHz 以下之頻段（該頻段中無人使用之頻率數量稀少），且 NGWB 多半處於發展階段，具有高度不確定性，種種原因更加突顯 NGWB 頻譜管理議題之重要性。

(2) 以頻譜共享為核心之頻譜管理政策

為有效解決前述之問題，Ofcom 主張頻譜管理政策應以頻譜共享為核心，使頻譜接取更加彈性化，進而保障 NGWB 接取頻

⁶⁵ Ofcom (2023), Spectrum management for next generation wireless broadband: a discussion paper, available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0036/269784/next-generation-wireless-broadband-oct-23.pdf (last visited 2024.05.16) .

率之權利，同時為確保國際頻譜管理框架能適時反應 NGWB 之發展與供需變化，Ofcom 將積極與各國頻譜管理主管機關、產業界合作，並傾聽利害關係人之意見。

(3) 英國頻譜共享實例

英國推行「以頻譜共享為核心之頻譜管理政策」已有多年，累積數個案例，如：

- 3.8-4.2 GHz 頻譜共享案例

Ofcom 積極推動 3.8-4.2 GHz 之頻譜共享，藉由協調方式，使區域 5G 網路得以在該頻段之既有使用者（衛星地球電臺、固定鏈路）周圍布建多個區域 5G 網路。

- 5G 毫米波頻段共享規劃案例

Ofcom 試圖就 5G 毫米波頻段進行相關共享規劃，以應對 5G 在不同應用情境下之需求差異，如：都會區與郊區、國家行動網路業者與區域網路（local networks）布建者。

- U6 頻段共享案例

Ofcom 目前正在規劃行動通信與 Wi-Fi 共同接取 U6 頻段之混合共享機制。

綜上所述，英國目前已開始評估 6G 等新興技術（NGWB）之頻率需求，並著手規劃 6G 頻譜管理政策。Ofcom 強調頻譜管理政策不應成為 6G 發展之障礙，為此 Ofcom 將持續掌握 6G 發展進度，適時調整頻譜管理政策，同時將參考過去所推動之頻譜共享案例，並依各頻段特性具體規劃適合的頻譜共享機制。

2. 英國「3.8-4.2 GHz 共享接取執照」制度之調適

為促進頻譜共享使用，並滿足地方無線連接應用需求（local wireless connectivity applications）⁶⁶，Ofcom 於 2019 年發布《以地方執照創造無線創新：行動技術之頻譜使用共享》（Enabling wireless innovation through local licensing）文件⁶⁷，增設共享接取執照，開放 1800 MHz 共享頻段（1781.7-1785 MHz 與 1876.7-1880 MHz 成對）、2300 MHz 共享頻段（2390-2400 MHz）、3.8-4.2 GHz、26 GHz 頻段（24.25-26.5 GHz）供個人或企業申請使用，同時依各頻段之特性，分別設有低功率執照及中功率執照，兩者之差異如下表所示。

表 3- 17、英國低功率執照及中功率執照比較表

	低功率執照	中功率執照
定義	以用戶申請時提供的座標為中心，授權用戶在半徑 50 米之圓形範圍內布建所需之基地臺數量。	授權用戶布建單一基地臺，該基地臺可連接固定、行動等終端設備。
開放頻段	• 1800 MHz 共享頻段 • 2300 MHz 共享頻段 • 3.8-4.2 GHz • 26 GHz	• 1800 MHz 共享頻段 • 3.8-4.2 GHz
適用情境	• 企業專用網路 • 延伸室內行動涵蓋範圍	• 位於郊區之固定無線接取（Fixed Wireless Access, FWA）服務提供者 • 範圍較大之區域，如港口、農業、林業 • 延伸行動涵蓋範圍

資料來源：Ofcom（2024），Shared Access Licence Guidance document。

其中，《次世代無線寬頻之頻譜管理討論文件》表示 3.8-4.2 GHz 共享接取執照為英國目前發展相對成熟之頻譜共享案例，並將其視為英國未來 6G 頻譜管理政策之參考依據，因此本報告將

⁶⁶ Ofcom(2019), Shared access licences, available at

<https://www.ofcom.org.uk/spectrum/frequencies/shared-access/> (last visited 2024.10.21).

⁶⁷ Ofcom(2019), Enabling wireless innovation through local licensing, <https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/129951--enabling-opportunities-for-innovation/associated-documents/enabling-wireless-innovation-through-local-licensing.pdf?v=324096>

著重於研析 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之發展。

(1) 《支持增加共享頻譜之使用諮詢文件》

3.8-4.2 GHz 共享接取執照為 Ofcom 積極推動之專案，然而 Ofcom 在過程中發現八成使用者申請之頻寬為 100 MHz，與 Ofcom 當初所預估的 40 MHz 有所差距，進而影響共享頻段之用戶數量，因此 Ofcom 於 2023 年 11 月發布《支持增加共享頻譜之使用諮詢文件》（Supporting increased use of shared spectrum）⁶⁸。

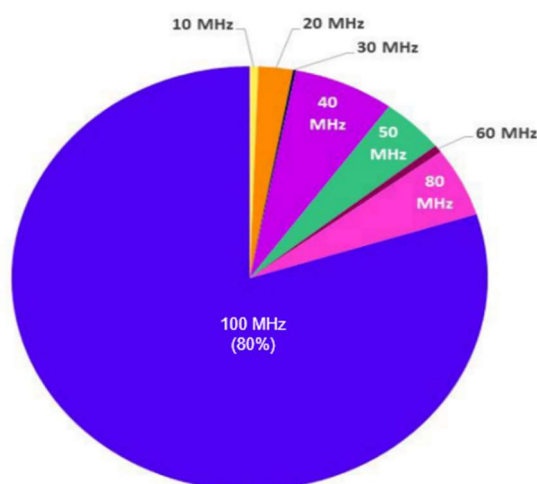


圖 3- 23、英國 3.8-4.2 GHz 頻段共享接取執照頻寬使用情形統計

資料來源：Ofcom（2023），Supporting increased use of shared spectrum。

註：統計時間至 2023 年 10 月 26 日。

為優化 3.8-4.2 GHz 共享接取執照機制，《支持增加共享頻譜之使用諮詢文件》提出以下幾點解決方案：

- 解決方案 1：調整協調重點

考量現行應用情況，Ofcom 主張應調整 3.8-4.2 GHz 之

⁶⁸ Ofcom (2023), Supporting increased use of shared spectrum, available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0017/272051/Consultation-Shared-Access-Licence.pdf

《共享接取協調框架》，如：調整干擾路徑之認定及協調重點、調整使用者間同步/非同步之假設等，詳細內容整理如下表所示。

表 3- 18、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照用戶之協調方式比較表

現行協調參數	3.8-4.2 GHz		
	現行方案	修改後	
		主要方案	替代方案
同步/非同步	未設有強制性的協調框架，在不同步使用之情況下進行協調。	未設有強制性的協調框架，以 同步使用假設為基礎 ，支援更新的干擾雜訊比(I/N ratio)。	
協調重點	著重於 基地臺之間 的協調	著重於 基地臺至終端設備 之間的協調，高度距離(height)為1.5m。	著重於 基地臺至終端設備 之間的協調，高度距離(height)為3m。
干擾雜訊比	-6 dB	+ 3dB	0 dB
保護臨界值 (Protection Threshold)	-97 dBm	-88 dBm	- 91 dBm
穿透建築物之損耗 (Building Entry Loss)	12 dB	14 dB	

資料來源：Ofcom (2023) , Supporting increased use of shared spectrum 。

- 解決方案 2：調整定價

考量 3.8-4.2 GHz 共享接取執照在部分地區出現供不應求之情形，且為提高頻譜使用效率，減少大頻寬申請者之數量，Ofcom 決定調整 3.8-4.2 GHz 之共享接取執照費用（請參下表），具體調整方向為：

- 依功率⁶⁹、使用地區分成 4 種類別進行收費；
- 改以行政誘因定價法（Administrative Incentive Pricing,

⁶⁹ 現行共享接取執照共開放 4 個頻段（1800 MHz、2300 MHz、3.8-4.2 GHz、L26 GHz），可分為：

低功率執照：以用戶向 Ofcom 申請之座標為中心，授權用戶在半徑 50 米之圓形範圍內布建所需之基地臺（base stations），並無限制基地臺數量（功率限制-不得超過 EIRP 24 dBm），主要開放給企業專網等申請使用。

中功率執照：授權用戶布建單一基地臺，基地臺得與固定、nomadic 或行動終端相連，一般只開放給郊區使用（功率限制-不得超過 EIRP 42 dBm）

資料來源：Ofcom (2022) , Shared Access Licence Guidance document, available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0035/157886/shared-access-licence-guidance.pdf （last visited 2024.05.17）。

AIP) 進行定價；

- 依使用頻寬訂定不同的收費標準。

表 3-19、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之年度費用表

➤ 解決方案2：3.8-4.2 GHz 共享接取執照之年度費用表(單位：英鎊) 依10/21匯率，英鎊：新臺幣約等於1：41.72

類別 \ 頻寬	10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
現行價格	80	160	240	320	400	480	640	800
郊區低功率	80	160	240	320	400	480	640	800
都會區低功率	80	160	240	320	400	640	1,120	1,600
郊區中功率	80	160	240	320	400	640	1,120	1,600
都會區中功率 (例外)	500	1,000	1,500	2,000	2,500	4,000	7,000	10,000

為使更多用戶能使用共享頻段，實有必要限制中、高功率之應用，故都會區中功率執照僅限於以例外方式發放。

資料來源：Ofcom (2023), Supporting increased use of shared spectrum。

註：單位為英鎊。

Ofcom 於 2023 年 11 月 23 日辦理《支持增加共享頻譜之使用諮詢文件》之公眾諮詢作業，本次諮詢已於 2024 年 2 月 2 日截止，共募集產官學研界共 24 份意見書，本研究整理幾位較具代表性之利害關係人意見，如下表所示⁷⁰。

⁷⁰ Ofcom (2023), Consultation: Supporting increased use of shared spectrum, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/consultation-supporting-increased-use-of-shared-spectrum?showall=1?showall=1> (last visited 2024.05.17) .

表 3- 20、英國整理利害關係人對共享頻譜之重點意見綜整

	利害關係人	利害關係人意見
解決方案 1- 調整協調重點	贊成：英國電信（BT）、 Virgin Media O2、英國國家 廣播公司（BBC）、Meta	同步使用較符合現行趨勢
	反對：全球衛星營運商協會 （GSOA）、Nokia	- Ofcom 此舉將造成使用者數量上升、各執照間所需的地理間隔減少、布建密集度過高之現象，增加干擾風險； - 針對採用相異模式的使用者間的協調問題，建議 Ofcom 應針對不同模式的使用者制定協調規則。
解決方案 2- 調整定價	贊成：BBC、Meta、 GSOA、歐洲通信衛星集團 （Eutelsat Group）	贊成依持有頻譜數量調整定價。
	反對：BT、Virgin Media O2	- 主張都會區中功率之共享接取執照年度費用漲幅太高，嚴重影響現有計畫及新專案之實行； - 在特殊情況下（如：查爾斯三世加冕儀式）會有同時申請多個執照之需求，建議 Ofcom 就此問題研議可行方案。

資料來源：Ofcom(2023), Consultation: Supporting increased use of shared spectrum。

從上述利害關係人重點意見綜整表可看出多數利害關係人贊同 Ofcom 調整 3.8-4.2 GHz 共享接取執照機制，惟有部分利害關係人對於干擾、協調規則、都會區中功率之共享接取執照年度費用議題有所疑慮，並建議 Ofcom 應妥善處理相關議題。

(2) 《擴大共享頻譜接取》

為回應各利害關係人之意見，Ofcom 於 2024 年 7 月 24 日發

布正式回應文件⁷¹，Ofcom 宣布將採用以同步發射假設為基礎之協調方式⁷²，針對各共享接取執照用戶進行協調，並採用替代方案之協調參數。關於調整定價部分，Ofcom 決定維持低功率執照以及郊區中功率執照之年度費用，並參考利害關係人之意見，Ofcom 預計將調整都會區中功率執照相關制度，包含：放寬都會區中功率執照之申請限制（僅大倫敦地區仍維持原本例外申請制）、限制使用頻寬（小於 100 MHz）、重新調整都會區中功率執照年度費用，以避免過度影響都會區中功率執照之商業應用。針對前述都會區中功率執照制度之調整草案，Ofcom 於 2024 年 7 月 24 日辦理公開諮詢作業，本次諮詢已於 2024 年 9 月 18 日截止。

表 3- 21、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之年度費用表（2024）版

➤ 解決方案2：3.8-4.2 GHz 共享接取執照之年度費用表(單位：英鎊) 依10/21匯率，英鎊：新臺幣約等於1：41.72

類別 \ 頻寬	10 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
現行價格	80	160	240	320	400	480	640	800
郊區低功率	80	160	240	320	400	480	640	800
都會區低功率	80	160	240	320	400	480	640	800
郊區中功率	80	160	240	320	400	480	640	800
都會區中功率	160	320	480	640	800	960	1,280	1,600

▲ 為避免過度影響都會區中功率執照之商業應用，Ofcom放寬都會區中功率執照之申請限制(不包含大倫敦地區)

資料來源：Ofcom（2024），Expanding Access to Shared Spectrum，。
註：單位為英鎊。

⁷¹ Ofcom(2024), Expanding Access to Shared Spectrum, available at <https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-supporting-increased-use-of-shared-spectrum/associated-documents/statement-expanding-access-to-shared-spectrum.pdf?v=370918>

⁷² 係指假設共享接取執照用戶間以協調為目的而採同步發射模式，惟須強調一點，Ofcom 並未強制要求 3.8-4.2 GHz 共享接取執照用戶均須採取同步模式。資料來源：Ofcom(2024), Shared Access Licence, available at <https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/129951--enabling-opportunities-for-innovation/associated-documents/shared-access-licence-guidance-july-2024.pdf?v=381319>

Ofcom 同時於 2024 年 7 月 24 日更新《共享接取執照指引文件》（Shared Access Licence Guidance document）⁷³，調整 3.8-4.2 GHz 共享接取執照用戶之協調方式，改以同步使用假設為前提，以保護終端設備免受其他基地臺之影響為基礎進行協調。

表 3- 22、英國 3.8-4.2 GHz 共享接取執照之技術條件

	3.8-4.2 GHz 共享接取執照參數	
	低功率執照	中功率執照
布建限制	包含室內及室外，限制室外天線在離地面 10 公尺之高度內。	僅限於郊區。
授權頻寬	分別為 10 MHz、20 MHz、30 MHz、40 MHz、50 MHz、60 MHz、80 MHz、100 MHz。	分別為 10 MHz、20 MHz、30 MHz、40 MHz、50 MHz、60 MHz、80 MHz、100 MHz。
基地臺最大功率	（每一基地臺之 EIRP） 若載波數小於或等於 20 MHz：24 dBm/每一載波； 若載波數大於 20 MHz：18 dBm/5 MHz。	（每一基地臺之 EIRP） 若載波數小於或等於 20 MHz：42 dBm/每一載波； 若載波數大於 20 MHz：36 dBm/5 MHz。
終端電臺最大功率值	28 dBm	TRP ⁷⁴ ：28 dBm（行動／nomadic） EIRP：35 dBm/5 MHz（僅適用於固定終端）

資料來源：Ofcom（2024），Shared Access Licence Guidance document。

（二）6G 候選頻段議題研析

1. 《2024/25 年工作計畫》

目前 Ofcom 持續就 6G 之應用情境及頻率需求進行評估，並未公告 6G 具體使用頻段。觀察 Ofcom 於 2024 年 3 月公布《2024/25 年工作計畫》（Ofcom’s Plan of Work 2024/25）⁷⁵，共規劃本財政

⁷³ Ofcom(2024), Shared Access Licence Guidance document, available at <https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/129951--enabling-opportunities-for-innovation/associated-documents/shared-access-licence-guidance-july-2024.pdf?v=381319>

⁷⁴ 總輻射功率（Total Radiated Power, TRP）

⁷⁵ Ofcom (2024), Ofcom’s Plan of Work 2024/25, available at

https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0020/281630/Statement-Plan-of-Work-2024-25.pdf

年度（2024/25 年）三大目標，整理如下表。

表 3- 23、英國 Ofcom 提出《2024/25 年工作計畫》三大目標

目標	說明	具體作為
支援網路演進與整合	為鼓勵創新，Ofcom 將努力保障新興技術（包含：6G、下一代 Wi-Fi、衛星通信）接取與共享頻譜之權利。	• 釋出 26 GHz 及 40 GHz 頻段供行動用途使用； • 辦理「開放 1.4 GHz 頻段供行動用途使用」之公眾諮詢。
加速頻譜共享創新	為提高頻譜之可利用性，Ofcom 將以頻譜共享為核心，推動頻譜管理創新，並依不同頻段之特性研析合適的共存與共享方法。	U6 頻段之混合共享機制（行動通信與 Wi-Fi）。
更新與審查頻譜管理框架	為符合新興技術及產業需求，Ofcom 將持續追蹤新興技術與相關產業之需求變化，並適時調整「頻率管理框架」。	• 研析衛星行動用途議題（如：衛星直連行動設備、衛星寬頻服務之頻率等）； • 研析新興技術對固定鏈路之影響。

資料來源：Ofcom（2024），Ofcom's Plan of Work 2024/25。

綜上所述，Ofcom 係以頻譜共享為核心進行 6G 頻段之規劃，雖其尚未公布 6G 具體使用頻段，但 Ofcom 陸續規劃其他頻段供行動用途使用，並大力推動 U6 頻段之頻譜共享機制，為包含 6G 在內之 NGWB 奠定基礎。

2. 《6 GHz 頻段上半部分供行動及 Wi-Fi 使用》

因應 WRC-23 決議開放 6 GHz 頻段上半段（Upper 6 GHz，以下簡稱為 U6 頻段）供行動用途使用，同時該頻段亦提供無線接取系統（Wireless Access Systems, WAS），包括無線區域網路（Radio Local Area Networks, RLANs）使用，Ofcom 於 2024 年 5 月 21 日公布《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）⁷⁶。Ofcom 說明目前行動通信服務主要應用於室外，Wi-Fi 主要應用於室內，考量兩者頻率需求與服務性

⁷⁶ Ofcom (2024), Mobile and Wi-Fi in Upper 6 GHz, available at <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>

質，Ofcom 決定以共享為原則規劃行動通信與 Wi-Fi 共同接取 U6 頻段之混合共享機制，提出以下兩種方案：

(1) 可變動頻譜分配

將 U6 頻段分為「Wi-Fi 優先部分頻段」以及「行動優先部分頻段」，Wi-Fi 得於未布建行動通信服務之地點使用「行動優先部分頻段」，反之，行動通信服務亦得於未布建 Wi-Fi 之地點使用「Wi-Fi 優先部分頻段」。兩者皆須使用「感知及避免」技術（sense and avoid techniques），藉由傳輸特定信號，使雙方能掌握該地點之布建資訊，據以決定使用頻段。

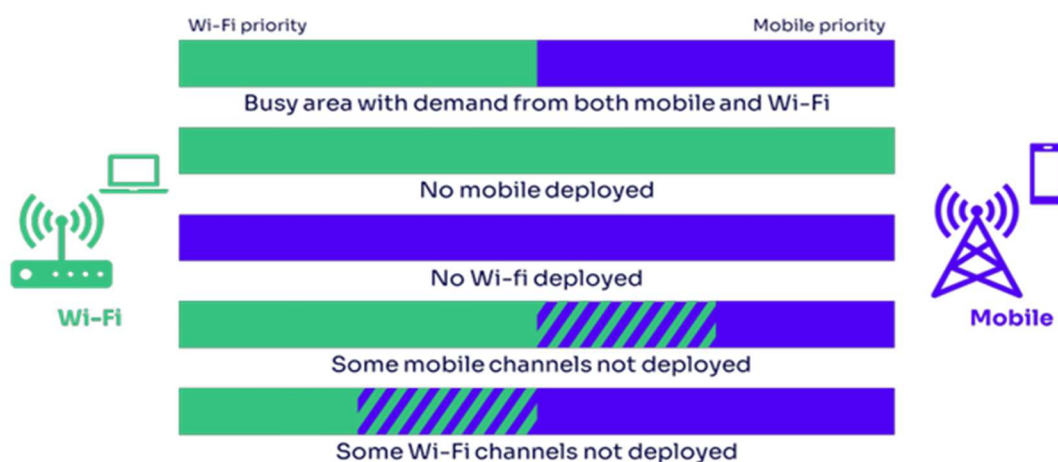


圖 3- 24、可變動頻譜分配

資料來源：Ofcom（2024），Mobile and Wi-Fi in Upper 6 GHz。

(2) 區分室內與室外，輔以其他行動頻段

針對行動通信服務及 Wi-Fi 訊務量高之地區，以室內、室外（穿透建築物之損耗）進行區分，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，行動業者可透過其他較低頻段（如：3 GHz）提供室內用戶服務。

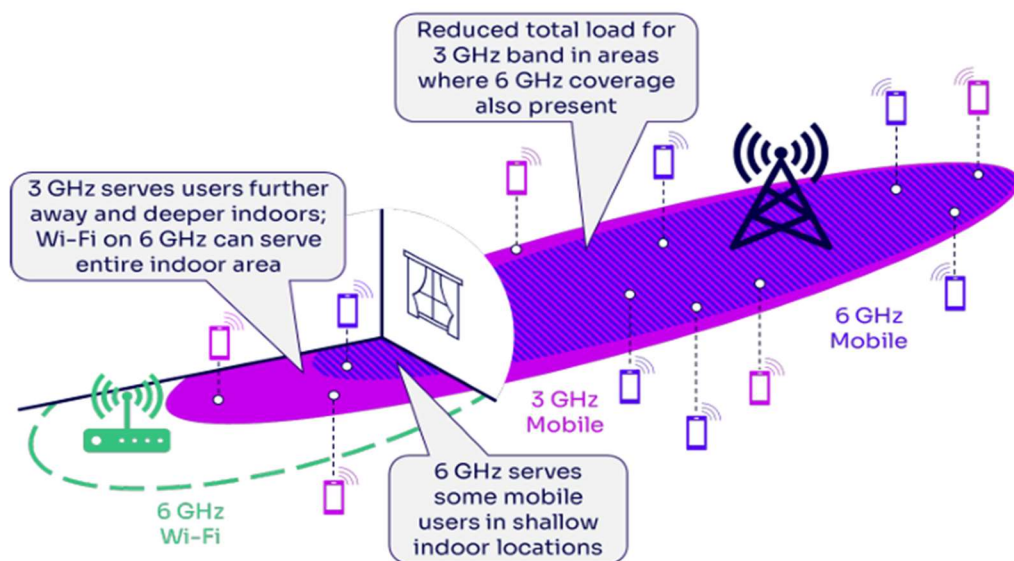


圖 3- 25、區分室內與室外，輔以其他行動頻段

資料來源：Ofcom（2024），Mobile and Wi-Fi in Upper 6 GHz。

目前英國藉由實驗沙盒探索頻譜共享技術之可行性，並預計於 2025 年就未來 U6 頻段之應用發布正式文件。

四、日本

（一）6G 願景與發展策略觀測

總務省 2020 年公告「Beyond 5G 推進戰略 - 6G 藍圖」⁷⁷，政策背景是基於日本 Society 5.0 總體目標。在 Society 5.0 願景中，網路空間（虛擬世界）和實體空間（現實世界）的高度融合。現實世界行為透過大量感測器蒐集並儲存數據，進一步運用人工智慧進行數據分析，將分析結果反饋給現實世界中的各類應用，構成虛實整合系統（Cyber-Physical System, CPS）的正向互惠循環。

在 2030 年代，Beyond 5G（6G）之目標是實現一個兼具包容性（Inclusive）、永續性（Sustainable）、可信賴（Dependable）特性

⁷⁷ MIC (2020), Beyond 5G Promotion Strategy-Roadmap towards 6G-, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond_5G_Promotion_Strategy-Roadmap_towards_6G-.pdf

的強韌且充滿活力之社會願景，如圖 3-26。此外，為實現社會願景目標，掌握 2030 年代在資通信領域及多元產業的挑戰和未來願景，研提涵蓋多廣泛產業及使用者範疇之使用場景，彙整 Beyond 5G (6G) 關注之使用案例，如圖 3-27 所示。



圖 3-26、日本 2030 年社會願景

資料來源：總務省 2020 年資通信白皮書

金融	建築/不動產	物流/運輸	電信	媒體	能源/資源
- 線上化與無現金化的進展、實現與客戶接觸的數位 - 利用AI與交易資料等，提供高附加價值之上業服務，與其他產業之協作和靈活性	- 利用VR技術遠端協作、及機器人遠端操作 - 利用物聯網、無線感測等技術進行維護管理與監控	- 倉庫和物流中貨物的追蹤和管理、機器、機器人的操作以及無人機操作 - 包括使用衛星和HAPS的海上路線在內的物流、空運和鐵路的無縫轉移和自動運輸	- 任何人都可使用數位化 - 使用AI的高精準度需求預測、以自治和防災防護韌性網路	- 涵蓋所有感官的沉浸式媒體體驗 - 視覺環境個人化	保障資源採集及加工的現場作業安全，以沉浸式遠距操作及自動化
汽車	Beyond 5G為2030年代整體產業和社會活動的基礎				機械/電機/工廠
- 透過高精度車輛偵測和預測安全駕駛輔助 - 使用道路和交通狀況等的即時影像建立動態地圖	■ 超高速大容量服務 ■ 超低延遲的服務 ■ 同時連接多個IoT感測器的服務 ■ 不受時間和地點限制 ■ 穩定且安全地提供使用者需求的服務品質				- 透過引進物聯網和機器人實現無人工廠 - 使用XR等對機器進行高精度遠端控制 - 透過農業機械的自動化、功能提升和遠端控制實現智慧農業
食品/農業	分銷/零售/批發	醫療保健	公共/行政/教育	防災/地區	太空/HAPS
- 無人拖拉機自動駕駛及農業噴灑無人機控制及遠端監控 - 利用感測器、攝影機等對農作物和牲畜進行遠端監控	- 推動運輸配送，保障各地便捷 - 建構供應鏈中的資料擷取、協作與分發基礎設施	- 高解析度影像及通訊技術進行遠距手術 - 感測器取得身體資訊、AI診斷健康管理	- 具有使用者介面的一站式管理系統，允許使用者在任何地方完成程序 - 利用XR等的即時遠距教育	- 災害預測系統 - 陸上救援、避難訓練支援系統、使用HAPS的避難引導系統	- 透過海、空、數位化的通訊基礎設施實現智慧城市，以縮減數位落差 - 實現地面對太空活動的遠距操作

圖 3-27、日本 Beyond 5G 使用案例

資料來源：總務省 2020 年資通信白皮書

為了推動實現 Beyond 5G (6G)，總務省於 2021 年 9 月就「Beyond 5G 的資通信技術戰略的未來發展方向」向資通信審議會提出諮詢，該報告提出四項策略：「研究開發策略」、「社會實施策略」、「智慧財產權與標準化策略」和「海外擴張策略」。此外，透過運作「Beyond 5G 推動聯盟」匯集產官學代表，與企業、大學、政府研發法人等共享推動進程及專家意見，並在 2022 年 6 月公布「Beyond 5G 資通信技術戰略發展方向」階段性成果報告。以下分別說明：

1. 研究開發策略

綜合考量 Beyond 5G (6G) 願景及日本發展之優勢，彙整業界、學術界和政府應解決的 10 個研發問題，如圖 3- 28 所示。主要以全光網路相關技術、非地面網路相關技術、安全虛擬化和融合網路相關技術為優先投入之重點技術領域，將集中國家研發資金投入，並建立多年期推動框架，以促進研究和開發。



圖 3- 28、日本 Beyond 5G 之研發議題

資料來源：總務省 2020 年資通信白皮書

2. 社會實施策略

目標將前述所提及之優先投入之重點技術，從 2025 年起將其推向市場，透過產業界、學術界和政府之間的合作，具體呈現 Beyond 5G (6G) 的演進場景，並規劃在 2025 年大阪/關西世博會上展現成果。

3. 智慧財產權與標準化策略

透過開放和封閉的策略，專注於優先技術領域，推動國際標準化和取得知識產權。在開放或合作領域，將與志同道合的國家合作，推動網路架構和關鍵技術的國際標準化；在封閉或競爭領域，努力獲得技術權利並保密，使其成為日本競爭力的來源。

4. 海外擴張策略

將優先技術領域的成果定位為「全球 Beyond 5G 關鍵技術」，加速日本國內社會應用，並及時向世界傳達該技術的實用性，推動其成為全球領先的技術。透過與全球主要供應商進行策略合作，將鼓勵向世界各地的電信業者推出相關服務。

2024 年 2 月，美國發布「6G 原則聯合決議」，與 10 多個國家進行 6G 合作（包含日本），將共同遵守研發 6G 無線通信系統之原則，打造開放、自由、全球性、互通性、可靠性、韌性及安全之連接。

(二) 6G 候選頻段議題研析

為促進有限的無線電波資源的有效使用，並應對新無線電波使用系統的引入和不斷成長的需求，日本總務省自 2003 年開始進行無線電波使用情況調查，於 2004 年 8 月制定並公布「頻率整備行動計畫」（周波数再編アクションプラン）（如圖 3-29），此後每年進行審查並公布。以促進頻率平穩重整和整備，同時確保透明度

和可預測性。

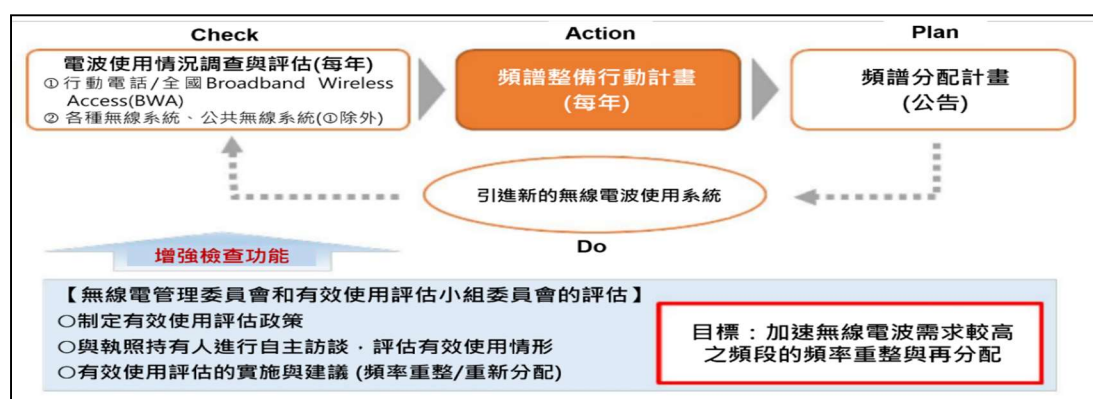


圖 3-29、日本制定頻率整備行動計畫流程圖

資料來源：總務省（2024 年）

根據 2023 年「總頻率整備行動計畫」（周波数再編アクションプラン（令和 5 年度版）⁷⁸），目標至 2025 年底頻率使用之進展，規劃於以下四個目標系統：5G/B5G 行動電話網路系統、衛星通信/HAPS 系統、IoT/無線 LAN 系統與下一代行動通信系統，目標合計增加約 16 GHz 頻寬（與 2020 年底總頻寬相比增加幅度），分配 14 GHz 頻寬用於公眾網路與專用網路以及 2 GHz 頻寬用於專用網路，如圖 3-30。



圖 3-30、日本至 2025 年底之釋出頻寬目標

資料來源：總務省（2023）

⁷⁸ 總務省(2023),周波数再編アクションプラン（令和 5 年度版）概要, https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000500.html

目前為止日本已增加釋出 3.046 GHz 頻寬，彙整日本針對四個目標系統之目標釋出頻寬與現況，如表 3-24。

表 3-24、日本至 2025 年底之釋出頻寬目標與目前進展

系統	目標	現況
5G/B5G 行動電話網路系統	- 目標增加 6 GHz 頻寬。 - 除了已分配到行動網路的 LTE 網路(3.5GHz)和 5G/5G 專網 (Sub 6 GHz、毫米波) 之外，候選頻段包括 2.3 GHz、4.9 GHz、26 GHz 和 40 GHz 頻段。	2020 年 5 月日本宣布在 2.3 GHz 頻段使用動態頻率共享於 5G，因此新增 2330-2370MHz 頻段 (40MHz 頻寬) 作為 5G 頻率 2020 年 8 月擴展 700 MHz 頻段供行動通信使用，因此新增 715- 718 MHz 和 770-773 MHz (新增 6 MHz 頻寬)
衛星通信/HAPS 系統	- 目標增加 9 GHz 頻寬。 - 規劃引入衛星行動通信系統候選頻段，候選頻段包括在 Ku 頻段之衛星星系 (satellite constellations)、Ka 頻段為行動地球電臺 (ESIM) 擴展寬頻衛星通信系統，以及 Q/V 頻段。預計將有用於 NGSO 之饋電鏈路 (feeder link)。	NGSO 使用 Ku 頻段，下行鏈路(空對地)為 10.7-12.7 GHz (新增 2 GHz 頻寬)；上行鏈路(地對空)14.0-14.5GHz(新增 0.5 GHz 頻寬)，合計新增 2.5 GHz 頻寬。
IoT/無線 LAN 系統	- 目標增加 1 GHz 頻寬。 - 候選頻段是 6 GHz 頻段，該頻段預計能夠確保多個頻道，在 Wi-Fi 6 標準下實現最大速度 10Gbps。	2020 年 9 月透過與現有無線系統共享 5925- 6425 MHz 的頻率，將其分配為無線 LAN 頻率，確保新增 0.5 GHz 頻寬。
下一代行動通信系統	- 目標增加 30 MHz 頻寬。 - 為了因應 5 GHz 頻段 V2X 系統日益成長，將使用一定數量的專用頻段來確保廣域涵蓋和安全性，並實現數 10 Mbps 的通信速度。	-
總計	釋出增加 16 GHz 頻寬	釋出增加 3.046 GHz 頻寬

資料來源：總務省 (2023)

除了上述至 2025 年整體釋出頻寬規劃外，同時設定以下 9 項優先措施，概述如下。

1. 確保頻率以推廣 5G

為了與歐洲和美國等國際合作，同時確保國際協調的頻率，將在 700 MHz、2.6 GHz、4.9 GHz、26 GHz 與 40GHz 頻段等同頻段和鄰近頻段使用既有的無線電系統，推動對於行動通信系統進行額外分配，包括應用動態頻率共享，同時考慮對系統的影響。

2. 進一步提升無線區域網和頻率擴展

日本將持續研究頻率共享技術條件，擴展至 6.5 GHz 頻段（6425-7125 MHz），包括無線區域網路的戶外使用，同時參酌其他國家和 WRC-23 討論 IMT 頻段（7025-7125 MHz）之決議，並計畫於 2026 年提出技術條件。

3. 無人機之使用頻率

隨著無人機在物流、災害應變、農業、基礎設施檢查和娛樂等各領域的應用不斷發展，將考慮擴展無人機可使用頻率，包含行動通信和無線區域接取網路所使用之頻率。

針對 800/900 MHz 頻段和 1.7/2 GHz 頻段的行動通信頻率，為了因應無人機在空中使用手機的需求，於 2020 年 12 月開發可於距地面 150m 以下高度的空中使用系統，並在 2023 年 4 月允許在海拔 150 公尺或更高處使用之系統。

為了進一步擴展空中的使用，對於 4G(3.4GHz/3.5GHz 頻段)、5G(3.4GHz/3.5GHz/3.7GHz/4.5GHz/28GHz 頻段)、5G 專網(4.6-4.9GHz/28GHz 頻段)和 2.5GHz 頻段的寬頻行動無線接取系統(BWA)使用之頻段進行研究，以防止與其他無線系統的干擾。

4. 促進 V2X 的考量

由於自駕車系統的進展和重要性，除了現有的 ITS 頻段

(760MHz 頻段等) 外，目前國際考量納入 5.9 GHz 頻段 (5850-5925MHz)。根據《自動駕駛時代下一代 ITS 通信研究小組》報告 (2023 年 8 月)，在考量國際頻率協調和對既有無線電臺之干擾，決定為 V2X 通信分配 5895-5925MHz (30 MHz 頻寬)。具體來說，日本對於 5.9 GHz 部分頻段 (5888-5925MHz)，為確保既有無線系統，考量移頻或與鄰近系統的頻率共享等措施，並進行 5.9 GHz 頻段 V2X 系統的試驗。將開發早期階段使用 V2X 系統的環境，並規劃於 2026 年底前進行 V2X 通信的頻率分配。

5. 非地面網路 (NTN) 的進階應用

HAPS 採用固定通信系統，透過在離地面約 20 公里高空的無人機上安裝基地臺，使用 38-39.5 GHz 頻段和 2.7 GHz 以下頻段與地面進行通信。將持續研究和開發，以實現使用具有抗災能力的行動通信系統，並於偏鄉地區布建基礎設施。此外，自 2023 年起已進行技術測試，考慮將該系統與其他無線系統共享。

有關非同步衛星通信系統，為了實現使用 IMT 指定的部分頻段與手機直接通信，根據 WRC-23 決議，並結合國際之發展情況，自 2023 年起針對技術條件 (包括頻率共享和執照申請程序等) 進行研究。

6. 實現公共安全行動系統

有關使用現有行動通信技術的公共安全行動系統，旨在災害等特殊情況下在公共安全機關之間分享訊息，相關的部門和機關將與政府合作進行技術試驗，並計畫於 2024 年開始提供服務。

7. 促進公共服務頻率有效使用

針對國家和地方政府使用的公共服務無線電臺 (無線電波使用費免除的無線電臺) 中使用「其他用途需求顯現的頻率系統」

和「使用模擬（analog）方式的系統」兩種系統之進展進行追蹤。

8. 推動 Beyond 5G（6G）

日本於 2022 年 6 月公告「Beyond 5G 資通信技術戰略發展方向」階段性成果報告，進一步補充 2020 年 6 月公告「Beyond 5G 推進戰略 - 6G 藍圖」，將開發光網路技術、光電融合技術、衛星/HAPS 網路技術等研發，以實現超高速、節能的通信基礎設施、擴大陸海空通信涵蓋等，得以從 2025 年開始逐步實現社會應用，同時推動國際聯合研究和國際標準化。

在產學官合作方面，Beyond 5G 推進聯盟和 Beyond 5G 新管理策略中心正在推動 Beyond 5G 措施方面發揮核心作用。該聯盟於 2023 年 3 月發布「Beyond 5G 白皮書-致 2030 年代的資訊-2.0 版」，其中包括 Beyond 5G（6G）所需的關鍵指標。

在 Beyond 5G（6G）技術中，自 2023 年以來一直在進行技術研究，以開發使用 HAPS 的通信系統系統，並期望能在 2025 年大阪/關西世博會展示「Beyond 5G Ready Show」，並提供體驗最新技術的機會。

9. 其他主要頻率重組、遷移

(1) 市級災害預防行政無線電頻率（60MHz 頻段）

有關於市級災害預防行政無線電系統（60MHz 頻段，僅限廣播），將推動過渡至數位系統。在推動的過程中，透過於 2022 年制定的調查方法，並根據 2024 年無線電波使用狀況調查（714 MHz 或以下）的無線電波使用情況的有效程度的評估，來解決與數位化相關的問題。

(2) VHF 頻段航空行動商業無線電頻率（117.975-137MHz）

對於 VHF 頻段航空行動商業無線電頻率，預期飛行之需求擴大，通信需求將增加，導致頻率短缺之問題。因此，根據 2022 年無線電波使用狀況調查（714 MHz 以下）有效使用程度評估，將考慮執照持有者之無線設備安裝和更新計畫，以及加強通信需求。具體來說，日本將從 2023 年開始與相關企業進行協調，並著眼於計畫在 2025 年大阪/關西世博會進行應用。

近期，日本於 2024 年 9 月 30 日總務省公告最新的「總頻率整備行動計畫」（周波数再編アクションプラン（令和 6 年度版））⁷⁹公開諮詢文件，意見蒐集截止於 2024 年 10 月 30 日。此行動計畫主要根據《無線電政策委員會關於擴大數位服務之報告》（デジタルビジネス拡大に向けた電波政策懇談会報告書），主要探討日本在 2040 年前，如何有效管理譜資源，以滿足行動、Wi-Fi 與非地面網路（NTN）等新興技術和服務的發展需求，促進日本產業與社會的進步。預估至 2040 年需要約 70 GHz 的頻寬（73.1GHz），如圖 3-31。

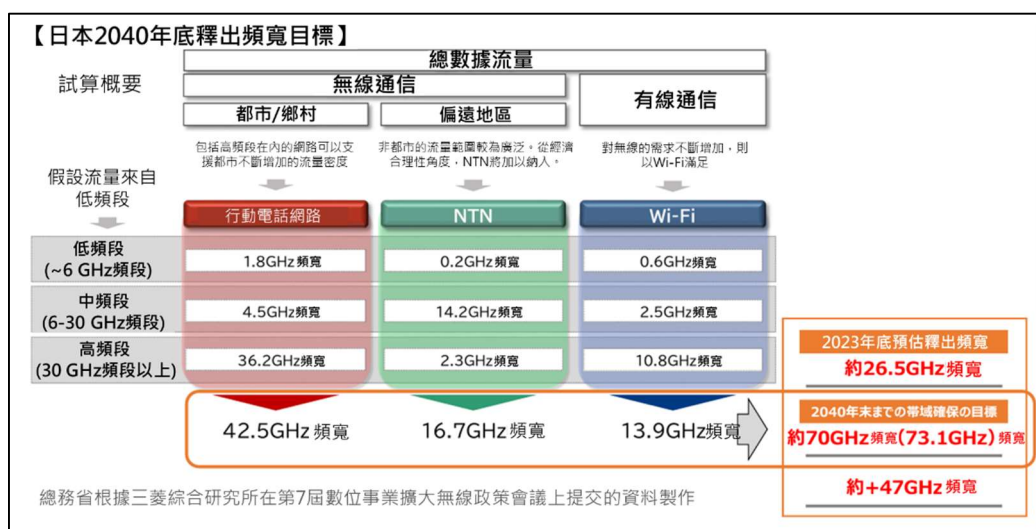


圖 3-31、日本至 2040 年底之釋出頻寬目標

資料來源：總務省（2024）

⁷⁹ 總務省(2024)，周波数再編アクションプラン（令和 6 年度版）（案）に対する意見募集，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000526.html

行動網路釋出的頻譜目標約為 42.5 GHz 頻寬。具體來說，將在低頻段（6 GHz 以下）確保約 1.8 GHz 頻寬；在中頻段（6-30 GHz）確保約 4.5 GHz 頻寬；在高頻段（30 GHz 以上）確保約 36.2 GHz 頻寬，尤其是為了確保 Beyond 5G 等 2030 年代行動使用頻率，將考量已確定用於 IMT 的毫米波頻段之可能性，並積極參與 ITU-R 對 WRC-27 之 IMT 候選頻段（如：7125-8400 MHz 和 14.8-15.35 GHz）的共享研究，同時考量國際標準化和社會實施情形。

NTN（非地面網路）釋出的頻譜目標約為 16.7 GHz 頻寬。具體來說，將在低頻段確保約 0.2 GHz 的頻寬；在中頻段確保約 14.2 GHz 頻寬；在高頻段確保約 2.3 GHz 頻寬。

Wi-Fi 釋出的頻譜目標約為 13.9 GHz 頻寬。具體來說，將在低頻段確保約 0.6 GHz 頻寬；在中頻段確保約 2.5 GHz 頻寬，在高頻段確保約 10.8 GHz 頻寬。

綜上所述，至 2040 年總計釋出的頻譜目標為 73.1 GHz 頻寬，考量到截至 2023 年底已確保約 26.5 GHz 頻寬，因此將目標設定在 2040 年底前需釋出約 47 GHz 頻寬。為了實現此一釋出頻寬目標，除了促進既有無線系統頻譜的有效使用外，還需考量國際趨勢和技術進展，推動頻譜重整與共用。

五、韓國

(一) 6G 願景與發展策略觀測

韓國科學技術資通信部（Ministry of Science and ICT, MSIT）於 2024 年 2 月 1 日發布「國家戰略技術發展任務路線圖」（下稱韓國戰略技術路線圖）⁸⁰，由 MSIT 召開第 5 屆國家戰略技術委員會，決定 12 項國家級戰略科技領域，並擬定 2030 年前必須實現之具體任務內容，以發展全球領先技術為目標，使韓國成為全球先進技術霸權國家。

上述 12 項國家級戰略科技領域，包含（1）半導體及顯示器、（2）二次電池、（3）先進交通運輸科技（如自駕車、電動車）、（4）下一代核能發電、（5）先進生物科技、（6）航空航太及航海、（7）氫能、（8）網路安全、（9）人工智慧、（10）下一代通信（6G）、（11）先進機器人和製造、（12）量子技術等。其中，MSIT 特別強調人工智慧在下一代通信（6G）、先進機器人和製造及網路安全所扮演之關鍵，提出「數位轉型關鍵領域間之融合概念圖」如下：

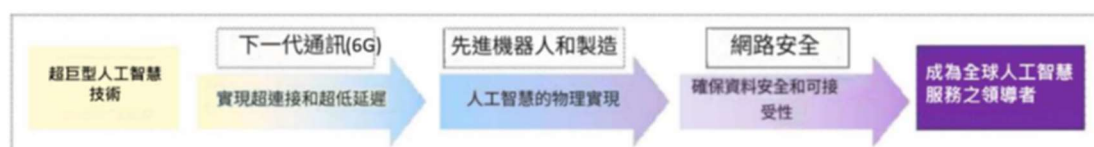


圖 3-32、韓國提出數位轉型關鍵領域間之融合概念圖

資料來源：MSIT（2024）

下一代通信（6G）作為韓國關鍵戰略科技領域之一，韓國發展重點以「取得標準專利，引領 6G 全球市場」為國家使命，在韓國戰略技術路線圖中，提及韓國未來發展 6G 之 5 大關鍵技術如下：

⁸⁰ MSIT (2024), Press Releases—Completion of the 12 National Strategic Technologies Roadmap and Selection of Key Projects, <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&pageIndex=3&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=974&searchOpt=ALL&searchTxt>

1. 以 AI 技術為基礎及低功耗網路技術，搶占 6G 創新商用技術並針對 5G 技術進行優化及升級。（另依 2023 年 11 月 MSIT 所公布之「6G 研發推進戰略」中，提及韓國將開發中高頻（7-24 GHz）技術，克服 5G—3.5 GHz 容量限制問題，及 28 GHz 涵蓋限制）⁸¹
2. 發展低軌衛星通信核心技術，以解決行動通信網路之涵蓋限制問題，並強調在國防領域可發揮之效用（如戰爭發生時），實現低軌衛星通信從地面到空中之一體化。
3. 實現供應鏈自主化之 Open-Ran 整合技術，以支持不同設備及應用間之連接。
4. 研發國產化 6G 核心零件，如半導體技術天線、無線模組等，並以低功耗及輕量化為發展重點。
5. 建構國產化供應鏈，減少對國外設備之依賴。

在時程規劃上，韓國規劃於 2024 年至 2025 年間，啟動國際產業標準化計畫；至 2026 年，展示 Pre-6G 技術階段性成果，並以 6G 技術可達最高 50 倍網路速度（1Tbps）及縮短 10 倍延遲時間（<0.1ms）為階段性成果目標，確保韓國在國際標準中展現領先地位。最後，預計在 2028 年達成 6G 通信技術正式商業化。

為實現「取得標準專利，引領 6G 全球市場」目標，韓國亦積極與國際夥伴合作，韓國於 2024 年 2 月，偕同美國、日本、澳洲、加拿大、捷克、芬蘭、法國、瑞典、英國等 10 國共同發表「6G 原則聯合決議」，將共同遵守研發 6G 無線通信系統原則，打造開放、

⁸¹ korea.kr news, '6G 시장' 경쟁력 확보...4407 억 원 투입해 관련 기술개발 추진, <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148922093>

自由、全球性、互通性、可靠性、韌性及安全連接⁸²。

另在 2024 年 3 月第 2 屆韓歐數位合作會議（ROK-EU Digital Partnership Council）中，針對「Beyond 5G/6G」計畫，韓國與歐盟確定展開 3 年研發合作，將利用人工智慧技術強化無線傳輸之自動化及最佳化，總預算達到 500 萬歐元（歐盟負擔 300 萬、韓國負擔 200 萬），預計 2024 年年底展開此計畫，同時雙方將基於 6G 願景，於國際標準化論壇中深化雙方合作⁸³。

（二）6G 候選頻段議題研析

1. MSIT 官方資訊

MSIT 於 2024 年 9 月 1 日公布最新的「韓國頻譜計畫」，提出未來韓國之頻譜計畫方向，除了重申韓國主導 6G 全球生態系之企圖心，將與各界合作將韓國產業所需之頻率推至全球 6G 頻段外，針對 6G 頻譜之未來推動策略，將探討對韓國產業有利之 6G 低中高頻頻段，有關韓國之 6G 頻譜利用方案，可參考下圖所示：

⁸² MSIT (2024), Press Releases—6G 연구·개발 및 표준화 진전을 위한 ‘6G 원칙 공동선언문’ 참여, <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=238&bbsSeqNo=94&ntSeqNo=3184119>

⁸³ MSIT (2024), The 2nd ROK-EU Digital Partnership Council Sets Stage for Substantial Digital Cooperation, <https://www.korea.net/Government/Briefing-Room/Press-Releases/view?articleId=7345&type=O&insttCode=>

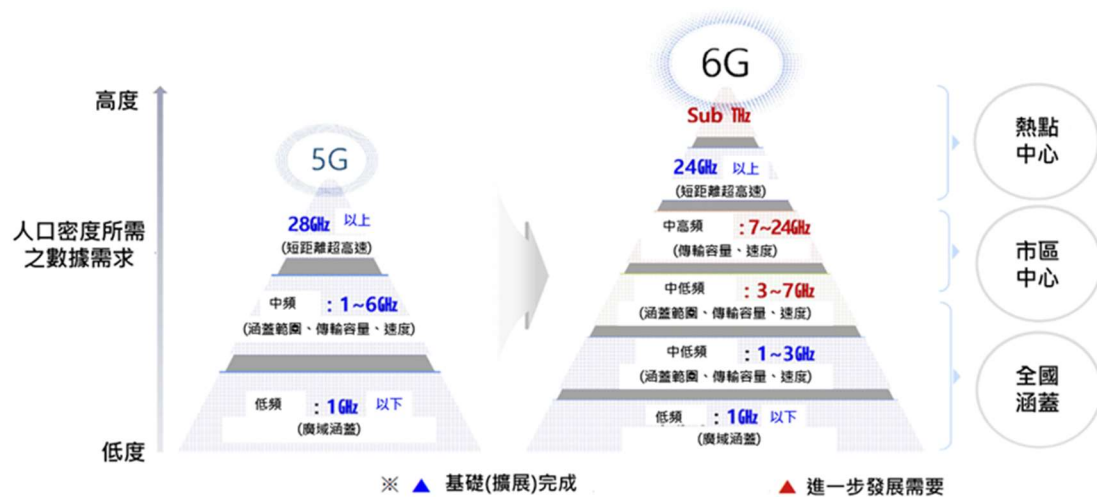


圖 3- 33、韓國 6G 頻譜利用方案

資料來源：MSIT（2024）

在 6G 頻譜計畫之推動部分，可分為兩大主軸，其一為新頻段之發現，除韓國在 2023 年 12 月 17 日 WRC-23 會議中，所提 3 個 6G 候選頻段（4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz，共 2.2GHz 頻寬）外⁸⁴，韓國將參考 WRC-23 及國際上正探討之其他行動通信候選頻段進行新頻譜之發現與研究，例如美國白宮曾提到將 3.1-3.45 GHz 頻段以共享頻譜方式，列為中長期內需要研究之行動通信頻譜；此外由於目前 6G 之候選頻段，多用於公共服務或 5G 行動通信，因此韓國將持續關注國際討論情形，制定頻段整理或共享之方案。其二為既有頻段之活用，韓國將針對既有行動通信頻段進行頻譜之重耕，例如 2026 年韓國之部分行動通信頻譜將屆期，韓國將思考既有頻譜之重耕方案以及未使用頻段之活用可能，不排除將行動通信頻譜開放給行動通信業者以外之產業或公共部門。

⁸⁴ 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=>

有關「韓國頻譜計畫」所提之未來 2024 年至 2027 年行動通信頻譜推進時程表，請參下圖所示：

類別		推進課題	'24	'25	'26	'27
策略	行動通信頻率最佳利用及向其他產業開放	■ 研究低頻集中頻供應計畫，包含重新分配	■	■		
		■ 審查額外的5G頻率供應	■	■		
		■ 3G、4G(LTE)重新分配通知		■		
		■ 新供應系統應用程式等研究	■			
		■ 實驗運行之申請		■	■	
		■ 6G候選頻段發現與研究	■	■	■	■

圖 3-34、韓國行動通信頻譜推進時程表

資料來源：MSIT（2024）

同時，計畫中提出行動通信頻率釋出作業運作流程，將於 2025 年開始實施，如下圖。

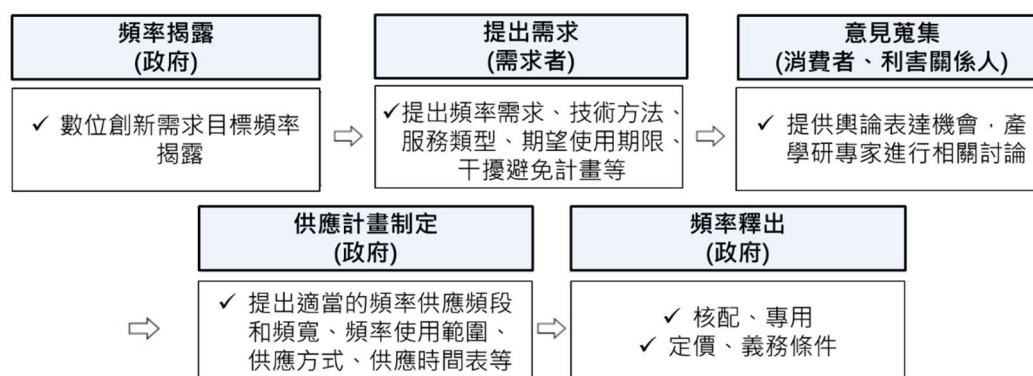


圖 3-35、韓國行動通信頻譜推進時程表

資料來源：MSIT（2024）

2024 年 9 月 26 日 MSIT 發布「第四次電波振興基本計畫（草案）」，該計劃係依據韓國無線電波法規定，自 2009 年起每 5 年制定新的無線電推廣基本計畫，以促進無線電波使用、開發無線電波新技術，進而推動無線電波產業之發展。該計劃（草案）概述了 2024 年至 2028 年韓國無線電波資源之管理規劃，其中針對 6G 頻段部分，MSIT 將考慮其在 WRC-23 會議中，所提之前述 3 個 6G

候選頻段之可用性探討，例如將思考 4.4-4.8 GHz 頻段在公共用途、5G 專網、廣播通信中繼等使用現況進行調查、技術分析及協商，檢討重耕事宜，若無法重耕則採共同使用方式辦理；在 7.125-8.4 GHz 頻段則將針對公共用途、廣播通信中繼、海上控制、衛星等國際趨勢、技術分析及利害關係人協商，優先考慮頻譜重耕，如廣播通信中繼無線電臺移頻至其他較高或較低之頻段。至於 14.8-15.35 GHz 頻段，則將對現有公共用途無線電臺之使用現況進行調查，並分析區域共同使用之技術可行性，建立區域之共同使用⁸⁵。

2. 韓國業界資訊

觀察韓國主要電信業者—SK Telecom（下稱 SKT），於 2023 年 8 月 10 日所發布之「SKT 6G 白皮書」內容，SKT 正考慮將 4-10 GHz 作為 6G 候選頻段，因該頻段預期能在早期 6G 商用服務中，提供較佳之涵蓋及容量。⁸⁶從 SKT 考慮之 6G 候選頻段可發現，恰與韓國在 WRC-23 所建議之 6G 候選頻段大致相同。

六、中國

(一) 6G 願景與發展策略觀測

1. 6G 願景與規劃-2025 年制定技術標準，2030 年投入商用

隨著行動通信技術持續發展，由中國工業和訊息化部（下稱工信部）於 2019 年 6 月指導成立之 IMT-2030（6G）推進小組，積極和中國主要之電信業者、通信設備製造商、學術及研究機構共同合作，持續進行 6G 發展願景、應用場景需求研究與各項關鍵技術開發，推動國際合作與交流等各項工作，並規劃中國 6G 發展

⁸⁵ MSIT (2024), 제 4 차 전파진흥기본계획(안) 발표에 따른 의견수렴, at 86, <https://www.kca.kr/boardView.do?pageId=www47&boardId=NOTICE&seq=5255684>

⁸⁶ SKT (2023), SKT Publishes 6G White Paper to Present Blueprint for Future Networks, http://www.sktelecom.com/en/press/press_detail.do?idx=1575

時程如下⁸⁷：

- (1) 2020-2025 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。
- (2) 2025-2029 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。
- (3) 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。

承上所述，IMT-2030（6G）推進組於 2023 年 12 月 5 日在重慶舉行全球 6G 發展大會⁸⁸，此次國際會議深度探討 6G 發展願景、產業與關鍵技術、技術測試與驗證及國際標準化等各項議題，並於會議中對外發表中國《無線系統設計原則與典型特徵白皮書》與《6G 網路架構展望白皮書》2 份白皮書，以及 20 份 6G 核心技術相關研究報告。此外，中國未來行動通信論壇⁸⁹於 2024 年 4 月 16 日至 4 月 18 日在南京舉行全球 6G 技術大會⁹⁰，本次國際會議主要之重點在於交流各國之 6G 願景、發展路線、頻譜規劃、新型態場景應用、關鍵技術與創新及技術標準化程序等相關議題，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。

⁸⁷ 中國工信新聞網 (2023/12/14)，《中國首次公開 6G 核心技術方案前景廣闊但須避免脫離》，https://www.cnii.com.cn/tx/202312/t20231214_529539.html（最後瀏覽日：2024/5/4）。

⁸⁸ IMT-2030（6G）推進組，《2023 全球 6G 發展大會在渝成功開幕》，<https://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/zhongyaohuodong/huiyihuodong/1732286054993567746.html?index=3>（最後瀏覽日：2024/5/5）。

⁸⁹ 中華人民共和國國家發展和改革委員會、科學技術部及國家自然科學基金委員會共同發起，由中國與國際知名之行動通信業者、通信設備製造商、學術及研究機構等單位所組成之非營利組織。

⁹⁰ 中國評論新聞網 (2024/4/19)，《2024 全球 6G 技術大會舉行》<https://hk.crntt.com/doc/1069/2/5/7/106925775.html?coluid=45&kindid=0&docid=106925775&mdate=0419170327>（最後瀏覽日：2024/5/5）。

有關 IMT-2030(6G)推進組所發布之 6G 白皮書與研究報告，茲整理如下表格⁹¹：

表 3- 25、中國 IMT-2030（6G）推進組所發布之 6G 白皮書

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
1.	2023 年 12 月	無線系統設計原則和典型特徵白皮書	針對 6G 新型態之服務、頻譜及技術之發展需求，綜合分析 6G 網路之組建場景需求、特徵及產業發展等要素，建構無線系統邏輯視圖、架構及協定等設計原則。
2.	2023 年 12 月	6G 網路架構展望白皮書	承接 IMT-2030 推進組《6G 網路架構願景與關鍵技術展望》白皮書，梳理未來網路架構應支援之網路能力，展望 6G 網路系統架構之布建外，同時將重點聚焦於接取網路及核心網路等終端至終端之整體網路組建議題。

資料來源：本計畫整理

表 3- 26、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.	2023 年 12 月	行動通信與 AI 融合應用之數據格式和模型建議書（第一階段：實體層領域）	介紹行動通信與 AI 融合應用之七大典型案例，以及各案例所採用訓練資料之來源、資料集格式與規模，以及模型之類型、參數、佔用記憶體、所需運算能力（算力）/FLOPs 等關鍵資訊，並提出行動通信導入 AI 後效能提升之實測結果。
2.	2023 年 12 月	語義通信技術研究報告	研析語義通信之應用場景（全像投影通信、自動駕駛、智慧醫療、衛星行動通信及工業網路）及關鍵技術，並同時探討語義通信之困難、挑戰及產業化發展之前景。
3.	2023 年 12 月	可重構智慧表面（RIS）典型應用、挑戰與關鍵技術	闡述可重構智慧表面（Reconfigurable Intelligent Surface, RIS）之應用場景、關鍵技術等理論及技術之最新發展，並研析低頻段涵蓋與容量、中高頻網路之連續涵蓋、普及化近場通信（或稱近距離無線通信）及感測與定位用途等經典應用場景，探討 RIS 應用所

⁹¹ IMT-2030（6G）推進組，成果發表，<https://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/chenggoufabu/yanjiubaogao/index.html?index=2>（最後瀏覽日：2024/5/4）。

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			面臨之挑戰及解決方案，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。
4.	2023 年 12 月	新型多工接取技術研究報告	介紹新型態多工接取技術之理論、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。
5.	2023 年 12 月	THz 空時頻高速訊號處理技術研究報告	闡述 THz 頻段之通信感測技術雖將有助於 6G 無線通信之應用發展，但 THz 頻段存在嚴重之傳輸路徑損耗，極大限度地侷限通信及感測之距離，並降低頻譜之使用效率與感測精準度等頻道與接收器之挑戰。本報告提出發展 THz 頻段遠近混合場訊號處理技術、協作感測 THz 頻段之 MIMO 通信技術，以及數據驅動 THz 頻段高速傳輸技術，解決 THz 頻段之挑戰。
6.	2023 年 12 月	時序迴轉全息無線電技術研究報告	闡述時序迴轉 (Time Reversal, TR) 通信技術之特性，得將接收之無線電訊號在時域上迴轉，並重新發射到空間中，形成時序迴轉之無線電訊號，因此近年來時序迴轉之技術已應用於通信系統、目標偵測及高解析度成像等領域。但時序迴轉技術現階段尚存在部分技術挑戰，因此，該報告進一步介紹時序迴轉技術應用於未來 6G 通信技術所面臨之困難與挑戰、解決方案、時序迴轉技術應用於通信領域之優勢所在，並研析時序迴轉技術之產業現狀及發展趨勢。
7.	2023 年 12 月	面向 6G 的通道測量與建模研究報告 (第二版)	承接前一版報告之內容，除進一步闡述 6G 通道研究現狀；研析 THz 通道、大規模 MIMO 通道、整合感測與通信、可見光通信通道、地-海-空通信場景通道外，並聚焦於 6G 頻道在頻率、技術、場景等面向之特性，以及探討新型態通道建模之技術方法。
8.	2023 年 12 月	綠能及 AI 超大規模 MIMO 技術研究報告	闡述綠能及 AI 二大面向應用於超大規模 MIMO 之技術與研究現況，探討無線空中介面 (New Radio, NR)、Cell-free、RIS、AI 等網路節能管理之潛在

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			方案，希冀為未來 6G 行動通信網路迎來巨大收益，並針對網路架構之前向相容性、網路耗能與效能之平衡性，以及 AI 技術之低複雜性與可靠性等挑戰提出建議。
9.	2023 年 12 月	集中式超大規模 MIMO 關鍵技術研究技術報告	闡述集中式超大規模 MIMO 技術隨著天線規模之持續增加，應用於 6G 網路將面臨之問題與技術挑戰，諸如：近場特性、空間非平穩特性，以及空間解析度需求、天線陣列功耗、資料處理複雜度與 CSI 反饋開銷均大幅提升等問題，並針對前述問題自通道建模、天線形態、CSI 反饋、預處理演算法、接受機演算法及波束管理等面向進行探討，提出未來之發展方向及解決方案，為 6G 提供技術支援與提升效能。
10.	2023 年 12 月	分散式超大規模 MIMO 技術研究報告	介紹分散式超大規模 MIMO 作為發展 6G 之重要候選技術，在大規模 MIMO 技術基礎上，將原本集中式天線陣列分散在特定區域之各個位置，以使用者為中心，融合多頻段之傳輸特性，消除特定區域間干擾之問題，並透過更廣域之節點間協作，提供更高之空間解析度及提升頻譜資源之利用效率，為使用者/終端設備提供更佳之體驗。
11.	2023 年 12 月	6G 前沿關鍵技術研究報告（網路技術領域）	本報告承接 IMT-2030(6G)推動小組 2022 年 11 月所提出之《6G 前沿關鍵技術研究報告》，以 6G 願景需求及網路架構之展望為基礎，聚焦於 6G 網路技術領域，研析架構類技術（地-海-空一體化組網、數位雙生網路及內部生成安全信任體系）、組網類技術（行動算力網路、跨雲地協作及新型共享網路）、網路效能提升類技術（韌性網路、精準通信及語義通信與語義認知網路）、網路服務能力拓展類技術（大型網路模組、通信感測及沉浸式通信），共四大類之十二項技術，從而奠定未來 6G 網路設計與落實之技術基礎。

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
12.	2023 年 12 月	算力網路協作管理之場景及需求研究報告	聚焦算力網路協作管理之各類場景（諸如：無線網路算網協作、算網協作管理安全、工業應用、東數西算、內部生成算力、XR、V2X 及 AI）、需求與關鍵技術，以及算力協作管理帶來之挑戰，並提出算網協作管理進一步之建議研究方向，諸如：算網感測、算力路由控制，並考慮與其他編碼系統（如：雲端網路協作編碼系統）進行協作，加速算網協作管理相關技術之完善及產業化。
13.	2023 年 12 月	6G 網路應用賦用技術研究報告	6G 應用賦能係指奠基於 6G 網路所提供之各種功能之基礎上，為各項應用程式提供授權範圍內之網路、終端設備等資訊，或向網路傳遞應用需求，最終實現網路與應用程式相互協作之管道或環境。本報告聚焦於 6G 應用賦能技術，研析 5G 網路功能開放之痛點、啟用 6G 網路應用之需求，並提出 6G 應用賦能架構及各項潛在賦能技術，俾能良好地實現融合生態系，避免各自發展。
14.	2023 年 12 月	6G 算網一體載需求及架構研究報告	闡述 6G 網路願景、整合 6G 網路承載之主要需求、研析 6G 承載網路架構以及 6G 承載網路關鍵技術等面向，並針對 6G 承載網路提出建議及展望。
15.	2023 年 12 月	6G 資料面架構研究	介紹 6G 資料服務之願景及典型應用場景，以及 6G 資料服務驅動力及所面臨之挑戰，並針對前述願景、應用場景及挑戰，提出 6G 行動通信網路資料面向之功能架構、設計以資料為中心之資料控制與轉送機制，以及資料協定。
16.	2023 年 12 月	6G 區塊鏈架構與關鍵技術研究報告	本報告承接 IMT-2030(6G)推動小組所提出之《6G 區塊鏈技術：場景與需求》研究報告，進一步闡述區塊鏈網路與行動通信網路之體系特徵，整合區塊鏈賦能 6G 通信網路之定義與結構，並提出 Net4BC 及 BC4Net/BCaaS 兩大類技術方向。此外亦同步研析 6G 區塊鏈之場景（諸如：DPKI、數位身

序號	發布時間	文件名稱	內容簡介
			分等)、底層關鍵技術之內容。
17.	2023 年 12 月	6G 內部生成可信任之安全性架構研究	本報告承接 IMT-2030(6G)推動小組所提出《6G 網路安全願景技術研究報告》之內容，以及延續 6G 網路內部生成安全性願景之基礎，研析國際組織（ITU、NGMN、3GPP）及先進國家（歐盟、美國、日本、韓國）對於 6G 網路安全之現況及發展趨勢，以及對於 6G 網路安全性之需求，並進一步提出 6G 內部生成可信任之安全性架構，以及實現 6G 內部生成可信任之安全性架構之關鍵技術，希冀促進產業驅動 6G 網路安全、穩定與永續發展。
18.	2023 年 10 月	6G 整合感測與通信系統設計研究報告	聚焦於整合感測與通信系統設計對 6G 網路架構與功能等層面之影響，研析整合感測與通信系統設計之範圍與目標及應用場景需求，以及關鍵績效指標，並自 11 個應用案例與 7 個關鍵技術問題切入探討，而後提出處理關鍵技術問題之潛在技術方案與整合感測與通信系統設計架構，在 6G 網路架構整體視圖之框架下，細部研究 6G 整合感測與通信，進而形成面向未來 6G 標準架構之整體方案。
19.	2023 年 10 月	6G 整合感測與通信評估方法研究報告	介紹整合感測與通信之評估場景（包含室內/外之定位追蹤、環境重建及室內之行為模式識別）、評估指標及評估方法，並提出整合感測與通信系統之建模方法（路徑損耗及目標散射特性建模等），並推動產業界探討及制定整合感測與通信之技術標準。
20.	2023 年 10 月	6G 感知的需求和應用場景研究	介紹感測技術之原理、研究現況與發展趨勢，並研析 6G 感測各領域之具體應用場景（諸如：交通、工業、農業、倉儲物流、醫療、娛樂、社會服務及智慧家庭領域）與需求（諸如：實物辨識、定位、測速及監控等），作為後續制定感測及通信標準之參考依據。

資料來源：本計畫整理

2. 6G 發展策略-技術先行之設計與研發策略

由於國際上對於 6G 之發展仍處於技術研究階段，關於網路架構與無線電系統之關鍵技術尚未有統一之標準，因此中國致力於研究 6G 網路架構、無線電系統組網之技術方案，以及進行 6G 技術試驗，期能透過推動 6G 核心技術相關之研發與制定標準，奠定中國在未來無線通信領域之優勢地位。

(1) 6G 無線電系統

關於 IMT-2030 (6G) 推進組所發表之《6G 無線系統設計原則和典型特徵》，主要係結合 6G 網路布建和組網需求，形成無線電系統功能運作特徵及設計原則，相關闡述重點如下：

- A. 6G 無線電系統邏輯視圖，係透過資源層（包含基礎設施及邏輯資源）、功能層及服務層所建構出整無線電通信系統，接取核心網路進而提供 6G 網路應用服務（諸如：沉浸式雲端 XR、全像投影通信、感官互連、智慧交互、通信感測、人工智慧、數位雙生、全域涵蓋）。

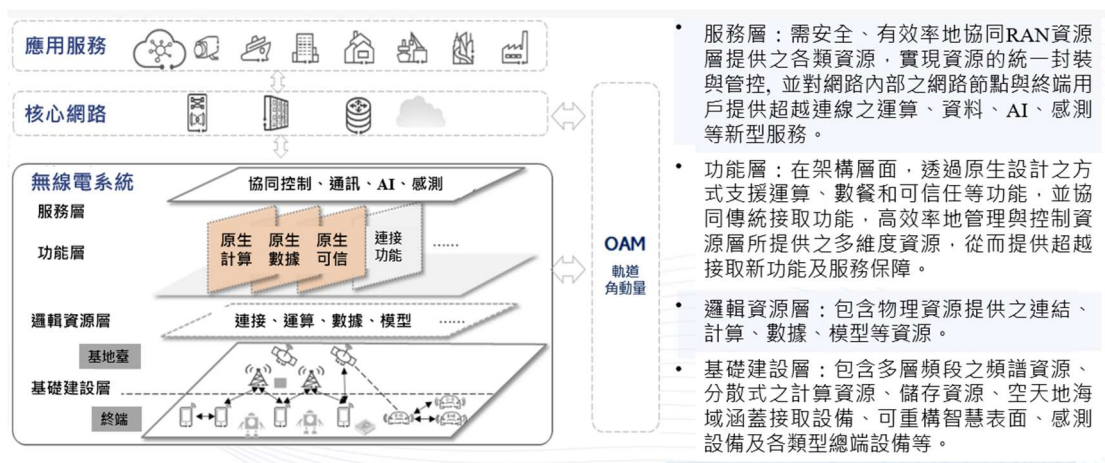


圖 3- 36、中國建議之 6G 無線電系統邏輯視圖

資料來源：《6G 無線系統設計原則和典型特徵白皮書》、本計畫整理

- B. 自從無線電系統之需求及應用場景切入，6G 無線電系統主要特徵展現於①系統功能面（頻譜靈活度、原生智慧、融合通信與感測、融合通信與算力，以及主動管理通道）、②系統架構面（靈活組網、極簡協議、彈性制定、功能開放、跨域協同，以及以用戶為中心），以及落實與運作面（內建節能、內建可信制度及數位雙生網路自治）。

(2) 6G 網路架構

關於 IMT-2030（6G）推進組所發表之《6G 網路架構展望白皮書》，主要論及關於 6G 網路架構之設計原則與網路系統及架構之內容，相關闡述重點如下：

- A. 6G 網路架構設計之八大原則，分別為相容、極簡、分散式架構、擴展性、內部生成、綠能永續開放協作及跨域，以該等架構設計原則布建 6G 網路，實現「空天地海一體化」萬物智聯，無縫全域涵蓋之 6G 通信網路詳細內容整理如下表：

表 3-27、中國 6G 網路架構設計八大原則

設計原則	概念內涵
相容	6G 網路整體架構將奠基並相容於 5G 網路之架構。
極簡	定義與整合零散之功能，簡化網路架構，減少網路複雜度及耦合性。
分散式架構	透過集中式與分散式協作組網，實現資源、路由及功能等分散式管理。
擴展性	提供多元功能組件，形成彈性可擴展之柔性協議，以支援多元化場景。
內部生成	內部生成可信任之安全性與 AI 等核心要素，並串聯各網路層。
綠能永續	強化網路資源高效利用，於建置與維運網路各環節，融入節能減碳理念。
開放協作	提供多元化網路與應用互相協作之管道與環境，使 6G 網路對於新型服務與應用具更大包容性。
跨域	朝向固定、行動、衛星等多類接取方式，與核心、傳輸及接取

設計原則	概念內涵
	網跨域整體化設計。

資料來源：《6G 網路架構展望白皮書》、本計畫整理

B. 6G 網路系統架構

未來之 6G 網路將成為提供智慧連接、融合數位與物理世界之開放與創新通信服務平臺，關於 6G 網路之系統架構包含基礎設施資源層、網路功能層、應用與開放層，以及貫穿各層級之安全可信與管理和編排功能（詳如下圖）。

基礎設施資源層提供頻譜、終端設備、基地臺、傳輸、運算及儲存等多類型之基礎資源，並涵蓋陸海空（高空及太空）等多種連接之方式；網路功能層則透過基礎設施資源層，實際運作或強化 AI、感測、數位及運算等功能，以支援新型態服務需求；應用與開放層建構於網路功能層之各項功能，提供 AI、沉浸式即時通信、整合感測及通信等多面向之協作服務。

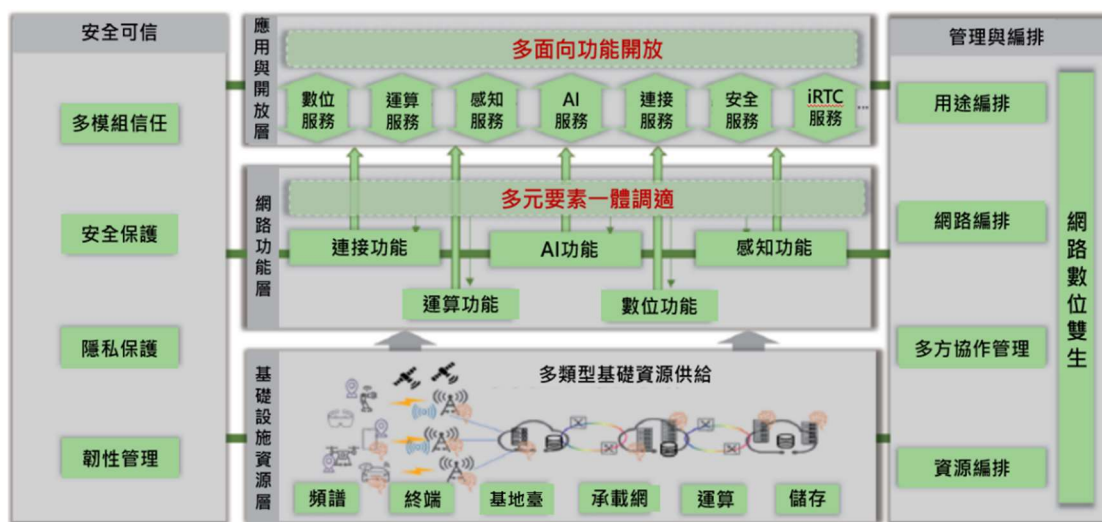


圖 3-37、中國研提之 6G 網路系統架構圖

資料來源：《6G 網路架構展望白皮書》、本計畫整理

C. 6G 網路組網架構

由於未來可穿戴式裝置等 IoT 終端設備之數量將急劇增加，集中式網路需獨立負荷超大規模之應用需求，一旦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，6G 網路組網架構即需導入分散式網路組網模式，以滿足 6G 網路無所不在之連接應用場景需求，整理如下圖。

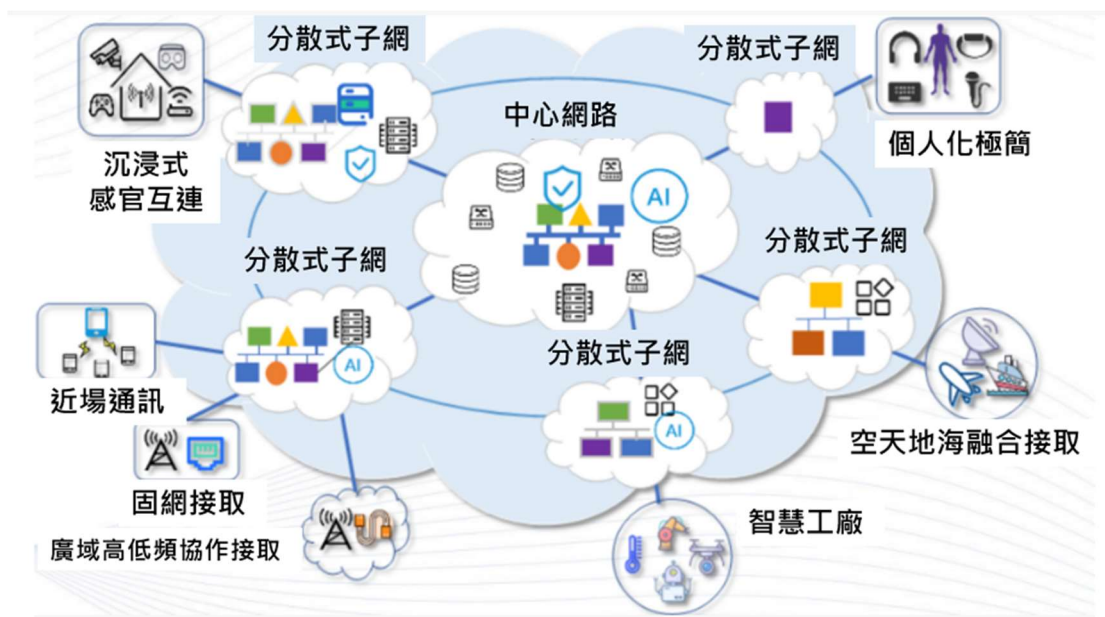


圖 3-38、中國研提之 6G 網路組網架構圖

資料來源：《6G 網路架構展望白皮書》、本計畫整理

(二) 6G 候選頻段議題研析

1. 6G 各頻段之技術應用

中國於 2023 年 4 月 26 日審議透過修訂《中華人民共和國無線電頻率分配規定》，雖已將 6 GHz、26 GHz 及 40 GHz 等頻段新增為 IMT 系統，但由於各該頻段之應用模式、頻率使用規劃、用途間之相容共存條件，以及協調程序尚未確定，因此現階段 IMT 系統尚不投入實際布建使用（註腳編號 CHN45），採取技術先行之策略，以研發 6G 技術為主要目標，相關說明如下：

(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，且頻寬資源充足，得為 6G 網路連續涵蓋率，故為中國發展 6G 通信及一般定位感測之主要重點頻段。但礙於 6G 商用初期，5G 正處於大規模商用之成熟階段，故中國規劃將 5G 與 6G 網路進行長時間之協同共存及融合發展。至於 5925-6400 MHz 頻段之行動用途，中國目前僅規劃得用於飛行測試的航空行動遙測，並以西安市閻良地區為中心之 300 公里區域內機載電臺傳輸發射為限，且不得對同頻段之其他用途電臺造成有害干擾，亦不得要求其保護（註腳編號 CHN38）。

(2) 毫米波頻段

目前中國採用 26 GHz 頻段進行可重構智慧表面（RIS）技術通道測量之應用，並透過 RIS 建構智慧可控之無線環境，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問題，以及感知與定位用途並提高精準度等經典應用場景，探討 RIS 應用所面臨之挑戰及解決方案，期望透過 RIS 建構智慧可控之無線環境，為 6G 提供全新之網路模式。

(3) THz 頻段

THz 頻段之通信感知技術雖將有助於 6G 無線通信之應用發展，但 THz 頻段存在嚴重之傳輸路徑損耗，極大限度地侷限通信及感知之距離，並降低頻譜之使用效率與感知精準度等頻道及接收器之挑戰，而不適合應用於廣域網路。中國正透過發展 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，以及數據驅動 THz 頻段高速傳輸技術，解決 THz 頻段之挑戰。

(4) 可見光頻段（430-790THz）

該頻段亦被列為發展 6G 網路之候選頻段，並傾向於局部區域及短距離通信等特定場景下，扮演輔助通信之角色，提供更大之寬頻容量及更高之速度，但尚未見相關之技術說明。

由於 6G 技術仍處於探索與研究階段，距離正式投入商用尚有一定之時間，中國對於 6G 頻譜之發展規劃，未來可能將隨著技術之進展及市場需求而不斷調整與更新。



圖 3-39、中國提出對 6G 各頻段之技術應用

資料來源：本計畫整理

2. 6G 頻譜執照制度及頻譜共享議題

中國針對 THz 以下之頻段，預計採取部分執照制及部分免執照之方式進行使用。就具有服務品質（Quality of Service, QoS）或穩定性（包含可用性與無干擾運作）需求之服務或用途，傾向適用執照制度，以保障服務之可預測性，惟就各該具體頻段則尚未確定。

此外，由於意識到難以尋覓完整閒置之頻譜專供 6G 網路使用，因此，與其他用途共享頻譜，以及於現有之行動網路內部實現頻譜共享，並確保得避免對現有用途產生有害干擾，即成為極為重要之研究議題，至於相關具體案例尚在發展當中，值得持續

關注。

3. 中國行動通信產業對於未來 IMT 頻譜之建議

關於上述中國政府對於 6G 各頻段技術應用之規劃，中國行動通信事業於「全球 6G 技術大會」後所發布之《未來 IMT 通信系統頻譜研究白皮書》中提出關於頻譜規劃之建議：5G-Advanced 隨著通信技術之迭代革新，以及傳輸量之需求不斷攀升，因此在 2025 年至 2030 年間，應當思考如何引進更多頻譜資源。

由於 6G 之應用將使物質世界與數位世界無縫連接，提供感官互連、沉浸式全像投影通信，以及高精準度之通信感測等新興應用場景，各該應用均需廣域之行動通信網路涵蓋，以確保使用者於室內與戶外，均能享有極低延遲之通信體驗，因此除應擴大現有之 IMT 頻譜外，未來更需要 3 GHz 中頻段之頻譜，以及 10-15 GHz 之局部區域頻譜，此外，600 MHz 之低頻段屬於能促進全球數位平等之潛力譜段，亦值得持續關注。

第三節 6G 候選頻段之國內既有使用者盤點

行動通信為主要基礎建設，IMT-2030 (6G) 國際行動電信使用頻段通常都需要經過國際協調主要目的是確保全球頻譜的和諧共用，促進經濟規模效益，並確保頻譜資源的有效利用，而確定頻段之過程會對候選頻段進行共享和相容性研究，國際行動電信識別 (IMT Identification) 是指 ITU 在世界無線電通信大會上，為 IMT 系統指定特定頻段的過程。這些頻段被識別為適合用於 IMT，以促進全球行動通信技術的發展，如 5G 和未來的 6G。而目前 IMT Identification 的頻段包含過去已經開放給 4G、5G 的所有頻段。

因此本節將專注於討論未來可能額外指配給 IMT 使用之國際間關注識別頻段，並將此頻段內中屬於 5G FR1 頻率範圍之額外頻段，即 6 GHz 以下的既有使用者進行盤點。再考慮 WRC-23 對於 Upper 6 GHz (U6) 即 6425–7125 MHz 之決議，國際間亦可能對於 U6 或部分 U6 頻段規劃為未來 IMT 使用頻段，而我國 6 GHz 頻段內具有許多屬於關鍵基礎設施之既有使用者。又 3GPP Rel 18 於 2024 年 10 月 03 日所釋出之 18.7.0 版中 TS 38.101-1⁹²亦將 FR1 頻段擴展到 410 MHz 至 7125 MHz。綜上所述將對於此新定義之 FR1 內 6G 候選頻段進行既有使用者盤點，另外亦將未來納入 6G NTN 使用之頻段內之既有使用者亦進行調查。

對於前述之 FR1 頻段中可能被識別為 6G 候選頻段之我國既有使用者進行分類調查，初步區分為，微波業者、衛星業者、其他既有使用者，另外 FR3 頻段為中高頻段，涵蓋 7.125 GHz 至 24.25 GHz 的頻率則因尚未被 3GPP 技術納入標準中，本報告將於第五章第四節中再進行討論。

⁹² TS 38.101-1: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception

一、微波業者

目前 5 GHz 以下之 6G 候選頻段僅有 4.4-5 GHz 頻段中具有微波既有使用者，相關資料如表 3-28，其中 4.8-4.99 GHz 為已識別頻段。另外 4.8-4.9 GHz 我國亦已規劃為 5G 專用電信網路。

表 3-28、6 GHz 以下候選頻段微波既有業者

國際關注之 6G 候選頻段	A 業者 站臺數	B 業者 站臺數	ITU 已識別頻段
4.4-5 GHz	5	31	4.8-4.99 GHz

資料來源：通傳會系統、本研究整理

6425-7125 MHz 頻段微波既有使用者數量合計 12 家業者，共 363 站微波 站臺，相關資料如表 3-29。目前依據警消移頻計畫尚未於 U6 頻段建置微波 站臺，未來若有相關 U6 頻段規劃應協助輔導轉移。

表 3-29、U6 微波既有業者

微波既有業者	站臺數
A	20
C	14
D	4
E	136
F	25
G	97
H	5
I	4
J	18
K	12
L	8
M	20

資料來源：通傳會系統、本研究整理

二、衛星業者

(一) 地面行動通信頻段

對於 IMT 地面通信而言，FR1 頻段之 6G 候選頻段中僅 U6 具

有衛星既有使用者總計三家業者共 8 站衛星 站臺，如表 3- 30。

表 3- 30、U6 衛星既有業者

既有業者	E	N	O
站臺數	5	2	1

資料來源：通傳會系統、本研究整理

(二) 非地面行動通信頻段

3GPP Release 17 為 NTN 引進了兩個頻段分別為 L 頻段 n255 (1626.5-1660.5 / 1525-1559 MHz)，該頻段有避開 GPS 使用頻段和頻段 n256 (1980-2010 / 2170-2200 MHz)，該頻段無既有使用者。而 Globalstar 公司利用其在 2.4 GHz 頻段獲得的頻譜來提供衛星通信服務，包括衛星電話、數據傳輸、位置追蹤等。這些服務可以涵蓋全球大部分地區，並且可以與現有的行動網路相通，涵蓋於 2483.5-2495 MHz 頻段 (n53)，Apple 即利用此頻段進行衛星緊急 SOS 訊息服務。而 3GPP Release 18 為 NTN 引進了 2 個頻段 n253、n254。而在 n253、n254、n255 三個頻段均存在既有衛星系統應用，如表 3- 31 所示。

表 3- 31、NTN 頻段與我國既有使用者

FR1 行動通信候選頻段 (Service Link)	上鏈 (MHz)	下鏈 (MHz)	既有衛星系統
n253 (NTN) R18 (ext L)	1668~1675	1518~1525	Thuraya-3
n254 (NTN) R18 (LS)	1610~1626.5	2483.5~2500	Iridium Next、 Globalstar Spot
n255 (NTN) R17	1626.5~1660.5	1525~1559	Inmarsat-4、Thuraya-3
n256 (NTN) R17	1980~2010	2170~2200	無
n23 (NTN)	2000~2020	2180~2200	無

資料來源：通傳會系統、本研究整理

三、其他類別業者

對於其他 6 GHz 以下之其他類別業者，如雷達、5G 專用電信、實驗網路資料統整如表 3- 32，其中 400 MHz 頻段具有實驗研發行動無線電臺 2 站、實驗研發無線電臺 3 站共 5 站，均屬於無線電類型；600MHz 頻段都特定業者之實驗研發電臺 21 站；800 MHz 有 24 站屬於實驗研發類別，其餘都屬公眾與電信基地臺；3.1 GHz 頻段具有 20 個雷達站、30 站點研發類別，其餘都屬公眾與電信基地臺；4.4GHz 頻段集中於 n79 實驗網路有 148 站、5G 行動寬頻專用電信網路 53 站，合計 201 站。

表 3- 32、6G 候選頻段其他類別業者

6G 候選 頻段	民營 事業 單位	政府 機關	國營 事業	電信公 司	5G 專網	總計	ITU 已識 別頻段	備註
450-465 MHz	514	1210	118			1842	450-470 MHz	無線電站臺
617-698 MHz		21				21	610-960 MHz A12	無線電站臺
791-864 MHz	21	3		16840		1686 4	610-960 MHz A3	793 MHz、800 MHz 多為實驗 類別
3.1~3.45 GHz	3	15	2	29331		2935 1	3300- 3700 MHz F2	具 20 個雷達站
4.4~5 GHz	116	19	3	10	53	201	4800- 4990 MHz	N79 實驗頻段 148 站，5G 專 網 53 家業者申 請執照

資料來源：通傳會系統、5G 專網系統、本研究整理

第四節 參與 MWC 會議（西班牙巴塞隆納）之成果

本研究依原定規劃，已於 2 月 26 日至 2 月 29 日派員 2 員出席參加巴塞隆納世界行動通信大會（Mobile World Congress Barcelona, MWC Barcelona），蒐研行動技術與頻譜利用等相關議題之產業資訊及發展趨勢。



圖 3- 40、研究人員於 MWC 2024 會場合影

資料來源：MWC 會議現場攝影

一、參與目的

每年第一季 GSMA（Groupe Speciale Mobile Association）都會在西班牙舉辦的 MWC Barcelona，目前是國際行動通信產業指標大展，今年以「Future First」為主軸，並以 5G/B5G（5G and Beyond 5G）、萬物聯網（Connecting Everything）、人性化 AI（Humanising AI）、數位 DNA（Our Digital DNA）、製造業數位轉型（Manufacturing DX）及遊戲規則改變者（Game Changers）作為會議六大主題，邀請各手機廠商、軟體商、電信業者、無線通信產業及專家學者等一同參與，並將全球重要組織與產業專家學者齊聚一堂，會展吸引眾多廠商於大會中發布最新行動通信產品，並共同探討圍繞行動通信技術與市場演進等相關重要議題。

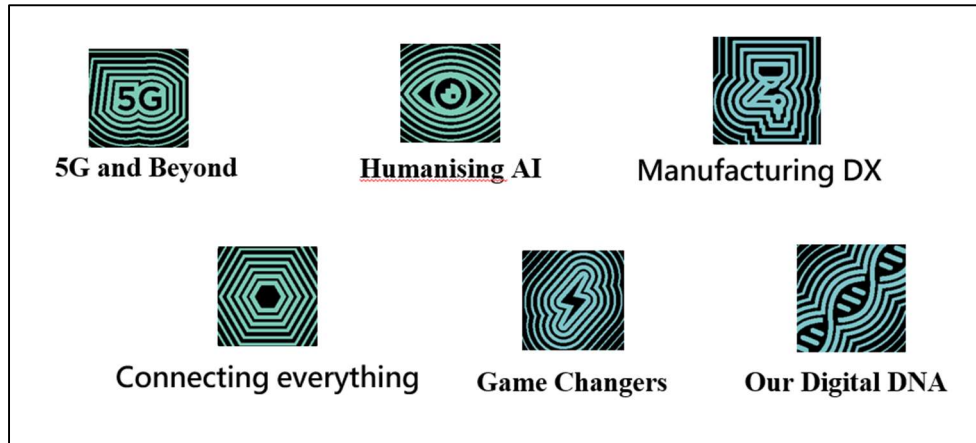


圖 3- 41、MWC 2024 六大主軸

資料來源：MWC

二、參與心得與建議

本次參與 MWC Barcelona 展會重點聚焦關注於 5G Advanced 和 6G 的頻譜規劃、發展願景和未來應用等，MWC 作為引領全球通信技術最重要之，在今年展會上亦能觀察到許多計畫相關之內容，其中包含 GSMA 的「Open Gateway」計畫、5G Advanced 和 6G 時代下 AI 之未來應用、未來 6G 頻譜需求、無線通信網路擴展至高空通信平臺（High Altitude Platform Stations, HAPS）和衛星、非地面網路（Non-Terrestrial Networks, NTN）設施的未來布建等議題，重點整理如下：

（一）GSMA「Open Gateway」計畫將帶領通信市場進入新的時代

今年 GSMA 持續主打「Open Gateway」計畫，「Open Gateway」計畫致力於加速數位服務和應用程式的發展，釋放 5G 網路和應用程式介面（Application Programming Interface, API）全部潛力，確保與全球網路進行無縫整合，今年 GSMA 主要致力於提高參與度，目前超過 40 個行動通信集團已加入，這些集團代表著全球行動網路服務 65%之涵蓋範圍，目前已總共提供了超過 90 個 API 可供亞洲、非洲、歐洲、中東和美洲 21 個市場的開發人員使用，以聯合

開放式網路及應用互通的概念，將為行動通信產業帶來新的篇章，電信業者、大型科技公司和數位業者已逐漸合作，隨著無線通信產業的不斷發展和變化，「Open Gateway」已經成為一種必然的趨勢，未來這宏偉的願景也在逐漸實現當中。

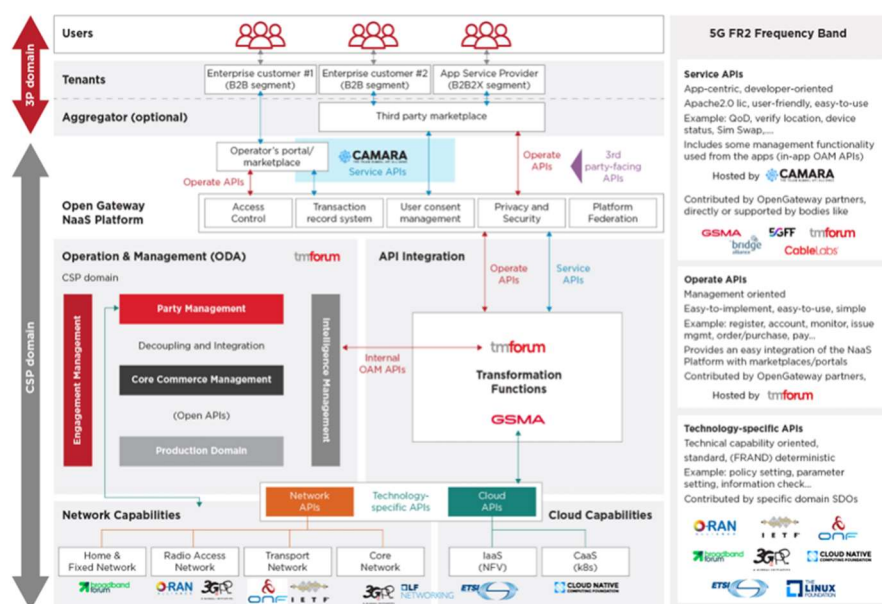


圖 3-42、MWC 大會中 GSMA 簡報 Open Gateway 架構

資料來源：GSMA

(二) 5G Advanced 和 6G 時代下 AI 將成為關鍵應用

本次 MWC 大會其中一大亮點即為 AI 之應用，主要分為兩大主題「無線通信系統智慧化」與「AI 融入行動終端」，關於「無線通信系統智慧化」，今年最大關注焦點即為 AI 晶片龍頭輝達 (NVIDIA) 聯合 ARM、AWS、Ericsson、微軟、Nokia、軟銀 (SoftBank) 和 T-Mobile 等業界巨擘在 MWC 2024 成立「AI-RAN 聯盟 (AI-RAN Alliance)」，將推動 AI 與無線通信融合，提高行動網路使用效率、降低功耗，並以 5G 和 6G 為基礎的巨量資料下，利用 AI 釋放新的應用機會與商機；關於「AI 融入行動終端」，AI 晶片的技術進步，使 AI 加速進入行動終端市場，使應用方式更佳多元，國際各大廠已積極將 AI 落實在智慧型手機、個人電腦、機

器人與虛擬人平臺服務，故本次展會上 AI 應用於行動裝置成為各家展示重點，例如手機和個人電腦上的 Gmail AI、搜尋進化版 Gemini APP、自動語言轉譯、文生圖等，全都凸顯一個「全能助理」的概念，透過全能助理，使用者不需要各別使用多個應用程式，就可以一步完成複雜的任務，大大提升用戶體驗，目前已用於程式編碼、網路管理、直播購物、客服服務等，儘管目前應用都尚在發展初期，還面臨許多的挑戰，但未來將提供便利生活的願景，已十分令人期待。

(三) 6G 時代來臨的頻譜需求

2023 年世界無線電通信大會（WRC-23）剛結束一段 6G 頻譜的討論，確定了部分行動網路的頻段，未來 WRC-27 也將持續討論，MWC 上也是熱門議題。

從市場需求面來看，Nokia、Ericsson 等業者提出 6G 時代下，需要提出不同頻率範圍（低、中、高）的頻譜需求，充足的頻譜對於 6G 的商業成功至關重要，未來 6G 時代下將會出現更多新興應用，如延展實境（Extended reality, XR）、數位雙生（Digital Twin）、機器學習（Machine Learning, ML）等，為了平衡容量和涵蓋範圍，特別需要中頻段（7-15 GHz）中重新釋出 500-750 MHz 之頻寬供未來 6G 使用；從技術面來看，有技術專家提及目前通信技術持續演進，可能會使頻譜使用效率隨之提高，技術進步使現有頻譜的使用效率上更加高效，而因此不需要專注在獲取更多的頻譜，目前對於 6G 時代來臨的頻譜需求並無定論，但已可預見在 6G 頻譜使用上的擁擠現象，故各方共識為「頻譜共享（Spectrum Sharing）」將為未來頻譜管理之重要方向，未來頻譜管理上需要更多各界互相合作，才能將頻譜使用效益最大化。



圖 3- 43、MWC 大會舉辦 6G 頻譜需求討論會議

資料來源：MWC 會議現場攝影

(四) 非地面網路 (NTN) 通信將補足通信涵蓋的最後一哩路

本次 MWC 2024 展會對於空、海、陸的 3D 全涵蓋的非地面網路 (NTN) 通信也是大眾關注焦點之一，因技術的發展和創新，無線通信網路的涵蓋範圍正在不斷擴大，NTN 不僅可以增強網路涵蓋範圍，具有應對數位落差和緊急網路布建的優勢，NTN 建設也將為數位化社會的發展帶來更多的機會；NTN 應用領域也非常廣泛，包括智慧電網、石油和瓦斯、海事通信、農業監測、資產追蹤、交通管理、零售業等，通信方式包含多衛星軌道 (GEO、MEO、LEO)、高空通信平臺 (HAPS)、智慧手機直連衛星等方案皆是展場中的亮點。

例如：整合智慧型手機與衛星電話的行動用途已經上線，5G IOT 衛星服務也已就位，旋翼、定翼的無人機 HAPS 應用情境逐步成真，NTN 的布建是一個潛在的革命性技術，將對整個電信行業產生深遠的影響，也將讓 6G 的未來通信情境帶來更多的想像空間。

本研究已於 113 年 8 月 7 日向數發部進行分享報告，辦理情形如下圖所示。

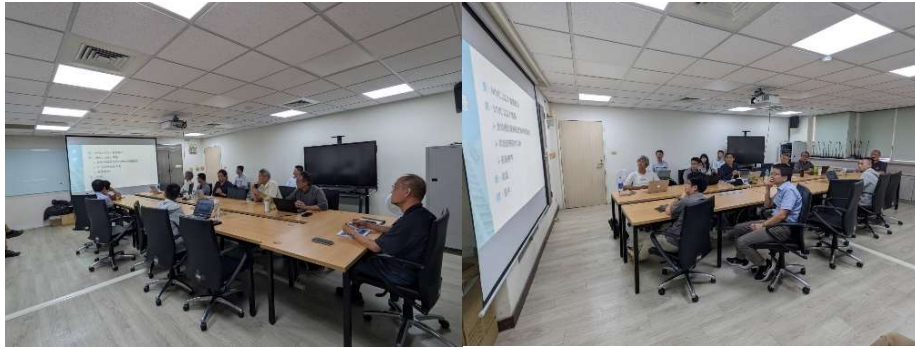


圖 3- 44：MWC 會後分享會議

資料來源：TTC

第五節 小結

一、WRC-23 已決議供 IMT 之頻段與規劃未來 WRC-27 探討之頻段，3GPP 亦將著手研析與定義 6G 標準

2023 年底 ITU 於杜拜召開全球資通信產業矚目之 WRC-23 會議，本研究主要關注 IMT 相關頻段之決議，包含 4800-4990 MHz、3300-3400 MHz、3600-3800 MHz、6425-7025 MHz、7025-7125 MHz、10.0-10.5 GHz 等，其中 6 GHz 上半頻段（6425-7125 MHz）為本次 WRC-23 重點討論之議題之一，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，且此兩範圍頻段也可用於無線接取系統（WAS），包括無線區域網路（RLANs）。另外，亞太地區之柬埔寨、寮國和馬爾地夫則可於 6425-7025 MHz 頻段供 IMT 使用。未來 WRC-27 將探討之 IMT 頻段為 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz、14.8-15.35 GHz。

本研究觀察 WRC-23 決議後之影響，以亞太地區來說，目前僅有香港主管機關規劃於 2024 年第 4 季拍賣 6 GHz 頻段非成對頻率（6570-6770 MHz 與 6925-7125 MHz，合計 400 MHz 頻寬），其他國家尚無公告具體之作法。

在國際標準方面，依 3GPP 之時程規劃，5G Advanced 標準的制

定仍在進行中，預計於 Rel-20 開始進行 6G 研究（2025 年），於 Rel-21 制定 6G 基本規範（2027 年）。業界將在 2025 至 2027 年間密集展開對應用發展構想的提案，進一步推動 6G 的發展進程。

在 6G 開發的同時，5G Advanced 的技術演進將持續進行，以提供服務全直到 2030 年及以後的新技術，確保 5G 向 6G 的平穩過渡。

二、主要國家與區域組織之 6G 願景與目標愈趨明確，6G 預期使用技術及場景多元且廣泛

本研究綜觀國際組織與主要國家發表 6G 願景與目標，並更進一步公告工作計畫或階段性任務之報告，多半指出 6G 技術標準與願景不再僅限於通信技術，而是橫跨社會發展、經濟成長或新興應用等層面之先進技術，並將永續發展目標納入 6G 發展基本原則之一，6G 網路永續性重要性大幅提升。

本研究觀察之國際組織與主要國家提出眾多未來 6G 使用技術及場景，多數以 AI、ML、沉浸式即時通信、整合感測與通信、網路安全、無人機等為未來發展 6G 網路之共識。預期 6G 網路將整合陸海空，以陸海空整合之全空間的立體涵蓋範圍，提供使用者無所不在的通信服務等。

表 3- 33、本研究整理主要國家/地區發表 6G 相關之報告或白皮書

國家/地區	時間	報告或白皮書	主要內容摘要
歐盟	2023 年 12 月	《5G 發展與其對 6G 頻譜需求之可能影響以及未來無線寬頻網路釋出指引意見書》	• 「提升頻率使用效率」及「解決頻率需求」為主軸： ➢ 解決 5G 於 26 GHz 之應用問題 ➢ 提出動態及共享頻率之解決方案 ➢ 研析非地面網路（NTN）、免執照設備等關鍵技術
	2024 年 11 月（規劃）	《6G 策略願景報告草案》	
美國	2023 年 11 月	國家頻譜策略	因應新一代 Wi-Fi 網路、低軌衛星、5G、6G、自駕車與其他新興科技應用帶來的龐大頻譜接取需求

國家/地區	時間	報告或白皮書	主要內容摘要
	2024 年 3 月	國家頻譜策略實施計畫	對頻段重新利用與共享進行多項研究、長期性頻譜規劃及開發新的頻譜接取或管理，預計將有助於為 6G 確保充足頻譜供應。尤其對 3.1-3.45 GHz 與 7.125-8.4 GHz 等頻段的研究將陸續在 2026 年 10 月以前完成
英國	2023 年 10 月	《次世代無線寬頻之頻譜管理討論文件》	6G、新世代的 Wi-Fi（係指 Wi-Fi 7 以後的 Wi-Fi 技術）、非地面網路等嶄新無線技術列為次世代無線寬頻
	2023 年 11 月	《支持增加共享頻譜之使用諮詢文件》	3.8-4.2 GHz 共享接取執照為英國目前發展相對成熟之案例，對未來 6G 頻譜管理政策具有高度參考性
	2024 年 3 月	《2024/25 年工作計畫》	- 支援網路演進與整合 - 加速頻譜共享創新 - 更新與審查頻譜管理框架
	2024 年 5 月	《6 GHz 頻段上半部分供行動及 Wi-Fi 使用文件》	Ofcom 決定以共享為原則規劃行動通信與 Wi-Fi 共同接取 U6 頻段之混合共享機制，提出以下兩種方案： - 可變動頻譜分配 - 區分室內與室外，輔以其他行動頻段 2025 年發布 U6 頻段之應用正式文件
日本	2020 年	Beyond 5G 推進戰略 - 6G 藍圖	- 在 Society 5.0 願景中，網路空間（虛擬世界）和實體空間（現實世界）的高度融合 - 掌握 2030 年代在資通信領域及多元產業的挑戰和未來願景，研提涵蓋多廣泛產業及使用者範疇之使用場景
	2022 年 6 月	公布「Beyond 5G 資通信技術戰略發展方向」階段性成果報告	四項策略： - 研究開發策略：解決 10 個研發問題，主要以全光網路相關技術、非地面網路相關技術、安全虛擬化和融合網路相關技術為優先投入之重點技術領域 - 社會實施策略 - 智慧財產權與標準化策略 - 海外擴張策略
	2024 年 9 月	總頻率整備行動計畫（令和 6 年度版）	預估至 2040 年需要約 70 GHz 的頻寬（73.1GHz）
韓國	2024 年 2	國家戰略技術發展	2030 年前必須實現 12 項國家級戰略

國家/ 地區	時間	報告或白皮書	主要內容摘要
	月	任務路線圖	科技領域，特別強調人工智慧在下一代通信(6G)、先進機器人和製造及網路安全所扮演之關鍵
	2024 年 9 月	韓國頻譜計畫	6G 頻譜計畫的推動分為新頻段與既有頻段的活用兩大主軸： • 新頻段：除研究 WRC-27 將探討之頻段（4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz）外，將參考國際上其他候選行動通信頻段的發展，並考慮共享頻譜的可行性。 • 既有頻段：即將屆期的行動通信頻譜進行重耕，並探討將其開放給其他產業或公共部門的可能性。
	2024 年 9 月	第四次電波振興基本計畫（草案）	概述 2024 年至 2028 年韓國無線電波資源之管理規劃
中國	2023 年 12 月	無線系統設計原則和典型特徵白皮書	6G 新型態之服務、頻譜及技術之發展需求，綜合分析 6G 網路之組建場景需求、特徵及產業發展等要素
	2023 年 12 月	6G 網路架構展望白皮書	未來網路架構應支援之網路能力，聚焦於接取網路及核心網路等終端至終端之整體網路組建議題

資料來源：本研究彙整

三、5G 仍持續發展，同時初步提出 6G 候選頻段

由於 5G 持續發展，大部分國家或區域組織仍持續規劃 5G 頻譜。如：GSMA 認為現階段應著重於 5G-Advanced 及 B5G 等技術的實際發展；歐盟 RSPG 觀察 5G 各頻段之使用效率及應用發展不如預期，如 26 GHz 之發展速度明顯比 700 MHz、3.6 GHz 緩慢；日本 2020 年釋出 2.3 GHz 及 700 MHz 供行動通信使用，並持續規劃或考慮釋出 2.6 GHz、4.9 GHz、26 GHz 與 40GHz 等頻段。

雖然本研究研析之多數國家未明確提出 6G 之候選頻段，仍可發現多數國家持續研析 6 GHz 頻段之可用性。美國及韓國較為明確提出之候選頻段介於 7-15 GHz 頻段。在毫米波方面，英國及中國提出以 26 GHz 頻段為主，而更高頻段 Sub-THz 頻段研究仍然有限。

表 3- 34、本研究整理主要國家/地區規劃 6G 潛在候選頻段

國家/地區	6G 可能之候選頻段
歐盟	• 未公告 6G 具體使用頻段。 • 近年之研析重點，6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）為其關注焦點，2025 年 6 月公布《U6 頻段長期願景意見書》
美國	FCC 將 7-16 GHz 頻段作為 6G 技術之主要使用頻段
英國	• 持續研析 6425-7125 MHz (U6) 頻段之混合共享機制（行動通信與 Wi-Fi） • 規劃釋出 26 GHz 及 40 GHz 頻段供行動用途使用
日本	• 未公告 6G 具體使用頻段。 • 持續推動 700 MHz、2.6 GHz、4.9 GHz、26 GHz 與 40GHz 頻段以確保 5G 發展
韓國	• 提出 4.4-4.8 GHz（部分頻段）、7.125-8.4 GHz（部分頻段）、14.8-15.35 GHz，共 2.2GHz 頻寬。將於 2027 年 WRC-27 會議中決議
中國	• 6 GHz（6425-7125 MHz） • 採用 26 GHz 頻段進行可重構智慧表面（RIS）技術通道測量之應用，期望為 6G 提供全新之網路模式

資料來源：本研究彙整

四、非地面網路（NTN）快速興起，國際積極投入 NTN 的研發和應用

非地面網路（NTN）被視為 6G 時代實現全球無縫涵蓋的關鍵技術，全球衛星通信組織（GSOA）和無線寬頻聯盟（WBA）等國際組織，以及美國、日本、韓國等國家都積極投入 NTN 的研發和應用。

GSOA 認為 NTN 是 6G 網路的關鍵要素，將在 5G NTN 的基礎上提供更普遍、連續、可擴展和彈性的聯合網路。GSOA 強調 6G 標準制定應考慮天空和太空因素，並指出航空連接的重要性，透過整合地面和非地面網路，可提高傳輸容量、安全性和彈性，為航空領域提供無縫寬頻連網服務；WBA 則積極與 3GPP 等利害關係人合作，提升全球無線通信技術的協作。

美國在「6G 無線通信系統研發的共同原則」中明確建議 6G 應採用 NTN 網路，包含衛星及高空平臺網路等整合方式提供服務。美

國 FCC 也在考慮將 900 MHz 至 80 GHz 之間的整合性 NTN 頻段供 6G 使用。

日本總務省在「Beyond 5G 推進策略」中提到將持續研究和開發高空平台臺（HAPS）技術，並考慮將其與其他無線系統共享。日本也開始測試將非同步衛星通信系統與手機直接通信的可行性，並研究相關技術條件，例如頻率共享和執照申請程序。

五、各國積極拓展國際合作或國際展示，期望成為 6G 發展之領導者

2024 年年初由美國為首，與多個國家共同聯合發表「6G 無線通信系統研發的共同原則」。在技術上，認同採用開放式無線接取網路（O-RAN）作為 6G 之網路模式。對於 6G 研發，約定透過聯合研究、開發、測試，並採用虛擬化、軟體定義網路、人工智慧等創新技術。在網路層面上，也正式建議 6G 採用 NTN 網路包含衛星及高空平臺網路等整合方式提供服務，表示頻譜監理及使用上必須更加具備彈性，不預設固定的 6G 頻段，可使用已分配給無線服務的頻譜，透過頻譜共享機制，與既有業者共存。

此外，各國亦積極在國際上發表研發 6G 之階段性成果，例如：中國未來行動通信論壇於 2024 年 4 月舉行全球 6G 技術大會，重點在於交流各國之 6G 願景、發展路線、頻譜規劃、新型態場景應用等；日本將於 2025 年舉辦大阪/關西世博會展示「Beyond 5G Ready Show」、韓國將於 2026 年舉辦 Pre-6G 展示技術階段性成果，以利在 6G 市場搶占先機，穩固下世代通信之發展。

第四章 Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

在世界各國將 5925-7125 MHz 頻段全部或部分開放給 Wi-Fi 使用後，原先既有使用者包含衛星傳輸及骨幹微波技術等多種應用，再 Wi-Fi 6E 或 Wi-Fi 7 加入該頻段後，頻譜如何有效和諧共用係攸關國家資通信發展的重要議題。由於頻譜容量有限，須考慮頻譜容量及有效使用率。據此，本團隊已於 2022 年研析和諧有效使用機制，依序完成潛在候選機制盤點、蒐研國內外使用 5925-7125 MHz 頻段之應用技術、頻譜和諧有效使用及進行國內導入自動頻率控制（Automated Frequency Coordination, AFC）機制之設計與技術可行性評估。並於 2023 年研析 FCC、Wi-Fi Alliance 和無線創新論壇（Wireless Innovation Forum, WinnForum）推行的 AFC 規範，透過電信基礎計劃（Telecom Infra Project, TIP）旗下的 OPEN AFC Software 發展中的 OPEN AFC 軟體，搭建初步符合臺灣環境使用的 AFC 系統。

根據本計畫團隊於 2023 年針對 AFC 伺服器概念驗證（Server PoC）之驗證成果，本研究於 2024 年度計畫之執行規劃，擬採取從實驗室內部軟體測試驗證循序漸進至外部實際驗證場域測試，並持續觀測 AFC 系統在國際上的發展。本研究從和諧有效使用機制環境建立開始，為完善 Open AFC 功能和更符合臺灣使用環境，將優化 TIP Open AFC 系統、建立既有站臺資料庫、介接國家通信傳播委員會（National Communications Commission, NCC）型式認證資料，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。下個階段為和諧有效使用機制實測評估，本研究與電信業者和公部門合作，依據 FCC 規範定義的傳播模型類型（都市、郊區、鄉村）選擇合適的微波站臺點，並攜帶通信相關儀器至現場勘查與量測，以判斷該點是否可做為驗證 AFC 機制的實測場地。最後，將依測試結果產出

AFC 測試手冊。相關專案的執行說明如下：

第一節 和諧有效使用機制環境建立

一、優化 TIP OPEN AFC 系統

儘管 TIP Open AFC 已經具備完整架構，但整體開發尚未完成，本研究仍會持續聚焦於 TIP OPEN AFC 的發展現況和有無新版本系統的發布，深入研究 TIP Open AFC 已實作功能及操作方法，透過檔案的置換或程式碼的修改，優化 OPEN AFC 使用在臺灣的功能。優化 Open AFC 臺灣圖資部分，成功將臺灣地形精細度從原本 1 公里提升到 30 公尺。除此之外，OPEN AFC 的熱圖分析功能經修改程式後，亦可使用於臺灣環境。

(一) OPEN AFC 發展現況

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），並展示了該計劃的概念和願景，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，相關系統功能如表 4- 1 所示。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 專案，以涵蓋未來市場。

表 4- 1、TIP Open AFC 功能列表

使用案例	階段	描述
User Management	2	使用 Web 圖形化介面註冊和登入用戶。
Edit AFC Configuration	1,2	使用 Web 圖形化介面操作和查看 AFC Configuration 功能。
User storing/restoring configuration parameters	3	讓使用者可以在每個 WEB 分析視窗頁面複製或貼上設定參數。
Provision AP using AFC	1,2	提供 AP 獲取頻譜資料的介面。
Testing AP-AFC using Web UI	1,2	使用 Web 圖形化介面執行模擬 AP 測試。
User perform Point analysis	1,2,3	使用 Web 圖形化介面根據頻譜資源條件執行點分析。
User perform Heat Map analysis	2	使用 Web 圖形化介面根據最大 I/N (Interference-to-Noise Ratio level,I/N) 比執行彩色熱圖區域分析。
User perform Exclusion Zone analysis	2,3	使用 Web GUI 對特定頻譜的多邊形區域執行分析。

資料來源：本研究整理、TIP

這些功能包含用戶管理、AFC 系統參數管理、用戶參數儲存、存取點 (Access Point, 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- 1 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。

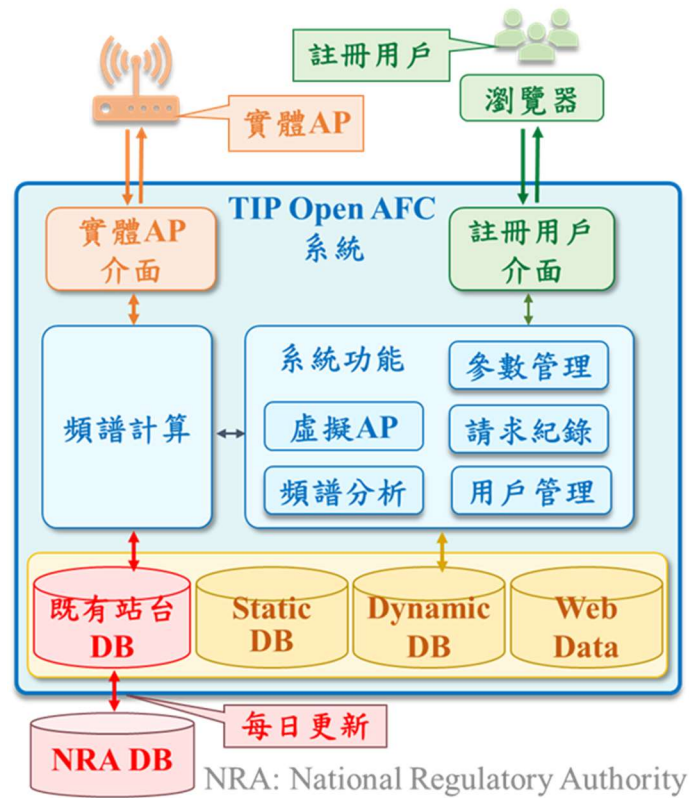


圖 4- 1、TIP OPEN AFC 架構

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，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：存儲授權 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。

TIP Open AFC 的運作流程，如 AP 請求、AFC 計算方式、對應使用的資料庫的說明如下：

- (1) 在收到 AP Request 時，利用 Request 中 Certification ID 來確定此 AP 是否已在 AFC System 註冊。
- (2) 利用 Request 中 nra 欄位資訊來確認此 AP 透過的認證監管機關，與可執行區域。
- (3) 利用 Request 中的 Location 資訊去比對 nra 對應的 .kml 檔案（每個監管機關有對應管轄的區域。譬如：受臺灣 NCC 認證的 AP，可以在臺灣領土內運行），檢查是否在監管機關允許的執行區域。
- (4) 利用 Request 中的 Location 資訊，建立 AP 可能放置的範圍。如、TIPOpenAFC 內部計算流程示意圖圖 4-2 的藍色柱狀體。
- (5) 由可能放置範圍往外延伸 150km，計算既有站臺影響區域的經緯度，如圖 4-2 的綠色區域。
- (6) 根據傳播模型，計算需要建築物圖資區域的經緯度（Optional）。如圖 4-2 的紅色區域。
- (7) 利用綠色區域（既有站臺影響區域）經緯度載入地貌圖資庫（3DEP、SRTM、Global），地貌圖資中的內容是地形高度，用來判斷傳播路徑是否被干擾、遮蔽。
- (8) 利用綠色區域（既有站臺影響區域）經緯度載入傳播模型參數資料庫（NLCD 或是 Population）。傳播模型資料庫的內容是人口密度的網格，用來判斷傳播路徑上該使用的演算法。
- (9) 利用紅色區域（既有站臺影響區域）經緯度載入監管機關提

供的**既有站臺資料庫**（ULS 資料庫），抓出可能受影響的既有站臺資訊。

(10)利用紅色區域（建築物圖資區域）載入**建築物圖資**（Lidar 資料庫），建築物圖資用來計算傳播路徑上建築物造成的訊號衰減。

(11)根據設計的傳播路徑模型，載入需要用到的資料（ITU data、天線模型），用藍色區域（AP 可能放置區域）中的所有點去計算 AP 對所受影響的既有站臺的干擾值。

(12)若干擾值高於 I/N threshold （Interference over Noise），表示對既有站臺干擾過大，則重新計算可使用 EIRP 值。

(13)回傳可用的頻譜與 EIRP 結果給 AP。

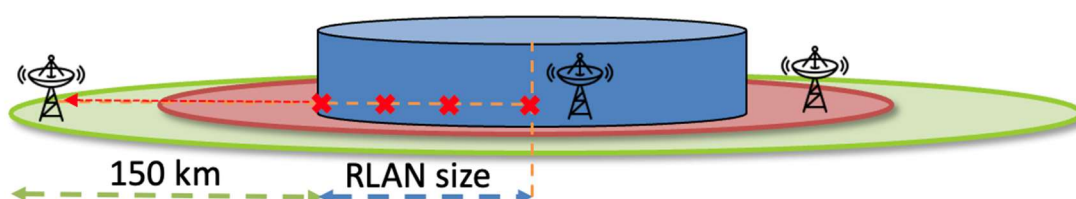


圖 4- 2、TIPOpen AFC 內部計算流程示意圖

(二) Open AFC 圖資功能優化

AFC 系統需要使用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，因此高度圖資的精細度對於要使用何種無線通道傳播路徑模型會有很大的影響。OPEN AFC 圖資功能都是以符合美國標準設計如、OPEN AFC 地形圖資表 4-2 所示，其地形、地貌資料不支援使用在非北美洲的國家，雖然有內建備用的全球地形圖資但因精細度低，勢必影響傳播路徑針對遠、中、近（一公里外、一公里至三十公尺、三十公尺內）距離的計算誤差，這是 OPEN AFC 運用在臺灣所會遭遇到的問題之一。因此，本研究將藉由研析 OPEN AFC 內建的美國 3DEP（3D Elevation Program, 3DEP）圖資

⁹³，了解圖資格式和轉換方式，將高精度的臺灣圖資依照 OPEN AFC 的轉換方式並匯入至 OPEN AFC 資料庫，最後讓 OPEN AFC 能成功讀取臺灣圖資和執行相關的計算功能，以達成圖資功能優化的目的。

表 4-2、OPEN AFC 地形圖資

圖資名稱	說明	精度
3DEP	美國的地形資料庫，為美國預設圖資	30m
Srtm3arcsecondv003	美國地形資料庫，為美國備用圖資	90m
Global	全球地形資料庫	1Km

資料來源：本研究整理

1. 3DEP 圖資說明

3DEP 主要是由美國地質調查局（USGS）發起的一項計劃，目的是為了收集高解析度、高品質的地形資料，為美國本土建立一套國家級的 3D 地理空間資料集。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。

3DEP 圖資是使用 GeoTIFF 格式來儲存⁹⁴，相關格式架構如圖 4-3 所示。GeoTIFF 是 TIFF95 的一種格式擴展，將 raster data 與已知的模型空間或地圖投影綁定，在 TIFF 6.0 版本的 raster data 中儲存地理參照和地理編碼等等資訊。GeoTIFF 文件繼承了 TIFF 規範對應描述的文件結構。GeoTIFF 格式使用 TIFF tag 來描述與 TIFF 影像相關的圖片訊息，這些影像可以是來自衛星成像、掃描航空攝影、地圖、數位高程模型等等結果。

GeoTIFF 採用 "MetaTag"（GeoKey）方法，利用 TIFF 平臺獨立資料格式表示法的優勢，將數十個資訊元素編碼為 6 個專用

⁹³ USGS (2024), 3D Elevation Program, <https://www.usgs.gov/3d-elevation-program>

⁹⁴ GDAL (2024), GTiff -- GeoTIFF File Format, <https://gdal.org/drivers/raster/gtiff.html>

⁹⁵ Fileformat.info (2024), TIFF: Summary from the Encyclopedia of Graphics File Formats, <https://www.fileformat.info/format/tiff/egff.htm>

的 tag (33550,34264,33922,34735,34736, 34737)，如此一來避免了跨平臺交換的困難。

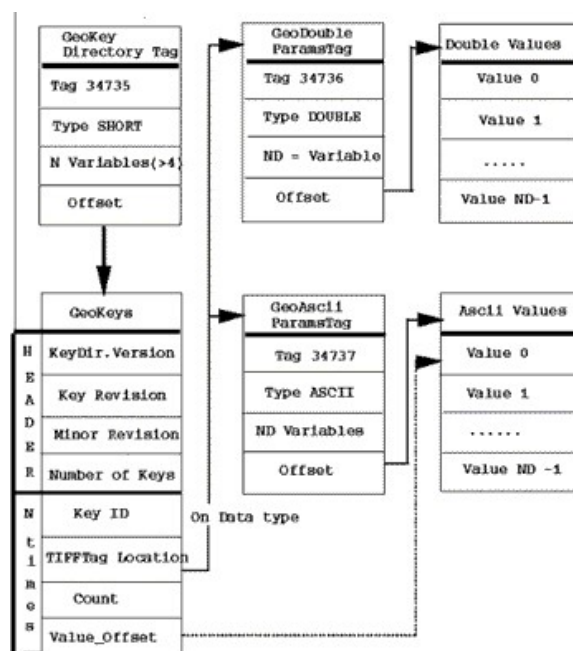


圖 4-3、GeoTIFF 格式架構

資料來源：本研究整理

2. 臺灣圖資轉換和匯入

過去在做臺灣圖資的轉換時，常會遇到與 OPEN AFC 內部圖資格式不相容的問題，這是因為蒐集到的臺灣圖資，使用臺灣專用的座標系統所導致。臺灣專用的座標系統有以下兩種：

- TWD67：傳統天文觀測及三角測量的方式測定經緯度。
- TWD97：利用衛星定位測定經緯度，座標值接近 WGS84，是目前臺灣的國家座標系統。

OPEN AFC 使用的座標系統為 WGS84 (World Geodetic System 1984)⁹⁶格式，是美國國防部為 GPS 而制定的世界座標系統，也是 NCC 在專用無線電臺設置的申請文件中規定，電臺與天

⁹⁶ National Geospatial-Intelligence Agency ,World Geodetic System 1984, <https://www1.nga.mil/ProductsServices/GeodesyandGeophysics/WorldGeodeticSystem/Pages/default.aspx>

線位置務必使用 WGS84 座標系統。因此，本研究以 WGS 座標系統為條件進行搜尋，最後採用康訊公司的臺灣圖資，相關資訊如表 4-3。

表 4-3 臺灣全島涵蓋範圍

涵蓋範圍	臺灣全島含澎湖、金門及馬祖
地圖解析度	20M*20M
資料來源	依據最新版 1/5000 基本圖、最新福衛影像製作
座標系統	WGS84
檔案格式	MapInfo *.TAB 檔案

資料來源：康訊公司

相關的轉換流程如圖 4-4 所示，將高精度的臺灣圖資表格檔（TAB）透過 MapInfo 軟體轉換為 GeoTIFF 檔案，它是一種自帶地理坐標的影像格式。再來 Open AFC 會將圖資切割成每塊 1 經緯度，並轉換成 3DEP 的標準命名格式，根據位置修正高度的誤差值，最後匯入到自身的圖資資料庫。

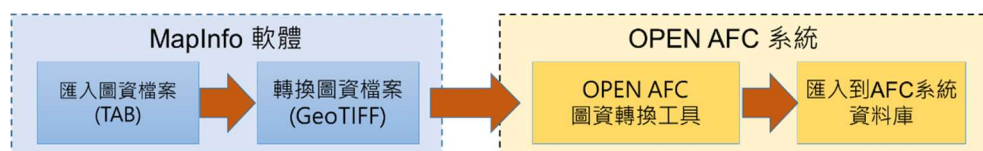


圖 4-4、Open AFC 轉換流程圖

資料來源：本研究整理

3. 臺灣圖資運行驗證

驗證方式以臺北大巨蛋的座標（25.0427, 121.5596）為例，由於臺北大巨蛋的座標位於 25°N 的邊界如圖所示，所以系統會選擇兩個 tiles 的資料進行判讀，分別讀取北緯 25 度東經 121 度和北緯 26 度東經 121 度的地區圖檔，在 OPEN AFC 的檔名資料為 n25e121.tif 和 n26e121.tif，如果系統有成功讀取該圖檔，就會在 LOG 看到這兩個檔名。

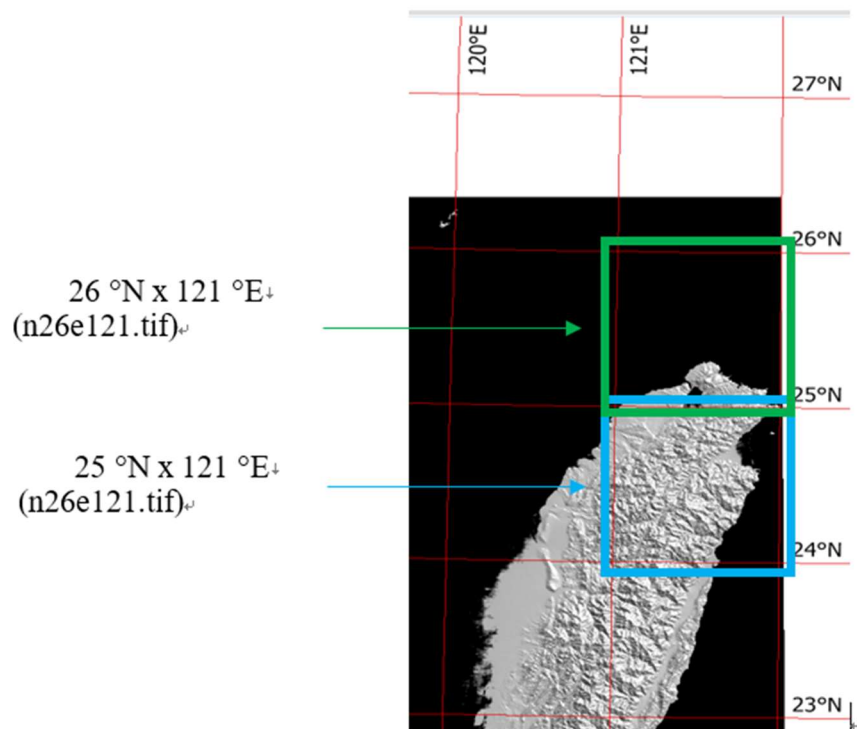
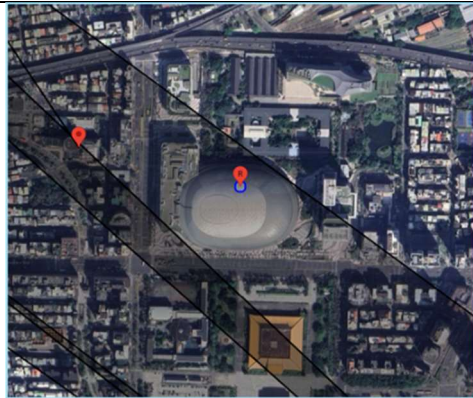
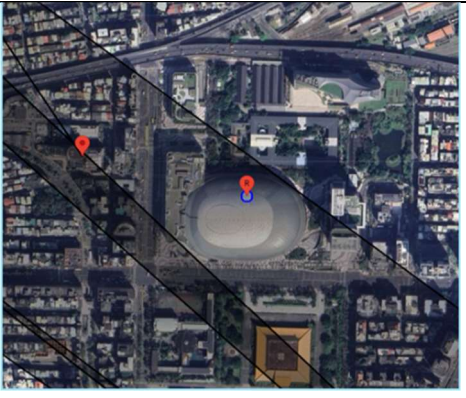


圖 4-5、地區圖檔

資料來源：本研究整理

為驗證轉換後的臺灣圖資是否偏移，將會使用 OPEN AFC 的 Virtual AP 功能進行測試，分別在臺灣圖資與初始圖資輸入臺北巨蛋座標（25.0427, 121.5596）做比較，結果如表 4-4 所示，可證明臺灣圖資轉換沒有偏移。

表 4-4、座標比較

	
臺灣圖資	OPEN AFC 內建圖資

資料來源：本研究整理

在確認有完成運算後，要確定 AFC Engine 是讀取正確的圖資

來完成頻段計算，進到 log 查看之前的紀錄，可以看到系統有成功讀取 n25e121.tif 及 n26e121.tif 兩份圖資，結果如圖 4-6 所示，可以從驗證系統有成功讀取到大巨蛋經緯度對應的的圖資。

圖 4-6、AFC 系統 Log

(三) OPEN AFC 臺灣熱圖分析功能

圖 4- 7 為 OPEN AFC 熱圖分析設定頁面，通常會在既有站臺周圍或電波鏈路經過的區域設定一個範圍（Region Size），在此範圍內設定 AP 間距（RLAN Spacing）、室內或室外、AP 高度（RLAN Height）、AP 高度類型（RLAN Height Type）、AP 高度不確定性（RLAN Height Uncertainty），然後再選擇要分析類型（Analysis

Type) 如 EIRP 或 I/N 值。

圖 4- 7、熱圖分析設定頁面

資料來源：本研究整理

但執行臺灣參數設定後，無可避免的發生無效值（Invalid Value）的問題，如圖 4- 8 所示，可看到除了錯誤訊息之外，地圖仍顯示在美國區域而非臺灣，這是因為此功能限定只能在美國和加拿大地區使用。

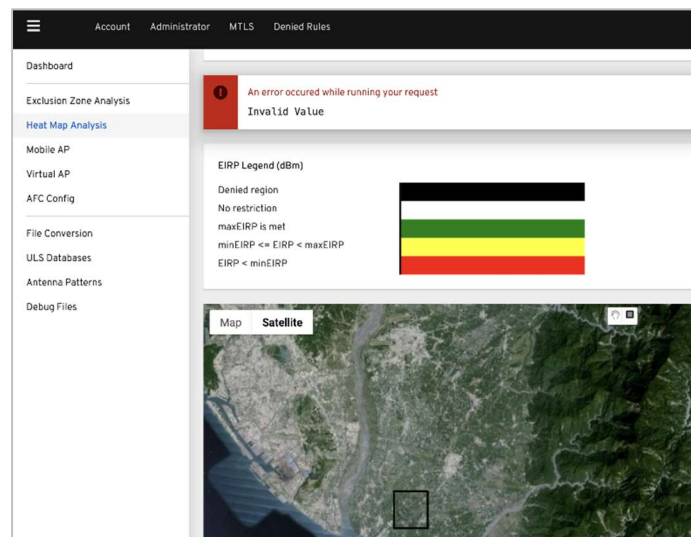


圖 4- 8、錯誤訊息與地圖位置

資料來源：本研究整理

如圖 4- 9 所示，為了讓熱圖分析也能使用在臺灣區域，本研究從此功能的做動流程進行分析，觀察其傳送訊息並與程式碼進行比

對，以找出調校的方式。一開始，熱圖分析功能在參數設定完後，會由前臺網頁（Frontend Web）將資料送到後臺（Backend）的 RAT（RLAN AFC Tool）Server 做處理，然後再由 AFC Engine 進行計算，在這個流程之中，發現到前臺送往後臺的位置參數被預設成美國的經緯度座標，導致後臺再做處理時，發現此座標並不在臺灣區域內導致發生無效值的錯誤訊息。



圖 4-9、熱圖做動流程

資料來源：本研究整理

問題修復的方法就是將值改為在臺灣領土內，即可解決前面所遇到的問題。修復後如圖 4-10 和圖 4-11 所示，可以看到參數設定請求成功後的計算結果。

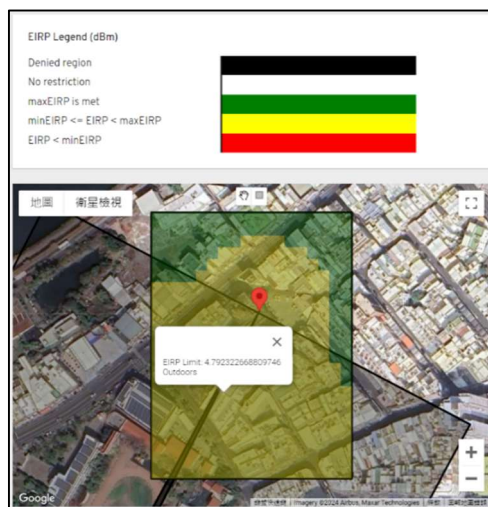


圖 4-10、EIRP 分析結果

資料來源：本計畫整理

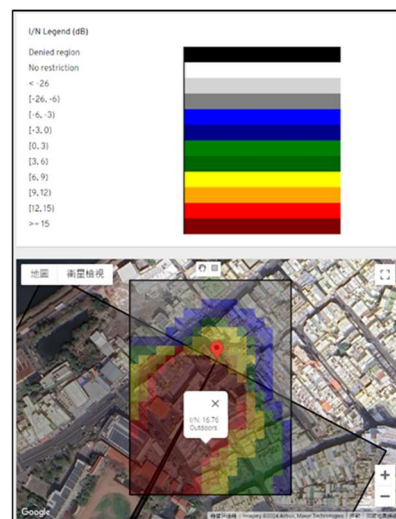


圖 4-11、I/N 分析結果

(四) 優化 OPEN AFC 運算速度

OPEN AFC 的運算負擔主要為既有站臺的數量，如圖 4-2 綠色區域所示，OPEN AFC 會把 AP 放置範圍邊緣向外延伸 150 公里

的所有既有站臺列入計算，此數值 150 公里為 OPEN AFC 在美國和加拿大設定檔的預設值，因目前還未有規範提到該數值的定義，所以 OPEN AFC 或許是以國土面積、地理環境和微波站臺分布等因素來決定該數值，相對美國和加拿大的國土面積而言，台灣的國土面積相對小了許多，理論上應將該數值向下調整，以優化台灣 OPEN AFC 的運算速度。目前只有南韓 KAFC 公開此數值的定義方式⁹⁷，統計全國既有站臺鏈路距離，分析結果有 96% 的既有站臺鏈路距離落在 100 公里以內，故以 100 公里作為基準。本研究參照南韓的方式，統計台灣既有站臺約 300 多條鏈路距離，以累積分佈函數(cumulative distribution function, CDF) 進行分析，結果有 96% 的既有站臺鏈路距離落在 70 公里以內，如圖 4-12 所示，因此建議台灣 AFC 系統可將該數值從 150 公里調整成 70 公里。

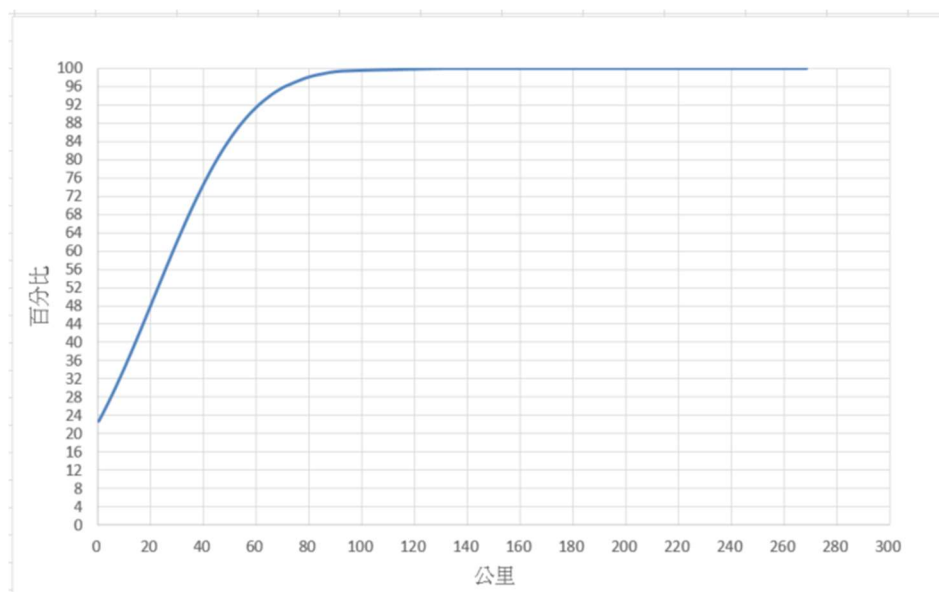


圖 4-12、台灣既有站臺 CDF 分析結果

資料來源：本計畫整理

⁹⁷ IEEE Communications Magazine (Volume: 62, Issue: 1, January 2024), <https://ieeexplore.ieee.org/document/10401897>

二、建置既有服務站臺資料庫

(一) FCC 的 ULS 資料庫

FCC 為了管理美國各種無線通信的使用頻段、鏈路傳輸路徑、功率、天線模型等資料，建立了通用授權系統（ULS）。

ULS 有以下功能：

- 執照管理：執照持有人可以透過 ULS 進行申請、更新和管理他們的通信執照。這有助於確保無線通信得到合法授權，同時使執照持有人的執照更新和轉讓更加方便。
- 頻譜監管：FCC 使用 ULS 來分配和監管頻譜使用，以確保不同通信特許執照之間不會互相干擾，促進頻譜的高效使用。
- 透明度和公開性：ULS 提供公眾查看特定區域的無線通信執照和執照持有人的資訊。這有助於提高透明度，使人們能夠了解和監督無線通信活動。

透過 ULS，FCC 能夠更好的實現其監管職責，並確保公眾和行業獲得了平等和公平的機會來接取和利用有限的頻譜資源。在 FCC 網站當中紀錄了美國無線通信的公開資料，由於每日會有許可人為其設備申請或更新 License，所以網站是以每日更新的方式進行，如圖 4-13 所示，FCC 會將每日更新的 License 分成 Application Records 和 License Records 兩類，並且提供公眾下載使用與查閱。

- Application Records：記錄每日設備申請或更新的 License。
- License Records：如果申請透過後，會記錄在隔日的 License Records 當中。

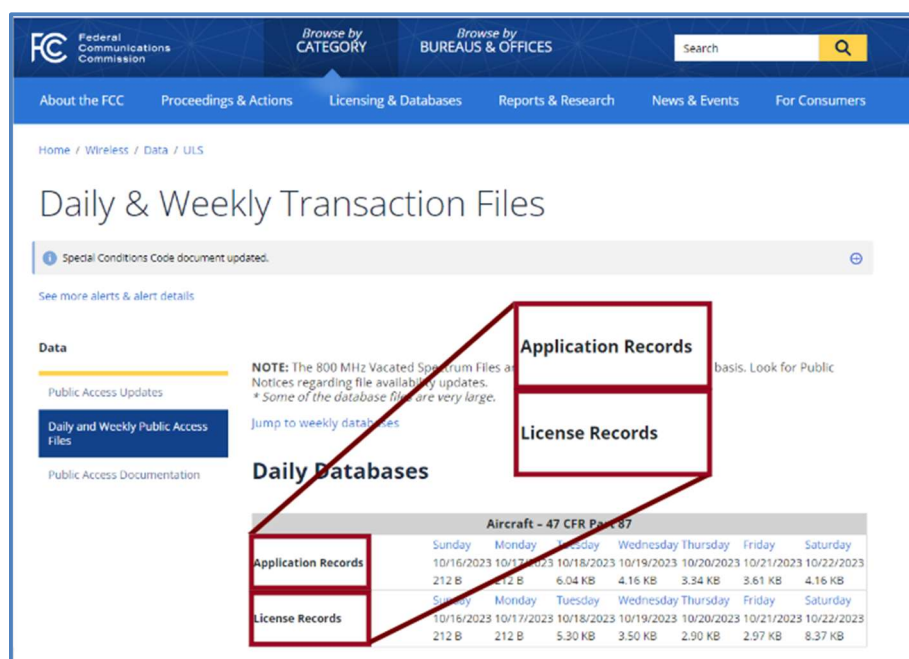


圖 4- 13、FCC ULS 資料網頁

資料來源：FCC

OPEN AFC 計算干擾保護所需的資料是依循 FCC 的 ULS 資料庫，如果要將 OPEN AFC ULS 資料庫替換為臺灣的資料則必須先從了解 FCC ULS 資料庫匯入機制流程開始，進而解析 OPEN AFC 在計算既有服務站臺干擾保護所需之參數。FCC 使用 ULS 來授權 6 GHz 頻段內已獲得執照的既有固定微波發射器設備，其中未獲得執照的設備在 5.925-6.425 GHz 和 6.525-6.875 GHz 頻段必須服從 AFC 系統的指示。ULS 包含 FCC 無線電信局管轄下的幾個其他頻段和多個無線電服務的資料。AFC 系統所涉及微波服務為 47 CFR 第 74 和 101 部分。

ULS 主要是監管資料庫，沒有另外為 AFC 系統設置一個專用的資料庫，所以須透過其它的方式來獲取 AFC 系統執行干擾分析所需的資料。ULS 資料可透過以下三種機制免費提供給任何使用者⁹⁸：

⁹⁸ WIRELESS INNOVATION FORUM, Incumbent Fixed Service Data in the U.S. UNII 5 & 7 Bands Document WINNF-TR-1008 v1.0

1. 使用 Web 介面，在頁面上有一個執照搜尋和一個應用程式搜尋連結。進階搜尋可用於限制頻率範圍和任何其他條件。執照和應用程式將顯示在易於閱讀的網頁上。
2. 透過電子郵件請求資料（文字檔）。在用戶 Web 介面的查詢結果上，有一個查詢下載鏈接，可以在其中提供電子郵件地址。下載連結一旦準備好，將透過電子郵件發送。但此方法不穩定常在超過 5 MB 的壓縮檔案出現問題或者提供電子郵件地址後卻沒有建立下載連結檔案和 ULS 主頁出現網頁告警。
3. 透過 FTP 得到所有固定微波頻段的每週和每日文件，但下載後需要將 U-NII-5 和 U-NII-7 以外的頻段過濾掉。

ULS 資料分散排列在 80 多個不同的表中，並且沒有包含標頭資訊。此外，當透過電子郵件下載提供資料時，它會分隔成單一檔案提供。與 6 GHz 既有服務業者相關的 ULS 資料庫是“Microwave – 47 CFR Parts 74 and 101, and 3650-3700 MHz (NN)”資料庫⁹⁹，OPEN AFC 會使用到 FCC ULS 資料庫的檔案為 EM.dat、AN.dat、CP.dat、EN.dat、FR.dat、HD.dat、LO.dat、PA.dat、SG.dat，相關說明如表 4-5 所示。

表 4-5、ULS 資料庫說明

	Full Name	Description
EM.dat	Emission	紀錄無線設備發射訊號的相關參數
AN.dat	Antenna	註冊天線相關參數
CP.dat	Control point	設備所有者控制設備操作的地點
EN.dat	Entity	紀錄設備註冊人資料
FR.dat	Frequency	紀錄設備被分配的頻率與輸出功率
HD.dat	Header	紀錄設備 Application 或 License 參數
LO.dat	Location	紀錄設備操作的地點
PA.dat	Microwave	紀錄 Microwave 初始發送端與最終接收端的參數

⁹⁹Microwave – 47 CFR Parts 74 and 101, and 3650-3700 MHz (NN), <https://www.fcc.gov/ul/s/transactions/daily-weekly>

	Full Name	Description
	Path	
SG.dat	Microwave Segments	紀錄 Microwave 每段發送端與接收端的參數

資料來源：本研究整理

(二) Open AFC 的 ULS 資料庫

目前匯入 FCC ULS 資料庫到 AFC 系統所使用的做法如圖 4-14 紅框處所示，AFC 系統連接 FCC ULS 資料庫並下載所需要的.dat 檔案，再使用程式去過濾.dat 檔案裡的參數，把 AFC 計算功能會用到的參數填入到逗號分隔值 (Comma-Separated Values, CSV) 檔案，最後再將 CSV 檔案轉換成 SQLite3 檔案格式匯入到 AFC 系統的 ULS 資料庫。由上述資料轉換過程可知，如果要匯入臺灣既有使用者站臺資訊，最快的方式就是將資料直接寫入到 CSV 或 SQLite3 檔案裡，如圖 4-14 藍框處所示。

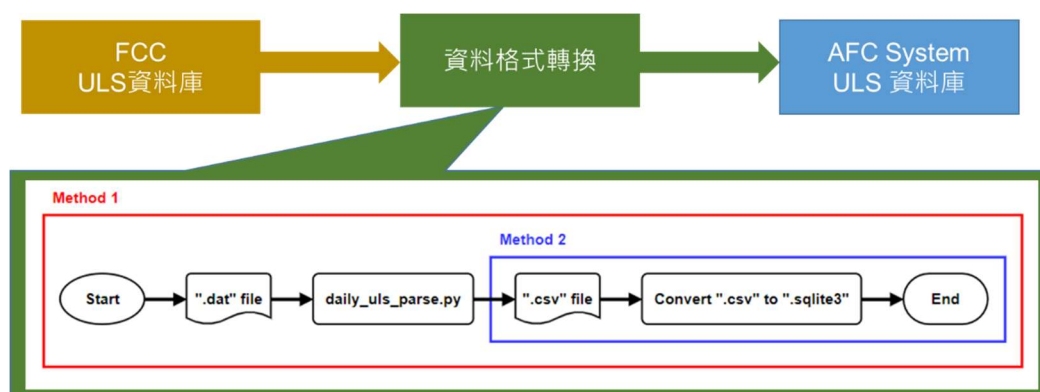


圖 4-14、ULS 資料格式轉換流程

資料來源：本研究整理

由 CSV 檔案內容可得知 FCC ULS 資料經過程式過濾轉換後所留下的參數如表 4-6 所示。

表 4-6、CSV 檔案內容

	參數名稱		參數名稱
1	id (internal)	16	Tx Long Coords
2	FSID	17	Tx Ground Elevation (m)

參數名稱	參數名稱
3 Callsign	18 Tx Polarization
4 Status	19 Tx Height to Center RAAT (m)
5 Radio Service	20 Tx Gain (dBi)
6 Entity Name	21 Rx Lat Coords
7 Common Carrier	22 Rx Long Coords
8 Mobile	23 Rx Ground Elevation (m)
9 Rx Callsign	24 Rx Ant Model
10 Rx Antenna Number	25 Rx Height to Center RAAT (m)
11 Frequency Assigned start (MHz)	26 Rx Gain (dBi)
12 Frequency Assigned end (MHz)	27 Passive Receiver Indicator
13 TX EIRP (dBm)	28 Passive Repeater Lat Coords
14 Emissions Designator	29 Passive Repeater Long Coords
15 Tx Lat Coords	30 Passive Repeater Height to Center RAAT (m)

資料來源：本研究整理

CSV 檔案轉換成 Sqlit3 檔案後會有 40 筆參數，包含：一般參數、既有服務站臺發送端參數、既有服務站臺接收端參數。因為 CSV 檔案內容的參數是針對 FCC ULS 資料所設計，所以如果將臺灣既有服務站臺資料寫入到 CSV 檔案會導致後續轉換成 Sqlit3 檔案上的錯誤；因此，將會採取把臺灣既有服務站臺資料直接寫入到 Sqlit3 檔案的方式。

- 一般參數：紀錄資料數量與既有服務站臺基本資料，如表 4-7 所示。

表 4-7、一般參數列表

Parameter	Description
fsid	針對既有服務站臺給予唯一 Fixed Service ID
region	既有服務站臺位置
status	執照狀態
radio_service	既有服務站臺廠商
name	既有服務站臺名稱

Parameter	Description
common_carrier	由實體企業提供通信服務
mobile	既有服務站臺是否會移動
Freq_assigned_start_mhz	訊號開始頻率
Freq_assigned_end_mhz	訊號截止頻率
p_rp_num	中繼器數量
path_nnumber	轉發路徑數量

資料來源：本研究整理

- 既有服務站臺發送端參數：紀錄發射端相關參數，如表 4-8 所示。

表 4-8、既有服務站臺發送端參數列表

Parameter	Description
callsign	發射端編號
tx_eirp	天線等效輻射功率
tx_lat_deg	發射端緯度座標
tx_long_deg	發射端經度座標
tx_ground_elev_m	發射端離地高度
tx_polarization	天線極化
tx_height_to_center_raat_m	天線離地高度
tx_architecture	發射端架設位置
azimuth_angel_to_tx	發射端方位角
elevation_angel_to_tx	發射端仰角
tx_gain	發射端增益

資料來源：本研究整理

- 既有服務站臺接收端：紀錄接收端相關參數，如表 4-9 所示。

表 4-9、既有服務站臺接收端參數列表

Parameter	Description
rx_callsign	接收端編號
rx_antenna_num	天線數量
rx_lat_deg	接收端緯度座標
rx_long_deg	接收端經度座標
rx_ground_elev_m	接收端離地高度
rx_ant_model_idx	天線模型編號

Parameter	Description
rx_ant_model	天線模型
rx_ant_category	天線種類
rx_line_loss	傳輸線損耗
rx_height_to_center_raat_m	天線離地高度
rx_gain	接收端增益
rx_ant_diameter	天線外部尺寸
rx_near_field_ant_diameter	天線實體尺寸
rx_near_field_dist_limit	近場距離限制
rx_near_field_ant_efficiency	近場天線效率
rx_diversity_height_to_center_raat_m	輔助天線離地高度
rx_diversity_gain	輔助天線增益
rx_diversity_ant_diameter	輔助天線外部尺寸

資料來源：本研究整理

(三) 建置臺灣既有站臺資料庫

因為 NCC 的 ULS 資料庫並沒有對外開放並且資料可能無法滿足 AFC 系統需求，所以本研究建置一個臺灣環境的臺灣既有站臺資料庫，並向 NCC 取得 5945MHz 到 7125MHz 範圍內的既有服務站臺資料，依照 OPEN AFC 的做法進行資料欄位的調修後將資料匯入，最後完成與 OPEN AFC 的連線介接，整體架構如圖 4-15，相關功能如下：

- 依照使用者類別設定可使用的功能和權限
- 可以新增、編輯和查閱既有站臺資料
- 可以匯入或匯出 CSV 格式的資料
- 可以將資料轉換為 AFC 系統專用格式
- 提供 AFC 系統接取的應用程式介面

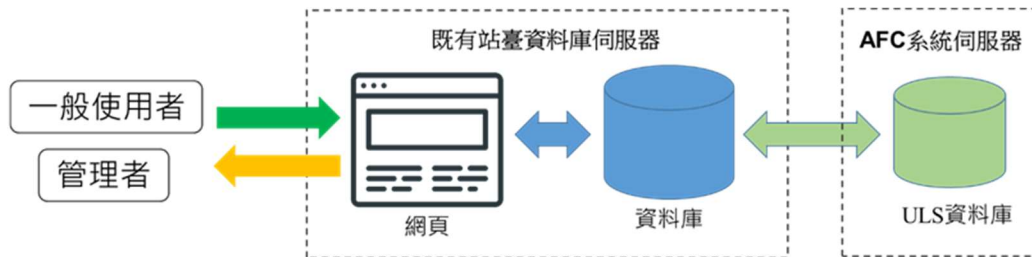


圖 4-15、既有站臺資料庫架構

資料來源：本研究繪製

1. 網頁規劃

網頁主要架構如圖 4-16 所示，先從登入畫面輸入帳號和密碼，進到主畫面後會分為三個部分別為查詢/編輯、新增資料和下載資料。

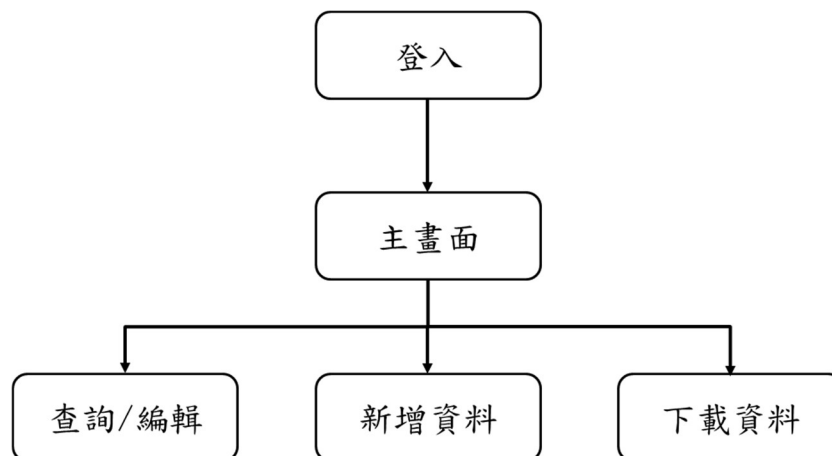


圖 4-16、網頁架構

資料來源：本研究整理

網頁登入畫面如圖 4-17 所示，在使用上將分為兩種身分，分別為管理員和一般使用者：

- 一般使用者：只能查詢和上傳檔案。
- 管理員：除了一般使用者的功能外，還有編輯、刪除資料的功能，還有管理會員資料和給予權限。

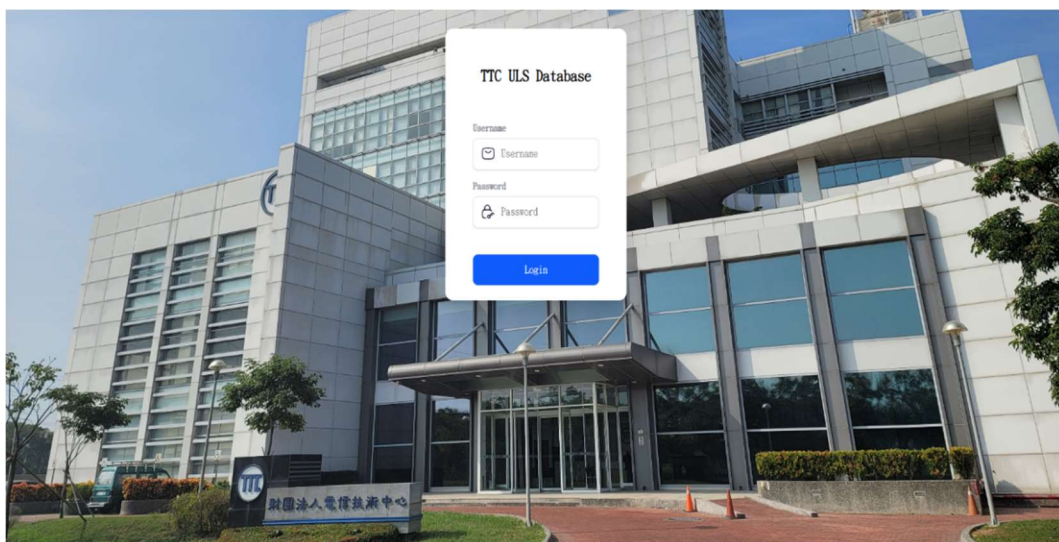


圖 4-17、登入畫面

資料來源：本研究整理

登入後的畫面如圖 4-18 所示，可查詢和編輯站臺資料、RAS 資料和天線相關資料，新增資料可以選擇使用手動輸入或匯入 CSV 檔案如表 4-10 所示，下載資料表可以選擇 CSV、Excel、PDF 格式輸出。



圖 4-18、主頁面

資料來源：本研究整理

表 4-10、新增站臺資料方式

新增ULS資料 region callsign status radio_service ChineseName name address common_carrier	新增檔案(CSV) 選擇要上傳的資料表 Uls 選擇要上傳的檔案 選擇檔案 未選擇任何檔案 上傳
手動填寫表格內容	直接匯入 CSV 檔做轉換

資料來源：本研究整理

2. 資料庫規劃

本研究使用 MariaDB 建置資料庫，它是 MySQL 關聯式資料庫管理系統的一個分叉，與 MySQL 最大的差別在於 MariaDB 屬於開源軟體，它由開源社群開發，旨在繼續保持在 GNU 通用公眾授權條款（GNU General Public License, GNU GPL）下開源。MariaDB 和 MySQL 具高度相容性，並與 MySQL API 和協定相容，尤其是 Client 和 Libaray 可以互相共用非常方便。因為有開源社區的集思廣益，新增許多 MySQL 所沒有的功能，但卻又可以支援所有使用 MySQL 的資料型別轉換以及應用程式等，因為高度相容的關係，如果有 MySQL 資料庫要轉換到 MariaDB 資料庫，無需多餘的變動設定，即可輕鬆轉換，這些都是選用 MariaDB 優勢之所在。

如圖 4-19 所示，目前建置的臺灣既有站臺資料庫欄位是基於 Open AFC 的 ULS 資料庫欄位格式，然後再進行些許的更動，增

加發射和接收站臺的中文名稱與地址，這是為了方便網頁使用者進行查詢。

Field	Type	Null	Key
fsid	int(11)	NO	PRI
region	varchar(16)	NO	
callsign	varchar(16)	NO	
status	varchar(1)	NO	
radio_service	varchar(4)	NO	
tx_name	varchar(256)	NO	
rx_name	varchar(256)	NO	
tx_address	varchar(256)	NO	
tx_address	varchar(256)	NO	
name	varchar(256)	NO	
common_carrier	tinyint(1)	YES	
mobile	tinyint(1)	YES	
rx_callsign	varchar(16)	NO	
rx_antenna_num	int(11)	NO	
freq_assigned_start_mhz	float	NO	
freq_assigned_end_mhz	float	NO	
tx_eirp	float	YES	
tx_lat_deg	float	YES	
tx_long_deg	float	YES	
tx_ground_elev_m	float	YES	
tx_polarization	varchar(1)	YES	
tx_height_to_center_raat_m	float	YES	
tx_architecture	varchar(8)	NO	
azimuth_angle_to_tx	float	YES	
elevation_angle_to_tx	float	YES	
tx_gain	float	YES	
rx_lat_deg	float	NO	MUL
rx_long_deg	float	NO	MUL
rx_ground_elev_m	float	YES	
rx_ant_model_idx	int(11)	YES	
rx_ant_model	varchar(64)	YES	
rx_ant_category	varchar(64)	YES	

圖 4- 19、ULS 資料表格式

資料來源：本研究整理

3. 介接 OPEN AFC 說明

如圖 4- 20 所示，在目前的 OPEN AFC 版本中，使用一個名為 ULS Downloader 的功能，它是利用目前在原始碼中的 daily_uls_parse.py 的腳本向美國以及加拿大監管單位下載既有站臺資料，並透過運算轉換成 Sqlite 資料庫，轉換過後的資料庫會再由 ULS Downloader 進行資料庫的驗證，確認符合新的資料庫。

ULS Downloader 同時也加入 Rcache 功能以及 Docker 中的健康度功能以確保服務正常運行。

目前透過改寫 ULS Downloader 來達成臺灣既有站臺資料的對接，將原本 daily_uls_parse 的工作替換成下載臺灣的既有站臺資料並將資料轉換到資料庫後，再由原有的 ULS Downloader 功能驗證並更新資料庫。

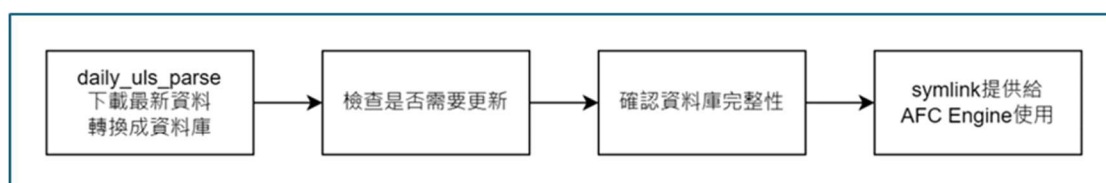


圖 4- 20、ULS Downloader 功能

資料來源：本研究整理

(四) AFC 系統與臺灣既有站臺資料庫對接方法

透過修改 Open AFC 中的 ULS Downloader 以讓 AFC Engine 能取得臺灣最新的既有站臺資訊，取得流程如圖 4- 21 所示。

1. 資料取得步驟

- (1) 登入 TTC 提供的伺服器取得 Token 後下載最新既有站臺資料
- (2) 將取得的資料解壓縮後轉換成 Sqlite DB
- (3) 檢查新的資料庫與正在使用的資料庫是否一致，若資料一致則取消此次更新並等待下次更新時間
- (4) 使用 AFC Engine 對新的資料庫進行請求模擬，若模擬請求中 AFC Engine 報錯則取消此次更新並等待下次更新時間
- (5) 比對新資料庫與舊資料庫異動是否超出可接受範圍，若超出範圍則取消此次更新並等待下次更新時間
- (6) 更新資料庫供 AFC Engine 請求使用

(7) 等待下次更新時間

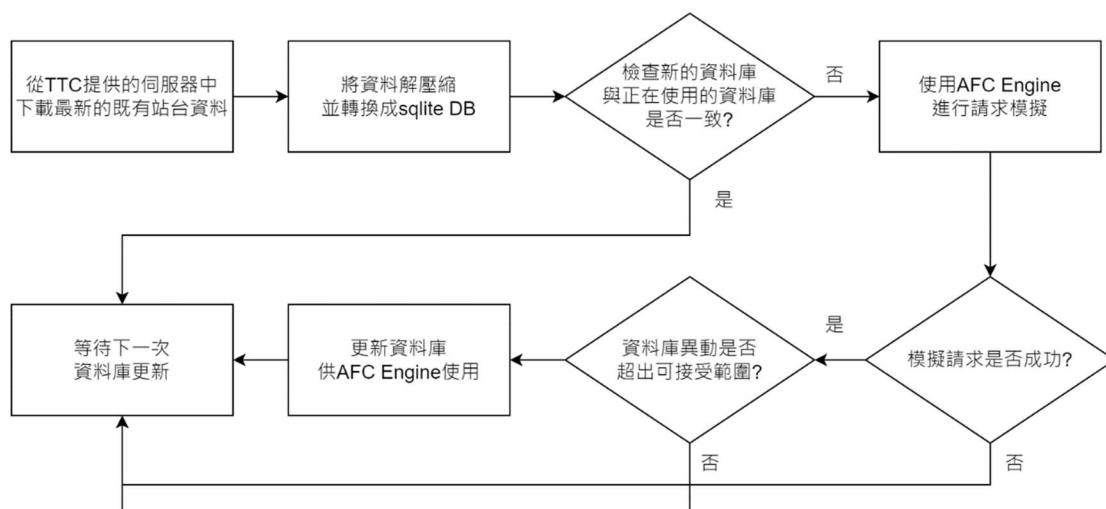


圖 4- 21、既有站臺資料取得流程

資料來源：本研究整理

2. 重要環境變數

- ULS_DOWNLOAD_URL：ULS Downloader 將透過此變數設定的網址下載既有站臺資料
- ULS_DOWNLOAD_USERNAME：ULS Downloader 登入既有站臺資料網址所需的帳號
- ULS_DOWNLOAD_PASSWORD：ULS Downloader 登入既有站臺資料網址所需的密碼
- ULS_MAX_CHANGE_PERCENT：ULS Downloader 進行新舊資料庫異動時的可接受範圍，若異動範圍超出可接受範圍則該資料庫將被視為無效並不被供 AFC Engine 使用。
- ULS_INTERVAL_HR：ULS Downloader 進行更新之間的時間間隔，預設為 4 小時

請求模擬，ULS 檔案中的 fs_afc.yaml 負責定義需要對新資料庫進行的模擬請求，其中可設定模擬請求的資料、座標、rulesetID、

certID，以及設定進行多少個平行請求和逾時時間。

3. 匯入完成結果

驗證方式可由 OPEN AFC 的 Virtual AP 功能觀察台灣站臺資訊的分布情況，判斷既有站臺資訊是否成功匯入 OPEN AFC 的 ULS 資料庫。本研究目前將電視、廣播、電信、電力業者和經濟部共 679 條微波傳輸鏈路匯入到 OPEN AFC，如圖 4-22 所示。

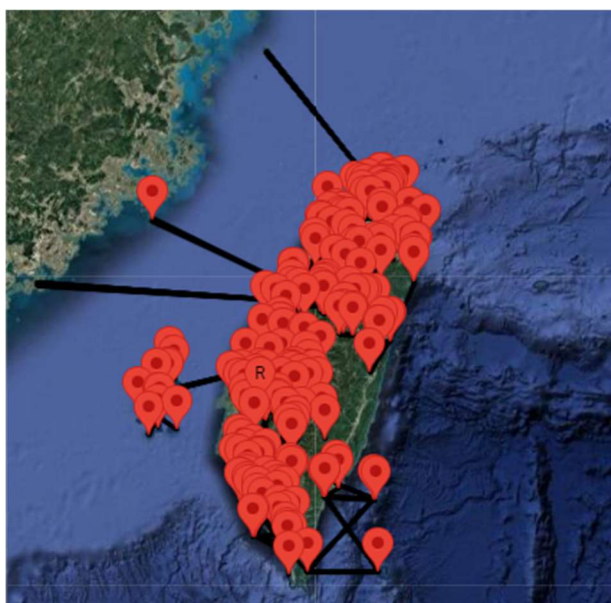


圖 4-22、台灣既有站臺分布圖

資料來源：本研究整理

三、AP 資料認證比對機制

TIP Open AFC 系統尚未導入各國已認證之 6GHz 標準功率設備的型式資料庫，本計畫將透過研析 OPEN AFC 接取 FCC 型式認證資料庫的作法和系統內部如何處理 AP 資料的方式，進一步延伸到研究如何抓取臺灣 NCC 公開的 Wi-Fi 6E 型式資料庫的資料，並導入到 OPEN AFC 系統之中，作為比對 AP 時的認證依據。

(一) FCC 認證資料庫說明

FCC 工程技術辦公室 (Office of Engineering and Technology,

OET) 提供設備授權系統 (Equipment Authorization System, EAS)¹⁰⁰ 專用的應用程式介面，該 API 提供了四種使用方式，分別為 getFCCIDList、getWhitespaceAuthorizations、getCBSDAuthorizations 和 getAFCAuthorizations，以下將針對這四種方式進行說明：

- getFCCIDList

API 允許使用者輸入至少三個或五個字元的廠商編碼 (Grantee Code) 進行查詢。API 會回傳一份 FCC ID 清單的搜尋結果，裡面會包含 FCC ID 的授權日期、申請目的以及廠商名稱和地址。

- getWhitespaceAuthorizations

API 允許使用者以輸入指定日期範圍的方式，獲取所有受核准的空白空間 (White Space) 設備授權清單。日期格式為 MM-DD-YYYY，開始日期和結束日期欄位都是必需輸入的。API 的回傳結果，包含 FCC ID、設備注釋、狀態、狀態日期和申請目的。

- getCBSDAuthorizations

API 允許使用者以輸入指定日期範圍的方式，獲取所有受核准的公民寬頻無線電服務 (Citizens Broadband Radio Service, CBRS) 設備授權的清單。日期格式為 MM-DD-YYYY，開始日期和結束日期欄位都是必需輸入的。API 回傳結果，包含申請目的、設備種類、FCC ID、廠商名字、狀態、狀態日期、授權注釋、備註、發射指標 (Emission Designator)、最大頻率、最小頻率和輸出功率。

- getAFCAuthorizations

API 允許使用者以輸入指定日期範圍的方式，獲取所有受認證

¹⁰⁰ Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology, 953436 D01
OET Laboratory Services API v03

的標準接取點和固定用戶設備清單。日期格式為 MM-DD-YYYY，開始日期和結束日期欄位都是必需輸入的。API 的回傳結果，包含申請目的、設備類別、FCC ID、廠商名字、狀態、狀態日期、授權注釋、備註、最大頻率、最小頻率和功率輸出。

由上述說明可以得知 FCC 有提供給 AFC 系統專用的 API，使用者可以透過呼叫 getAFCAuthorizations 的方式就可以得到所需要的 AP 認證資料如表 4-11 所示，這也是目前 OPEN AFC 接取 FCC 認證資料庫的做法。

表 4-11、API 回傳的 AP 認證資料範例

參數	說明
申請目的	Original Equipment
敘述	Test Application for 6GHz API-ABC std AO
設備類別	6SD
FCC ID	OPS-1
廠商名字	FCC Laboratory Test Grantee Company GT 20200718
狀態	GI
狀態日期	07/31/2023
最大頻率	6415.00000000
最小頻率	5935.00000000
輸出功率	4.0000000
授權注釋	Output power is Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)

資料來源：本研究整理

(二) Open AFC AP 資料處理機制

AP 請求 AFC 系統計算可用頻段時，會提供該裝置的型式認證碼、地理資訊等等參數，當 AFC 系統收到請求後，會先判斷 AP 所提供的型式認證碼是否已存於型式認證資料庫當中，若不存在即會拒絕服務，型式認證碼存在則會開始計算可使用頻段。

相關的處理流程如圖 4-23 所示，以下說明目前 TIP Open AFC

中已實作的美國及加拿大抓取型式認證碼資訊流程：

1. 資料下載

兩國皆是透過 API 下載已授權裝置資料，檔案格式及儲存內容略有不同。下載資料內容雖有不同，但因 AFC 系統中僅需要型式認證碼驗證設備已透過認證，且會由下個步驟進行資料處理取出型式認證碼，所以下載資料內有提供型式認證碼即可。以下說明兩國提供的資料：

● 美國

美國將透過室內、室外的裝置分為兩個 API 下載。提供的資料格式為 XML。資料內容除了型式認證碼，還包含了國家、州、城市等等資訊。

● 加拿大

加拿大則是將透過室內室外的資訊存放於欄位當中，所以僅需要呼叫一次 API 即可完成。提供的資料格式為 CSV。資料內容除了型式認證碼之外，還有其他的資訊，但資料內並未提供欄位名稱，所以無法確定其他欄位代表意義。

2. 取得型式認證碼

因為各國提供的資料格式及內容有所不同，所以透過這個步驟將取出型式認證碼及認證是用戶外或室內。

3. 儲存進入型式認證資料庫

最後需要將型式認證碼存入資料庫當中，在這個步驟會判斷是否已經存於型式認證資料庫當中尚未存在即會加入該筆資料，已存在則會記錄當前時間作為最後更新時間。

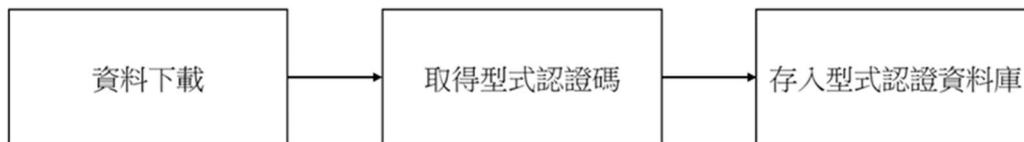


圖 4-23、AP 認證資料轉換流程

資料來源：本研究整理

(三) OPEN AFC 接取 NCC 認證資料庫方式

NCC 型式認證資料庫¹⁰¹並無提供相關 API 可供外部介接，OPEN AFC 無法使用像介接 FCC 認證資料庫的方法。NCC 的作法是將型式認證資料的檔案公布在網頁，使用者可以選擇 XLS、CVS 檔案格式進行下載，但目前 NCC 認證資料庫並無 6GHz 標準功率設備資料，因此將改為取得 Wi-Fi 6 設備的認證資料，以華碩的 Wi-Fi 6 設備為例，相關的資料格式如表 4-12 所示。

表 4-12、NCC AP 認證資料範例

參數	說明
設備種類	LP
日期	22（西元年後兩位）
審定證明編號	CCAF22LP1480T9
認證號碼	CCAF22LP1480T9
設備名稱	802.11ax（Wi-Fi 6E）三頻專業整合型無線網路基地臺
廠牌	ZYXEL
型號	WAX640S-6E
申請廠商	合勤科技股份有限公司
驗證機構	耕興股份有限公司
審驗日期	20220802
檢驗證明是否仍屬有效	Y

資料來源：本研究整理

如圖 4-24 所示，本計畫的作法是將 OPEN AFC 將 NCC 認證

¹⁰¹ NCC, 電信設備審驗合格清單, https://www.ncc.gov.tw/chinese/opendata_item.aspx?menu_function_sn=172

資料庫資料下載後，再透過轉換程式進行資料格式的過濾和重新排列成符合 OPEN AFC 所需的資料欄位，在轉換的過程中也需要判斷 AP 的檢驗證明是否仍屬有效；若無效則將從名單剔除，最後再匯入到 Open AFC 的 AP 資料庫。

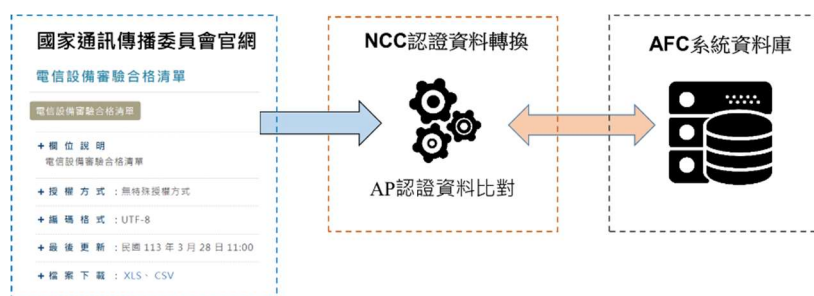


圖 4-24、NCC 資料匯入 AFC 系統流程

資料來源：本研究整理

修改調整 Cert_db container 使其能夠自動於每日從 NCC 開放資料專區中下載電信設備審驗合格清單資料（https://www.ncc.gov.tw/chinese/opendata_item.aspx?menu_function_sn=172），清單中列出所有已授權設備的廠牌、型號、型式認證碼等等資訊，不過清單中包含所有已經審驗合格的設備（包括非 Wi-Fi6E 和 Wi-Fi 7 裝置），所以新增篩選設備的步驟，以降低 AFC 系統不必要的負擔，並解析出型式認證碼後加入資料庫。使透過認證之設備能夠正常訪問系統。流程將修改為圖 4-25 所見四大步驟。以下詳細說明各步驟：

1. 抓取 NCC 資料

從 NCC 開放資料專區中下載電信設備審驗合格清單資料。

2. 篩選設備

清單中包含了已經被廢止撤銷或註銷的設備，因此會先篩選出驗證明仍屬有效的設備。接著因為清單中包含所有已審驗合格設備，因資料量過於龐大，需要篩選設備以減輕系統負擔，但該

表單資料無法有效篩選出 Wi-Fi-6E 和 Wi-Fi-7 設備，經過內部討論之後，決定使用「設備種類」及「審驗日期」這兩個欄位進行篩選。篩選條件如下：

- 設備種類：篩選出 LP（低功率射頻電機）及 Y1（完全射頻模組（組件））兩種種類。
- 審驗日期：篩選出審驗日期在 2023 年 08 月之後的設備。

3. 取出型式認證碼

在這個步驟將確認表格「欄位驗證明是否仍屬有效」值為 Y，確定設備型式認證仍屬有效，接著取出「審定證明編號」欄位，為下個步驟做準備。

4. 存入型式認證資料庫

最後就是將前面篩選過後的設備的型式認證碼儲存進入系統。這部分的程式會沿用系統中以實作美國及加拿大的版本。

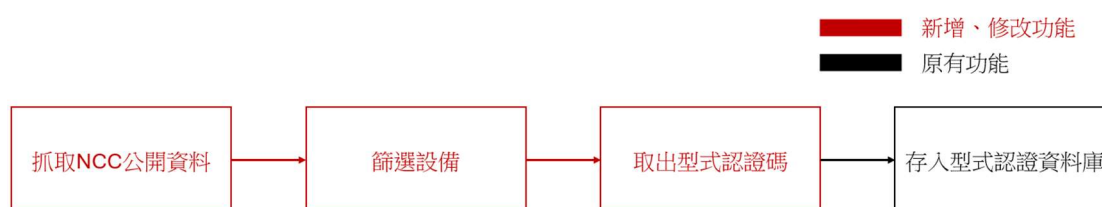


圖 4-25、臺灣形式認證資料庫介接流程圖

資料來源：本研究整理

(四) 建議 NCC 認證資料欄位調修方式

NCC 公開的型式資料庫的資料從 1991 年至現今約 9 萬 6 千多筆，涵蓋所有透過認證的射頻器材，其中也包含 Wi-Fi 6E 及 Wi-Fi 7 設備，惟臺灣法規尚未開放 Wi-Fi 標準功率設備，因此無法搜尋到相關器材，但 AFC 系統介接功能均已開發完成。為提升資料庫搜索效率與配合技術規範審驗流程，建議未來導入 AFC 機制時，

應於 NCC 型式認證資料庫中新增 6GHz 標準功率設備類型，便於與其他室內低功率或極低功率器材區分。

由於目前使用的是 NCC 開放資料專區中的電信設備審驗合格清單資料，在實作 AFC Server 與 NCC 資料對接時，發現無法有效篩選設備以及缺少相關欄位等困難之處。以下是對該清單的建議事項：

- 增加設備類別

圖 4- 26 為臺灣型式認證代碼裝置種類的代碼，目前儘管已經有在替 Wi-Fi 6E 設備認證，但圖中可以看出並沒有針對該專案或是使用 6GHz 頻段專案的產品有專屬種類代碼。因此，建議在清單中加入相關設備的設備種類，以便更精確地識別這些設備。

代碼種類位置：CCAA98**3G**xxxxxx

☐ 3G：第三代行動話機	☐ G2：GSM/DCS/2.4GHz 行動話機	☐ P1：用戶專用交換機	☐ SS：衛星小型地球電臺
☐ 4G：行動寬頻行動臺	☐ GS：GSM/衛星雙模話機	☐ PG：無線電叫人終端設備	☐ T1：電話機
☐ 5G：NR 終端設備	☐ H1：Home Net	☐ PH：PHS 設備	☐ TR：中繼式無線電話
☐ AR：異步無線電射頻電機	☐ HA：具助聽功能電信終端設備	☐ PL：個人定位無線電示標	☐ V1：IPhone 影音設備
☐ B1：xDSL 設備	☐ I1：ISDN 設備	☐ R1：有線電話無線主副機	☐ V2：電視視訊設備
☐ B2：Cable Modem 設備	☐ IP：MOD 設備	☐ R2：2.4GHz 終端設備	☐ W1：WIMAX 手持式行動臺設備
☐ BS：有線廣播電視終端設備	☐ K1：按鍵電話系統	☐ R3：5.8GHz 終端設備	☐ W2：WIMAX 移動式行動臺設備
☐ C1：來話顯示終端設備	☐ L1：屋內配線器材	☐ R4：2.4/5.8GHz 終端設備	☐ X1：多工機
☐ D1：DCS1800 行動話機	☐ LP：低功率射頻電機	☐ S1：DS1 數據設備	☐ Y0：非隨插即用限制性通傳模組
☐ DG：DCS/GSM 頻話機	☐ M1：數據機（卡）	☐ S2：DS2 數據設備	☐ Y1：完全射頻模組（組件）
☐ E1：DECT 設備	☐ MD：行動數據設備	☐ S3：DS3 數據設備	☐ Y2：限制性射頻模組（組件）
☐ F1：傳真機（卡）	☐ NB：窄頻終端設備	☐ S4：STM1 速率以上之數據設備	☐ Z1：其他
☐ G1：GSM 行動話機	☐ O1：光纖網路終端設備	☐ SE：資訊安全設備	

圖 4- 26、型式認證代碼表

資料來源：NCC 型式認證查詢網頁

- 標註設備屬於室內或室外使用

以美國 FCC 為例，因為室內室外裝置有不同規範，所以在 AFC 系統中會記錄該項認證設備屬於室內室外裝置，亦或是都有透過認證。故若是臺灣在相關認證或法規上參考美國，也同樣會需要加入

該項欄位。

- 年限欄位有一些錯誤資料

圖 4-27 是 NCC 電信設備審驗合格清單的表單。在年限欄位中，目前有 1523 筆資料是非純數字資料。但該欄位的定義是西元年末二碼。因此這欄位資料應該很有可能是誤植導致的結果。

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	設備種類	西元年度後二位	審定證明	填報貿易	設備名稱	廠牌	型號	申請廠商	製造廠商	驗證機構	SAR值
1146	8D	R8	R88-DG01	CCAAR88E	手持式行	PHILIPS	TCD898(g	台灣飛利	PHILIPS	國家通訊	
1147	8D	R8	R88-DG02	CCAAR88E	手持式行	NOKIA	NSM-1NY	軍達企業	NOKIA	國家通訊	
1148	8D	R8	R88-DG03	CCAAR88E	手持式行	MOTOROL	MC2-41B1	權威通訊	MOTOROL	國家通訊	
1149	8D	R8	R88-DG04	CCAAR88E	手持式行	MOTOROL	MC2-41D1	摩托羅拉	MOTOROL	國家通訊	
1150	8D	R8	R88-DG05	CCAAR88E	手持式行	MOTOROL	MC2-41E1	摩托羅拉	MOTOROL	國家通訊	
1151	8D	R8	R88-DG06	CCAAR88E	手持式行	SIEMENS	C2588	台灣吉悌	SIEMENS	國家通訊	

圖 4-27、NCC 電信設備審驗合格清單資料問題

資料來源：NCC

在抓取臺灣型式認證資料庫的方式，最終採用標籤 LP（低功率射頻電機）與 Y1（完全射頻模組（組件））搭配認證年份，判斷是否過了 2023 年 8 月為過濾條件，過濾和調整出系統認可的臺灣型式認證資料庫。在研究的過程中，發現目前臺灣公開的型式認證資料有問題，導致無法準確的過濾出哪些才是真正符合 6GHz 認證的機種。

四、AP 和 OPEN AFC 連線測試

目前在國際上，AFC 營運商在和 AP 製造商做互通性測試時，所採用的規範為 Wi-Fi 聯盟所發布的 AFC 系統到 AFC 設備的介面規範（AFC System to AFC Device Interface Specification）¹⁰²，它詳盡敘述了網路架構、通信協定和資料格式，是本次測試重要的參考依據。

（一）連線機制說明

1. 網路架構

如圖 4-28 展示了三種 AP 連線類型，分別為 AP 透過代理

¹⁰² WI-FI ALLIANCE, AFC System to AFC Device Interface Specification v1.5

(Proxy) 連線 (Non-Standalone AP)、AP 直接連線 (Standalone AP) 和既有使用者設備 (Fixed Client Device)，並且針對規範所要定義的介面傳輸協定的部分以藍線做標示。

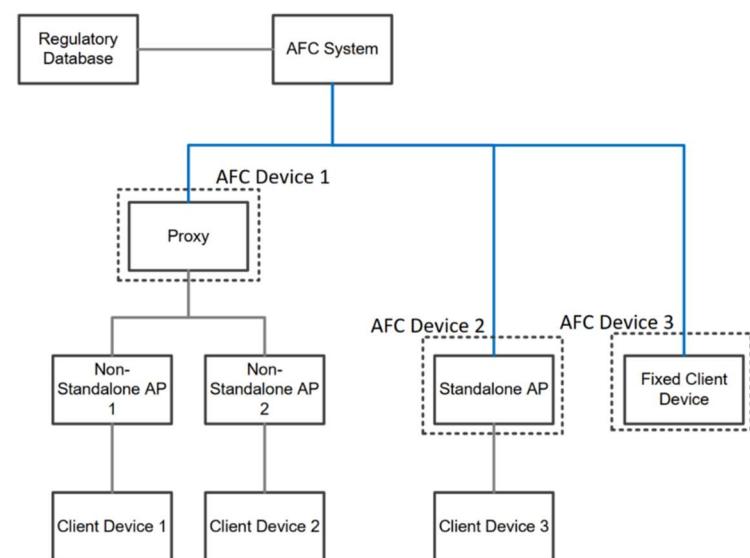


圖 4- 28、AFC 系統參考架構

資料來源：Wi-Fi 聯盟

2. 通信協定

AFC 設備需以超文本傳輸安全協定 (HyperTextTransfer Protocol, HTTPS) 協定的方式來與 AFC 系統建立連線。HTTPS 協定使用傳輸層安全性協定 (Transport Layer Security, TLS) 機制來驗證身分和連線加密，它的優點是能確保資料傳送到正確的伺服器、防止傳輸過程中不被竊取和竄改並且能大幅提高中間人攻擊 (Man-in-the-middle Attack, MITM) 的成本。

3. 資料格式

AFC 系統與設備間的所有訊息的資料格式都需使用程式腳本物件格式 (JavaScript Object Notation, JSON) 物件 (Object) 來產生，JSON 屬於一種輕量級的數據交換格式，是獨立於語言的文字格式，在設計上利於使用者閱讀與編寫，同時也易於機器解析與

生成。一個消息包含一個 JSON 物件，該物件可以是請求訊息、回應訊息或者是供應商擴充參數（Standalone Vendor Extension），這些物件內部的參數並不是每個都是必須的，規範對於這些參數存在（Parameter Presence）的定義如下：

- (1) 必需的(Required, R): 該參數應始終包含在它所屬的物件中。
- (2) 條件要求 (Conditionally-Required, CR): 如果指定的條件是該參數應包含在它所屬的物件中。
- (3) 條件可選 (Conditionally-Optional, CO): 當指定滿足條件，該參數可以包含在它所屬的物件中
- (4) 可選的 (Optional, O): 該參數可以隨時包含在它所屬的物件中。

AFC 系統與設備發送訊息的資料格式主要會分為可用頻譜請求訊息物件 (AvailableSpectrumInquiryRequest object) 如表 4- 13 所示與可用頻譜回應訊息物件 (AvailableSpectrumInquiryResponse object) 如表 4- 14 所示。

表 4- 13、AvailableSpectrumInquiryRequest object

欄位 (Fields)	存在 (Presence)	說明 (Descriptions)
名稱: RequestID 資料型態: 字串	R	用於標識可用頻譜實例的唯一 ID 查詢請求。該值在請求中應是唯一的訊息。
名稱: deviceDescriptor 資料型態: 物件: 裝置描述	R	此欄位包含 AP 或 Fixed Client 的訊息設備。
名稱: location 資料型態: 物件: 位置	R	此欄位描述 AP 或固定客戶端設備定位，包括位置不確定性。
名稱: inquiredFrequencyRange 資料型態: 物件陣列: 頻率範圍	CR	該欄位包含一個或多個頻率範圍，AP 或固定客戶端設備正在請求頻譜可用性。查詢頻率範圍和查詢通道之一或兩者應在場。如果存在查詢頻率範圍，則它表示 AFC 系統將提供可用頻譜基於頻率的訊息。

欄位 (Fields)	存在 (Presence)	說明 (Descriptions)
名稱：inquiredChannels 資料型態：物件陣列：通道	CR	該欄位包含一個或多個通道列表，AP 或固定客戶端設備正在請求頻譜可用性。查詢頻率範圍和查詢通道之一或兩者應在場。如果存在查詢通道，則表示 AFC 系統將提供可用頻譜訊息渠道的基礎。
名稱：minDesiredPower 資料型態：數字	O	該欄位包含以 dBm 為單位的最小所需 EIRP。該欄位可選地出現在查詢通道的查詢中；否則，它不存在。如果查詢通道的查詢是執行且此欄位不存在，AFC 系統應提供對所有可用的查詢通道的響應以任何功率。否則，如果存在最小期望功率，則 AFC 系統應提供所有可用的查詢通道使用等於或高於定義的最小期望功率。

資料來源：Wi-Fi Alliance

表 4- 14、AvailableSpectrumInquiryResponse object

欄位 (Fields)	存在 (Presence)	說明 (Descriptions)
名稱：requestId 資料型態：字串	R	用於標識可用頻譜查詢實例的唯一 ID 要求。該值應與提供的相同相應的可用頻譜查詢請求物件。
名稱：rulesetId 資料型態：字串	R	此欄位標識 AFC 使用的監管規則系統確定在此指示的頻譜可用性響應。 如果響應代碼指示 SUCCESS，則該欄位的值應等於其中一個認證編號物件中的規則集 ID 欄位相應的可用頻譜查詢請求物件。
名稱： availableFrequencyInfo 資料型態：物件陣列： 可用頻率資訊	CR	該欄位包含零個或多個可用頻率範圍及其相應的最大 EIRP 水平。為了保護現任者，在請求的頻率範圍的不同子部分可能需要不同的最大 EIRP 水平，因此一系列支援可用頻率資訊物件。 當且僅當在頻率基礎，AFC 系統支援基於頻率的請求，響應碼表

欄位 (Fields)	存在 (Presence)	說明 (Descriptions)
		示 SUCCESS。 禁止排放所有任何頻率範圍（對於例如，由於禁區）應被排除在外響應。AP 或固定客戶端設備有責任根據規定的光譜發射模板自行配置，例如，以確保符合排放的監管限制相鄰頻率，詳見可用定義光譜。 注意：如果數組大小為零，則表示沒有請求的頻率範圍可用於 AP 或固定客戶端設備。
名稱： availableChannelInfo 資料型態：物件陣列： 可用通道資訊	CR	該欄位包含零個或多個可用頻道及其相應的最大 EIRP 水平。保護現任者，可能需要不同的最高 EIRP 水平不同頻道；因此，一個陣列可用通道資訊支援物件。 當且僅當在通道基礎，AFC 系統支援基於通道請求，響應碼表示 SUCCESS。 與任何頻率範圍重疊的任何請求頻道禁止所有排放（例如，由於禁區）應從響應中排除。 注意：如果數組大小為零，則表示沒有請求的通道可用於 AP 或固定客戶端設備。
名稱： availabilityExpireTime 資料 型態：字串	CR	該欄位包含指定頻譜可用性的時間在響應中過期。 當且僅當響應代碼定義表示成功。 字串值應使用 UTC 表示並符合以下格式：格式：YYYY-MM-DDThh:mm:ssZ
名稱：response 資料型態：物件：響應	R	該欄位包含有關可用結果的訊息頻譜查詢。
名稱： vendorExtensions 資料型態：物件陣列： 供應商擴展	O	該欄位包含可選的供應商擴展。

資料來源：Wi-Fi Alliance

4. 訊息交換方式

依照規範對訊息交換的描述，可勾勒出 AFC 頻譜查詢的流程如圖 4-29，首先 AFC 設備會向 AFC 系統發送連線建立請求，當 HTTPS 的連線建立後，AFC 設備會發送頻譜查詢請求訊息，訊息裡面會夾帶頻譜請求的 ID、設備資訊（序列號、認證識別碼等）、地理資訊（經緯度、海拔高度等）、頻率查詢範圍、可用通道列表、最小需求的 EIRP 等物件參數，AFC 系統收到後會先判斷設備資訊中序列號與認證識別碼參數是否正確，如果正確就會進行可用頻率、可用通道與最大可使用 EIRP 的計算，然後把計算結果放進可用通道範圍資訊和可用頻率範圍資訊物件參數，如果過程中沒發生問題的話，回應碼（Response code）填 0 否則填-1 或其他問題代碼（由各廠商自行定義），最後和頻譜請求的 ID、AFC 系統可用的法規、可用頻譜的到期時間等物件參數一起填入頻譜查詢回應訊息，然後在把訊息回覆給 AFC 設備後，完成整個頻譜查詢流程。

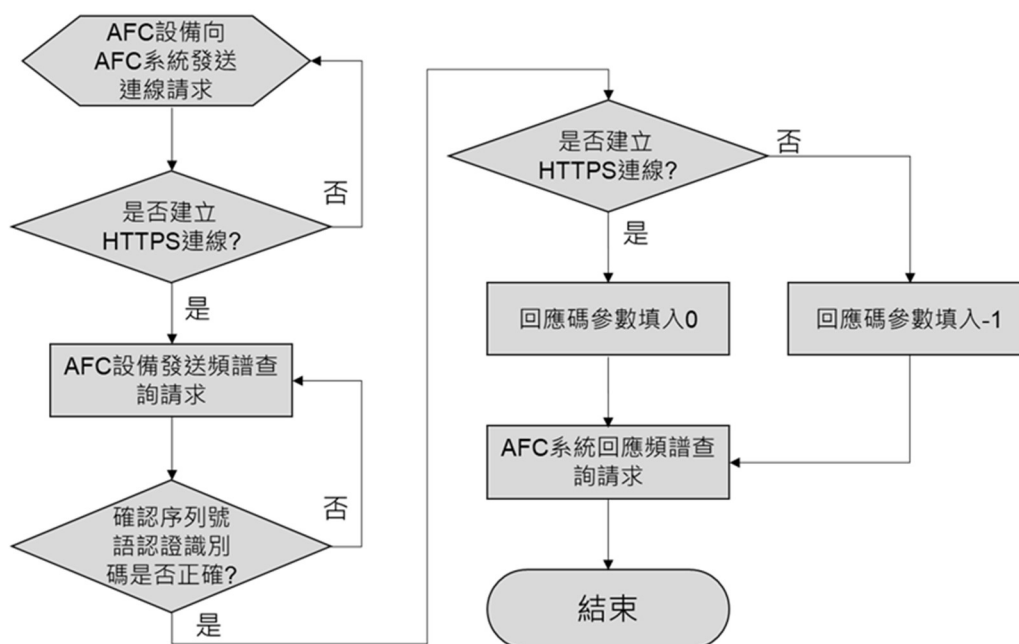


圖 4-29、頻譜查詢流程圖

資料來源：本研究整理

(二) 連線測試說明

AP 連線測試流程如圖 4- 30，AP 使用 HTTPS 協定來與 AFC 系統連線，當連線成功後就可以收到 AFC 系統回傳訊息，透過在 AP 指令介面上查詢，可以得知 AP 選用頻道與發射功率。



圖 4- 30、AP 連線流程

資料來源：本研究整理

測試環境如圖 4- 31 所示，本計畫使用訊舟科技開發中的 Wi-Fi 7 AP，CPU 採用四核 Arm Cortex-A73，具有大量內部暫存區，頻率高達 1.8GHz，處理能力接近每秒 30K 的整數計算能力 DMIPS（Dhrystone Million Instructions Per Second, DMIPS），支援 2.4GHz + 5GHz + 6GHz 三頻段連接和 Wi-Fi 7 功能，包括 320MHz 頻寬、4096QAM、多重頻段連接模式（Multi-link Operation, MLO）、多重資源單元（Multi-RU, MRU）和 AFC。

頻譜分析儀使用 Anritsu Field Master Pro MS2090A 手持式儀器，它具有 9 kHz 到 54 GHz 的連續頻率涵蓋範圍，特別設計來應對當今各種其他無線技術的測試挑戰，包括：5G、LTE、無線回程、航空/國防、衛星系統和雷達。詳細規格如下：

- 9 kHz 至 9/14/20/26.5/32/43.5/54 GHz
- DANL：-164 dBm（使用前級放大器）
- TOI：+20 dBm（典型值）
- 分析頻寬：110 MHz
- Amp 範圍：DANL 至 +30 dBm
- 1 GHz 的相位雜訊：-110 dBc/Hz，偏移為 100 kHz（典

型值)

- 解調：5G NR, LTE FDD/TDD, RF 以及調變品質和 SSB 訊號分析
- 解析度頻寬 (RBW)：1 Hz 至 10 MHz
- RTSA 頻寬：22, 55, 110 MHz (option dependent)
- 振幅準確度： $<14\text{ GHz} \pm 1.3\text{ dB}$ ($\pm 0.5\text{ dB}$ 典型值)
- 零展頻模式，最小頻寬為 60 ns



圖 4- 31、測試環境

資料來源：本研究整理

(三) 測試結果

對 AP 下達發送指令後的請求可用頻譜和發射功率訊息如圖 4-32 所示。

對 AP 下達查詢選用頻道指令如圖 4-35 所示，將紅框處 36 的數值除以 2 即為 AP 選用的發射功率 18dBm，這是因為發射功率受限硬體限制，目前最大只能 18dBm (conducted power)，故而做此調整。

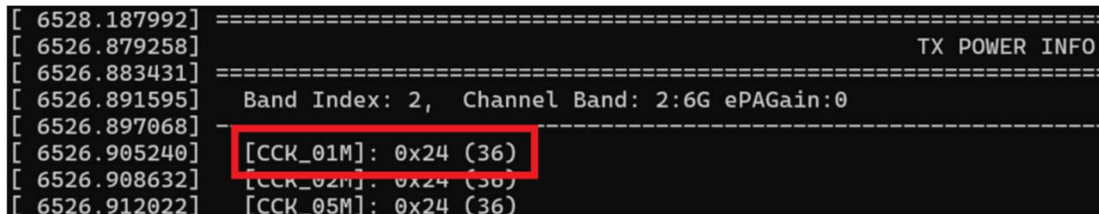


圖 4-35、AP 選用功率資訊

資料來源：本研究整理

如圖 4-36 為頻譜分析儀量測結果，中心頻率 6855MHz 與 AP 選用頻率相同；發射功率 17.92dBm (conducted power)，與 AP 選用發射功率 18dBm 接近。

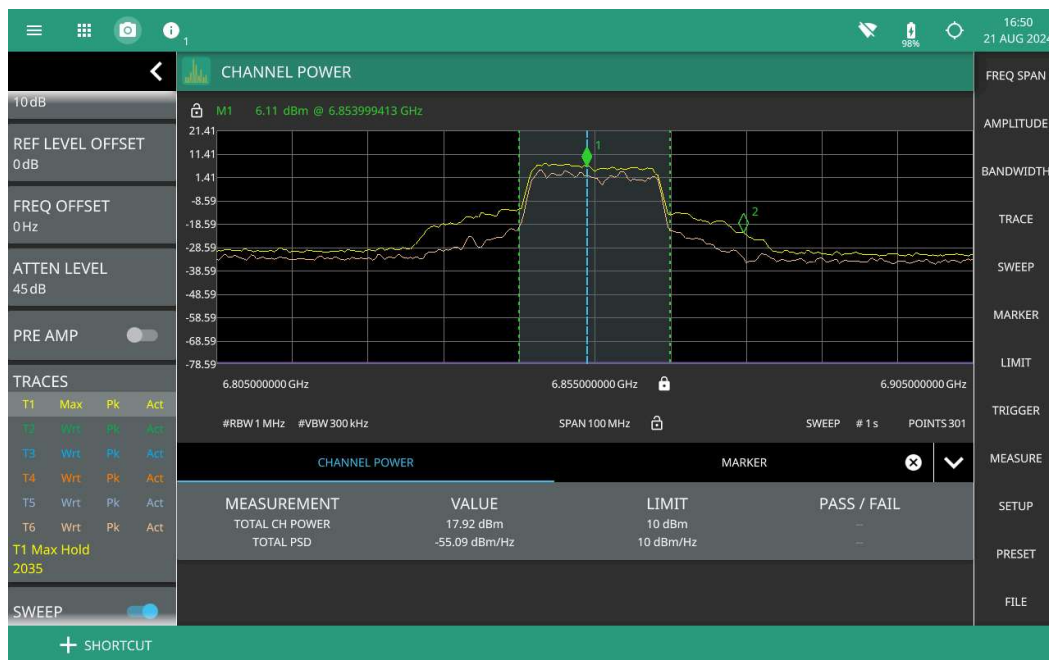


圖 4-36、頻譜分析量測結果圖

資料來源：本計畫整理

五、資安防護專案研析

(一) ULS 資料庫資安專案研析

1. 未經授權的資料接取

此威脅涉及未經授權的個人或系統獲得對 ULS 資料庫的訪問權限。攻擊者可能利用系統漏洞或盜取認證資訊來進行非法接取。主要風險包括：

- 敏感資訊洩露：ULS 資料庫包含既有站臺的詳細資訊，如位置、頻率分配和設備規格，這些資料若被洩露，可能導致既有站臺的通信弱點被暴露，增加被干擾的風險；頻譜使用模式被分析，可能影響未來頻譜規劃和分配的保密性，危及既有站臺營運商的商業機密。
- 資料被非法修改：攻擊者可能篡改資料庫中的資訊，這可能：影響 AFC 系統決策的準確性，導致頻譜分配錯誤造成既有站臺和新站臺之間的干擾問題，干擾監管機構對頻譜使用的有效管理。

2. 資料傳輸安全風險

在資料在網路上傳輸時，可能遭受攔截或篡改。主要威脅如下：

- 中間人攻擊：攻擊者可能在傳輸過程中攔截並修改資料，導致 AFC 系統接收到錯誤的站臺資訊，影響頻譜分配決策；站臺位置資訊被篡改，可能導致錯誤的干擾計算；頻率分配資訊被竄改，造成實際使用與記錄不符。
- 資料竊聽：未加密的資料可能被第三方讀取，可能導致站臺配置資訊洩露，影響既有站臺的營運安全；頻譜使用模

式被分析，可能被用於預測未來的頻譜分配策略；使用者認證資訊被截獲，增加系統被進一步入侵的風險。

3. API 安全威脅

由於 ULS 資料庫主要透過 API 提供服務，API 的安全性至關重要。潛在威脅包括：

- API 濫用：攻擊者可能透過頻繁的 API 調用來消耗系統資源，可能導致 AFC 系統響應變慢，影響即時頻譜分配的效率；系統資源耗盡，可能導致合法請求無法處理；掩蓋其他惡意活動，如嘗試暴力破解認證。
- 未經授權的 API 接取：可能導致敏感的站臺資訊被非法獲取；未經授權的頻譜分配請求被處理，干擾正常的頻譜管理；系統配置資訊洩露，增加系統被進一步攻擊的風險。

4. 跨站腳本攻擊 (XSS)

XSS 攻擊涉及將惡意腳本注入到網頁中，當其他用戶訪問該頁面時執行。在 ULS 資料庫的上下文中，可能導致：

- 用戶資料被竊取：管理員的登入憑證可能被盜取，導致系統被完全控制；頻譜使用者的個人資訊可能被竊取，影響隱私保護；會話令牌被盜用，攻擊者可以冒充合法用戶。
- 惡意操作被執行：攻擊者可能利用受害者的權限修改站臺資訊；可能插入虛假的頻譜分配請求，干擾 AFC 系統的正常運作；修改用戶界面，誤導用戶執行不當操作。

5. 資料完整性威脅

此類威脅涉及 ULS 資料庫中資料的準確性和一致性被破壞。包括：

- 惡意資料修改：站臺位置資訊被篡改，導致錯誤的干擾計算；頻率分配記錄被修改，可能導致頻譜重複分配或空間；設備參數被竄改，影響 AFC 系統的決策準確性。
- 資料損壞：系統故障可能導致部分資料遺失，影響 AFC 系統的全面性；資料庫同步錯誤可能導致不同節點之間的資訊不一致；軟體錯誤可能導致資料格式錯誤，影響系統的正常讀取和處理。

6. 拒絕服務攻擊 (DoS)

DoS 攻擊旨在使系統無法為合法用戶提供服務。在 ULS 資料庫的情境下：

- 分散式拒絕服務攻擊 (DDoS)：可能導致 AFC 系統無法及時處理頻譜分配請求；可能影響既有站臺資訊的及時更新，導致頻譜管理決策基於過時資料；系統維護和監控功能可能受到影響，增加其他安全風險。
- 資源耗盡：針對性的複雜查詢可能耗盡資料庫資源，影響整體系統性能；儲存空間可能被惡意數據填滿，影響新資料的寫入和更新；網路頻寬可能被佔用，影響遠端接取和資料同步。

(二) 臺灣既有站臺資料庫資安防護實作

1. 授權機制實作

為確保既有站臺資料庫的安全性和資料接取的適當控制，在 MemberController 中實施了基於角色的授權機制。此機制在用戶登入時被調用，並根據用戶的權限 ID (PID) 分配相應的訪問權限。

(1) 權限級別設計

本研究設計了以下權限級別：

- PID 0：管理員權限，擁有所有訪問權限。
- PID 1：普通用戶權限，可查看數據表格。
- PID 2：特定用戶權限，可進行登入、登出和下載文件操作。

(2) 權限實施方法

權限控制透過 `getAbilitiesForPid` 方法實現：

```
private function getAbilitiesForPid ($pid)
{
    switch ($pid) {
        case 0: //admin
            return ['*']; // 擁有所有訪問權限
        case 1: //user
            return ['user:getDataTable']; //可查看數據表格
        case 2: //specific user
            return ['user:download']; //可進行登入、登出和下載文件操作
        default:
            return []; // 無權限
    }
}
```

此方法根據用戶的 PID 分配相應的權限。管理員擁有所有權限，普通用戶可以查看數據表格，而特定用戶則有下載文件的權限。

(3) 登入過程中的權限分配

在用戶登入過程中，調用 `getAbilitiesForPid` 方法來分配相應的權限：

```

public function login ( Request $request )
{
    // 驗證邏輯...

    $abilities = $this->getAbilitiesForPid ( $member->pid ) ;
    $tokenName = 'auth_token_'. $member->pid;

    $token = $member->createToken ( $tokenName, $abilities, now ( 'Asia/Taipei' ) -
    >addMinutes ( 60 ) ) ;
    $plainTextToken = $token->plainTextToken;

    // 記錄登入事件
    Log::channel ( 'api' ) ->info ( 'Api 使用紀錄：使用者已登入',[
        'data' => [
            'id' => $member->id,
            'username' => $member->username,
            'pid' => $member->pid,
            'token' => $token->accessToken->id,
        ],
    ] ) ;

    // 返回回應...
}

```

這個過程確保了每個用戶在登入時都會獲得與其 PID 相對應的適當權限。

(4) 權限檢查的使用

權限檢查是透過 Laravel Sanctum 的 token abilities 功能實現的。在需要進行權限檢查的路由或控制器方法中，使用中間件來實施權限檢查：

```

Route::middleware ( ['auth:sanctum', 'ability:user:getDataTable'] ) ->get ( '/datatables',
[MemberController::class, 'getDataTables'] ) ;

Route::middleware ( ['auth:sanctum', 'ability:user:download'] ) ->get ( '/download',
[MemberController::class, 'downloadFile'] ) ;

```

這確保了只有具有相應權限的用戶才能訪問特定的路由或功能。

(5) API 請求速率限制

為防止 API 濫用，實施了請求速率限制：

```
RateLimiter::for ('api', function (Request $request) {  
    return Limit::perMinute (60) ->by ($request->user () ?->id ?: $request->ip ());  
});
```

這限制了每個用戶或 IP 每分鐘可以發送的請求數量，有效防止了潛在的 API 濫用攻擊。

2. CSP 實施與監控

為了有效防禦跨站腳本攻擊 (XSS) 和其他注入攻擊，實施了嚴格的內容安全策略 (Content Security Policy, CSP)。同時，建立了相應的監控機制，以確保政策的有效執行並及時發現潛在的安全威脅。

(1) CSP 配置

在 Nginx 配置中添加了以下 CSP header：

```
add_header Content-Security-Policy "  
    default-src 'self';  
    connect-src 'self' https://60.248.120.27:8081;  
    script-src 'self';  
    style-src 'self' 'unsafe-inline';  
    font-src 'self' https://netdna.bootstrapcdn.com;  
    report-uri https://60.248.120.27:8081/api/csp-report;  
" always;
```

這個配置具有以下特點：

- `default-src 'self'`：限制所有資源默認只能從當前域名

載入。

- `connect-src`：允許 AJAX 請求連接到指定的 API 端點。
- `script-src 'self'`：限制 JavaScript 只能從當前域名載入，防止遠程腳本注入。
- `style-src`：允許內聯樣式，但外部樣式表僅限當前域名。
- `font-src`：允許從指定的 CDN 載入字體檔案。
- `report-uri`：指定 CSP 違規報告的提交地址。

(2) CSP 違規報告處理

為了處理 CSP 違規報告，實作專門的路由和控制器：

```
Route::post ('/csp-report', [CSPReportController::class, 'handleReport'])
->middleware ('csp.report');
```

`CSPReportController` 的 `handleReport` 方法負責接收和處理這些報告：

```
public function handleReport (Request $request)
{
    $report = json_decode ($request->getContent (), true);
    Log::channel ('security') ->warning ('CSP 違規', $report);
    return response () ->json (['message' => 'CSP 報告已接收'], 204);
}
```

(3) CSP 報告驗證中間件

為確保 CSP 報告的真實性和有效性，我們實作了 `CSPReportMiddleware`：

```
class CSPReportMiddleware
{
    public function handle (Request $request, Closure $next)
```



```

{
    $allowedSources = Config::get ('csp.allowed_sources', []);
    $referer = $request->header ('Referer');

    if (! $referer || ! $this->isAllowedSource ($referer, $allowedSources)) {
        Log::channel ('security') ->warning ('未授權的 CSP 報告來源',[
            'referer' => $referer,
            'ip' => $request->ip (),
        ]);
        return response ('未授權的來源', 403);
    }

    if ($request->header ('Content-Type') !== 'application/csp-report') {
        Log::channel ('security') ->warning ('無效的 CSP 報告內容類型',[
            'content-type' => $request->header ('Content-Type'),
            'ip' => $request->ip (),
        ]);
        return response ('無效的內容類型', 400);
    }

    $report = json_decode ($request->getContent (), true);
    if (! $this->isValidCSPReport ($report)) {
        Log::channel ('security') ->warning ('無效的 CSP 報告結構',[
            'report' => $report,
            'ip' => $request->ip (),
        ]);
        return response ('無效的 CSP 報告', 400);
    }

    return $next ($request);
}

// 檢查給定的 referer 是否為允許的來源。
private function isAllowedSource ($referer, $allowedSources)
{
    return collect ($allowedSources) ->contains (function ($source) use
($referer) {
        return str_starts_with ($referer, $source);
    });
}

```

```

    });
}

// 驗證 CSP 報告的結構。
private function isValidCSPReport ($report)
{
    if (!is_array ($report) || !isset ($report['csp-report'])) {
        return false;
    }

    $requiredFields = ['document-uri', 'referrer', 'violated-directive', 'effective-directive',
'original-policy'];

    foreach ($requiredFields as $field) {
        if (!isset ($report['csp-report'][$field])) {
            return false;
        }
    }

    return true;
}
}

```

(4) CSP 違規監控與分析

建立一個專門的日誌通道來記錄 CSP 違規事件：

```

'channels' => [
    'security' => [
        'driver' => 'daily',
        'path' => storage_path ('logs/security.log') ,
        'level' => 'warning',
        'days' => 32,
    ],
],

```

定期分析這些日誌，以識別潛在的攻擊模式和安全漏洞。

3. 日誌記錄系統

為了增強系統的安全性、可追溯性和問題診斷能力，實施了一個全面的日誌記錄系統。這個系統記錄了關鍵的系統事件和用戶活動，有助於識別潛在的安全威脅和系統異常。

(1) 日誌配置

採用了以下日誌配置策略：

```
'api' => [  
  'driver' => 'daily',  
  'path' => storage_path('logs/api.log'),  
  'level' => 'info',  
  'days' => 32,  
  'replace_placeholders' => true,  
],
```

這個配置具有以下特點：

- 使用名為'api'的自訂日誌頻道，專門用於記錄 API 與其相關的活動。
- 採用每日日誌檔案策略，便於管理和分析。
- 日誌級別設置為'info'，允許記錄 info 及以上級別の日誌，確保重要資訊不會被遺漏。
- 日誌保留期為 32 天，符合每月進行一次日誌導出的操作需求，同時保留足夠的歷史數據供分析。

(2) 用戶活動日誌

詳細記錄了用戶的關鍵活動，特別是登入和登出事件：

```
Log::channel('api')->info('Api 使用紀錄：使用者已登入',[  
  'data' => [  
    'id' => $member->id,
```

```

        'username' => $member->username,
        'pid' => $member->pid,
        'token' => $token->accessToken->id,
    ],
    1) ;

```

這種詳細的紀錄有助於追蹤用戶行為，識別可疑活動，並在發生安全事件時進行調查。

(3) API 使用日誌

透過中間件，記錄了所有 API 的使用情況：

```

$logData = [
    'user_id' => $userId,
    'method' => $request->method ( ) ,
    'url' => $request->fullUrl ( ) ,
    'ip' => $request->ip ( ) ,
];
Log::channel ('api') ->info ('API 使用記錄', $logData) ;

```

這些記錄有助於監控 API 的使用模式，檢測異常行為，並最佳化系統性能。

(4) 自動日誌導出

為確保長期數據保存和分析，實施了每月自動導出日誌的功能：

```

$schedule->call ( function ( ) {
    app ( ) ->make (LogController::class) ->exportLogs ( ) ;
}) ->monthly ( ) ;

```

這個功能不僅確保了日誌數據的長期保存，還便於每月的日誌分析和報告生成。

(5) 使用者操作詳細日誌

對一些敏感性操作進行了更詳細的日誌記錄，例如：

```
Log::channel ('api') ->info ('Api 使用紀錄：管理員新增用戶',[  
    'data' => [  
        'id' => $member->id,  
        'username' => $member->username,  
        'pid' => $member->pid,  
    ],  
    'action_by' => [  
        'id' => $request->user () ->id,  
        'username' => $request->user () ->username,  
    ],  
]);
```

這種詳細的紀錄對於稽核、合規性檢查和安全事件調查至關重要。

4. HTTPS 與安全配置

(1) SSL/TLS 配置

為確保數據傳輸的安全性和隱私性，在 Nginx 中實施了嚴格的 SSL/TLS 配置。這些設置不僅提供了強大的加密保護，還確保了與現代瀏覽器和用戶端的最佳相容性。

(2) 協議和加密套件設置

在 Nginx 配置文件中，添加了以下設置：

```
ssl_protocols TLSv1.2 TLSv1.3;  
ssl_prefer_server_ciphers on;  
ssl_ciphers 'ECDHE-ECDSA-AES128-GCM-SHA256:ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256:ECDHE-ECDSA-AES256-GCM-SHA384:ECDHE-RSA-AES256-GCM-SHA384:ECDHE-ECDSA-CHACHA20-POLY1305:ECDHE-RSA-CHACHA20-POLY1305:DHE-RSA-AES128-GCM-SHA256:DHE-RSA-AES256-GCM-SHA384:DHE-RSA-CHACHA20-POLY1305';
```

這些設置的詳細說明如下：

- `ssl_protocols TLSv1.2 TLSv1.3;`：僅允許 TLS 1.2 和 TLS 1.3 協議。這兩個協議是目前最安全的 TLS 版本，禁用了較舊的、不安全的協議版本。
- `ssl_prefer_server_ciphers on;`：優先使用伺服器定義的加密套件順序，而不是用戶端的順序。這確保了使用最安全的加密套件。
- `ssl_ciphers '...';`：定義了一系列強加密套件，按優先順序排列。這些套件包括：
 - ECDHE-ECDSA 和 ECDHE-RSA：提供完美前向保密（Perfect Forward Secrecy）
 - AES-GCM：高效的認證加密模式
 - CHACHA20-POLY1305：為某些設備提供更好的性能
 - DHE-RSA：作為 ECDHE 的備選方案

(3) SSL 會話處理

為了最佳化性能和安全性，添加了以下配置：

```
ssl_session_timeout 1d;
ssl_session_cache shared:SSL:10m;
ssl_session_tickets off;
```

這些設置的作用是：

- `ssl_session_timeout 1d;`：SSL 會話的最大持續時間為 1 天，平衡了安全性和效率。
- `ssl_session_cache shared:SSL:10m;`：設置一個 10MB 的共享 SSL 會話快取，提高了 SSL 握手的效率。
- `ssl_session_tickets off;`：禁用 SSL 會話票證，增強了前向保密性。

(4) HSTS 實施

HTTP 嚴格傳輸安全（HTTP Strict Transport Security, HSTS）是一項重要的網路安全政策機制，在系統中實施了 HSTS 以進一步加強安全性。

(5) HSTS 配置

在 Nginx 配置中添加了以下 HSTS 標頭：

```
add_header Strict-Transport-Security "max-age=31536000; includeSubDomains" always;
```

這個配置的詳細說明如下：

- `max-age=31536000`：指定 HSTS 策略的有效期為一年（31536000 秒）。
- `includeSubDomains`：使 HSTS 策略適用於當前域名及其所有子域名。
- `always`：確保 HSTS 標頭始終被添加到響應中，包括錯誤響應。

(6) 實施影響

實施 HSTS 帶來了以下安全優勢：

- **防止 SSL 剝離攻擊**：HSTS 能有效防止攻擊者將 HTTPS 連接降級為不安全的 HTTP 連接。
- **減少用戶錯誤**：即使用戶不小心嘗試使用 HTTP 訪問網站，HSTS 也會自動將連接升級為 HTTPS。

(7) 4.3 Nginx 安全措施

- IP 過濾

為防止惡意訪問，實施了 IP 白名單和黑名單機制：

```
# 白名單配置
allow 60.248.120.0/24;
allow 140.113.194.248;
allow 60.249.142.114;
deny all;

# 黑名單配置
deny 205.210.31.0/24;
deny 95.214.27.0/24;
# [省略部分 IP...]
```

這些配置有效阻止了已知的惡意 IP 位址，同時確保授權 IP 可以正常訪問系統。

(8) 自動化證書管理

為提高系統管理效率和安全性，開發了自動化證書生成和更新腳本：

```
#!/bin/bash

# 設置變數
IP="60.248.120.27"
KEY_FILE="/etc/ssl/private/nginx-selfsigned.key"
CERT_FILE="/etc/ssl/certs/nginx-selfsigned.crt"
DAYS=365

# 創建 OpenSSL 配置文件
cat > /tmp/openssl.cnf <<EOF
[req]
default_bits = 2048
prompt = no
default_md = sha256
x509_extensions = v3_req
distinguished_name = dn
```

```
[dn]
C = TW
ST = Taiwan
L = Kaohsiung
O = Telecom Technology Center
OU = Testing and Network Communications Technology Division
CN = $IP

[v3_req]
subjectAltName = IP:$IP
keyUsage = critical, digitalSignature, keyEncipherment
extendedKeyUsage = serverAuth
EOF

# 生成證書和私鑰
sudo openssl req -x509 -nodes -days $DAYS -newkey rsa:2048 \
    -keyout $KEY_FILE -out $CERT_FILE \
    -config /tmp/openssl.cnf

# 設置適當的權限
sudo chmod 644 $CERT_FILE
sudo chmod 600 $KEY_FILE

# 清理臨時文件
rm /tmp/openssl.cnf

# 顯示證書訊息
echo "Certificate details:"
openssl x509 -in $CERT_FILE -text -noout | grep -E "Subject:|IP Address:"
```

此腳本自動化了證書生成過程，可以快速地進行自簽證書的更新，確保系統始終使用有效的 SSL/TLS 證書。

第二節 和諧有效使用機制實測評估

有鑑於各國陸續對 6 GHz 頻段進行頻譜管理規劃，至今超過 70 個以上的國家正採以全部、部分開放頻譜政策，來提供免授權裝置所使用。此頻譜的釋出將主要受惠當前 Wi-Fi 6E 裝置的發展，其系統採以 IEEE 802.11ax 協定，能在更寬裕的 6 GHz 頻譜資源下提升裝置連接效益。當前各國 6 GHz 頻譜開放政策請參照圖 4-37 所示。

我國既有使用者，依據 ITU 無線電管理規則 6 GHz 頻段（5925 MHz 至 7125 MHz）在第三區分配給予固定微波通信、衛星固定通信、行動通信等業務使用。我國除前述業務使用外，亦分配 6336 MHz - 7920 MHz 給予超寬頻（Ultra Wide Band, UWB）技術之低功率射頻電機於次要條件下使用。

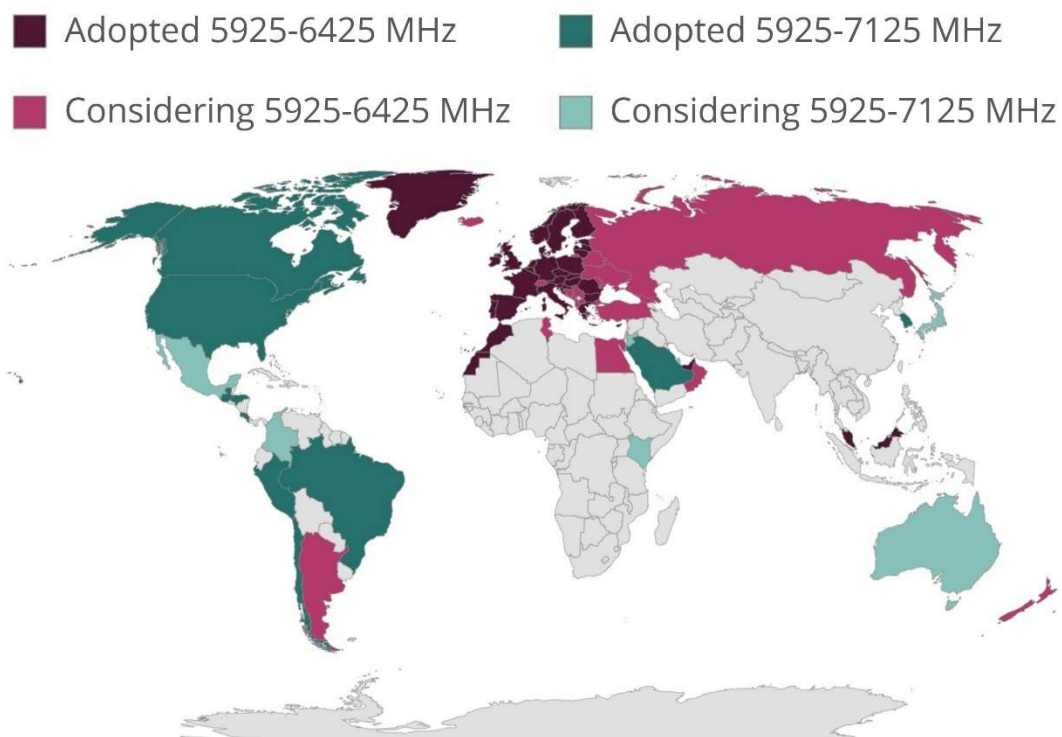


圖 4-37、各國 6 GHz 頻譜開放政策

資料來源：Wi-Fi-Alliance

為了確保我國在未來 6G 通信技術之頻譜的和諧共存，勢必須審慎評估有限頻譜資源中之共存的可行性，研析如何確保既有通信系統

不受新興訊號干擾而導致效能劣化。為此將執行 6 GHz 既有使用者固定業務站臺之干擾評估實測，該干擾作業，將著重於 Wi-Fi 6E 標準功率裝置對於微波點對點固定業務之干擾實測。

針對和諧有效使用機制實測評估，本年度規劃為兩大專案，上半年度為量測點評估。量測點評估透過儀器量測候選量測點，再由量測數據分析候選量測點有哪些是可以作為干擾測試用點，下半年度則為 AFC 設備對既有鏈路干擾實測。AFC 設備對既有鏈路干擾實測透過 AFC 設備對既有鏈路進行干擾，而後從業者系統後臺數據分析其干擾情形其示意圖如圖 4-38 所示，於本計畫中，將提供我國未來 6 GHz 頻譜有效和諧共用建議，避免干擾既有使用者，達成頻譜有效和諧共用，同時增進國內消費者權益與促進未來資通產業發展。以下兩項將會針對工作專案進行詳細說明。



圖 4-38、干擾實測方式

資料來源：本研究整理

一、量測點評估

根據 AFC 系統機制，由於 AFC 系統會以城市型態、距離以及可視站臺與不可視站臺來決定給出的設定參數，因此在選擇干擾測試鏈路所在之城市型態基本上分為三種，分別為市區、郊區以及鄉村，而在距離上的分配則為干擾端在微波天線為中心距離 30m、30~1000m 與 1000m 以上，其次每個區間還分為可視站臺 LoS (Line of Sight) 與不可視站臺 (None Line of Sight) 共六種情境，如圖 4-50

示意圖所示，以下將對於評估設備、站點選用以及現場量測情況更進一步的說明。

(一) 場勘設備介紹

本計畫干擾測試場地評估採用評估設備如下：

1. 頻譜分析儀（MS2720T Spectrum Master）

頻譜分析儀（MS2720T Spectrum Master）如圖 4- 39 所示，其規格如下表 4- 15。

表 4- 15、MS2720T Spectrum Master 規格表

頻率範圍	9 kHz ~ 20 GHz
動態範圍	>106 dB，1 Hz 頻寬，2.4 GHz 下
相位雜訊：	-112 dBc/Hz，10 kHz 偏差，1 GHz 下
射頻接頭：	N（f）用於選件 709、713 和 720。強化型 K（m）用於選件 732 和 743
輸入衰減	0 到 65 dB（5 dB steps）
振幅精準度	±0.5 dB 標準值
頻率精準度	Aging: ± 1.0 ppm/10 年 Accuracy: ± 0.3 ppm（25°C ± 25°C）+ aging

資料來源：本研究整理



圖 4- 39、MS2720T Spectrum Master

資料來源：本研究整理

2. 雙脊寬頻喇叭天線 (Double Ridged Broadband Horn Antenna)

雙脊寬頻喇叭天線型號為 BBHA 9120 D 如圖 4- 41 所示，其規格如下表 4- 16，天線場型圖如圖 4- 40 所示。

表 4- 16、雙脊寬頻喇叭天線 (BBHA 9120 D) 規格表

標稱頻率範圍：	1 GHz - 18 GHz
可用頻率範圍：	0.8 GHz - 18 GHz
極化：	linear
場型類型：	directional
材料：	Aluminium
增益：	11.86dBi@6000GHz
連接器：	N - female
阻抗：	50 Ω nominal
長度：	195 (408) mm
寬度：	250 mm
高度：	142 mm
重量：	1.4 kg

資料來源：本研究整理

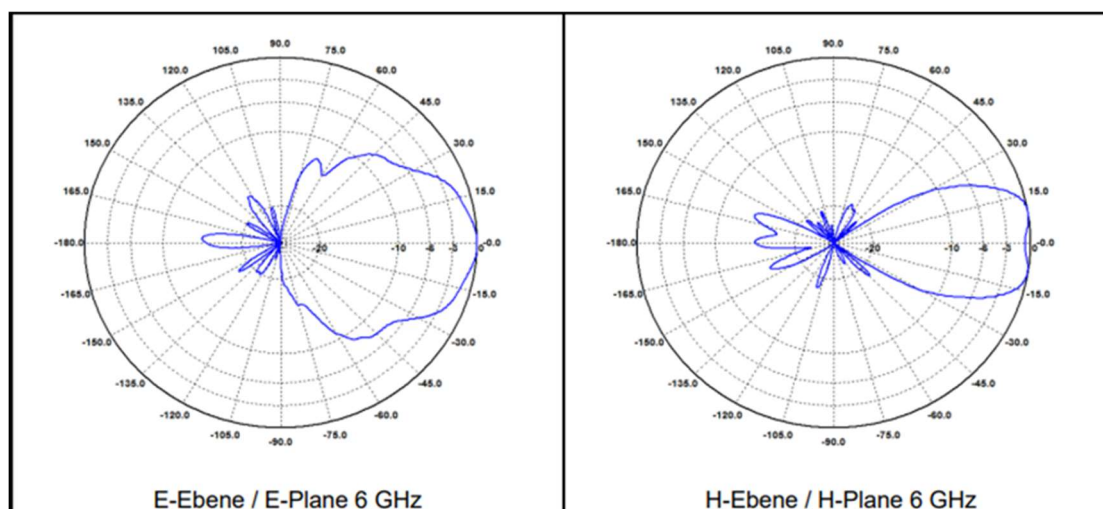


圖 4- 40、天線場型圖

資料來源：本研究整理

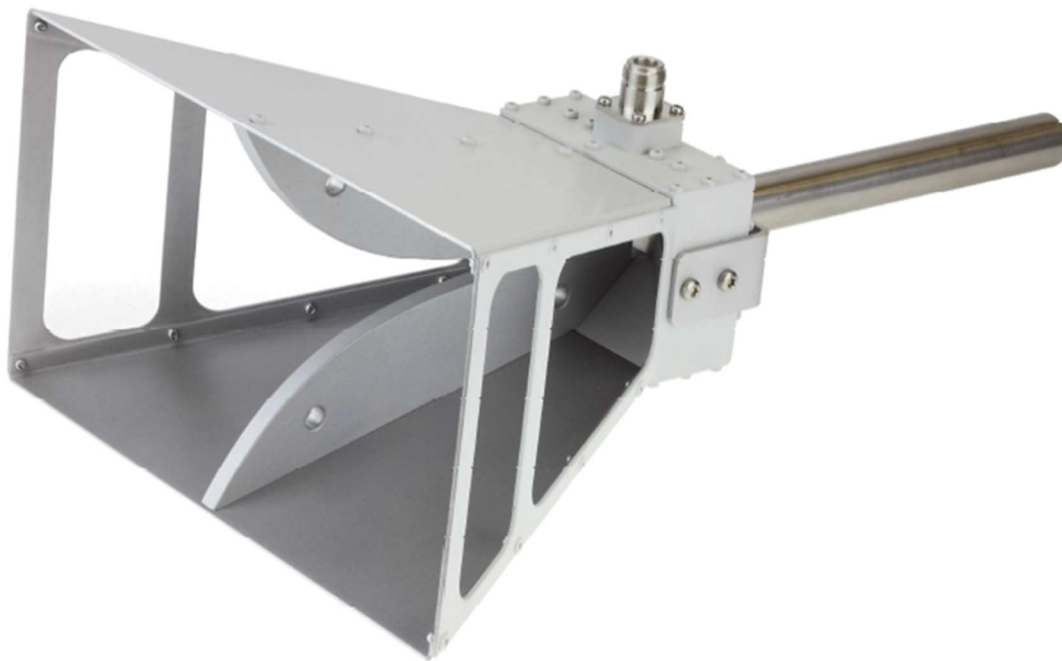


圖 4- 41、雙脊寬頻喇叭天線（BBHA 9120 D）

資料來源：本研究整理

3. 帶通濾波器（Bandpass Filter）

帶通濾波器型號為 VBFZ-6260-S+如圖 4- 42 所示，其規格如下表 4- 17。

表 4- 17、帶通濾波器（VBFZ-6260-S+）規格表

產品:	Bandpass Filters - BPF
頻率:	5.6 GHz to 7 GHz
頻寬:	1400 MHz
阻抗:	50 Ohms
終端類型:	SMA
最低工作溫度:	- 55 C

資料來源：本研究整理



圖 4- 42、帶通濾波器（VBFZ-6260-S+）

資料來源：本研究整理

4. 寬頻低雜訊放大器（Wideband Low Noise Amplifier）

寬頻低雜訊放大器型號為 ZX60-83LN-S+如圖 4- 43 所示，其規格如下表 4- 18。

表 4- 18、寬頻低雜訊放大器（ZX60-83LN-S+）規格表

資料來源：本研究整理

工作電源電壓	6 V
安裝風格	Screw
技術	Si
系列	ZX60
最低工作溫度	- 40 C
最高工作溫度	+ 85 C
運作供電電流	77 mA
增益	19.2 dB
操作頻率	500 MHz to 8 GHz
輸入返回損耗	6.1 dB
類型	Low Noise Amplifiers
NF - 雜訊圖標	2.2 dB
OIP3 - 三階交調	28.5 dBm
P1dB - 壓縮點	18 dBm



圖 4-43、寬頻低雜訊放大器 (ZX60-83LN-S+)

資料來源：本研究整理

(二) 候選干擾測試鏈路挑選與規劃

該技術實驗研發專用電信網路計畫，將著重於 Wi-Fi 6E 裝置（使用 AFC 系統之參數配置）對於固定微波業務之干擾實測與研析。固定微波業務雖具高指向性，但當干擾端在微波天線正前方並可視距（Light of Sight, LoS）之長距離條件，透過如下公式（1）偏軸角公式得知隨著干擾端（Wi-Fi AP）與微波天線水平距離（d）加大其對微波天線之偏軸（off-axis）角度將逐漸縮小，最後將趨近於 0 度，於此將面對微波接收端之天線增益遞增至近乎最大峰值。可預期在與距離相關的等式條件下，受干擾功率由於天線場型關係可能在某一距離長度下反而遞增上來，隨之因自由空間損耗而再慢慢減緩干擾效應，設置情境與試算結果如圖 4-44 與圖 4-45 所示。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{x}{d} \right) \dots \dots \dots (1)$$

x：干擾端與微波天線主軸的垂直距離

d：干擾端到微波天線的水平距離

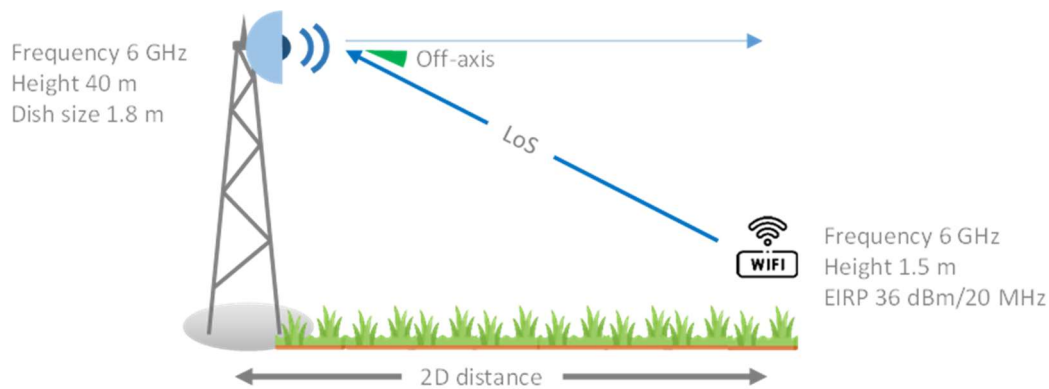


圖 4- 44、微波與 Wi-Fi LoS 傳播情境條件

資料來源：本研究整理

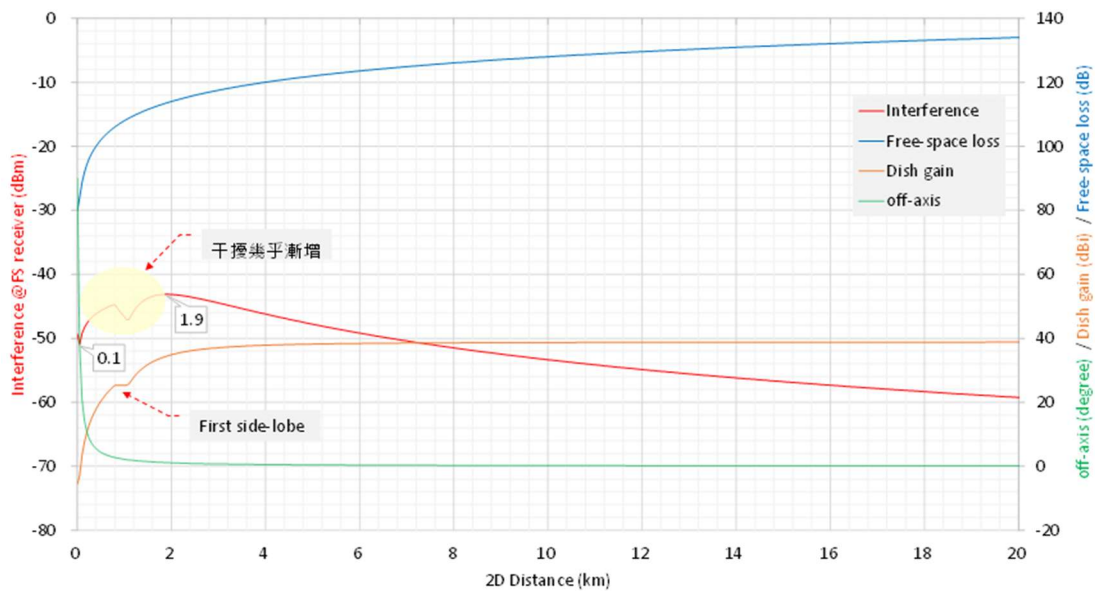


圖 4- 45、LoS 情境試算結果

資料來源：本研究整理

固定微波業務站臺的選址將盡可能以容易受干擾的特徵作為候選優先，如較小接收功率者、訊號調變度高、接收訊雜比差者，天線高度低、採垂直極化接收與地域附近人口密度高等其他特徵。干擾情境分為市區站臺、郊區站臺以及鄉村站臺，干擾端在微波天線為中心距離 30m、30~1000m 與 1000m 以上各取兩個測試點進行干擾測試，其兩個測試點又分成 LoS (Line of Sight) 與 NLoS (None Line of Sight) 來進行測試。如圖 4- 46 所示。干擾站亦將預先透過 Google Earth 視域分析，如圖 4- 47 所示，作為 LoS (Line of Sight)

與 NLos (None Line of Sight) 站臺干擾發射處評估位址，盡可能靠近於兩固定微波業務站址間之地表量測線。如此在較小水平方位角角差下 (± 6 度內)，有機會獲取較小偏軸角之可能，以提高受干擾微波站上之易於觀察的干擾訊號現象，藉此而補償因建物或地勢阻擋造成電波衰落問題。

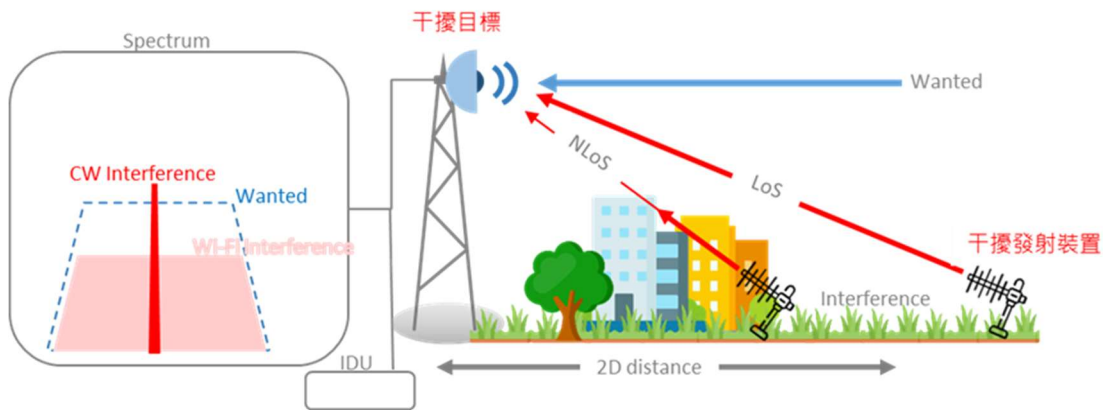


圖 4- 46、干擾實測方式

資料來源：本研究整理



圖 4- 47、視域分析

資料來源：本研究整理

干擾端的設置，基於 AFC 系統給出之參數（使用頻率及發射功率）設定於干擾測試裝置如圖 4-48，並發射連續標準 Wi-Fi 波形向微波站之天線進行干擾。透過業者後臺系統可輕易觀察到訊號變化情形，以此提供評估受干擾影響程度，從而得知 AFC 系統對

於頻譜有效和諧共用機制是否有效。其整體作業流程如下述流程作業說明如圖 4- 49 。



圖 4- 48、移動型發射電臺發射端架構

資料來源：本研究整理

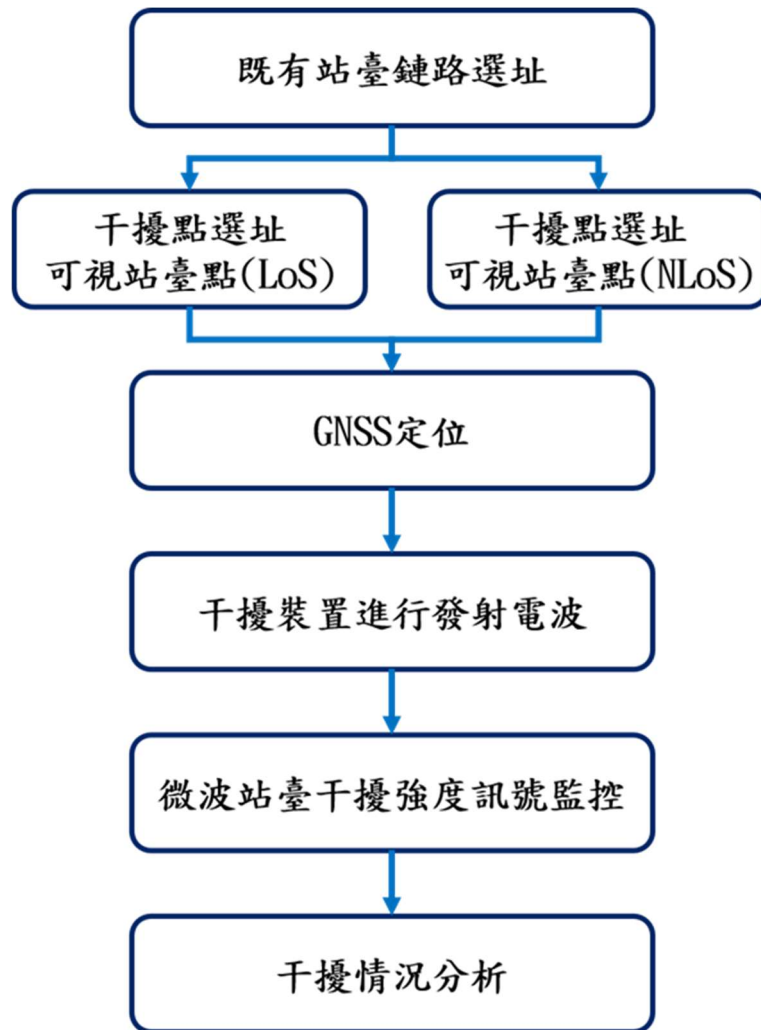


圖 4- 49、干擾作業流程圖

資料來源：本研究整理

1. 流程作業說明：

(1) 固定微波業務站臺選址

- 1.1 可干擾之站點鏈路，且有提供後臺干擾資訊站點。
- 1.2 紀錄站臺當下接收頻率、頻寬、調變方式、訊號品質、容許最低接收功率和連續紀錄接收功率變化，並了解站臺接收系統底噪。
- 1.3 高精度 GNSS 定址（經緯度、海拔高度）微波天線與推估其方位角、俯仰角。

(2) 干擾測試點選址（如圖 4- 50）

2.1 可視距（LoS）干擾點取三個區間點。主要於距微波站水平距離 30 公尺內、30~1000 公尺以及 1000 公尺以外（不超過 2000 公尺）三個區間各取一點。

2.2 非可視距（NLoS）干擾點取三個區間點。主要於距微波站水平距離 30 公尺內、30~1000 公尺以及 1000 公尺以外（不超過 2000 公尺）三個區間各取一點。

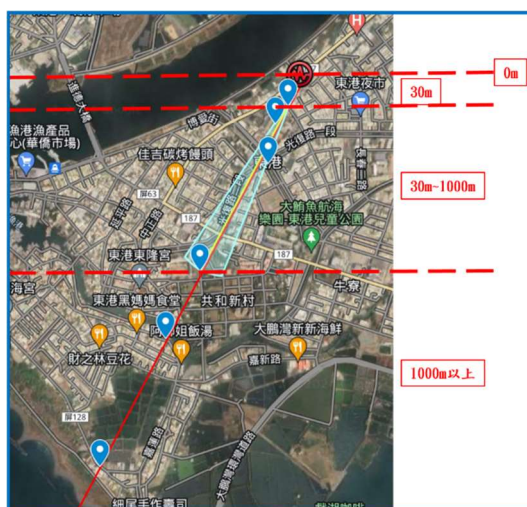


圖 4- 50、測試範圍範例說明

資料來源：本研究整理

(3) 干擾測試點選擇與接收端訊號紀錄

3.1 高精度 GNSS 定址（經緯度、海拔高度）干擾天線與推估其方位角、俯仰角（由兩站址 GNSS 推算）。

3.1.1 站臺端接收端訊號紀錄。期望頻譜儀端可觀測到干擾 CW 訊號，以天線架旋轉天線 360 度找出最強功率點，並記錄其功率強度，並且以該位置之背景雜訊做為挑選參考點之依據，當超過此功率越多，越適合做為 AFC 測試參考，若找不到合適測試地點能超過此功率時，則會另行挑選不同的站臺。

2. 干擾測試鏈路挑選

本次干擾研究設置範圍主要涵蓋，於各受干擾站臺（固定微波業務）半徑 2,000 公尺內規劃架設干擾電臺，發射方位主要朝向受干擾站臺，經與業者討論可行干擾測試之微波站臺後，挑選出六個微波鏈路進行場地勘察，各受干擾站臺評估點之單位與位置如表 4-19 所示。以下將對各鏈路站臺點進行視域分析，如圖 4-51~圖 4-56 所示，其中大埔＜＞埔頂中興微波鏈路為業者主要傳輸鏈路，故無法進行干擾測試。

表 4-19、干擾站臺候選

項次	單位	站臺名稱	地址	經緯度
1	中華電信股份有限公司	新厝	嘉義市西區友孝路 304 號	23.488139 120.435806
2	中華電信股份有限公司	東港	屏東縣東港鎮中正路一段 54 號	22.471972 120.456361
3	中華電信股份有限公司	大埔	嘉義縣大埔鄉大埔村 5 鄰 162 之 16 號	23.299472 120.593139
4	中華電信股份有限公司	枋山	屏東縣獅子鄉內獅村內獅巷 82 號	22.272972 120.657472
5	中華電信股份有限公司	內埔	屏東縣內埔鄉南寧路 192 號	22.619833 120.562111
6	中華電信股份有限公司	行通大樓	臺東縣臺東市新站路 100 號	22.795636 121.124614

資料來源：本研究整理

新厝：

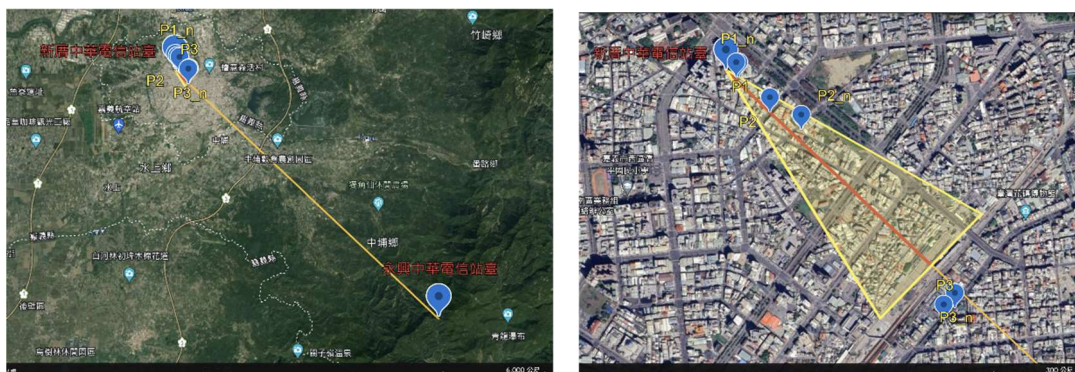


圖 4-51、中華電信新厝<>永興微波鏈路視域分析

資料來源：本研究整理

東港：

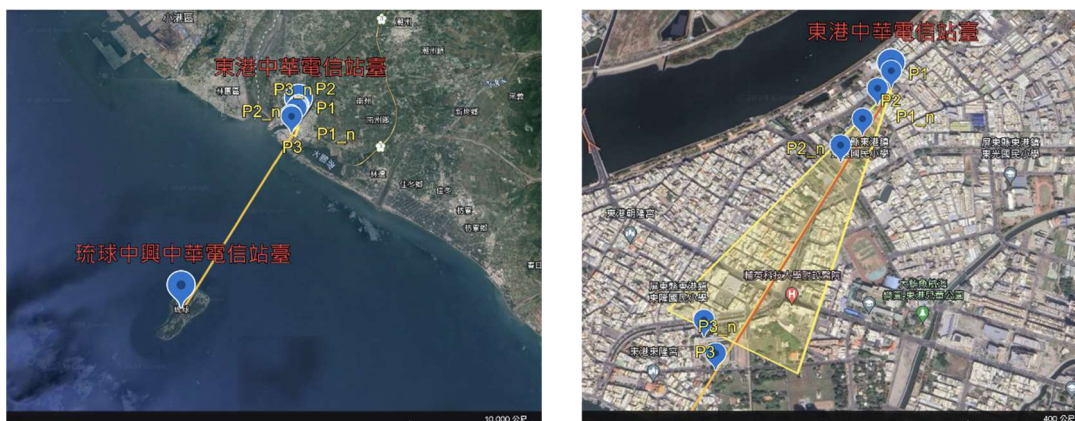


圖 4-52、中華電信東港<>琉球中興微波鏈路視域分析

資料來源：本研究整理

大埔：（因為主要傳輸鏈路，無法進行干擾測試）



圖 4-53、中華電信大埔<>埔頂中興微波鏈路視域分析

資料來源：本研究整理

枋山：

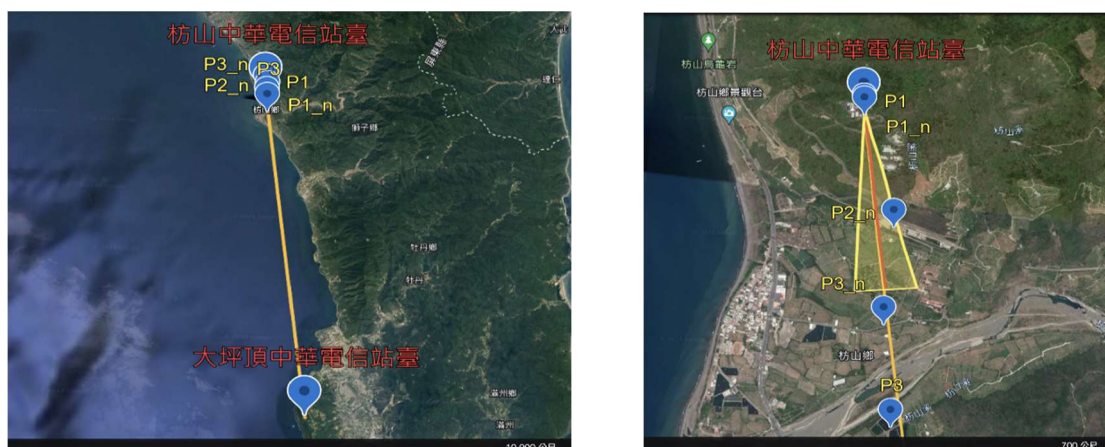


圖 4- 54、中華電信枋山⇨大坪頂中興微波鏈路視域分析

資料來源：本研究整理

內埔：

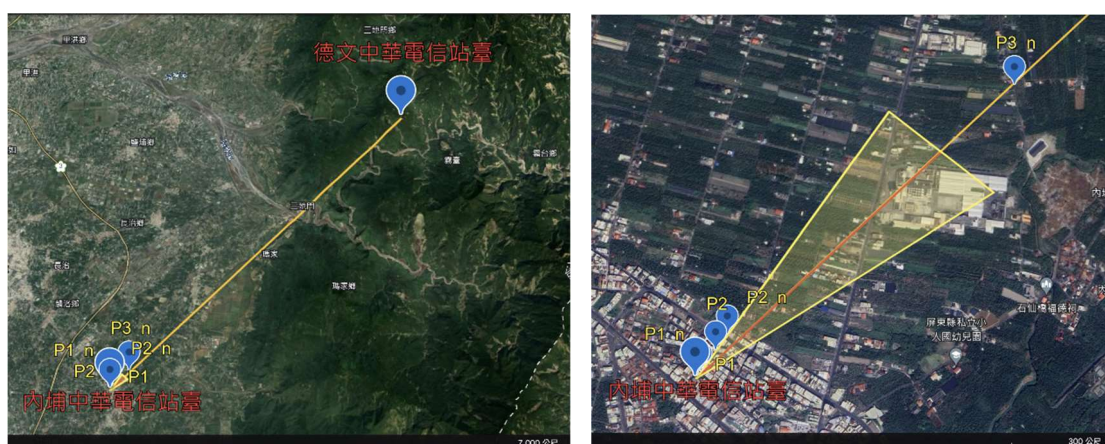


圖 4- 55、中華電信內埔⇨德文中興微波鏈路視域分析

資料來源：本研究整理

行通大樓：



圖 4- 56、中華電信行通大樓⇨綠島中興微波鏈路視域分析

資料來源：本研究整理

(三) 現場勘量測情況與分析

本評估測試使用頻譜分析儀器來進行訊號量測，透過接收既有站臺發射功率之強度進而反推干擾設備最佳干擾測試位置，其各站臺之發射功參數如表 4- 20 所示。

表 4- 20、各站臺發射參數

項次	站臺名稱	緯經度	發射頻率 (MHz)	發射功率 (W)	發射方位 (度)	天線海拔高度 (公尺)
1	新厝	23.488139 120.435806	6226.89	0.5	133	62
2	東港	22.471972 120.456361	6034.15	0.5	211	28
3	枋山	22.272972 120.657472	5945.2	0.5	172	50
4	內埔	22.619833 120.562111	6064	0.5	42	54
5	行通大樓	22.795636 121.124614	6137.925 6460	0.5	112	100

資料來源：本研究整理

每個測試點以距離區分為三個區間，每個區間距離分別為 30 公尺內、30~1000 公尺與 1000 公尺外，每個區間之干擾測試點選取又分為可視站臺（Light of Sight, LoS）與不可視站臺（None Light of Sight, NLoS）兩種類型，其頻譜分析儀設定參數如各站點頻譜分析儀器畫面所示，下面對各站臺量測情況進行說明與分析。

新曆：

如圖 4- 51 該站臺候選測試點 LoS 測試點 P1、P2、P3 現場量測情況如圖所示，NLoS 測試點 P1_n、P2_n、P3_n 現場量測結果，如下表 4- 21 所示，其量測使用之參數如圖 4- 57 左邊區域所示，圖 4- 57 下方區域背景雜訊為-98.88dBm。



圖 4- 57、頻譜分析儀新曆量測設定之參數

資料來源：本研究整理

表 4- 21、新厝候選測試點量測數據

新厝					
點位	緯經度	接收頻率 (MHz)	接收功率 (dBm)	測試點離與 站臺距離 (公尺)	測試點型態
P1	23.4878887 120.4360853	6226.89	-75.24	<30	LoS
P1_n	23.4878883 120.4360069	6226.89	-87.76	<30	NLoS
P2	23.4867726 120.4371758	6226.89	-79.04	30~1000	LoS
P2_n	23.4862205 120.4382645	6226.89	-90.60	30~1000	NLoS
P3	23.4801833 120.4432066	6226.89	-85.69	>1000	LoS
P3_n	23.4805505 120.4435925	6226.89	-98.13	>1000	NLoS

資料來源：本研究整理

東港：

如圖 4- 52 該站臺候選測試點 LoS 測試點 P1、P2、P3 現場量測情況如圖所示，NLoS 測試點 P1_n、P2_n、P3_n 現場量結果，如表 4- 22 所示，其量測使用之參數如圖 4- 58 左邊區域所示，圖 4- 58 下方區域背景雜訊為-103.14dBm。

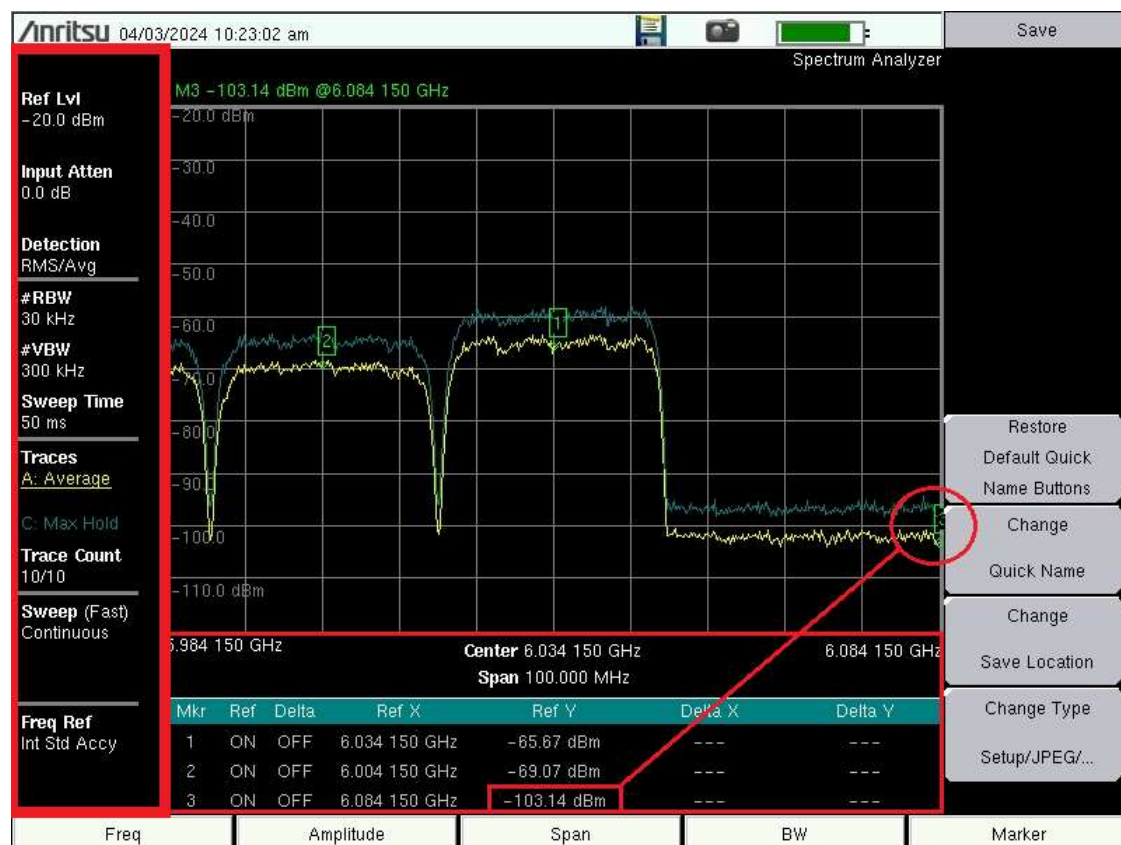


圖 4- 58、頻譜分析儀東港量測設定之參數

資料來源：本研究整理

表 4- 22、東港候選測試點量測數據

東港					
點位	緯經度	接收頻率 (MHz)	接收功率 (dBm)	測試點離 與站臺距 離 (公 尺)	測試 點型 態
P1	22.4718905 120.4561934	6034.15	-63.49	<30	LoS
P1_n	22.4713213 120.4557227	6034.15	-86.84	<30	NLoS
P2	22.4703458 120.4552076	6034.15	-65.57	30~1000	LoS
P2_n	22.4695141 120.4544771	6034.15	-89.28	30~1000	NLoS
P3	22.4643671 120.4502308	6034.15	-81.38	>1000	LoS
P3_n	22.4634463 120.4506214	6034.15	-91.63	>1000	NLoS

資料來源：本研究整理

枋山：

如圖 4- 54 該站臺候選測試點 LoS 測試點 P1、P2、P3 現場量測情況如圖所示，NLoS 測試點 P1_n、P2_n、P3_n 現場量結果，如表 4- 23 所示，其量測使用之參數如圖 4- 59 左邊區域所示，圖 4- 59 下方區域背景雜訊為-98.61dBm。

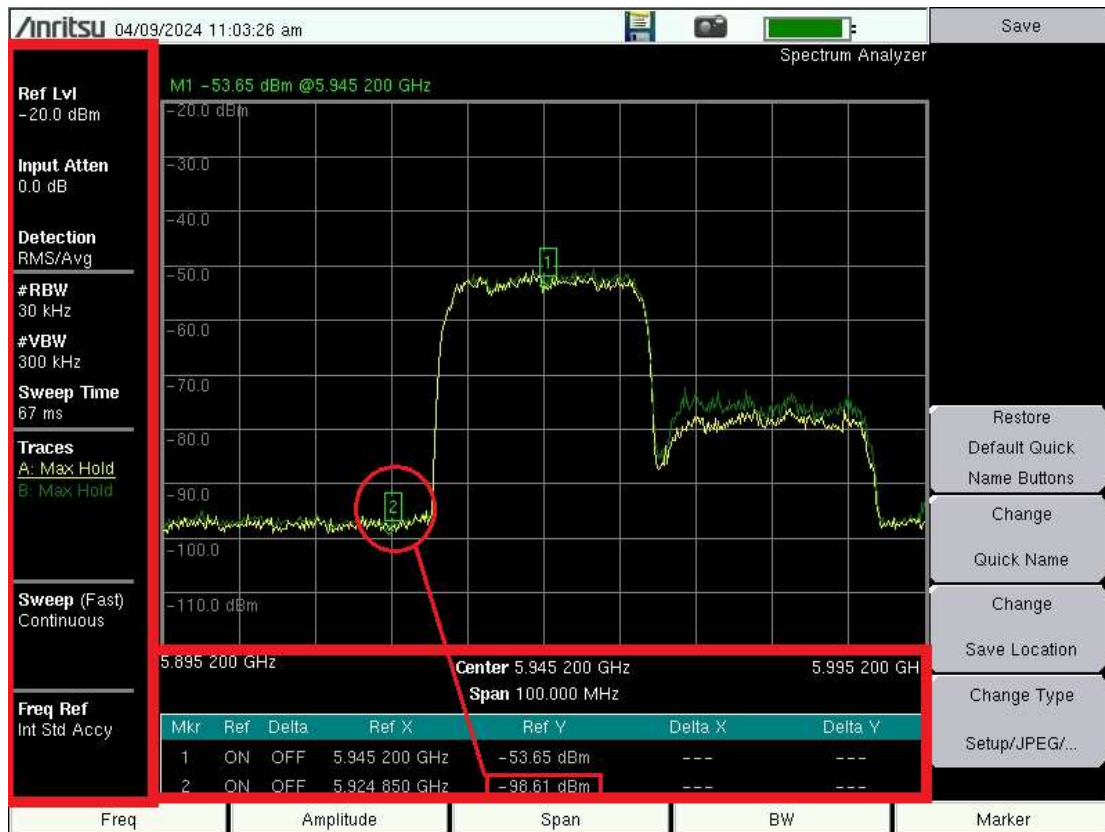


圖 4- 59、頻譜分析儀枋山量測設定之參數

資料來源：本研究整理

表 4- 23、枋山候選測試點量測數據

枋山					
點位	緯經度	接收頻率 (MHz)	接收功率 (dBm)	測試點離 與站臺距 離 (公 尺)	測試 點型 態
P1	22.2726610 120.6574167	5945.20	-53.65	<30	LoS
P1_n	22.2725089 120.6574320	5945.20	-86.26	<30	NLoS
P2	無可視點	無	無	30~1000	LoS
P2_n	22.2670181 120.6591214	5945.20	-91.98	30~1000	NLoS
P3	22.2571647 120.6591805	5945.20	-89.72	>1000	LoS
P3_n	22.2621169 120.6587481	5945.20	-97.55	>1000	NLoS

資料來源：本研究整理

內埔：

如圖 4- 55 該站臺候選測試點 LoS 測試點 P1、P2、P3 現場量測情況如圖所示，NLoS 測試點 P1_n、P2_n、P3_n 現場量結果，如表 4- 24 所示，其量測使用之參數如圖 4- 60 左邊區域所示，圖 4- 60 下方區域背景雜訊為-97.40dBm。

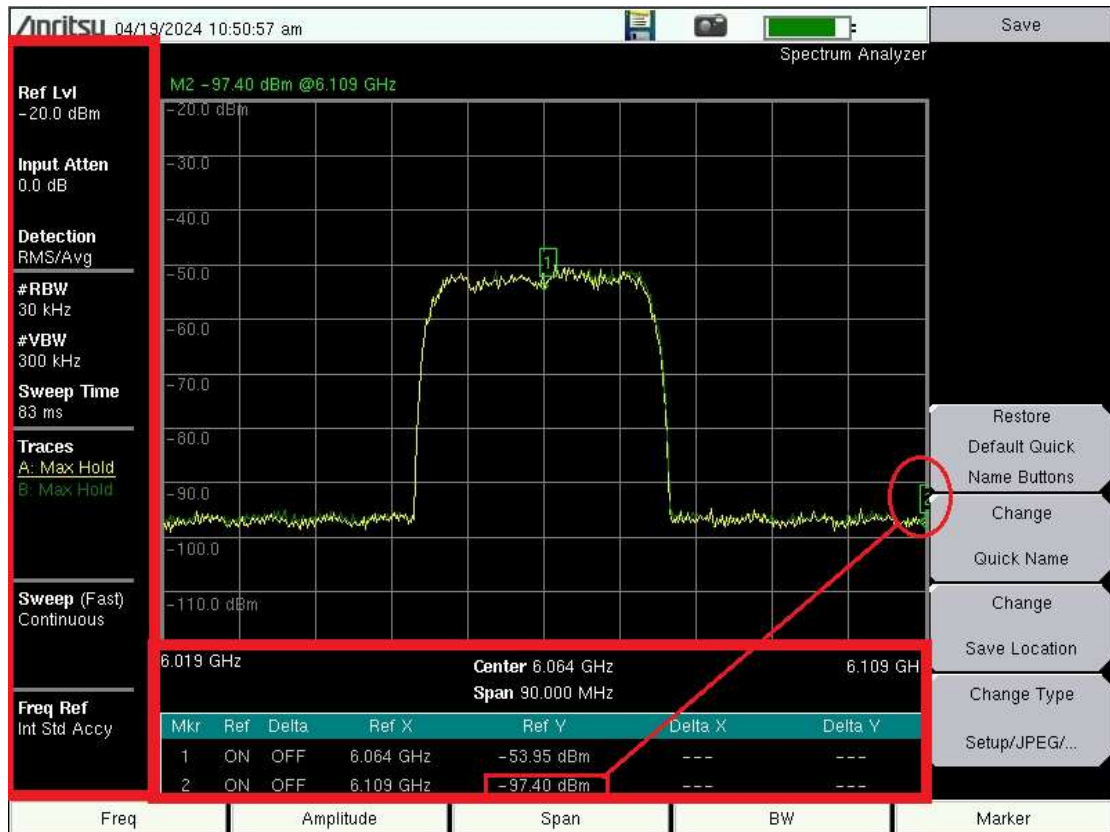


圖 4- 60、頻譜分析儀內埔量測設定之參數

資料來源：本研究整理

表 4- 24、內埔候選測試點量測數據

內埔					
點位	緯經度	接收頻率 (MHz)	接收功率 (dBm)	測試點離 與站臺距 離 (公 尺)	測試 點型 態
P1	22.6201215 120.5623258	6064	-53.95	<30	LoS
P1_n	22.6202399 120.5624321	6064	-85.78	<30	NLoS
P2	22.6208064 120.5627733	6064	-63.65	30~1000	LoS
P2_n	22.6212376 120.5630569	6064	-93.02	30~1000	NLoS
P3	無可視點	無	無	>1000	LoS
P3_n	22.6288206 120.5710073	6064	-85.46	>1000	NLoS

資料來源：本研究整理

行通大樓：

如圖 4- 56 該站臺候選測試點 LoS 測試點 P1、P2、P3 現場量測情況如圖所示，NLoS 測試點 P1_n、P2_n、P3_n 現場量結果，如表 4- 25 所示，其量測使用之參數如圖 4- 61 左邊區域所示，圖 4- 61 下方區域背景雜訊為-97.22dBm。



圖 4- 61、頻譜分析儀行通大樓量測設定之參數

資料來源：本研究整理

表 4-25、行通大樓候選測試點量測數據

行通大樓					
點位	緯經度	接收頻率 (MHz)	接收功率 (dBm)	測試點離 與站臺距 離(公尺)	測試 點型 態
P1	22.7954367 121.1250510	6137.925	-79.12	<30	LoS
P1_n	22.7955593 121.1253435	6137.925	-92.71	<30	NLoS
P2	22.7949542 121.1261358	6460	-75.42	30~1000	LoS
P2_n	22.7942645 121.1278594	6460	-91.08	30~1000	NLoS
P3	22.7920868 121.1337808	6460	-74.92	>1000	LoS
P3_n	22.7918925 121.1338862	6460	-90.98	>1000	NLoS

資料來源：本研究整理

干擾測試點最終以新厝（市區）、東港（郊區）以及行通大樓（鄉村）三個測試點作為 AFC 干擾測試站臺，由於枋山缺少 30~1000 公尺可視站臺測試點，內埔則缺少 1000 公尺以上可視站臺測試點，故枋山與內埔兩站臺測試點不列入干擾測試站點。

(四) 小結

為了驗證 AFC 系統在臺灣之可用性，本計畫規劃使用 Wi-Fi 6E 之頻段（5925 MHz~7125 MHz）進行 AFC 系統功能驗證，透過 AFC 系統給出之參數（頻段與對應功率），設定於 Wi-Fi 6E 裝置，發射微波來進行干擾既有站臺之實驗，本章節針對測試點以該場地信號進行篩選評估，藉此來判定是否可作為干擾測試點，本勘察使用頻譜分析儀器來進行對既有站臺 Tx 訊號接收狀況來反推干擾信號的傳輸路徑，在量測過程中發現，可視站臺的位置信號通常較良好，不可視站臺的位置收訊通常比較差，但是，由於地形因素導致電波反射、繞射等現象，過程中其實也發現不可視站臺點信號有時並不會弱於可視站臺點，由此可知，在 AFC 系統中圖資建立的重

要性，目前開發之臺灣 AFC 系統在計算路徑損失時，會採用國際人口密度圖資判定該區域屬城市、郊區或鄉村，並決定使用之無線通道模型，但由於原生軟體使用的圖資精度較差(精度一公里)，故而建議未來可使用國內較高精度之資訊替代(精度 30 公尺)。另外在地貌與建物圖資部分，若能導入臺灣當地高精度資料，也能提升 AFC 系統計算之精度。未來臺灣 AFC 系統建置也可在圖資部分進行強化，同時優先挑選此類測試地點作為最壞模式（Worst Case）進行驗證，以提升 AFC 系統可靠度。

二、AFC 設備對既有鏈路干擾實測

根據量測點評估得出的結果，本計畫將於新厝（市區）、東港（郊區）以及行通大樓（鄉村）三個干擾測試點進行對既有站臺之干擾測試，透過 AFC 系統以城市型態、距離以及可視站臺與不可視站臺來決定給出的設定參數，將 AFC 系統給出的設定參數設定於干擾設備中，再透過設備發射干擾信號對既有站臺進行干擾，由業者後臺資訊系統觀察站臺接收信號是否有受到干擾，藉以驗證 AFC 設備是否能夠有效閃避對既有站臺之干擾。

（一）AFC 機制與干擾情境概述

1. AFC 系統機制與 Virtual AP

（1）AFC 系統機制

AFC 是一種頻譜共享機制，專為免許可（License-Exempt, LE）設備而開發，可與固定點對點微波服務（Fixed point-to-point microwave Services, FS）現有地面服務安全地共享頻譜。與室內低功率（Low Power Indoor, LPI）模式相比，AFC 模式要求 RLAN（Radio Local Area Networks）接取點獲得特定於位置、特定於頻率的傳輸授權，從而允許更高功率的室內和室外 RLAN

操作。雖然 LPI 的室內限制和發射機功率等級的設計是為了避免對現有操作產生有害干擾，而無需了解任何具體訊息與現有系統相比，AFC 的操作模式採用了不同的傳播模型為了安全地共享頻譜如圖 4- 62。

傳播模型：

- 30 公尺內，AFC 利用自由空間路徑損耗模型來評估。
- 超過 30 公尺且 1 公里內，AFC 利用 WINNER II(Wireless World Initiative New Radio phase II) 模型來評估。利用像是建物與地形這類特別資訊，來決定 WINNER II 中 LoS 或 NLoS 的組成，由於本研究僅採用地形資訊，故 AFC 須利用機率模型方式，將 LoS 和 NLoS 組合成為單一路徑損失。
- 路徑損失 $(L) = \sum^i P(i) * L^i = P^{LOS} * L^{LOS} + P^{NLOS} * L^{NLOS}$
 P^{LOS} 為 LoS 機率； L^{LOS} 為 LoS 路徑損失； P^{NLOS} 為 NLoS 機率； L^{NLOS} 為 NLoS 路徑損失； L 為路徑損失組合。
WINNER II 的路徑損失模型中，將以天線高度與距離的函數做為 P^{LOS} 公式。 $P^{LOS} = (1 - P^{NLOS})$ 。AFC 將會使用正確 WINNER II 參數來符合裝置間路徑型態(城市、郊區、鄉村)。
- 超過 1 公里以上。AFC 利用不規則地形模型 (Irregular Terrain Model, ITM) 結合合適的雜散模型來評估。

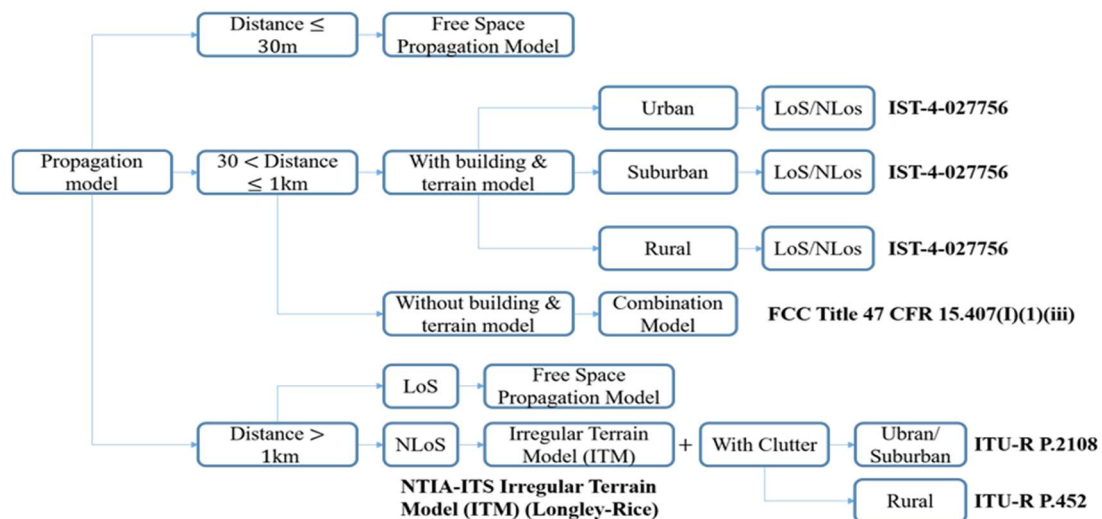


圖 4- 62、Open AFC 無線傳播模型

資料來源：本研究整理

(2) Virtual AP

Virtual AP 為 Open AFC 系統中所提供的模擬軟體，用於模擬實體 AP 在現實環境中所能夠使用的功率以及頻段，透過給予軟體環境參數，Virtual AP 會透過演算法算出該實體 AP 所在地方可以使用哪一些頻段以及最大使用功率。其參數設定畫面如圖 4- 63 所示。Virtual AP 計算後會給出如圖 4- 64，紅色區域為不可使用之頻段，黃色區域則為限制功率頻段，而綠色則代表可以使用最大功率 36dBm。而圖 4- 65 則是 Virtual AP 給出實體 AP 放置位置的地圖。後續在 AP 現場干擾測試將會透過 Virtual AP 功能得到可使用之頻段與功率，再到測試地點透過設定實體 AP 設置參數來進行干擾測試。

Serial Number ② TestSerialNumber Must be unique for every AP	Certification Id ② US_47_CFR_PART_... + US_47_CFR_PA... Id	Location Type Ellipse									
Latitude 22.4718905 degrees	Longitude 120.4561934 degrees	Semi-major Axis 30 meters									
Semi-minor Axis 30 meters	Orientation 0 degrees	Attribute of uncertainty ellipse 2 meters									
Height Type AGL	Height Uncertainty (+/-) 0.5 meters	Minimum Desired EIRP 14 dBm									
Indoor Deployment Outdoor	Inquired Frequencies <table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>Low (MHz)</th> <th>High (MHz)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Add Frequency Range (MHz)</td> </tr> <tr> <td> Lower </td> <td> Upper </td> <td> + </td> </tr> </tbody> </table>		#	Low (MHz)	High (MHz)	Add Frequency Range (MHz)			Lower	Upper	+
#	Low (MHz)	High (MHz)									
Add Frequency Range (MHz)											
Lower	Upper	+									

圖 4- 63、Virtual AP 參數設定表

資料來源：本研究整理

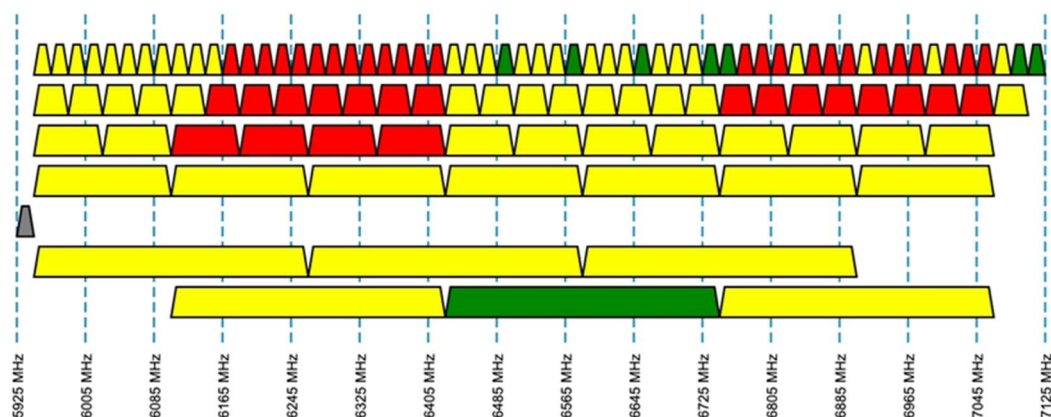


圖 4- 64、Virtual AP 頻段使用圖

資料來源：本研究整理

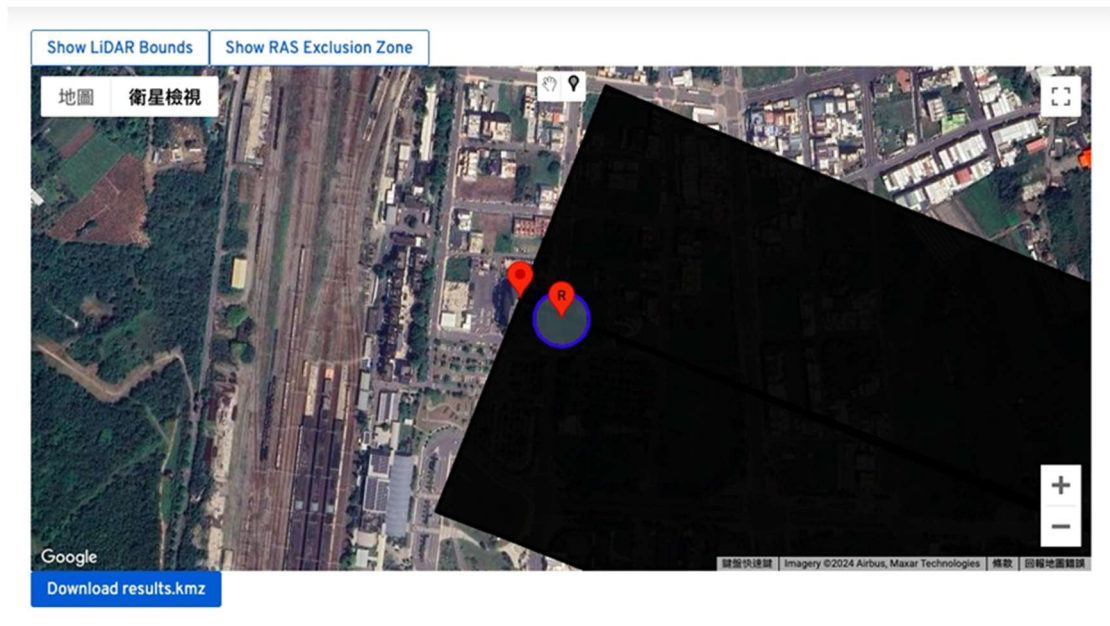


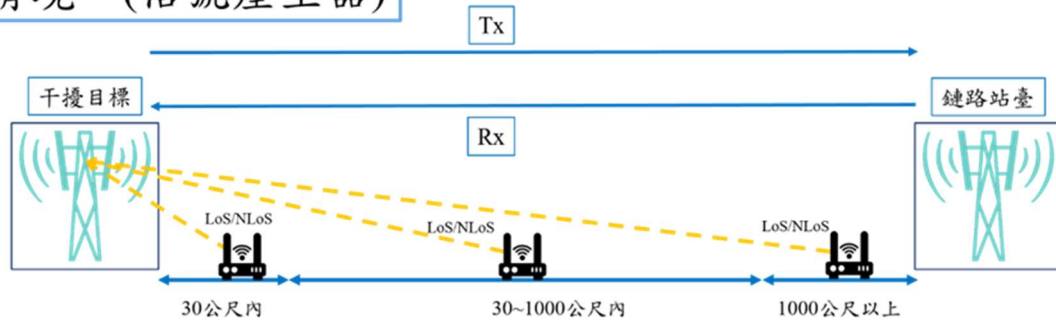
圖 4- 65、Virtual AP 地理位置圖

資料來源：本研究整理

2. 干擾情境與實測流程說明

本研究將針對 Open AFC 系統功能進行現場實際測試，用來驗證 AFC 系統在臺灣的可行性，透過 AFC 系統給出的參數進行針對三種情境的干擾測試，其情境一如圖 4- 66 所示，透過使用信號產生器、功率放大器以及指向性天線來發射 Wi-Fi 干擾訊號，情境二則是透過 Wi-Fi 7 AP 來進行干擾測試如圖 4- 67 所示，而情境三則為空中平臺干擾測試如圖 4- 68 所示，透過飛行載具將 Wi-Fi 7 AP 載至空中定點來進行每個點位的干擾測試。各站臺受測的傳輸與接收頻率如圖 4- 69 所示，接著將會針對三種測試情境加以說明。

情境一(信號產生器)



干擾設備：信號產生器+功率放大器+指向性天線。

測試流程：

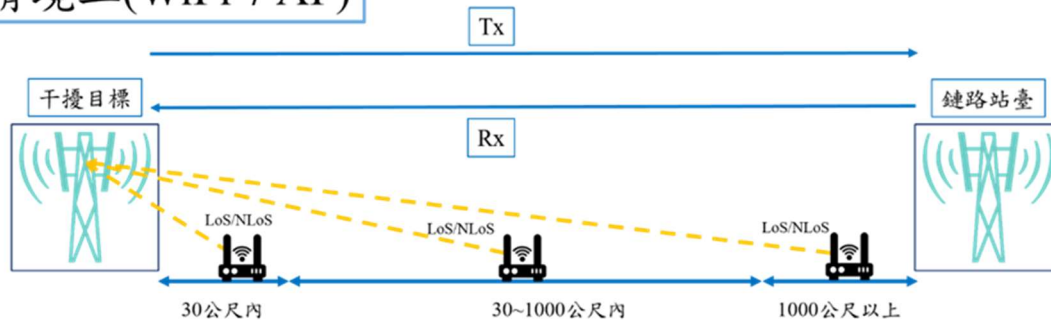
1. 使用頻譜分析儀確認站臺頻率是否正確。
2. 帶入表格參數設定到信號產生器。
3. 進行干擾發射1.5-3分鐘並記錄起始與終止時間點。
4. 關閉干擾儀器前往下一個干擾點。

結束干擾測試後，與中華電信取得後臺干擾資訊資料。

圖 4- 66、情境一測試示意圖

資料來源：本研究整理

情境二(WiFi 7 AP)



干擾設備：使用工程模式AFC功能WiFi 6E AP。

測試流程：

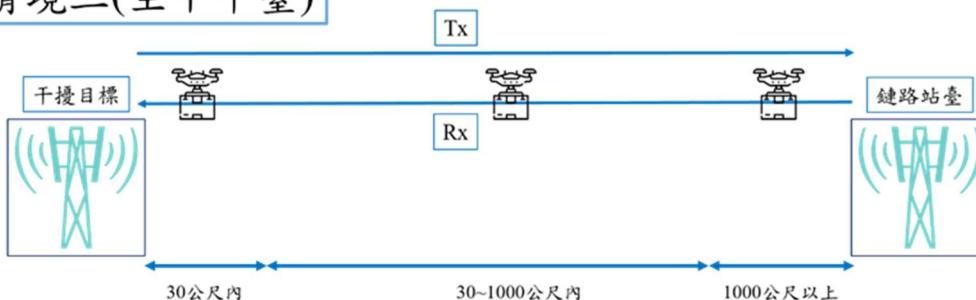
1. 使用頻譜分析儀確認站臺頻率是否正確。
2. 帶入表格參數設定到WiFi 6E AP。
3. 進行干擾發射1.5-3分鐘並記錄起始與終止時間點。
4. 關閉干擾儀器前往下一個干擾點。

結束干擾測試後，與中華電信取得後臺干擾資訊資料。

圖 4- 67、情境二測試示意圖

資料來源：本研究整理

情境三(空中平臺)



干擾設備：使用支援AFC功能WiFi 6E AP。

測試流程：

1. 使用頻譜分析儀確認站臺頻率是否正確。
2. 啟動放置於無人機上的WiFi 6E AP飛至空中干擾點。
3. 進行空中干擾發射1.5-3分鐘並記錄起始與終止時間點。
4. 待空中干擾點(每點間距5M)全數跑完，關閉干擾儀器前往下一個地面干擾點。

結束干擾測試後，與中華電信取得後臺干擾資訊資料。

1	2	3
4	5	6
7	8	9

空中干擾點示意圖

圖 4- 68、情境三測試示意圖

資料來源：本研究整理

	鏈路 TX (MHz)	鏈路 RX (MHz)	干擾最大功率 (dBm)	干擾頻寬 (MHz)
新厝	6226.89	5974.85	36	20、40、80、160
東港	6034.15	6286.19	36	20、40、80、160
行通大樓	6137.925 6460	6389.965 6800	36	20、40、80、160
空中平臺 (新厝)	6226.89	5974.85	14	20、40、80、160

圖 4- 69、各站臺鏈路頻率表

資料來源：本研究整理

(1) 情境一（信號產生器干擾測試）

情境一使用信號產生器作為主要干擾設備，信號產生器產生 Wi-Fi 信號，在經過功率放大器放大，最後由指向性天線發出干擾信號如圖 4- 48 所示，每到一個量測點我們會先用頻譜分析儀去收站臺信號以確認信號是否正確，再把 Virtual AP 所給出的參數輸入至信號產生器，再送出干擾信號進行干擾，其流程圖如

圖 4- 70 所示，最後在與中華電信索取既有站臺後臺的信號狀態資料來確認是否有產生干擾，除此之外，在情境一之測試，為了量測 AFC 給出的功率值容許誤差範圍，特別作了功率逼近測試，例如，AFC 給出黃色區域功率值 18dBm 我們則會每增加 3dB 為一個級距來逼近最大功率 36dBm 藉以量測在多少功率值的時候確實會產生干擾。

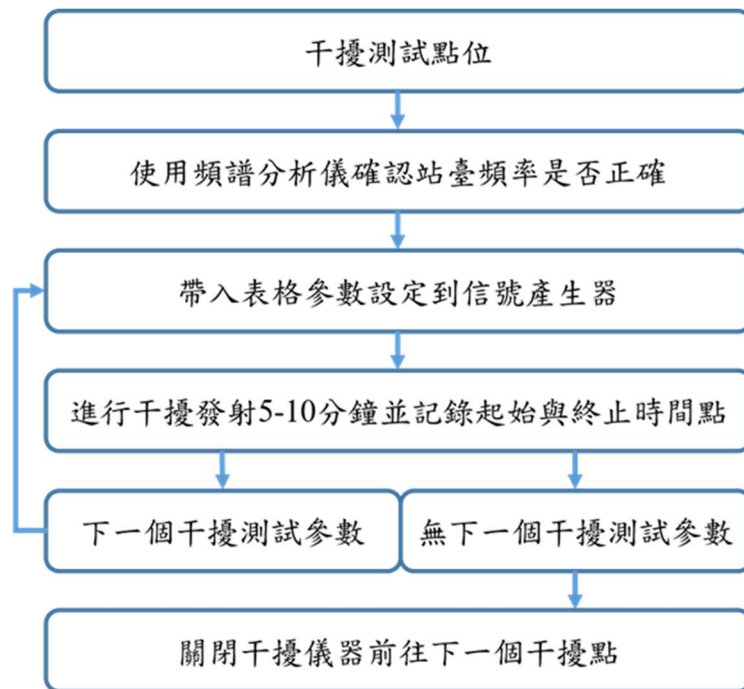


圖 4- 70、情境一干擾測試流程圖

資料來源：本研究整理

(2) 情境二（Wi-Fi 7 AP 干擾測試）

情境二使用 Wi-Fi 7 AP 作為主要干擾設備，每到一個量測點我們會先用頻譜分析儀去收站臺信號以確認信號是否正確，再把 Virtual AP 所給出的參數設定至 Wi-Fi 7 AP，再送出干擾信號進行干擾，其流程圖如圖 4- 71 所示，最後在與中華電信索取既有站臺後臺的信號狀態資料來確認是否有產生干擾。

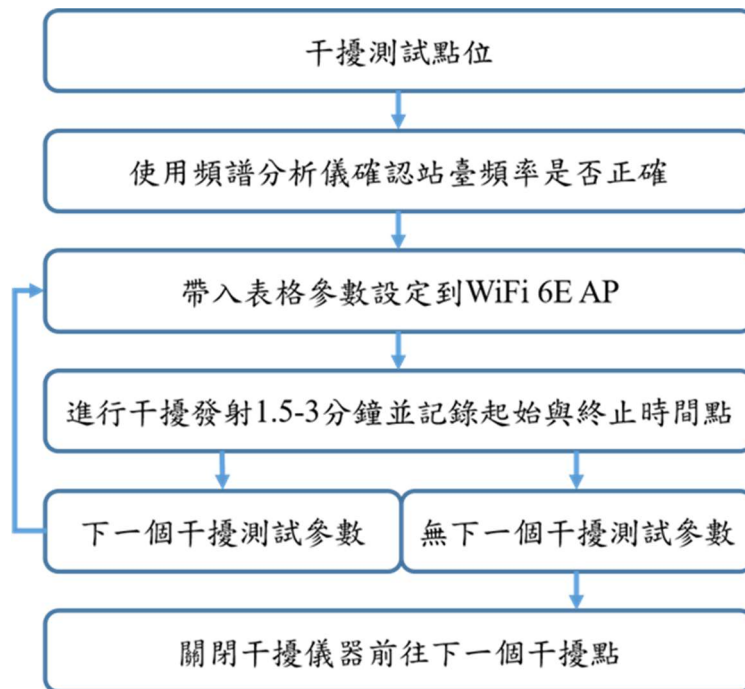


圖 4- 71、情境二干擾測試流程圖

資料來源：本研究整理

(3) 情境三（空中平臺干擾測試）

情境三使用 Wi-Fi 7 AP 作為主要干擾設備，透過飛行載具將干擾設備載至干擾點進行干擾，每到一個量測點我們會先用頻譜分析儀去收站臺信號以確認信號是否正確，再把 Virtual AP 所給出的參數設定至 Wi-Fi 7 AP，唯一不同的是，這邊使用的功率是使用法規規定之戶外最大功率 14dBm，再送出干擾信號進行干擾，再將飛行載具飛至空中測試點進行停留，其流程圖如圖 4- 72 所示，最後在與中華電信索取既有站臺後臺的信號狀態資料來確認是否有產生干擾。由於空中平臺干擾測試只有嘉義新厝能夠申請空域飛行，故因此只做嘉義新厝的既有站臺干擾。

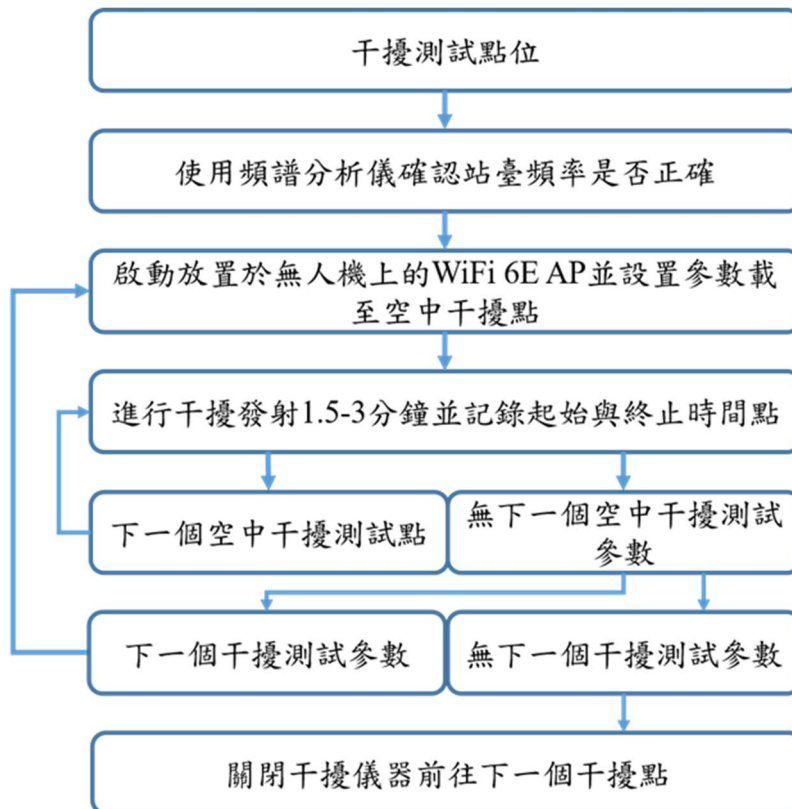


圖 4- 72、情境三干擾測試流程圖

資料來源：本研究整理

(二) 實測結果與分析

1. 城市區域（嘉義新厝）

城市區域為嘉義新厝，其站臺地址為嘉義市西區友孝路 304 號，GPS 座標為北緯 23 度 29 分 17.2 秒東經 120 度 26 分 09.1 秒，站臺實景圖如

圖 4- 73 所示，其干擾測試點位如圖 4- 74 所示，測試地點地圖如圖 4- 75 所示，該區域干擾點位共有 6 個，分別為 P1（30 公尺內，可視）、P1_n（30 公尺內，不可視）、P2（30~1000 公尺，可視）、P2_n（30~1000 公尺，不可視）、P3（1000 公尺以外，可視）、P3_n（1000 公尺以外，不可視），情境一與情境二測試點位相同，情境三是空中平臺測試，故只有測試可視點位，各點位干擾測試參數由 Virtual AP 所給出如圖 4- 76 至圖 4- 81 所示，

每個點位依頻寬 20、40、80、160MHz，各別尋找鄰近既有站臺受干擾鏈路中心頻率附近可用頻道做為干擾測試的頻率，再依循 Virtual AP 給出的功率進行干擾。情境三（空中平臺）干擾使用頻段則如圖 4- 82 至圖 4- 84 所示，其功率使用法規戶外最大功率 14dBm。現場測試照片如圖 4- 85 至圖 4- 86。



圖 4- 73、嘉義新厝微波站臺

資料來源：本研究整理

新厝		
情境一&情境二		
點位	緯度	經度
P1	23°29'16.4"N	120°26'09.9"E
P1_n	23°29'16.4"N	120°26'09.6"E
P2	23°29'12.4"N	120°26'13.8"E
P2_n	23°29'10.4"N	120°26'17.8"E
P3	23°28'48.7"N	120°26'35.5"E
P3_n	23°28'50.0"N	120°26'36.9"E
情境三		
P1	23°29'16.4"N	120°26'09.9"E
P2	23°29'12.4"N	120°26'13.8"E
P3	23°28'50.0"N	120°26'36.9"E

圖 4- 74、新厝各干擾點位位置

資料來源：本研究整理

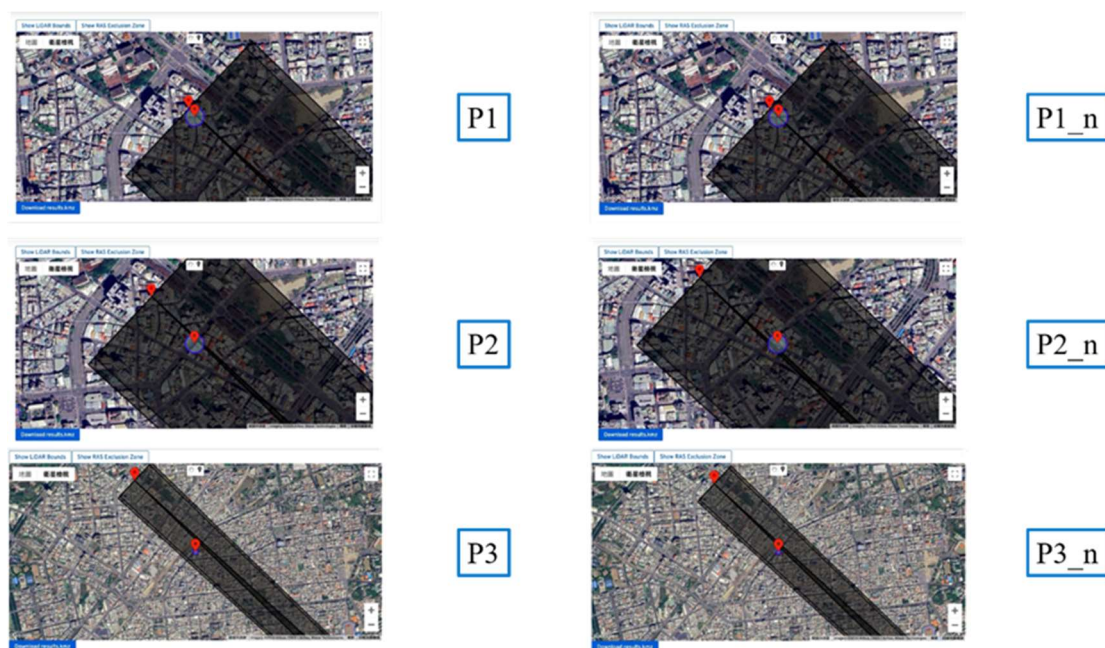


圖 4- 75、新厝各干擾測試點位地圖

資料來源：本研究整理

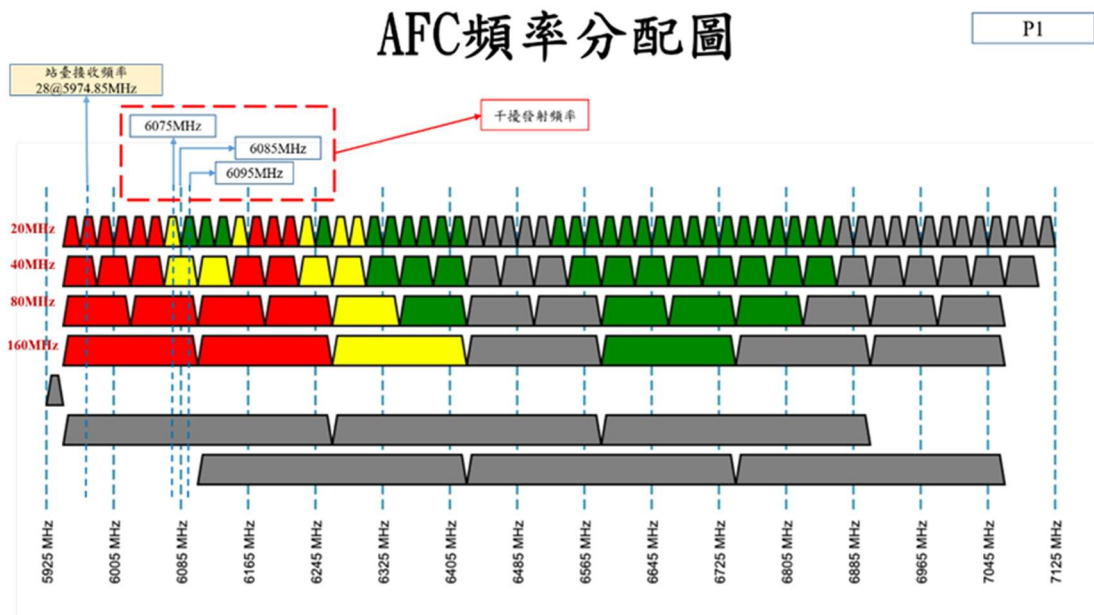


圖 4- 76、新曆 P1 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

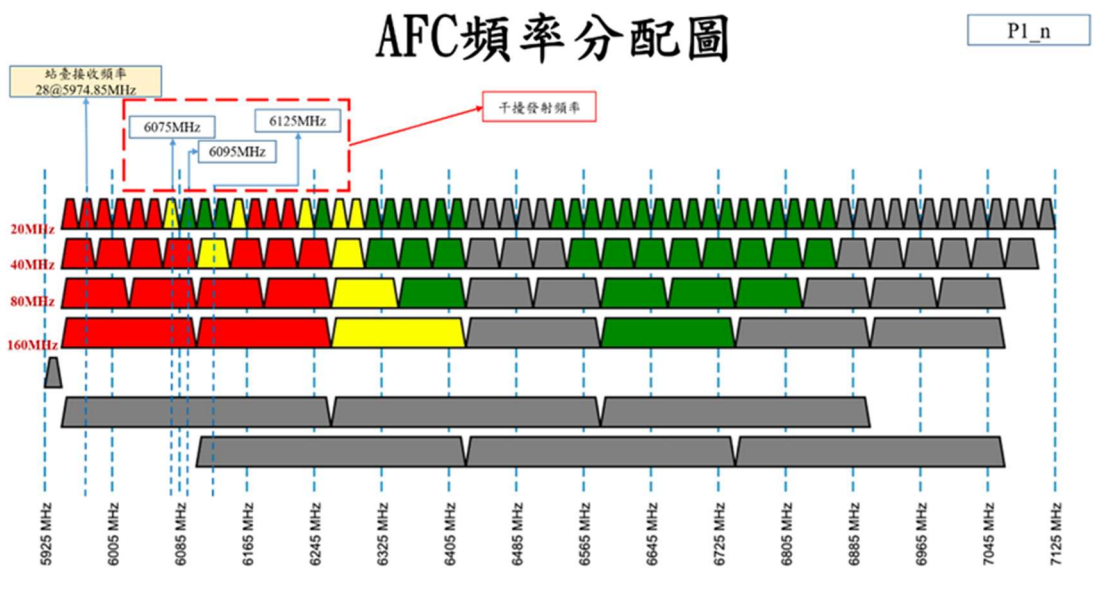


圖 4- 77、新曆 P1_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

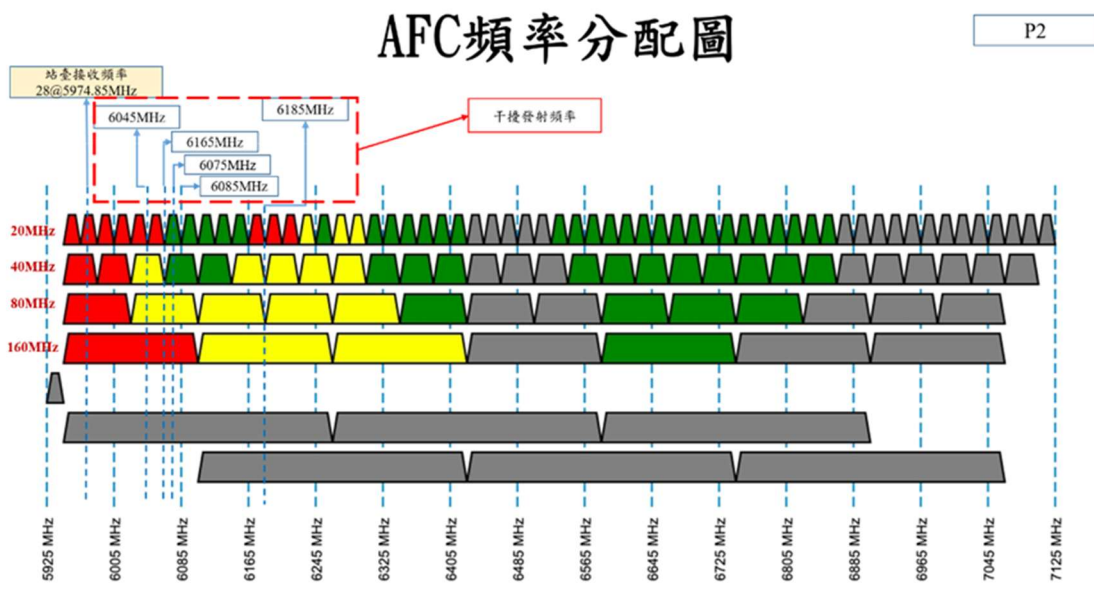


圖 4- 78、新曆 P2 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

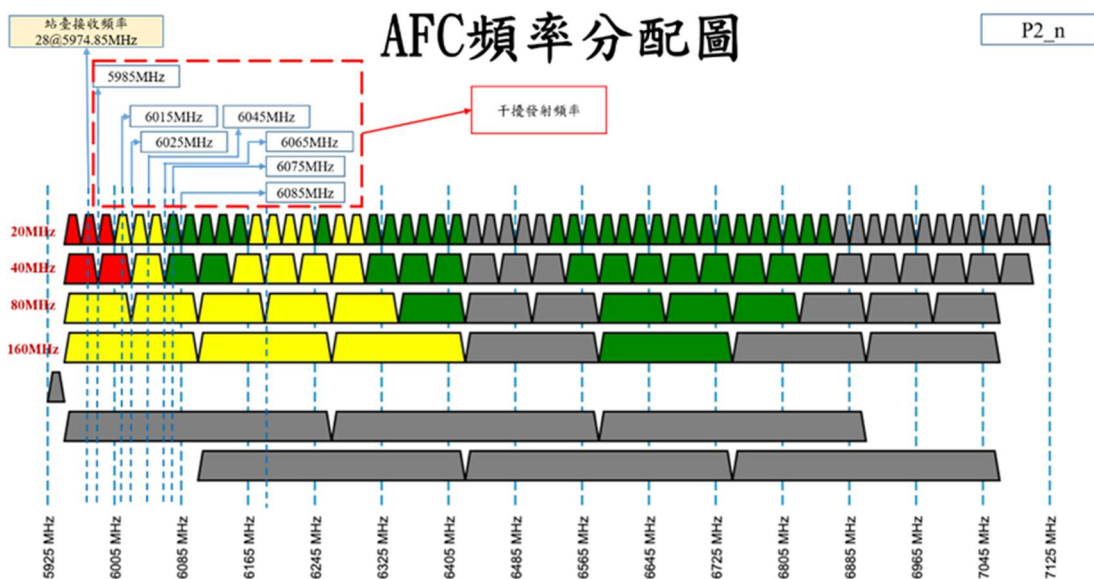


圖 4- 79、新曆 P2_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

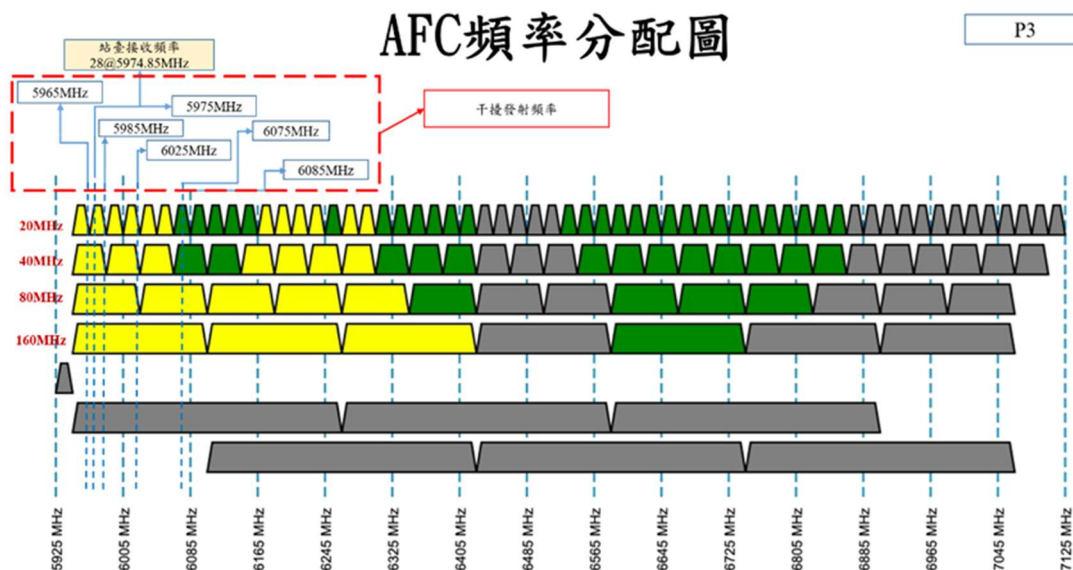


圖 4- 80、新曆 P3 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

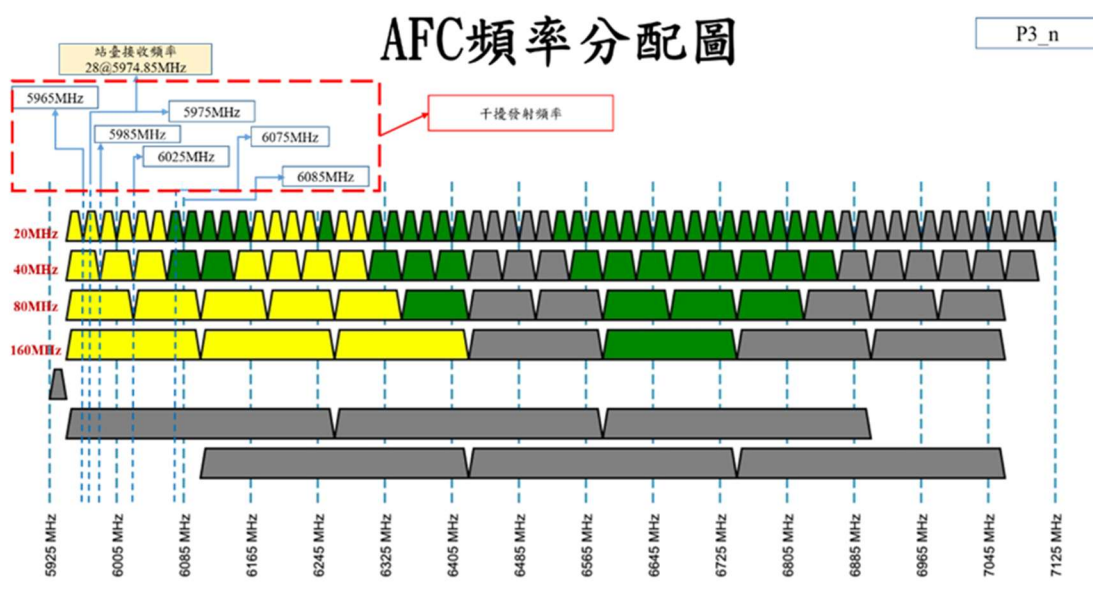


圖 4- 81、新曆 P3_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P1

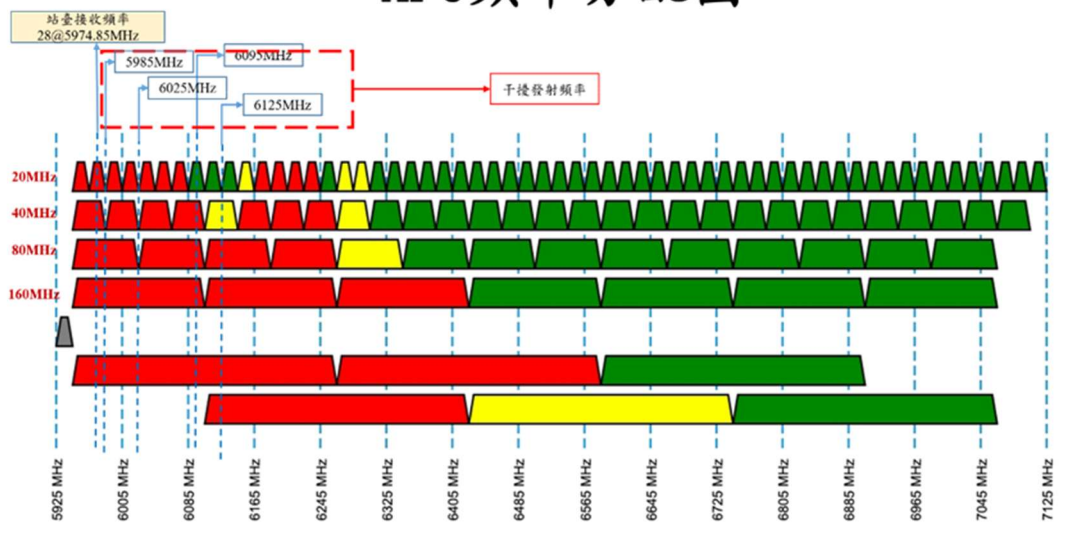


圖 4- 82、新厝空中平臺 P1 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P2

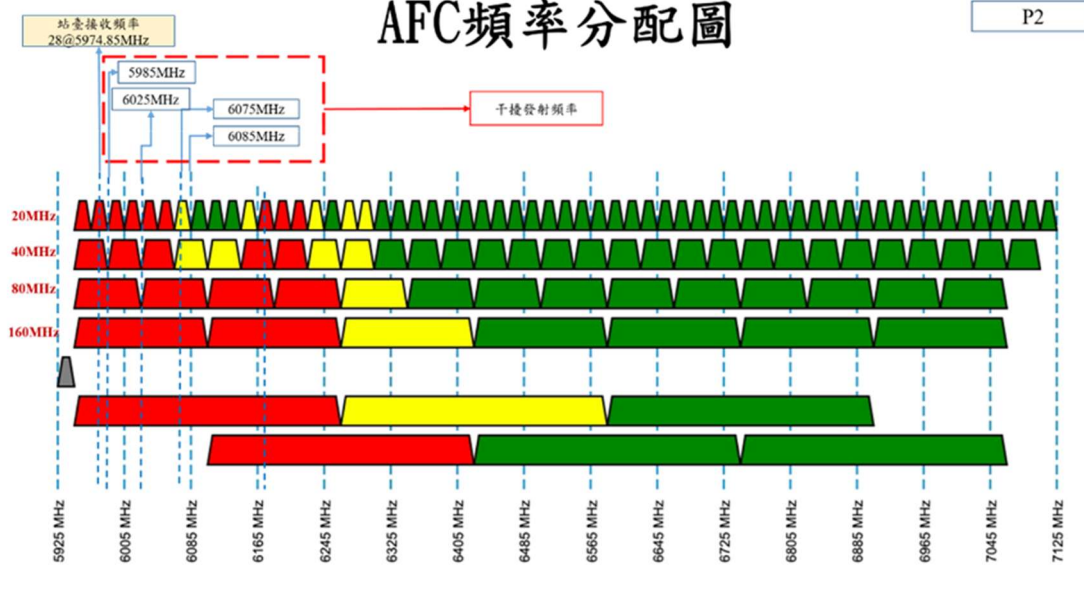


圖 4- 83、新厝空中平臺 P2 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

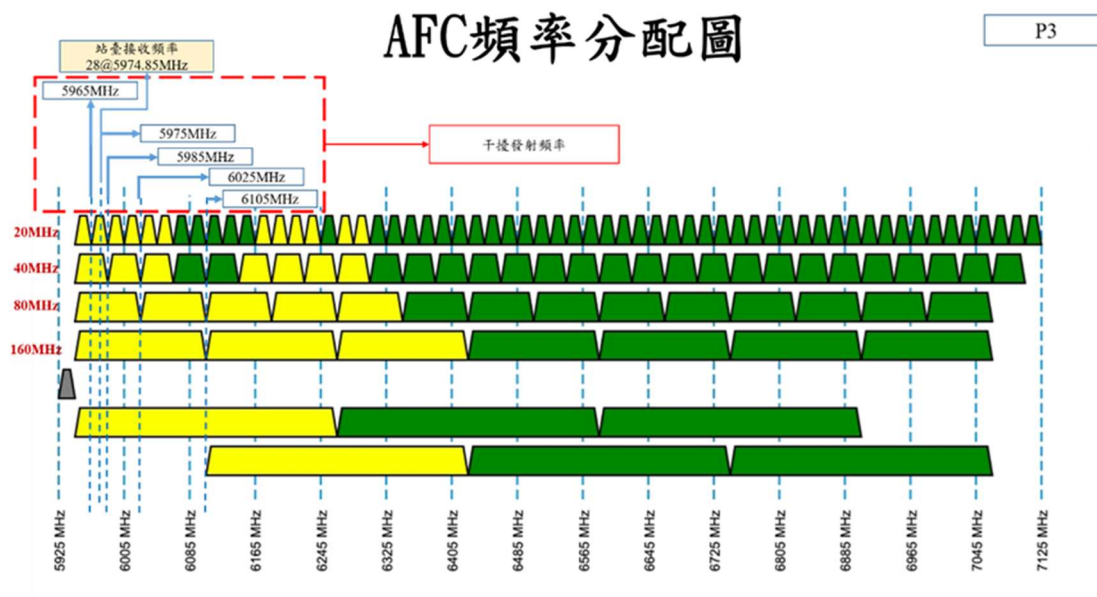


圖 4- 84、新厝空中平臺 P3 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理



圖 4- 85、新厝現場情境一干擾測試照片

資料來源：本研究整理



圖 4- 86、新厝現場空中平臺干擾測試照片

資料來源：本研究整理

2. 郊外區域（屏東東港）

郊外區域為屏東東港，其站臺地址為屏東縣東港鎮中正路一段 54 號，GPS 座標為北緯 22 度 28 分 20.1 秒東經 120 度 27 分 22.4 秒，站臺實景圖如圖 4- 87 所示，其干擾測試點位如圖 4- 88 所示，測試地點地圖如圖 4- 89 所示，該區域干擾點位共有 6 個，分別為 P1（30 公尺內，可視）、P1_n（30 公尺內，不可視）、P2（30~1000 公尺，可視）、P2_n（30~1000 公尺，不可視）、P3（1000 公尺以外，可視）、P3_n（1000 公尺以外，不可視），各點位干擾測試參數由 Virtual AP 所給出如圖 4- 90 至圖 4- 95 所示，每個點位依頻寬 20、40、80、160MHz，各別尋找鄰近既有站臺受干擾鏈路中心頻率附近可用頻道做為干擾測試的頻率，再依循 Virtual AP 給出的功率進行干擾。除此之外，在此干擾測試區域，為了瞭解 AFC 所給出的功率值與實際產生干擾之功率之間的差值，在此區域情境一測試環境下有做功率逼近測試。現場測試

照片如圖 4- 96 至圖 4- 97 所示。



圖 4- 87、屏東東港微波站臺

資料來源：本研究整理

東港		
情境一&情境二		
點位	緯度	經度
P1	22°28'18.8"N	120°27'22.3"E
P1_n	22°28'16.8"N	120°27'20.6"E
P2	22°28'13.2"N	120°27'18.8"E
P2_n	22°28'10.3"N	120°27'16.1"E
P3	22°27'51.7"N	120°27'00.8"E
P3_n	22°27'48.4"N	120°27'02.2"E

圖 4- 88、東港各干擾點位位置

資料來源：本研究整理

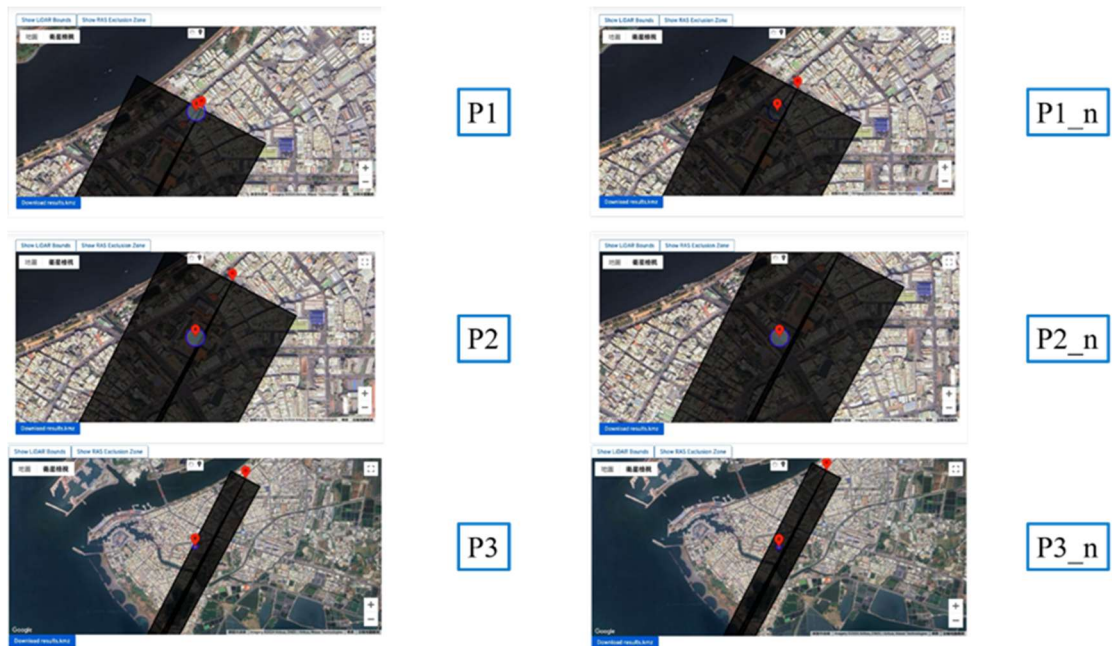


圖 4- 89、東港各干擾測試點位地圖

資料來源：本研究整理

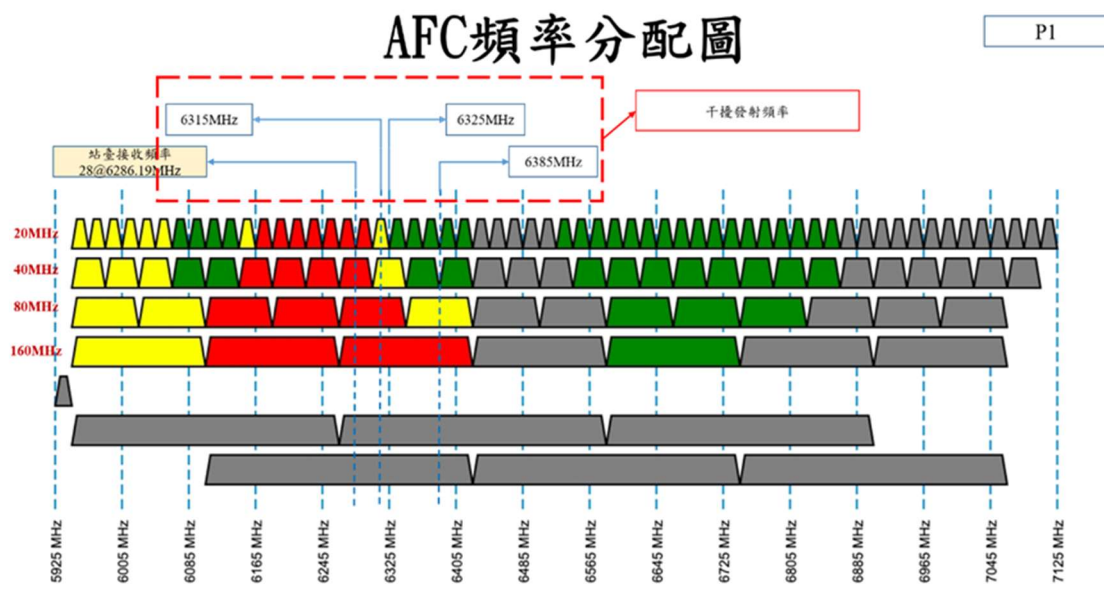


圖 4- 90、東港 P1 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P1_n

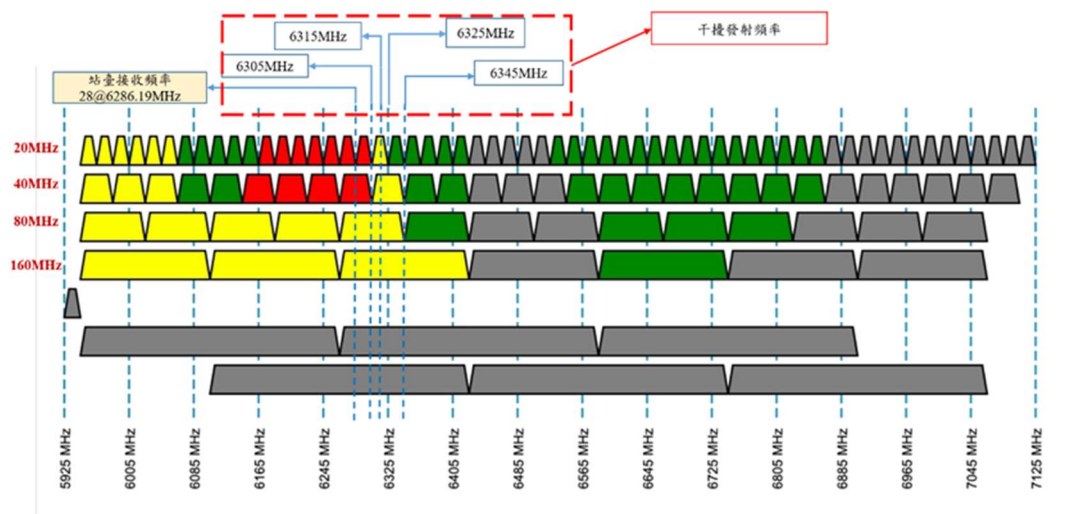


圖 4- 91、東港 P1_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P2

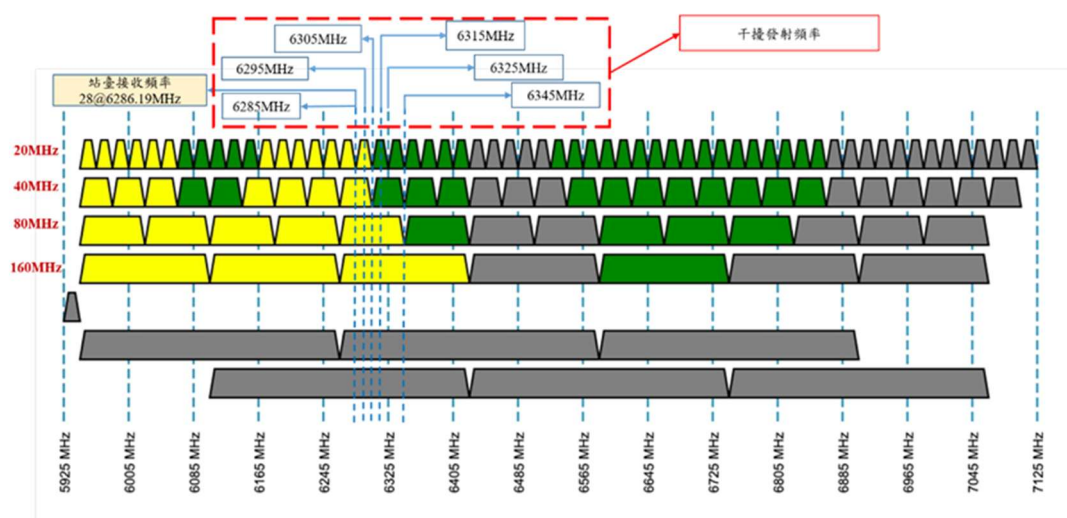


圖 4- 92、東港 P2 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P2_n

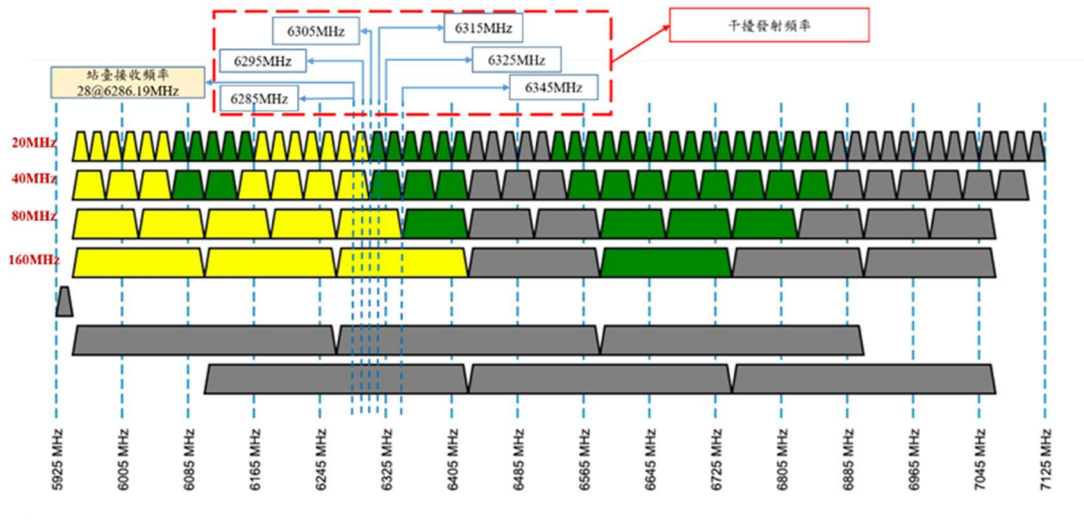


圖 4- 93、東港 P2_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P3

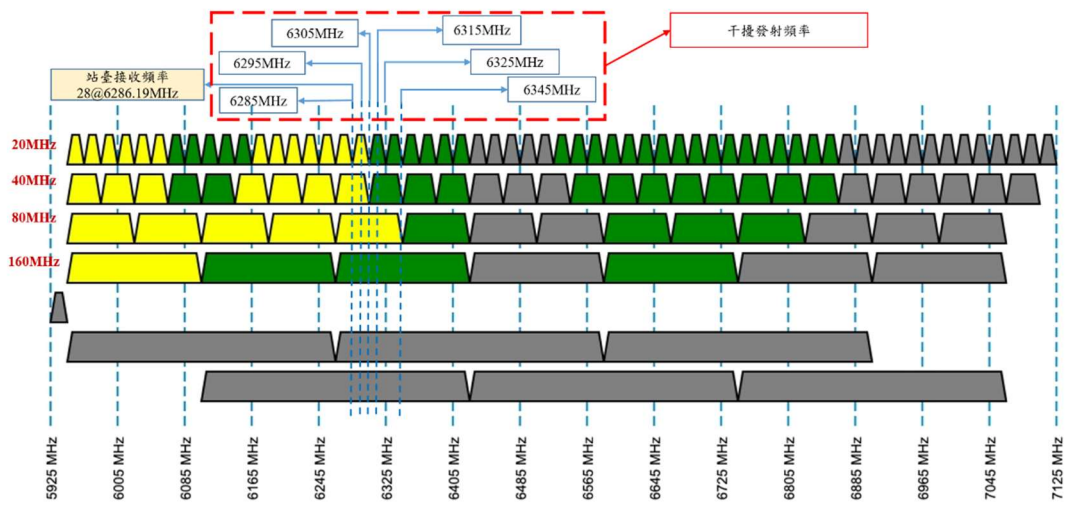


圖 4- 94、東港 P3 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

AFC頻率分配圖

P3_n

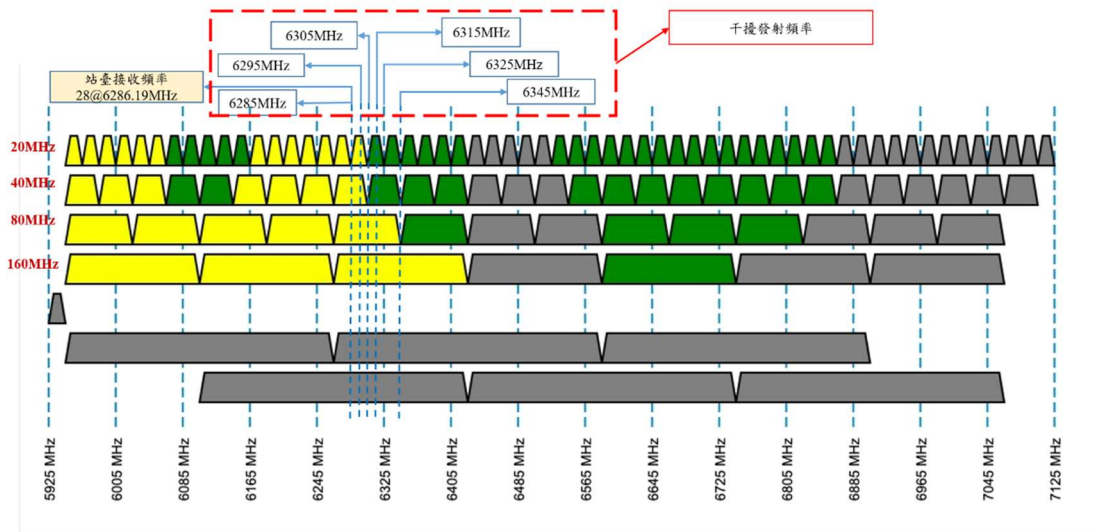


圖 4- 95、東港 P3_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理



圖 4- 96、東港現場情境一干擾測試照片

資料來源：本研究整理



圖 4- 97、東港現場情境二干擾測試照片

資料來源：本研究整理

3. 鄉村區域（臺東行通大樓）

鄉村區域為臺東行通大樓，其站臺地址為臺東縣臺東市新站路 100 號，GPS 座標為北緯 22 度 47 分 44.3 秒東經 121 度 07 分 28.6 秒，站臺實景圖如圖 4- 98 所示，其干擾測試點位如圖 4- 99 所示，測試地點地圖如圖 4- 100 所示，該區域干擾點位共有 6 個，分別為 P1（30 公尺內，可視）、P1_n（30 公尺內，不可視）、P2（30~1000 公尺，可視）、P2_n（30~1000 公尺，不可視）、P3（1000 公尺以外，可視）、P3_n（1000 公尺以外，不可視），各點位干擾測試參數由 Virtual AP 所給出如圖 4- 101 至圖 4- 106 所示，每個點位依頻寬 20、40、80、160MHz，各別尋找鄰近既有站臺受干擾鏈路中心頻率附近可用頻道做為干擾測試的頻率，再依循 Virtual AP 給出的功率進行干擾。現場測試照片如圖 4- 107 所示。



圖 4- 98、臺東行通大樓微波站臺

資料來源：本研究整理

行通大樓		
情境一&情境二		
點位	緯度	經度
P1	22°47'43.6"N	121°07'30.2"E
P1_n	22°47'44.0"N	121°07'31.2"E
P2	22°47'41.8"N	121°07'34.1"E
P2_n	22°47'39.4"N	121°07'40.3"E
P3	22°47'31.5"N	121°08'01.6"E
P3_n	22°47'30.8"N	121°08'02.0"E

圖 4- 99、行通大樓各干擾點位位置

資料來源：本研究整理

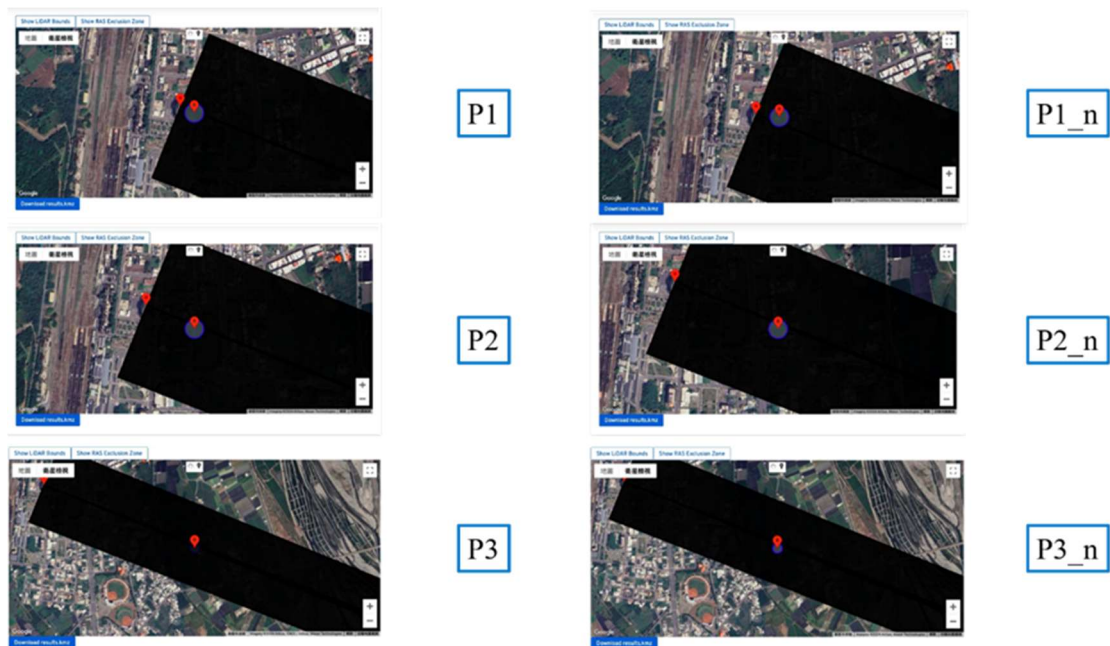


圖 4- 100、行通大樓各干擾測試點位地圖

資料來源：本研究整理

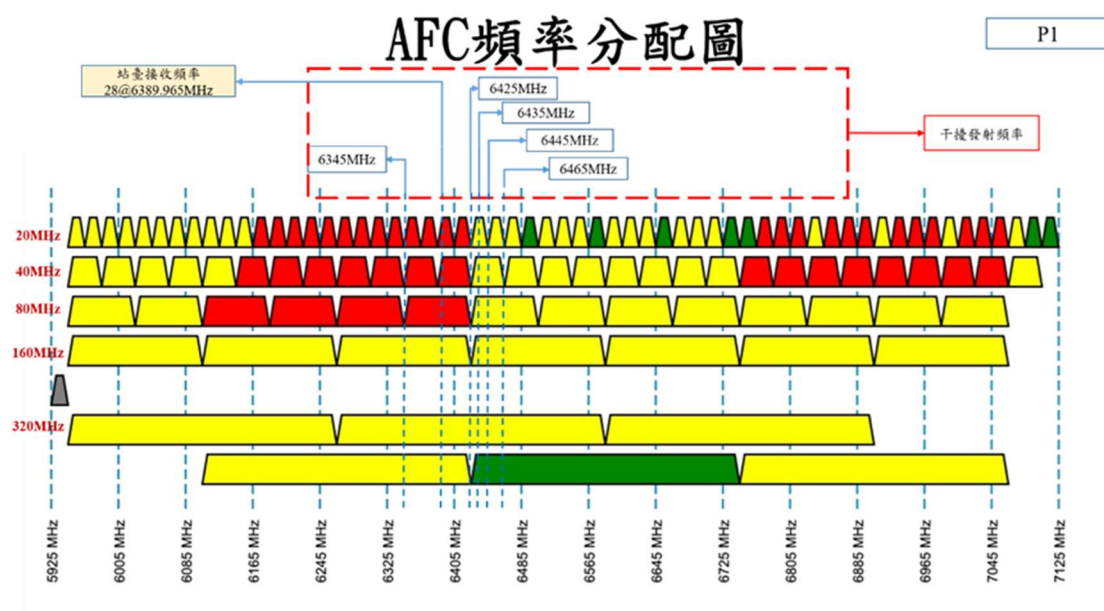


圖 4- 101、行通大樓 P1 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

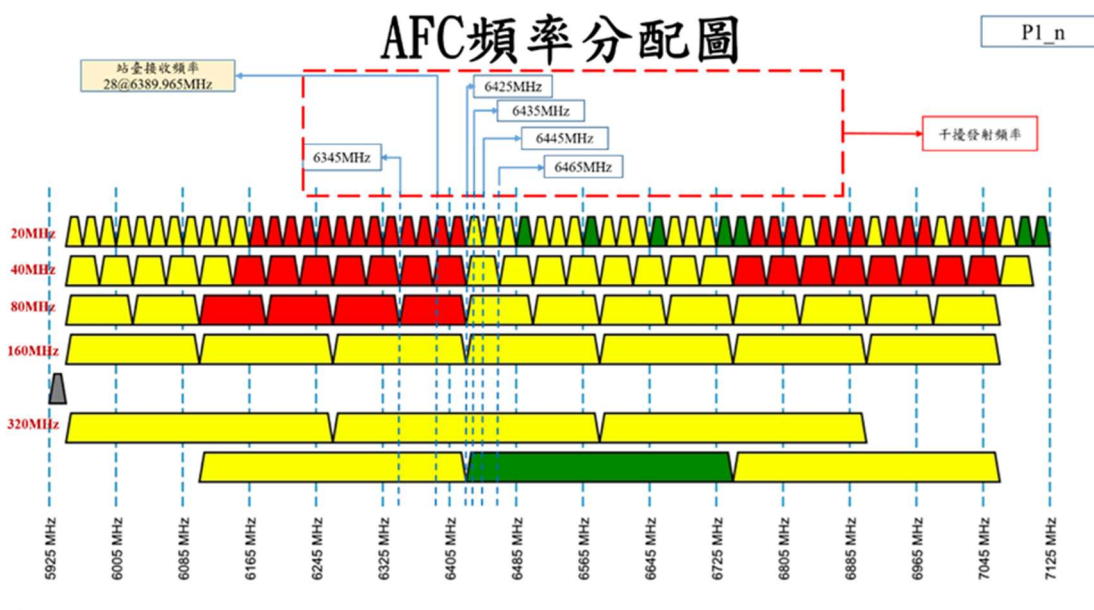


圖 4- 102、行通大樓 P1_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

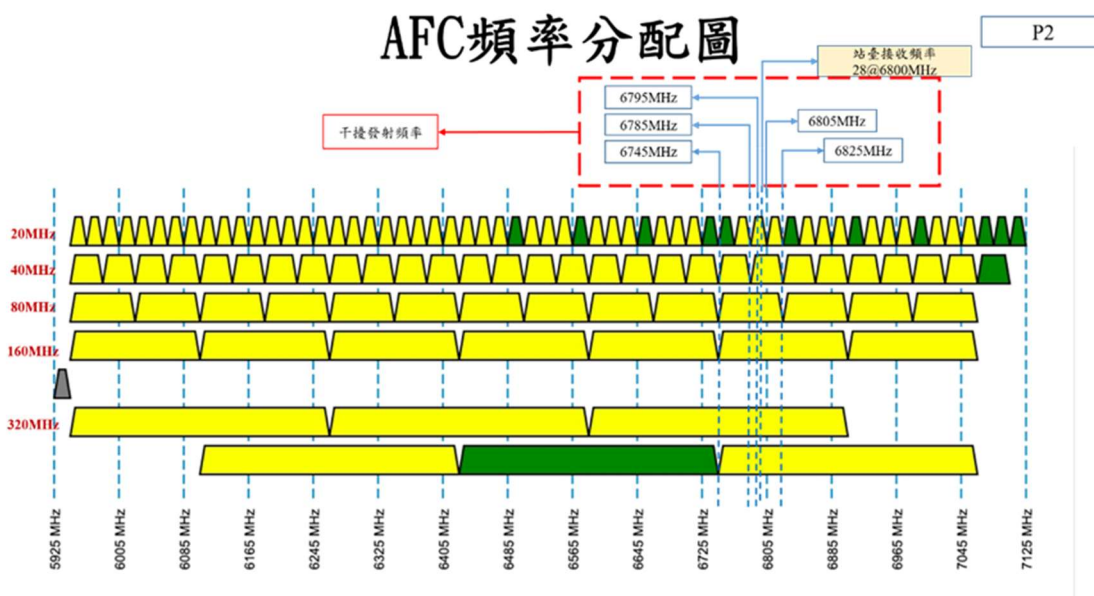


圖 4- 103、行通大樓 P2 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

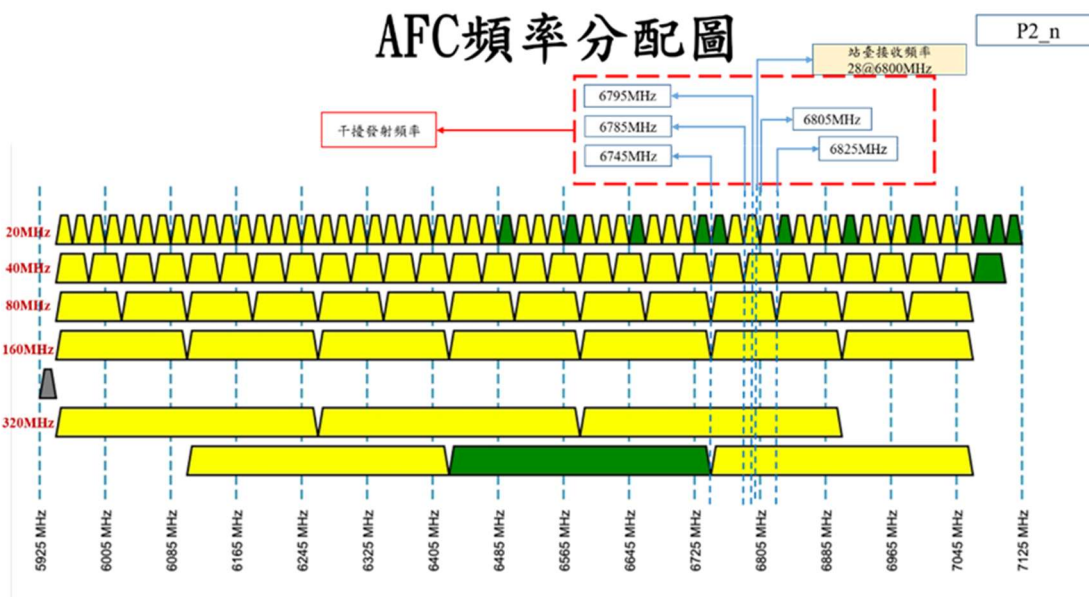


圖 4- 104、行通大樓 P2_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

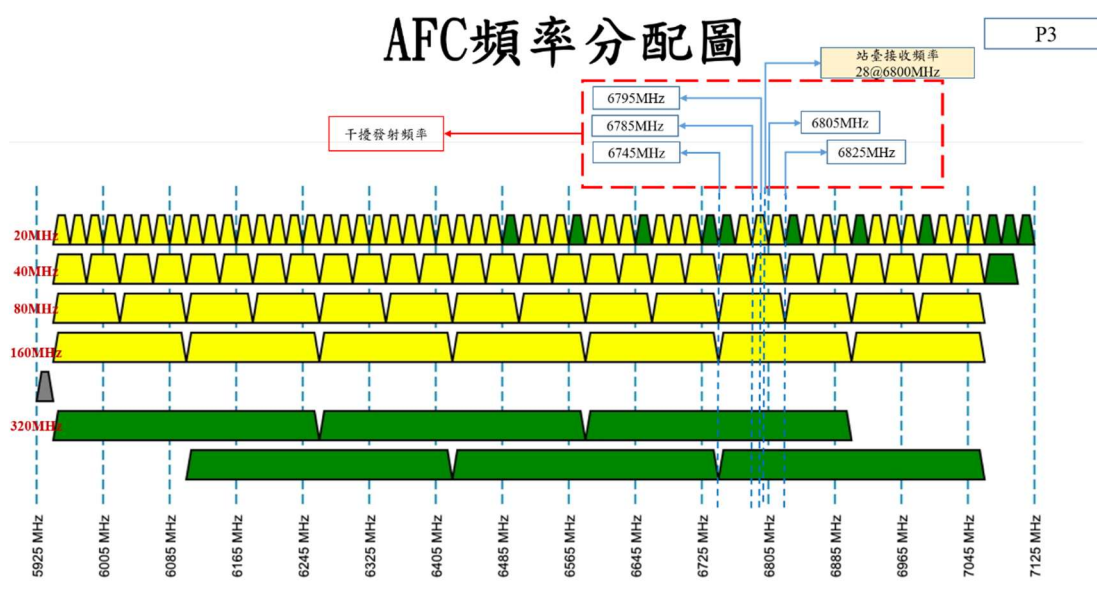


圖 4- 105、行通大樓 P3 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理

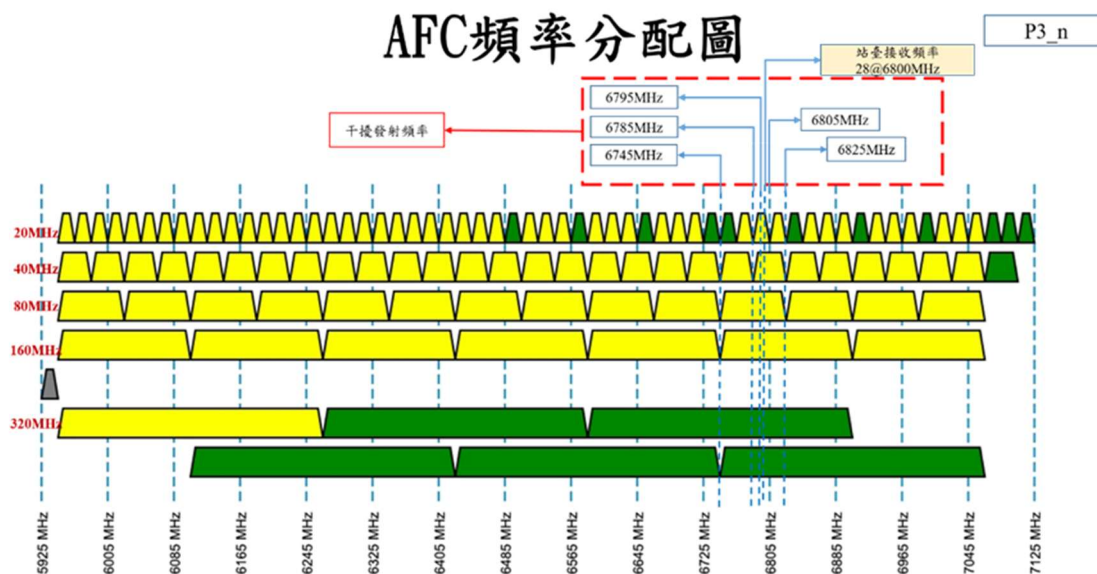


圖 4- 106、行通大樓 P3_n 干擾測試點測試參數

資料來源：本研究整理



圖 4- 107、行通大樓現場情境一與情境二干擾測試照片

資料來源：本研究整理

4. 結果分析與探討

基於本次干擾實測的方法進行測試，以下將對三個既有站臺測試分別進一步的結果探討。

(1) 新厝

此區域進行了情境一、情境二與情境三之干擾測試，情境一及情境二結果如圖 4- 108 至圖 4- 110 所示，情境三（空中平臺）結果圖 4- 110 至圖 4- 116 所示，遵循 AFC 給出的參數進行干擾信號發射，實測結果並不會對既有站臺產生干擾現象。

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

新厝

P1 (可視) 23.4878887 120.4360853

P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6075	29.1	2	20	無干擾	無干擾	<30	黃色
2	6095	36	2	20	無干擾	無干擾	<30	綠色
3	6085	23.3	2	40	無干擾	無干擾	<30	黃色

P1_n (不可視) 23.4878883 120.4360069

P1_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6075	18.4	2	20	無干擾	無干擾	<30	黃色
2	6095	36	2	20	無干擾	無干擾	<30	綠色
3	6125	25.2	2	40	無干擾	無干擾	<30	黃色

圖 4- 108、新厝 P1 與 P1_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

新厝

P3

P3 (可視) 23.4801833 120.4432066

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5975	21.5	25	20	無干擾	無干擾	>1000	黃色
2	6075	36	25	20	無干擾	無干擾	>1000	綠色
3	5965	24.5	25	40	無干擾	無干擾	>1000	黃色
4	6085	36	25	40	無干擾	無干擾	>1000	綠色
5	5985	27.5	25	80	無干擾	無干擾	>1000	黃色
6	6025	30.6	25	160	無干擾	無干擾	>1000	黃色

P3_n (不可視) 23.4805505 120.4435925

P3_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5975	21.4	2	20	無干擾	無干擾	>1000	黃色
2	6075	36	2	20	無干擾	無干擾	>1000	綠色
3	5965	24.4	2	40	無干擾	無干擾	>1000	黃色
4	6085	36	2	40	無干擾	無干擾	>1000	綠色
5	5985	27.4	2	80	無干擾	無干擾	>1000	黃色
6	6025	30.5	2	160	無干擾	無干擾	>1000	黃色

圖 4- 109、新厝 P2 與 P2_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

新厝

P2

P2 (可視) 23.4867726 120.4371758

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6075	36	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
2	6045	14.6	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
3	6085	36	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
4	6065	17.7	2	80	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
5	6185	20.9	2	160	無干擾	無干擾	30-1000	黃色

P2_n (不可視) 23.4862205 120.4382645

P2_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6015	15.8	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
2	6075	36	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
3	6045	18.9	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
4	6085	36	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
5	5985	14.9	2	80	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
6	6065	21.9	2	80	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
7	6025	18	2	160	無干擾	無干擾	30-1000	黃色

圖 4- 110、新厝 P3 與 P3_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

空中平臺(新厝)

P1

P1 (可視) 23.4878887 120.4360853

P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
2	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
3	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
4	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
5	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
6	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
7	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
8	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
9	6095	14	31	20	無干擾	<30	綠色
P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
2	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
3	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
4	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
5	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
6	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
7	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
8	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色
9	6125	14	31	40	無干擾	<30	黃色

圖 4- 111、新厝空中平臺 P1 頻寬 20、40MHz 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

空中平臺(新厝)

P1

P1 (可視) 23.4878887 120.4360853

P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
2	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
3	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
4	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
5	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
6	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
7	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
8	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
9	5985	14	31	80	無干擾	<30	紅色
P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
2	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
3	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
4	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
5	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
6	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
7	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
8	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色
9	6025	14	31	160	無干擾	<30	紅色

圖 4- 112、新厝空中平臺 P1 頻寬 80、160MHz 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

空中平臺(新厝)

P2

P2 (可視) 23.4867726 120.4371758

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
2	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
3	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
4	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
5	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
6	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
7	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
8	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色
9	6075	14	31.1	20	無干擾	30-1000	黃色

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
2	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
3	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
4	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
5	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
6	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
7	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
8	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色
9	6085	14	31.1	40	無干擾	30-1000	黃色

圖 4- 113、新厝空中平臺 P2 頻寬 20、40MHz 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

空中平臺(新厝)

P2

P2 (可視) 23.4867726 120.4371758

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
2	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
3	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
4	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
5	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
6	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
7	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
8	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色
9	5985	14	31.1	80	無干擾	30-1000	紅色

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
2	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
3	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
4	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
5	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
6	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
7	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
8	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色
9	6025	14	31.1	160	無干擾	30-1000	紅色

圖 4- 114、新厝空中平臺 P2 頻寬 80、160MHz 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

空中平臺(新厝)

P3

P3 (可視) 23.4801833 120.4432066

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
2	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
3	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
4	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
5	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
6	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
7	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
8	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色
9	5975	14	31.4	20	無干擾	>1000	黃色

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
2	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
3	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
4	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
5	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
6	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
7	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
8	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色
9	5965	14	31.4	40	無干擾	>1000	黃色

圖 4- 115、新厝空中平臺 P3 頻寬 20、40MHz 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：5974.85MHz

空中平臺(新厝)

P3

P3 (可視) 23.4801833 120.4432066

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
2	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
3	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
4	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
5	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
6	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
7	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
8	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色
9	5985	14	31.4	80	無干擾	>1000	黃色

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
2	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
3	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
4	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
5	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
6	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
7	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
8	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色
9	6025	14	31.4	160	無干擾	>1000	黃色

圖 4- 116、新厝空中平臺 P3 頻寬 80、160MHz 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

(2) 東港

此區域進行了情境一、情境二干擾測試，其結果如圖 4-117 至圖 4-119 所示，遵循 AFC 給出的參數進行干擾信號發射，實測結果並不會對既有站臺產生干擾現象。但此區域有額外做了一個功率逼近的干擾測試，使用指向性天線以及信號產生器，其結果只有 P2 干擾測試點位有顯著的干擾現象，其 AFC 系統給出的功率值與產生干擾之功率值差值為 10dB，如圖 4-120 所示，由此可以看出 AFC 對於功率的限制是相當的嚴謹。

既有站臺接收頻率：6286.19MHz

東港

P1

P1 (可視) 22.4718905 120.4561934

P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6315	18.1	2	20	無干擾	無干擾	<30	黃色
2	6325	19.4	2	40	無干擾	無干擾	<30	黃色
3	6385	30.3	2	80	無干擾	無干擾	<30	黃色

P1_n (不可視) 22.4713213 120.4557227

P1_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6315	34.1	2	20	無干擾	無干擾	<30	黃色
2	6325	35.3	2	40	無干擾	無干擾	<30	黃色
3	6305	16.7	2	80	無干擾	無干擾	<30	黃色
4	6345	19.8	2	160	無干擾	無干擾	<30	黃色

圖 4-117、東港 P1 與 P1_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：6286.19MHz

東港

P2

P2 (可視) 22.4703458 120.4552076

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6295	16.8	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
2	6315	36	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
3	6285	19.8	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
4	6325	36	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
5	6305	22.8	2	80	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
6	6345	25.9	2	160	無干擾	無干擾	30-1000	黃色

P2_n (不可視) 22.4695141 120.4544771

P2_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6295	21.3	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
2	6315	36	2	20	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
3	6285	24.3	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
4	6325	36	2	40	無干擾	無干擾	30-1000	綠色
5	6305	27.3	2	80	無干擾	無干擾	30-1000	黃色
6	6345	30.4	2	160	無干擾	無干擾	30-1000	黃色

圖 4- 118、東港 P2 與 P2_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：6286.19MHz

東港

P3

P3 (可視) 22.4643671 120.4502308

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6295	26.4	18	20	無干擾	無干擾	>1000	黃色
2	6315	36	18	20	無干擾	無干擾	>1000	綠色
3	6285	29.4	18	40	無干擾	無干擾	>1000	黃色
4	6325	36	18	40	無干擾	無干擾	>1000	綠色
5	6305	32.4	18	80	無干擾	無干擾	>1000	黃色
6	6345	36	18	160	無干擾	無干擾	>1000	綠色

P3_n (不可視) 22.4634463 120.4506214

P3_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6295	25.1	2	20	無干擾	無干擾	>1000	黃色
2	6315	36	2	20	無干擾	無干擾	>1000	綠色
3	6285	28.1	2	40	無干擾	無干擾	>1000	黃色
4	6325	36	2	40	無干擾	無干擾	>1000	綠色
5	6305	31.1	2	80	無干擾	無干擾	>1000	黃色
6	6345	34.2	2	160	無干擾	無干擾	>1000	黃色

圖 4- 119、東港 P3 與 P3_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：6286.19MHz

東港

P2

P2 (可視) 22.4703458 120.4552076

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6295	16.8	2	20	無干擾	30-1000	黃色
2	6295	18	2	20	無干擾	30-1000	黃色
3	6295	21	2	20	無干擾	30-1000	黃色
4	6295	24	2	20	無干擾	30-1000	黃色
5	6295	27	2	20	無干擾	30-1000	黃色
6	6295	30	2	20	有干擾	30-1000	黃色
7	6295	33	2	20	有干擾	30-1000	黃色
8	6295	36	2	20	有干擾	30-1000	黃色
9	6315	36	2	20	無干擾	30-1000	綠色

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6285	19.8	2	40	無干擾	30-1000	黃色
2	6285	21	2	40	無干擾	30-1000	黃色
3	6285	24	2	40	無干擾	30-1000	黃色
4	6285	27	2	40	無干擾	30-1000	黃色
5	6285	30	2	40	有干擾	30-1000	黃色
6	6285	33	2	40	有干擾	30-1000	黃色
7	6285	36	2	40	有干擾	30-1000	黃色
8	6325	36	2	40	無干擾	30-1000	綠色
9	6305	22.8	2	80	無干擾	30-1000	黃色

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6305	24	2	80	無干擾	30-1000	黃色
2	6305	27	2	80	無干擾	30-1000	黃色
3	6305	30	2	80	無干擾	30-1000	黃色
4	6305	33	2	80	有干擾	30-1000	黃色
5	6305	36	2	80	有干擾	30-1000	黃色
6	6345	25.9	2	160	無干擾	30-1000	黃色
7	6345	27	2	160	無干擾	30-1000	黃色
8	6345	30	2	160	無干擾	30-1000	黃色
9	6345	33	2	160	無干擾	30-1000	黃色

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6345	36	2	160	有干擾	30-1000	黃色

圖 4- 120、東港 P2 功率逼近干擾測試結果

資料來源：本研究整理

(3) 行通大樓

此區域進行了情境一、情境二干擾測試，其結果如圖 4- 121 至圖 4- 123 所示，遵循 AFC 給出的參數進行干擾信號發射，實測結果並不會對既有站臺產生干擾現象。

既有站臺接收頻率：6389.965MHz

行通大樓

P1

P1 (可視) 22.7954367 121.1250510

P1 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6435	26.3	2	20	無干擾	無干擾	<30	黃色
2	6445	29.4	2	40	無干擾	無干擾	<30	黃色
3	6465	32.4	2	80	無干擾	無干擾	<30	黃色
4	6345	16	2	160	無干擾	無干擾	<30	黃色
5	6425	19.1	2	320	無干擾	無干擾	<30	黃色

P1_n (不可視) 22.7955593 121.1253435

P1_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6435	26.3	2	20	無干擾	無干擾	<30	黃色
2	6445	29.4	2	40	無干擾	無干擾	<30	黃色
3	6465	32.4	2	80	無干擾	無干擾	<30	黃色
4	6345	16.8	2	160	無干擾	無干擾	<30	黃色
5	6425	20	2	320	無干擾	無干擾	<30	黃色

圖 4- 121、行通大樓 P1 與 P1_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：6800MHz

行通大樓

P2

P2 (可視) 22.7949542 121.1261358

P2 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6795	15.9	2	20	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
2	6805	18.9	2	40	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
3	6785	21.9	2	80	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
4	6825	24.9	2	160	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
5	6745	27.8	2	320	無干擾	無干擾	30~1000	黃色

P2_n (不可視) 22.7942645 121.1278594

P2_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6795	21.5	2	20	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
2	6805	24.6	2	40	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
3	6785	27.6	2	80	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
4	6825	30.6	2	160	無干擾	無干擾	30~1000	黃色
5	6745	33.5	2	320	無干擾	無干擾	30~1000	黃色

圖 4- 122、行通大樓 P2 與 P2_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

既有站臺接收頻率：6800MHz

行通大樓

P3

P3 (可視) 22.7920868 121.1337808

P3 (可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6795	25.8	2	20	無干擾	無干擾	>1000	黃色
2	6805	28.8	2	40	無干擾	無干擾	>1000	黃色
3	6785	31.8	2	80	無干擾	無干擾	>1000	黃色
4	6825	34.9	2	160	無干擾	無干擾	>1000	黃色
5	6745	36	2	320	無干擾	無干擾	>1000	綠色

P3_n (不可視) 22.7918925 121.1338862

P3_n (不可視)	使用頻率(MHz)	發射功率(dBm)	離地高度(m)	測試頻寬(MHz)	情境一干擾狀態	情境二干擾狀態	測試點離與站臺距離區間 (公尺)	備註
1	6795	25.6	2	20	無干擾	無干擾	>1000	黃色
2	6805	28.7	2	40	無干擾	無干擾	>1000	黃色
3	6785	31.6	2	80	無干擾	無干擾	>1000	黃色
4	6825	34.7	2	160	無干擾	無干擾	>1000	黃色
5	6745	36	2	320	無干擾	無干擾	>1000	綠色

圖 4- 123、行通大樓 P3 與 P3_n 干擾測試結果

資料來源：本研究整理

(三) 小結

本研究驗證 AFC 系統在臺灣使用之可行性，經過實際場域測試包含城市、郊區以及鄉村三種型態，其中每個型態包含三個測試距離區間，而每個區間又分別量測 LoS 以及 NLoS，最後再以 AFC 系統給出的頻道以及功率來進行干擾測試，其結果在本章第二節第二項的實測結果與分析中有詳細呈現，從結果得知 AFC 系統在臺灣是可以作為使用的，但因 AFC 並沒有針對多重 AP 進行探討，由量測結果可以得知，AFC 系統事實上，在發射功率上是有一定差額的功率保護，若 AFC 運行在城市、郊區與鄉村間，因人口密集度之差異，人口密度高的區域假設同時多人使用 AP，則以目前的差額 10dB，因發射功率之電波輻射功率的疊加效果，可能很容易功率就會越過可造成干擾的功率值，故未來如果 AFC 系統要在臺灣商用，可能還需要評估多 AP 的發射功率之電波輻射功率的疊加問題，除此之外，若要有效發揮 AFC 系統效能，對於既有站臺（如固定點對點微波服務或天文臺等）之盤點越詳細其效果越好，亦可以利用 AIoT 裝置對於環境進行感知，在將感知的資訊回饋給 AFC 系統進行優化，則頻譜共享的效益會更為顯著。

第三節 觀測國際 AFC 系統進展

一、FCC 公開測試

OET 要求除了 Lab Testing 之外，AFC 系統必須經過一個 Public Trial。在 Public Trial 期間，每個 AFC 系統申請者都必須將其 AFC 系統提供在網路上，讓任何有興趣的公眾成員有機會測試 AFC 系統的功能，Public Trial 可以與 Lab Testing 同時進行。

在 2023 年 5 月 11 日，Broadcom Inc.、Comsearch、Federated Wireless Inc.、Google LLC、Key Bridge Wireless LLC、Nokia Innovations、Plume Design Inc.、Qualcomm Incorporated、RED Technologies、Sony Group Corporation 和 Wi-Fi Alliance 的代表，與 OET 辦公室，共同討論了 6 GHz AFC 系統公眾測試（Public Testing）入口的概念。

根據 FCC Public Notice DA-22-1146¹⁰³的示範專案（Demonstration Project）要求，該概念提案將遵循以下規則：

在公開試驗期間，每個 AFC 系統申請者被要求提供一個網站，並在指定的時間內（例如 30 天），讓公眾有機會去測試這個 AFC 系統的功能。該網站將允許「測試者」提供指定的訊息給 AFC 系統，例如設備的緯度、經度、地面上的高度以及位置不確定性。AFC 系統將會計算出可用的 6 GHz 頻段頻道和最大允許功率。OET 允許 AFC 系統申請者共同經營一個公開試驗網站，作為測試多個 AFC 系統的單一入口，或者個別營運自己的網站。提供一個單一的網站供多個 AFC 系統使用，將受益於公眾，因為它提供了一種同時測試多個 AFC 系統，並比較它們返回的輸出結果的方式。在該概念性提案中，分為兩種架構模式來允許公眾接取 AFC 系統：

¹⁰³ FCC,OET ANNOUNCES CONDITIONAL APPROVAL FOR 6 GHZ BAND AUTOMATED FREQUENCY COORDINATION SYSTEMS, DA 22-1146

1. No Central Portal 無中央入口：

在這個示範案例中，每個 AFC 系統都使用自己的介面，公眾測試者必須分別向每個介面提交申請，如圖 4- 124 所示。

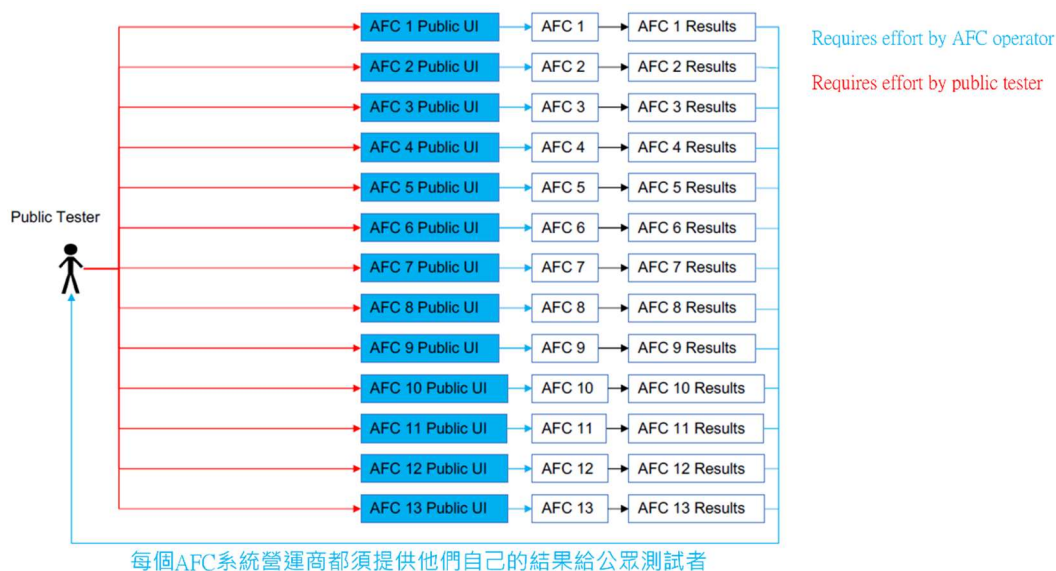


圖 4- 124、無中央入口之示範案例

資料來源：FCC、本研究整理

2. Portal Concept 入口概念：

在這個示範案例中，一部分 AFC 系統營運商使用中央入口，而其他人則選擇使用自己的介面。如圖 4- 125 所示，公眾測試者向公共入口提交查詢請求，入口便會將查詢分發給除了 11 號和 12 號之外的所有 AFC 系統。若測試者要將資料提交給未使用公共入口的 11 號或 12 號 AFC 系統，則須個別提交。

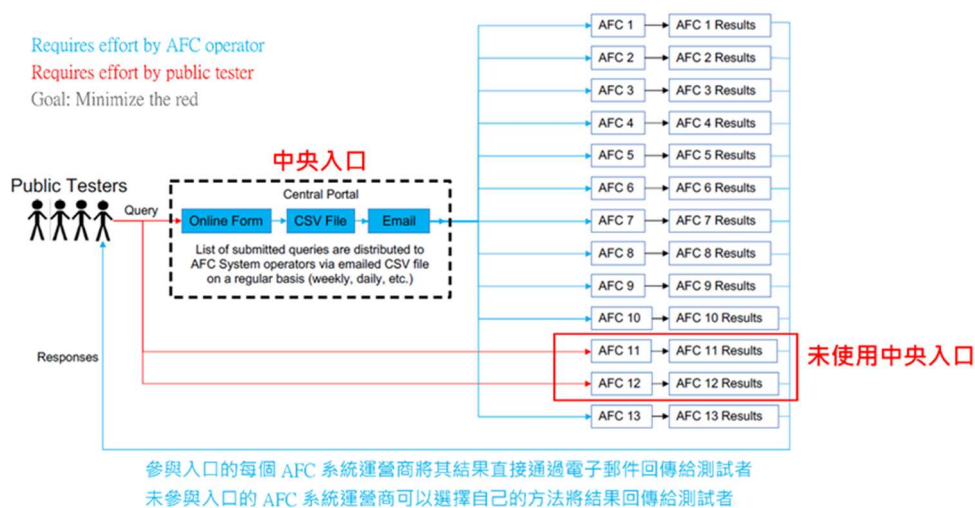


圖 4-125、入口概念

資料來源：FCC、本研究整理

(一) 公開測試方式

OET 允許每個 AFC 系統申請者選擇使用與其他 AFC 系統共用的測試入口網站，或者建立自己的測試入口網站。AFC 系統申請者必須提供清晰的使用者指南，關於如何使用測試入口網站以及如何單獨或批量輸入測試向量（如果有相應功能）。該測試入口網站還必須包含清晰的訊息，如果在使用測試入口網站時出現問題時，指導使用者如何尋求幫助或解答問題。該網站必須允許使用者輸入美國內的任何地點，包括美國領土和所有物。輸入訊息應包括測試地點的緯度、經度和高度，水平平面上的位置不確定性（即緯度和經度），以及高度不確定性。該網站應允許使用者使用 AFC 系統對 AFC 設備界面規範允許的任何方法指定水平位置的不確定性。被測試的 AFC 系統必須返回一個列表，顯示在該位置上的標準功率設備能夠以哪些頻段進行傳輸，以及每個頻段的最大功率水平。

入口網站還必須提供一個方式，讓使用者若認為提供的頻率範圍和功率水平不符合 FCC 的規定時，可以向 AFC 系統申請者提出挑戰。該功能可以透過直接在測試入口網站內輸入資訊，或者透過發送電子郵件的方式來實現。挑戰應包括聯絡資訊，例如挑戰者的

電子郵件或電話號碼，以及解釋為何認為返回的可用頻率和/或功率水平不正確的說明。若需要更多有關挑戰的資訊，AFC 系統申請者可以主動聯繫挑戰者。AFC 申請者必須回覆挑戰者，說明並解釋其挑戰的問題是有效或是無意義。公開試用測試入口網站必須對公眾開放至少四十五天。在測試入口網站變得可接取之前，AFC 申請者必須在 ET 文檔號碼 21-352 中提交一份通知，指明測試入口網站將何時開放，並提供用於接取的網址。AFC 申請者必須在此四十五天結束後的十五天內，接受針對網站回覆的可用頻率和/或允許功率水平的挑戰。這將為使用者提供足夠的時間來分析所有的測試結果，並在適當的情況下提出挑戰。測試入口網站上必須清楚指定所有日期，包括測試開始日期、結束日期和挑戰期結束日期。

一旦提出挑戰的截止日期過去，AFC 申請者必須準備一份描述公開試用的報告。該報告必須包括有關進行的公開測試數量的統計數據，以及 AFC 申請者認為適當的其他數據。此外該報告必須包括每個接收到的挑戰的摘要，以及解釋該挑戰是否對 AFC 系統功能提出了有效疑慮。如果該挑戰確實有效，報告必須解釋 AFC 系統申請者為解決這個擔憂所採取的行動，以及軟體更改完成或預計完成的日期。

如果軟體更改已經完成，AFC 申請者必須提供證據，證明更新的 AFC 系統在挑戰中提出的擔憂已得到充分解決。如果軟體尚未更新，AFC 申請者必須在 AFC 系統軟體更新並經過充分測試後提交一份補充報告，並提供證據，證明更新後的 AFC 系統在挑戰中識別的問題已得到解決。

OET 將審查 Public Trial 報告，並可能要求 AFC 系統申請者提供額外訊息，或者如果需要修正任何仍然存在的缺陷，或者修正在 Public Trial 期間可能出現的其他問題。

(二) 公開測試的挑戰內容

向 AFC 系統營運商提出挑戰的，主要有兩家公司與一家研究機構，分別為美國電話與電報公司（AT&T Corporation， American Telephone & Telegraph）、第一能源公司（FirstEnergy Corp.）、美國電力研究院（ElectricPowerResearchInstitute,EPRI），以下將個別敘述其挑戰內容。

1. AT&T 公司

AT&T 為美國三大電信公司之一，是美國最大的固網電話與行動電話服務供應商，主要在美國提供電信相關服務，如提供美國境內客戶所需的無線網路連線、寬頻光纖傳輸、語音與文字通信，以及乙太網路等通信服務等。

AT&T 在公開挑戰期間向七個 AFC 申請者提出質疑。AT&T 表示，它花費了大量時間與 AFC 申請者合作，以找出 AFC 系統計算結果差異的確切原因。AT&T 也是目前這三家唯一挑戰成功，讓 AFC 申請者修改了他們的 AFC 系統，包含不允許標準功率設備在離岸地點或美國邊界之外運行，或調整用於確定涉及無源微波反射器的計算中使用的高度的方法。有鑑於這些 AFC 系統修改的性質以及 AFC 申請者提出已解決這些潛在問題的主張，FCC 認為不需要對這些問題進行額外的測試。

FCC 認為 AT&T 的挑戰內容比較理性，能在傳播模型如何實現的許多細節上得出不同的結論。例如，AFC 申請使用了國家土地雜波資料庫（NLCD），該資料庫已重新格式化以匹配其 AFC 系統使用的緯度/經度網格的間距，而 AT&T 則使用未經修改的 NLCD 資料。這可能會導致不同的地面雜波，因為重新格式化會導致測試位置被分類為不同的雜波類型，順帶影響使用的傳播模型類型（城市、郊區、鄉村、貧瘠）。

其他計算上的差異如下：

- 不規則地形模型（ITM）的傳播模型使用了不同的評估點
- 對測試點周圍的不確定性區域使用了不同的評估點
- 忽略了距發射點超過 200 公里的所有微波接收器
- 將 ULS 資料庫中微波接收器高度為負值者替換為 1.5 米。

FCC 雖同意 AT&T 的觀點，但這些實施差異並不構成延遲核准 AFC 系統的理由。此外，根據這些經過計算的可用頻譜和最大發射功率的差異性比對的結果，對免授權設備對既有服務系統造成干擾的可能性並沒有明顯差異。

此外，AT&T 也提出相關建議，包含實現開發傳播模型的標準化、未來 AFC 系統所發生的計算問題、AFC 系統設定值變更由民間產業組織決定等，FCC 雖理解 AT&T 的擔憂，但現階段不會按照 AT&T 的要求，進行任何變更。未來頻段的發展有可能會影響 AFC 系統的計算，以致於要對系統進行任何變更，都應接受 FCC 的審查，依據 AFC 系統核准條件，營運商必須遵守以下規定：（一）進行可用頻率與最大發射功率的修改，須告知 OET 和社會大眾。（二）在實施任何的修改前，需得到 OET 的核准。OET 有責任管理 AFC 系統並確保其運作符合委員會的規則，以防止對被授權人造成有害干擾，這項責任不能委託給民間產業組織。

2. EPRI 電力科學研究院

EPRI 向每個進行公開測試的 AFC 系統提交測試點，這些測試點的位置分布在微波天線主波束（main beam）的中心線上，並且屬於可視（line of sight）微波站臺的形式。然後 EPRI 將 AFC 系統回應的訊息與自由空間路徑損耗進行計算和比較，根據上述的結果，EPRI 認為測試點的位置與微波站臺之間，若是可視（line of sight），則使用自由空間路徑以外的傳播模型，將會發生對微

波站臺保護不足的情況。除此之外，EPRI 也提出以下的問題：

- 根據 FirstEnergy 進行實際測試所獲得的實驗結果顯示，將多個標準功率設備擺放在一起時，其所產生的附加干擾會超過 AFC 系統使用的干擾保護標準值（-6 dB I/N）。
- 在距離 1 公里處，AFC 操作存在約 20 dB 的階梯不連續性，這意味著在超過 1 公里的距離處使用的 ITM 傳播模型對微波接收器的保護嚴重不足。

為了解決階梯不連續性並減輕視距情況和附加干擾的挑戰，EPRI 建議 AFC 系統在微波接收器周圍 30 公尺半徑內使用自由空間路徑損耗，該接收器以鑰匙孔形狀延伸，其尺寸由微波天線波束寬度為 3 dB，傳輸距離可達 10 公里。EPRI 表示，打算進行現場測試，以確認其對公開試驗結果分析的準確性，並打算與 WinnForum 6 GHz 委員會合作，探討對 AFC 路徑損耗模型的修改，以減少有害干擾的可能性。

AFC 系統申請者對於 EPRI 的挑戰，提出以下的回覆：

- 他們的系統使用 FCC 規範的傳播模型，並且規範並未要求對多個標準功率接取點進行聚合干擾計算。FCC 也明確拒絕要求 AFC 系統在計算時，需考慮來自多個標準功率接取點加起來的總干擾。
- FCC 的規範中，規定 AFC 系統需要使用的傳播模型，它們用來模擬標準功率接取點和既有服務設備對既有微波站臺服務造成有害干擾的可能性。這些規則規定，自由空間路徑損耗模型適用於 30 公尺以內的距離，無線世界倡議新無線電第二階段（WINNER II）模型適用於 30 公尺以上且不超過 1 公里的距離，以及具有附加雜波損耗的 ITM 模型可在距離大於 1 公里時使用。但 EPRI 的主

張似乎已背離 FCC 的規範，他們應該做的是確認 AFC 系統是否在 FCC 的規範內正常運作。當初在採用 AFC 系統的傳播模型規範時，FCC 也拒絕更廣泛的應用自由空間模型。

- EPRI 本質上是主張修改 FCC 的規範。然而，任何此類的更改都必須透過 FCC 在規範制定程序中，經過同意才能完成，因此，超出了 AFC 系統的公開測試範圍，EPRI 的質疑並不能得出這七個 AFC 系統不符合 FCC 規範的結論。

3. First Energy

FirstEnergy 對除了高通之外的 6 個 AFC 系統提出了三個測試點的挑戰。FirstEnergy 的挑戰為其它 AFC 申請者所詬病的點，在於他們的 Pathloss 6 軟體使用的自由空間傳播模型是帶有繞射損耗，這不符合 FCC 要求，而且在微波接收器的設定上使用不同的雜訊係數、天線增益和饋線損耗，導致計算結果嚴重偏離 WinnForum 為 AFC 系統所制定的規範，因此，FCC 認定 FirstEnergy 的挑戰並不能提當作 AFC 系統運作異常的結論。

(三) 公開測試結果

再經過漫長的公開測試之後，AFC 系統營運商高通、Federated Wireless、Sony、Comsearch、Wi-Fi 聯盟、無線寬頻聯盟和博通提交的公開測試報告，符合 FCC 制定的 AFC 系統相關規範，相關的測試結果如表 4-26 所示。因此，在 2024 年 2 月 23 日，FCC 宣布這七個 AFC 系統可從事商業營運¹⁰⁴。這開創了 Wi-Fi 的新時代，

¹⁰⁴ FCC (2024), OET ANNOUNCES APPROVAL OF SEVEN 6 GHZ BAND AUTOMATED FREQUENCY COORDINATION SYSTEMS FOR COMMERCIAL OPERATION AND SEEKS COMMENT ON C3 SPECTRA'S PROPOSED AFC SYSTEM

因為 6 GHz Wi-Fi 標準功率設備，終於可以在美國境內各地使用。

表 4- 26、挑戰結果

申請者	開始日期	測試日期	提交的測試地點數量	收到的挑戰件數
Qualcomm	9/6/23	10/20/23	510	90
Broadcom	9/5/23	10/19/23	686	93
Wi-Fi Alliance	9/6/23	10/21/23	686	156
Wireless Broadband Alliance	10/10/23	11/24/23	751	112
Sony	9/11/23	10/26/23	691	120
Federated Wireless	9/7/23	10/22/23	730	96
Comsearch	9/8/23	10/23/23	686	117

資料來源：FCC

二、南韓 KAFC 發展現況

當 FCC 在 2020 年宣佈開放 6GHz 全頻段給 Wi-Fi 使用後，南韓的科學技術情報通信部（Ministry of Science and ICT, MSIT）也於同年開放 6GHz 全頻段，是繼美國後第二個開放 6GHz 全頻段使用的國家，並且南韓參照 FCC 推行的 AFC 系統的規範，發展符合南韓環境使用的 KAFC 系統。

（一）南韓 6GHz 使用現況

南韓 6 GHz 頻段有多個系統在使用，包含既有服務站臺(Fixed Services)、電視廣播和支援服務（Television Broadcast and Support Services，TBSS）和廣播輔助服務（Broadcast Auxiliary Service, BAS），如圖 4- 126 所示。由於 TBSS 佔用 UNII-5 一半的頻段，導致該頻段無法被 KAFC 系統使用，並且 TBSS 運行在移動中繼車，例如新聞採訪，使得 KAFC 的地理定位資料庫方法無法使用在移動中繼車的情境。因此，南韓政府與利害關係人達成了共識，為了有效利用 6GHz 頻段，透過頻譜重耕（Spectrum Refarming）將 TBSS 和 BAS 安置在 6605-6765MHz 和 6945-7125MHz，使得 KAFC

系統能夠利用 5925–6605 MHz 和 6765–6945 MHz。作為回報，TBSS 獲得額外的 20 MHz 頻段用於超高清（Ultra-High Definition, UHD）電視，而 FS 系統的頻寬則減少至 20 或 30MHz。

美國和韓國之間的差異在於 TBSS 佔用頻譜的不同；美國的 TBSS 佔用 UNII-6 和 UNII-8，因此 AFC 系統只管理 UNII-5 和 UNII-7。儘管如此，AFC 和 KAFC 系統仍提供 9 個 80 MHz 頻道和 4 個 160 MHz 頻道。頻譜重耕也有助於南韓 Wi-Fi 7 的發展，Wi-Fi 7 可以使用於 5925–6605 MHz 區間的 320MHz 的頻道。

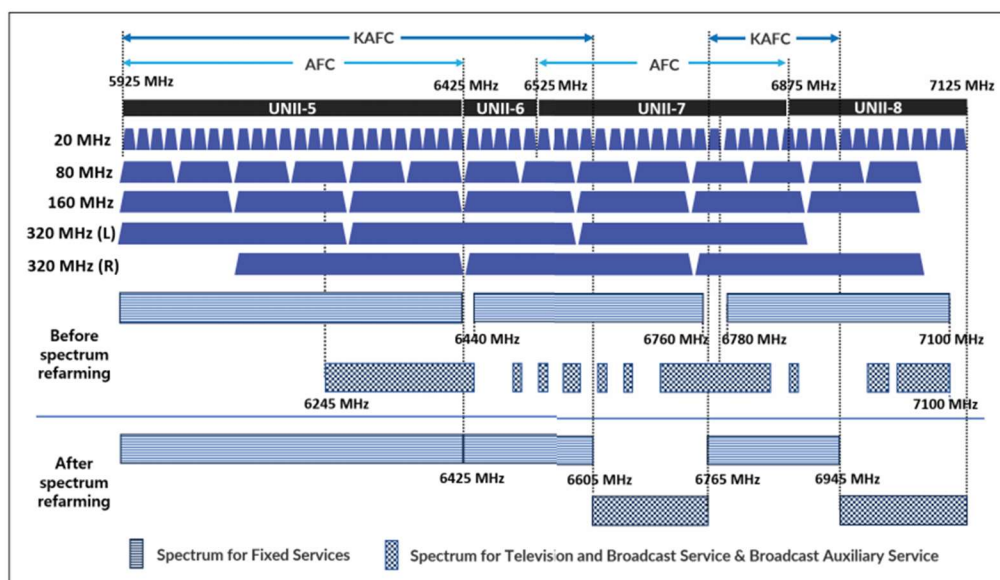


圖 4- 126、南韓 6GHz 頻段既有服務規劃

資料來源：Deploying Automated Frequency Coordination System for Wi-Fi 6E in South Korea: Challenges and Opportunities

(二) KAFC 系統介紹

KAFC 系統使用 AFC 系統的參考模型，系統架構如圖 4- 127 所示，基本功能與 OPEN AFC 大致相同，Request Gateway 負責處理 AP 連線、認證和回應可用頻道和發射功率；WEB Server 提供系統管理（System Manager）和分析工具功能（Exclusion zone&Protection contour Analysis Tool）給管理者使用；Spectrum

Availability Calculator 功能負責計算可用頻道和發射功率，其餘的就是關於 AP 認證、地理和地形高度圖資、既有服務站臺等資料庫。

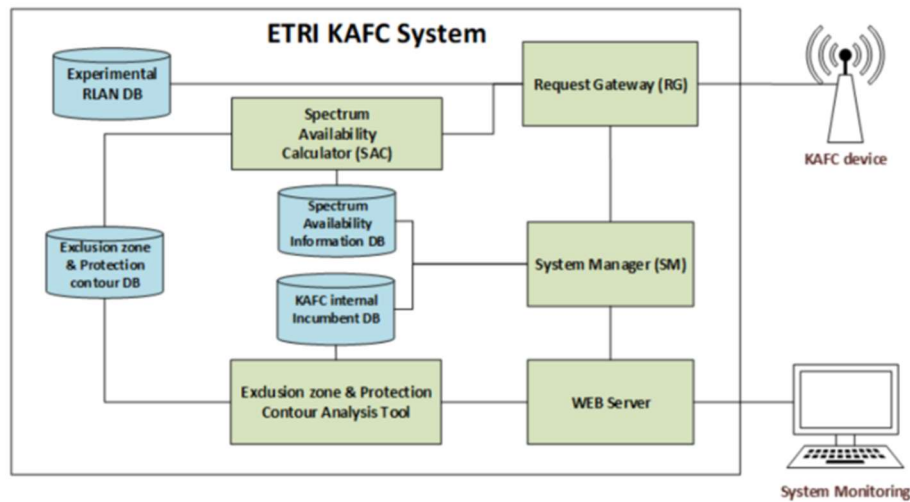


圖 4- 127、KAFC 架構

資料來源：ETRI

在連接外部資料庫的部分，KAFC 定期從韓國國家無線電研究機構（National Radio Research Agency, NRRA）資料庫中獲取系統所需資訊例如圖 4- 128 所示，包含連接到 ULS 資料庫獲取天線場型（Antenna Patterns）、發射功率、波罩（Emission Mask）、頻寬和其他既有系統的特性資訊；以及從 AP 型式認證資料庫獲取用於身份驗證和授權的標準功率 AP。另外，KAFC 也會從國家地理資訊系統（National Geographic Information System, NGIS）檢索地理訊息，得到 1 弧秒（arc second）數值高程地形資料（Digital Elevation Terrain Data）和形態資訊。

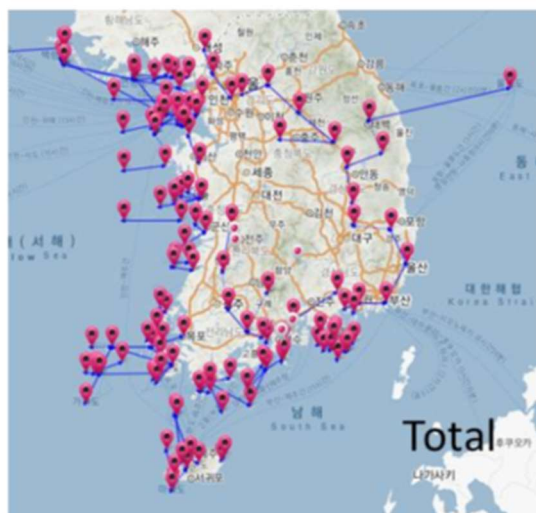


圖 4- 128、KAFC 的南韓既有服務站臺資訊畫面

資料來源：ETRI

布建時，標準功率 AP 遵循 AFC 系統到 AFC 設備介面（SDI）規格¹⁰⁵。因此，他們必須透過網路發送頻譜查詢訊息，向 KAFC 系統提供其地理位置詳細訊息，包括緯度、經度、海拔、室內/室外狀態和位置不確定性。此外，SP-AP 必須傳送其他相關資訊以用於身分驗證和授權目的。KAFC 系統收到 SP-AP 的頻譜查詢後，使用製造商的序號和認證 ID 來驗證 SP-AP 的合法性。一旦驗證透過，SP-AP 就會獲得可用頻道和最大發射功率的清單如圖 4- 129 所示。

¹⁰⁵ Wi-Fi Alliance, AFC System to AFC Device Interface Specification v1.5.

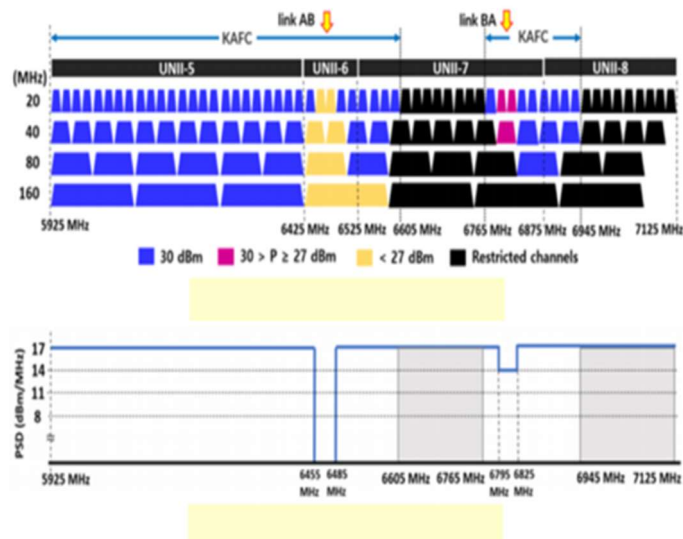


圖 4- 129、KAFC 的可用頻譜資訊畫面

資料來源：ETRI

(三) 商業模式

目前韓國電子通信研究院（Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI）將 KAFC 以技術轉移的方式，提供給想在 6 GHz 頻段使用頻率共享服務和接取的公司、企業或公共機構。ETRI 是一所為引領韓國科學技術發展而由韓國政府出資設立的國家級研究機構。研究院主要針對資訊、通信、電子、廣播、半導體、材料等資訊通信（ICT）領域的技術研發，透過技術成果轉化促進國家經濟與社會發展，為創造國家新價值、提高產業競爭力、開拓新市場等國家力量做出貢獻。ETRI 截至目前為止已透過 4 項 AFC 的專利，專案如下：

1. 自動頻率調節系統的監測方法及裝置(申請號:2023-0143735)。
2. 估計頻率共享系統最大允許功率的方法及裝置(申請號:2023-0129471)。
3. 頻率保護區輪廓的生成共享方法和執行此操作的裝置(申請號碼:2023-0129635)。
4. 用於執行 AFC-AP 連接操作的通信裝置和接取點及其操作方法

(申請號碼：2023-0107177)。

KAFC 技術轉移的內容與範圍，包含固定無線站點資訊校正和驗證技術、基於無線站鏈路的保護區輪廓生成技術、可用頻率和最大允許輸出功率計算技術和 KAFC 系統與 KAFC 終端之間的連接技術。技術轉移的收費標準如表 4-27、收費標準所示。

表 4-27、收費標準

類別	小型企業	中型企業	大型企業
技術費（韓元）	70,000,000	212,000,000	283,000,000

資料來源：ETRI

第四節 小結

本計畫藉由精度 30 公尺的臺灣地形圖資取代原先精度只有 1 公里的內建地形圖資，達成優化 Open AFC 圖資的成果，透過 Open AFC Virtual AP 功能，驗證該圖資可正常運行於 Open AFC。除此之外，還將原先只能運行在美國區域的熱圖分析功能，調整成可在臺灣區域運行。並且操作系統內建的其他國家法規設定來作模擬測試，這會為實地站臺干擾量測的三種類型：城市、郊區、鄉村，帶來幫助。

建置臺灣既有服務站臺資料庫與 NCC AP 資料匯入功能，已依功能規劃完成，NCC 提供的既有服務站臺資訊透過格式轉換匯入到 AFC 系統並可在 Virtual AP 功能的地圖畫面呈現各站臺點位。另外，本研究針對 NCC 與 Open AFC 的 AP 認證資料欄位，提出調修方式，減少因過濾 NCC 認證資料所浪費的時間，未來也將尋思有無其他更好的做法。

本研究驗證 AFC 系統在臺灣使用之可行性，經過實際場域測試，AFC 系統在臺灣是可以作為使用的，但因 AFC 並沒有針對多重 AP 進行探討，故未來如果 AFC 系統要在臺灣商用，可能還需要評估多 AP 的發射功率之電波輻射功率的疊加效果，對於既有站臺是否存在干擾的可能性，對於 AFC 系統之優化也可以朝此方向進行探討，若

再加入 AI 頻譜感知，則頻譜共享的效益會更為顯著。

在觀測國際 AFC 發展現況部分，FCC 核准這七個 AFC 系統營運商：高通、Federated Wireless、Sony、Comsearch、Wi-Fi 聯盟、無線寬頻聯盟和博通，它們提交的公開測試報告，對於本計畫執行實地站臺干擾量測亦是重要的參考指標。另外，關於南韓的 KAFC，本研究從 2024 年 1 月 IEEE Communications Magazine 刊登的文章¹⁰⁶，終於能一窺 KAFC 的發展全貌，南韓政府盤點 6GHz 既有使用者，然後進行頻譜重耕，提供 Wi-Fi 更寬廣的使用範圍和 KAFC 的發揮空間，KAFC 雖參考 FCC 和 Wi-Fi Alliance 規範，但最大發射功率卻訂在 30dBm，也就是 KAFC 採取比 AFC 更為保守的方式，以降低未來布建時的風險和挑戰。

本計畫採用之 OPEN AFC 軟體屬於 BSD (Berkeley Software Distribution) 的三條款授權(3-Clause License)版本，允許使用者重製、散佈、修改和商業化，限制條件只需留下原本程式碼的著作權標示內容 (Copyright) 並且不得使用原專案作者的名聲，來作為後續散佈程式進行廣告或背書。因此，建議我國若採行類 AFC 系統為開源軟體類型，應以宣告 BSD 三條款授權的版本為優先選擇。

¹⁰⁶ IEEE Communications Magazine (Volume: 62, Issue: 1, January 2024), <https://ieeexplore.ieee.org/document/10401897>