

一一一年補助研究報告

計畫編號：Y111-F1

頻譜產研發展觀測計畫

期末報告

計畫補助機關：數位發展部

執行單位：財團法人電信技術中心

中華民國一一一年十二月

一一一年補助研究報告

計畫編號：Y111-F1

頻譜產研發展觀測計畫

期末報告

執行單位

財團法人電信技術中心

計畫主持人

郭作麟

本報告不必然代表數位發展部意見

中華民國一一一年十二月

目次

目次.....	I
圖目次.....	II
表目次.....	VI
計畫摘要.....	IX
ABSTRACT.....	XIII
第一章、緒論	1
第一節、計畫背景	1
第二節、計畫動機與主題	1
第三節、執行進度與效益	7
第二章、國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測	11
第一節、6G 技術演進及頻譜政策觀測	11
第二節、重點國家 6G 頻譜與產業新技術推動政策研析	55
第三節、重點電信業者 6G 計畫研析	105
第四節、我國現況與小結	127
第三章、既有使用者使用狀態與干擾評估	133
第一節、6 GHz 既有使用情況盤點作業	133
第二節、主要國家 6 GHz 免執照頻段技術規範研析	138
第三節、6 GHz 應用於免執照頻段電波特性研析	155
第四節、6 GHz 免執照頻段對於既有使用者干擾評估	160
第五節、其他延伸議題研析	211
第六節、小結	213
第四章、和諧有效使用機制研析	217
第一節、潛在候選機制盤點與研析	217
第二節、適合我國和諧共享頻譜機制可行性評估	276
第三節、小結	287
第五章、結論與建議	288
參考文獻.....	304
中英名詞對照.....	315

圖目次

圖 1- 1、各國 6 GHz 頻譜開放概況	4
圖 2- 1、ITU-R WP5D 工作組 IMT-2030 時程表	11
圖 2- 2、IMT-2030 願景情境概況.....	12
圖 2- 3、WRC-23 大會 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）議題	14
圖 2- 4、THz 頻段主動成像安檢系統概念圖	18
圖 2- 5、短距離點對點高速傳輸使用案例	18
圖 2- 6、THz 頻段作為高密度區域傳輸概念圖	19
圖 2- 7、THz 頻段智慧家庭應用情境.....	19
圖 2- 8、APT 對於 WRC-23 大會 IMT 頻譜議題初步立場	20
圖 2- 9、3GPP 公告 Release 時間表	21
圖 2- 10、3GPP 對於 6G 相關時程.....	21
圖 2- 11、全世界主要國家對 Open RAN 之採用現況.....	25
圖 2- 12、NGMN 聯盟 6G 計畫時程表	32
圖 2- 13、NGMN 聯盟提出 6G 應用四大類別與 13 個通用案例.....	36
圖 2- 14、Next G Alliance 運作架構概況.....	38
圖 2- 15、Next G 聯盟之 6 大雄心目標	40
圖 2- 16、Next G 聯盟 6G 應用白皮書中四項基本領域	42
圖 2- 17、通用 6G 關鍵績效指標	47
圖 2- 18、6G 頻譜可用範圍與自由空間損耗和受水蒸氣吸收的影響	52
圖 2- 19、Hexa-X 計畫 6G 願景	58
圖 2- 20、6G 終端到終端系統架構示意圖	60
圖 2- 21、2022 年 10 月歐盟會員國在 5G 先期頻段釋出統計概況...66	
圖 2- 22、THz 頻譜潛在應用	69
圖 2- 23、英國 6425-7070MHz 規劃與 WiFi 頻道相容示意圖	71
圖 2- 24、英國毫米波頻段分配圖	72
圖 2- 25、NSF 主導之先進無線研究平臺.....	77
圖 2- 26、兆赫茲頻段通信與感測中心架構圖	83
圖 2- 27、日本 2030 年社會願景	87
圖 2- 28、日本 Beyond 5G 技術指標.....	88
圖 2- 29、日本 28 GHz 頻段核配現況	90
圖 2- 30、韓國行動通訊基礎建設與 R&D 發展時間軸	92
圖 2- 31、韓國 6G 指標概念圖	93

圖 2- 32、韓國 6G 指標-超精密定位服務示意圖	94
圖 2- 33、韓國 6G-KPS 超精密連結定位技術	95
圖 2- 34、韓國通訊酬載天線/RF 及連接技術	95
圖 2- 35、韓國零碳網路/能源最佳化等無線存取	96
圖 2- 36、韓國 6G 指標-超低延遲與高信任服務	97
圖 2- 37、韓國大規模與高涵蓋融合 IoT 網路技術	97
圖 2- 38、NTT DoCoMo 之 6G 技術需求與應用情境	107
圖 2- 39、KDDI 虛實整合與 6G 技術概念圖	112
圖 2- 40、中國移動 6G 網路概念之三體四層五面架構	118
圖 2- 41、Orange 觀點下的 6G 技術需求示意圖	122
圖 2- 42、RIS 概念圖與 Orange 原型產品	124
圖 2- 43、可被通訊系統探測之 ZED 概念圖	125
圖 3- 1、警消移頻規劃架構圖	134
圖 3- 2、固定微波服務電臺位置人口分布	135
圖 3- 3、固定微波服務鏈路傳輸距離統計	136
圖 3- 4、固定微波服務鏈路頻寬使用統計	136
圖 3- 5、固定微波服務鏈路各頻段頻寬使用占比	137
圖 3- 6、固定衛星服務鏈路中頻寬使用統計	137
圖 3- 7、美國 6 GHz 頻段之 U-NII 裝置發射遮罩要求	145
圖 3- 8、歐盟發射頻譜功率遮罩	148
圖 3- 9、頻道邊緣遮罩-情況一	149
圖 3- 10、頻道邊緣遮罩-情況二	149
圖 3- 11、頻道邊緣遮罩-情況三	150
圖 3- 12、臺北市某處中程 LoS 與 NLoS 裝置比例評估方式	156
圖 3- 13、6 GHz 雜散機率分布曲線	158
圖 3- 14、熱效應建物於 6 GHz 之機率損耗	159
圖 3- 15、SM-G9860 WiFi 天線設計	163
圖 3- 16、量測背包與量測軟體	163
圖 3- 17、路測軌跡	164
圖 3- 18、高雄四區合計統計圖	166
圖 3- 19、六大都會區家庭戶密度	167
圖 3- 20、多維度國家空間資訊服務平臺建物資訊	167
圖 3- 21、室內裝置高度累積分布函數預估	168
圖 3- 22、六大都會區戶外裝置密度	169

圖 3- 23、接收機系統相關位準指標	170
圖 3- 24、SEAMCAT 模擬工具	171
圖 3- 25、室內裝置區間密度示意圖	177
圖 3- 26、室內裝置以等高微波站天線於 Back Zone 高密度容許洩漏 功率.....	178
圖 3- 27、室內裝置以永和_高 CDF 於 Back Zone 高密度容許洩漏功 率.....	178
圖 3- 28、室內裝置以永和_高 CDF 於 Back Zone 低密度容許洩漏功 率.....	179
圖 3- 29、室內裝置於 Back Zone 低密度大範圍區段之干擾機率 ...	179
圖 3- 30、菲涅爾區	180
圖 3- 31、室內裝置於 Front Zone 高密度容許功率	181
圖 3- 32、室內裝置於 Front Zone 低密度容許功率	181
圖 3- 33、室內裝置於 Front Zone 低密度大範圍區段之干擾機率 ...	182
圖 3- 34、室外裝置區間密度示意圖	183
圖 3- 35、室外裝置於 Back Zone 高密度容許功率一	184
圖 3- 36、Wi-Fi 各調變度之相應接收感度.....	184
圖 3- 37、室外裝置於 Back Zone 高密度容許功率二	185
圖 3- 38、室外裝置於 Back Zone 低密度容許功率	186
圖 3- 39、室外裝置 36dBm 於 Back Zone 低密度大範圍區段之干擾機 率.....	186
圖 3- 40、室外裝置於 Front Zone 高密度容許功率	187
圖 3- 41、室外裝置於 Front Zone 低密度容許功率	188
圖 3- 42、室外 36dBm 裝置於 Front Zone 低密度大範圍區段之干擾 機率.....	188
圖 3- 43、電臺戶外強度分布	189
圖 3- 44、干擾實測方式	190
圖 3- 45、干擾作業流程圖	191
圖 3- 46、干擾架設與量測方式	191
圖 3- 47、枋寮機房戶外傳播模型之可能	197
圖 3- 48、高港變電所微波臺戶外傳播模型之可能	197
圖 3- 49、路園變電所微波臺戶外傳播模型之可能	198
圖 3- 50、中南中繼站微波臺戶外傳播模型之可能	198
圖 3- 51、新營區域調度中心微波臺戶外傳播模型之可能	199

圖 3- 52、ST-2 C 頻段涵蓋圖	206
圖 3- 53、天線仰角場型圖	210
圖 3- 54、天線高度與最大傳播距離	212
圖 3- 55、ST-2 地面 C band 服務範圍	213
圖 3- 56、固定微波服務研析流程	214
圖 4- 1、LBT 機制	217
圖 4- 2、FBE 時序範例	220
圖 4- 3、第 4 類 LBT 程序(DL LAA)	223
圖 4- 4、CSMA/CA 協定之架構	224
圖 4- 5、競爭視窗(contention window)機制	225
圖 4- 6、典型 DFS 概述	227
圖 4- 7、ESC 偵測美國海軍船艦近岸之雷達作業	239
圖 4- 8、CBSD 註冊(Registration)狀態	243
圖 4- 9、CBSD 狀態	244
圖 4- 10、CBSD 註冊(Registration)程序	245
圖 4- 11、CBSD 頻譜查詢(Spectrum Inquiry)程序	246
圖 4- 12、CBSD 授權(Grant)程序	247
圖 4- 13、CBSD 心跳(Heartbeat)程序	249
圖 4- 14、CBSD 放棄授權(Grant Relinquishment)程序	250
圖 4- 15、CBSD 註銷(Deregistration)程序	250
圖 4- 16、SAS 系統間訊息交換程序	251
圖 4- 17、SAS 功能架構	252
圖 4- 18、AFC 系統參考模型	255
圖 4- 19、AFC 系統功能架構	255
圖 4- 20、整體系統參考模型	256
圖 4- 21、AFC 架構	259
圖 4- 22、Open AFC 軟體功能架構	261
圖 4- 23、IGL TeleConnect 位置	278
圖 4- 24、拉斯愛田機場與海岸之相對位置	278
圖 4- 25、AFC 機制保護既固定微波鏈路	284
圖 5- 1、STEEP 架構之國際觀測分析範例	290

表目次

表 1-1、110 年交通部預告修正之內容	5
表 1-2、本計畫執行進度甘特圖	8
表 2-1、無線電規則在 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段分配情況	15
表 2-2、3GPP 引用無線電規則內 5925-7145 MHz 頻段之分配	22
表 2-3、2025-2030 年時間範圍內的中頻頻譜需求總量區間	28
表 2-4、Next G 聯盟提出 6G 四大使用情境與具體案例	43
表 2-5、潛在的 6G 關鍵績效指標	48
表 2-6、6G 潛在頻段與技術特性	53
表 2-7、日本 Beyond 5G 推動策略三大支柱與目標	89
表 2-8、三大業者 28 GHz 基地臺建構目標與實績	100
表 2-9、本計畫蒐研之電信業者名單	105
表 2-10、NTT DoCoMo 探討邁向 6G 技術之挑戰領域	109
表 2-11、KDDI 探討之 6G 需求與應用領域	111
表 2-12、ITU 與我國在 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段分配現況	128
表 2-13、我國自主衛星計畫現況與使用頻段	129
表 2-14、國際組織 6G 趨勢觀測彙整表	130
表 2-15、重點國家潛在 6G 政策與頻譜立場	131
表 2-16、重點國家 26/28 GHz 頻段商業化概況	132
表 2-17、本計畫研析之重點電信業者 6G 願景概況	132
表 3-1、既有站臺電調查結果	133
表 3-2、美國 6 GHz U-NII 裝置類型簡述	144
表 3-3、美國 6 GHz U-NII 裝置類型功率差異	145
表 3-4、各主要國家開放頻段與裝置類別	151
表 3-5、各主要國家低功率開放設備功率限制表	153
表 3-6、各國傳播模型差異	155
表 3-7、城市戶外傳播模型	157
表 3-8、雜散傳播損耗	157
表 3-9、材料穿透損耗	159
表 3-10、穿透損耗模型	159
表 3-11、我國鄉鎮市區人口密度級距數量	162
表 3-12、路測 Wi-Fi RSSI 統計結果	165
表 3-13、Wi-Fi 對微波站同頻干擾的參數設置	172
表 3-14、室內裝置於各區段建議開放方式	182

表 3- 15、室外裝置於各區段建議開放方式	188
表 3- 16、戶外場域特色	192
表 3- 17、枋寮機房干擾結果	194
表 3- 18、高港變電所微波臺	194
表 3- 19、路園變電所微波臺	195
表 3- 20、中南中繼站微波臺	195
表 3- 21、新營區域調度中心微波臺	195
表 3- 22、各類區域環境傳播模型建議方式	199
表 3- 23、Wi-Fi 對微波站干擾的參數設置	200
表 3- 24、情境分析樣態說明	203
表 3- 25、僅布署室內裝置對固定微波服務站臺的干擾機率	204
表 3- 26、布署室內與室外裝置對固定微波服務站臺的干擾機率	205
表 3- 27、ST 2 衛星與地球站相關參數	207
表 3- 28、免執照設備估算數量與使用情境	207
表 3- 29、免執照設備布署模型	208
表 3- 30、免執照設備同時發射數量	208
表 3- 31、衛星上鏈計算參數	209
表 3- 32、同時發射干擾評估表	211
表 3- 33、各裝置差異與採用之國家	215
表 3- 34、未來 Wi-Fi 6E 開放裝置評估	216
表 4- 1、歐盟無線麥克風 LBT 相關參數	219
表 4- 2、DFS 參數	227
表 4- 3、DFS 通道偵測參數	233
表 4- 4、歐洲之 DFS 要求	234
表 4- 5、UNII-2 之 DFS 要求	234
表 4- 6、AFC 各單元說明	259
表 4- 7、AFC 系統各元件敘述	261
表 4- 8、世界各國 6 GHz 頻譜開放情形	280
表 4- 9、採用/不採用 AFC 之優勢與挑戰	286
表 4- 10、候選機制比較	287
表 5- 1、裝置規範開放建議	296
表 5- 2、6 GHz 頻段開放建議	296
表 5- 3、本計畫研析之重點國家 6GHz 頻譜立場	300
表 5- 4、美國與歐盟免執照裝置規範干擾評估結果摘要	301

表 5- 5、本計畫研析之四種候選和諧機制比較摘要.....	302
--------------------------------	-----

計畫摘要

關鍵詞：6G、頻譜、干擾評估、頻譜和諧有效使用、6GHz

一、 研究緣起

本計畫關注國際 6G 發展趨勢，以及 6G 先期潛在頻段 6GHz 之和諧共存研析。分別從國際趨勢觀測、國內既有使用者調查與干擾研析、頻譜共享機制研究等三個主題面向進行研析，協助數位發展部（Ministry of Digital Affairs, Moda）掌握國際 6G 技術與頻率政策趨勢，以及國內既有現況和可能因應措施；完善我國 6G 頻譜整備政策與和諧共存之發展環境。

二、 研究方法及過程

本計畫基於文獻分析法、模擬分析、實驗測試等研究方法。首先、採取文獻分析法蒐集國際政策、報告與各項技術文獻。後續透過比較分析，探討國際組織與國家之政策重點與趨勢，並且針對各項和諧共存機制進行效益評估。另外執行國內 6GHz 既有使用者調查，蒐集相關資料後進行模擬分析，後續進行實地量測與二次模擬分析。

三、 重要研究發現

（一）國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測

在國際組織 6G 觀測方面，本計畫共蒐研七大國際通訊領域組織，可分為政策領域、產業領域及學術單位等三大組織類型。國際組織 6G 願景與立場多元，仍待 ITU 制定最終版本。

重點國家 6G 觀測呈現各國差異。僅有日本、韓國與中國制定國家政策目標與計畫；在 6G 潛在頻譜方面，Sub-THz 頻段各國仍列為實驗頻段；在 10-10.5 GHz 頻段，除了第一區表達反對立場，其他區域與國家支持 ITU-R 進行和諧共存研析；多數國家 5925-6425 MHz 已確定供免執照使用。但 6425-7125 MHz 則是仍待 WRC-23 大會決議。最後不僅 WRC-23 議題，仍有其他 6G 候選頻段，例如美國諮詢 12.7GHz 頻段，值得長期關注國際趨勢。在重點國家方面，多數釋出

毫米波頻段，然而電信業者具體商用化卻相對模糊且公開資料有限。僅少數投入 6G 相關技術研發，業者關注影響營運之網路、應用服務、價值影響等面向。

展望未來 6G 發展趨勢，現階段 6G 願景、技術與應用領域皆被賦予崇高理想，因此發展內容涉及廣泛無所不包。各國國際組織、重點國家與電信業者賦予自身立場目標。隨著 WRC-23 大會召開，可預期 6G 願景將更為明確，彙整為全球共通之發展願景。整體而言，現階段國際 6G 發展仍是基於 5G 技術與願景。對於未來發展方向，也深受 5G 之經驗左右。

（二）既有使用者使用狀態與干擾評估

本計畫盤點我國 6 GHz 既有使用者，發現我國目前共有 21 個單位使用，包含固定微波服務電臺 438 處、固定衛星服務電臺 32 處，其中 45% 固定微波服務電臺座落在高於全國平均人口密度(每平方公里 641 人)之區域。

國際間已開放 6 GHz 作為免執照頻段的美國、歐盟、日本、南韓等主要國家，對於 6 GHz 免執照頻段裝置技術規範要求，涵蓋各裝置類型之功率使用限制、使用環境限制、應用情境限制與裝置帶外之不必要發射限制等要求。依據功率進行區分可歸納四類型標準功率、室內功率、室內低功率、超低功率。多數國家考量干擾與管制議題，採以遵循開放低功率之策略。僅美國與加拿大明確採導入 AFC，作為開放標準功率所使用。本計畫並參考美國、歐盟與日本相關技術報告，研析室內至室外穿透損耗之技術標準、裝置所處環境之地面雜散技術標準等相關電波特性，選擇合適我國環境之傳播模型。

由實測干擾固定微波服務電臺量測結果，調整各類環境傳播模型參數，模擬分析 6 GHz 免執照頻段裝置與同頻段固定微波服務既有使用者，發現我國各類區域環境若 6 GHz 開放免執照頻段裝置，使用標準功率勢必須導入頻率和諧共用機制(如 AFC)才有機會降低干擾；使用室內低功率與超低功率僅城市可符合，對於郊區或鄉村則仍存在

10%機率之短期干擾風險。

另外固定衛星服務主要受戶外設備干擾較大，因此對於戶外設備功率、數量為主要評估重點，本計畫較為嚴苛之條件進行干擾評估，包含降低衛星上鏈忍受干擾能力，使用較高之繁忙時間因子與設備汰換因子，免執照頻段使用標準功率，評估結果發現 6 GHz 免執照頻段裝置將不致對衛星上鏈通訊產生干擾。

（三）和諧有效使用機制研析

6G 頻段(5925-7125 MHz)係相當熱門之候選頻段。考量頻譜資源有限，於不干擾既有使用者之情形，如何提供更多使用者且各使用者皆可與諧共享頻譜，係值得探討之議題。因此盤點各頻段採用之頻譜共享機制，包含 5GHz 頻段之發射前先偵測(Listen-Before-Talk, LBT)與動態頻率選擇 (Dynamic Frequency Selection, DFS)、3.5GHz 頻段之公民無線寬頻服務(Citizens Broadband Radio Service, CBRS)，以及 6GHz 頻段討論度較高之自動頻率協調 (Automated Frequency Coordination, AFC)等共享頻譜機制。

最後進行優勢與挑戰分析，基於研究結果。建議為提升國內共享頻譜技術之使用經驗，先於 6GHz 頻段以 AFC 概念驗證 (Proof Of Concept, PoC) 方式實作場域，藉此評估 AFC 適用於我國之可行性分析。

四、 主要建議事項

(一) 立即可行之建議

- 持續關注國際趨勢及 WRC-23 大會決議後續發展；
- 並推動既有使用者替代技術方案、AFC 機制研析，降低干擾機率與影響層面；
- 可進行研議是否採歐盟規範，規劃基於室內裝置、限制功率、部分頻段等規範供免執照使用；
- 持續與利害關係人溝通、研析國內頻譜需求與業界意見；
- 可研議實驗網路方式作為彈性補充的制度措施。

(二) 中長期建議

- 持續關注國際趨勢及 WRC-23 大會決議與 WRC-27 大會議題；
- 考量替代方案與 AFC 研析成果，研析開放頻段或功率調整的可能性；
- 長期關注 WRC-27 大會決議後之國際趨勢主流方向；
- 研議導入替代方案與 AFC 機制成果，確立開放頻段與功率規範。

Abstract

Keywords : 6G 、 Spectrum 、 Interference Assessment 、
Harmonious and Effective Use of The Spectrum 、 6GHz

1. Introduction

This project assists the Ministry of Digital Affairs (moda) with three themes including the research and analysis of international 6G spectrum policy and technology trends, investigation and interference Analysis of incumbent user in the 6GHz band, research and analysis of Spectrum Sharing Mechanism.

2. Research Method and Process

This project is based on literature analysis, simulation analysis, experimental testing methods. First, the literature analysis method is adopted to collect international policies, reports and various technical documents. Then, through comparative analysis, discuss the policy trends of international organizations and countries, and compare the benefits of spectrum sharing mechanisms. In addition, the project includes a survey of domestic 6GHz existing users, collecting relevant data for simulation analysis, followed by field measurement and second simulation analysis.

3. Important Findings

(1) Observation of international trends

In observing the international organization trends, the project researches seven major international organizations in the field of communication, which can be divided into three types of organizations: policy units, industrial organizations, and academic institutions. The international 6G vision is diverse, and the final version still needs to be

confirmed by the ITU.

In the 6G observations in key countries, there are obvious differences between countries. Countries in the Sub-THz frequency band are still listed as experimental frequency bands; In the 10-10.5 GHz frequency band, except for the objection expressed in the first region, other regions support ITU-R to conduct harmonious coexistence research;

The 5925-6425 MHz band has been identified for unlicensed use in most countries. But 6425-7125 MHz is still waiting for WRC-23 resolution. In the end, not only are the frequency bands discussed at the WRC-23 conference, but there are also other 6G candidate frequency bands, such as the 12.7GHz frequency band that the United States is consulting on. It is worth paying attention to international trends for a long time.

In key countries, most of the mmWave frequency bands have been released, but the commercialization of telecom operators is vague and the information is limited. Only a few players have invested in 6G related technology research. Telecom operators pay attention to aspects such as networks, application services, and value that affect operations.

Looking forward to the development trend of 6G in the future, the current 6G vision, technology and application fields cover a wide range of topics. The visions of international organizations, key countries and telecom operators all contain their own goals. With the holding of the WRC-23 conference, it can be expected that the 6G vision will become clearer and consolidated into a global vision.

Overall, international 6G development is still based on 5G technology and vision, so there is little difference from 5G at this stage. The future development direction is also influenced by the experience of 5G.

(2) Incumbent Survey and interference Analysis

This project investigates the existing users of 6 GHz, collects statistical device deployment and simulation parameters, and conducts simulation analysis. Understand the interference situation through field measurement and adjust the propagation model and parameters to simulate again. Then evaluate the possibility of coexistence between the use of unlicensed devices and existing users in the 6 GHz frequency band, as a reference for 6 GHz spectrum policy.

This project investigated the existing users of 6 GHz and found that there are currently 21 organizations using it, including 438 fixed service stations and 32 fixed satellite service stations.

Considering the issues of interference and regulation, most countries follow the strategy of open low power. Only the United States and Canada explicitly import AFC and use standard power. This project also refers to the relevant technical reports of the United States, the European Union, and Japan, and analyzes the technical standards of indoor to outdoor penetration loss, ground stray technical standards based on the environment where the device is located, and other related radiowave characteristics, and selects a suitable propagation model.

Based on the measured results of interference with fixed service stations, simulation analysis of unlicense devices in 6 GHz band and existing users of fixed service in the same frequency band, it is found that the use of standard power potential must introduce a frequency harmony sharing mechanism (such as AFC) to have a chance to reduce interference ; The use of indoor low power and very-low power is only suitable for cities, and there is still a 10% probability of short-term interference risks for suburban or rural areas.

In addition to fixed satellite services, the assessment results found that

unlicense devices in 6 GHz band will not interfere with satellite uplink communications.

(3) Research of Spectrum Sharing Mechanism

The 6G band (5925-7125 MHz) is a very popular candidate. In view of the limited spectrum resources, it is worthwhile to explore how to provide more users and share the spectrum harmoniously without disturbing the existing users. Therefore, this section will take stock of the spectrum sharing mechanisms used in each frequency band, including Listen-Before-Talk (LBT) and Dynamic Frequency Selection (DFS) in the 5GHz band, Citizens Broadband Radio Service (CBRS) in the 3.5GHz band, Broadband Radio Service (CBRS) in the 3.5GHz band, and Automatic Frequency Coordination (AFC) in the 6GHz band, which is a highly discussed spectrum sharing mechanism.

Finally, analyze the advantages and disadvantages. Based on the research results, it is suggested that in order to improve the experience of shared spectrum technology, the AFC concept proof (Proof Of Concept, PoC) method should be implemented in the 6GHz frequency band to further evaluate the feasibility analysis of AFC.

第一章、緒論

第一節、計畫背景

我國已於 109 年 2 月完成 5G 首波釋照作業，正式邁向 5G 通訊發展階段，行政院為持續強化我國在資通訊產業發展之優勢，因應 2030 年的萬物聯網社會之高速智慧化連網需求，以及 B5G 及 6G 通訊技術快速發展趨勢。在「智慧國家方案（2021-2025）」中，將寬頻服務視為資通訊政策指標與轉型關鍵，在數位基盤發展策略中聚焦於提升 5G、B5G 等先進網路基礎建設。

目前國際已有眾多產官學研等組織啟動 6G 技術研發計畫，期望早日推動下世代無線通訊技術研發，主導未來通訊技術發展路徑。此外無線電頻譜資源為無線通訊發展之關鍵資源，相關頻譜政策規劃將左右通訊產業、通訊應用發展方向，成為影響整體產業生態系之首要關鍵因素。6G 技術研發仍在初期階段，具體技術項目尚未確定，使用之頻段同樣仍有待建立全球共識，目前眾多候選 6G 頻段中，6 GHz（5925-7125 MHz）頻段深受國際重視，也是可能成為首波提供 6G 使用的候選頻段資源。因此，目前正值 6G 技術及頻譜尚未確立之階段，有必要及早掌握國際間對於 6G 技術研發現況，6G 潛在頻譜之規劃與分配狀況，以及國內既有使用者現況，早日研析潛在和諧有效使用機制，確保我國 6G 頻譜政策能顧及既有使用者合法使用權益，同時兼顧我國推動新興 6G 通訊應用發展之政策目標。

第二節、計畫動機與主題

因應數位化時代趨勢，國際組織與先進國家皆訂定下世代通訊技術長遠發展策略。而隨著 5G 技術邁向商用階段，未來 6G 網路具備的潛在經濟與產業效益重要性備受重視，各國期望早日進行關鍵技術研發加速應用發展，在國際技術標準競爭中搶占先行者地位。目前 6G 發展仍在初期階段，許多新興技術、頻譜應用尚在萌芽，但根據通訊產業發展歷史，技術初期發展將影響後續研發路徑。

在 6G 使用之頻譜資源議題，目前全球共通頻段尚未確立，候選頻段資源可重整既有行動頻段或研析新興頻段，並且仍須考量電波技術特性與設備生態系。其中 6 GHz（5925-7125 MHz）部分頻段已被國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）納入 2023 年世界無線電會議（World Radiocommunication Conference, WRC）討論議題，若大會決議通過後可能在 2030 年成為首波 6G 使用新頻段，並且已有多國視為 6G 時代之基礎頻段。然而，在尚未成為國際通用標準之前，各國採取之政策規劃和規管立場並不相同。

基於上述觀察，隨著 6G 網路技術持續發展，其對應使用之頻譜資源亦有必要因應 ITU 之發展時程進行滾動式檢討。本計畫蒐研國際重要通訊標準組織、重點國家之 6G 願景、產業新技術研發與頻譜政策；後續聚焦於國際間目前已密切討論、整備中的 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）作為實測研析對象，掌握該各頻段於國際間頻譜政策之發展動向、國內既有使用情形，以及不同服務之間可行和諧共用機制。

本計畫工作項目包括「國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測」、「既有使用者使用狀態與干擾評估」及「和諧有效使用機制研析」等，掌握國際 6G 技術與頻率政策相關發展趨勢，以及國內既有現況和可能因應措施，藉由本計畫之執行，完善我國 6G 頻譜整備政策，健全我國 6G 頻率釋出規劃與和諧共存之發展環境。以下針對計畫工作項目之主題內容說明。

一、 國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測

國際電信聯合會為無線電通訊管理制度、標準領域的國際重要組織。ITU 從未來發展願景、技術需求與頻譜資源規劃等構面，以每十年一周期的方式推動下世代無線通訊技術發展。ITU 確立 IMT-2020 技術標準後，隨即啟動 IMT-2030 技術標準研究程序，並以 2023 年世界無線電會議為短期關鍵階段目標。預計在 WRC-23 大會期間將針對 5G 補充頻譜、6G 技術與頻譜需求前期研究及其他議題等由各會員國代表進行討論，WRC-23 大會最終決議影響未來全球通訊技術發展趨

勢，因而深受國際通訊標準組織、各會員國所重視，並嘗試透過不同管道表達自身立場意見，試圖主導未來 B5G/6G 技術發展路徑。基於上述觀察，國際通訊標準組織透過階段性發展目標，一方面探索中長期發展議題，透過彙集各界意見與研究成果逐步聚焦研究方向；另一方面針對明確的短期議題，深入且完善協商討論，促使結論成果推廣為國際共用之通訊標準。

未來無線通訊發展仍以行動通訊為主流，WRC-19 與 WRC-23 各階段決議影響 B5G/6G 標準與各國頻譜政策規劃。觀察目前 WRC 大會議程，未來國際間行動通訊仍以新候選頻譜之分配方式，以及與其他無線電系統的共存為重點，藉此實現新通訊技術發展並確保既有使用者權益；此外技術研發並非跳躍發展，而是持續累積過往研究成果而成。因此，為順利推動 6G 技術發展，建構完善 5G 應用、研發環境等整備措施成為銜接下世代通訊發展的重要基礎工作。因應 6G 潛在頻段邁向高頻化之技術趨勢，高頻段電波特性和商業應用議題可從目前 5G 毫米波頻段發展初見端倪，亦可作為未來發展之借鏡。更是各國政府、電信業者在投資建設下世代行動網路時需考量的實際議題。

總結而言，早日掌握 ITU、通訊標準組織與重點國家最新發展趨勢，以及各國產業技術推動政策，有助於我國因應國際變局超前研擬 6G 技術研發、頻譜整備議題，推動我國通訊產業發展。因此本分項從短期、中長期通訊發展趨勢進行探討，分別為：

- 觀測 IMT 長期趨勢，包含 IMT-2030 願景、6G 潛在頻段 Sub-THz、THz 與 7-24GHz 現況；
- 觀測短期議題為 WRC-23 大會 6 GHz 頻段決議，5G 毫米波應用發展趨勢；

綜上所述，本分項之研究主題包括：

1. 6G 技術演進及頻譜政策觀測；
2. 重點國家 6G 頻譜、產業新技術推動政策及業者 5G 毫米波應用發展研析。

二、既有使用者使用狀態與干擾評估

有鑑於各國陸續針對 6 GHz 頻段進行頻譜管理，至今已有超過 70 個以上的國家採取全部或部分頻段開放免執照設備使用，以減緩當前 2.4 GHz 和 5 GHz 免執照頻段網路日趨飽和，與通訊壅塞等問題。透過 6 GHz 頻譜的釋出將有助提升 IEEE 802.11ax 裝置連接效能，因此 Wi-Fi 6E 新裝置應用儼然成為當前熱門討論議題。目前 6 GHz 頻譜國際開放概況請參照圖 1- 1 所示。

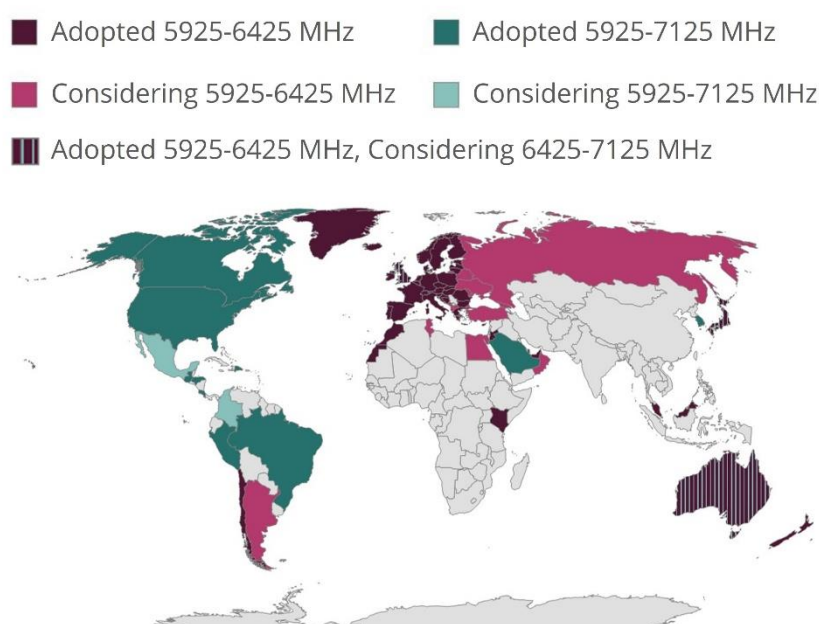


圖 1- 1、各國 6 GHz 頻譜開放概況

資料來源：Wi-Fi Alliance，更新至 2022 年 9 月 20 日

110 年我國交通部則基於增進國內消費者權益，與促進未來資通產業發展等考量，於 110 年 4 月針對 5925 MHz 至 6425 MHz 預告修正「中華民國無線電頻率分配表」部分規定，如表 1- 1 所示。

表 1- 1、110 年交通部預告修正之內容

貳、無線電用途分配表			
修正規定			
頁數	ITU 無線電規則	ITU 無線電規則	
MHz	第三區域	頻段服務分配	備註
	5925.0000 - 6700.0000 固定（主） 衛星固定（地球對太空） （主） 行動（主）	5925.0000 - 6700.0000 固定（主） 衛星固定（地球對太空） （主） 行動（主）	5925 - 6425 供公眾通信中繼網路使用， WRC-03 亦決議供 ESVs（機/船上地球臺）使用 <u>5925 - 6425 供低功率無線資訊傳輸設備（U-NII）在室內於不得干擾合法通信且須忍受合法通信干擾之條件下使用</u> 6336 - 7920 供採用超寬頻技術(UWB)之低功率射頻電機於次要條件下使用

資料來源：交通部公告

後續 111 年 3 月版本之「中華民國無線電頻率分配表」尚未作出調整決議。本計畫為協助主管機關進行 5925 MHz 至 7125 MHz 頻段之頻譜整備相關工作，完成盤點該頻段之既有通訊系統使用者，研析當前美國與歐盟等國家，所開放之免執照頻段設備射頻能力，透過頻譜模擬工具，來評估 Wi-Fi 6E 裝置對既有固定微波服務造成干擾的可能性，與 Wi-Fi 6E 裝置對固定衛星服務上鏈之影響。計畫將進行固定微波服務站臺實測干擾，了解 Wi-Fi 裝置對於各區域類型對於干擾的影響程度，研析固定微波服務站臺受干擾之可能分析結果。

綜上所述，本分項之研究主題包括：

1. 6 GHz 既有使用情況盤點作業；
2. 主要國家 6 GHz 免執照頻段技術規範研析；
3. 6 GHz 應用於免執照頻段電波特性研析；
4. 6 GHz 免執照頻段對於既有使用者干擾評估；

三、和諧有效使用機制研析

隨著 5G 標準逐步完成，國際間相關單位已開始研析 6G 技術應用領域，為了擴大應用情境與提升服務品質，更高的技術需求陸續提出，反映出更高的傳輸速率、更快的反應時間與更好的傳輸品質，頻譜的需求也隨之直線攀升。不過由於頻譜特性的關係，越低頻的訊號傳輸距離較遠，也因此中低頻段資源如和藹之珍，在這樣的情境下，如何有效率的使用頻譜，會是很重要的議題。

本計畫為強化我國頻譜使用之關鍵技術，重點工作之一為完成評估和諧有效使用機制可行性與和諧有效使用機制之建立、驗證測試與施行配套，並從 6 GHz 頻譜共享之角度出發，融合國際關鍵技術，為 6G 通訊技術作準備，協助國內廠商超前部署，提升國內技術能量。

綜上所述，本分項之研究主題包括：

1. 潛在候選機制盤點與比較分析；
2. 和諧有效使用機制之設計與技術可行性評估；
3. 國內導入機制之設計與技術可行性評估。

第三節、執行進度與效益

本計畫依據計畫時程完成履約，履約時程進度如表 1-2 及說明如下：

1. 契約簽定之日起 10 日內：依據專案時程於 111 年 6 月 22 日完成上網登錄專案基本資料（GRB 表），包含計畫編號、計畫名稱、計畫依據、計畫屬性、執行單位、參與計畫人員、經費說明與計畫摘要等相關資訊之填寫。
2. 契約簽定之日起至 111 年 8 月 1 日前提交期中報告，依據專案計畫時程，交付項目說明如下。
 - (1) 國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測初步成果；
 - (2) 既有使用者使用狀態與干擾評估初步成果；
 - (3) 和諧有效使用機制研析初步成果；
3. 契約簽定之日起至 111 年 11 月 30 日前提交期末報告，依據專案計畫時程，完成分項一國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測研究成果，分項二既有使用者使用狀態與干擾評估研析成果，分項三和諧有效使用機制研析成果等工作並提交期末報告，報告內容分別於各章節詳述。

表 1-2、本計畫執行進度甘特圖

工作項目	111 年											
	月份											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1 期中成果報告							▲					
2 期末成果報告											▲	
3 期末審查												▲
4 繳交結案報告												▲
分項一：國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測												
1 6G 技術演進及頻譜政策觀測												
2 重點國家 6G 頻譜與產業新技術推動政策研析												
分項二：既有使用者使用狀態與干擾評估												
1 6 GHz 既有使用情況盤點作業												
2 主要國家 6 GHz 免執照頻段技術規範研析												
3 6 GHz 應用於免執照頻段電波特性研析												
4 6 GHz 免執照頻段對於既有使用者干擾評估												
分項三：和諧有效使用機制研析												
1 潛在候選機制盤點與比較分析												
2 和諧有效使用機制之設計與技術可行性評估												
3 國內導入機制之設計與技術可行性評估												
▲：為各階段之工作查核點。												
註 1：期中報告為 111 年 8 月 01 日前交付												
註 2：期末報告為 111 年 11 月 30 日前交付												

本計畫產出主要研究成果與效益如下：

一、 協助政府完善我國 6G 技術觀測及頻譜資源整備

本計畫研析國際對於 6G 技術發展與頻譜政策現況，蒐研國際標準組織與重點國家之 6G 技術研發最新概況、頻譜整備政策、技術推動與應用發展趨勢。藉由參考國際頻譜管理政策脈絡，觀測 6G 技術發展近況、早日研析 6G 候選頻譜整備議題，並配合本計畫其他工作分項，最終完成和諧共存機制方案之研析。本計畫重點效益為協助數位部完備 6G 頻譜管理政策，以促進我國 6G 技術之發展。

二、 研析 6 GHz 頻段異質通訊干擾效應建立可行性評估

首先透過本計畫執行，盤點 6 GHz 既有使用情況，提供國內該頻段使用之完整資訊，協助主管機關因應未來頻譜政策擬定，提升頻譜資源更有效益的規劃使用；同時研析當前國際上 6 GHz 免授權頻段裝置之規範，並透過路測收集 Wi-Fi 訊號強度進行統計分析，量測洩漏於戶外之強度做為參考數據，推估開放 Wi-Fi 6E 裝置於室內使用時，其訊號洩漏於戶外強度的狀況。透過相關資訊的收集，瞭解區域間之 Wi-Fi 裝置密度，作為模擬過程中的裝置布署參數；第三，基於上述資料收集與分析，進一步結合多樣參數之組合情境，經由統計機率方式來模擬固定微波服務受干擾的可能性，並模擬調降干擾源訊號須降至何等強度，方能降低干擾風險；第四，掌握固定微波服務所使用之射頻接收特性，以進行戶外實測，了解通道衰落與站臺受干擾程度，並與可行的傳播通道模型進行比較，藉此推估 6 GHz 頻段裝置與固定微波服務之合適傳播通道模型方式。最後亦對固定衛星服務進行深入評估，探討其受干擾程度。

在研究效益上，提供當前 Wi-Fi 6E 裝置對我國既有站臺的影響程度，並給予未來頻譜使用上之裝置布署建議，以降低發生干擾之風險。

三、 研析潛在和諧有效使用機制

本計畫透過研析潛在和諧有效使用機制，如前述 LSA、CBRS 與 AFC 後，依據分析結果建議採用之和諧有效使用機制。藉此，將能夠達成協助主管機關提升我國頻譜管理能量之政策目標。除拓展無線通訊使用契機與增進頻率使用效率外，尚兼顧保障既有使用者合法使用權益；完善我國行動通訊市場演進與頻譜管理相關制度，推動行動通訊市場產值與帶來創新。

第二章、國際 6G 頻譜政策與產業新技術推動觀測

第一節、6G 技術演進及頻譜政策觀測

一、國際電信聯合會

(一)、6G 願景與計畫觀測

國際電信聯合會為無線電及電信管理制度、標準領域的國際重要組織。其中 ITU-R 部門（ITU Radiocommunication Sector）的 5D 工作小組（Working Party 5D, WP5D）工作小組主責行動通訊世代標準願景規劃，於行動通訊技術發展扮演重要角色。自 2020 年底 IMT-2020（International Mobile Telecommunications-2020）完成技術標準審定後，WP5D 工作小組已啟動 IMT-2030 相關研究項目，依據 ITU-R 時程表，預計在 2023 年 WRC-23 前完成多項研究報告與建議，針對未來技術趨勢、100 GHz 以上頻段可用性與 IMT-2030 願景等長期發展主題進行研析。ITU WP5D 規劃 IMT 2030 之時程表如下圖。

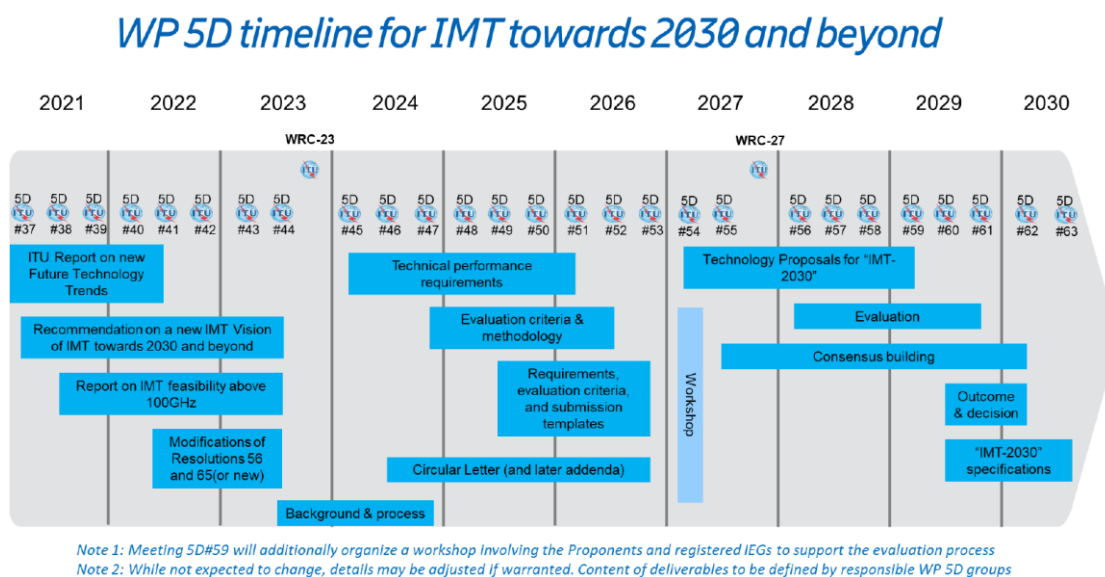


圖 2- 1、ITU-R WP5D 工作組 IMT-2030 時程表

資料來源：ITU-R WP5D Workshop

WP5D 工作小組新成立名為 IMT-2030 願景之研究小組，負責實現 IMT-2030 技術願景等所需相關工作，包含定義關鍵能力、開發技術，並建立 6G 標準化與商用時程表。WP5D 規劃將於 2023 年 WP5D

第 44 次會議完成建議書。IMT-2030 願景與未來建議書（Recommendation ITU-R M.[IMT.VISION 2030 AND BEYOND]）基於 ITU 研究成果及會員國成員意見，所以必須經過國際協商方式兼顧各會員國立場，以下從有限公開資訊¹重點說明：

- 首先、在未來應用案例方面，ITU-R 匯集各會員國意見，初步整理為 11 種應用趨勢類型。
- 第二、使用情境（Usage Scenarios）基於 IMT-2020 的 eMBB（enhanced Mobile Broadband）、URLLC（Ultra Reliable Low Latency Communications）、mMTC（massive Machine Type Communications）三大情境，未來將進一步延伸三大情境並加上 N 類新情境，形成 3+N 類 IMT-2030 願景，現階段初定有六大類情境。如下圖。

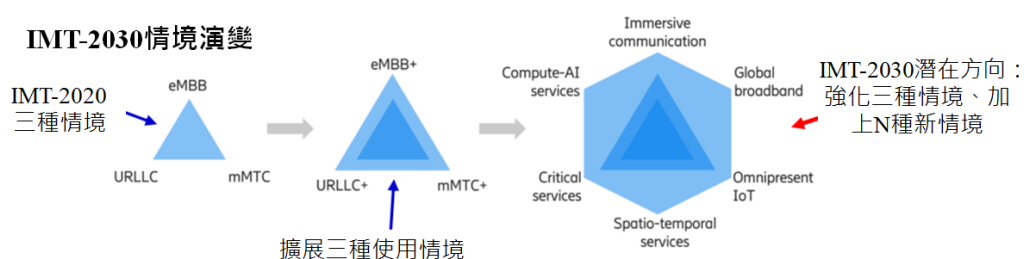


圖 2- 2、IMT-2030 願景情境概況

資料來源：ITU-R WP5D Workshop

- 第三、在頻譜議題方面，IMT-2030 應用案例與情境更為多元。頻譜議題需要滿足未來新興應用、提升既有服務效率等目標。由於適用情境更多元之因素，故 ITU-R 認為因應不同應用需要使用不同頻段。換言之，未來 IMT-2030 使用頻譜包含 1GHz 以下頻段到兆赫茲頻段（Terahertz band, THz）。
- 第四、IMT-2030 技術效能指標目前仍在討論階段，各會員國共提出多達 60 幾項技術指標，目前仍需持續協商與研析。

¹ ITU (2022), Progress of Draft New Recommendation ITU-R M.[IMT.VISION 2030 AND BEYOND] in WP 5D - WORKSHOP ON "IMT FOR 2030 AND BEYOND", https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/06/R0A060000B50001PDFE.pdf

- 最後，IMT-2030 願景建議書預計在 2023 年 WP5D 第 44 次會議完成討論。

根據 ITU 公開資訊，現階段 ITU-2030 願景建議書確定章節架構，但具體內容仍存在許多變數，需透過會員國彼此討論協商而定。後續重要會議皆訂於 2023 年舉辦，分別為：

- 第二次 WRC-23 大會籌備會議（Conference Preparatory Meeting, CPM）訂於 2023 年 3 月 27 日至 4 月 6 日在瑞士日內瓦舉辦。將討論 WRC-23 大會議題提案與研究報告初稿，進一步整合並聚焦各議題。
- 2023 年無線電通信全會（Radiocommunication Assembly 2023, RA-23）訂於 2023 年 11 月 13 日至 17 日在阿拉伯聯合大公國杜拜舉辦。將分配 WRC-23 籌備工作、訂定下次大會議題、批准或公告 ITU 建議書與研究報告、制訂各研究工作組目標與討論其他議題。
- 國際電信聯合會 2023 年世界無線電會議（ITU World Radiocommunication Conference 2023, WRC-23）訂於 2023 年 11 月 20 日至 12 月 15 日在阿拉伯聯合大公國舉辦，正式進行全球討論與做出決議。

（二）、6G 潛在頻譜議題研析

國際產官學研各界皆積極表達 6G 技術願景與頻譜立場，其中 Sub-THz 以及 6 GHz 頻段為目前國際主要討論頻段，原因為 Sub-THz 是未來 6G 新興應用的關鍵頻段、頻段資源豐富且過往並未深入研究，因此具有豐富的應用與研發潛力；至於 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）是在 7 GHz 以下頻段中，少數兼具頻段完整、既有使用者相對少、無線電波特性與中頻段相近之優點，可進而產生較高數據傳輸率、覆蓋範圍比毫米波較廣因而布建成本低等商業價值。同時是 B5G 銜接 6G 技術世代應用發展的關鍵頻段、也是 Wi-Fi 提升效能的關鍵頻段等因素而受到各界重視。以下將依序描述國際電信聯合會在 Sub-THz/THz 以及 6 GHz 頻段之討論現況。

首先在 Sub-THz/THz 頻段方面，多數討論聚焦在 Sub-THz 頻段，現階段對於 Sub-THz/THz 所指特定頻段範圍尚未有共識，且相關討論並非應用於通訊領域。ITU 過往並未深入討論，僅有原則性規範，因此目前尚無國際共通頻段標準範圍，大致上有 92 GHz、100 GHz 或 275 GHz 頻段以上至 3000 GHz 等不同範圍。目前 Sub-THz 大多應用於無線電天文學領域，或是無實際應用案例。在 ITU 無線電規則的頻率分配表中，275 GHz-3000 GHz 頻段並未指配給任何通訊服務。因此 ITU-R 進行各項天文學應用與其他應用的和諧共存探討，仍有待觀察相關結論。綜整上述趨勢，Sub-THz/THz 頻段研發仍在初期階段，預計在 ITU-2030 願景建議書中，納入 100 GHz 以上頻段的技術可行性之成果，探討 Sub-THz 頻段特性與通訊技術的可行性。

在 10-10.5GHz 與 6 GHz (5925-7125 MHz) 頻段。首先在 10-10.5GHz 頻段為第二區討論議題。另外 6 GHz (5925-7125 MHz) 頻段則因影響範圍較廣，引起國際間深度討論。其中 6425-7125 MHz 已列入於 WRC-23 大會議題，其中 6425-7025 MHz 頻段為第二區議題、7025-7125 MHz 則為全球共同議題。ITU 研析 6 GHz 頻段可回溯至討論 IMT-2020 (5G) 使用頻段時，當初已觀察到中低頻段資源有限，5G 願景包含眾多新興應用，預期未來數據傳輸量大幅上升，目前頻譜資源無法支持未來願景，因此，ITU 與 WRC 大會將探討 6 GHz 以上至 100 GHz 頻段的技術可行性，並將 6 GHz 頻段與其他中頻段納入為 WRC-23 大會議題 1.2 中討論。

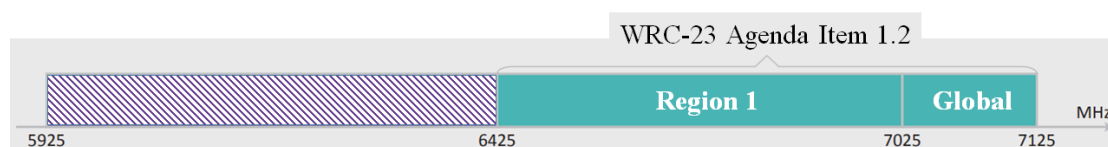


圖 2-3、WRC-23 大會 6 GHz 頻段 (5925-7125 MHz) 議題

資料來源：6ghzopportunity 的 6 GHz opportunity 報告²

² 6ghzopportunity (2022), 6 GHz opportunity: licensed spectrum for mobile networks,

表 2- 1、無線電規則在 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段分配情況

第一區	第二區	第三區
5925-6700 MHz 固定 固定衛星上鏈(Earth-to-space) 行動		
6700-7075 MHz 固定 固定衛星上下鏈 (Earth-to-space) (space-to-Earth) 行動		
7075-7145MHz 固定 行動		
第一區	第二區	第三區
10-10.4 GHz 地球探測衛星 固定 行動 無線電定位 業餘	10-10.4 GHz 地球探測衛星 無線電定位 業餘	10-10.4 GHz 地球探測衛星 固定 行動 無線電定位 業餘
10.4-10.45 GHz 固定 行動 無線電定位 業餘	10.4-10.45 GHz 無線電定位 業餘	10.4-10.45 GHz 固定 行動 無線電定位 業餘
10.45-10.5 GHz 無線電定位 (RADIOLOCATION) 業餘 業餘衛星(Amateur-satellite)		

資料來源：ITU 無線電規則

二、亞太地區電信組織

(一)、亞太地區電信組織簡介

亞太地區電信組織（Asia-Pacific Telecommunity, APT）成立於 1979 年 2 月，由聯合國亞洲及太平洋經濟社會委員會（United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, UNESCAP）與國際電信聯合會（ITU）的聯合倡議下成立的政府間組織，旨在促進亞太地區的 ICT 發展。APT 現有 38 個會員、4 個準會員及 135 個 ICT 領域相關企業和學術界成員。

APT 為亞太地區唯一聚焦於 ICT 領域的政府間組織，並負責各種與 ICT 主題相關的建設計畫，以及促進該亞太區 ICT 發展的試驗項目。APT 也是 ICT 政策領域及國際電信聯合會（ITU）等國際論壇凝聚區域意見的重要平臺。其中與下世代無線通訊技術演進、關注 B5G/6G 發展的工作小組分別為：

- WRC-23 APT 會議籌備組（APT Conference Preparatory Group for WRC-23, APG-23）在 ITU 舉辦之世界無線電通信大會，負責協調亞太區區域觀點的重要小組。
- APT 無線小組（APT Wireless Group, AWG）。協助亞太區最有效利用電信無線技術知識，並透過區域協調方式促進頻譜資源的有效使用。

總結而言，APT 重心為在國際 ICT 會議中表達亞太區區域立場與意見，藉此促進亞太區各會員國的無線通訊技術發展與頻譜和諧共存。而是經由調查、研究等方式掌握亞太區各會員國頻譜使用現況、立場等資訊，並透過 APT 區域會議凝聚亞太區意見，進而在 ITU 會議表達區域意見，後續依循 ITU 最終決議。

2023 年 APT 未來兩次會議分別為 2 月 20-25 日在韓國舉辦之 WRC-23 (APG23-5) APT 大會小組第五次會議，及 8 月 14-19 日在澳洲舉辦之 WRC-23 (APG23-6) APT 大會小組第六次會議，將正式確定 WRC-23 大會亞太地區會員國立場。

(二)、亞太地區電信組織頻譜議題觀測

1. 高頻段 Sub-THz 現況

亞太地區電信組織原則依循 ITU 相關規定，並針對國際技術與頻譜進行研究與調查。然而 6G 技術仍在相當初期階段，因此各項 6G 潛在頻譜討論相當有限。目前未來 6G 潛在使用的 Sub-THz 頻段，APT AWG 小組共有兩份研究報告。分別探討 275-1000 GHz 頻段用於步行成像系統（Walk-Through Imaging System）³、252-296 GHz 頻段用於點對點無線電通訊⁴。

APT 進行探索性調查 275-1000 GHz 頻段用於主動成像系統的可能性，例如機場安檢關卡使用。目前已使用毫米波頻段於安檢成像系統，預期未來可能使用 THz 頻段。

步行成像系統可提升機場乘客的吞吐量，還可提升檢測隱藏武器、違禁品、爆炸物或其他物品的性能。THz 頻段的主動成像系統具有高信噪比、高空間分辨率、成像高對比度、更強穿透性、THz 頻段不易影響爆裂物的物理安全性等優點而具有龐大應用潛力。然而 THz 頻段唯一且最大缺點為傳輸衰減率極高，所以仍需 ITU 研究確認系統性能。由於步行成像系統使用情境皆在短距離、室內環境使用，因此 APT 初步認為高傳輸衰減率問題在室內短距情境下影響不大。

³ APT(2022), APT Report on walk-through imaging systems operating in the frequency range 275-1000 GHz, https://www.apr.int/sites/default/files/2022/03/APT-AWG-REP-119_-_APT_APT_Report_on_walk-through_imaging_systems_operating_in_the_frequency_range_275-1000_GHz.docx

⁴ APT(2022), APT Report on point-to-point radiocommunication systems operating in the frequency range 252-296 GHz, https://www.apr.int/sites/default/files/2022/03/APT-AWG-REP-118_-_APT_Report_on_point-to-point_radiocommunication_systems_operating_in_the_frequency_range_252-296_GHz.docx



圖 2- 4、THz 頻段主動成像安檢系統概念圖

資料來源：APT 之 APT/AWG/REP-119 報告

在 252-296 GHz 頻段有許多超寬頻無線通信系統的研究。由於 THz 頻段的通信鏈路具有大容量傳輸能力和較大的傳播損耗，因此很適合用於最後一哩接取鏈路（Last Mile Access Links）。隨著半導體技術和天線技術發展，THz 無線通信成為短距離鏈路中的光纖替代品。

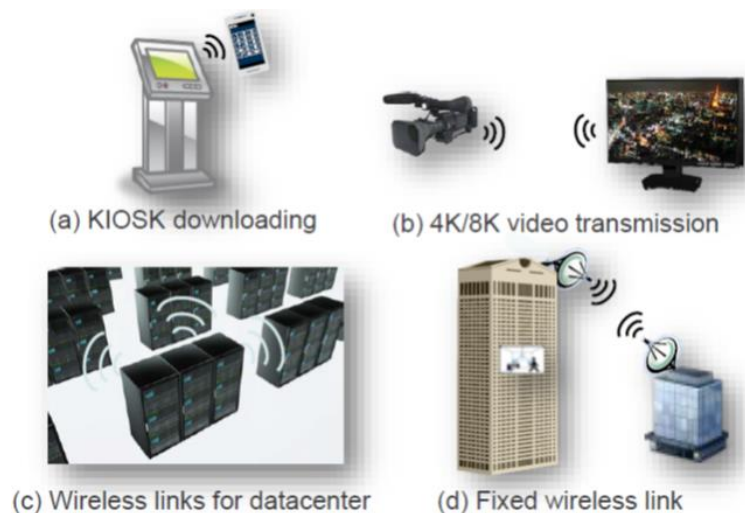


圖 2- 5、短距離點對點高速傳輸使用案例

資料來源：APT 之 APT/AWG/REP-118 報告

電信後傳鏈路介於基地臺和核心網之間，在未來網路發展趨勢中，大規模布建小型基地臺、協調型多點傳輸（Cooperative Multipoint Transmission, CoMP）或雲端化無線電接取網路（Cloud Radio Access

Networks, C-RAN) 技術逐步實現，可能會增加網路傳輸所需要的速率。在無法使用光纖網路的情境下，使用 THz 頻段具有吸引力。

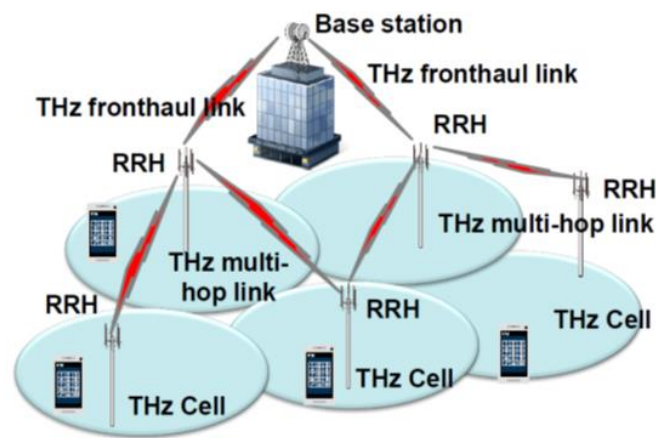


圖 2- 6、THz 頻段作為高密度區域傳輸概念圖

資料來源：APT 之 APT/AWG/REP-118 報告

裝置至裝置 (Device-to-Device, D2D) 無線網路可運用於智慧家庭情境。家庭中電視、電燈、空調、冰箱彼此自動協調和交換資訊。而行動基地臺可作為對外傳輸的通訊節點；此外 D2D 無線網路使行動設備能在短距離或中距離直接與附近的設備通信。可分流基地臺數據流量，也減少設備之間傳輸延遲問題；最後隨著互動式全息影像投影、自動駕駛或輔助駕駛等新型無線應用出現，需要更嚴苛的通訊網路頻寬和傳輸延遲需求。因此 THz 頻段具有應用於 D2D 無線網路的潛力。

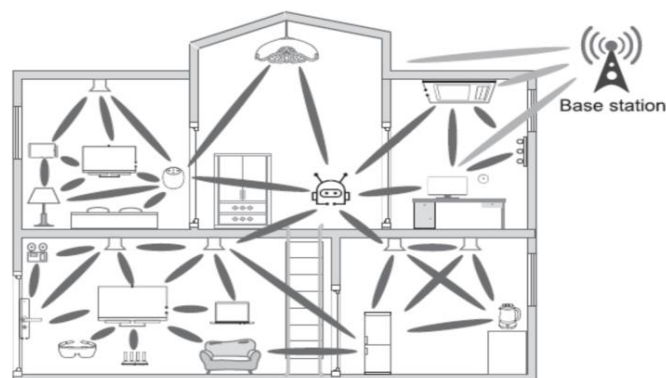


圖 2- 7、THz 頻段智慧家庭應用情境

資料來源：APT 之 APT/AWG/REP-118 報告

2. 中頻段 6-24 GHz 現況

亞太地區電信組織現正在研擬 WRC-23 議題之立場，後續將透過提交建議的方式向 ITU 表達亞太區之意見。然而由於 WRC-23 中 IMT 頻譜議題多數屬於第一區、第二區討論議題，並未列入第三區討論範疇。因此多數 APT 會員國皆表達支持 ITU-R 和諧共存研究，並未有更明確具體之立場。

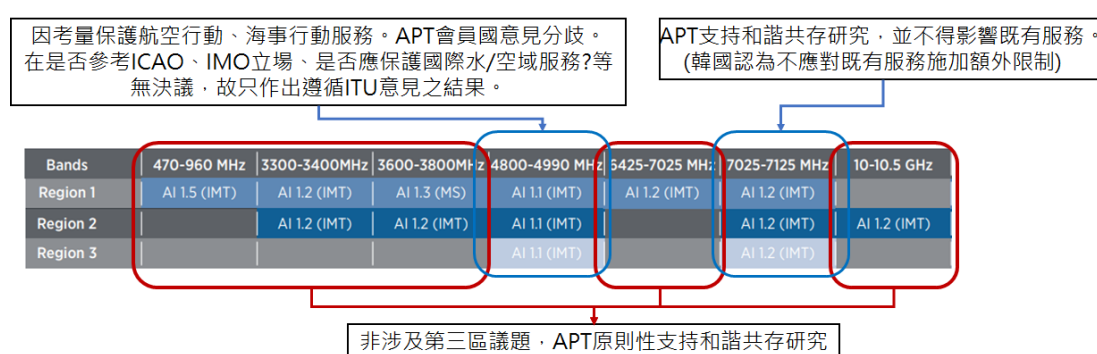


圖 2-8、APT 對於 WRC-23 大會 IMT 頻譜議題初步立場

資料來源：APT Conference Preparatory Group for WRC-23；本計畫整理

在 6-24 GHz 頻段，APT 研究報告為多年前因應 IMT-2020 標準之成果。預期未來因應 IMT-2030 發展，APT 將有不少調查與報告產出。根據最新資料，APT 於 2022 年 4 月啟動 7.125-24 GHz 及 92-300 GHz 頻段亞太地區電信組織成員國使用調查，調查目的為考量未來 WRC-23 大會、IMT-2030 願景及新興應用發展等因素，APT 啟動調查掌握會員國頻率使用情況。2022 年 9 月舉辦的 AWG-30 會議已初步彙整各成員回覆意見並撰寫調查報告，目前預計在 2023 年 5 月 22 至 26 日舉辦之 AWG-31 會議，完成審查並公告調查報告。

三、 3GPP

(一)、下世代無線通訊技術演進觀測

第三代合作夥伴計畫（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）為國際行動通訊技術標準重要組織，避免技術研發時程出現斷層，故採取定期發布技術版本（Release），不斷在後續版本中更新技術研發成果。目前 3GPP 已完成 5G 技術標準制定，從 Release 17 開始 B5G 技術標準的制定工作，Release 17 第三階段（Stage 3）於 2022 年第 2 季凍結。3GPP 規劃 Release 18 於第 94 次線上會議確定討論項目，預計 2023 年 12 月完成 Stage 3 凍結，如圖 2-9。

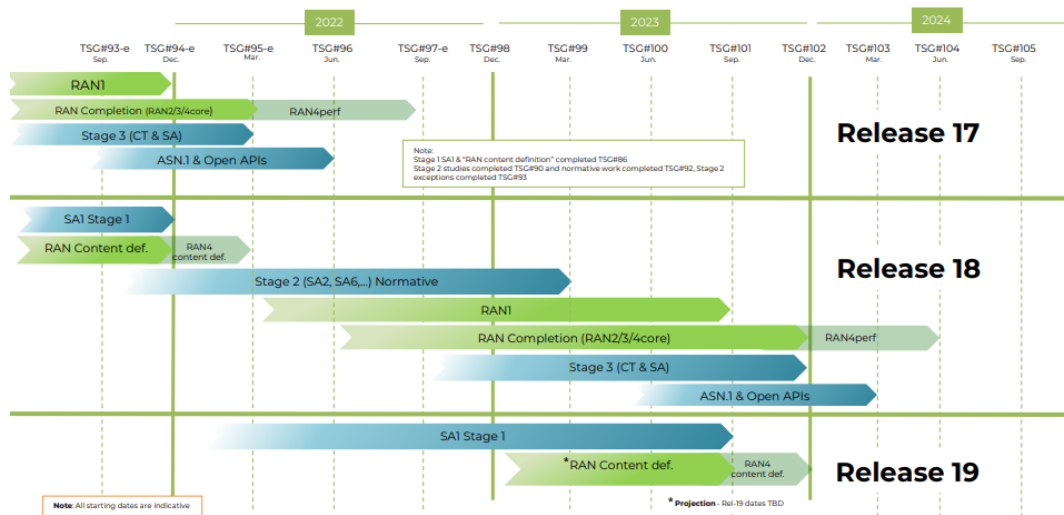


圖 2-9、3GPP 公告 Release 時間表

資料來源：3GPP 網站

至於 6G 技術標準研發，目前仍屬於 B5G 階段，基於 5G 技術標準持續深入研究；3GPP 預計於 2026 年之後啟動 Release 21 相關研究進行 6G 技術標準探討，如圖 2-10。

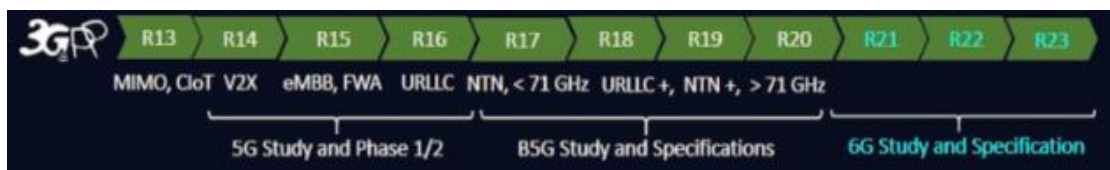


圖 2-10、3GPP 對於 6G 相關時程

資料來源：6G Wireless Summit

(二)、下世代無線通訊潛在頻譜議題研析

3GPP 為國際通訊技術研發聯盟，頻譜議題則是觀察國際趨勢並依循 ITU 決議，所以頻譜議題並非 3GPP 研究重點，而是做為國際觀測結果，供會員組織參考為主。在 5G NR 階段，3GPP 提出 FR1（6 GHz 以下）、FR2（24.25-52.6 GHz）兩塊 NR 頻段，而 FR2 頻段範圍有意提升至 71 GHz。其中介於 FR1、FR2 之間的 7-24 GHz 頻段，則並未納入 5G NR 頻段，並且電波傳播特性優於毫米波頻段，因此成為未來 6G 潛在新增頻段之一，並深受行動、WiFi 產業重視。

目前國際上在 6 GHz 頻段劃分存在不同立場，對此 3GPP 成立 TR 37.890 工作項目⁵，該項目成立目的為調查全球不同地區在 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）的規劃與監理框架概況，3GPP 提供 ITU 無線電規則對於 5925-7145 MHz 頻段之服務分配如表 2-2。

表 2-2、3GPP 引用無線電規則內 5925-7145 MHz 頻段之分配

頻率範圍 (MHz)	分配		
	Region 1	Region 2	Region 3
5925- 6700	固定 固定衛星 (Earth-to-space) 行動		
6700-7075	固定 固定衛星 (Earth-to-space) (space-to-Earth) 行動		
7075-7145	固定 行動		

資料來源：3GPP；本計畫整理

目前在已凍結的 Release 17 版本中，3GPP 正式將 6425-7125MHz 頻段列為採 TDD 技術的 n104 頻段，啟動基於執照頻段立場之相關技術研析。

⁵ 3GPP (2022), Feasibility Study on 6 GHz for LTE and NR in Licensed and Unlicensed Operations, <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3436>

四、GSMA

(一)、下世代無線通訊趨勢觀測

全球行動通訊系統協會（Group Speciale Mobile Association, GSMA）持續關注行動通訊領域發展，認為經濟規模為主宰行動通訊市場發展的關鍵要素，現階段不急於探討 6G 應用願景或技術，而是聚焦於 5G-Advanced 或 B5G 等發展⁶、持續導入新技術功能。並且強化對各種垂直應用領域需求的發展。最後在頻譜方面，則是爭取更多中頻段頻率鞏固行動通信業者的 IMT-2020 寬頻發展基礎，協助日後能順利接軌 IMT-2030 技術。

GSMA 的 2022 年行動經濟年報（The Mobile economy 2022），幾乎未提及 6G，GSMA 認為此刻更應關心行動通信產業面臨的處境及未來發展路徑。因此，本計畫擷取 GSMA 關注重點，包括行動通信因應氣候變遷永續發展之解決方案、有效節省網路建置成本的 Open RAN，以及進入虛擬世界的元宇宙等議題現況，透過觀察這些需求的進展，描繪邁向未來 6G 願景之道路。

1. 永續發展

永續發展成為行動業者及更廣泛的電信生態系統之普遍議題，涵蓋綠色網路、能源效率、設備及 SIM 卡等。根據 GSMA 觀察，近年電信部門與氣候相關的活動，重點放在提高網路能源效率與推動更廣泛的文化變革，進而將永續概念置於企業核心策略。由於網路布建及頻譜價格等成本上升，強化行動通信產業向節能、創造永續商業實踐展開大規模典範轉移。

行動通信產業節能減碳、永續節能解決方案，成為設備供應商及供應鏈創新的關鍵驅動力。其中一項創新是使用人工智慧（Artificial Intelligence, AI）及機器學習（Machine Learning, ML）來提高網路

⁶ GSMA (2022), Advancing the 5G Era – Benefits and Opportunity of 5G-Advanced Whitepaper, <https://www.gsma.com/futurenetworks/resources/advancing-the-5g-era-benefits-and-opportunity-of-5g-advanced-whitepaper/>

的能源效率。能源消耗是所有行動通信業者的主要營運成本，業者對人工智慧驅動的網路管理方式可提高能源效率等方案越來越樂觀。例如，3GPP 發布 5G-Advanced 首個標準版本，有望利用 AI/ML 提高能耗效率並進一步提高網路使用效率及有效性。

在過去十年中，業者一直承受著永續經營的壓力，為了滿足日益增長的性能和容量需求，造成網路投資不斷增加，但通信產業的傳統應用仍逐漸被新興服務侵蝕。GSMA 認為，5G 的推出與商業化為資本支出轉換為收益帶來一系列新興機會與挑戰，經濟價值不斷從電信業者轉向網際網路巨型企業的背景下，網路巨頭利用新技術及服務模式獲取更多價值創造的參與度和占有率。

作為套裝方案或整合解決方案的一部分，行動業者提供越來越多產品組合。業者整合多平臺模式提供消費服務（例如數位娛樂、金融服務及商業服務），樂天集團將其消費者服務與該公司電子商務串聯為一整個生態系統，並將行動服務與購物、旅遊、內容和金融科技產品相結合。在此背景下，收入多元化已成為主要電信業者的戰略重點，產生雙重目標：一方面抵消停滯或降低的核心電信收入，另一方面從新興領域增加收入，例如從數位服務及數位平臺獲取增量價值。電信業者的發展希望是消費者端的數位轉型，因應 Covid-19 產生的遠距商機，電信業正加速推動擴展傳統核心電信服務的進一步增長。

2. Open RAN

GSMA 認為改善客戶體驗是電信業者網路轉型的首要考慮因素。隨著 Open RAN、邊緣網路和網路自動化等行動網路創新進入市場，網路轉型策略比以往更加重要。尤其 Open RAN 的靈活性、可擴展性及供應業者多樣性，提供创新的主要驅動力。雖然 Open RAN 商業化仍在早期階段，各國政府及廣泛利益關係人正逐漸擴大採用 Open RAN：

- 英國政府增加對 Open RAN 項目的資助，並為業者設定到

2030 年在 Open RAN 上運行 35% 的英國行動網路流量的目標。

- 日本總務省與當地業者合作，在東京試用 Open RAN。NTT Docomo 和 NEC 採用 Open RAN 的規範完成了 5G SA 的互通性測試。
- 德國政府從 3 億歐元的基金中撥款投資，開發並測試 Open RAN 技術。補助包括德國電信、Vodafone 和西班牙電信在內的合作夥伴聯盟營運 Open RAN 測試實驗室。
- 在法國，Orange 推出了 Open RAN 育成中心，這是法國第一個致力於開放 RAN 技術的實驗室。
- Vodafone UK 已啟動其第一個 5G Open RAN 站點，作為到 2027 年在英國推出 2,500 個 4G 及 5G Open RAN 站點計畫的一部分。
- 在中東，Etisalat、Mobily、STC、Zain Group 和 Du 簽署合作協議，推動 Open RAN 實施。合作範圍包括分享知識及布建 Open RAN 網路。

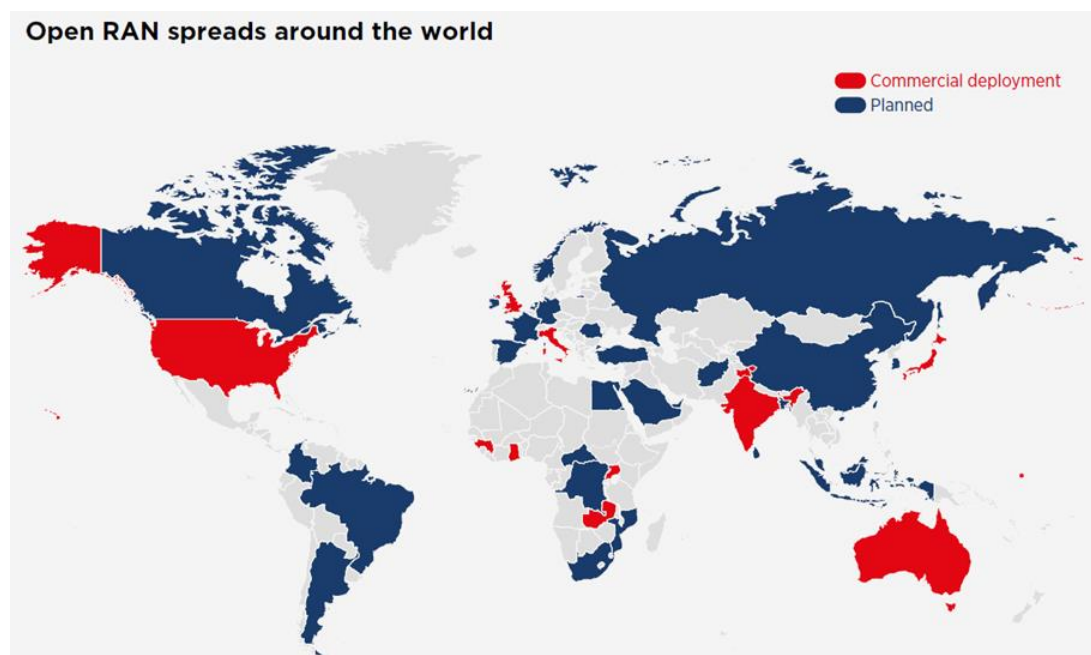


圖 2- 11、全世界主要國家對 Open RAN 之採用現況

資料來源：GSMA 之 The Mobile economy 2022 報告

3. 元宇宙

元宇宙（Metaverse）具有廣泛的潛力，可應用於互動與沉浸式商業模式，特別是遊戲、現場娛樂、建築、製造、零售及遠距工作。GSMA 分析，Metaverse 為行動通信業者提供一個好壞各半的環境。在 5G 及隨後 6G 時代，元宇宙不只有機會發展新服務增加收入，也可使大頻寬服務產生更優秀變現能力。然而，若大規模採用將產生龐大網路基礎設施需求，導致需要額外資本支出來滿足需求。推動現實與數位世界融合的元宇宙願景需要結合穿戴式裝置、以及極低延遲、超高數據傳輸與高可靠度的網路系統⁷，6G 技術有助於將有助於滿足元宇宙技術需求。而充足頻譜資源將成為實現上述技術的關鍵基礎。

根據 GSMA 的調查，2021 年 11 月，總部位於香港的遊戲平臺 The Sandbox 透過軟銀籌集了 9,300 萬美元開發元宇宙服務。與此同時，韓國首爾已成為全球第一個開發城市公共服務及文化活動虛擬世界平臺的城市，韓國政府已承諾投資 330 萬美元資助該計畫，平臺預計將於 2026 年全面營運。以下列舉其他搶佔先機的電信業者：

- SK Telecom 推出了新的 Metaverse 平臺（Ifland），它提供更直觀的用戶界面，讓用戶可以擁有在 Oksusu Social VR 上更豐富的體驗（企業部門是主要目標客戶）。
- AT&T 與電子競技組織 100 Thieves 合作推出 AT&T Station，這是一個位於 VRChat 平臺的沉浸式 VR 空間。
- Verizon 在 2021 年世界足球超級盃比賽中首次進入虛擬世界，在 Fortnite Creative 中提供了一個虛擬 5G 體育場，讓球迷聚集在一起，通過遊戲與其喜愛的足球員互動。

（二）、下世代無線通訊頻譜需求研析

GSMA 認為目前 5G 尚未達到真正的商品市場化，將 5G 商用實際延伸至商品製造、教育、建設智慧城市及相互通信的過程中，同時

⁷ GSMA (2022), Exploring the metaverse and the digital future, <https://www.gsma.com/asia-pacific/resources/metaverse-report/>

確保行動通訊之法規、頻譜與技術發展是 GSMA 的使命與願景。

因此為提供政府及產業關於 5G 需求的清晰願景，GSMA 從頻譜需求立場，研析從 2025 到 2030 年達成 5G 願景所需的低、中、高頻頻譜總量，並估算這些頻譜對全世界及區域社會經濟可能產生的量化影響，GSMA 希望各國政府及時提供足夠的頻譜容量，以確保 5G 蓬勃發展。針對低、中、高頻段的不同特點，GSMA 推動不同的頻譜需求如下：

- 低頻段：雖然低頻段受物理限制，而且需求總是供不應求，但增加 600 MHz 將使偏鄉地區的下載速度提高 30-50%。
- 中頻段：需要 2 GHz 的中頻段頻寬來提供足夠的頻寬容量，以達到 ITU 對 IMT-2020 的要求。
- 高頻段：於各市場擁有 5 GHz 的高頻段頻寬將在大容量毫米波熱點中提供開創性的超快速度和極低延遲。

1. 中頻段頻譜需求估計

GSMA 特別說明對於中頻段的願景，以及為什麼各國到 2030 年將需要平均達到 2 GHz 的頻譜需求。GSMA 委託 Coleago Consulting 對 5G 頻譜需求進行研究，估算目前至 2030 年的頻譜需求，根據其研究結果，建議⁸各國政府提供額外 2 GHz 頻寬的中頻段頻譜，以協助在 3.5 GHz、4.8 GHz 與 6 GHz 頻段進行 5G 各種智慧城市、智慧工廠等創新整合服務。

GSMA 深知技術標準的滲透與統一，將是行動通信普及化的致勝關鍵，現階段行動市場仍在 5G 商用化的初期階段，因此，深入調查 5G 頻寬需求，對全球 36 個城市的 5G 行動寬頻流量需求及頻率供給進行建模分析，其結論為：必須有充足的中頻段頻譜容量才足以讓電信業者以經濟可行的方式實現 5G 願景，GSMA 估計至西元 2030 年，

⁸ GSMA (2021), 5G Mid-Band Spectrum Needs – Vision 2030, <https://www.gsma.com/spectrum/resources/5g-mid-band-spectrum-needs-vision-2030/>

綜合不同城市類型對於中頻段頻譜之需求，平均約為 2,020 MHz。下表呈現 GSMA 研究報告對不同收入城市類型之頻譜需求估計：

表 2- 3、2025-2030 年時間範圍內的中頻頻譜需求總量區間

城市類型	最小估計	最大估計
高收入城市	1260 MHz	3690 MHz
中高收入城市	1020 MHz	2870 MHz
中低收入城市	1320 MHz	3260 MHz

資料來源：GSMA 之 5G Mid-Band Spectrum Needs 報告

根據 ITU-R IMT-2020 對 5G 定義的要求⁹，5G 必須在下行鏈路提供 100 Mbit/s、在上行鏈路提供 50 Mbit/s 的行動數據用戶體驗速率，且每平方公里需容納 100 萬個連接。這對頻寬使用密度高的城市帶來巨大的挑戰。GSMA 的研究結論如下：

- 若沒有額外中頻段內較高頻段頻譜，就無法在經濟可行的前提下滿足 100 Mbit/s 下行及 50 Mbit/s 上行頻寬的 ITU-R IMT 2020（5G-NR）要求。GSMA 嘗試推論能否布建更密集的小型基地臺（Small Cell）以減少需要新增中頻段頻譜，在沒有新增 1,250 MHz 頻寬的情況下，研究表示 100 公里的市區將需要新增建設 17,700 個小型基地臺（相較於 720 個大型基地臺）。顯然，這將對城市環境產生負面影響、同時產生高昂成本。從干擾的角度而言，在城市規模的區域布建高度密集的站點也難以在現實中實現。
- 此外，研究發現除了需新增更多中頻段頻譜，行動業者同樣需要升級高階 MIMO 基地臺、小型基地臺和中頻段內較高頻段投入大量資金，滿足使用者的行動數據速率體驗。
- 根據 GSMA 對 36 個樣本城市之研究結論，在人口密度大於每平方公里 8,000 人的地區，政策制訂者必須評估中頻段頻

⁹ ITU (2018), Report ITU-R M.2441-0 (11/2018), “Emerging usage of the terrestrial component of International Mobile Telecommunication (IMT).”

譜需求並預留足夠頻寬，以滿足 ITU-R IMT 2020 對人類用戶、機器通信及智慧城市發展的要求。在都市區域需要確保速率品質來滿足智慧城市需求，而智慧城市正是緩解氣候變化的關鍵行動之一。聯合國居住署將永續城市的最佳人口密度定義為每平方公里 15,000 人，加總起來估計可在全球容納高達 16.4 億人口。所以能否分配更多的較高中頻段頻譜促進 5G 發展，對於世界上很大部分人口具有重大意義。

- GSMA 認為，在人口密度低於每平方公里 8,000 人的地區，更多的中頻段頻譜可提供更低的站點密度或更快寬頻速率及服務。較低的站點密度將轉化為更低頻寬成本，進而轉化為較低零售價格及更低整體功耗。在依賴無線通訊的絕大多數國家，更多的可用中頻段頻譜將使電信業者能向偏鄉城鎮和村莊提供類似光纖的 5G 固定無線接取網路（5G Fixed Wireless Access network, 5G FWA），有助於實現偏鄉寬頻之目標。此外，在擁有良好寬頻基礎設施的國家，充足的中頻頻譜可用性將支持 5G FWA 解決方案，降低為偏鄉城鎮/村莊提供寬頻連接的平均成本。研究顯示，在歐洲，提供更多頻譜資源可使寬頻成本降低高達 79%。

不同的頻段有不同的用途，相互替代性較低，部分中頻段，如 1500、1800、1900、2100、2300、2600 MHz 多用於 2G、3G、4G 及 5G。另外頻段如 3.3-4.2 GHz、4.5-5 GHz、5.925-7.125 GHz，則用於 5G 或 6G，該類頻段未來可能屬於關鍵的 5G 頻率資源，為城市提供傳輸及頻寬的良好組合，GSMA 建議各國政策制定者需考慮提供更多較高中頻段頻寬，並仔細考慮未來 5G 需求的國家頻譜藍圖，根據目前的技術可用性及進行中討論，政策制定者應將重點放在 3300-7125 MHz 的頻譜範圍。

2. 6 GHz 頻段立場

GSMA 認為主管機關可能並未完全意識到城市地區 5G 流量密度挑戰的規模，也尚未準備好從現在到 2030 年為 5G 清理並授予足夠的中頻段頻譜，在中高頻段開放免執照頻譜或為專網預留 5G 頻譜的決策可能導致行動業者可使用 5G 頻譜被瓜分，從而危及提供 5G 服務的能力及達成 ITU-R IMT-2020 願景的速度。針對 6 GHz 頻段，GSMA 特別以說帖形式強調各國政策制定者必須考慮以下幾點：

- 提供 6425-7125 MHz 頻段為 5G 使用。
- 確保回傳服務（Backhaul Service）受到無干擾保護，在大多數國家，6 GHz 整個頻段都存在既有回傳服務。
- 根據各國需求、既有用途及光纖網路分佈，5925-6425 MHz 可開放為技術中立原則之免執照頻段。

GSMA 的說帖建議政策制定者必須通過分配 6 GHz 頻段來協助 5G 發展。GSMA 認為 5G 是否能順利融入人類生活及工作，將影響著社區、就業機會及經濟增長，進而對環境至關重要，因為 5G 將支持人類進入減少碳排放時代。足夠 6 GHz 頻率有助於創建全球綠色經濟，推動 5G 對所有人的可用性。

因應 WRC-23 大會議題，GSMA 於 2022 年公布其 6 GHz 頻段社會經濟影響研究報告¹⁰，供 ITU、各國制定頻譜政策之參考，該研究報告以成本效益分析（Cost Benefit Analysis）探討在 2021-2035 年期間內三種不同頻譜規劃情境，對於無線通訊滲透率乃至國家 GDP 之影響。GSMA 針對 12 個國家市場、三種頻譜規劃情境進行探討：

- 情境一：全頻段（5925-7125 MHz）採執照制度供 5G 使用；
- 情境二：全頻段（5925-7125 MHz）免執照供 Wi-Fi 使用；
- 情境三：前半段（5925-6425 MHz）免執照供 Wi-Fi 使用、後半段（6425-7125 MHz）採執照方式供 5G 使用。

¹⁰ GSMA (2022), The socioeconomic benefits of the 6 GHz band, <https://data.gsmainelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=69042233&file=310121-The-socioeconomic-benefits-of-the-6-GHz-band.pdf>

GSMA 認為各國有線寬頻基礎環境對於 Wi-Fi 速率效能具有關鍵性影響，並且也是 Wi-Fi 技術效能的瓶頸，進而造成 5G 與 Wi-Fi 兩者產生效益落差。此外 GSMA 認為免執照頻譜已相對充足，所以在資通訊基礎環境水平較低之國家，即便使用 6 GHz 頻段全部 1200MHz 頻寬，Wi-Fi 效能可能仍遜於 5G；但在資通訊基礎環境水平較高的國家，則可選擇僅使用 6 GHz 頻段部分 500 MHz 頻寬供 Wi-Fi 使用，抑或使用高頻 60 GHz 頻段 Wi-Fi，兩方案擇一後將剩餘 6 GHz 頻寬供 5G 使用，該頻譜規劃組合可大幅提升頻譜使用效益促進國家經濟福祉。根據 GSMA 的保守假設，到 2030 年，中頻段 5G 頻譜將推動全球 GDP 增長超過 6,100 億美元，佔 5G 的整體社會經濟價值近 65%¹¹。

3. 毫米波頻譜需求估計

GSMA 也注意到毫米波頻譜應用趨勢正在增長，26 GHz、40 GHz 及 66 GHz 已經是超高速、超低延遲頻段之共識，GSMA 統計截至 2021 年 9 月，全球已有 16 個國家分配毫米波頻段給行動業者，更多國家也將陸續跟進，商用毫米波 5G 網路正在顯示其巨大潛力。

根據 GSMA 「Vision 2030：5G 的毫米波頻譜」報告¹²調查，使用高頻段毫米波頻譜仍處於起步階段，毫米波對於密集城市地區的低頻段和中頻段頻譜應用具有補充效果，通過 5G 固定無線接取（FWA）技術提供類似光纖的連接，有助於確保在工廠或體育場及旅遊樞紐等高密度場所環境中的安全、可靠、低延遲網路。GSMA 估計，到 2030 年，平均約需 5 GHz 的毫米波頻率來滿足各種 5G 場域的需求，包括 eMBB、FWA 及企業網路，建議各國對於 26 GHz、28 GHz 和 40 GHz 等頻段早日進行整備。

¹¹ GSMA (2022), The Socio-Economic Benefits of Mid-Band 5G Services, <https://www.gsma.com/spectrum/resources/mid-band-5g-spectrum-benefits/>

¹² GSMA (2022), Vision 2030: mmWave Spectrum needs estimating high-band spectrum needs in the 2025-2030 time frame.

五、次世代行動網路聯盟

(一)、下世代無線通訊願景與近況觀測

次世代行動網路聯盟（Next Generation Mobile Networks Alliance, NGMN Alliance）由國際行動網路業者為主所創立的論壇。成立目標是尋求整合行動產業利害關係人意見，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，並且最終可滿足消費者需求和期待。聯盟成員包含三大類，第一類為行動網路業者（會員）、第二為供應商、軟體企業和其他重要企業（參加貢獻者）、第三為對中長期研發創新具有重大貢獻的機構（顧問）。

NGMN 聯盟從 2020 年第三季啟動 6G 研究專案，除持續參加外部 6G 相關活動之外，並陸續發表兩份 6G 相關白皮書。在 2021 年 4 月時，隨著 5G 技術逐步邁向商用階段，NGMN 聯盟發布 6G Drivers and Vision 白皮書。後續在 2022 年 2 月發布 6G Use Cases and Analysis 白皮書，並預計在 2023 年發布第三份白皮書，針對端對端網路系統（End-to-End network system）需求進行探討。

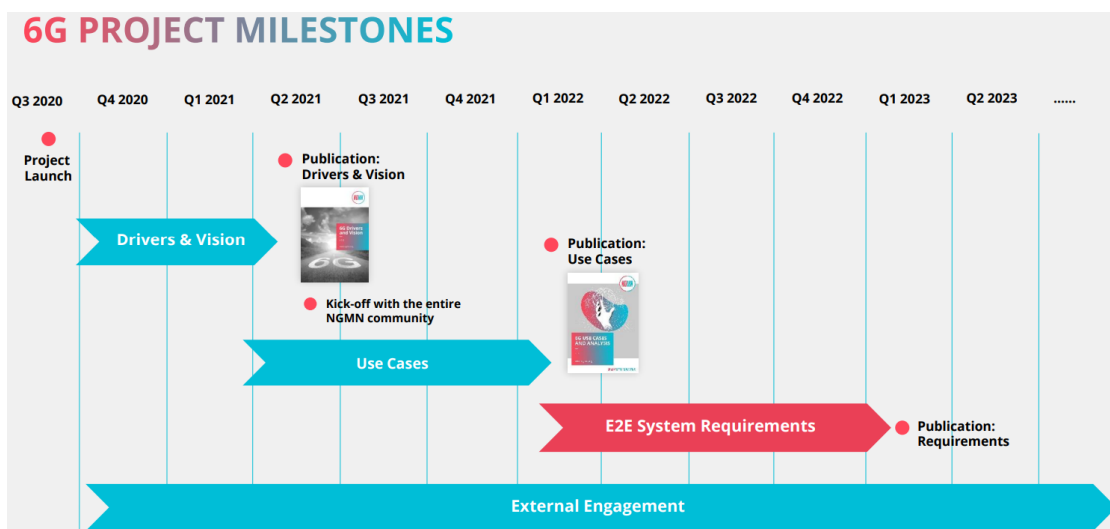


圖 2- 12、NGMN 聯盟 6G 計畫時程表

資料來源：NGMN 網站

1. 6G 願景與驅動力

NGMN 聯盟的 6G Drivers and Vision 白皮書¹³，簡短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。隨著 5G、6G 技術不再只是只提供通訊服務，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求，並且特別從電信產業所直接面臨的基本需求為發展導向。認為未來任何新技術的發展脈絡，應根據技術如何協助社會、終端使用者及行動網路業者的價值創造和傳遞，大致上可分為社會目標、市場期待及營運需求三方面：

- 社會目標：從宏觀角度確立社會目標，正如聯合國在永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDG)所表達的觀點。
- 市場期望：運用不斷發展的技術，以具成本效益方式提供新服務和能力來滿足客戶需求。
- 營運需求：使行動業者網路的規劃、布建、營運管理和性能越來越高效。

NGMN 認為為確保 6G 技術發展成功，不僅必須確定下一代標準和技術細節，還必須重新評估技術標準和技術開發的方式。對此 NGMN 期望 6G 技術的新穎性和功能可滿足需求驅動因素，在推動網路性能極限方面取得新進展。並且可促進各領域發展（環境影響、社會效益、用戶、情境、玩家、價值創造、頻譜等方面）、推動新商業模式及今日未知的潛在新典範。此外還期望 6G 功能可增強信賴度、安全性和彈性。

基於 5G 的前瞻性願景和設計，6G 有可能打破過往以世代區分技術的方式。6G 應基於敏捷和全面彈性系統，在 5G 特性和新功能基礎上提供新服務和價值，具有支持全新差異化服務、推動數位轉型與開拓更大市場機會的可能性。

¹³ NGMN(2021), 6G Drivers and Vision, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final_New.pdf

2. 6G 發展關鍵挑戰

此外 6G 發展應重視永續性議題，包括能源效率和採用綠色技術及能源。實現碳中和（Carbon Neutral）將是 NGMN 近十年及未來重點，同時應是 6G 設計基本因素。然而實現碳中和目標仰賴整個生態系的重新調整，包括全球標準、生態系設計、服務足跡、量化和監控以及布建策略等多方因素。不只網路基礎設施，還涉及用戶終端設計方面，透過改良、可重複使用、可維修和回收等方式延長使用壽命，甚至優化服務/應用軟體設計，減少經網路傳遞的數據量。

NGMN 建議 6G 發展應優先考慮以下關鍵挑戰。滿足社會和環境需求，包括社會福祉、繁榮、永續性、信任、安全、可負擔性、韌性和包容性。推動數位轉型和實現產業自動化，以滿足未來市場需求，例如市場發展和差異化機會、營運效率、生產力、可持續發展服務和投資回報的提升，具體對應技術項目如下：

- 導入新型人機界面，藉由整合多個實體和虛擬平臺、感知與沉浸式混合現實的各類使用情境，最終實現拓展使用者體驗。
- 利用地面和非地面網路，推動無縫、多重接取方式實現服務連續性，提供包含陸地、海洋和天空的通訊涵蓋範圍，可有效解決任何流量和連接密度問題。
- 在能源消耗和碳排放限制的嚴格限制下，同時確保以具成本、能源效率標準，滿足異質（heterogeneous）服務多樣化要求，並實現永續性及碳中和目標。
- 進一步推動和建立 5G 導入的前瞻性功能，例如分散和基於軟體的敏捷能力、認知與自動化網路等，確保在網路和使用者之間容易導入新技術，實現市場導向、支持創新，創造新價值機會。
- 導入人工智慧的設計，發展具可擴展性、彈性和可移轉的能源和成本效益結構，確定適當人工智慧架構，支持價值創造和傳遞、資源分配優化以及營運、布建的永續性；

- 藉由監管系統和共通的全球標準和生態系統來實現未來發展需求。確保互通性、永續性和規模經濟，支援行動業者及其合作夥伴在生態系中創造和傳遞價值。

面對未來發展趨勢，NGMN 聯盟將在技術設計的各階段與民眾、產業、城市及社區代表持續討論，確保技術設計同時滿足社會需求、市場導向及高效率技術開發和後續布建，並整合聯盟成員和合作夥伴意見，協助完善 NGMN 的 6G 願景。

(二)、下世代無線通訊應用研析

NGMN 聯盟延續在 6G 願景與驅動力白皮書之立場，重視基於社會目標、市場期待及營運需求等三大驅動力，以及重視網路彈性、支持創新和開拓新市場之立場，NGMN 於 2022 年 2 月發布 6G 應用案例與分析白皮書（6G Use Cases and Analysis）¹⁴。

NGMN 聯盟參照過去 ITU 發展 5G 技術之歷程，ITU 由預測使用情境主要發展趨勢為起始點，進而觀察未來需求和技術要求水準，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訊所需之技術標準與規範，並成為國際各大通訊標準組織研發之最終目標。在 NGMN 聯盟 6G 使用案例與分析白皮書中，邀請聯盟成員就未來十年將出現哪些應用需求和使用案例發表意見。後續進一步將使用案例進行分類與研析、匯集為通用案例與應用類別。白皮書總計提出 50 個使用案例，並分為 4 類型且濃縮為 14 個通用案例(generic use cases)。由於現階段 6G 發展仍在萌芽階段，所以 NGMN 同意目前對未來的預測案例仍有不少類似於 5G 和進階 5G（5G-advanced）應用。

¹⁴ 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 2- 13、NGMN 聯盟提出 6G 應用四大類別與 13 個通用案例

資料來源：NGMN 之 6G Use Cases and Analysis 報告

雖然受限於未來發展的高度不確定性，但 NGMN 透過意見蒐集與歸納分析的方式，指出未來 6G 潛在的 4 大應用類別，及具體特定應用案例：

- 增強型人類通信（Enhanced Human Communication）包括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）。
 - XR 沉浸式全影像遠距呈現通訊（XR Immersive Holographic Telepresence Communication）
 - 遠距操控的多模態通訊（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）
- 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）

- 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、地圖繪製、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，即數位雙生）
 - 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）

- 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訊覆蓋（Ubiquitous Coverage）。
 - 原生可信賴之 AI（Native Trusted AI ,AIaaS）
 - 延伸通訊覆蓋範圍（Coverage Expansion）
 - 提升能源效率的自動化系統（Autonomous System for Energy Efficiency）

NGMN 聯盟未來將透過內部會議一方面廣納外界意見，另一方面統整聯盟會員觀點，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。

六、 Next G 聯盟

(一)、下世代無線通訊願景與近況觀測

2020 年 10 月，美國電信產業解決方案聯盟（Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS）宣布成立 Next G Alliance（下稱 Next G 聯盟），其成立目的是未來 10 年提升北美行動技術在 6G 領域的領先地位。Next G 聯盟創始成員包括美國電信業者 Verizon、T-Mobile 和 Cellular，加拿大電信業者 Bell 和 Telus，以及 Apple、Facebook、Google、Microsoft、Qualcomm、Samsung、Ciena、Cisco、Intel、JMA、Mavenir 等。

Next G 聯盟將涵蓋研發、製造、標準化和市場準備的整個生命週期。聯盟將首先建立一個指導小組，由該小組推薦出應成立之工作組。目前，Next G 聯盟共設立了 6 個工作組，分別為：應用組（Applications）、社會和經濟需求組（Societal and Economic Needs）、綠色通訊組（Green G）、頻譜組（Spectrum）、國家 6G 藍圖組（National 6G Roadmap）和技術組。下圖為聯盟運作流程框架。

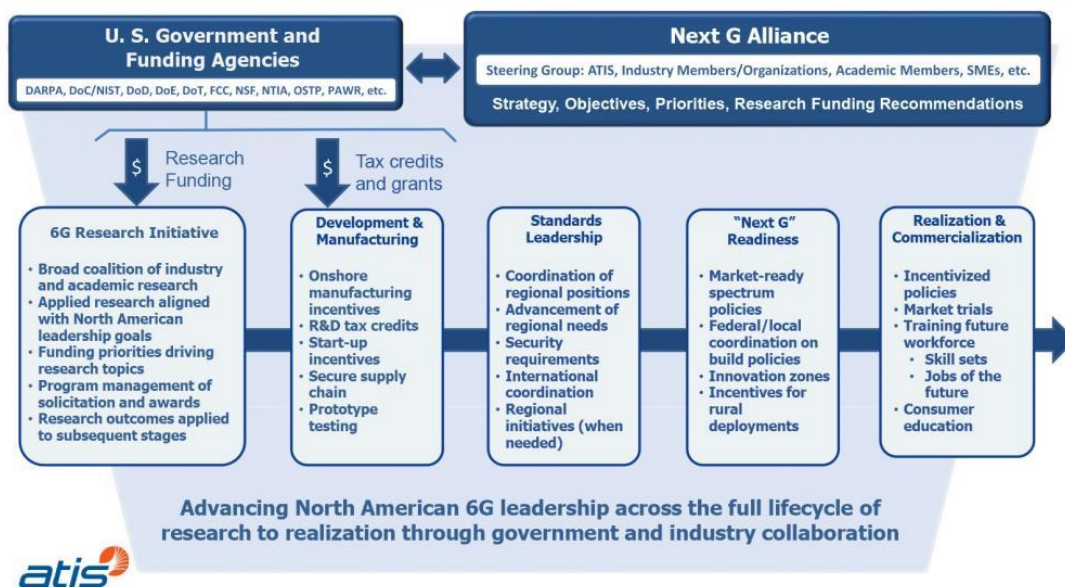


圖 2- 14、Next G Alliance 運作架構概況

資料來源：ATIS 網站

作為一個致力於確保北美對全球技術標準和解決方案做出貢獻的組織，Next G 聯盟的行動策略可歸結為：

- 制定 6G 國家藍圖，以應對不斷變化的競爭格局，並將北美定位為研發、標準化、製造和採用 Next G 技術的全球領導者；
- 推動北美科技產業在一系列核心優先事項上保持一致，從而確保北美在 6G 及未來技術的領導力，並影響政府政策和資金；以及
- 確定和定義早期步驟和戰略，促進和引領 Next G 技術在新市場和商業領域的快速商用化，並促進在國內和全球範圍內的廣泛應用。

2021 年 4 月，Next G 聯盟任命 AT&T 和 Ericsson 兩家公司所派之代表負責聯盟總體戰略與方向，並著手啟動 6G 藍圖研究工作。具體而言，6G 藍圖將定義研究需求、技術發展、服務和應用支持、政策和政府行動以及市場重點。

2022 年 3 月，Next G 聯盟發布「6G 綠色通訊：邁向永續發展（Green G: The Path Toward Sustainable 6G）」白皮書及「6G 藍圖（Roadmap to 6G）」報告，宣示將以可持續發展為核心，重點致力於綠色新型網路及資料儲存、材料、設備及硬體製造、下一代行動網路等領域標準制定。同年 5 月，Next G 聯盟接續發布「6G 應用案例（6G Applications and Use Cases）」研究報告，該報告以訊息收集、趨勢檢視以及對應用案例進行評估為主要研究方法，並將 6G 發展主要驅動因素歸納在日常生活、用戶體驗、關鍵角色和社會目標等四大領域，再分別就各領域中可能出現的場景、應用案例、市場機會、技術需求、6G 研究重點等進行分析，俾能對下一代技術及其生態系統如何幫助改善人類生活方式和互動提供較具體的表徵。

首先在發展願景方面，「國家 6G 藍圖（National 6G Roadmap）」¹⁵明確表達必須兼顧不同層次利害關係人的需求，分別為：

- 國家當務之急目標：各項有助於實現北美無線通訊領導地位的社會、經濟和政府目標。基於此一遠大願景，概述 6G 不同於 5G 的變化，以及北美地區獨特需求和領導機會。
- 應用和市場：實現相關產業和利益團體重視的關鍵市場與應用案例。
- 技術開發：確認實現每個目標所需的新技術領域，以及為何需要 6G 技術。並且確認關鍵績效指標，訂定技術目標的達成門檻標準。



圖 2- 15、Next G 聯盟之 6 大雄心目標

資料來源：Next G Alliance 之 Roadmap to 6G 報告

Next G 列出六大發展目標如下：

- 信任、安全和彈性（Trust, Security, and Resilience）應持續提升強化，使未來世代網路得到公眾、企業和政府的充分信任，

¹⁵ ATIS 6G 願景, https://nextgalliance.org/working_group/national-6g-roadmap/

並且在任何情況都兼具彈性、資安、隱私保護、安全、可靠和可用性。

- 增強型數位世界體驗（Digital World Experience）包括多感官體驗，改革人類協作形式，進而將改變工作、教育和娛樂的人機和機器間互動，提高生活品質並創造龐大經濟價值。
- 具成本效益的解決方案（Cost Efficient Solutions）應涵蓋網路架構所有層面，包括設備、無線接取、基地臺後傳、網路分布和能源消耗等。在城市、偏鄉和郊區等各環境中提供升級版服務，同時支援提升數據傳輸率和未來型態服務。
- 基於虛擬化技術建構分散式雲端和通信系統（Distributed Cloud and Communications Systems）將提升 XR、URLLC 應用、互動式遊戲和多感官應用等關鍵應用的靈活性與性能。
- 需要 AI-Native 網路（AI-Native Network）提升無線和雲端技術的穩健性、性能和效率，因應更多元化的流量類型、超密集布建網路拓撲和更具挑戰性的頻譜使用情境。
- 與能源效率和環境相關的可永續性（Sustainability）必須是整個決策生命週期首要目標，藉此實現到 2040 年行動網路碳中和的目標。從根本上改變下世代通信和網路的電力使用方式，同時強化資通訊技術運用於保護環境的功能。

（二）、下世代無線通訊應用研析

聯盟繼 2022 年 2 月發布「Roadmap to 6G」研究報告後，於同年 5 月再發布「6G 應用和使用案例（6G Applications and Use Cases）」研究報告¹⁶，對四大類應用的場景、使用案例、市場機會、需求、6G 研究重點等進行了分析。為釐清可能影響下一代行動通信技術發展與未來應用的驅動因素，該報告以蒐集資訊、趨勢檢視以及對應用與使用案例演進進行評估為主要研究方法。報告將 6G 發展主要驅動因素

¹⁶ Next G Alliance, 6G Applications and Use Cases, https://nextgalliance.org/white_papers/6g-applications-and-use-cases/

歸納在日常生活、用戶體驗、關鍵角色和社會目標等四個基本領域及其相關使用案例，俾能對下一代技術及其生態系統如何幫助改善人類生活方式和互動提供較具體的表徵。



圖 2- 16、Next G 聯盟 6G 應用白皮書中四項基本領域

資料來源：Next G Alliance 之 6G Applications and Use Cases 報告

該報告彙整四項基本領域情境眾多案例後，區分為四大類：

- 連網機器人和自主系統（Network Enabled Robotics and Autonomous Systems）

使用 GPS、光學檢測和測距、聲納、雷達、相機和里程計等感測器監測周圍環境。透過感測器使機器人和自動化系統能與人類自然互動，並做出必要決策來輔助或支援使用通信服務的一系列任務。

- 多感官擴展實境（Multi-Sensory Extended Reality）

多感官 XR 是包括 AR 和 VR 在內的沉浸式技術集合群體的總稱。

- 分散式感應和通信（Distributed Sensing and Communications）

分散式感應和通信的使用個案和類型，包括高度整合感測與通信的自動化系統。反映無所不在的通訊、結合大量物聯網感測器產生的

資料，在未來所具有的龐大、創造性價值。

● 個人化用戶體驗（Personalized User Experiences）

個人化用戶體驗是基於使用者個人資料和背景脈絡資訊（例如，個人偏好、趨勢和生物特徵），提供即時、自動化和隱私安全的終端設備、網路、產品和服務。

表 2-4、Next G 聯盟提出 6G 四大使用情境與具體案例

6G 應用	使用案例
連網機器人和自主系統	● 連線模式下的多機器人協同作業 ● 用於危險環境的野地機器人
多感官擴展實境	● 超現實互動性運動項目－無人機競賽 ● 沉浸式遊戲、娛樂 ● 應用混合實境於協同設計 ● 應用混合實境於遠距臨場 ● 利用 6G 提供沉浸式教育 ● 飛行器內提供娛樂服務所需高速無線連網
分散式感應和通信	● 遠端資料收集 ● 無線可穿戴設備和植入物 ● 消除北美數位落差 ● 公共安全應用 ● 同步資料傳送通道 ● 健康照護－體內網路
個人化用戶體驗	● 個人化住宿體驗 ● 個人化購物體驗

資料來源：Next G Alliance 之 6G Applications and Use Cases 報告

2022 年 7 月，Next G 聯盟再發布「6G 技術」研究報告¹⁷，該報告對確保北美 6G 領先地位應特別著重的研究方向進行盤點，最後共

¹⁷ ATIS (2022), ATIS' Next G Alliance Advances Understanding of 6G Technologies, <https://www.atis.org/press-releases/atis-next-g-alliance-advances-understanding-of-6g-technologies/>

總結出 47 項 6G 關鍵候選技術，涵蓋領域分別為：

- 元件技術 (Component Technologies)：包括半導體技術、電路及子系統、天線/封裝及測試、全像技術 (Holographic Technology) 等；
- 無線電技術：再區分為基本無線電技術、用於綠色通訊的無線電技術、先進拓樸與組網、引入人工智慧及分散式雲端的無線電技術、實現通訊/感測融合的無線電技術等；
- 系統與網路架構：包括非地面網路 (Non-Terrestrial Networks, NTN)、引入網狀拓樸及邊緣連結 (Mesh and Sidelink) 的無線接取網路、環境智慧 (Ambient Intelligence) 的架構強化、網路軟硬體分離 (Network Disaggregation)、終端—接取—核心之網路架構、分散式雲端平臺、人工智慧/機器學習在網路及設備的應用、極簡協定堆疊 (Lean Protocol Stack)、嵌入式子網接連，以及動態 QoE 配置的應用架構/介面增強等；
- 網路操作管理與維運 (OA&M) 和服務支援；
- 可信度 (Trustworthiness) —指安全、可靠、隱私和韌性 (Security, Reliability, Privacy and Resilience)。

作為北美地區重要 6G 技術聯盟，Next G 聯盟願景為北美地區 6G 技術研發平台，針對技術商業化生命週期的研發、製造、標準化與市場老入等各階段，建立系統化合作平台，未來隨著國際 6G 發展趨勢更顯明朗，Next G 聯盟預計將啟動更多項目，試圖主導全球 6G 發展趨勢。

七、 6G 旗艦計畫

(一)、 6G 願景與計畫觀測

芬蘭於 2018 年 11 月投入 2.51 億歐元啟動 6G 旗艦計畫 (6G Flagship Programme)，支持 Nokia 與芬蘭奧陸大學 (University of Oulu) 進行 6G 前瞻性學術研究。6G 旗艦計畫於 2019 年 3 月舉辦首場 6G 無線通訊高峰會，邀集來自 29 個國家的電信業者、電信主管機關和學術人員等共同討論未來 6G 的發展，並於 2019 年 9 月，Oulu 大學出版全球第一版 6G 白皮書¹⁸，6G 的願景為無所不在的無線智慧 (Ubiquitous Wireless Intelligence)。

1. 6G 旗艦計畫觀測

社會和商業的驅動因素將快速地影響 6G 的發展，包括政治、經濟、社會、技術、法律和環境驅動因素。未來 6G 發展願景將納入更廣泛的利害關係人，以關注社會整體趨勢、聯合國永續發展目標、降低二氧化碳排放量、新興技術推動因素，以及追求生產力不斷增長等 6G 技術推動關鍵因素。

● 聯合國可持續發展目標的社會驅動力將塑造 6G

為確保智慧城市服務和城市化的好處得到充分共享和包容，政策上管理城市增長需要確保所有人都能獲得基礎設施和社會服務，並關注城市貧民和其他弱勢群體對住房、教育、醫療保健、工作和安全環境的需求。關鍵的流程為數位自動化服務連接無所不在的系統、小工具和傳感器，這些設備的興起將需要更高的可信賴性和彈性。預期 6G 網路無所不在的連通性和情境意識將促進 ICT 的可及性和使用性，並促進特殊需求的社會和經濟發展，包括原住民和生活在偏鄉地區的人們。未來的 6G 架構將促進數位包容性和可接取性，同時釋放偏鄉經

¹⁸ 6G Flagship (2019), Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence , https://www.researchgate.net/publication/336000008_Key_drivers_and_research_challenges_for_6G_ubiquitous_wireless_intelligence_white_paper

濟價值和機會。

- **走向數據共享/數據市場經濟，其中數據所有權和合約政策問題需要特別關注。**

接取數據和數據所有權越來越成為創造價值的主要因素，限制此類接取是一種控制手段。創建一個改變數據收集、優先權和共享方式的系統可以為未來價值創造強大的驅動力，但也可能導致嚴重的隱私和道德問題。此外，如何使用數據本身成為一個關鍵問題，通信生態系統不同成員的合約權利和義務可以說明如何使用資訊和數據，然而其挑戰在於將這些權利和義務映射到高度自適應的自治系統或智慧型設備如何收集和使用數據，以創建未來的服務。

- **促進城市和室內空間的網路共享，往更高頻率的方向演進**

在可預見的未來，由於長期頻譜的核准使用，目前用於行動通信網路的較低頻段（4 GHz 以下）預計將保持穩定，並由行動網路業者主導。然而，對於未來 6G 技術發展趨勢，針對室內環境和室外城市空間的超高效短距離網路的新頻段將變得更普遍，這些區域網路將針對具有特殊需求的垂直產業，並由不同的利益相關者進行布建，以向新參者、新投資和新生態系統開放市場。

- **6G 中的利益相關者將發生變化，並且將出現新的參進者。**

與目前的行動服務生態系統相比，預期 6G 中的利益相關者將發生變化，並且將出現新的參進者。預計不同的驅動因素將從根本上改變生態系統，並為 6G 的不同類型利益相關者帶來新的機遇。主要將透過新的活動來共享資源以滿足需求，以確保包容性、可持續性和透明度。最終新 6G 生態系統的出現和形成將取決於促進或阻礙這些發展的法規。

2. 關鍵績效指標

6G 技術研發將基於 5G 基礎持續進行關鍵技術研析，6G Flagship 認為最終實現 6G 每個用戶傳輸速率最高達 1 Tbps、延遲低於 0.1 毫秒、10 倍以上能源效率、每平方公尺可以支援 100 臺設備等更具挑戰性之目標。用於開發當前和 5G 技術的許多關鍵績效指標（Key Performance Indicators, KPI）也適用於 6G。但是，必須更加嚴格審查 KPI，並且必須認真考慮新的 KPI。對於技術驅動的 KPI，一些領先的供應商已經發布了超越 5G 和 6G 的要求，學術界和工業界在不同論壇上提出的通用 6G 關鍵績效指標初步草案，如下圖所示。

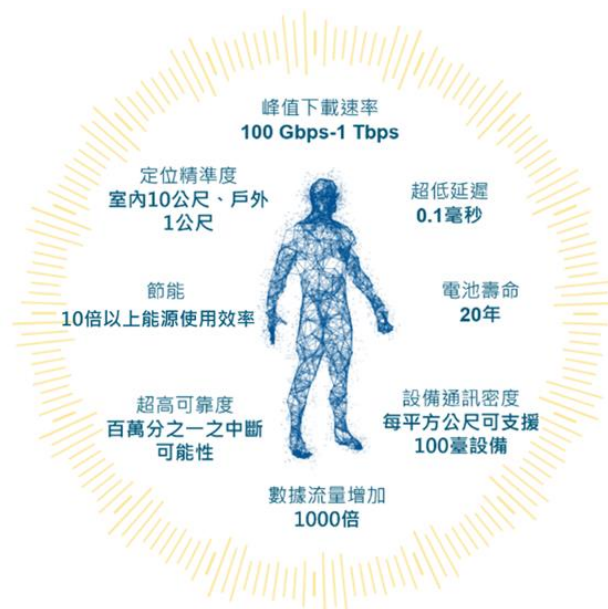


圖 2-17、通用 6G 關鍵績效指標

資料來源：6G Flagship 之 Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence 報告

5G /B5G 和 6G 的指標在大多數的技術領域中，顯現各自能力均提高了 10 至 100 倍，與之前的行動蜂窩世代升級情況一致。下表列出潛在 6G 關鍵績效指標，包括之前討論的技術關鍵績效指標。

表 2-5、潛在的 6G 關鍵績效指標

技術和生產力驅動的 KPI	可持續發展和社會驅動的 KPI
延遲	需求和標準化納入垂直參與者
抖動 (Jitter)	透明度，包括人工智慧
鏈接預算	隱私/安全/信任
(全球) 擴展範圍	全球案例導向
覆蓋範圍 (包括衛星)	受聯合國可持續性發展啟發的目標
3D 映射保真度 (fidelity)	全 Open Source
現有調整後的 5G	道德
定位精確度和更新率	
成本	
能源	

資料來源：6G Flagship 之 Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence 報告

● 物理層與無線系統

沒有單一解決方案可以滿足所有垂直應用的需求。系統需求的巨大變化，例如大量頻寬、超可靠低延遲通信 (URLLC)、大量機器類型通信 (mMTC) 和極高的能源效率，也說明需要許多不同解決方案。6G 旗艦計畫對於未來 6G 物理層和無線系統的前景，認為除了地面網路之外，還需要基於衛星和無人機 (或類似的高空平臺) 的基礎設施來支持覆蓋和容量需求。

結合數據爆炸和越來越多的數據在微型設備中進行封包和處理的事實，能源和功耗變得特別具有挑戰性。同時，收發機處理和終端用戶應用程式的複雜性也可能會增加，因為沒有仔細設計所有網路層以提高能源效率，導致過多的能源消耗。¹⁹

● 人工智慧發揮重要作用

為了滿足所有已確定的挑戰性要求，需要具有可配置無線電的超

¹⁹ E. C. Strinati, S. Barbarossa, J. L. Gonzalez-Jimenez, D. Ktnas, N. Cassiau, and C. Dehos, "6G: The next frontier," arXiv:1901.03239 [cs], Jan. 2019.

靈活網路。人工智慧和機器學習將與無線電傳感和定位一起使用，以了解無線電環境的靜態和動態組成。這將用於預測高頻鏈路訊號損失事件，主動決定密集城市網路中的最佳切換實例，並確定基站和用戶的最佳無線電資源分配。未來的無線網路必須能夠與地面、衛星和機載網路無縫連接。可見光通信（Visible Light Communication）被認為是在室內場景中實現 Tbps 數據速率的關鍵推動力。

● 新的免執照接取方案對 mMTC 至關重要

6G 系統將必須靈活地啟用 mMTC，支持大量低功耗和低複雜度的設備，並同時具備高頻譜效率。這些要求對物聯網尤其苛刻，其中設備偶爾會生成短數據封包，資源的編配可能會超過資訊的實際交換。現代的數據傳輸隨機接取解決方案（Random-Access Solutions）基於適當的協定設計，並依靠連續干擾消除（Successive Interference Cancellation），可能成為該方向的關鍵推動力。事實上，隨機接取已經在一些衛星標準中採用，它們已被證明可以實現真正的免執照方法，同時接近預定的接取性能。此外，現代隨機接取協定利用物理層和 MAC 層的聯合設計來提高可實現的吞吐量，這些可能被證明對短距離連線解決方案有用。²⁰

● 信號成形是一種實現高頻譜效率的方案

實現更高的傳輸速率需要使用非常高的星座調變（Constellation Modulation）。然而，這些高階星座調變對非線性的傳輸介質非常敏感，正交振幅調變（Quadrature Amplitude Modulation, QAM）的信號成形可能可以克服其中一些挑戰。信號成形有兩種類型，包括幾何和機率。幾何和機率的星座 QAM 成形都有望在光學和 THz 無線通信系統中實現創紀錄的高頻譜效率。

²⁰ F. Clazzer, A. Munari, G. Liva, F. Lazaro, C. Stefanovic, and P. Popovski, “From 5G to 6G: Has the Time for Modern Random Access Come?” in Proc. 6G Wireless Summit, Levi (Finland), Mar. 2019.

● 6G 中的模擬調變方案

正交頻分多工（Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM）已被證明對寬頻連線非常有效，之前也被提出用於 60 GHz 頻段內超過 500 MHz 頻寬的超寬頻（Ultra-Wide-Band, UWB）系統的多頻 OFDM 版本。當傳輸頻寬達到極限時，例如幾十 GHz 頻寬，或甚至是幾百 GHz 頻寬，經典的收發機設計將開始失效，並且多載波調變無法像目前的技術工作，將需要更強大的模擬調變方案。

● 最強的安全保護可以在物理層實現

未來的無線通信可能依賴於量子密鑰分發（Quantum Key Distribution, QKD）方案，該方案可以提供一些獨特的物理層安全功能，從而為某些 6G 應用提供所需的超安全網路。QKD 提供一種在兩個用戶之間分配密鑰的安全方式，透過量子力學，而不是複雜的計算來確保保密性。此外，透過物理層簽名（例如射頻指紋辨識）和其他技術（例如 MIMO 傳輸係數的隨機化、編碼等）進行身份驗證，可能會在 6G 中進行使用。

● 反向散射通信可以實現超低功率通信

整體網路和系統能源效率，特別是每焦耳的 bits 數（the number of bits per joule），需要顯著提高以支持 6G 的需求。這需要優化無線電資源，以系統化設計傳輸能量和所需處理能量之間的控制平衡，該方法要求以節能的方式進行編碼、調變、發送和接收處理，以及功率和頻率分配。此外，終端設備需要具有超低功耗（sub mW）的能力，低功耗物聯網節點更是需要。大部分可以透過適當的射頻和基頻硬體設計來實現，但也需要解決低功率編碼、調變和物理層（non-OFDM）的問題。來自環境和射頻波形的反向散射通信（Backscatter

Communications) 和能量收集，也將使具有不可更換電池的物聯網節點具有較長的使用壽命。此外，使用射頻功率進行連接和計算的反向散射通信可以提供通向超低功率通信的途徑。

● 6G 無線網路可能會根據自己的喜好塑造無線電環境

在電磁可調表面 (Tunable Surfaces) 革命的推動下，例如基於超材料 (Metamaterials)，6G 將控制來自大型智慧型表面 (Intelligent Surfaces, LIS) 信號的反射和折射，可以研究從無源反射器和超材料塗層 LIS 的優化使用，到可重構 LIS 的 AI 驅動操作，需要進行基本分析以了解 LIS 和其效率，包括速率、延遲、可靠性和覆蓋範圍。另一個重要的研究方向是環境人工智慧，LIS 可以學習並自動重新配置其材料參數，挑戰包括如何在大型超材料表面聚焦具有不同入射角的信號，這需要反射/折射係數的可控性。

(二)、 6G 潛在頻譜議題研析

未來的無線網路有望支持各種有時相互衝突的要求，6G 有望成為第一個需要超高速鏈路的無線標準，每條鏈路的峰值吞吐量超過每秒 Terabit (Tbps)。無線工廠自動化等 6G 案例將需要非常複雜的操作，例如具有超高可靠性和超低延遲的通信、高分辨率定位和高精度設備之間的同步 ($1\mu\text{s}$ 以內)。預計 6G 可靠性和延遲要求將具多樣性，且會有各種特定案例。最極端的情況之一是工業控制，其中在 0.1 毫秒延遲的十億個傳輸位中只允許一個錯誤位。安全、隱私和可靠度是重要的新興 KPI。6G 需要超安全，滿足工業和高端用戶的苛刻要求，同時對物聯網應用來說成本低，且複雜度也要低。

可以預期，6G 的數據流量和連接的事物數量將大幅增加。設備密度可能會增長到每立方公尺數百個設備，這對面積、空間頻譜效率，以及連接所需的頻段顯現出嚴格的要求。為實現 6G 更高數據傳輸速

率技術目標與各項創新應用情境，預期頻譜需求將更為龐大並延伸至 THz 頻段。然而無線通訊技術使用頻段從幾 10 GHz 的毫米波躍升至 THz 頻段，將對無線電通訊技術帶來前所未有之挑戰。

對於未來的網路，將需要更寬的無線電頻寬，但只能在 sub-THz 和 THz 頻段找到。該頻譜的使用帶來了許多挑戰，但也帶來了機遇。因此，儘管 6G 還將利用所有現有和未來的較低頻段作為行動大區域覆蓋的推動者，無線電硬體研究將主要集中在該頻譜區域。超高效的短距離連接解決方案將是 6G 的關鍵，這是未來更高頻段可以發揮作用的領域。分子吸收對路徑損耗有很大影響，尤其是在較長距離（頻率高達 400 GHz 時約為 1 至 10 dB/km）。然而，對於局部連接性，與自由空間損耗相比影響仍然很小，而且 THz 無線電頻譜可以劃分為 500 GHz 以上，大氣吸收峰之間的有利頻譜空間，如下圖所示。除了技術邊界之外，在對無線電頻譜進行分類時，還需要考慮到各種材料的穿透和表面反射。

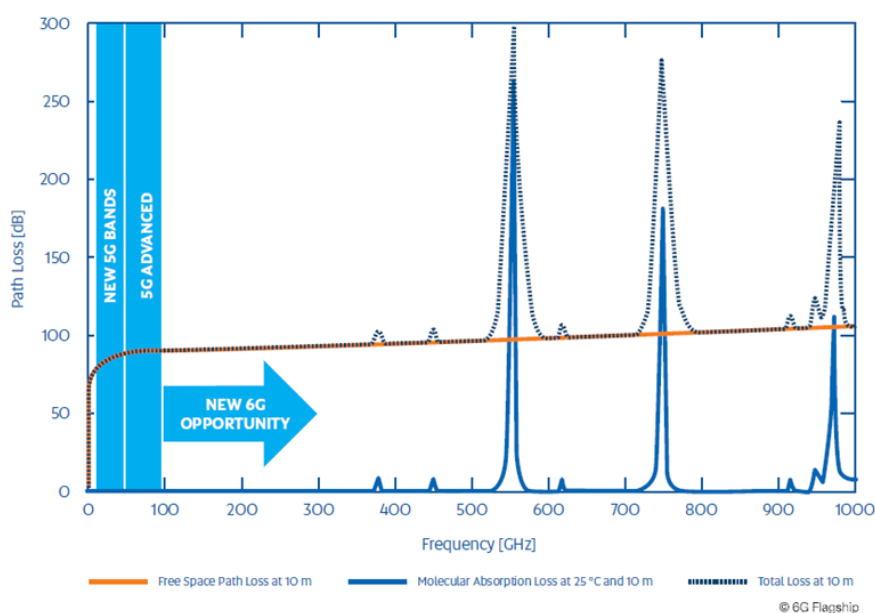


圖 2- 18、6G 頻譜可用範圍與自由空間損耗和受水蒸氣吸收的影響
資料來源：6G Flagship 之 Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence 報告

5G 和 6G 可用頻段的基本特性如下表所示。應該注意的是，當從 30 GHz 開始進入 THz 區域時，自由空間損耗的增加非常小。如果天

線面積保持不變，則自由空間損耗透過天線增益的增加得到補償。與自由空間損耗不同的是，更高頻率的缺點是增加射頻硬體的複雜性和並行性，以及減小的波束寬度，這會在行動應用中對訊號採集和波束追蹤造成問題。

表 2- 6、6G 潛在頻段與技術特性

頻段	0.3-3 GHz	3-30 GHz	30-300 GHz	0.3-3 THz	3-30 THz
波長	100-10 cm	10-1 cm	10-1 mm	1000-100 μ m	100-10 μ m
顯性傳播機制	視距 LOS、 反射、方向、 散射、穿透	視距 LOS、 反射、方向、 散射	視距 LOS、 反射	視距 LOS、 反射	視距 LOS、 反射
主要衰減效應	自由空間損耗	自由空間損耗 —透過高頻段 材料的傳輸損 耗	自由空間損耗 /分子吸收-O ₂ @60 GHz - H ₂ O > 24 GHz	自由空間損耗 /分子吸收- 高 H ₂ O 峰值	自由空間損耗 /分子吸收- 高 H ₂ O 峰值
支援鏈路距離	10 公里	1000 公尺	100 公尺	小於 10 公尺	小於 1 公尺
發射功率限制 因子	規定	規定	技術	技術	技術
近似系統頻寬	達 100 MHz	400（或 800）MHz	達 30 GHz	達 300 GHz	大於 100 GHz

資料來源：6G Flagship 之 Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence 報告

當前的許多物聯網應用場景都受到範圍、成本和電池的限制，並且不容易擴展到更高的頻率。相反，數據速率密集型的場景，例如傳輸全息影像資訊需要更大的頻寬，例如毫米波頻段，或未來的 THz 頻譜。利用 THz 頻譜需要根據頻段的吸收和反射特性來配置，以優化通信和其他應用的使用和重複使用。具體來說，在支持多種應用的場景中，必須透過仔細的頻率規劃來防止諧波產生重疊。由於微弱信號檢測的靈敏度是關鍵瓶頸之一，因此最好在頻率規管制度中考慮採取預防措施，此為特高頻段才會出現的特殊情況。

(三)、 6G 旗艦計畫最新發展現況

6G 旗艦計畫主旨一方面持續推動 5G 技術成熟化與產業應用，另一方面持續推動技術研發，目標為從 B5G 逐步邁向實現 6G 技術標準。在第一期階段以 B5G 技術為主，將基於 5G 基礎持續進行關鍵技術研析，逐步實現 6G 目標；至於頻譜方面，為實現 6G 更高數據傳輸速率技術目標與各項創新應用情境，預期頻譜需求將更為龐大並延伸至 THz 頻段，將對無線電通訊技術帶來前所未有之挑戰。

6G 旗艦計畫目前已進入第二期(2022-2026)²¹，積極招募全球 6G 相關研究員、博士後人員，計畫定位屬於學術研究領域。發展目標為持續釐清 6G 技術發展藍圖，強化在 6G 技術研發上的領導地位，並持續推動垂直應用情境探索，並且推動 6G 技術測試網路，藉由建構測試網路方式，提供各項 6G 技術研發可進行測試驗證之平台，縮短技術驗證時程、提升技術可信度，最後則是強化國際合作，協助歐盟其他 6G 計畫，甚至全球 6G 相關研究發展。

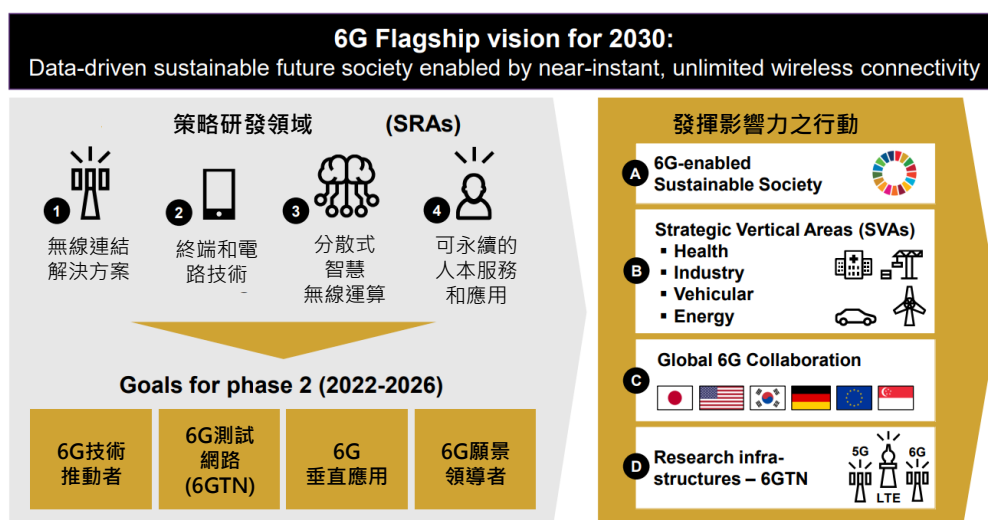


圖 1、6G 旗艦計畫第二期架構與目標

資料來源：6G Flagship 網站

²¹ 6G Flagship (2022), 6G Flagship – The second phase: Expert teams speeding up in creating possible solutions, <https://www.6gflagship.com/news/6g-flagship-the-second-phase-expert-teams-speeding-up-in-creating-possible-solutions/>

第二節、重點國家 6G 頻譜與產業新技術推動政策研析

一、 歐盟

(一)、6G 願景與發展策略觀測

歐洲地平線（Horizon Europe）計畫為歐盟重要的多年期技術創新資助計畫，最新期程為 2021 年至 2027 年，總金額約為 995 億歐元。歐洲地平線計畫資助全歐盟地區創新研發項目，其中芬蘭 6G 旗艦計畫、Hexa-X 等計畫皆為補助項目之一；在歐洲地平線計畫²²框架下，歐洲智慧網路和服務聯合承諾²³（European Smart Networks and Services Joint Undertaking, SNS JU）旨在確保歐洲在 5G、6G 方面的領導地位。推動 6G 技術在 2025 年左右完成概念和標準化，藉此確保歐洲地區在 6G 發展的技術主導地位。SNS JU 在 2022 年 10 月 7 日公告擴大 6G 投資並啟動總金額 2.5 億歐元的 35 案新研究項目²⁴。

1. Hexa-X 整體願景與計畫簡介

6G 網路預計將於 2030 年投入商業應用，各國間陸續開始投入 6G 的開發研究，Hexa-X 計畫為歐盟所啟動之首批 6G 先期發展研究計畫中的旗艦項目，該計畫獲得歐盟 Horizon 2020 研究及創新計畫 1,190 萬歐元之資助，由諾基亞擔任計畫主持人，愛立信負責技術管理，於 2021 年 1 月正式啟動，為期二年半，將協同產業價值鏈上的重要關係人及相關學術單位投入 6G 技術之研究與開發，以建構 6G 新世代通訊網路為目標。

Hexa-x 計畫所展望的 6G 願景是，人們未來將享受於感官及認知智慧之個人世界（Human World）、物體及組織之實體世界（Physical

²² European Commission, Horizon Europe, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en

²³ European Commission, The Smart Networks and Services Joint Undertaking, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/smart-networks-and-services-joint-undertaking>

²⁴ 6G IA (2022), Europe scales up 6G research investments and launches 35 new projects worth €250 million, https://6g-ia.eu/single_post/?slug=europe-scales-up-6g-research-investments-and-launches-35-new-projects-worth-e250-million

World) 與數據及運算之數位世界 (Digital World) 間得以即時有效連結互動的日常體驗，由此即衍生出以 6G 新技術作為驅動的各式應用場景。將人、物與數位世界以 6G 關鍵要素連結起來²⁵，以實現成長、全球永續、可信賴和數位包容之目標。其中 Hexa-X 規劃開發的技術推動要素有：(1)發展 Tbps 級無線電接取技術與感測的新無線電接取技術；(2)藉由人工智慧驅動的空中介面和未來網路治理達成智慧連結，以人工智慧優化網路效能，同時保持足夠的解釋性和數據隱私 (data privacy)；(3)網路演進和發展可提高網路彈性和效率。

該計畫之進行係分為三個階段，第一階段為界定方向、確認技術落差，經由 6G 應用場景項目中，辨認所需的關鍵驅動技術；第二階段是擬定技術研究項目之框架，並開發第一批方案；第三階段將展示最終版的方案、架構和新技術，並進行測試。

2022 年 10 月，歐盟完成新研究項目評選，Hexa-X 計畫第二階段更名為 Hexa-X-II²⁶，Hexa-X-II 延續第一階段執行架構，計畫時程為 2.5 年將於 2023 年 1 月 1 日啟動，同樣由 Nokia 領導計畫執行。至於第一階段研究成果，將於 2023 年 7 月正式公告。

2. 六大研究挑戰

為推進個人、實體及數位三個世界間新互動模式願景之實現，該計畫藉由訂定出 6G 技術的六大研究挑戰作研究計畫之發展基礎：

- (1) 智慧連結 (Connecting Intelligence)：6G 系統架構須得以強化並最終實現即時、可信任的控制 (control)，藉由透過人工智慧 (AI) 和機器學習 (ML) 技術整合人為監督 (human in the loop) 作為工具，以顯著提升操控的效率和服務體驗。
- (2) 多網聚合 (Network of Networks)：為滿足未來各種連網和應用服務需求，6G 網路之建構將是單一的異質生態系統，以支持

²⁵ IEEE (2021), Hexa-X The European 6G flagship project, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9482430>

²⁶ Hexa-X (2022), <https://hexa-x.eu/hexa-x-ii-the-second-phase-of-the-european-6g-flagship-initiative/>

通訊、數據傳輸和人工智慧處理等各種技術、資源之整合，且具高度靈活性，得於體內植入、機器嵌入、室內、數據中心和幅員廣闊地區以不同規模大小進行連接和設置，並同時符合成本效益以改善環境永續、治安、健康和數位落差等社會問題。

- (3) 永續性：6G 網路須優化其數位基礎設施之效能，以更有效率地進行無線網路資源之配置，減少全球通訊產業的環境碳足跡；另一方面，亦須得以作為環境即時監控感測的數位技術工具，促進環境、經濟和社會面向的永續發展。
- (4) 全球服務覆蓋（Global Service Coverage）：6G 的發展須將數位包容（Digital Inclusion）置於首要目標之一，針對全球範圍服務覆蓋及支持陸海空運輸網路連線，提出穩定安全且可負擔的解決方案，進而達到促進商業活動、經濟發展和縮小數位落差成果。
- (5) 極致體驗（Extreme Experiences）：6G 藉由使用兆赫茲（Thz）電磁波頻段，將可支持 100 Gbps 到 1 Tbps 之超高速網路傳輸速率、超低延遲和接近無限的網路容量，以及更精確的定位和感測功能，帶來沉浸式通訊、遠端監控等極致服務體驗，加速數位化的進程。
- (6) 可信任性（Trustworthiness）：為因應 6G 世代的來臨，須建立可信任的無線通訊網路，以確保通訊傳輸過程的機密性和完整性，進而維護安全、信任和隱私保護的價值，邁向開放、可信賴且更加民主的數位時代。

該計畫整合上述研究挑戰及以下的驅動技術項目（Technological Enablers），嘗試建構一個開放式、模組化、靈活性，且兼顧性能績效與可信任、數位包容和可持續性之三大關鍵價值的基礎網路示範架構。

3. 關鍵技術與應用場景

Hexa-x 計畫從上述願景及研究挑戰中確認 6G 之各種應用，從中提取未來 6G 網路建置的驅動技術，作為技術研究開發的指引，且透

過關鍵績效指標（KPIs）及關鍵價值指標（KVIIs）的設置，驗證確保所開發的驅動技術及網路基礎架構設計之效能成果與該計畫的目標宗旨相符。

該計畫於 2022 年 1 月 3 日所發布之編號第 1.3 成果報告（Deliverable D1.3）²⁷中，依研究執行過程的各方回饋，基於原先所辨認的應用項目和場景類型進行修正與增補，更新後的六大應用場景（use case families）為：推動永續發展（Enabling Sustainability）、巨量數位分身（Massive Twinning）、從機器人到協作機器人（From robots to cobots）、超連結性網路基礎設施（Hyperconnected resilient network infrastructures）、可信賴嵌入式網路（Trusted embedded networks）及遠距臨場（Telepresence）。



圖 2- 19、Hexa-X 計畫 6G 願景

資料來源：Hexa-X 之 Expanded 6G vision, use cases and societal values 報告

Hexa-X 整體計畫擬定出四大研究目標，透過對三大驅動技術面

²⁷ Hexa-x(2022), Targets and requirements for 6G – initial E2E architecture, https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2022/03/Hexa-X_WP1_D1.3_Summary-slides.pdf

向的設計、開發與評估（目標二、三、四），並將成果整合進入所提出的基礎網路示範架構（目標一）作為計畫最終目標的實現，各項目標內容及所包含的細部工作項目分述如下。

- 目標一：6G 終端到終端系統架構（End-to-end 6G System Architecture）

該計畫已於去年底提出架構設計原則和初步的模型，6G 的通訊系統架構之設計將依循以下八大原則：具備預測功能的網路協調管理（Predictive Orchestration）解決方案、閉迴路全自動管理與優化、靈活的網路拓樸、可擴充性、高度彈性與可及性、雲端原生服務導向的網路介面、高替代性能快速建置與調配的網路功能和簡化之系統架構。

而其所提出的終端到終端 6G 架構模型係由基礎設施層（Infrastructure layer）、網路服務層（Network service layer）和應用層（Application layer）所組成，基礎設施層包含無線接取網路（RAN）、核心網路（CN）及傳輸網路（transport network）之硬體設備，為實現 6G 的新應用場景，該計畫將針對無線接取網路性能和定位感測功能進行進一步的開發；網路服務層則由各項雲端運算的服務及功能所組成，所採用的雲端系統將從核心雲（central cloud）擴散至超邊緣雲（extreme edge cloud），朝向網路功能的軟體化、虛擬化和軟硬體間的整合協調，該層將著重於超邊緣雲技術之技術運用，以其更加的運算能力和存取速率，將有助於支援大量裝置連網的網路性能提升；該層的另一特色是導入整合結構（exposure framework and integration fabric）在不同網域(domains)間建立通訊頻道，使網域與網域間無縫隙連接。

此外，三層式網路系統將藉由一個服務管理協作系統，透過人工智慧和機器學習技術的輔助，實現從設備、邊緣到雲端一連貫的全自動化網路的協調、維運及修復能力；此外，亦有配載管理整體內部的安全隱私機制。

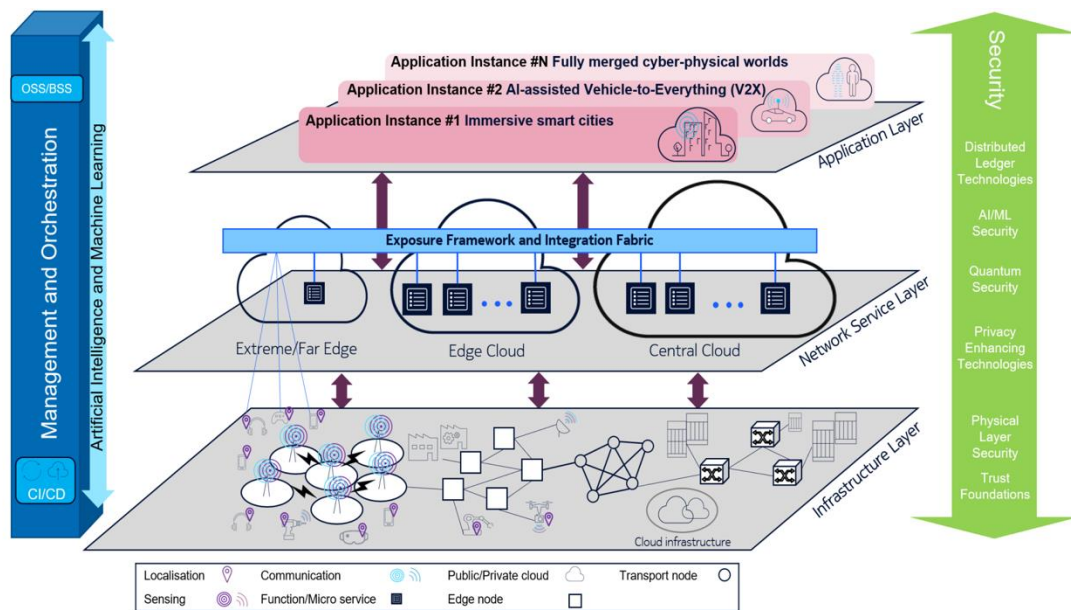


圖 2- 20、6G 終端到終端系統架構示意圖

資料來源：Hexa-x 之 WP1 – Deliverable D1.3 報告

● 目標二：可實現 6G 之無線電通訊性能

6G 超高頻無線通訊將支援超高速超大容量的傳輸速率及具備透視感知功能，該計畫藉由以下兩個工作項目實現 6G 通訊的極致效能。

(1) 先進無線接取技術

為支援 6G 超高速率、超大容量的傳輸效能，將透過波形調變、波束成行設計、分散式大規模多輸入多輸出 (distributed large MIMO) 及射頻調整模組化等技術開發，精準調控無線電波束傳遞方向，有效改善高頻波易受遮蔽傳播性較差的物理特性，同時達到減少耗能，並解決基地臺設置和其他硬體設備上的限制

(2) 高解析度定位與感測功能

為支援超精準 6D 定位，以無縫連結實體和數位世界，將首先透過對相關應用項目之評估，辨識出達到精準至公分的定位功能所必要之技術效能條件，進而訂定定位與感測方法之協定流程，並兼顧干擾管理控制和覆蓋效能之優化，最後將定位感測融合通訊功能進行新型應用之開發。

● 目標三：實現 6G 之智慧連結

將人工智慧、機器學習與數據演算分析技術導入網路組織管理資源分配和空中介面（air interface）之運作，藉由打造人工智慧原生通訊網路（AI-native network），達到網路系統最優化及部署自動化的效能，並得兼顧資料隱私安全。

（1） 提升空中介面效能並導入分散式人工智慧之通訊系統開發

開發人工智慧驅動之空中介面，將設計以數據驅動的收發器透過數據蒐集進行演算後自動佈建，使接取設備得於任何環境及設置場景皆可達到最高之效能；又透過在網路端點納入分散式人工智慧，進行資料儲存及演算分析以提升通訊網路的運作效率及維護安全，使通訊系統得以負荷支持 6G 的各種新應用服務。

（2） 開發智慧服務管理協作系統（service management and orchestration）

結合人工智慧、數據演算分析技術實現即時、零人為介入的網路架構服務管理協作系統，可根據不同的服務需求自動生成可支援的網路切片模組；且藉由終端到終端無縫整合管理機制，從終端裝置、邊緣到雲端的進行連動性和協調性的系統管理，並處理專用網路基礎設施資源的共用調配。

● 目標四：實現 6G 之通訊網路架構革新與擴建

導入網路切片技術，透過網路解構具備高靈活性及可獨立運作不相互干擾之特性，開發出可支援多網聚合的智慧網路架構。

（1） 通訊網路架構元件之開發

為納入人工智慧技術並使各樣服務模組之運作流暢，該計畫將首先辨認評估現行通訊網路架構效能之限制，而後在網路架構系統的「智慧性」、「靈活性」和「效率」三大面向投入研究，智慧性係體現在網路功能配置、硬體加速及集中和分散式人工智慧，搭配通訊協定、

設備和網路之編程；靈活性則係指單一網路架構即可支援各種技術之多網聚合型態；效率則是由雲端原生以支援服務類行為導向的無線接取網路與核心網路，得減少網路參數和人為所需介入之程度，降低網路架構的複雜程度和運行成本。

（2） 增進 B5G/6G 通訊網路系統於極端環境及各類應用情境下之效能

藉由超靈活進行異質網路資源之分配布建及基礎設施之共用，使極端環境中亦能有穩定安全且節能的通訊覆蓋；另一方面，透過定義端到端網路技術，就個人、實體和數位之三個世界之間的各種互動模式，經由無線接取技術之整合，建構特殊目的網路功能（special-purpose functionality），打造 6G 之更低延遲、更可靠的數位雙生和人機互動應用。

4. 發展政策與重點措施

（1） 安全性與隱私

6G 世代大量裝置連網、雲端和人工智慧等新技術的融合使用，以及為支援新型應用場景所形成的異質接取網路系統，皆升高安全性及資料隱私暴露的風險，Hexa-x 計畫便提出信任層級（Level of Trust, LoT）評估模型作為計畫執行的關鍵價值指標，其中包含六項子項目，分別為：信任基礎、隱私強化技術、人工智慧與機器學習技術作為驗證和防禦、分散式帳本技術、量子安全和實體層安全，並訂定出各項目的衡量評估原則；此外，該計畫亦對於網路安全性管理機制投入研究，並融合人工智慧及雲端運算技術打造自動化的 6G 終端到終端通訊安全性管理系統。

（2） 頻譜資源運用

為實現 6G 的應用服務，6G 通訊所需使用的無線電頻譜範圍除原本的低頻、中頻和毫米波頻段外，預計將開放低頻 100-300 MHz 到兆赫茲頻段的新頻譜資源供行動通訊使用，Hexa-x 計畫就頻譜管理

方面則著重優化頻譜的使用效率，其於釋出的成果報告中已有若干強化頻譜資源共用和管理機制的範例提出：

- 運用載波聚合（Carrier Aggregation, CA）和分散式/無蜂巢式多輸入多輸出技術之布建，補足高頻段的傳播性能，使可用於行動通訊的所有頻段頻譜資源皆可有效利用。
- 提出網路中的網路（6G Networks in Network）作為頻率干擾控制的解決方案，適用於改善內嵌於車輛、機器人或體內等的子網路和子網路間，以及子網路和廣域網路相互頻率干擾問題。
- 以改善既有使用者接收端對於頻率干擾的敏感度，作為促進頻譜資源共用的努力方向。
- 目前之隔離保護距離多基於服務節點（service nodes）和頻率傳播特性搭配的最差情況，作為模型計算之前提假設。因此，應投入模型和假設設定的改良，使計算結果得以更接近不同服務應用情境下既有服務提供者的運作情況。
- 導入干擾的敏感性分析進行評估，以得出於不同情境下頻譜共用的可能性方案。
- 考量並嘗試尋找對行動通訊的新服務項目而言，與既有使用者進行頻譜共用限制較小的頻段範圍。

（3）永續發展

Hexa-x 計畫將永續性列為技術項目研發執行的關鍵績效指標之一，並提出三大具體之計畫目標，達到降低本身的網路能耗且對減緩全球氣候變遷有所貢獻之願景：

- 以 6G 驅動的產業部門之二氧化碳排放量降低 30%以上。
- 包含能源費用在內的總體持有成本降低 30%以上。
- 網路中每傳輸位元之能源消耗量降低 90%以上。

該計畫就各項目標的執行計畫上，係先劃定使各目標的衡量基準明確化，並且進而提各項措施方法有助於目標的達成。

(二)、6G 潛在頻譜議題研析

1. 高頻段 Sub-THz 現況

在 6G 潛在頻譜 Sub-THz 方面，歐盟無線頻譜政策小組（Radio Spectrum Policy Group, RSPG）做為歐盟執委會頻譜政策的顧問小組，預計在 2025 年便會啟動 6G 相關技術研究²⁸，因此 RSPG 先行在 2023 年完成歐盟 6G 發展路線圖報告。針對 6G 潛在頻段 Sub-THz 頻段進行研析，以及規劃在 100 GHz 以下頻段（Below 100 GHz）提供約 12 GHz 頻寬，鼓勵創新無線應用。然而目前依循 ITU 相關決議，同時既有使用以無線電天文學應用為主，RSPG 尚未制定歐盟立場或明確之頻段整備和研發計畫，定位為歐盟長期發展目標。

2. 中頻段 6-24 GHz 現況

歐盟頻譜政策涉及歐盟執委會、執委會顧問的無線頻譜政策小組及主管機關歐洲郵政和電信管理局（European Conference of Postal and Telecommunications, CEPT）等三方組織，以下將綜整歐盟組織頻譜相關決議。

在 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）議題。首先、歐盟執委會考量包括無線接取系統（Wireless Access System, WAS）與無線電區域網路（Radio Local Area Network, RLAN）之系統裝置數量與數據流量持續成長，目前免執照頻譜資源已不敷使用，故於 2021 年 6 月 30 日公告「5945-6425 MHz 頻段無線接取系統和諧共用之決議」²⁹，並要求各會員國應於 2021 年 12 月 1 日完成 5945-6425 MHz 用於無線接取系統核配公告。本次開放頻率範圍將採不干擾與不保護準則（non-

²⁸ RSPG (2022), Work Programme for 2022 and beyond, https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2022/02/RSPG22-006final-work_programme_2022_and_beyond.pdf

²⁹ European Commission (2021), Commission Implementing Decision (EU), 2021/1067, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021D1067&from=EN>

interference and non-protected basis)，即不應對無線通訊服務為有害干擾，且不得對設備要求免受干擾。歐盟技術規範請參見本計畫第3章第二節規範研析部分；最後無線頻譜政策小組考量³⁰本身的哥白尼衛星星系計畫（Copernicus Imaging Microwave Radiometer, CIMR）使用 6425-7250 MHz，並且歐盟境內多使用 6425-7075 MHz 於長距離後傳網路使用。所以歐盟持續進行和諧共存研析，並預計歐洲郵政和電信管理局在 2022 年底提出歐盟 WRC-23 意見書。

目前歐盟無線頻譜政策小組正進行歐盟立場之 WRC-23 大會意見書公開諮詢³¹，根據諮詢文件內容 RSPG 認為 6425-7125 MHz 頻段具與 3400-3800 MHz 有相似電波傳輸特性。在干擾評估方面，初步認為與固定衛星服務存在和諧共存可行性，然而與固定服務之間則需從中期頻譜整備規劃來協調共存。另外即使 6425-7125 MHz 頻段新增 IMT 使用註記，歐盟仍保有政策調整的自主權，將因應 IMT、WiFi 頻譜需求及和諧共存技術選項等因素，選擇對歐盟最有利益的頻譜規劃。

6425-7125 MHz 頻段初步研擬兩種立場，首先是建議歐盟會員國在 6425-7125 MHz 頻段增加供 IMT 使用註記，其二則是不新增供 IMT 使用註記，最終仍依諮詢結果而定。

至於 10-10.5 GHz 頻段則是與 3300-3400 MHz 相似，皆用於軍方雷達使用，並且相鄰之 10.6-10.7 GHz 也用於哥白尼衛星計畫，此外歐洲在 10-10.4 GHz 頻段即將規劃給合成孔徑衛星使用，最後則是仍需考慮軍艦、軍機上的軍事雷達。所以 RSPG 反對將 10-10.5 GHz 用於 IMT 使用。

（三）、電信業者 26/28 GHz 頻段商業化動態觀測

歐盟執委會下轄之無線頻譜政策小組(RSPG)建議，在 26/28 GHz 頻段（24.25-27.5 GHz）釋出約 1GHz 頻寬提供超高容量（ultra-high

³⁰ RSPG (2021), Interim Opinion on WRC-23, https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/06/RSPG21-031final_RSPG_interim_opinion_WRC23.pdf

³¹ RSPG(2022), Public Consultation on the Draft RSPG Opinion on ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2022/06/RSPG22-014final-Draft_RSPG_Opinion_WRC23.pdf

capacity) 創新服務，促使新商業模式和經濟部門可受益於 5G 技術。然而歐盟會員國釋出情況不如 3.6 GHz、700MHz 頻段。

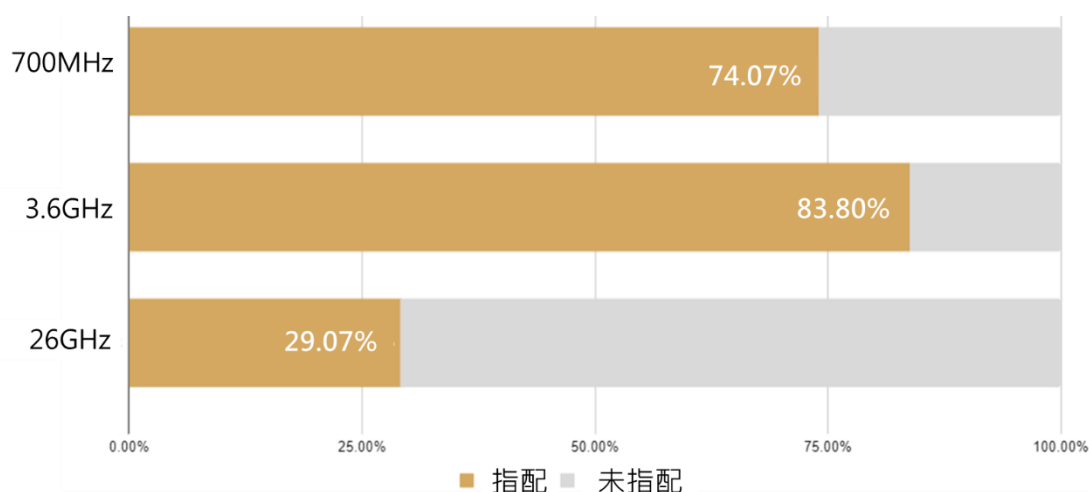


圖 2- 21、2022 年 10 月歐盟會員國在 5G 先期頻段釋出統計概況
資料來源：5G Observatory 之 European 5G scoreboard 報告³²

由於歐盟各會員國在 26 GHz 頻段釋出情況落差大，因此電信業者商用化案例不多，仍以試驗案例為主。其中法國 Orange 電信業者長期與法國鐵路公司、諾基亞合作進行 26 GHz 頻段試驗³³。試驗包含資料傳輸穩定性、高速資料下載及 AR 遠端輔助系統等，同時期望透過試驗案例結合電信業者、新創企業等利害關係人共同建構新商業生態系；另外 Orange 則與雷恩大學醫院、AMA、b<>com、諾基亞和菲利浦進行 5G-TOURS 實驗³⁴，進行智慧醫療相關研究（包含連網救護車、遠距看診、高解析度影像即時傳輸、微距手術影像應用等）。

³² 5G Observatory (2022), European 5G scoreboard, <https://5gobservatory.eu/observatory-overview/eu-scoreboard/>

³³ Orange(2021), 5G Explores 26 GHz Band, <https://hellofuture.orange.com/en/5g-explores-26-ghz-band/>

³⁴ Orange(2022), Introducing 5G into the Operating Theater, <https://hellofuture.orange.com/en/introducing-5g-into-the-operating-theater/>

二、 英國

(一)、6G 願景與發展策略觀測

英國政府並未針對 6G 技術提出國家級願景與發展策略政策，而是從國家整體基礎設施立場進行探討。而英國數位文化媒體暨體育部（Department of Digital, Culture, Media and Sport, DCMS）展望英國未來十年無線基礎設施發展願景，於 2021 年 10 月 14 日開始公眾意見諮詢³⁵，希望匯集產學研各界意見作為政府國家整體無線基礎建設政策之依據。針對政府如何支持包括 6G 在內的未來無線網路發展和布建尋求各界意見，進而引入新政策框架以鼓勵對 5G 和未來網路（包括 6G）的創新、競爭和投資，但是未公告最終政策或願景文件。

英國通訊管理局（Office of Communications, Ofcom）基於自身職權，持續關注技術如何形塑未來通訊，盤點未來值得重視之技術³⁶。報告最終包含行動和無線技術、固定與光學技術、廣播和媒體技術與衛星技術等四種與通訊相關之技術類別，納入未來政府研擬政策考量之技術因素。另外因應未來 2020 十年之間技術變化，Ofcom 擬定頻譜政策之三大原則³⁷，分別為支持無線創新（Supporting Wireless Innovation）、適合區域和全國服務的執照制度（Licensing to fit local and national services）、促進頻譜共享（Promoting Spectrum Sharing）等。基於上述趨勢盤點與政策原則確立之成果，Ofcom 進一步因應 DCMS 需求，進行行動市場現況研析，以及未來頻譜需求研究計畫，研擬至 2035 年英國頻譜長遠政策計畫。其中 6G 相關工作項目仍多為原則性立場、獨立分散項目。具體包含積極參加 ITU 會議並協助撰寫 IMT-2030 願景；持續關注新興頻譜需求，特別是產業界關注的 6-

³⁵ GOV.UK (2021), Wireless Infrastructure Strategy: call for evidence, <https://www.gov.uk/government/consultations/wireless-infrastructure-strategy-call-for-evidence#full-publication-update-history>

³⁶ Ofcom (2021), Technology Futures – spotlight on the technologies shaping communications for the future, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/emerging-technologies?showall=1>

³⁷ Ofcom (2021), Statement: Supporting the UK's wireless future – Our spectrum management strategy for the 2020s, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/supporting-uk-wireless-future>

20 GHz 頻段，並在 WRC-23、WRC-27 大會積極表達英國立場；此外探討固定服務使用之頻率，以因應未來 5G/6G、衛星與新興無線應用可能的頻譜和諧共存議題；另外也預先研擬頻譜沙盒（Spectrum Sandboxes）制度，協助建立良好 6G、兆赫茲（THz）試驗環境。

（二）、6G 潛在頻譜議題研析

1. 高頻段 Sub-THz 現況

在 6G 頻譜規劃³⁸方面，Ofcom 認為中、低頻段與毫米波頻段仍然是 6G 技術關鍵頻譜資源，然而中低頻段有限，因此如何制定新頻譜管理制度成為未來政策重點。2022 年 5 月 9 日，Ofcom 諮詢毫米波 24.25-27.5 GHz 與 40.5-43.5 GHz 頻段供行動通訊使用³⁹，希望藉由此頻段更高容量與速度使全國民眾受惠，尤其是在高密度都會區，目前主要構想用於 5G 行動通訊，不排除未來 6G 使用或開放更多毫米波頻段。

至於高頻段 Sub-THz 方面，首先在 2021 年 12 月 2 日發布釋放兆赫茲（THz）潛力之討論文件⁴⁰，內容提及 Ofcom 認為未來 THz 頻段潛在應用包括：(1)更高訊務量與低延遲的通訊應用；(2)工業與醫療檢測的遙感應用；(3)精準定位與高解析度 3D 成像應用（自動駕駛、機器人）；(4)既有應用之延伸（短程雷達、太空科學），而隨著科技演進，長期而言將有一套系統整合以上應用，Ofcom 認為在未來十年 6G 行動技術將成整合焦點，亦即對行動網路業者來說，6G 不只意謂更快、更好的傳輸服務，可能還需結合遙感、精準定位與高解析度 3D 成像等技術。

³⁸ Ofcom (2022), Spectrum Roadmap: Delivering Ofcom's Spectrum Management Strategy, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/delivering-ofcoms-spectrum-management-strategy>

³⁹ Ofcom (2022), Consultation: Enabling mmWave spectrum for new uses <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/mmwave-spectrum-for-new-uses>

⁴⁰ Ofcom (2021), Unlocking the potential of Terahertz radio spectrum, https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0032/228929/terahertz-spectrum-paper.pdf

後續 Ofcom 認為 6G 時代 100 GHz-3T Hz 頻段將是關鍵新興頻譜，2020 年 10 月 1 日決議釋出超高頻 100-200 GHz 頻段⁴¹：(1)116-122 GHz；(2)174.8-182 GHz；(3)185-190 GHz 三個頻段，共計 18.2 GHz 頻寬，並採簡化與輕度執照方式供鼓勵創新應用發展。Ofcom 認為這些頻段技術研發仍在非常初始階段，並且相關應用仍未出現，為避免目前短期頻率規劃反而成為未來中長期頻譜政策的阻礙，將採取輕度執照、開放頻譜共享等方式鼓勵探索性創新應用。



圖 2- 22、THz 頻譜潛在應用

資料來源：Ofcom 之 Unlocking the potential of Terahertz radio spectrum 報告

2. 中頻段 6-24 GHz 現況

至於 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）議題，Ofcom 先於 2020 年 7 月 24 日公告決議⁴²，將 6 GHz 頻段下半段（5925-6425 MHz）提供 Wi-Fi 與其他無線技術之室內（功率 250 mW）或超低功率（25 mW）設

⁴¹ Ofcom (2020), Statement: Supporting innovation in the 100-200 GHz range, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/supporting-innovation-100-200-ghz>

⁴² Ofcom (2020), Statement: Improving spectrum access for Wi-Fi – Spectrum use in the 5 GHz and 6 GHz bands, https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0036/198927/6ghz-statement.pdf

備戶外免執照使用；後續 Ofcom 於 2022 年 6 月 24 日為籌備 2023 年世界無線電通信大會（WRC-23）徵詢意見⁴³，本次大會將會決議第一區域（歐洲、非洲及中東）6425-7025 MHz 與全球 7025-7125 MHz 之 6 GHz 頻段上半段是否供 IMT 使用。

但在 WRC-23 之前，Ofcom 認為未來 6 GHz 頻譜上半段可能供免執照 Wi-Fi 或行動通訊使用，考量國際間針對 6 GHz 頻段整備規劃尚未確立，並且頻譜正式釋出至商用化階段仍需耗費許多時間，在此期間頻段可進行更有效的應用，因此針對 6 GHz 頻段上半段部分（6425-7070 MHz）先進行公眾諮詢，規劃新增為 Ofcom 共享接取執照框架之適用頻段⁴⁴，此共享接取執照可用於中心點半徑 50m 範圍內的整個頻段，不同執照使用者間至少需間隔 100 公尺以避免干擾風險，僅限室內低功率使用，最大功率限制為 250mW EIRP，年費為 320 英鎊並無執照期限，預計主要供工業、商用與研究單位使用，如機器人、傳感器、擴增實境、健康監控及專網，同時 Ofcom 基於頻譜管理目標，為因應未來 6 GHz 頻段最新使用規劃，具有撤銷執照的權利。

此共享框架目前適用於 6425-7070 MHz，Ofcom 需要更多時間評估對 7070-7125 MHz 既有使用者之影響，包括地球探測衛星服務（Earth Exploration Satellite Services, EESS）與供外景節目製作及特定活動（Programme Making and Special Events, PMSE）轉播之傳輸頻率，故此段頻段目前不開放共享接取執照。

⁴³ Ofcom (2022), Call for input: UK preparations for the World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23), <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/call-for-input-uk-preparations-for-wrc23>

⁴⁴ Ofcom (2022), Consultation: Enabling spectrum sharing in the upper 6 GHz band, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/spectrum-sharing-upper-6-ghz-band>

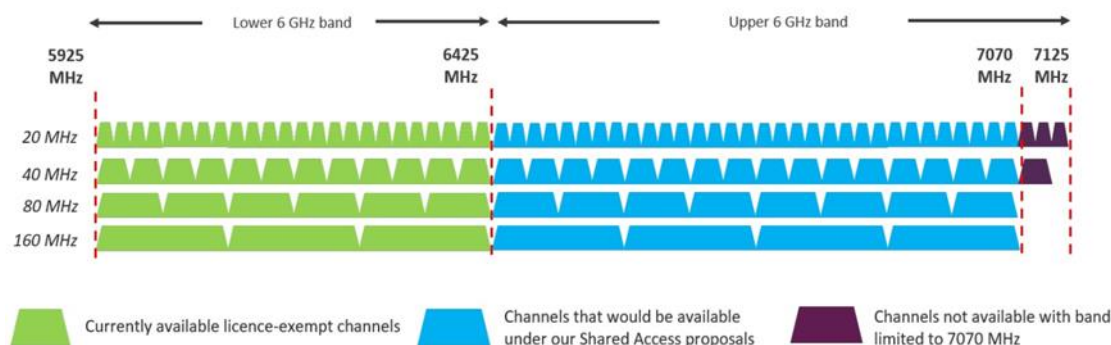


圖 2- 23、英國 6425-7070MHz 規劃與 WiFi 頻道相容示意圖

資料來源：Ofcom 決議

Ofcom 開放 6 GHz 上半頻段共享接取執照除了能立即使工業、商用與研究單位受益，另一項原因為設備兼容性優點，共享接取執照所需設備技術標準將與 Wi-Fi 設備類似，隨著越來越多國家開放 6 GHz 頻段供 Wi-Fi 使用，相關低功率設備與元件，如 Wi-Fi 路由器、芯片與終端設備已大量生產，開放 6 GHz 上半頻段共享接取執照將使申請者獲得相對較便宜的設備，並且若未來開放頻段供 Wi-Fi 使用，相近的技術設備將使共享接取執照與 Wi-Fi 共存性高，干擾風險低。

然而根據 Ofcom 於 2022 年 6 月 30 日的最新決議⁴⁵，因諮詢回饋多數為反對意見、且缺乏充足支持證據，以及 6 GHz 以上頻段需要更廣泛討論，因此停止原本規劃內容。後續 Ofcom 表明將持續進行更多頻率研析。

Ofcom 另外於 2022 年 6 月 24 日進行英國 WRC-23 大會議題意見書公眾諮詢⁴⁶，文件提供最新英國 IMT 頻譜立場。首先在 6425-7125 MHz 頻段，Ofcom 立場較為保守，對於釋出作為 IMT 服務存有許多疑慮，基本理由為在 IMT 電臺高功率發射的情況下，認為不太可能與固定衛星達到和諧共存，同時仍有其他既有使用者存在；而且並非

⁴⁵ Ofcom (2022), Statement: An update on our sharing proposals for the upper 6 GHz band, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/spectrum-sharing-upper-6-ghz-band>

⁴⁶ Ofcom(2022), Call for input: UK preparations for the World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23), https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0025/239407/WRC-23_Call_for_Input.pdf

為 3GPP 認可之頻段；Ofcom 認為電信業者採取密集布建基地臺的策略，則現行已釋出和規劃釋出之頻譜資源已足夠；最後則是 6425-7025 MHz 頻段僅為第一區討論議題，7025-7125 MHz 則為全球共通討論頻段。因此 6425-7025 MHz 頻段產生的規模經濟有限，而國際上有其他釋出供 WiFi 使用。總結而言，Ofcom 仍觀察 ITU-R 的研究成果，探討高功率 IMT 服務是否可以與既有服務達成和諧共存之目標。

至於 10-10.5 GHz 頻段，英國立場與歐盟相同。首先頻段用於地球探索衛星使用（EESS），也供軍方雷達使用。所以 Ofcom 認為會對全球地球探索衛星、軍艦與軍機的軍事雷達造成干擾影響，反對將 10-10.5 GHz 頻段用於 IMT 服務，

(三)、26/28 GHz 頻段商業化動態觀測

英國 26 GHz 頻段（24.25-26.5 GHz）作為「共享接取（shared access）」執照適用頻段，並限制低功率室內使用。Ofcom 目的為透過釋出 26 GHz 與共享接取執照方式鼓勵創新應用發展。因此英國 26 GHz 目前並未用於行動通訊應用。

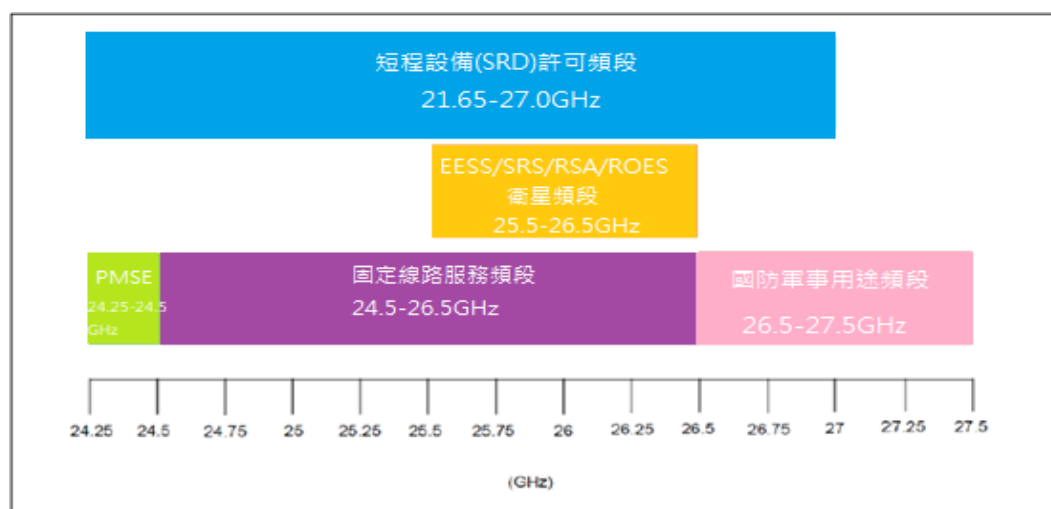


圖 2-24、英國毫米波頻段分配圖

資料來源：Ofcom 報告⁴⁷

⁴⁷ Ofcom(2017), 5G spectrum access at 26 GHz and update on bands above 30 GHz, https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0014/104702/5G-spectrum-access-at-26-GHz.pdf

但根據最新資料，2022 年 5 月 9 日 Ofcom 啟動為新應用提供毫米波頻段公眾諮詢⁴⁸，規劃將 26 GHz 頻段釋出作供包含 5G 在內的無線技術使用。其中 24.25-25.1 GHz 的 850 MHz 頻段仍維持既有低功率、室內的共享接取執照規範。而 25.1-26.5 GHz 的 2.4 GHz 頻寬採拍賣方式釋出，限定於城市區域內使用。

最後由於英國並未釋出 26 GHz 為 IMT 頻段，因此並無電信業者商用化案例。

⁴⁸ Ofcom(2017), Consultation: Enabling mmWave spectrum for new uses, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/mmwave-spectrum-for-new-uses>

三、 美國

(一)、6G 願景與發展策略觀測

美國聯邦政府雖然尚未正式提出國家級別的 6G 發展戰略規劃，但針對業界關鍵技術缺口，進行前瞻研發與人才培育、促進先進無線技術的開放和安全，以及分散多樣化供應鏈等方面都有相當明確政策，例如：為研究和開發籌資，提供測試平臺，以及激勵供應鏈的多元化。此外，知名公共政策智庫及相關產業技術組織亦積極地出謀獻策，為美國再次引領全球新一代通訊技術領域發展奠定基礎。

在今年 2022 NTIA Spectrum Policy Symposium 會議⁴⁹，與會之 NTIA、FCC 等政府單位及顧問公司共同關注未來美國頻譜供應議題，部分單位呼籲制定 6G 相關頻譜與發展政策。在尚未正式公告 6G 政策之前，目前仍由學研機構、產業組織聯盟推動美國 6G 相關技術發展。本計畫彙整 6G 相關政策文件反映美國制度概況，以下彙整美國重要計畫與政策：

- 2018 年 2 月，美國國家標準與技術研究院在「未來世代無線通訊研發技術缺口」報告中指出，未來網路將利用到兆赫茲頻段（THz 泛指頻率範圍 300 GHz 至 3,000 GHz），同時強調了大規模陣列天線、頻譜共享、網路架構、效能預測及機器學習等項目的重要性⁵⁰。
- 2018 年 5 月，美國國防高等研究計畫署⁵¹啟動「聯合大學微電子計畫」，同時設立了為發展兆赫茲頻段感測器與通訊系統的「兆赫茲通信與感測中心」⁵²。

⁴⁹ NTIA (2022), 2022 NTIA Spectrum Policy Symposium, <https://www.ntia.gov/other-publication/2022/2022-ntia-spectrum-policy-symposium>

⁵⁰ U.S. NIST (2018), Future Generation Wireless Research and Development Gaps (NIST SP 1219), <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1219>

⁵¹ 美國國防部高級研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency，DARPA）向來扮演著美國推動國防科技研發突破的推手。其成果涵蓋從軍事科技如匿蹤科技、精準武器等到民用的網際網路、語音辨識、自動翻譯、全球定位系統等。DARPA 透過與美國國內的其他聯邦機構、學術界、產業界合作，打造研發生態環境，補助產學研界各類研究專題計畫。詳請參閱網站 <https://portal.stpi.narl.org.tw/index?p=article&id=4b1141427395c699017395c756b31fd8>

⁵² IEEE Spectrum (2018), It's Never Too Early to Think About 6G, <https://spectrum.ieee.org/its-never-too-early-to-think-about-6g>

- 2018 年 12 月，美國戰略暨國際研究中心⁵³發布「5G 技術將重塑創新與安全環境⁵⁴」報告，將 5G 定義為新軍事能力的基礎技術。
- 2019 年 3 月，美國聯邦通信委員會經投票決定，正式開放兆赫茲頻段的 95 GHz 至 3 THz 頻率範圍，提供 6G 技術試驗。
- 2019 年 4 月，美國國防創新委員會⁵⁵發布「5G 生態系統：對美國國防部的風險與機遇⁵⁶」，全面分析美國國防部發展 5G 技術的重點問題和安全挑戰。
- 2020 年 8 月，美國國防部宣布將為五個軍事基地的 5G 實驗提供 6 億美元資金，內容包括無人機、機器人與生物識別技術應用、虛擬實境作戰訓練，以及共享頻譜利用等。
- 2021 年 12 月，新美國安全中心⁵⁷繼 2019 年「保護我們的 5G 未來：美國政策的競爭挑戰與考量因素⁵⁸」等系列撰文後，發布「邊緣網路，核心策略：保障美國的 6G 未來」報告⁵⁹，並從加強美國的 6G 競爭力、開展與盟友與商業夥伴的合作，以及確保 6G 網路

⁵³ 美國戰略暨國際研究中心（Center for Strategic and International Studies, CSIS）前身是戰略研究中心（Center for Strategic Studies），於 1962 年創立。該機構致力於尋求美國國家生存及追求人民繁榮發展的目標，其創立宗旨有二：一是以豐富公開的研究內容，創造政府、國會及公司、非營利機構、媒體間之共識，並透過邀訪與研討，強化與他國領導人之政策溝通、進而達成合作。二是為美國培養處理國際事務的決策階層，協助提供、制定有利於美國在國際社群中發揮領導作用的全球政策。

⁵⁴ CSIS (2018), How 5G Will Shape Innovation and Security, <https://www.csis.org/analysis/how-5g-will-shape-innovation-and-security>

⁵⁵ 美國國防創新委員會（Defense Innovation Board, DIB）於 2016 年根據「聯邦諮詢委員會法（Federal Advisory Committee Act, FACA）」成立，就國防部（Department of Defense, DoD）應採用的新興技術和創新方法向國防部長等相關人士提供簡潔、可操作的獨立建議，以確保美國在技術和軍事上的關鍵優勢與主導地位。該委員會重點關注於人工智慧、軟體、資料及數位現代化（Digital Modernization）等領域。迄今為止，該委員會所提出的多項建議已被用於為國防部的領導戰略和行動，以及為國會立法提供訊息支持。詳請參閱網站

<https://innovation.defense.gov/About/>

⁵⁶ DIB (2019), The 5G Ecosystem: Risks & Opportunities for DoD, https://innovation.defense.gov/Portals/63/Templates/Updated%20Meeting%20Documents/5G%20UNC LASS%20PAPER_190404_FINAL.pdf

⁵⁷ 新美國安全中心（Center for a New American Security, CNAS）設立於 2007 年。CNAS 專門研究美國的國家安全問題，使命是「制定強有力、務實和有原則的國家安全和防衛政策，促進和保護美國的利益和價值觀」。近年來已成為影響美國公共政策決策圈的跨黨派重要智庫。

⁵⁸ CNAS (2019), Secu Our 5G Future: The Competitive Challenge and Considerations for U.S. Policy, <https://www.cnas.org/publications/reports/secu-our-5g-future>

⁵⁹ CNAS (2021), Edge Networks, Core Policy: Secu America's 6G Future, <https://www.cnas.org/publications/reports/edge-networks-core-policy>

的安全性等三大面向，對聯邦政府應該採取的措施提出相關建言。

- 2022 年 2 月，美國發布新版「關鍵和新興技術清單」，包括先進通訊、人工智慧、量子運算等均在 20 項新興技術之列⁶⁰。
- 2022 年 2 月，美國專利商標局發布「企業研發 5G 技術專利活動」報告⁶¹，分析總結出 5G 創新方面美國仍具高度競爭力的肯定⁶²。同年 4 月在歐洲專利局與歐洲投資銀行聯合研究「智慧聯網技術的深度技術創新」報告中也獲得了類似的結論⁶³。
- 2022 年 3 月，美國國土安全部科學與技術局發布「5G：電信視野與國土安全」報告⁶⁴，以當前 5G 技術洞悉未來 5G Advanced 及 6G 發展，並以「機會」、「風險」及「不確定性」三個面向，說明通訊科技帶給國家及利益相關者造成的影響。
- 2022 年 7 月，由北美電信產業組織主導成立的 Next G 聯盟發布「6G 技術」報告，係繼同年「6G 路線圖」、「6G 應用案例」後，對各類潛在 6G 候選技術進行說明，以有效聚焦研發資源。

1. 積極分配基礎科研經費於先進無線通信技術研發

在美國多元化的科學研究支持體系當中，國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）與國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA）、國立衛生研究院（National Institutes of Health, NIH）、國防部（Department of Defense, DOD）及能源部（Department of Energy, DOE）均為主要的基礎科研經費補助機構。

⁶⁰ U.S. White House (2022), Technologies for American Innovation and National Security, <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2022/02/07/technologies-for-american-innovation-and-national-security/>

⁶¹ USPTO (2022), New USPTO study finds no one company dominating 5G, <https://www.uspto.gov/about-us/news-updates/new-uspto-study-finds-no-one-company-dominating-5g>

⁶² 經濟部智慧財產局 (2022), USPTO 新報告：全球尚無主導 5G 技術的創新者, <https://www.tipo.gov.tw/tw/cp-337-903661-fb660-1.html>

⁶³ 經濟部智慧財產局 (2022), 歐洲中小型深度技術(deep tech)企業在創新上落後美國, <https://www.tipo.gov.tw/tw/cp-90-910445-188b0-1.html>

⁶⁴ U.S. DHS S&T (2022), 5G: The Telecommunications Horizon and Homeland Security, <https://www.dhs.gov/science-and-technology/publication/5g-telecommunications-horizon-and-homeland-security>

NSF 每年在無線技術研發上的支出超過 5,000 萬美元，近年投入在推動超越當前和下一代之先進無線通信技術研究進展、具彈性與智慧的下一代系統（Next G）等相關重點項目整理如下⁶⁵。

(1) PAWR 先進無線研究平臺

NSF 前於 2017 年啟動「先進無線技術研發倡議（Advanced Wireless Research Initiative, AWRI）」計畫，目標為實現對先進無線設備、通信技術、網路、系統和創新服務之實驗研究與開發，加速無線技術商業化腳步，進而鞏固美國於科技及經濟的全球領導地位。

該計畫以城市級別的規模、陸續建立了數個大型 5G 測試平臺，讓企業、政府機構以及學術研究機構能進行下一代行動通訊技術與服務的開發。相關工作由 NSF 主導、產業聯盟合作參與之先進無線研究平臺（Platform for Advanced Wireless Research, PAWR）專案負責執行。



圖 2- 25、NSF 主導之先進無線研究平臺

資料來源：NSF 網站

⁶⁵ U.S. NSF, Advanced Wireless Research at NSF, <https://www.nsf.gov/cise/advancedwireless/> (最後瀏覽時間，2022 年 7 月 4 日)

在 PAWR 五年 8,500 萬美元預算當中，NSF 提供 5,000 萬美元，其餘 3,500 萬美元現金、設備與人力則是由數十家企業合資提供，並由非營利組織 US Ignite 居間協調⁶⁶。NSF 則是透過建立專案辦公室（PAWR Project Office, PPO）對計畫進行監督管理，包括制定實驗專案之相關規範，作為學術機構、非營利事業組織或研究機構申請建構相關測試平臺之參據⁶⁷。

(2) RINGS 具彈性與智慧的下一代系統

2021 年 4 月，NSF 宣布將與相關聯邦機構和私營企業共同合作執行「具彈性與智慧的下一代系統（Resilient and Intelligent Next-Generation Systems, RINGS）」計畫，旨在加速對下一代（Next G）網路和電腦系統具有潛在重大影響領域之研究。RINGS 合作夥伴共出資 4,000 萬美元，預計獎助 36~48 個計畫，每項最高可達 100 萬美元，最長為期 3 年，須視資金情況和提案品質而定⁶⁸。RINGS 合作夥伴包括：國防部研究與工程副部長辦公室、國家標準技術研究院（NIST）、Apple、Google、IBM、Intel、Microsoft、Nokia、Qualcomm、VMware 等⁶⁹。

Next G（Next-Generation）系統是現今行動網路、Wi-Fi 和衛星網路的未來版本，預計將連接數 10 億人，徹底改變用戶設備和雲端服務之間的關係。新系統將實現增強的數據流、通訊、分析和自動化。此項計畫將有助於提高 Next G 系統的安全性、適應性、自主性和可靠性，為教育、交通、公共衛生和安全、國防和相關關鍵基礎設施等

⁶⁶ EE Times Taiwan (2016), 結合各方資源，美國 5G 研發起跑,

<https://www.eettaiwan.com/20160720nt02-5g-research-us/>

⁶⁷ U.S. NSF, Platforms for Advanced Wireless Research (PAWR): Establishing the PAWR Project Office (PPO), https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=505316 (最後瀏覽時間，2022 年 7 月 4 日)

⁶⁸ U.S. NSF (2021), NSF-led, multi-sector partnership will support research that leads to superior communication networks and systems, 網址 https://www.nsf.gov/news/special_reports/announcements/042721.jsp

⁶⁹ U.S. NSF, S-Program Solicitation, 網址 <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21581/nsf21581.htm> (最後瀏覽時間，2022 年 7 月 4 日)

社會優先事項提供關鍵支援。

2022 年 4 月，NSF 自 200 多份申請中通過 37 個研發項目，合計提供 4,350 萬美元的資助⁷⁰。

(3)SII-Center 頻譜創新倡議：國家無線頻譜研究中心

NSF 提出頻譜創新倡議之目的為尋求技術研發和解決方案的創新性進展，妥善應對電磁頻譜資源緊張和頻譜安全方面的相關挑戰。2020 年 3 月，NSF 發布「頻譜創新倡議：國家無線頻譜研究中心（Spectrum Innovation Initiative: National Center for Wireless Spectrum Research, SII-Center）專案指引，預計提供 3,000 萬美元補助 13 至 16 個專案。2020 財政年度將補助大約 12 至 15 個 1 年期規劃類專案，每個專案最多獲得 30 萬美元補助，重點發展潛在合作夥伴之間的網路和協作，以進行針對頻譜相關開放性問題的研究；2021 財政年度補助 1 個專案，為期 5 年，每年最多可獲 500 萬美元補助，將利用各利益相關方之間的合作夥伴關係，以構建一個基於中心的大型頻譜研究生態系統⁷¹。

2020 年 11 月，由 4 所已獲得首年規劃專案的學術團隊，經整合並以聖母大學（University of Notre Dame）為首、合計 29 個學術機構參與的學術聯盟成功申請到 NSF 的 5 年補助計畫⁷²，其將設立名為 SpectrumX 的研究中心，初始研究策略將追求具有干擾量測和改善能力的接收器硬體，先進傳感網路方面的無線電頻譜，收集和共享準確的監管、使用和經濟數據，靈活的使用權，以及分散式、雲端存取的資料庫系統設計，以更有效地使用和管理頻譜。

⁷⁰ U.S. NSF (2022), NSF announces investment in multi-sector partnership to accelerate research in next generation networking and computing systems, https://nsf.gov/news/special_reports/announcements/041822.jsp

⁷¹ U.S. NSF, Spectrum Innovation Initiative: National Center for Wireless Spectrum Research, 網址 <https://beta.nsf.gov/funding/opportunities/spectrum-innovation-initiative-national-center-wireless-spectrum-research-sii> (最後瀏覽時間，2022 年 7 月 4 日)

⁷² University of Notre Dame (2020), SpectrumX – Universities join forces to pursue NSF center opportunity, <https://ee.nd.edu/news/spectrumx-universities-join-forces-to-pursue-nsf-center-opportunity/>

2021 年 1 月，NSF 與 FCC、NTIA 簽署合作協議⁷³，旨在加強機構協調和資源共享，幫助 NSF 及其資助的研究人員在基礎設施、人才和專業知識等方面獲得 NTIA 和 FCC 的支持，進而開展更多更好的頻譜研發和創新，助推 5G 應用和發展。

(4) 基於人工智慧的邊緣運算技術

NSF 於 2021 年 7 月在俄亥俄大學成立了 AI 研究所，也稱為 AI-EDGE NSF (AI 未來邊緣網路和分散式智慧研究所)，以 AI 改進行動系統和網路。該研究所由 DHS 部分資助。該研究所將利用網路和人工智慧之間的協同作用來設計下一代高效、可靠、穩健和安全的無線邊緣網路。將開發新的人工智慧工具和技術，以確保這些網路能夠自我修復和自我優化。反過來，這些網路將旨在釋放協作的力量，幫助解決長期存在的分散式人工智慧挑戰，使人工智慧在智慧交通、遠距醫療、分散式機器人和智慧航太等領域的應用中更加高效、互動和隱私保護。

NSF AI 邊緣計算研究所由杜克大學領導，也稱為 Athena，將專注於開發具有開創性 AI 功能的邊緣計算，同時控制複雜性和成本。該所匯集來自七所大學的科學家、工程師、統計學家、法律學者和心理學家的世界級多學科團隊，將改變未來系統（從行動設備到網路）的設計、營運和服務。該所致力於教育和發展勞動力，培養多元化的下一代邊緣計算和網路領導者，其核心價值觀是由人工智慧的道德和公平驅動。作為邊緣計算社群的樞紐，該研究所將帶頭協作和知識轉移，將新興技術能力轉化為新的商業模式和創業機會。杜克大學的合作機構包括麻省理工學院、耶魯大學、普林斯頓大學、威斯康辛大學、密歇根大學和北卡羅來納州 A&T。該研究所由國土安全部 (DHS) 部分資助。

2. 爭取國際技術標準的未來方向

⁷³ U.S. FCC (2021), FCC Joins Federal Partners In Spectrum Innovation Cooperation Agreement, <https://www.fcc.gov/document/fcc-federal-partners-sign-spectrum-innovation-cooperation-agreement>

於 2020 年 3 月 23 日正式生效的美國「安全 5G 法 (Secure 5G and Beyond Act of 2020)」，要求總統制定戰略，以確保美國 5G 及未來行動通信系統和基礎設施的安全，並協助盟國和戰略夥伴最大限度地提高下一代行動通信系統、基礎設施和軟體的安全性。該項戰略需滿足以下目標：1) 確保美國境內 5G 和未來無線通信系統和基礎設施的安全；2) 在符合美國安全和戰略利益的情況下，協助美國的盟國、戰略夥伴和其他國家，最大限度地保障其 5G 和未來無線通信系統和基礎設施的安全；3) 保護美國公司的競爭力，美國消費者的隱私，無線通信系統和基礎設施相關的標準制定過程的完整性和公正性。

同日，白宮發布「5G 安全國家戰略 (National Strategy To Secure 5G)」⁷⁴。該文件闡明了美國與其合作夥伴和盟友攜手，在全球範圍內領導安全可靠的 5G 通信基礎設施的開發、布建和管理的願景。該文件指出，這項確保 5G 安全的國家戰略將通過以下努力來實現國家網路戰略的目標：1) 促進 5G 在國內的布建；2) 評估 5G 能力和基礎設施的網路安全風險，並確定 5G 能力和基礎設施的核心安全原則；3) 在全球開發和布建 5G 基礎設施期間應對美國經濟和國家安全面臨的風險；4) 促進負責任的全球開發和布建安全可靠的 5G 基礎設施。

基於上述，美國在國際合作方面，已積極展開與日、韓等具有共同價值觀的國家進行聯合研究或籌組技術聯盟。

(二)、6G 潛在頻譜議題研析

1. 開放 Terahertz 實驗頻譜與推動頻段技術研究

在 6G 頻譜資源的提供方面，美國 FCC 於 2019 年 3 月全球首先宣布開放兆赫茲 (Terahertz, THz) 頻段作為 6G 實驗頻譜⁷⁴，同時也於 95 GHz 至 3 THz 頻率範圍之間創建「頻譜視界 (Spectrum Horizons)」

⁷⁴ U.S. FCC, FCC Opens Spectrum Horizons for New Services & Technologies, <https://www.fcc.gov/document/fcc-opens-spectrum-horizons-new-services-technologies-0>

新類別實驗執照⁷⁵，發放 10 年效期、屆滿後不可展延的實驗頻譜許可⁷⁶，以利產學研單位在不產生妨害性干擾的前題下進行兆赫茲相關技術與應用領域研究。FCC 兆赫茲頻譜研究主要內容包括 95-275 GHz 頻段之政府與非政府共享使用、275 GHz-3 THz 電磁干擾、免執照頻譜（包括 116-123 GHz、174.8-182 GHz、185-190 GHz、244-246 GHz，合計 21.2 GHz 頻寬）。

美國在兆赫茲頻段利用技術的研究開展甚早。2018 年 5 月，DARPA 啟動「聯合大學微電子計畫（Joint University Microelectronics Program, JUMP）」，該計畫建立了一個由 DARPA 與業界組成的聯盟，聯盟旨在通過將資源集中在高風險、高回報、長期創新研究，來加速電子技術和電路、子系統及多尺度系統的生產力增長和效能提升，從而解決電子和系統技術方面的現有和新興挑戰。為此，JUMP 專注於 8 至 12 年的長期探索性研究，重點支援 2025 年及以後的感測、驅動、訊號和資訊處理、通訊、計算和儲存解決方案等應用所需之高效能微電子技術基礎研究，並強烈鼓勵大學之間的交互共享、聯合研究，以達到解決研究技術所需的深度和範圍⁷⁷。

為發展兆赫茲頻段感測器與通訊系統所成立的「兆赫茲通信與感測中心（Center for Converged TeraHertz Communications and Sensing, ComSenTer）」，為通過六個領域彼此縱橫貫通所設立的研究中心之一⁷⁸，如下圖所示。ComSenTer 由來自加州大學聖巴巴拉分校、加州大學伯克利分校、紐約大學等共 8 所大學研究人員組成，研究團隊致力於為具有大規模空間複用特性的未來行動網路基礎設施開發連結技術。這些行動連線將具備支援近公分等級的定位精準度、作為 GPS 的

⁷⁵ U.S., FCC 47 CFR Part 15 Subpart I - Spectrum Horizons Experimental Radio Licenses, <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-5/subpart-I>

⁷⁶ U.S., FCC 47 CFR Part 15 Subpart B - Applications and Licenses § 5.71 License period., <https://www.ecfr.gov/current/title-47/part-5/subpart-B>

⁷⁷ SRC (2016), JUMP Research Announcement, <https://www.src.org/compete/s201617/>

⁷⁸ SRC (2017), JUMP - Proposers' Day Workshop (p.22), <https://www.src.org/calendar/e006128/agenda/vandentop-introduction.pdf>

輔助、使用成像技術來定位通訊夥伴的能力。這種智慧沉浸式基礎設施將支援低延遲虛擬現實（VR）、增強現實（AR）和無縫遠距臨場（seamless telepresence），以解決當前自動駕駛技術發展所面臨的通訊、安全、定位導航等方面的技術難題⁷⁹。

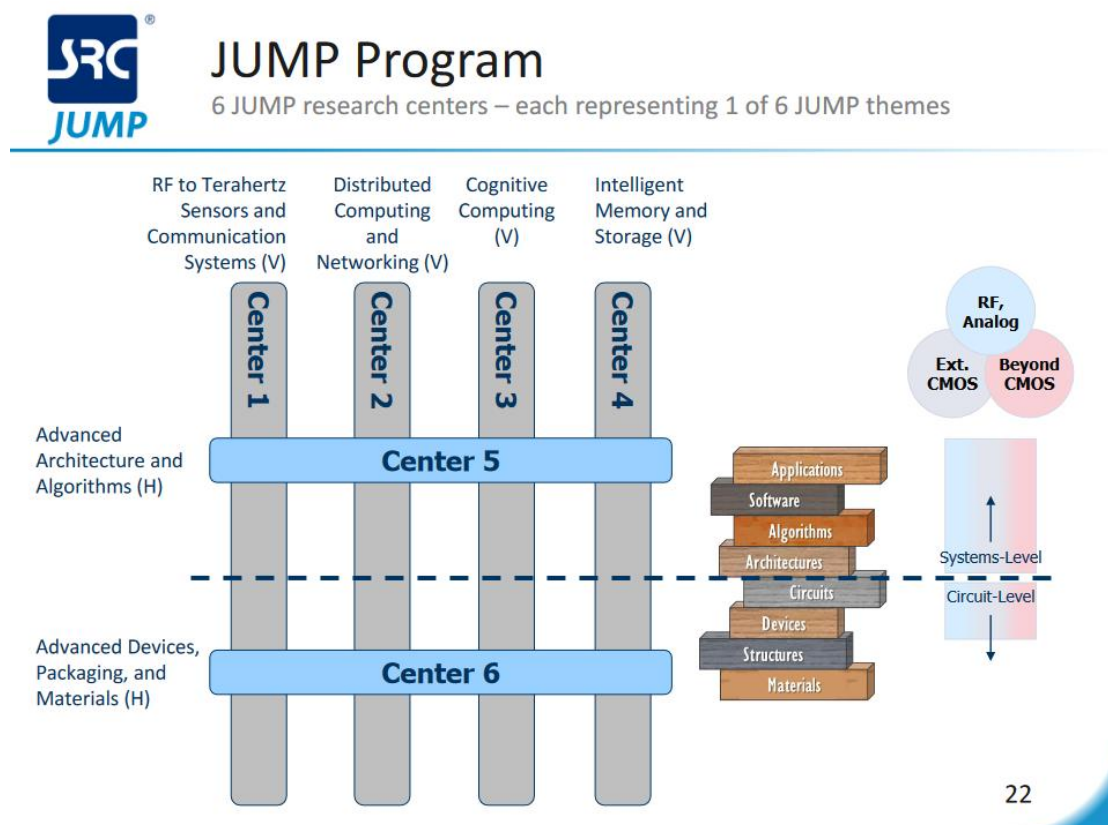


圖 2- 26、兆赫茲頻段通信與感測中心架構圖

資料來源：SRC 網站

目前，美國國內有數十所大學、國家實驗室都齊聚在 JUMP 聯盟從事相關研究工作。研究成果包括飛行器表面隔熱材料兆赫茲成像檢測系統、兆赫茲雷達、安檢系統、環境監測設備等。JUMP 六個研究中心的研究內容都是半導體和國防工業以及國防部系統開發的關鍵技術。然後由非盈利性專業半導體機構組織實施，通過向全美大學公開徵集、擇優資助的方式，由大學承擔具體研究任務。

⁷⁹ SRC, Center for Converged TeraHertz Communications and Sensing, <https://www.src.org/program/jump/comscenter/> (最後瀏覽時間，2022 年 7 月 4 日)

JUMP 計畫由產業界與政府共同出資，由企業主導研究方向，根據業界明確需求開展聯合大學研究專案，能夠比較好地確保所產出的研究成果向企業轉移和產業化。通過這些研究專案的執行也培養出一批批與產業界緊密結合，具有產業實踐經驗的高技能學生，並在幾年後將成為業界的生力軍，將這些新興技術應用到商業解決方案中。

2021 年 12 月，DARPA 宣布 JUMP 延續計畫⁸⁰，即 JUMP 2.0，將著重於「2030 年半導體十年計畫⁸¹」中所述一系列 ICT 挑戰，以及 DARPA「電子復興倡議（Electronics Resurgence Initiative, ERI）2.0」計畫中所述的加速應用創新。為此，JUMP 2.0 專注於 8 至 12 年時間範圍內的探索性研究，預計將會在 2030-2035 年期間帶來國防和商業機會。此外，美國未來 6G 核心技術研究方向還包括：基於人工智慧的頻譜協作與共享、多接取技術、多感測應用、觸覺網路（Tactile Internet）、超高分辨率 3D 全息影像等。

2. 開放 6 GHz 頻段供免執照使用，探討 7-16GHz 頻段

6 GHz 頻段整備政策方面，FCC 於 2020 年 4 月 23 日通過 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）使用規則，允許免執照設備在室內低功率運作情況下，使用 1200 MHz 頻寬，如為標準功率之免執照設備，則可使用 850 MHz 頻寬。為保護該頻段內原既有服務執照業者之使用，將採用自動頻率協調系統（AFC）促使標準功率設備運作於可能導致既有服務干擾之區域。開放 6 GHz 頻段供免執照使用後，將可讓 Wi-Fi 可用頻寬數量提升五倍，且有助於改善偏鄉地區之連網。因應 WRC-23 大會議題，美國支持 6GHz 頻段為免執照行動服務使用。

因應未來 6G 頻譜需求，FCC 主席 Jessica Rosenworcel 在 2022 NTIA Spectrum Policy Symposium 重申整備中頻段資源對於美國領導 6G 技術發展的重要性，個人建議關注 7-16GHz 頻段⁸²。

⁸⁰ SRC (2021), Joint University Microelectronics Program 2.0 (JUMP 2.0) Research Announcement, <https://src.secure-platform.com/a/page/2021-JUMP-2.0-Center-RA>

⁸¹ SRC, The Decadal Plan for Semiconductors, <https://www.src.org/about/decadal-plan/>

⁸² FCC (2022), Chairwoman Rosenworcel at the 2022 NTIA Spectrum Policy Symposium, <https://www.fcc.gov/document/chairwoman-rosenworcel-2022-ntia-spectrum-policy-symposium>

3. 研擬 12GHz 頻段整備計畫

至於 12 GHz 頻段議題，則是始於 FCC 希望提升 12 GHz 頻段（12.2-12.7 GHz）使用效率⁸³。但產生頻譜競爭議題，美國在 12 GHz 頻段指配給以固定通訊服務（Fixed Service）、廣播衛星服務（Broadcasting Satellite Service, BSS）及固定衛星通訊服務（NGSO FSS）三類既有使用者，其中固定通訊服務則是由多通道視訊數據分發服務（Multi-channel Video Distribution and Data Service, MVDDS）業者使用，MVDDS 業者期望修改頻段使用領域與執照規範，使 12 GHz 可用於 5G 技術並結合 O-RAN 發展。但此議題牽涉眾多業者利益，且 12 GHz 頻段並非 ITU、3GPP 等組織規劃之 IMT 頻段，且討論多聚焦於衛星共存議題，12.2-12.7GHz 頻段始終未能做出決議。

雖然 12.2-12.7GHz 頻段尚未作出決議，但 FCC 後續在 2022 年 10 月 28 日公告⁸⁴，尋求針對 12.7GHz 頻段(12.7-13.25GHz)共 550MHz 頻段，用於下世代 6G 技術之意見諮詢。目前美國 12.7-13.25GHz 既有服務為固定（固定微波、廣播輔助、有線電視中繼）、固定衛星與行動服務三類。聯邦政府既有使用者非常少，僅有美國太空總署少數無線電天文電臺在使用。

FCC 諮詢有關此頻段的頻率使用共享方式、措施等建議。針對頻譜共享的潛在方法？既有服務的終止、移頻與成本分攤？對鄰頻的影響？成本與收益？其他可能方法與問題？等面向提出多達 20-30 多項細節問題。（例如：在 12.7GHz 頻段導入 CBRS、AFC 等機制的複雜度與可能性？採用 70/80/90 GHz 頻段非排他、共享執照的可能性？或有其他共享措施方案？是否設立保護既有使用者的保護距離/保護區措施？既有使用者是否移頻？或採用其他方案？或是區域執照？等等）根據文件內容觀察，主管機關 FCC 對於 12.7GHz 頻段整備政策，僅有確認釋出頻段為 12.7-13.25GHz，目前尚缺乏相對明確之方向，預計將歷經

⁸³ FCC (2021), Expanding Flexible Use of the 12.2-12.7 GHz Band, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-21-13A1.pdf>

⁸⁴ FCC (2022), FCC to Examine 12.7 GHz Band for Next-Gen Wireless, <https://www.fcc.gov/document/fcc-examine-127-ghz-band-next-gen-wireless-0>

長期討論程序。

(三)、26/28 GHz 頻段商業化動態觀測

FCC 對於 24 GHz 頻段以上毫米波頻譜，新增高頻微波彈性使用服務執照⁸⁵（Upper Microwave Flexible Use Service, UMFUS），此執照可用於行動、點對多點（Point to Multipoint）服務，即為美國 5G 毫米波頻段執照⁸⁶。其中 28GHz 頻段釋出範圍為 27.5 GHz - 28.35 GHz 頻段，並基於 FCC 劃分之局部經濟區域（Partial Economic Areas, PEAs）地理區域為執照範圍。基於上述執照規劃以及 28 GHz 頻段特性，美國電信業者分區域逐一完成毫米波網路布建提供行動寬頻，並以固定無線接取 FWA 為重點新服務。美國電信業者在 28 GHz 頻段商用趨勢如下：

- AT&T 提供基於毫米波頻段的 5G⁺行動寬頻⁸⁷，提供在全美 40 多個城市的部分地區以及 40 多個體育場和場館。藉此提供更高速率與效能。並開展 FWA 服務，但推動速度相對緩慢。
- Verizon 推出 5G Ultra Wideband⁸⁸，結合毫米波與中頻段頻譜，提供超高速寬頻上網服務，可適用於行動通訊、以及名為 5G Home Internet 之毫米波固定無線接取。
- T-Mobile 在 28 GHz 頻段網路布建仍以都市高密集區域為主⁸⁹，並未規劃使用毫米波頻段於固定接取服務（FWA）。企業重心在運用中頻段及 2.5 GHz 頻段加速全美國 5G 網路覆蓋。

⁸⁵ FCC (2016), Use of spectrum bands above 24GHz : Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-16-89A1.pdf> (last visited: 2019/3/9)

⁸⁶FCC (2016), Use of spectrum bands above 24GHz : Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-16-89A1.pdf> (last visited: 2019/3/9)

⁸⁷ AT&T(2022), AT&T Rolls Out Super-Fast 5G+ Across the U.S., <https://about.att.com/pages/5g-plus.html>

⁸⁸ Verizon(2022), America's most reliable 5G network is going Ultra, <https://www.verizon.com/5g/>

⁸⁹ T-Mobile(2021), The Current State of 5G, <https://www.t-mobile.com/news/network/the-current-state-of-5g>

四、日本

(一)、6G 願景與發展策略觀測

日本積極推動 B5G/6G 技術研發，藉此推動日本社會經濟數位轉型，本文從日本總體推動政策、關鍵技術指標與推動政策措施，由上而下介紹日本 B5G/6G 整體政策脈絡。

總務省 2020 年公告「Beyond 5G 推進戰略 - 6G 路線圖」⁹⁰，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。最終實現日本 2030 年建構兼具包容性（Inclusive）、永續性（Sustainable）、可信賴（Dependable）特性的強韌且充滿活力之社會願景。

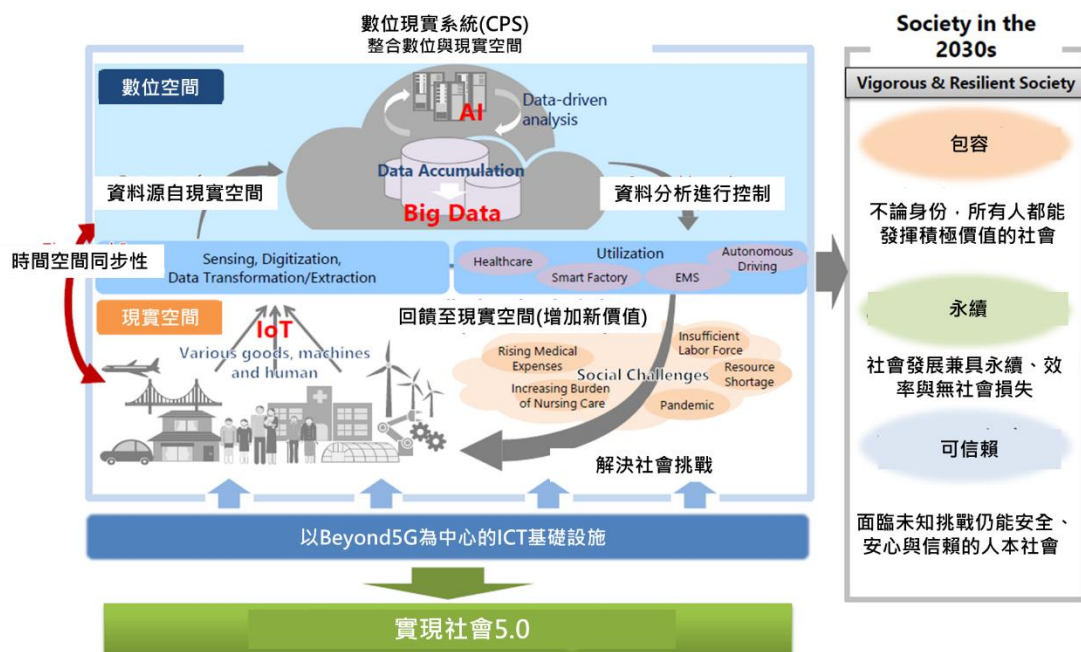


圖 2- 27、日本 2030 年社會願景

資料來源：總務省之 Beyond 5G 推進戰略報告

⁹⁰ 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

總務省在「Beyond 5G 推進戰略 - 6G 路線圖」中研擬多項 Beyond 5G 關鍵技術研發指標，從既有 5G 三大技術情境為基礎進一步延伸。以下簡要介紹其重點項目：包含超高速、大容量之技術 (Ultra Fast and Large Capacity)；超低延遲技術 (Ultra Low Latency)；超大量連結 (Ultra Numerous Connectivity)；超安全性與可信賴的技術 (Ultra security and resiliency)；可延伸擴張性技術 (Scalability)；自動自主性技術 (Autonomy)；超低耗電技術 (Ultra low power consumption)。

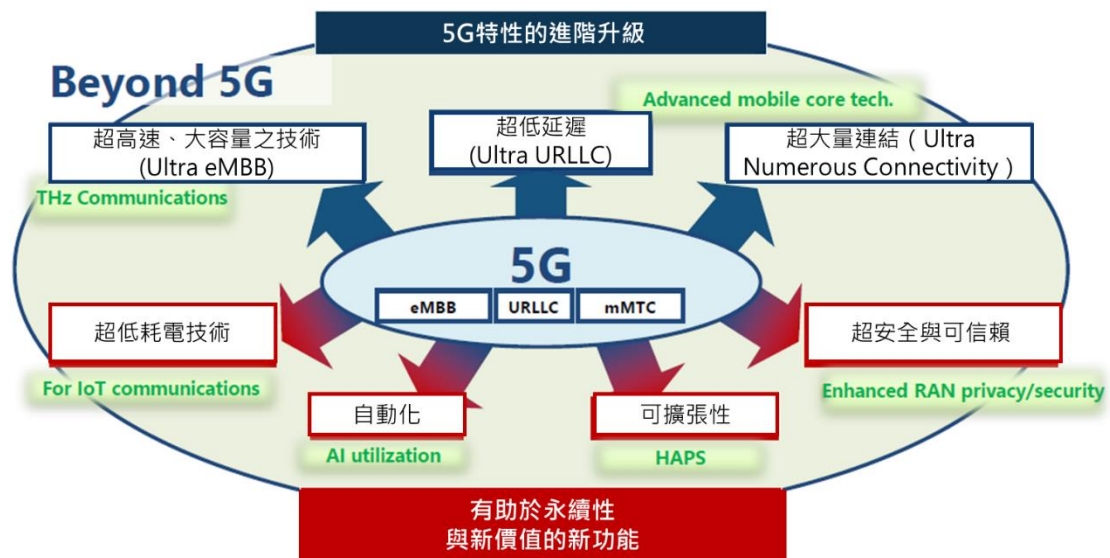


圖 2- 28、日本 Beyond 5G 技術指標

資料來源：總務省之 Beyond 5G 推進戰略報告

總務省 B5G/6G 政策訂定三項發展原則，以實現全球第一、生態系導向創新、資源集中配置等願景；同時規劃透過 R&D 技術、IP&標準化、發展/推廣三大推動支柱 (Three pillars) 與目標。總務省進一步基於上述三大推動支柱策略訂定發展時程表。以 2025 年的關西大阪世界博覽會為關鍵里程碑，期望在 2025 年達成中程目標，並於 2030 年實現日本 Beyond 5G 推動策略願景。

表 2-7、日本 Beyond 5G 推動策略三大支柱與目標

支柱	R&D 策略	IP&標準化策略	發展/推廣策略
目標	世界級研發環境	改變市場競爭規則	準備好發展 B5G 之環境
措施	密集投資先進技術、加速開放頻譜。	策略性開放、穩健發展，與海外策略夥伴合作。	展示 5G 解決方案，在日本全社會布建網路與促進產業/公共應用。
KPI	2025 年開始建立核心技術。	B5G 關鍵專利產出佔比超過 10%。	2030 年產生 44 兆日圓附加價值。

資料來源：總務省之 Beyond 5G 推進戰略報告

2022 年 11 月 8 日總務省公告第二次預算修正計畫⁹¹，在 B5G/6G、量子通訊、AI 等未來通訊技術研發項目，預計投入 722 億日圓。其中 662 億日圓將提供給國立研究開發法人情報通訊研究機構(NICT)，由 NICT 成立常設研發基金，不同於以往有執行期限之研發基金，基金成立目的為推動技術研發、成果導入與技術標準國際化。

(二)、6G 潛在頻譜議題研析

1. 高頻段 Sub-THz 現況

在 6G 潛在頻譜資源規劃方面，總務省積極關注國際最新趨勢。總務省「Beyond 5G 推進戰略 - 6G 路線圖」並未提及具體 6G 頻段，只說明 Beyond 5G 技術將以 Sub-THz、THz 頻段為研究頻段。參考 2021 年版總務省頻率整備行動計畫（周波数再編アクションプラン（令和 3 年度版）⁹²），總務省已將 92-100 GHz、152-164 GHz、287.5-312.5 GHz 頻段作為實驗頻段，並於 2022 年中完成簡化申請制度調整⁹³。

⁹¹ 總務省（2022），令和 4 年度總務省所管第 2 次補正予算（案）の概要，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kanbo04_02000185.html

⁹² 總務省（2021），周波数再編アクションプラン（令和 3 年度版）の公表，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000421.html

⁹³ 總務省（2022），高周波数帯における実験試験局の免許手続の簡素化に向けた規定の整備に係る意見募集，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000429.html

2. 中頻段 6-24 GHz 現況

6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）頻譜規劃，日本分為低頻下半段 5925-6425 MHz、高頻上半段 6425-7125 MHz 兩議題進行探討。目前在上半段 6425-7125 MHz 頻段，ITU 預定在 WRC-23 大會討論，探討 6425-7025 MHz 供第二區 IMT 使用、7025-7125 MHz 供全球各區 IMT 使用之議題，總務省原則支持 ITU-R 進行頻段和諧共存研究，並依據國際共識訂定國內頻譜計畫⁹⁴。同時考量 6425-7125 MHz 有許多既有使用者及各界不同意見，因此尚未做出最終政策結論。

至於下半段 5925-6425 MHz 頻段，總務省已完成與既有廣播系統、固定衛星系統和固定無線系統服務和諧共存技術研析。總務省結論先釋出 5925-6425MHz 頻段供 Wi-Fi 6E 使用，並參考歐盟標準訂定 6 GHz 頻段功率規範，分為超低功率裝置(Very Low Power, VLP)可於室內室外使用、低功率裝置(Low Power Indoor, LPI)限定室內使用⁹⁵。

至於 WRC-23 大會 10.0-10.5 GHz 頻段議題，日本僅表示支持 ITU-R 進行 IMT 和諧共存研究，並未深入說明立場及理由。

(三)、26/28 GHz 頻段商業化動態觀測

日本總務省在 28GHz 頻段，27.0-29.5GHz 頻段供行動通訊業者使用。此外，總務省保留 28.2-29.1GHz 頻段範圍為 Local 5G 使用。具體頻段劃分如下：

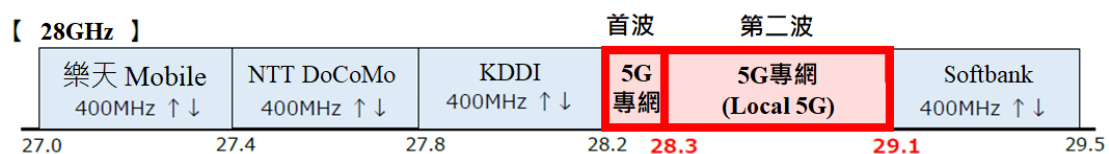


圖 2-29、日本 28 GHz 頻段核配現況

資料來源：總務省；本研究整理

⁹⁴ 總務省（2022），2023 年世界無線通信會議（WRC-23）に向けた我が国の考え方（案）にかかる意見募集，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban10_02000039.html

⁹⁵ 總務省（2022），6GHz 帶無線 LAN の導入に係る制度改正，https://www.soumu.go.jp/main_content/000833321.pdf

電信業者將 28 GHz 頻段用於重點區域網路效能提升，另外則是多用於試驗計畫，以追求更高數據傳輸速率為試驗目標，其中 NTT DoCoMo、KDDI 應用 28GHz 於 6G 關鍵技術之研發。兩家業者皆投入 6G 關鍵技術的可重構智慧表面（RIS）研究，目前部分重點試驗整理如下：

- 2019 至 2021 年 NTT DoCoMo 進行一系列 28 GHz 頻段玻璃天線通訊試驗⁹⁶。
- 2021 年 KDDI 與 DENGYO 合作⁹⁸、JDI⁹⁹開發透明可重構智慧表面（RIS）。

NTT DoCoMo 與 KDDI 分別運用 28 GHz 頻段開發未來 6G 關鍵技術之一的 RIS。一方面因應毫米波以上頻段不易散射之特性，早日準備未來 6G 時代使用更高頻段所潛在的通訊死角問題；另一方面同時也是基於高頻頻段易於實現 MIMO 的波束成型技術，進而實現電波具備指向性，其中甚至研究發射電波型態會追蹤通訊對象的可調整式天線。日本 28GHz 頻段經驗具有獨特性，發展經驗值得關注。

⁹⁶ NTT DoCoMo(2021)，世界初、6G 時代の超カバレッジの実現に向けた ユーザー追従型メタサーフェス制御の実証に成功，

https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_211112_00.pdf

⁹⁷ NTT DoCoMo(2020)，世界初、28GHz 帯 5G 電波の透過・反射を動的制御する透明メタサーフェス技術の実証実験に成功，

https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2020/01/17_01.html

⁹⁸ KDDI(2021)，世界初、5G 本格展開時代に向けた 28GHz/39GHz 帯デュアルバンド透明メタサーフェス反射板の開発に成功，<https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2021/012001.html>

⁹⁹ KDDI(2021)，世界初 電波の反射方向が変えられる液晶メタサーフェス反射板の開発に成功，<https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2021/100702.html>

五、韓國

(一)、6G 願景與發展策略觀測

在全球 5G 通訊技術發展之下，韓國為搶占 6G 通訊產業而著手進行各項研發。韓國於 2013 年搶先他國著手 5G R&D 技術，然而 6G R&D 技術卻於 2017 年反被他國搶先掌握，因此韓國規劃於 2028 年正式啟用 6G 商業化，目標成為全球 6G 技術領先國家。

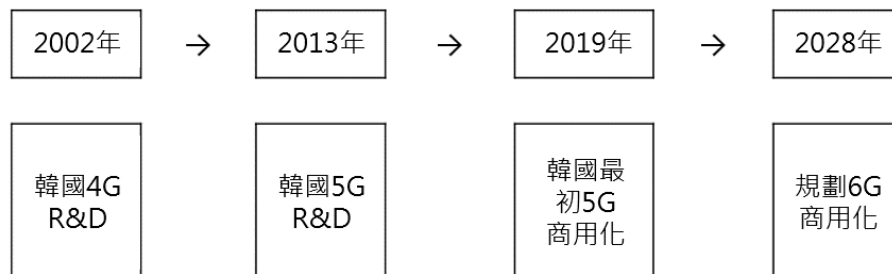


圖 2-30、韓國行動通訊基礎建設與 R&D 發展時間軸

資料來源：本計畫整理

於 2019 年 4 月開始，韓國通信與資訊科學研究院召開「6G 論壇」，開始著手研究並組建 6G 研究小組，以開發 6G 核心技術並定義 6G 可能應用場景。同年 7 月，主管機關韓國科學技術資通信部（Ministry of Science and ICT, MSIT）規劃在 2020 年正式提出「6G 研發初步可行性研究計畫」，委由韓國科技企劃評價院（Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning, KISTEP）負責研析。

於 2021 年 6 月 23 日 MSIT 宣布「6G 研發行動計畫」（6 세대 연구개발(R&D) 실행계획）¹⁰⁰，並制定多項重點工作領域。在資金方面，投資 2,200 億韓元用於超性能、超涵蓋、超精密等 6G 核心技術；在國際合作方面，則是與美國簽署韓美兩國之間的 6G 聯合研發協議（至 2025 年約投入 100 億韓元）；另外透過韓國代表晉升國際標準化組織之主席，主導國際標準討論；人才面則是指定學術研發中心，全

¹⁰⁰ 과학기술정보통신부 (2021), 6 세대(6G) 전략회의 개최, <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3180393>

面培養專業人才，規劃於 2021 年建立 3 個、2022 年建立 4 個研究中心，制定多元全面性發展策略，推動韓國 6G 技術發展。

MSIT 之 6G 行動計畫，主要目標為實現全球第一的 6G 技術優先國家，預計至 2025 年總計將投入 2,000 億韓元（約為新臺幣 46 億元）。韓國科技企劃評價院（KISTEP）¹⁰¹針對韓國電子通信研究院（Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI）公告 6G 服務以「6 超」作為發展目標，包括超寬頻、超信任、超精密、超涵蓋、超節能、超連結，同時規劃將智慧普及化(Ubiquitous Intelligence)使用所需要素與智慧結合後，提供更創新地使用領域，分別說明如下。

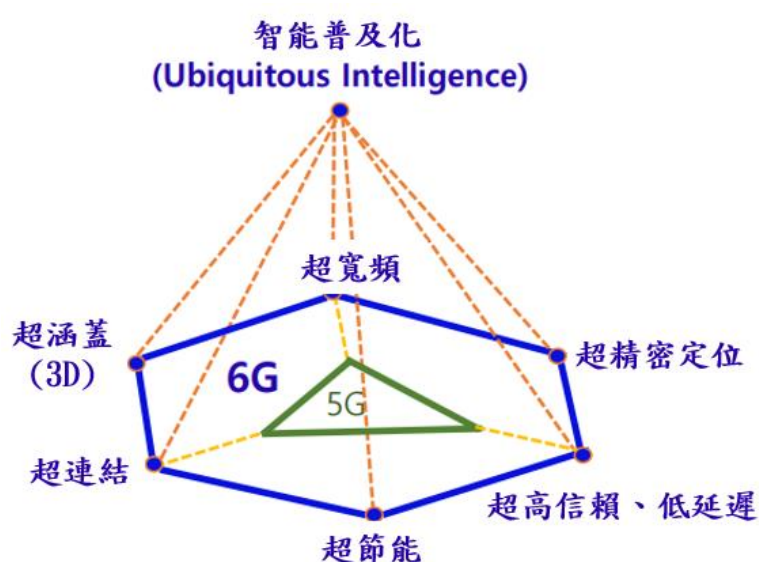


圖 2- 31、韓國 6G 指標概念圖

資料來源：ETRI 報告

1. 超寬頻

將一切以數位化呈現（Digital Representation）建構虛擬世界，積極研發 8K UHD、360 度、6D 自由度（Six degrees of freedom, 6DoF）、光場（Light Field, LF）及全像投影（Holographic）技術。以觸覺、姿態及言語識別為實體世界與虛擬世界的相互作用重要環節之一，透

¹⁰¹ KISTEP(2022), 6G 서비스, 기술, & 추진 전략
https://www.kistep.re.kr/boardDownload.es?bid=0033&list_no=42651&seq=1

過 THz 頻段（0.1-0.3 THz）提供 Tbps 網速通訊技術達成虛擬與現實世界交融之環境。

2. 超信任（低延遲）

突破 5G 的低延遲極限提供點對點實況互連服務，研發延遲小於（或等於）每 100 公里及小於（或等於） $1\mu\text{s}$ （微秒）的速率，以保障並改善 TSN 和 DetNet 技術（時效性網路和擴展涵蓋率），對全像通訊、無人機/遙控機器人、遠距等技術提出規範。

3. 超精密定位（位差僅 10cm）

提供市中心及室內實況超精密定位資訊，可運用於企業 IoT 服務及卡車自動駕駛列隊行駛服務等，皆為重要研究之一。



圖 2-32、韓國 6G 指標-超精密定位服務示意圖

資料來源：KISTEP 之 6G 服務、技術和驅動策略報告

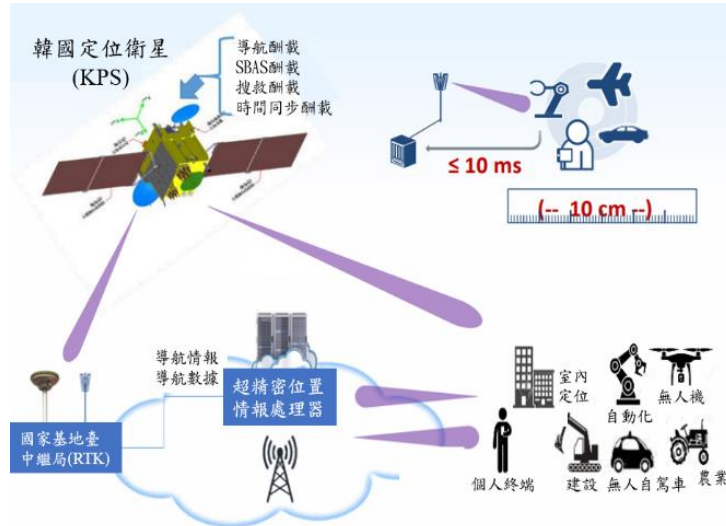


圖 2- 33、韓國 6G-KPS 超精密連結定位技術

資料來源：KISTEP 之 6G 服務、技術和驅動策略報告

4. 超涵蓋

雖然行動通訊已普遍發展，但仍存在收訊不良或無訊號之地區，例：偏鄉地區、高山與農漁村等（即稱為「陰影區」），因此透過研發低軌道衛星通訊 Q/V 頻段通訊酬載天線、RF 技術以及衛星通訊加上行動通訊綜合連接技術，藉此提升整體通訊環境。

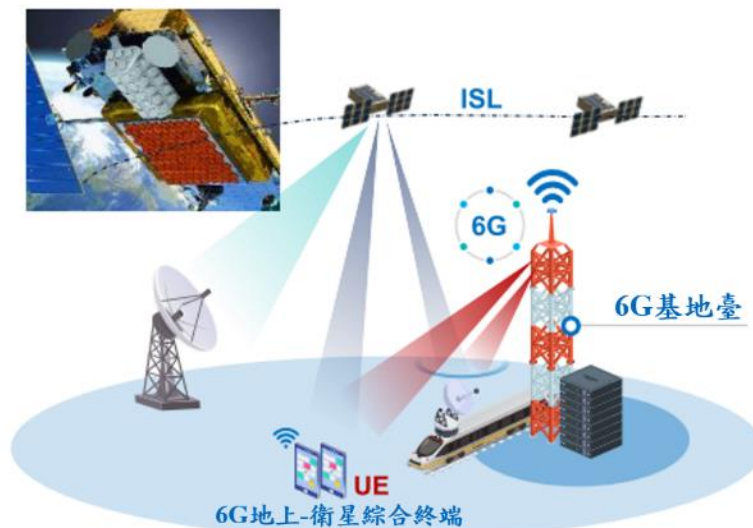


圖 2- 34、韓國通訊酬載天線/RF 及連接技術

資料來源：KISTEP 之 6G 服務、技術和驅動策略報告

5. 超節能

零碳網路是一項重要的新技術，是由收集環境的 RF（射頻）能量、反向散射通訊以及短距離零耗能 IoT 網路等多項技術達到節能的效果。除了減少耗能量，亦提高能源效率，同時採用了無線接取、3D 波束成形、高密度小型基地臺以及智慧節約開關設備，上述超低功耗服務比之前更節能 50 倍。

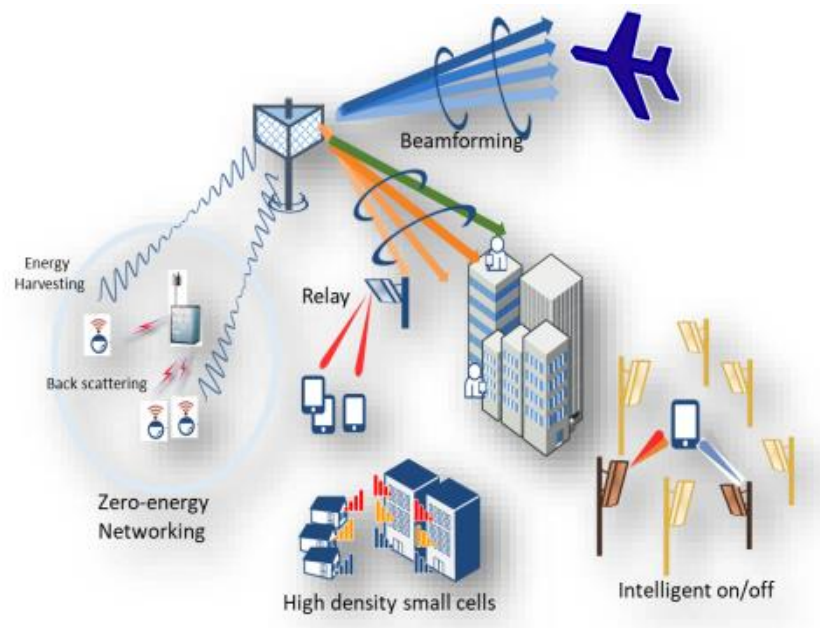


圖 2- 35、韓國零碳網路/能源最佳化等無線存取

資料來源：KISTEP 之 6G 服務、技術和驅動策略報告

6. 超連結

注重於自動化以及方便性，自駕車、自駕公車、自駕飛機和工廠自動化皆與超連結有相關性，在超連結的環境下利用低延遲達到實體及虛擬世界的同步化。技術層面以大規模 IoT 網路為主要開發項目。

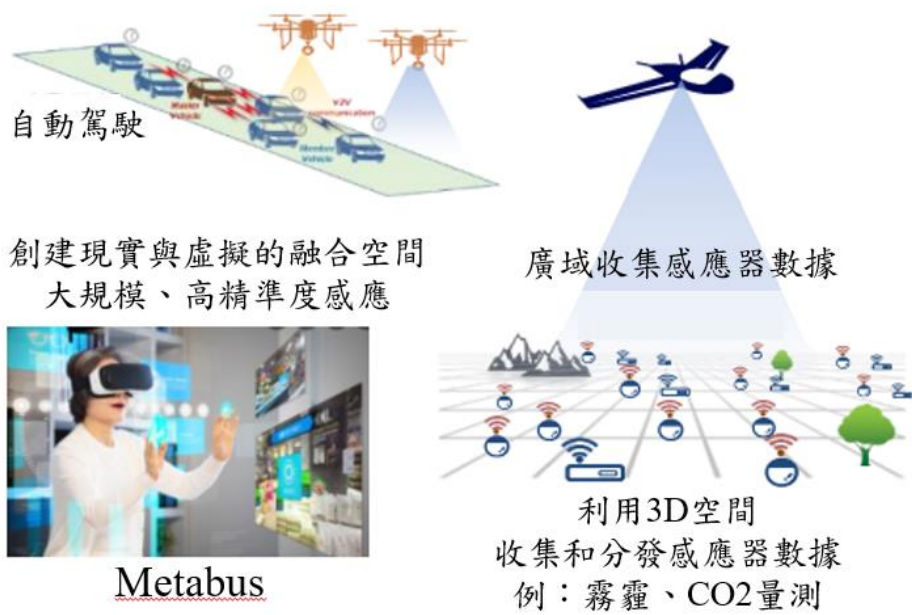


圖 2- 36、韓國 6G 指標-超低延遲與高信任服務

資料來源：KISTEP 之 6G 服務、技術和驅動策略報告

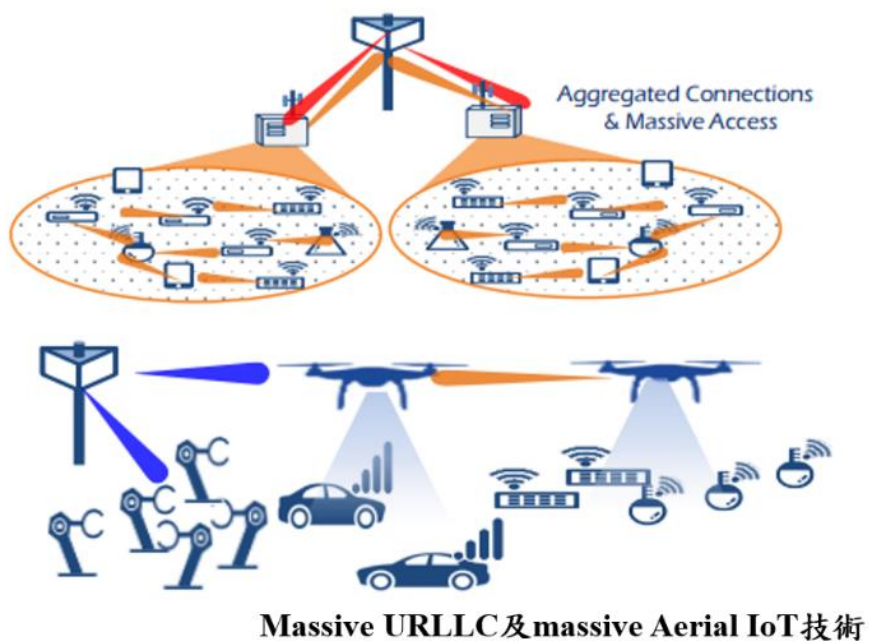


圖 2- 37、韓國大規模與高涵蓋融合 IoT 網路技術

資料來源：KISTEP 之 6G 服務、技術和驅動策略報告

(二)、6G 潛在頻譜議題研析

1. 高頻段 Sub-THz 現況

在 6G 頻譜資源規劃方面，則是討論使用 100-300 GHz 頻段，藉此實現 6G 應用情境所需之超高數據傳輸速率，具體頻段尚未公告。

2. 中頻段 6-24 GHz 現況

至於 6 GHz 頻段方面，韓國已確立將 6 GHz 頻段釋出供 WiFi 6E 使用。MSIT 於 2020 年 10 月 15 日公告開放 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）供無線接取系統（WAS）的特定小功率無線設備使用¹⁰²，主要公告包括 Wi-Fi 6E 在內的 WAS 特定小功率無線設備的使用規則。MSIT 參考 RRA 對通訊設備品質認證和技術標準的研究，於 2021 年 1 月 6 日公告第 2020-113 號通知，以修定韓國免執照無線電臺的無線電設備技術標準，其中包括增定 WAS 特定小功率無線設備使用 5925-7125 MHz 頻段的技術標準。¹⁰³韓國 MSIT 預定參考美國 WIFI 6E 結合 AFC 機制措施，自主研發韓國 AFC 系統（KFC）。然而後續官方並未更新研發階段成果，依據韓國媒體報導，MSIT 持續關注國際 6GHz 頻段釋出趨勢、AFC 機制研發現況，預計在 2023 年後將有更明確之政策方面與初步成果產出。

因應 WRC-23 大會議題，韓國科學技術資通信部（MSIT）於 7 月 22 日公告¹⁰⁴，舉行「籌備 WRC 未來研究項目討論會議」，韓國各大電信業者皆參與此次的會議，會議議程包含各機關意見蒐集、討論應

¹⁰² Korea Ministry of Science and ICT (2020), 과기정통부, 6 기가헤르츠(GHz) 대역을 광대역 비면허 주파수로 공급, <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=31&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3140715&searchOpt=ALL&searchTxt=>

¹⁰³ Korea Ministry of Science and ICT (2021), 신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선설비의 기술기준, <https://www.law.go.kr/LSW//admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000196974&chrClsCd=010201#AJAX>

¹⁰⁴ MSIT(2022), 미래 주파수 발굴 발표회(세미나)를 통해 전파통신 분야 민·관 협력의 장 마련, <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3181959&searchOpt=ALL&searchTxt=>

對策略以及業者提出各領域相關動向、未來需求及願景。同時 MSIT 宣布參未來將舉辦之亞太地區電信組織的 APG-23 會議，透過合作與談判確保站穩在全球的 6G 領導地位。

因應未來 WRC-23 與 6G 頻譜，將由政府主導之韓國 WRC 籌備組，以及民間主導之韓國 WRC 研討會共同策劃，以行動通訊、廣播、航空、科學、衛星各領域進行討論，提前蒐集民間企業的意見，確認韓國立場、並且將由官民合作定期交流，共同研討出對韓國最有益的頻率與策略，但討論為非公開議程，並未提供相關決議資訊。然而亞太地區電信組織預計在 2023 年 2 月 20-25 日在韓國舉辦之 WRC-23 (APG23-5) APT 大會小組第五次會議，屆時身為地主國之韓國，可能將表達對於 WRC-23 頻譜議題之立場。

雖然韓國官方並未正式公告 WRC-23 大會 IMT 頻譜議題立場，本計畫參考亞太地區電信組織 APG-23 大會內所呈現的韓國文件。韓國只有針對 7025-7125MHz 頻段議題表達立場，認為在保護既有服務的先決條件下，韓國支持 ITU-R 所進行的和諧共存研究，以及未來可能的區域或全球 IMT 指配。

(三)、26/28 GHz 頻段商業化動態觀測

韓國 28 GHz 頻段，共分為行動通訊、企業專網兩類應用。其中 26.5-28.9 GHz 頻段供電信業者使用，28.9-29.5 GHz 頻段則是作為 (e-Um 5G) 企業專網使用。在 28 GHz 商用化發展觀測，電信業者 28 GHz 網路布建停滯且應用有限。韓國三大電信業者目前已建構 5,059 臺 28 GHz 頻段基地臺，其中 4,576 臺由三家電信業者共同建設並用於地鐵 Wi-Fi。最終實績達成率 11.2% 成為爭議點，因三大電信將共同建設之基地臺中各自建構數量重複計算，透過此計算方法勉強通過政府提出的最低門檻 10%，避免被取消頻率使用權，而實際建構的基地臺數僅 2,007 臺。

表 2-8、三大業者 28 GHz 基地臺建構目標與實績

電信業者	義務建構基地臺數目	履行實績
SKT	15,000 臺	1,605 臺(10.7%)
KT	15,000 臺	1,586 臺(10.6%)
LGU+	15,000 臺	1,868 臺(12.5%)

資料來源：MSIT (2022)；本計畫整理

28 GHz 頻段之速度與頻寬遠超過 3.5 GHz，但目前韓國市場對 28 GHz 的實際需求不高，在此背景下電信業者很難在對成本較高的 28 GHz 技術進行研發與投資。針對韓國 28 GHz 頻段發展停滯，MSIT 針對 28 GHz 頻段使用率及需求問題進行討論，並表明現階段雖暫無 28 GHz 使用需求，但為日後 5G 及 6G 發展的必要基礎之一。

目前韓國科學技術資通信部（MSIT）於 2021 年公告地鐵 Wi-Fi 升級（28 GHz 頻段）計畫，由 28 GHz 頻段 5G 基地臺架設在地鐵隧道內，列車加裝接收天線負責接受 5G 訊號，後續轉換為 Wi-Fi 訊號供車廂內乘客使用。2021 年與三大電信業者合作在地鐵 2 號線（聖水支線）成功實證 Wi-Fi 性能的改善，後續根據實證結果將擴展布建範圍至 2 號本線及 5-8 號線。MSIT 規劃在 2022 年 4 月底前完成 28 GHz 頻段之 5G 設備網路布建，並在下半年內完成地鐵車廂內的 Wi-Fi 安裝工程，於年末將正式啟用 28 GHz 頻段地鐵 5G Wi-Fi 服務¹⁰⁵。

MSIT 最終於 11 月 18 日公告電信業者 5G 頻率布建義務執行成效決議¹⁰⁶，認定三大電信業者 28GHz 頻段皆未達到門檻，決議取消 KT、LG U+兩家 28GHz 執照、SKT 縮短期限至 2023 年 5 月 31 日。而 28GHz 頻段相關計畫也同步暫停。MSIT 表示後續視 SKT 是否達成布建義務門檻 1,5000 臺而定，若未達成也將取消授權。

¹⁰⁵ MSIT, (2022), 조경식 제 2 차관, 5 세대(5G) 28GHz 구축 현장을 방문하여 관계자 격려, 안전사항 점검,

<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=1&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3181409&searchOpt=ALL&searchTxt=28>

¹⁰⁶ MSIT, (2022), 5 세대 이동통신 주파수 할당조건 이행점검 결과,

<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=2&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3182366&searchOpt=ALL&searchTxt=>

六、 中國

(一)、6G 願景與發展策略觀測

中國工業和信息化部（以下簡稱工信部）為了推動 6G 發展，於 2019 年 6 月成立 IMT-2030（6G）推進組，由原本的 IMT-2020（5G）推進組成員如中國主要電信業者、通信設備製造商、大學及研究機構等組成，根據 2021 年 5 月由工信部召開之 5G/6G 專題會議，已指示 IMT-2030（6G）推進組展開 6G 應用場景研究、6G 關鍵技術研發以及積極參與國際交流合作¹⁰⁷。

IMT-2030（6G）推進組自成立後，已舉辦多場 6G 研討會，並提出 6G 白皮書及相關研究報告。2021 年 6 月該組織首次發表之「6G 總體願景與潛在關鍵技術白皮書」中所闡述之重點包含：

1. 6G 將在 5G 基礎上實現人與人、人與人及物與物之高效互聯，最終創造「萬物智聯，數位雙生」的願景，可望改變社會結構（如改變貧富差距、彌補勞動力不足問題）、提升經濟（如提升生產效力及產業創新）及實現綠色節能（如降低碳排放、即時監測極端氣候）之目標。
2. 未來 6G 網路之布建仍以地面網路為基礎，同時整合衛星、無人機、空中通訊平臺等多種非地面通訊技術，最終實現「空天地海一體化無縫全域覆蓋」的通信網路。
3. 6G 潛在應用場景包含沉浸式雲端 XR、全像投影通訊、感官互聯、智慧交互、通訊感測、人工智慧、數位雙生、全域涵蓋等八大領域應用。¹⁰⁸
4. 6G 潛在關鍵技術包含新物理維度無線傳輸技術、兆赫茲與可見光通信技術、通信感知一體化技術、算力感知網路、星地一體融合組網等 10 大潛在關鍵技術方向。

接著 2021 年 9 月 IMT-2030（6G）推進組進一步針對 6G 網路架

¹⁰⁷ 工信部(2021)，工業和信息化部：5G/6G 專題會議召開，http://www.gov.cn/xinwen/2021-05/14/content_5606521.htm

¹⁰⁸ 中國信息通信研究院（2021）。6G 總體願景與潛在關鍵技術白皮書。
<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202106/P020210604552572072895.pdf>

構與關鍵技術發表「6G 網路架構願景與關鍵技術展望白皮書」，IMT-2030(6G)推進組認為未來 6G 網路架構之發展重點主要有 3 個面向，分別為 1)「服務驅動」、2)「數據技術 DT、營運技術 OT、資訊技術 IT 和通訊技術 CT(簡稱 DOICT)融合驅動」及 3)「IP 新技術驅動」；另提出 12 個潛在關鍵技術之介紹，包含：空天地一體化網路連接、多網融合技術、數位雙生網路技術、算力網路技術(Computing Force Network, CFN)、6G 資安自動防護技術等。¹⁰⁹

而在推動國際交流與合作部分，IMT-2030(6G)推進組已於 2022 年 6 月與歐洲 6G 智慧網路和服務產業協會(6G-IA)簽署 6G 合作備忘錄，未來將共同合作研究 6G 技術標準化、6G 頻譜、產業生態，並進行 6G 試驗、研討會或共同發布研究報告等活動。¹¹⁰

(二)、6G 潛在頻譜議題研析

1. 高頻段 Sub-THz 現況

中國近年來亦積極推動兆赫茲 THz (0.1~10 THz) 及可見光 (400~800 THz) 技術在 6G 通訊技術之研發，但因此類技術仍處研發初期，在實際應用場景及產業需求尚不明朗下，工信部並未分配相對應之頻段。¹¹¹

¹⁰⁹ 中國信息通信研究院 (2021)。6G 網路架構願景與關鍵技術展望白皮書。

<http://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/chengguofabu/baipishu/index.html?index=2>

¹¹⁰ 中國信息通信研究院 (2022)。IMT-2030(6G)推進組與 6G-IA 簽署 6G 合作備忘錄，共同推進 6G 創新發展與全球統一生態。

<http://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/xinwendongtai/1532538678008631297.html?index=4&language=zh>

¹¹¹ 中國聯通網路技術研究院 (2020)。中國聯通太赫茲通信技術白皮書。

https://www.zhizhi88.com/wp-content/uploads/2021/06/china_unicom_terahertz_communication_technology_white_paper.pdf；中

國移動通信有限公司研究院 (2022)。6G 可見光通信技術白皮書。
<http://221.179.172.81/images/20220225/50781645759060252.pdf>

2. 中頻段 6-24 GHz 現況

在 6G 頻譜規劃部分，工信部並未發布正式官方 6G 頻譜計畫，而是由 IMT-2030 (6G) 推進組對外發表頻譜計畫，工信部認為 6 GHz (6425-7125 MHz) 以下新頻段乃發展 6G 之戰略性資源，故而積極在國際間倡議 6 GHz (6425-7125 MHz) 頻段作為 6G 新頻譜，並成功在 2019 年的 WRC-19 大會上，使大會作成決定，將該頻段作為 IMT (5G 或 6G) 新頻段使用列入 2023 年的 WRC-23 討論議題。¹¹²

此外因應新興無線電服務（如無人機、衛星廣播、衛星移動、5G 通訊、6G 通訊）及滿足日益增長的大容量傳輸需求，工信部已於 2022 年 1 月啟動調整微波系統頻率使用規劃的公眾意見諮詢¹¹³，並針對中國微波系統之調整，擬出以下方案¹¹⁴：

- 廢止 7 GHz 以下大部分頻段之微波頻率規劃，僅保留 4500-4800 MHz。
- 廢止 14 GHz 和 18 GHz 微波頻率規劃，將頻段用於其他服務。
- 新增 E-Band 頻段微波頻率規劃。
- 改善並調整 8、11、15、23 GHz 頻段微波頻道（channel）配置方案¹¹⁵。

中國公告之頻譜政策有限，僅透過 IMT-2030 (6G) 推進組於國際會議中有限揭露。在 2022 年 9 月 15-16 日舉辦之 6G Global Summit 期間，中國 IMT-2030 (6G) 推進組組長、中國信通院副院長王志勤

¹¹² 中國無線電管理局（2019）。我國推動研究在 6GHz 頻段新增 5G 及未來 6G 系統頻譜劃分列入 WRC-23 議題。

https://www.miit.gov.cn/ztzl/rdzt/2019sjwxdtxdh/ywkb/art/2020/art_611825c230d34d0cadfaa89774adf_d6d.html

¹¹³ 工信部（2022），公開徵求對《工業和資訊化部關於調整微波通信系統頻率使用規劃及無線電管理有關事項的通知（徵求意見稿）》的意見，

https://www.miit.gov.cn/gzcy/yjzj/art/2022/art_53f768f0847441c99f064a627303671e.html

¹¹⁴ 工信部（2022），附件 2 關於微波通信系統頻率使用規劃調整的說明，

https://www.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/1226211233/attach/202112/649af4c4354043f38029776_d78ef9c97.pdf

¹¹⁵ 工信部（2022），附件 1 工業和資訊化部關於調整微波通信系統 頻率使用規劃及無線電管理有關事項的 通知（徵求意見稿），

https://www.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/1226211233/attach/202112/0d64dbde113a43789d31baef4762991d.pdf

分享中國 6G 研發現況，認為¹¹⁶6G 頻譜需對應不同應用情境，中低頻段對 6G 發展不可或缺，例如 15/24GHz 頻段以下，特別聚焦於 6GHz 頻段。另根據中國工程院院士鄔賀銓在 2022 年中國 5G 發展大會之發言¹¹⁷，中國工信部已發放給中國商用飛機有限責任公司第一張 5G 專網頻率許可，使用 5925-6125MHz 和 24.75-25.15GHz 頻段，但工信部並未有官方正式公告文件。

另外根據亞太地區電信組織 APG-23 大會內所呈現的中國立場。中國支持 7025-7125 作為 IMT 指配；另外支持 ITU-R 針對 6425-7025MHz、10-10.5GHz 頻段所作之研究，並基於適當監理制度與技術條件，在保護既有服務的條件下，指配為 IMT 服務使用。

(三)、26/28 GHz 頻段商業化動態觀測

中國在 2017 年 6 月 8 日公開徵集 24.75-27.5 GHz 和 37-42.5 GHz 頻段用於 5G 技術試驗的「5G 毫米波頻段規畫徵集意見」，預計釋出合計 8.25 GHz 頻寬資源，然而自此以後並未公告決議。在後續 5G 應用“揚帆”行動計畫（2021-2023 年）¹¹⁸中，包含毫米波基地臺研發和端到端測試、加速 5G 晶片模組和毫米波元件研發及產業化等政策目標，並不急於釋出毫米波頻段。後續僅有中國工程院院士鄔賀銓表示，中國工信部已發放給中國商用飛機有限責任公司 5G 專網頻率許可，使用 5925-6125MHz 和 24.75-25.15GHz 頻段，但工信部同樣並未有官方正式公告文件。

總結而言，目前中國毫米波頻段仍以企業、學研機構實驗為主，至於電信業者實驗重點在於技術驗證（PoC）、使用情境及應用方案等，僅有極少數為專網應用案例。

¹¹⁶ ZhiqinWang (2022), 6G Research Progress in China, <https://global6gsummit.com/>

¹¹⁷ C114 通信網（2022），鄔賀銓建議為工業互聯網應用劃出專用頻段，助力 5G 應用揚帆，<https://www.c114.com.cn/wireless/2935/a1215515.html>

¹¹⁸ 國務院（2021），十部門關於印發《5G 應用“揚帆”行動計畫（2021-2023 年）》的通知，http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/13/content_5624610.htm

第三節、重點電信業者 6G 計畫研析

一、前言

本計畫盤點國際 6G 發展趨勢，基於國際組織、重點國家與重點電信業者等三層次蒐研國際最新現況。在電信業者立場，多數業者仍以 5G 商用化為優先策略目標，或是參與國家、國際組織 6G 或相關通訊研發計畫之方式投入研發，欠缺系統性 6G 願景與研發計畫，多數僅為分散式小規模研發計畫。反映電信業者對於 6G 技術仍採取較為謹慎、審慎評估之立場。

蒐研重點國家共 20 家電信業者，目前 2022 年年度僅有法國 Orange、日本 NTT DoCoMo、日本 KDDI、中國移動等業者發布 6G 白皮書、闡述業者系統化願景與目標，本節將綜整上述四家電信業者 6G 計畫，從願景與應用需求、技術與網路架構趨勢兩面向，掌握電信產業對於 6G 發展之立場與觀點。

表 2-9、本計畫蒐研之電信業者名單

國家	業者	國家	業者	國家	業者
歐盟	- Orange - Telefonica - Deutsche Telekom	美國	- AT&T - T-Mobile - Verzion	中國	- 中國移動 - 中國電信 - 中國聯通
英國	- BT/EE - Vodafone - Virgin Media - Three	日本	- NTT DoCoMo - KDDI - SoftBank - Rakuten	韓國	- KT - SKT - LG U+

資料來源：本計畫整理

二、 NTT DoCoMo

(一)、6G 願景與應用

面對未來 2030 年的 6G 願景，日本 NTT DoCoMo 關注於四大領域，分別為解決社會問題、發展人機通訊、擴展通訊環境及融合虛擬與實體等。

首先、解決社會問題方面。NTT DoCoMo 因應國際與日本現況，認為 B5G、6G 技術可成為解決社會問題的重要工具之一。目前預計到 2030 年全球人口將成長至 85 億，並以亞洲和非洲為主要人口增長區域，預計全球人口與經濟重心區域將出現移轉；另外基於聯合國永續發展目標，各國積極推動節能和再生能源解決全球環境問題；而日本少子化與老齡化社會議題，預計每三位日本國民中就有一位年齡 65 歲以上，同時存在勞動人口不斷減少、社會福利支出持續攀升，進而出現閒置資產增加與社會基礎設施惡化等問題。另外新冠疫情爆發，促成遠距上班，以及反思人口過度集中都市、經濟結構過度生產、過度投資等社會經濟結構議題。

其次、發展人機通訊方面。通訊交流從原本的口頭、文字到現在的影像媒體溝通。未來將衍伸至動作姿態方面，藉此傳遞更多非語言資訊與細節。此外可以藉由 6G 技術擴增人類的感官功能，進一步延伸人類感官能力至遠端環境，實現多感官遠距交流之願景。

第三、擴展通訊環境。通訊應用延伸至今已無所不在，隨著人類活動領域不斷擴展，通訊需求將覆蓋到都市、鄉村、海洋甚至太空。而感測器可布建環境更為廣泛，因此雖然為無人環境，仍存在通訊服務需求。因應目前的太空熱潮，通訊覆蓋至太空領域並非絕無可能，因此至 2030 年陸海空通訊全面覆蓋成為重要情境。

第四、虛擬與實體融合演進。2020 年代將有許多虛實整合的服務投入使用，預計發展到 2030 年將出現更為成熟、先進、虛實整合更為密切的應用服務，屆時極低延遲與大量數據傳輸與分析，將成為研發重點。另外透過穿戴式裝置與感測器，實體世界活動將與數位、虛擬世界同步，衍生更為多元豐富的生活型態。

NTT DoCoMo 進一步延續 5G 三大應用情境，提出 6G 六大技術需求與潛在應用案例。

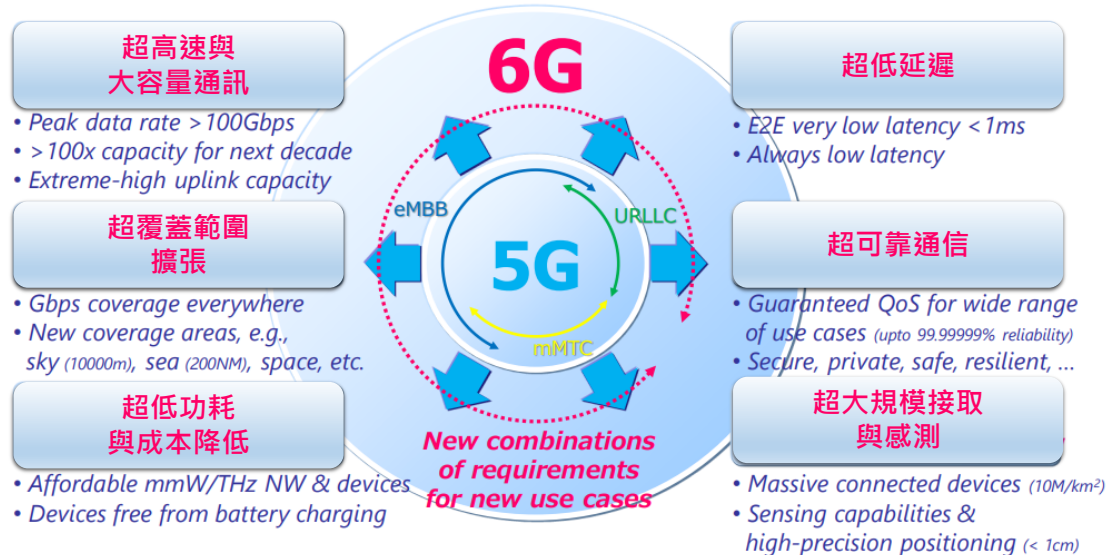


圖 2- 38、NTT DoCoMo 之 6G 技術需求與應用情境

資料來源：NTT DoCoMo 之 6G 白皮書

- 超高速與大容量通訊 (Extreme-high-speed and high-capacity communications)：提升傳輸率與容量為行動通訊系統的普遍需求，6G 目標實現超過 100Gbps 的通信速度和超過 5G 容量的 100 倍，由於已接近人腦資訊處理速度，因此不單純圖像影音傳輸，甚至可達到接近實際五感的多感官通訊傳輸，實現遠距即時互動、虛擬互動與協同工作等潛在應用。
- 超覆蓋範圍擴張 (Extreme coverage extension)：拓展通訊覆蓋範圍至極致，實現陸地覆蓋 100%目標並拓展至海洋、天空、太空環境。進而延伸人類與機器的活動領域與新產業，例如無人物流、農林漁牧業遠距無人操控、甚至太空與海底旅行等。

- 超低功耗與成本降低 (Extreme-low power consumption and cost reduction): 預期未來網路通訊用量與連結終端將大幅提升，相應功耗與成本也同步大幅上升，因應全球永續發展目標，各種超低功耗與降低成本技術將有效減緩能源消耗，成為兼顧效能、經濟與環境的重要趨勢。
- 超低延遲 (Extreme-low latency): 通訊網路扮演傳輸資訊的神經系統，為實現即時互動的智慧化 AI 服務，超低延遲成為基本條件。目標為實現 1 毫秒以下的極低延遲，排除延遲所造成的延誤和不協調體驗，並且結合智慧運算能力，可提供更為客製化即時服務，可用於遠距辦公、遠距操控、遠距醫療和遠距教育等需即時互動之領域。
- 超可靠通信 (Extreme-reliable communication): 超可靠通信涉及穩定性、資安等兩面向。在穩定性方面，由於工業、攸關生命的無線通信應用高度仰賴安全性與穩定性，因此 6G 被期望能實現 99.99999% 高可靠度。隨著無人機器的廣泛使用，也需要更為穩定可靠的通訊標準；此外無線通信重要性日益提升，衍生的駭客攻擊、資安與隱私議題更顯重要，所以未來 6G 通訊須提供強大穩定與安全防護的通訊服務能力。
- 超大規模接取與感測 (Extreme-massive connectivity & sensing): 預期未來隨著虛實整合、物聯網應用等趨勢，聯網設備數量將大幅提升，一方面可協助解決產業和社會問題，另一方面預期 6G 技術支援每平方公里 1000 萬台設備的標準。未來 6G 網路也預期具備定位、感測能力，可實現精準定位和物體檢測之應用。

(二)、6G 技術與網路架構趨勢

NTT DoCoMo 認為未來 6G 網路技術可參考 5G 網路發展之經驗，以及當代之整體背景趨勢：

- 來自各產業實際使用之多元化個案。
- 因應數據流量的急劇增加。其中來自車輛、攝影鏡頭和感測器的數據，反映虛實融合時代的發展潛力。
- 因應各行業對通信需求持續增加，須確保通信網路在災害中的穩健韌性。
- 可穿戴式裝置等設備多元化與數量大幅增加，以及電信市場共享經濟趨勢。
- 應對全球暖化氣體排放、零碳排和循環經濟等永續環境議題。
- 應對市場快速變動趨勢，敏捷發展新興服務。
- 提供安全通信服務，應對強大網路攻擊與資安、隱私問題。
- 因應新冠疫情造成的社會遠距化趨勢。

NTT DoCoMo 進一步盤點從 5G 演進至 6G 技術所面臨的技術挑戰項目，共有 8 類 32 技術，以下簡要說明：

表 2- 10、NTT DoCoMo 探討邁向 6G 技術之挑戰領域

技術領域	簡要說明
新無線電網路拓撲 (New Radio Network Topology)	因應更嚴苛標準需求，延續 4G 以來的異質網路趨勢，研發新型態的網路拓撲架構。
包含 NTN 在內的覆蓋範圍拓展技術 (Coverage extension technology including Non-Terrestrial Networks)	擴展通訊覆蓋至海洋、天空與太空，並實現超遠距離的通訊架構與技術研發。
拓展頻率範圍和頻率使用率的技術 (Technology for further broader frequency domain and advancement of frequency utilization)	因應 6G 潛在頻段延伸至 THz 頻段，進行各項基礎研究；以及持續優化頻率使用率之技術。
大規模 MIMO 與無線傳輸技術進一步發展	大規模 MIMO 技術的持續優化與完善

技術領域	簡要說明
(Further advancement of Massive MIMO and wireless transmission technologies)	
超可靠低延遲網路(URLLC)與工業網路拓展 (Extension of Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC) and industrial networks)	因應企業專網 (NPN) 趨勢，研析適應嚴苛條件、對時間敏感的網路技術，提升網路低延遲與高可靠層級。
多功能無線通訊系統與 AI 技術在所有領域的應用 (Multifunctional wireless communication systems and utilization of AI technology in all areas)	強化電波感測、無線供電等多功能應用，並結合 AI 技術實現自動化控制與發展新應用。
整合多元無線技術 (Integration of various wireless technologies)	因應行動通訊、Wi-Fi、藍芽與未來可見光通訊等多元技術趨勢，有效整合既有與新興通訊技術。
網路架構 (Network architecture)	因應 2020 至 2030 年市場趨勢與技術嚴苛需求，針對現有網路架構進行重新檢視，研析扁平化、簡潔化與彈性化網路。

資料來源：NTT DoCoMo 之 6G 白皮書

另外，NTT DoCoMo 本身具有獨特集團資源，由於 NTT DoCoMo 已被母集團 NTT 私有化，因而參與並運用母集團資源推動 6G 技術。其中 NTT 集團與英特爾公司、索尼公司共同創立新產業聯盟，名為創新光學和無線網路 (Innovative Optical and Wireless Network, IOWN) 全球聯盟，專注技術領域為光通信網路、數位雙生運算。

- 光網路：為 End-to-End 的光通信系統。具有優秀的頻寬、低延遲、彈性和能源效率優點。IOWN 聯盟目標是達到功耗、End-to-End 延遲以及傳輸容量標準方面提升 100 倍。
- 數位雙生運算：傳統數位雙生指現實物體和設備的虛擬複製品。數位雙生運算將傳統數位雙生概念擴展到人和物。此外，旨在能具備自動化行為和互動能力。

三、 KDDI

(一)、6G 願景與應用

KDDI 訂定 KDDI Accelerate 5.0 為企業未來發展總體策略，企業願景為協助加速實現日本國家「社會 5.0」之願景。策略措施具體透過 Future Gateway 計畫，運用 KDDI 集團具備的資通訊網路基礎設施、集團內研究機構之研究能量，扮演提供資通訊服務基礎節點，協助積極有企圖心之團體推動各項前瞻、創新的計畫，共同解決日本國內中長期社會、經濟問題。

KDDI 期望透過 6G 技術協助，促進在 2030 年實現社會公益生活。期望透過新形態社會基礎設施實現豐富民眾生活、刺激經濟和環境保護之間的良好平衡。簡要觀察，KDDI 認為未來 6G 將整合多元技術能力，提供突破時間、空間物理限制。並在虛擬世界中體驗全新五感感受與應用服務。

表 2- 11、KDDI 探討之 6G 需求與應用領域

需求	領域	簡要說明
滿足物質需求	食	運用 6G、物聯網與 AI 技術，達成智慧化個人飲食建議、食材管控。甚至實現遠距共同烹飪。以及在虛擬世界體驗餐飲感受。
	購物	實現自動化庫存管理、無人物流等；此外透過虛擬世界體驗消費、提供客製化個人消費建議。
	醫療保健	時時監測身體狀況、實現遠距醫療看診、運用數據分析與機器人技術，協助消除身體殘疾與損傷的生活限制。
	日常生活	遠距即時互動，進而打破公司與住家通勤等地理限制，並且自駕車改變交通搭乘體驗；透過 6G 通訊分享五感知，實現遠距共同體驗，感受他人感受與理解。
滿足心理需求	改變工作模式	AI 匹配個人能力與職位、AI 翻譯消除語言障礙；勞動與低生產工作由機器人取代；並實現遠距操控之目標。
	改變學習	個人化、遠距線上教學；運用 XR 提供更多元學習方式；

	方式	虛擬世界時間不再重要，可 24 小時提供學習服務；透過 AI 即時監控學習情況，提升學習效率。
	娛樂活動	6G 技術將消除語言與物理距離障礙；AI 配對休閒活動；虛擬世界、遠距體驗旅遊景點與娛樂措施。
	休閒方式	透過 XR 體驗比賽；遠距共享五感感受與觀賽互動體驗。
	溝通互動	在虛擬世界進行溝通與交流，不受時間地點限制。

資料來源：KDDI 之 Beyond 5G/6G 白皮書

(二)、6G 技術與網路架構趨勢

KDDI 從網路、平台與產業三層次，促進彈性、創新應用服務開展，加速建構全新 5G 社會基礎設施。並針對 6G 技術 7 大技術領域進行投資，協助 7 大技術整合實現虛擬與實體世界深度融合。

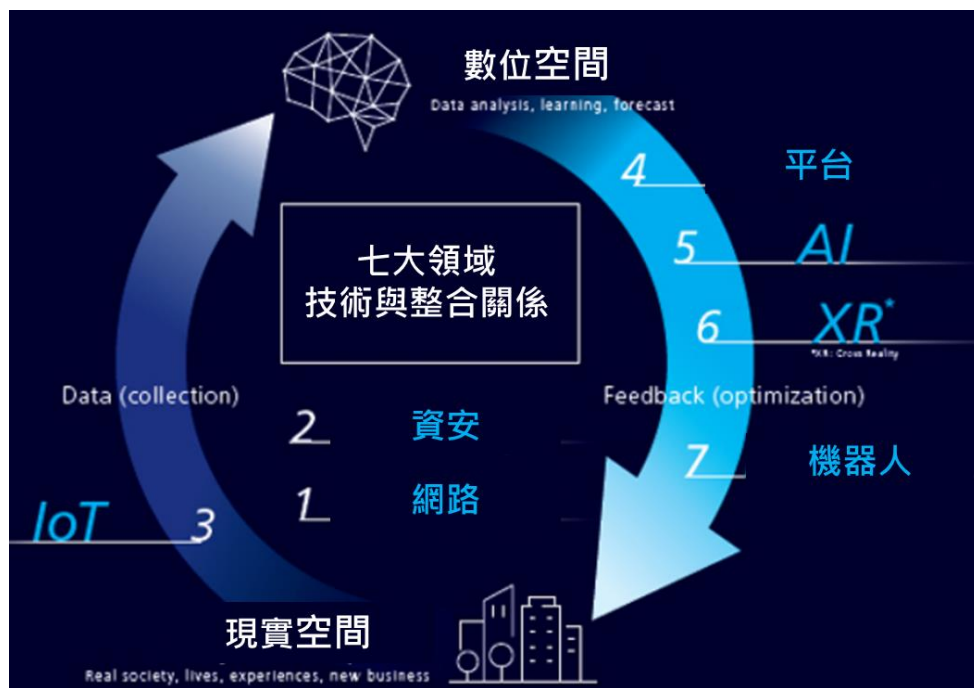


圖 2- 39、KDDI 虛實整合與 6G 技術概念圖

資料來源：KDDI 網站

KDDI 認為目前階段，從通訊網路、IoT 蒐集現實世界資訊進而匯集到網路空間正在實現（概念圖左側箭頭）。然而網路空間的數據如何反饋給現實世界則仍缺乏（概念圖右側箭頭），唯有實現雙向的反饋循環，方能產生更多創新價值，進而實現 KDDI 的 KDDI Accelerate 5.0 之最終願景。更細部而言，XR 與機器人負責與現實世界互動、平台與 AI 則是將數據進一步運算處理。至於資安則是實體、網路世界都是重要須關注之議題，以下依序簡要介紹 KDDI 觀點之 7 項技術：

● 通信網路

通信網路是連接實體空間和網路空間的基礎。目前網路技術一直追求通信速度和穩定性。未來通信網路將具備依據終端用戶的使用情況和條件，無縫提供最佳通信服務品質。

至 2030 年，將存在數量更大、種類更多樣化的資料類型在無線網路中傳輸。KDDI 研發以用戶為中心的架構，採用自動化架構，可根據所使用的設備和應用軟體自動選擇基地臺、天線和衛星的最佳傳輸組合。此外手機、電腦、手錶、眼鏡和汽車等多種設備將協同運作補足個別的局限性，並顯著提高性能。

光纖網路為 6G 網路之基礎。KDDI 將研發新型態光通信系統，無線信號在光纖上傳輸，將不再需要傳統轉換處理過程，基地臺的效能和可擴展性將得到大幅提高。KDDI 將與合作企業構建開放架構生態系。通過開放通信設備和軟體介面規範，加快創新全球通用的通信基礎設施。

● 資安

隨著實體空間與網路空間持續融合，網路攻擊將更加複雜，攻擊目標將延伸至實體世界的設備、基礎設施、人工智慧等領域。因而需要新形態的資安技術，例如次世代密碼學。考慮到未來量子運算的出現，KDDI 推動“次世代密碼學”的發展，例如輕量級和強大的量子運算密碼學，可以用於物聯網設備等低運算能力的設備。

未來，網路攻擊將針對以前無法想像的事物。例如，人工智慧。

攻擊者很可能讓 AI 故意學習不正確的數據來操縱搜索和推薦結果，或者導致人臉辨識系統的錯誤識別，所以人工智慧資安也必不可少。KDDI 研究有效檢測各種物聯網設備出現未經授權行為的方法，以及運用 AI 檢測惡意攻擊。

● 物聯網

全球已有 4000 億台物聯網設備在運行，到 2030 年物聯網將充滿在家庭、汽車、工廠，甚至整個城市。實體世界中的資訊，包括物體的位置和形狀，將以超高精度且即時收集的方式在網路空間進行運算。物聯網基礎的聯網設備資訊，如行動設備、連網車和電力等基礎設施，將被即時收集。感測器型態也將越來越複雜。

KDDI 研究從陽光和身體振動等環境中提取能量的能量收集技術，旨在實現物聯網設備免維護之目標，可用於海洋和森林等調查野生動物的行為；物聯網設備收集的數據量預計將呈指數級增長。因此，KDDI 正在研究邊緣運算，在基地臺進行初步數據處理。如果需要更複雜處理，再將數據發送到網路空間的雲端進行處理。

● 平台

通過融合實體空間和網路空間，可以實現多種服務。然而單一業者很難獨自開發所有功能。透過建構通用功能的平台，可以通過 API 串接而簡化推出服務，免除重新開發的複雜過程。未來各領域都需要一個雲端平臺，KDDI 因應此趨勢正在開發資安管理技術，安全有效地利用在這些平台上收集的數據。此外，即時回饋對於提昇平台便利性極為重要，因此將進行大規模數據處理的高速、低延遲通信技術，以及高速分析感測器數據的即時分散式處理技術。

● 人工智慧

人工智慧在圖像識別、語音識別、自動翻譯等技術方面取得長足進步。未來隨著實體世界與網路空間融合演進，人工智慧所要處理的問題將比以往困難得多。KDDI 旨在開發解決實體世界特有問題的 AI 技術，協助因應人類行為的特殊性及資安需求。

● XR

頭戴式顯示器等設備讓 VR（虛擬現實）/AR（增強現實）等 XR 體驗變得更廣為人知，但目前應用還僅限於某些娛樂形式。隨著實體世界和網路空間進一步交互融合，將能在生活中享受到整合五種感官知覺的前所未有體驗。

到 2030 年，隨處可見之物聯網設備和感測器將能夠在網路空間再現實體世界。並非僅簡單複製實體，而是將想像中的風景和物體疊加在一起的實體世界複製且擴展；全息投影技術將體驗如同真實般的視覺感受、另外通過結合味覺、嗅覺等多種感知呈現近乎真實的體驗；XR 將顯著改變通信的形式。可遠距互動、可重現過往經驗場景傳達單靠文字無法傳達的細微差異。KDDI 投入高效率、超低延遲等數據傳輸技術，即時呈現巨量數據。

● 機器人

機器人技術處理實體世界存在的事物。2030 年，各種機器人將與人類共存於社會。從支持身體功能到處理物流等，機器人服務將提供生活支援。因此機器人即服務的概念至關重要。機器人在實體世界收集的資訊整合至雲端平台，並由人工智慧進行分析。實體機器人會根據 AI 指令進行動作。此時，通過雲端平台連接的所有機器人，可執行更複雜任務並共享執行所需資訊。

KDDI 將持續評估機器人的可接受性，為 2030 年的社會示範做準備，並且研究高級運算推理能力。此外到 2030 年，機器人的活動範圍將更廣泛。不只在陸地和空中的無人機、自動駕駛車已在試驗。未來將走向海洋情境，例如無人機水下探索、漁場監控、基礎設施巡查、水下影像直播等。因此 KDDI 正在開發可在水下無線通信的光通信技術，以及能夠長時間運行的氫燃料電池。

四、 中國移動

(一)、6G 願景與應用

中國移動從未來 6G 發展驅動力量為起點，探討未來應用願景，認為驅動力涉及宏觀社會經濟趨勢、未來應用、技術能力、國家與產業策略等不同面向，這些力量都對未來 6G 發展造成程度不一的影響。以下簡要說明：

- 社會面：因應中國社會發展變化，包含中國人口老化造成勞動力人口短缺。都市化加速讓城市資源、環境與公共安全等議題更為複雜。需要下世代通訊技術協助解決全國社會與城市治理等多方面挑戰。
- 服務與情境面：未來各式新興應用發展趨勢具有潛在發展和市場衝擊力量，一方面對現有社會經濟帶來深遠衝擊，另一方面對行動通訊技術需要更為嚴苛的標準。所以因應未來 2030 年可能出現的全息投影、數位雙生、空地網路一體化等新興應用服務，將推動通訊技術進一步升級。
- 技術面：人工智慧、運算能力與材料科學等領域，隨著相關技術領域不斷突破，未來行動通訊將進一步整合各類新興技術，進一步強化並實現過往無法達到的通訊指標，通訊技術不斷整合並升級，具備更強大技術能力。
- 新策略發展面：數位經濟、綠能減碳、資安等趨勢已成為國際共通重視之關鍵議題。此外中國國家政策推動東數西算之國家網路架構布局。強調將東部經濟發達城市所產生的數據儲存、運算需求傳輸至在西部內陸地區建設的資料中心，進而整合全國資通訊基礎建設，藉此平衡中國國內區域發展與全國通訊運算網路架構。
- 5G 經驗：中國移動基於 5G 網路佈建與服務發展的經驗，認為部分設計願景尚未實現仍需持續研究；同時隨著 5G 服務逐步開展，5G 服務與各垂直應用的專屬需求仍需要持續深化整合，進一步促進各領域應用需求發展；最後隨著 5G 網路

布建在多元情境後，衍伸許多實務上的新要求和情境，例如邊緣運算、資安零信任概念與網路切片的重要性提升。

中國移動聚焦於影響 6G 技術研發與網路架構的關鍵驅動力，後續轉而重視 6G 技術與網路架構發展方向，以下將介紹中國移動之觀點立場。

(二)、6G 技術與網路架構趨勢

6G 技術願景宏大，需要多領域技術共同研發與整合。對此中國移動提出 6G 網路架構的六大設計理念，後續進一步提出自身立場的 6G 網路架構觀點，稱為三體四層五面架構¹¹⁹。

在六大設計理念方面，分別包含：

- 兼容設計：通訊網路朝 IP 化、雲端化與服務化趨勢，6G 將延續此一趨勢實現前後技術相容。
- 跨域設計：支援 6G 異質接取網路技術、多元異質網路需求，6G 支援不同領域之整合協同。
- 分布設計：6G 網路將從集中式轉向分散自主式，滿足極大規模連結和嚴苛性能需求。
- 內生設計：6G 架構將從外部整合轉向內建設計，將 AI、資安等重要技術在初始階段已列為網路核心設計能力。
- 至簡設計：6G 網路架構將從複雜增量式轉為至簡一體化，呈現一體化系統。
- 雙生設計：6G 網路從純實體網路轉向為實體加虛擬的數位雙生演進路線，實現虛實整合目標。

¹¹⁹ 中國移動（2022），中國移動 6G 網路架構技術白皮書，
<http://221.179.172.81/images/20220622/36941655883996900.pdf>

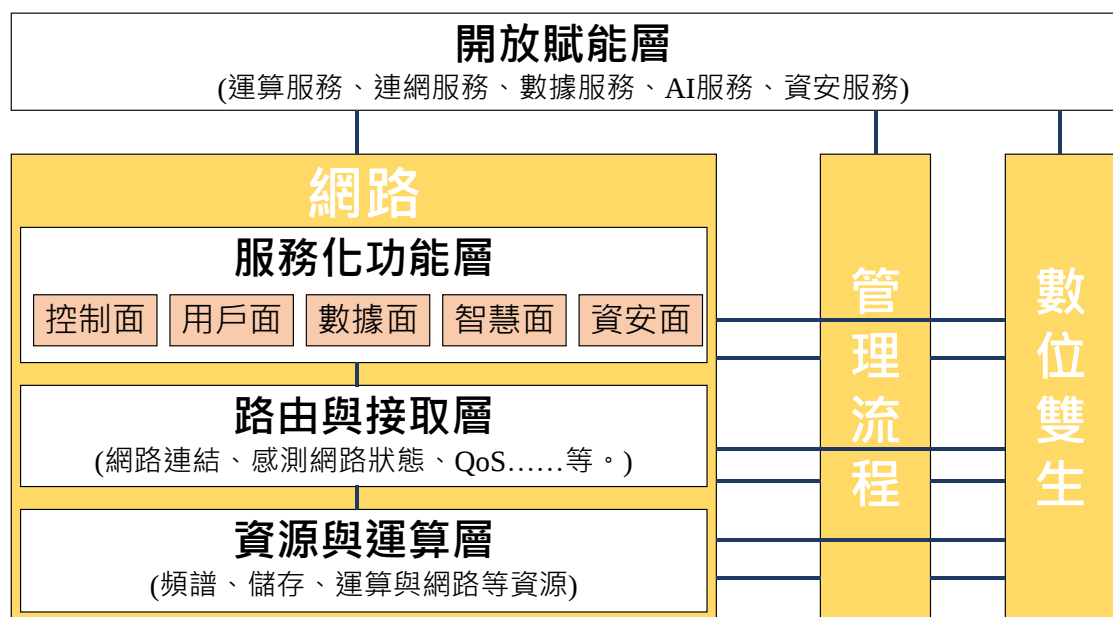


圖 2- 40、中國移動 6G 網路概念之三體四層五面架構

資料來源：中國移動之 6G 網路架構技術白皮書

以下進一步說明中國移動 6G 網路的三體四層五面架構。三體代表 6G 網路架構所關注的三個領域，分別包含網路、管理流程、數位雙生等三領域。

首先、此處網路一詞指傳統意義上的通訊網路實體設備，預計 6G 網路將引入運算能力作為新資源能力，並且持續朝向雲端化、軟體化趨勢，藉此使 6G 網路呈現服務平台的網路發展特性；

其次、管理流程一詞指對網路資源與能力進行智慧化排程管理，不只針對實體網路進行管理，未來也將因應數位雙生，管理對應的虛擬網路資源，符合對新興應用的高適應能力，另外統籌管理通訊資源，藉此實現終端至終端(End-to-End)、智慧化網路願景；

第三、數位雙生一詞為因應未來 6G 發展願景，建立對映實體網路的虛擬通訊網路。未來網路測試、優化、控制與創新試驗等實務需求，可透過數位雙生的虛擬網路進行模擬分析，大幅減少涉及的實體網路設備與施工時程，藉此達到降低成本、縮短執行時程等優點。

中國移動提及的四層分別指資源與運算層、路由與接取層、服務化功能層、開放賦能層等：

第一、資源與運算層泛指 6G 網路的所有實體網路設備，6G 網路將具備智慧運算能力，並且整合終端、雲端、邊緣運算等各網路節點資源，以運算能力為核心整合網路通訊、運算能力與資料儲存，使通訊網路資源可達到最優化利用。

第二、路由與接取層指 6G 網路中的所有節點，統整所有節點實現整體網路邏輯介面一致化、傳輸路徑最優化與動態性。

第三、服務化功能層為延續 5G 開始的服務導向架構（Service-Based Architecture, SBA），支援 6G 網路各層面的靈活組合與獨立運作。

第四、開放賦能層透過整合下層通訊資源能力，進一步以應用程式介面（Application Programming Interface, API）等方式有效開放通訊網路所具備的通訊、數據處理與資安等服務能力，提供電信業者自身和第三方業者更強大能力。

最後五面為控制面、用戶面、數據面、智慧面及資安面：

控制面：邁向全服務導向架構，有效實現跨域融合、靈活控制目標，有效整合異質網路架構與多元接取技術的整合與控制；多維感知、精準控制目標希望結合感測能力、人工智慧能力實現通訊網路自動化且更精確控制。

用戶面：透過可程式化、服務化與跨域融合等目標，實現通訊網路靈活與效能展現。

數據面：6G 期望針對用戶數據進一步建立更高效能、系統化的完整管理功能，包含儲存、傳輸、隱私與資安等方面，最終實現多元數據加值服務。

智慧面：透過通訊網路架構的分散式智慧節點，一方面提供在地、區域的節點 AI 運算能力。另一方面透過網路協同整合各節點能力，提供整體全面性 AI 智慧能力。

資安面：基於 6G 網路內各項資安能力，運用 AI 技術實現主動、智慧、彈性與高效率的資安系統，強化既有資安能力並衍伸主動防護、整合服務等目標。

五、 Orange

(一)、6G 願景與應用

法國電信業者 Orange 公司分享¹²⁰對於未來 2030 年 6G 的需求，Orange 認為未來 2030 年的世界將著重在安全、彈性、環境與經濟永續面向，因應氣候變遷、生物多樣性危機、全球人口爆炸出現教育與醫療普及化需求、人口老化的醫療照護、更高效率的產業發展、永續發展、以及面臨重大危機的韌性、安全、隱私、自主性和平等。

Orange 願景為在 2030 年實現應用 6G 以安全、彈性、環境與經濟永續方式為社會創造價值。而未來 6G 研發大致可分為三階段，首先須了解 2030 年與後續的未來服務需求；其次則為研發改進目前技術水準的新技術；第三則為融合不同技術領域，建構一整套的行動通信網路。目前正處於第一、第二階段，而新服務需求會刺激研究方向，另一方面技術性能的提升也會帶動新需求誕生。預計 2023 年將先行完成第三階段的基本需求與目標：

- 2023 年：初步設計目標與需求，瞭解重點服務與所需技術能力。
- 2025 年：開始標準化，討論全球服務需求、架構、介面與協定等。
- 2028 年：預計 6G 標準公告（尚未確定）。
- 2030 年：開始商業布建、商業化。

¹²⁰ Orange (2022), Oranges Vision of 6G, <https://hellofuture.orange.com/app/uploads/2022/03/White-Paper-%E2%80%93-Oranges-vision-for-6G-%E2%80%93-March-2022.pdf>

Orange 後續提出幾項重要潛在 6G 應用案例：

1. 沉浸式體驗

近年視訊使用率大幅提升，已成為工作和教育的關鍵工具之一。5G 導入擴增實境(Augmented Reality, AR)、虛擬實境(Virtual Reality, VR)和延伸實境(X-reality, XR) 技術。6G 技術將提升未來視訊體驗為完全沉浸式，在遠端的用戶可透過以上方式連結至其他空間環境並感到身臨其境。Orange 認為沉浸式體驗能為人類與社會帶來龐大價值，避免不必要的運輸、改善遠距教學與學習設施、強化遠距醫療、廣泛接觸多元文化(沉浸式博物館、遠程參與活動等)，6G 不僅能提升服務質量更能降低成本，進而實現進用服務的公開民主化。

2. 數位雙生

數位雙生是現實物體的數位複製品，可透過數位化優勢進行事先模擬與最優化分析，進而提升效率與預先因應未來可能發生之問題。而 5G 可協助收集確保數位雙生與對應實體之間同步所需之數據。6G 具備維持複雜架構下強化精確圖像之功能，提供物理實體與數位版本之間的即時同步，6G 具備促進數位雙生發展、增加普及化的可能性。

3. 機器人與自動系統

5G 具備可靠性與低延遲之優點，切入工廠、機器人、自主系統與無人機等案例，5G 擴展至消費者與垂直市場，成為解決嚴苛應用條件之可行性方案之一。6G 預計延續此趨勢並持續規模化及優化，因應廣泛使用後產生的複雜與限制；此外機器人應用將從工業用延伸至協作型機器人，機器人將與人類共同進行工作，擴展至一般日常生活中，協助解決危險環境、人力缺乏問題。

4. 電子醫療

6G 透過沉浸式體驗、數位雙生等應用情境，即時地與缺乏醫療設施服務的地區進行遠距看診、甚至監控身體生理資訊，進而促進電子醫療服務發展，推動多樣化服務。

(二)、6G 技術與網路架構趨勢

Orange 認為 6G 技術仍由社會、經濟價值所推動，並且需要獲得市場支持，同時參考從 5G 發展中獲得的經驗。而歐盟 Hexa-X 計畫探討目前最重要的需求議題，採取由上而下方式，從需求推導出關鍵技術標準，基於關鍵價值指標（Key Value Indicators, KVI）確認與核心價值相關之需求，進而透過關鍵績效指標（Key Performance Indicators, KPIs）促進實現價值目標。Orange 參考 Hexa-X 的 KPI、KVI 與技術藍圖。

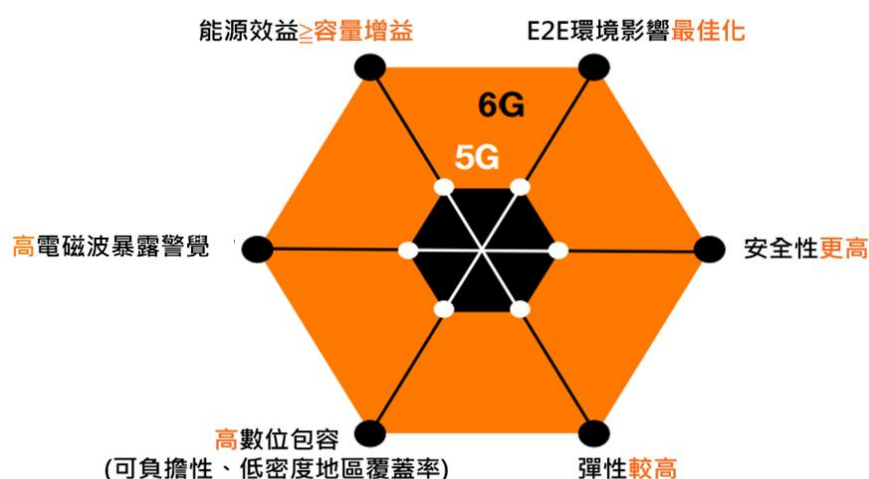


圖 2- 41、Orange 觀點下的 6G 技術需求示意圖

資料來源：Orange 之 Oranges Vision of 6G 白皮書

1. 高能源效益：6G 將提供更多的網路容量，設計時考量降低每傳輸單位（bit）以及每覆蓋區域所消耗的能源，6G 具備的能源效率至少需要與容量增加量成正比，進而避免整體網路能量消耗的大幅增加。
2. 環境影響最佳化：不只 6G 網路營運產生的耗能，網路對外界環境造成的影響也需降至最低，包括網路設備、終端製造過程的資源消耗，以及從製造到報廢的生命週期所排放的二氧化碳。

3. 高彈性、安全性與隱私：6G 設計應確保整體系統的高彈性、安全性與隱私。提升總體保護水準減輕潛在的故障風險，甚至具備區域自動化管理網路能力。6G 技術應為建立可信賴網路作出貢獻，確保跨多方基礎設施的安全性、隱私度和數據可用性。

4. 數位包容：以經濟面而言，電信業者在人口稀少、偏遠地區的網路布建投資較難獲得利益，因此 6G 應協助解決上述問題，透過使用較便宜的無線電臺、擴展無線電臺覆蓋範圍使電臺數量最少化、使用額外低頻段或依靠非地面網路(NTN)，減少每平方公里覆蓋範圍之建設成本，實現通訊普及服務之目標。

5. 電磁波暴露警覺：擴展網路容量雖可利用額外的頻段來增加傳輸量，但使用額外頻段會增加傳輸功率，增加暴露於電磁場（EMF）的風險，因此必須嚴守 EMF 暴露的規範。目前行動通訊 EMF 暴露量遠低於國際非電離輻射防護委員會（International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP）所建議的數據值，然而嚴格限制未來可能會影響無線網路容量擴張。在嚴格受限區域無法使用新頻段或採降低發射功率方式，導致覆蓋範圍降低。Orange 認為 6G 必須考量到這一點，警覺 EMF 暴露同時在不增加 EMF 的情況下增加使用頻段與擴張網路容量。

Orange 並未提出完整的 6G 網路技術與系統架構，而是提出技術研發可以重視的幾項潛在研發目標。

- 監測能源使用情況，評估對環境影響：6G 技術設備整個生命週期都須思考對環境的影響。
- 零負載時不消耗瓦特：具備依據實際網路負載動態調整網路耗能。
- 延長設備使用壽命：設備硬體可維修、回收；軟體可模組化再更新。
- 擴大與優化資源共享：6G 應改善業者之間的網路資源和基礎設施共享。

- 整合所有接入網路類型以充分利用其功能：兼具整合異質網路技術能力，提升 6G 網路的彈性。
- 信賴度高的 6G 網路：運用加密運算、資安硬體、安全與隱私級別協議題生網路可信賴度。
- 6G 設計為雲端原生 (cloud native)：5G 引入網路雲端化、邊緣運算和解構式網路概念，顛覆網路不見及營運方式，6G 會延續 5G 經驗並加以升級。
- 6G 設計以 AI 為中心：AI 將在 6G 網路營運的所有階段提供效益，甚至在物理層處理信號。未來可提升網路基礎設施和終端的用戶處理效率，同時提升效能。

最後、展望未來 Orange 提出自身關注的 6G 重點技術，分別為新興頻段與頻譜共享技術、運用無線電進行感測與成像、光通信系統、衛星與高空平台(HAPs)，以及 Orange 投入研發的可重構智慧表面技術 (RIS)；零耗能設備 (Zero-Energy Device, ZED) 研發。

首先 Orange 與國際研究趨勢一致，同樣關注 RIS 技術研發，並且認為 RIS 具有降低成本和能耗的潛力，其潛在應用、設計方法以及成本耗能評估仍處於研究階段，從 RIS 的反射效能、能源效率、成本，最終則是商業化問題。

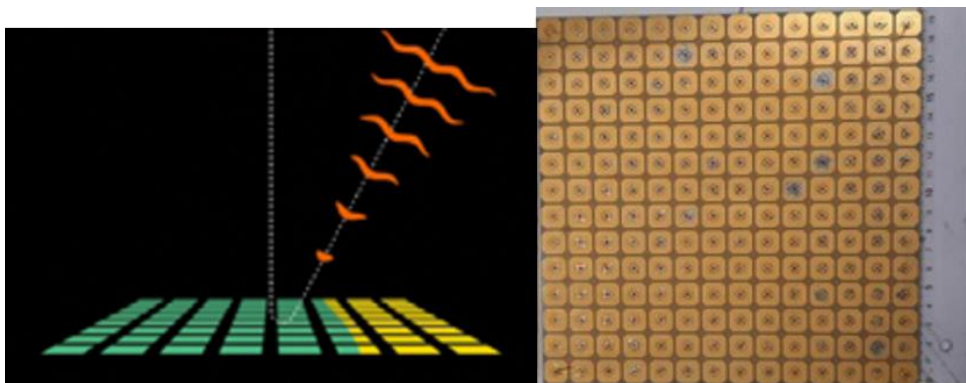


圖 2- 42、RIS 概念圖與 Orange 原型產品

資料來源：Orange 之 Oranges Vision of 6G 白皮書

其次、零耗能設備類似 RIS 相同不會主動發射無線電波，可提供無線連接、減少環境影響並控制 EMF 暴露問題。而 ZED 概念與 RFID 相似，但不需要專屬技術與設備標準，ZED 能從環境中獲取能源，例如使用太陽能電池板。所以此設備有助於實現 6G 的永續性。下圖中，000 為 ZED 設備，透過運用太陽能維持電力。並且可被既有電信業者通訊系統所偵測到。進而運用既有通訊的無線電波，傳遞極低功耗、數據量的資料。

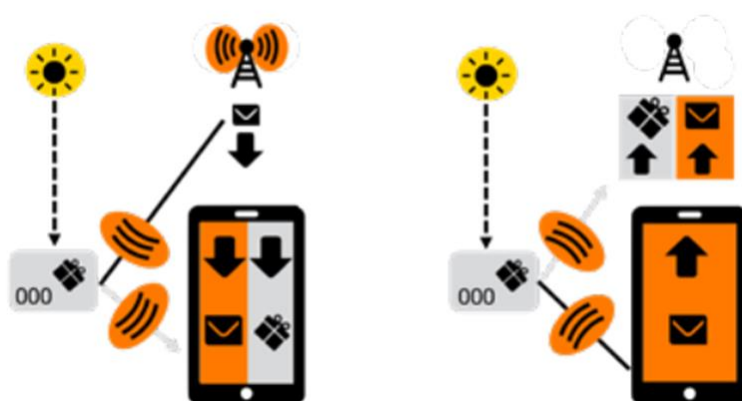


圖 2- 43、可被通訊系統探測之 ZED 概念圖

資料來源：Orange 之 Oranges Vision of 6G 白皮書

Orange 積極於投入解決方案技術研發，但並未公告企業研究現階段成果。而是透過積極參與歐洲各項 6G 技術研發計畫，例如 RISE-6G（2022-2024）與合作夥伴共同進行場域試驗。

六、 我國電信業概況

本計畫蒐研我國中華電信、台灣大哥大、台灣之星、亞太電信及遠傳電信五家電信業者公開資料。五家業者仍以觀察國際 6G 發展趨勢為主，尚無宣示投入 6G 研發與願景計畫，業者皆以 5G 市場開發、商業拓展為近年重點計畫，並持續關注國內電信市場合併案之決議。6G 技術投入以參與國際、國內研討會方式蒐集 6G 情報資訊，並關注 MWC 2023 大會所展示的未來新興應用情境，作為公司未來中長期計畫基礎。

五家電信業者中，以中華電信參與國際組織最多。中華電信參與之組織包含 3GPP、NGMN、O-RAN Alliance 等產業標準組織，並透過臺歐盟計畫參與展望歐洲（Horizon Europe）科學研究架構下的 6G Smart Network and Services (6G SNS)計畫，藉此掌握國際最新趨勢。由於未來 6G 技術預計將整合跨領域技術，具體方向尚未確立，因此中華投入 O-RAN、衛星等相關潛在領域。至於其他四家業者，則較缺乏有關 6G 研發之公開資訊。

第四節、我國現況與小結

一、我國 6G 政策與頻率現況

(一)、我國重點 6G 政策

我國 6G 政策基於行政院在「智慧國家方案（2021-2025）」中，將寬頻服務視為資通訊政策指標與轉型關鍵，在數位基盤發展策略中聚焦於提升 5G、B5G 等先進網路基礎建設。2022 年政府各部門透過專案方式啟動多項研究計畫，以下將聚焦於將在 2023 年啟動，總經費達到 4 億元之「6G 產業發展先期研發計畫」。以下依據經濟部預算書¹²¹內容進行說明：

首先計畫期程與經費方面，6G 產業發展先期研發計畫，全程自 2023 年至 2026 年止，技術處總經費預估編列 437,332 千元，2023 年經費編列 109,333 千元，未來尚須編列 327,999 千元。

計畫重點主軸為 6G 離型系統先期研發、優勢技術選題及國際合作布局。計畫其他分項包含跨部會合作之國際組織參與、頻譜整備及跨領域應用與資安等子項目。並於計畫內透過成立公部門連結小組作為各分項橫向聯繫管道、產研諮詢工作小組扮演彙集各界意見之平台，藉此促進產研於國際布局與離型系統之先期合作分工，引導與協助產業界參與 6G 離型系統產研合作。

整體計畫重要時間點分別為以 2025 年完成 6G 離型系統、2028 年啟用 6G 商用試驗網路之目標。

(二)、我國 6G 潛在頻段現況

在 7-24GHz 頻段方面，參考本計畫研析之重點國家立場，以下針對 WRC-23 大會 IMT 頻段議題 6GHz 與 10-10.5GHz、我國自主衛星使用頻段進行介紹，探討未來潛在之干擾問題。

¹²¹ 經濟部（2022），112 年度經濟部單位預算案，
https://www.moea.gov.tw/mns/populace/information/Information.aspx?kind=04&menu_id=1429&info_id=1338

我國頻率分配表在 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段，依循國際分配內容。同時存在固定、衛星固定以及其他既有服務使用。並且與國際趨勢相似，行動服務並非頻段唯一主要服務，因此頻率整備必須兼顧其他既有服務之使用權益。

表 2- 12、ITU 與我國在 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段分配現況

第一區	第二區	第三區	我國
5925-6700 MHz 固定 固定衛星上鏈(Earth-to-space) 行動			5925.0000 - 6700.0000 固定（主） 衛星固定（地球對太空（主） 行動（主）
6700-7075 MHz 固定 固定衛星上下鏈 (Earth-to-space) (space-to-Earth) 行動			6700.0000 - 7075.0000 固定（主） 衛星固定（地球對太空）（太空對地球）（主） 行動（主）
7075-7145MHz 固定 行動			7075.0000 - 7145.0000 固定（主） 行動（主）
第一區	第二區	第三區	我國
10-10.4 GHz 地球探測衛星 固定 行動 無線電定位 業餘	10-10.4 GHz 地球探測衛星 無線電定位 業餘	10-10.4 GHz 地球探測衛星 固定 行動 無線電定位 業餘	10.0000 - 10.4000 衛星地球探測（主動式（主） 固定（主） 行動（主） 無線電定位（主） 業餘（次）
10.4-10.45 GHz 固定 行動 無線電定位 業餘	10.4-10.45 GHz 無線電定位 業餘	10.4-10.45 GHz 固定 行動 無線電定位 業餘	10.4000 - 10.4500 固定（主） 行動（主） 無線電定位（主） 業餘（次）
10.45-10.5 GHz 無線電定位 (RADIOLOCATION) 業餘 業餘衛星(Amateur-satellite)			10.4500 - 10.5000 無線電定位（主） 業餘（次） 衛星業餘（次）

資料來源：ITU 無線電規則、中華民國無線電頻率分配表

考量歐盟必須顧及哥白尼衛星系統使用頻段，本計畫蒐研目前公開的我國衛星使用頻段。我國衛星皆以科學研究為主，監測大氣、海洋與陸地環境。並且多以光學、接收導航衛星電波訊號等方式進行環境監控，這點與哥白尼衛星系統發射無線電波監測的方式不同，因而出現干擾疑慮較低，然而其中合成孔徑雷達衛星星系計畫欠缺最新資料，僅掌握原訂計畫使用 9.6GHz 頻段，值得未來持續關注。

表 2- 13、我國自主衛星計畫現況與使用頻段

衛星	衛星現況	使用頻段	補充說明
B5G 低軌衛星計畫	預定 2025 年發射試驗衛星	S-Band(衛星控制) Ku/Ka-band(通訊) L-Band(與同步衛星傳輸)	由太空中心與工研院合作。 僅依公開資訊說明，計畫仍可能調整。
福爾摩沙衛星八號	預定 2024 年發射第一顆	X-band (7-8GHz)	光學遙測衛星
獵風者衛星	預定 2023 年發射	S-band(2-4GHz)	海洋環境監測，接收海面反射之導航衛星電波訊號進行監測。
福爾摩沙衛星七號	運作中	S-band(2-4GHz)	大氣環境監測，接受導航衛星電波訊號在大氣層傳輸出現的變化，判斷大氣層特性。
福爾摩沙衛星五號	運作中	S-Band(衛星控制) X-band(影像傳輸)	光學遙測衛星
立方衛星	玉山、飛鼠衛星任務結束(堅果衛星於 2022 年 11/27 發射升空)	UHF(約 435MHz)、 VHF(約 145MHz) 業餘衛星頻段； S-band(2-4GHz)	學術試驗

資料來源：太空中心；本計畫整理

二、國際 6G 觀測小結

(一)、國際組織

在國際組織 6G 觀測方面，本計畫共蒐研國際電信聯合會、亞太地區電信組織、3GPP、GSMA、次世代行動網路聯盟、Next G 聯盟、6G 旗艦計畫等七大國際通訊領域組織，可分為政策領域、產業領域及學術單位等三大組織類型，各組織重點略有不同。

表 2- 14、國際組織 6G 趨勢觀測彙整表

國際組織	類型	關注重心	6G 發展概況
國際電信聯合會	政府	全球共通標準	● 制定 IMT-2030 願景。 ● 推動通訊領域標準研究。 ● 協調國際頻譜、監理制度。
亞太地區電信組織	政府	區域共通標準	● 調查會員國現況。 ● 協調成員意見、表達區域立場。
3GPP	產業	技術標準	● 持續研發無線通信技術標準。 ● 表達聯盟成員立場。
GSMA	產業	頻譜與產業發展	● 關注國際產業、市場與頻譜趨勢。 ● 表達行動產業成員立場。
次世代行動網路聯盟	產業	產業發展	● 關注國際發展趨勢。 ● 表達聯盟成員立場。
Next G 聯盟	產業	產業發展	● 推動北美地區技術研發。 ● 表達聯盟成員立場。
6G 旗艦計畫	學研	技術研發	● 促進國際研發合作。 ● 推動關鍵技術研發。 ● 發表研究成果。

資料來源：本計畫整理

(二)、重點國家

在重點國家 6G 觀測，明顯呈現各國差異。僅有日本、韓國與中國制定國家政策目標與計畫；在 6G 潛在頻譜方面，Sub-THz 頻段各國仍列為實驗頻段；在 10-10.5 GHz 頻段，除了第一區表達反對立場，其他區域與國家支持 ITU-R 進行和諧共存研析；多數國家 5925-6425 MHz 已確定供免執照使用。但 6425-7125 MHz 則是仍待 WRC-23 大會決議。最後除 WRC-23 議題頻段，仍有其他 6G 候選頻段，例如美國諮詢 12.7GHz 頻段，值得長期關注國際趨勢。

表 2- 15、重點國家潛在 6G 政策與頻譜立場

國家	6G 政策 /組織	6G 頻譜			
		Sub-THz	7-24 GHz 議題(WRC-23 大會)		其他
			6 GHz	10-10.5 GHz	
歐盟	無	100 GHz 以下頻段 提供約 12 GHz 頻寬	●5945-6425 MHz 供免執照 ●(未定)6425-7125 MHz 供 IMT	反對作為 IMT 頻段	-
英國	無	●116-122 GHz ●174.8-182 GHz ●185-190 GHz	●5925-6425 MHz 供免執照 ●(未定)6425-7125 MHz 供 IMT	反對作為 IMT 頻段	-
美國	無	95 GHz 至 3 THz	●5925-7125 MHz 供免執照 ●(未定)支持 6425-7125 MHz 免 執照行動服務(必須保護既有 服務)	支持 ITU-R 進 行 IMT 和諧研 究	FCC 主席建議 (7-16 GHz)； 12.7GHz 頻段 (12.7 - 13.25 GHz)
日本	Beyond 5G 推進 戰略	●92-100 GHz ●152-164 GHz ●287.5-312.5 GHz	●5925-6425 MHz 供免執照 ●(未定)6425-7125 MHz 供 IMT	支持 ITU-R 進 行 IMT 和諧研 究	-
韓國	6G 研發 行動計 畫	100-300 GHz 頻段	●5925-7125 MHz 供免執照 ●(未公告)6425-7125 MHz 供 IMT	(保密未公告)	KFC 系統仍在 研發，2023 年 後較為明確
中國	IMT- 2030 (6G) 推進組	●0.1-10 THz ●可見光(400~800 THz)	●5925-6425 MHz 支持作為 IMT ●6425- 7125 MHz 提案作為 IMT	支持 ITU-R 進 行 IMT 和諧研 究	5925-6125 MHz 供專網 使用

資料來源：本計畫整理

在重點國家方面，多數釋出毫米波頻段，然而電信業者具體商用化卻相對模糊且公開資料有限。僅少數投入 6G 相關技術研發。

表 2- 16、重點國家 26/28 GHz 頻段商業化概況

國家	頻段	商業應用
歐盟	24.25-27.5 GHz (釋出約 1 GHz 頻寬)	各會員國自主決定
英國	26.5-27.5 GHz	無(非 IMT 使用)
美國	27.5 -28.35 GHz	行動通訊 固定無線接取(FWA)
日本	27.0-28.2 GHz、29.1-29.5 GHz(行動通訊)	行動通訊(業者投入 6G 的 RIS 研發) 企業專網
	28.2-29.1 GHz (Local 5G)	
韓國	26.5-28.9 GHz (行動通訊)	行動通訊(KT、LU+已被撤照；SKT 縮短為 6 個月臨時執照) 企業專網
	28.9-29.5 GHz (專網)	
中國	24.75-27.5 GHz	企業專網(24.75 - 25.15 GHz)

資料來源：本計畫整理

本計畫整理 Orange、NTT DoCoMo、KDDI、中國移動等業者白皮書。業者關注影響營運之網路、應用服務、價值影響等面向。

表 2- 17、本計畫研析之重點電信業者 6G 願景概況

重點面向	議題	補充說明
網路演進	簡化	網路架構過於複雜，追求簡化與平台化。
	整合	整合多元異質技術，AI、衛星與材料科學等多領域
應用發展	虛實整合	虛擬世界與現實世界整合
	智慧化	深度運用 AI 技術，實現智慧化應用和營運。
服務價值與 影響	環境	重視環境永續性
	社會經濟	重視解決社會議題、刺激新興經濟價值
	安全信賴	個人隱私、資訊安全議題備受重視。

資料來源：本計畫整理

第三章、既有使用者使用狀態與干擾評估

第一節、6 GHz 既有使用情況盤點作業

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服務、固定衛星服務、行動通信等服務使用，我國除前述服務使用外，亦分配 6336 MHz 至 7920 MHz 頻段給予超寬頻（Ultra Wide Band, UWB）技術之低功率射頻電機所使用。

本團隊於 111 年 8 月 5 日至 111 年 8 月 12 日，進行我國 6 GHz 既有使用情況盤點調查。經調查合計有 14 個單位用於固定微波服務系統；7 個單位用於固定衛星服務系統，如表 3- 1。其中移動臺為不特定位置之設備，經調查其設備使用狀況，由於架設天線難度高、後端線路接續複雜、設備老舊維護不易等因素，對於業者的移動傳輸需求已被當前行動通訊網路服務所取代。

表 3- 1、既有站臺電調查結果

系統	使用單位	固定臺	移動臺
固定微波服務	中國電視事業股份有限公司	11	2
	中國廣播股份有限公司	3	0
	中華電信股份有限公司	131	0
	內政部警政署	137	0
	台灣大哥大股份有限公司	4	0
	台灣電力股份有限公司	74	0
	民間全民電視股份有限公司	13	0
	交通部民用航空局飛航服務總臺	2	0
	財團法人中央廣播電臺	10	0
	財團法人公共電視文化事業基金會	23	0
	經濟部水利署第十河川局	7	0
	經濟部水利署第五河川局	5	0
	臺灣電視事業股份有限公司	16	1
	遠傳電信股份有限公司	2	0
固定衛星服務 (上鏈)	中央氣象局	5	0
	中華電信股份有限公司	1	0
	水土保持局	18	3
	台亞衛星通訊股份有限公司	1	0

系統	使用單位	固定臺	移動臺
	台灣電力股份有限公司	4	0
	侑瑋衛星通訊股份有限公司	2	0
	國防部心理作戰大隊(漢聲廣播電臺)	1	0

資料來源：本計畫整理

一、固定微波服務

其涵蓋範圍包含廣播、電信及政府機關等單位，申設固定臺有 438 處，其中亦包含未來配合警政署與消防署移頻計畫所使用的頻段（預計 113 年前完成），如圖 3- 1 所示，經資料收集亦僅有內政部警政署將部分微波鏈路移頻至 L6 頻段上，包含 137 座電臺 92 條鏈路。

依據中華民國統計資訊網 111 年 9 月人口密度之資訊，人口密度為每平方公里 641 人，並參照電信事業普及服務管理辦法對偏遠地區（低於全國平均人口密度的五分之一）之定義，經調查多達 45% 電臺座落在高於全國平均人口密度之區域中如圖 3- 2，因此對於未來 6 GHz 免授權頻段裝置之布署，需考量高密度人口區域類型是否帶來較多之干擾可能。



圖 3- 1、警消移頻規劃架構圖

資料來源：警消微波網路系統移頻計畫

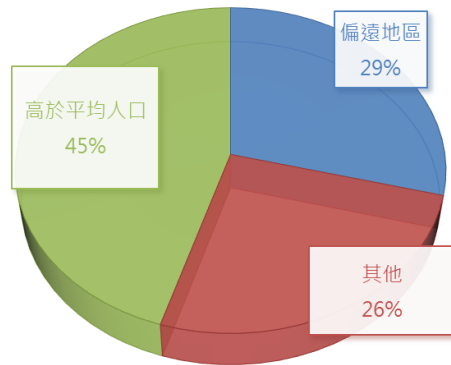


圖 3-2、固定微波服務電臺位置人口分布

資料來源：本計畫整理

進一步分析固定微波服務鏈路，統計其空間中鏈路傳輸數量，並針對每條鏈路中使用頻率進行剖析，以了解通道中頻率與頻寬使用狀況。經整理統計，固定微波服務使用鏈路達 328 條，其中單向鏈路僅 17 條，而單向鏈路主要為廣播單位所採用，使用目的是站臺間的資訊傳遞，無需雙向大量傳輸交換。進一步分析 328 條鏈路，30 公里以下的傳輸距離約 80%，最遠傳輸距離為臺灣本島到金門，如圖 3-3。

由各鏈路上的頻率使用統計結果分析，使用於 L6 (5925 MHz 至 6425 MHz) 頻段有 578 個；U6 (6425 MHz 至 7125MHz) 頻段有 341 個，針對鏈路上每個頻率所使用頻寬數量統計如圖 3-4 與圖 3-5 所示。如圖表中所示，L6 頻段主要使用者為電信業者與警政單位，且 63% 使用頻寬大於 28MHz，U6 頻段使用頻寬主要以 10MHz 為主，佔全部約 42%。

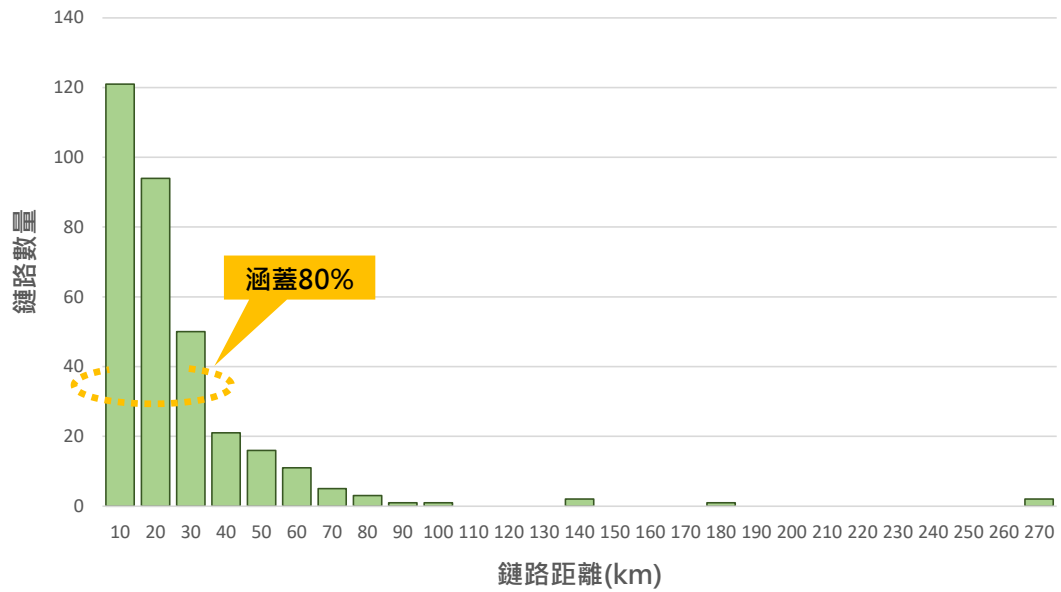


圖 3-3、固定微波服務鏈路傳輸距離統計

資料來源：本計畫整理

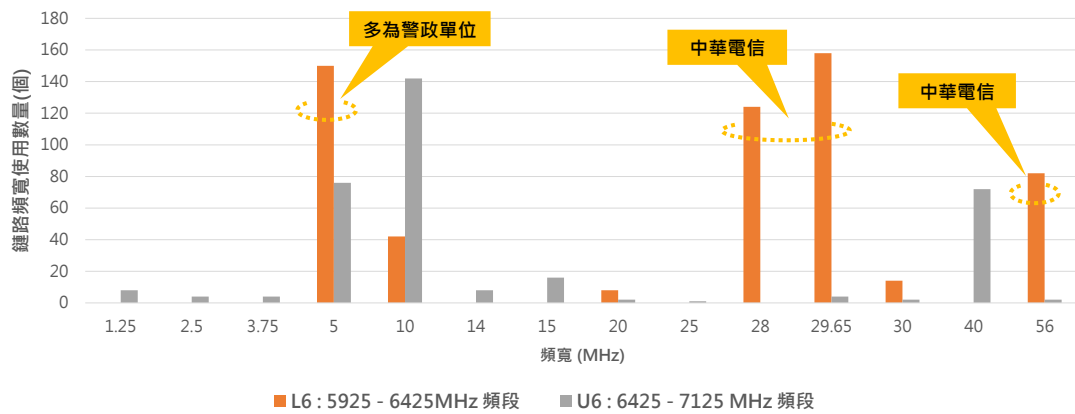
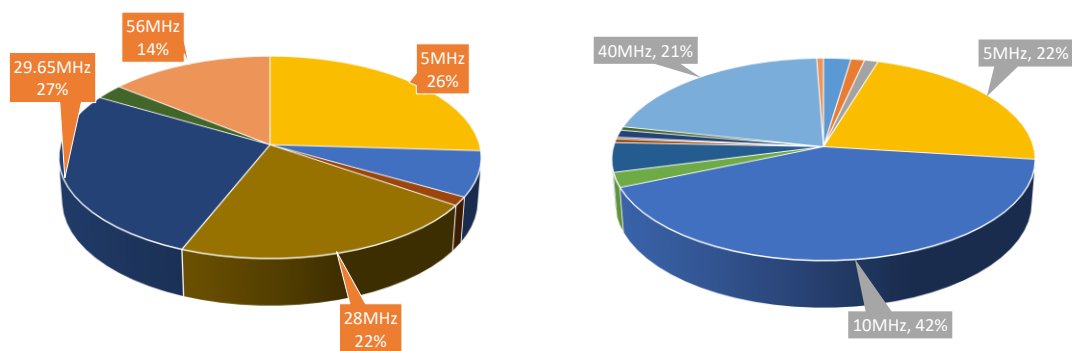


圖 3-4、固定微波服務鏈路頻寬使用統計

資料來源：本計畫整理



L6 頻段中頻寬使用占比

U6 頻段中頻寬使用占比

圖 3- 5、固定微波服務鏈路各頻段頻寬使用占比

資料來源：本計畫整理

二、 固定衛星服務

使用單位涵蓋衛星通訊企業、廣播、電信與政府機關等 7 個單位，申設固定臺地址僅 32 處，使用衛星上鏈服務僅 AsiaSat-4、AsiaSat-5、APT-5C 與 ST-2。在整體 6 GHz 既有電臺中，將各鏈路使用頻寬予以加總比較，可見在固定衛星服務中，頻寬使用占比僅 1%。對於固定衛星服務上鏈頻寬之使用情形如圖 3-6 所示，其中政府機關的通訊使用都乘載於 ST-2 衛星上，平均使用頻寬約 1.9 MHz。

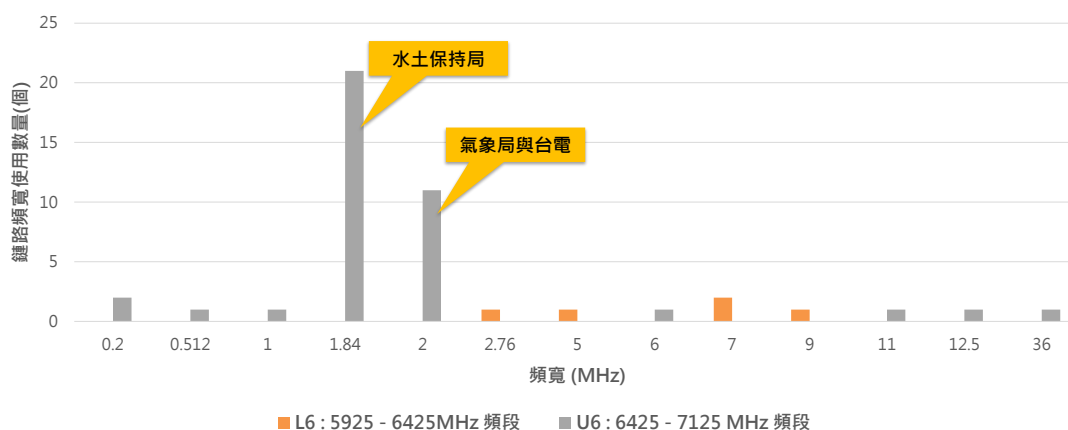


圖 3- 6、固定衛星服務鏈路中頻寬使用統計

資料來源：本計畫整理

第二節、主要國家 6 GHz 免執照頻段技術規範研析

免執照頻段裝置目前在美國與歐盟皆具有相對明確之規範，兩大市場相關資通產品出貨量，在全球市場佔有很高出貨比例，因此針對此兩大市場之技術規範進行詳細分析，並與其他國家開放政策進行比較說明。

一、美國 6 GHz 開放頻段技術規範

依據美國 FCC 47 CFR Part 15.407 所開放的 1200 MHz 頻段，涵蓋免執照資訊基礎建設頻段，U-NII-5（5925 MHz 至 6425 MHz）、U-NII-6（6425 MHz 至 6525 MHz）、U-NII-7（6525 MHz 至 6875 MHz）和 U-NII-8（6875 MHz 至 7125 MHz），相關技術規範如下：

1. 功率限制

- A. 操作於 5925 MHz 至 6425 MHz 以及 6525 MHz 至 6875 MHz 內的標準功率存取裝置（Standard-Power AP）和固定式用戶端裝置（Fixed Client），其最大功率頻譜密度（Power Spectral Density, PSD）EIRP 不得超過 23 dBm/MHz。此外於所操作頻段通道功率，EIRP 亦不能超過 36 dBm。對於室外裝置，限制其裝置之 EIRP 發射功率，於高於天線水平仰角 30 度以上不得超過 21 dBm。
- B. 操作於 5925 MHz 至 7125 MHz 的室內存取裝置（Indoor access point），其最大 PSD EIRP 不得超過 5 dBm/MHz。此外於所操作頻段通道功率，EIRP 亦不能超過 30 dBm。
- C. 操作於 5925 MHz 至 7125 MHz 的從屬裝置（subordinate device），其最大 PSD EIRP 不得超過 5dBm/MHz。此外於所操作頻段通道功率，EIRP 亦不能超過 30 dBm。
- D. 連結於標準功率裝置操作於 5925 MHz 至 6425 MHz 以及 6525 MHz 至 6875 MHz 內的用戶端裝置（client devices）中，排除固定式用戶端裝置應遵守上述標準功率無線存

取裝置要求，對於其最大 PSD EIRP 不得超過 17 dBm/MHz。此外於所操作頻段通道功率，EIRP 不能超過 30 dBm，且亦必須比與所連結的標準功率無線存取裝置低至少 6 dB。

- E. 操作於 5925 MHz 至 7125 MHz 並在室內存取裝置控制下之用戶端裝置，其最大 PSD EIRP 不得超過 -1 dBm/MHz。此外於所操作頻段通道功率，EIRP 亦不能超過 24 dBm。
- F. 上述所定義之室內無線存取裝置和從屬裝置，其天線必須是連結集成於裝置上且無法更換。
- G. 5925 MHz 至 7125 MHz 裝置之最大傳輸頻寬可達 320 MHz。

2. 非期望之發射限制

- A. 操作於 5925 MHz 至 7125 MHz 頻段帶外的任何發射不得超過 EIRP -27dBm/MHz。
- B. 操作於 5925 MHz 至 7125 MHz 內的發射，其 PSD 抑制要求於，於發射通道邊緣外 1 MHz 處 ($F_c - EBW/2 - 1$ MHz, $F_c + EBW/2 + 1$ MHz) 必需減少 20 dB；於通道中心外 1 倍通道寬度處 ($F_c - EBW$, $F_c + EBW$) 必需減少 28 dB；於通道中心外 1.5 倍通道寬度處 ($F_c - 1.5 * EBW$, $F_c + 1.5 * EBW$) 必需減少 40 dB。而各抑制處之間的限制採以線性內插法來彌補，其遮罩如圖 3-7 所示。

3. 在沒有發送資訊或操作失敗下，裝置須能自動斷開傳輸。申請者應在申請過程中提出描述該設備如何滿足需求。

4. 對於 6 GHz U-NII 裝置之操作限制

- A. 標準功率存取裝置、固定式用戶端裝置、室內無線存取裝置，於 5925 MHz 至 7125 MHz 禁止操作於石油平臺、汽車、火車、船與飛機。當中室內存取裝置於 5925 MHz 至 6425 MHz，則可被允許操作於飛行高於 10,000 英尺的大型飛機上。

- B. 5925 MHz 至 7125 MHz 禁制用於無人飛機系統控制或通訊上。
 - C. 上述室內存取裝置、從屬裝置和受控於室內存取裝置之用戶端裝置，都僅限於室內使用。
 - D. 於 5925 MHz 至 7125 MHz 之室內存取裝置和從屬裝置，必須在裝置和手冊明顯處標註警語。”FCC 規範本裝置限室內操作使用。並禁止操作於石油平臺、汽車、火車、船與飛機，但允許操作飛行高於 10,000 英尺的大型飛機上”。
 - E. 5925 MHz 至 7125 MHz 之用戶端裝置（不包含固定式用戶端裝置）必須受控於標準功率存取裝置、室內存取裝置或從屬裝置；從屬裝置必須受控於室內存取裝置。在檢測到連接入所需之通道信號時，傳送簡短訊息試圖接入網路，則為受控行為中之例外。無線存取裝置和從屬裝置也許可連結至其他無線存取裝置和從屬裝置上，但禁止用戶端裝置直接連結至另一用戶端裝置上。
 - F. 5925 MHz 至 7125 MHz 之室內存取裝置、從屬裝置和用戶端裝置，必須具備競爭式協定（contention-based protocol）。
5. 自動頻率協調機制系統（以下簡稱 AFC）
- A. 標準功率存取裝置與固定式用戶端裝置，必須經由 AFC 根據所處地理位置，決定其每個頻段範圍中可用頻率與最大允許功率來進行傳輸。
 - B. 針對可使用頻率之功率，在 EIRP 36 dBm 與 21 dBm 之間，AFC 必須要能控制其步階功率變化不超過 3 dB 的能力。
 - C. AFC 必須能從資料庫中，獲取 5925 MHz 至 6425 MHz 以及 6525 MHz 至 6875 MHz 需受保護之系統服務。基於保護機制，並利用此資訊來決定標準功率存取裝置和固定

式用戶端裝置可用頻率。

- D. AFC 必須利用標準功率存取裝置和固定式用戶端裝置，於註冊期間所提供之資訊，進行基於地理位址，公平性給予可用頻率與最大許可功率。
- E. 在標準功率存取裝置與固定式用戶端裝置在進行 AFC 授權接入時，AFC 會從設備認證系統清單中來驗證其 FCC ID 有效性。
- F. 標準功率無線存取裝置和固定式用戶端裝置
 - i. 裝置在初始進行服務傳輸時或者在地理位址改變後，必須向 AFC 註冊並取得授權，並依其位置提供每個頻段範圍中可用頻率清單與最大允許功率來進行傳輸。
 - ii. 向 AFC 註冊時須提供下列參數資訊。經緯度、天線離地高度、FCC ID 與唯一性的產品序號。假如這些參數資訊有任何改變，都需向 AFC 進行更新。而這些資訊都必須真實、完整、正確且不得虛假。
 - iii. 必須提供給 AFC 的資訊，可以單獨直接提供，或藉由一網路單元回報在同一運作網路下多個裝置。向 AFC 註冊可透過任何通訊方式，但不包含利用 5925 MHz 至 6425 MHz 以及 6525 MHz 至 6875 MHz 頻段來進行註冊。
 - iv. 這些裝置每天至少要連結 AFC 一次，基於位置提供每個頻段範圍中，獲取最新可用頻率清單與最大允許功率來進行傳輸。假如裝置於給定的時間無法成功連結至 AFC，其或許還可以持續運作至隔日晚上 11 點 59 分，除非再次重新連結 AFC 並驗證其可用頻率清單與最大允許功率，否則就必須停止運作。
- G. 標準功率無線存取裝置和固定式用戶端裝置地理位址功能。

- i. 裝置必須具備內建地理位址能力，或利用整合方式安全地連結外部地理位址裝置或服務，且自動獲取座標位址，並具備公尺誤差等級的 95%信心水準。在由關機狀況下一啟動時，就必須進行這些座標與位置不確定性的報告上傳至 AFC。
 - ii. 外部地理位址裝置也許透過有線或無線方式與裝置連結，而一部地理位址裝置或許可以提供地理資訊位置給多部裝置所使用。
 - iii. 外部地理位址裝置必須利用安全性來連結，確保僅有受批准的地理位址資訊座標供設備所使用。或者裝置具備地理位址接收器，藉以利用延長電纜來連結遠端接收天線與接收器兩端。
 - iv. 產品在認證申請時，須證明所使用地理位址方法的準確性與位置的不確定性。對於不具備地理位址接收器之裝置，其不確定性必須考慮地理位址裝置與無線裝置之距離的準確性。
- H. 藉由 AFC 保護現有固定微波通訊服務。標準功率無線存取裝置和固定式用戶端裝置，不得干擾授權於 5925 MHz 至 6425 MHz 以及 6525 MHz 至 6875 MHz 的固定微波服務。根據下述標準，AFC 必須建立以位置和頻率為基礎的禁區（相同通道與相鄰通道），於上述固定微波接收站旁。限制這些無線裝置不得操作同頻或鄰頻，於附近固定微波所使用之頻率。
- 傳播模型:依裝置與固定微波服務間之距離，決定合適的傳播模型。
- i. 30 公尺內，AFC 利用自由空間路徑損耗模型來評估。
 - ii. 超過 30 公尺且 1 公里以內，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，同時 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）。

- iii. 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。建物與樹葉造成的雜散效應，可結合 ITU-R P.2108-0 (06/2017) 雜散模型於城市、郊區環境上；或結合 ITU-R P.452-16 (07/2015)於郊區環境上。當採用 ITU-R P.452-16 於局部型態，AFC 應當使用最合適的雜散類型，倘若無法獲取詳細局部資訊，應當採用“Village Centre” 雜散類型。AFC 應盡可能使用精細的數值高程地形資料，對於無法獲取局部地形資訊，則需使用 1 弧秒的數值高程地形資料（約 30 公尺高度精度）。

I. 干擾保護標準

- i. 在所決定同頻禁區大小，AFC 需使用 -6 dB I/N 作為干擾保護標準。I 為裝置同頻於微波接收器的干擾強度；N 微波接收器的背景雜訊強度。
- ii. 在所決定鄰頻禁區大小，AFC 需使用 -6 dB I/N 作為干擾保護標準。I 為裝置鄰頻於微波接收器的帶外干擾強度；N 微波接收器的背景雜訊強度。

- J. 藉由 AFC 保護現有固定衛星通訊服務。處於戶外之標準功率無線存取裝置和固定式用戶端裝置，限制其裝置之

EIRP 發射功率，於高於天線水平仰角 30 度以上不得超過 21 dBm，以保護固定衛星服務。

經研析相關美國 6 GHz U-NII 裝置簡述與功率差異整理如表 3-2 和表 3-3 所示。

表 3-2、美國 6 GHz U-NII 裝置類型簡述

裝置類型	描述
標準功率存取裝置 (Standard-Power AP)	可布建於室內或室外使用，但需由自動頻率協調機制(AFC)授權，授權其裝置啟用可用頻道與功率。倘若安裝於室外，對於裝置天線之 EIRP 發射功率，要求其高於水平仰角 30 度以上不得超過 21 dBm。
連結於標準功率存取裝置之用戶端 (Client connected to Standard-Power)	可用於室內或室外使用，其 EIRP 發射功率必須比所連結的標準功率無線存取裝置低至少 6 dB。
固定式用戶端裝置 (Fixed Client)	連結於標準功率無線存取裝置之室內或室外固定裝置，同樣須具備和標準功率無線存取裝置的要求，如 AFC 和功率限制。
室內功率存取裝置(Indoor AP)	限於室內使用。須由有線電源供電且不得使用電池操作(即不得隨意移動)。天線型式亦需是集成設計於裝置上(即不得更換天線型態)。同時須具備相競式(contention-based)協定機制來保護頻道上既有的使用頻道。
連結於室內功率存取裝置之用戶端 (Indoor Client)	亦須具備相競式協定機制來保護通道上既有使用者。

資料來源：FCC 之 987594 D03 U-NII 6 GHz QA v01，本計畫整理

表 3- 3、美國 6 GHz U-NII 裝置類型功率差異

裝置類型	操作頻段	最大 EIRP (dBm)	最大功率頻譜 密度 EIRP (dBm/MHz)
標準功率存取裝置(受 AFC 控制)	U-NII-5	36	23
連結於標準功率存取裝置 之用戶端	U-NII-7	30	17
室內功率存取裝置	U-NII-5	30	5
連結於室內功率存取裝置 之用戶端	U-NII-6 U-NII-7 U-NII-8	24	-1

資料來源：FCC-20-51，本計畫整理

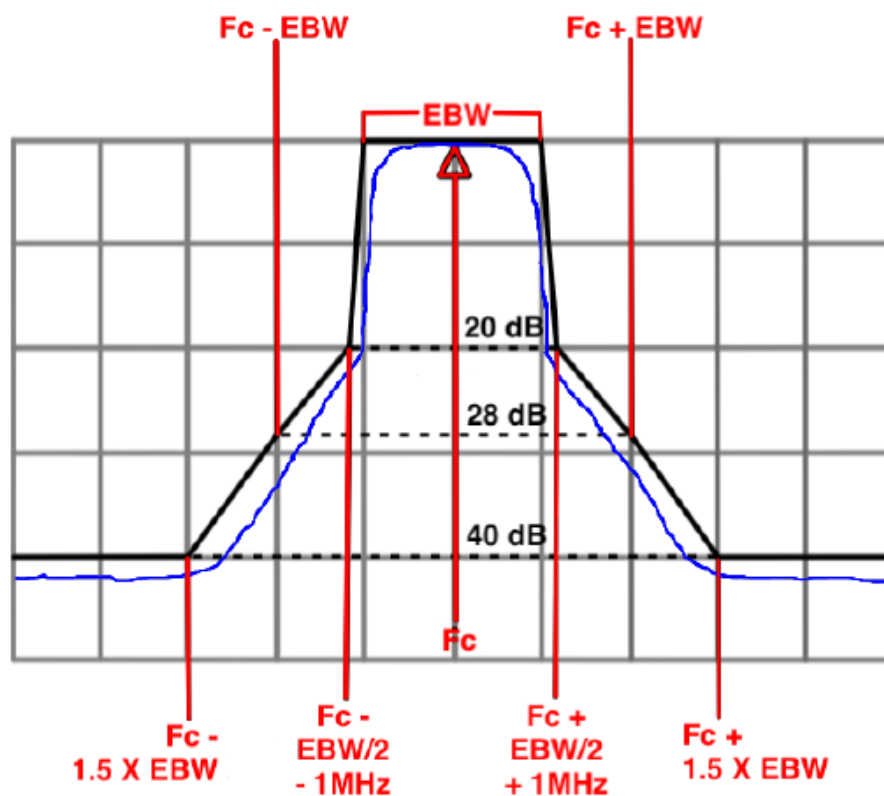


圖 3- 7、美國 6 GHz 頻段之 U-NII 裝置發射遮罩要求

資料來源：987594 D02 U-NII 6 GHz EMC Measurement v01v01

二、 歐盟 6 GHz 開放頻段技術規範

由於歐盟所屬國家分布較廣，既有使用者與系統類型涵蓋較廣，其評估考量與美國有所差異，設備分類也略有不同。ECC Decision (20)01 文件中即說明開放 5945 MHz 至 6425 MHz 頻段提供給包含無線區域網路(Radio Local Area Networks, RLAN)與無線接入系統(Wireless Access Systems, WAS)使用。無線接入系統主要架設於室內與室外特定範圍，而其中一項子分類為寬頻無線區域網路設備，通常架設於建築物內，此類型又可視為無線隨意網路或行動無線接入，其測試技術標準詳列於 EN 303 687 文件內，裝置區分類型依照 CEPT Report 75 可區分如下：

1. 設備類型與使用場合。

- A. 室內低功率(Low Power Indoor, LPI)設備，其最大平均功率為 200 mW 相當於 23 dBm，功率密度則限制於 10 dBm/MHz；不允許室外使用，可用於具有有金屬屏蔽塗層之火車或飛機。
- B. 超低功率(Very Low Power, VLP)設備，最大平均功率為 25 mW 相當於 14 dBm，功率密度則為 1 dBm/MHz，另外具低於 20 MHz 窄頻傳輸，功率密度限制為 10 dBm/MHz；可使用於室內與室外，但禁止使用於無人機系統。

此兩類型設備可以透過集中與非集中式連接，其中多個設備可連接到接入點屬於無線隨意網路通訊，每一個節點都有能力轉送封包。

2. 和諧共用機制研析技術限制。

- A. 頻段限制，依據 EN 303 687v01 頻道規範，中心頻率應保持在 $f_c \pm 0.002\%$ 的誤差範圍內，單獨頻道最小帶寬為 20 MHz，允許多頻操作，依據公式定義如下： $f_c = 5935 + (n_{ch} \times 20) \text{ MHz} \pm f_{c_offset}$ 。此處 n_{ch} 為整數，且 $1 \leq n_{ch} \leq 24$ 其中限制中心頻率須落於 5945 MHz 以上，主要為保護城市軌道智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation

System, ITS) 的正常運行。

- B. 射頻功率限制，必須考慮專用天線以及智慧天線（波束成形）、具有多傳輸鏈系統所附加之增益。在多個（相鄰或非相鄰）頻道的情況下，所有頻道的總射頻輸出功率 EIRP 不得超過下列限制，依據設備使用類型，室內低功率設備為 23 dBm，超低功率設備為 14 dBm。
- C. 頻譜功率密度限制，必須考慮專用天線以及智慧天線（波束成形）、具有多傳輸鏈系統所附加之增益。頻譜功率密度依據設備使用類型區分，不得超過下列限制，室內低功率設備為 10 dBm/MHz，超低功率設備為 1 dBm/MHz，超低功率窄頻設備為 10 dBm/MHz，另外超低功率窄頻帶設備使用於傳輸的佔空比不得超過任何傳輸頻率的 1/15(比如 6 GHz, 必須低於 0.0111 ns 的脈衝信號時間)，且設備需具有至少 15 個跳頻且滿足上述佔空比的跳頻機制。
- D. 發射機之無效發射(帶外、混附發射)限制。
 - i. 若帶寬(N)小於 100 MHz，則帶外發射和混附發射之界線由頻道的中心頻率的 $\pm 250\%$ 帶寬來分隔。
 - ii. 若帶寬(N)大於或等於 100 MHz，則帶外發射、混附發射之界線由頻道的中心頻的 $\pm 150\%$ 帶寬加 100 MHz 來分隔。
 - iii. 帶外發射與混附發射的上下邊界應由 5935 MHz 至 6425 MHz 頻率範圍內根據設備所支持的最高與最低頻道的中心頻率分別計算。這些邊界適用於所有具類似的帶寬之頻道。
 - iv. 低於 5935 MHz 時，室內低功率設備之帶外發射限制為 -22 dBm/MHz，超低功率設備帶外發射限制為低於 5935 之帶外發射限制為 -45 dBm；惟超低功率設備帶外限制值之適當性於 Commission Implementing

Decision (EU) 2021/1067 of 17.6.2021 Table 2, Note 3.

中表明，應於 2024 年 12 月 31 日之前進行審查，在缺乏正當證據的情況下，-37 dBm/MHz 的值應從 2025 年 1 月 1 日起適用。

- v. 大於 6425 MHz 帶外發射限制值適用於一般 EIRP 功率限制遮罩，如下圖 3- 8：

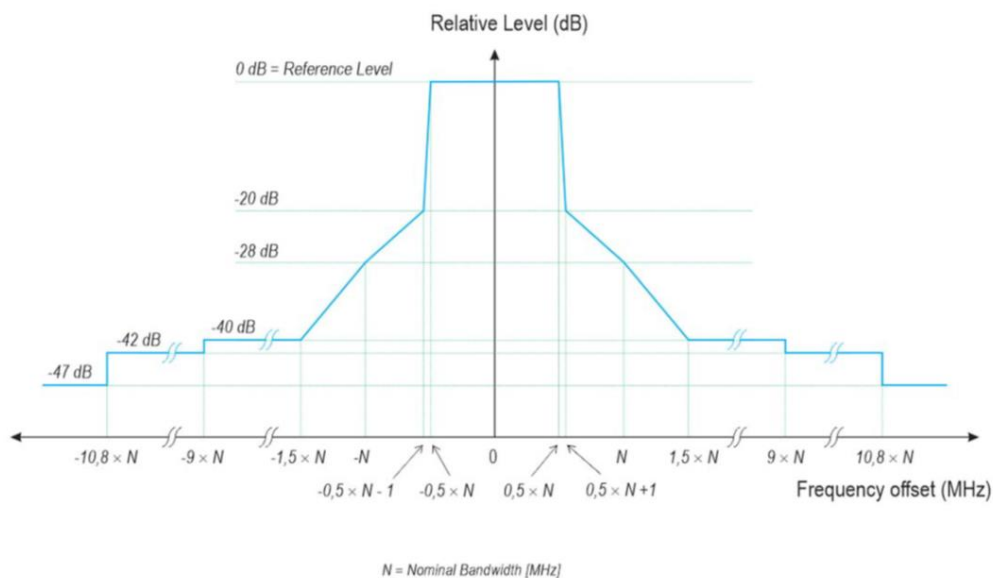


圖 3- 8、歐盟發射頻譜功率遮罩

資料來源：Draft ETSI EN 303 687 V1.0.0

- vi. 混附發射限制限制最大值為-30 dBm/MHz¹²²

E. 相鄰頻道的多頻道操作，頻道邊緣附加遮罩限制¹²³，依據多頻道使用類型區分下列三種附加功率密度遮罩，其餘適用一般使用頻道之遮罩如圖 3- 8。

- i. 情況一，相鄰頻道的最低頻道和/或最高頻道不用於傳輸。需添加如圖 3- 9 所示的附加頻道邊緣遮罩於最低的傳輸的通道較低邊緣、傳輸的最高通道的較高邊緣。M 是在這兩個邊緣之間以 MHz 為單位的間

¹²² 基於 ERC Recommendation 74-01, annex 2, table 6

¹²³ 多頻道操作遮罩規範示例可見於 Draft ETSI EN 303 687 V1.0.0 Annex E

隔。

- ii. 情況二，傳輸的頻道之間有兩個以上未用於傳輸的頻道。需添加如圖 3- 10 所示的附加頻道邊緣遮罩於相鄰頻道組中用於傳輸頻道之上下邊緣。U 是使用於傳輸頻道的總帶寬，鄰近於非使用頻道。
- iii. 情況三，相鄰頻道之間只有一個頻道不用於傳輸。需添加如圖 3- 11 所示的附加頻道邊緣遮罩於鄰近未使用頻道的傳輸頻道組上下邊緣。

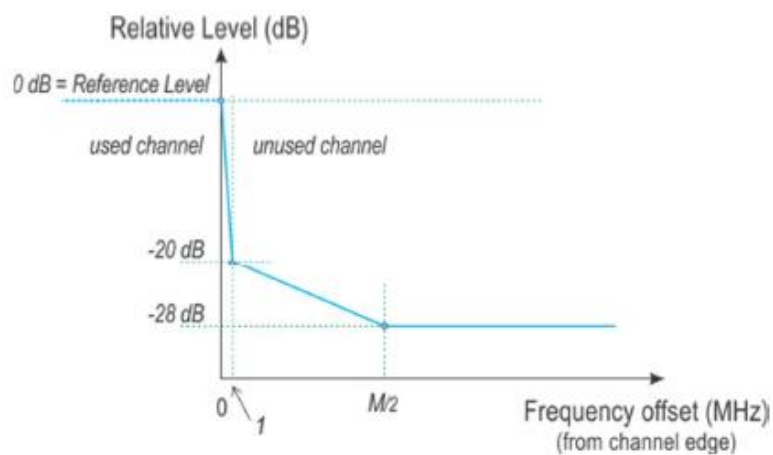


圖 3- 9、頻道邊緣遮罩-情況一

資料來源：Draft ETSI EN 303 687 V1.0.0

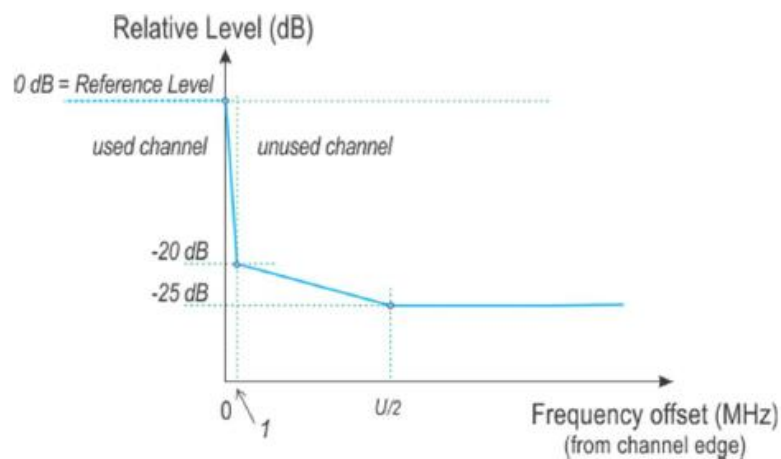


圖 3- 10、頻道邊緣遮罩-情況二

資料來源：Draft ETSI EN 303 687 V1.0.0

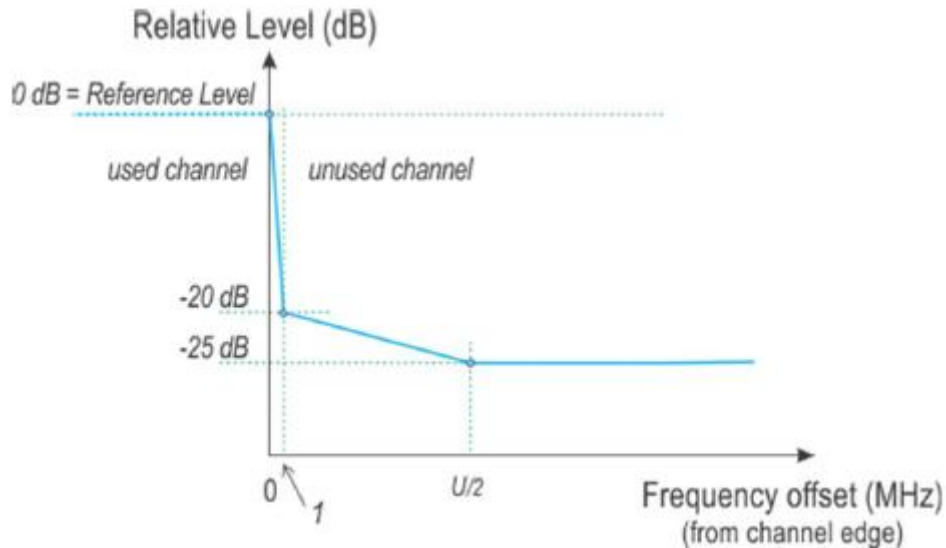


圖 3- 11、頻道邊緣遮罩-情況三

資料來源：Draft ETSI EN 303 687 V1.0.0

F. 接收機之混附發射限制。接收器混覆發射是設備處於接收模式時任何頻率的發射，依據 ERC Recommendation 74-01 規範，限制值為-47 dBm/MHz。

G. 具備頻道接取機制。頻道接取機制是一種自動機制，設備須符合其條件才能接取頻道，其分類可分為基於訊框、基於負載兩類設備，詳細內容。

i. 基於訊框(Frame Based Equipment, FBE)：

實現了基於先聽候送(Listen Before Talk, LBT)的頻道接取機制，檢測通道上存在其他人 WAS/RLAN 傳輸。FBE 是發送/接收結構具有周期性時序的設備，其週期性等於固定訊框週期，且單訊號觀察時隙持續時間應不少於 $9 \mu s$ 。

ii. 基於負載 Load Based Equipment (LBE)：

實現基於先聽候送的頻道接取機制進行檢測頻道上是否存在其他 WAS/RLAN 傳輸。

三、 主要國家開放頻段技術規範比較

由於世界各國針對 6 GHz 頻譜管理衡量的因素與既有使用者狀況略有不同，依據各國研究報告結果大致可區分參考標準近似 FCC 或參考 ETSI 所提出之規範，其開放頻段與設備類別如表 3-4。

由此表可知美國與加拿大已開放標準功率設備於戶外使用，美國保留了 6425 MHz 至 6525 MHz 頻段與 6875 MHz 至 7125 MHz 頻段給廣播輔助服務、有線電視中繼服務等使用者與衛星上鏈；加拿大則是同樣保留了 6875 MHz 至 7125 MHz 頻段給電視轉播等服務。對於同頻既有固定微波服務則是採用了 AFC¹²⁴機制進行保護；對於衛星上鏈保護兩國同樣要求限制 30 度水平仰角以上之功率必須低於 21 dBm。

歐盟則較為保守，保留頻段 6425 MHz 至 7125 MHz 可提供未來 5G/6G IMT 頻譜，並且僅開放超低功率設備於戶外使用，禁止使用於無人機系統；而英國、澳大利亞則是參考 CEPT，頻譜開放由 5925 MHz 至 6425 MHz 共 500 MHz，並且僅開放超低功率設備於戶外使用，保留了 6425 MHz 至 7125 MHz 頻段後續規劃。

臺灣周邊國家目前僅南韓將室內低功率設備開放自 5925 MHz 至 7125 MHz 共 1200 MHz，香港、日本、馬來西亞目前都僅開放 5925 MHz 至 6425 MHz 提供免執照設備使用，並且戶外使用與歐盟採用相同標準，限制於超低功率設備。

表 3-4、各主要國家開放頻段與裝置類別

國家	設備類型	頻段範圍
美國	1. 標準功率接取設備、固定客戶端	5925 MHz ~ 6425 MHz 6525 MHz ~ 6875 MHz
	2. 戶外設備	5925 MHz ~ 6425 MHz 6525 MHz ~ 6875 MHz
	3. 室內接取設備、從屬設備	5925 MHz ~ 7125 MHz
	4. 客戶端裝置	5925 MHz ~ 7125 MHz
歐盟	1. 室內低功率無線接取/無線區域網路、橋接、客戶端設備	5945 MHz ~ 6425 MHz

¹²⁴ March 2021: Wi-Fi Alliance published AFC System to AFC Device Interface Specification V1.0

國家	設備類型	頻段範圍
	(僅限於室內使用，包括在裝有金屬塗層窗戶的火車和飛機上使用。不允許在戶外使用，包括於公路車輛中使用。)	
	2. 超低功率無線接取/無線區域網路便攜式設備 (室內和室外。不允許在無人駕駛飛機系統上使用。)	5945 MHz ~ 6425 MHz
加拿大	1.標準功率無線區域網路設備 (包含室內與室外)	5925 MHz ~ 6875 MHz
	2. 室內低功率無線區域網路設備 (無需頻率協調系統控制)	5925 MHz ~ 7125 MHz
	3. 超低功率無線區域網路設備(無需頻率協調系統控制)	5925 MHz ~ 7125 MHz
南韓	1. 低功率設備，只能使用於室內，禁止使用於車輛	5925 MHz ~ 7125 MHz
	2. 超低功率無線接取/無線區域網路便攜式設備 (室內和室外。不允許在無人駕駛飛機系統上使用。)	5925 MHz ~ 6425 MHz
英國	1. 室內低功率無線接取/無線區域網路設備 (僅限於室內使用，包括在裝有金屬塗層窗戶的火車和飛機上使用。)	5925 MHz ~ 6425 MHz
	2. 超低功率	5925 MHz ~ 6425 MHz
香港	1. 室內低功率設備	5925 MHz ~ 6425 MHz
	2. 超低功率設備，室外與室內	5925 MHz ~ 6425 MHz
日本	1. 室內低功率設備	5925 MHz ~ 6425 MHz
	2. 超低功率設備，室外與室內	5925 MHz ~ 6425 MHz
澳洲	1. 室內低功率設備	5925 MHz ~ 6425 MHz
	2. 超低功率設備	5925 MHz ~ 6425 MHz

資料來源：本計畫整理

表 3- 5、各主要國家低功率開放設備功率限制表

國家	設備類型	最大 EIRP	最大功率密度	帶外發射
美國	室內低功率	30 dBm	5 dBm/MHz 建議 8 dBm/MHz	-27 dBm/MHz
	超低功率(建議)	14 dBm	-8 dBm/MHz 工業要求 1 dBm/MHz	-27 dBm/MHz
加拿大	室內低功率	30 dBm	5 dBm/MHz 建議 8 dBm/MHz	N/A
	超低功率(建議)	14 dBm	-8 dBm/MHz 工業要求 1 dBm/MHz	-37 dBm/MHz
歐洲	室內低功率	23 dBm	10 dBm/MHz	-22 dBm/MHz 低於 5935 MHz
	超低功率	14 dBm	1 dBm/MHz 10 dBm/MHz 窄頻	-45 dBm/MHz 低於 5935 MHz (-37 dBm/MHz 2025 年修改)
南韓	室內低功率	N/A	2 dBm/MHz	-27 dBm/MHz
	超低功率	14 dBm	<20 MHz: 1 dBm/MHz <40 MHz: -2 dBm/MHz <80 MHz: -5 dBm/MHz <160 MHz: -8 dBm/MHz	-34 dBm/MHz
英國	室內低功率	23 dBm	10 dBm/MHz	N/A
	超低功率	14 dBm	1 dBm/MHz	N/A
香港	室內低功率	24 dBm	11 dBm/MHz	N/A
	超低功率	14 dBm	10 dBm/MHz 窄頻	N/A
日本	室內低功率	23 dBm	≤20 MHz:10 dBm/MHz	-26 dBm 低於 20 MHz 頻寬
	超低功率	14 dBm	≤20 MHz:1 dBm/MHz	-36 dBm 低於 20 MHz 頻寬
澳洲	室內低功率	24 dBm	12.5 dBm/MHz	N/A
	超低功率	14 dBm	1.25 dBm/MHz	N/A

資料來源：本計畫整理

對於既有使用者保護機制，歐盟採用降低功率、利用建物損失來減少干擾的風險，有別於美國和加拿大使用了 AFC 機制保護固定微波服務、限制高於水平 30 度指向衛星上鏈功率低於 21 dBm，另外 AFC 可以每步階降低 3 dB，最低降至 21 dBm 來控制標準功率產品。表 3-5 列出了幾個重點國家對於功率限制與帶外功率限制的差異，多數國家均規範低功率產品類別僅能使用於室內或具輻射吸收或屏蔽塗層之運輸設備，目前僅有美國與加拿大具備 AFC 機制、開放標準功率產品，南韓則是發展規劃中。各國對於超低功率產品雖然開放使用於戶外，部分國家如南韓、歐盟亦有明文規定禁止使用於無人機系統。對於免執照無線裝置接取、占用等相關規則各國都採用基於競爭之方式，使用先聽候送，發射前接收無線電波至少 9 μ s 並僅能於接收訊號強度為一定位準以下時才授權發射無線電波，如南韓定於 -62 dBm 以下時才發射無線電波，並在 10 ms 內停止發射，另外兩次發射間隔時間需要高於 16 μ s 或更多。

第三節、6 GHz 應用於免執照頻段電波特性研析

在相同通道功率強度大小條件下，頻寬越窄則功率頻譜密度越高，功率頻譜越高對於接收裝置受同頻之干擾將更為顯著。為研析 6 GHz 裝置對於既有系統之同頻干擾評估，將盡可能採小頻寬進行評估。無論室內或室外環境，美國規範的標準功率限制都是最為寬鬆，但該功率是需在 AFC 機制規範下獲得授權方能使用，以避免造成對既有系統的干擾。電波特性將擬訂戶外各距離區段中合適的傳播方式，與室內至室外穿透損模型。並參照其他各國研究方式，調整合適我國的模擬參數方向。

表 3-6、各國傳播模型差異

傳播模型	參考來源
● 都市:0-1km, ITU-R P-1411 (LoS); >1km, ITU P-452 (NLoS), 附加 ITU-R P.2108 (地表雜散)。 ● 鄉村:0-4.107km, ITU-R P-452 (LoS); >4.107 km, ITU-R P-452 (NLoS), 並附加 ITU-R P.2108 (地表雜散)。 ● 室內到室外:依 ITU-R P.2109 (建物穿透損耗)。	ECC Report 302
● <30m:ITU-R P525 (自由空間損耗)。 ● 30m-1km:WINNER II 並依據 LoS 與 NLoS 機率來比例分配。 ● >1km:城市、郊區採 ITM (不規則地形模型)並結合 ITU-R P.2108 (地表雜散), 或是郊區採 ITU-R P.452。	FCC Part 15.407
● 0-20m:禁區。 ● 20-40m:ITU-R P525(自由空間損耗)。 ● 40m-1km:WINNER II ● >1km:採 ITU-R P.452 並結合 ITU-R P.2108 (地表雜散) ● 室內到室外:依 ITU-R P.2109 (建物穿透損耗)。	MIC (日本總務省)

資料來源：本計畫整理

以我國城市為例。在近程距離條件下，於地面可視微波站距離仍可達 250 公尺左右，將採以 ITU-R P.525-4 來評估自由空間上的損耗。中程距離 250 公尺至 1 公里，則考量可視與不可視條件，將藉由城市建物地理圖資系統，取得微波站臺位於城市中其可視區域，並透過

ImageJ 圖像處理軟體分析其面積占比，作為模擬分析中可視與不可視裝置比例，如圖 3- 12 所示。利用 WINNER II 中 Urban (C2) 傳播模型來規劃，如同城市中大型基地臺架設於頂樓之布署方式，作為對微波站臺之傳播模型如表 3- 7。對於長程距離大於 1 公里以上，採以 Longley-Rice 或稱為不規則地形（ITM）傳播模型，藉以預估長距離且不規則地形變化之通道強度衰落現象，在城市中則須多考量地表雜散（clutter）效應，主要為所研析之干擾端的周圍地物，可能會對整體傳播產生額外的損耗，因此多納入運算如表 3- 8 和圖 3- 13。

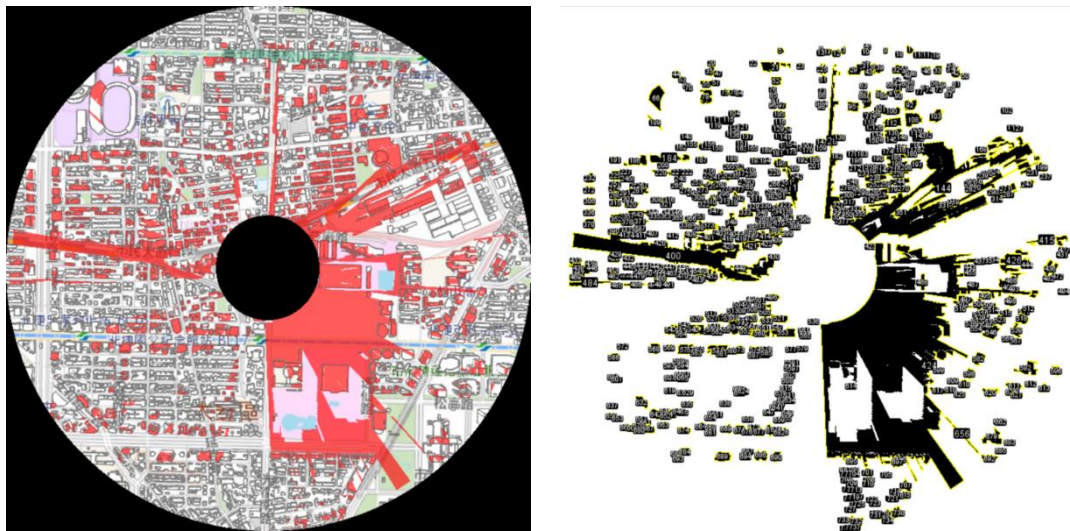


圖 3- 12、臺北市某處中程 LoS 與 NLoS 裝置比例評估方式

資料來源：本計畫整理

表 3-7、城市戶外傳播模型

情境	損耗(dB)		
C2	A = 26, B = 39, C = 20 PL = Alog(d) + B + Clog(f/5)	$\sigma = 4$	$10m < d < d'_{BP}$
	PL = 40log(d) + 13.47 - 14log(h'_{BS}) - 14log(h'_{MS}) + 6log(f/5)	$\sigma = 6$	$d'_{BP} < d < 5km$
	NLoS PL = (44.9 - 6.55log(h_{BS})log(d) + 34.46 + 5.83log(h_{BS}) + 23log(f/10)	$\sigma = 8$	$50m < d < 5km$
f: 頻率，GHz，適用範圍 2 GHz 至 6 GHz。 d: 距離，m。適用條件 5 公里內以及 d'_{BP} 限制。 h_{BS} : 基站天線高度 h_{MS} : 終端天線高度 h'_{BS} : 基站天線有效高度 h'_{MS} : 終端天線有效高度 $d'_{BP} = (4 \times h'_{BS} \times h'_{MS})/\lambda$			

資料來源 :WINNER II，本計畫整理

表 3-8、雜散傳播損耗

雜散	損耗(dB)
對於地面 裝置	$L_{ctt} = -5 \log(10^{-0.2L_l} + 10^{-0.2L_s}) - 6Q^{-1}(p/100)$ $L_l = 23.5 + 9.6 \log(f)$ $L_s = 32.98 + 23.9 \log(d) + 3 \log(f)$
f: 頻率，GHz。適用範圍 2 GHz 至 67 GHz。 d: 距離，km。適用條件大於 0.25 km。 $Q^{-1}(p/100)$: 逆累積分布函數	

資料來源 :ITU-R P.2108-1，本計畫整理

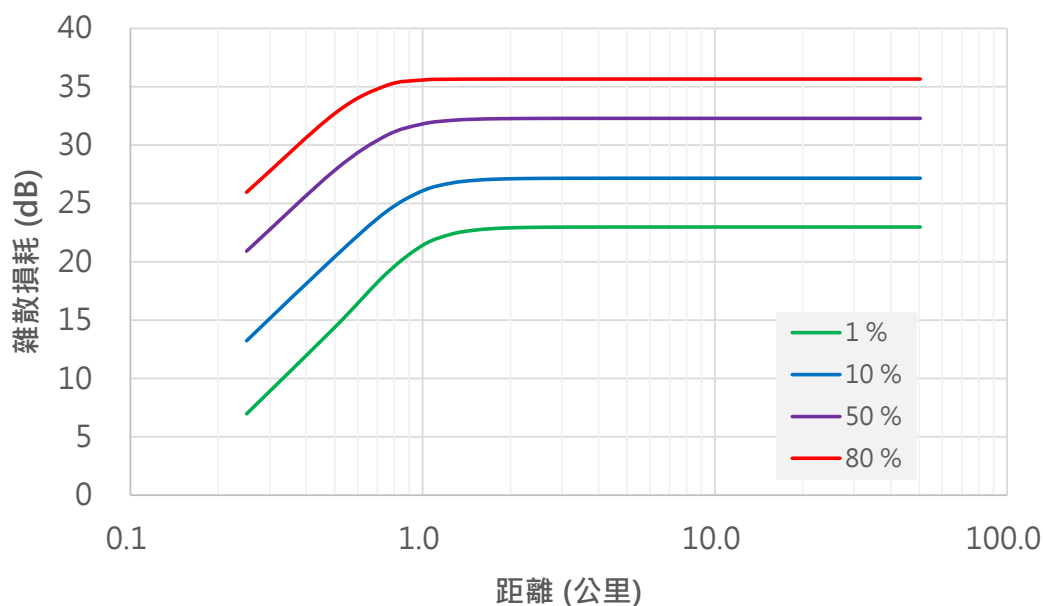


圖 3- 13、6 GHz 雜散機率分布曲線

資料來源：本計畫整理

依據 Dell'Oro Group 研究報告，在 2012 年至 2016 年間全球室內 Wi-Fi 裝置出貨量遠高於室外裝置出貨量，預估 2021 年戶外裝置亦僅有 0.6%。預測即使未來 Wi-Fi 6E 帶來高效能的連結能力，但由於我國行動上的普及率提高，對於戶外 Wi-Fi 存取裝置應不會有突破性成長需求，因此預估未來使用於 6 GHz 之無線裝置應多以室內布署為主。研究計畫將先以研析室內大量裝置，評估其訊號強度衰落至戶外的程度，了解電波於建物之穿透損耗。

室內至室外損耗預估。依 ITU-R P.2109-1 建物損耗預估之指引，在熱效應建物（具隔熱的建築材料，如水泥、多層玻璃）且機率為 0.5 的條件下，6 GHz 頻率通過建物之損耗約為 32 dB。如圖 3- 14 所示。此外，依歐洲電信標準協會 TR 138 901 V16.1.0，戶外到室內的穿透損耗中，表列幾項常見建物材質如表 3- 9，並依材質特性與分佈比例給予兩種損耗模型，於高損耗模型下，6 GHz 穿透損耗亦大約 31 dB。

透過上述損耗模型研析，藉此預估未來 6 GHz 訊號從室內至室外剩餘訊號強度的可能，作為後續室內干擾裝置來模擬預測對既有系統之分析。

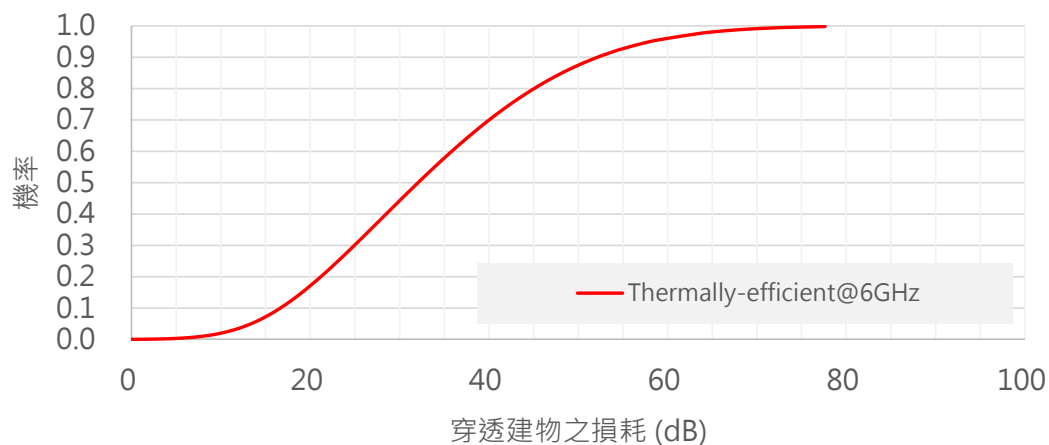


圖 3- 14、熱效應建物於 6 GHz 之機率損耗

資料來源：ITU-R P.2109，本計畫整理

表 3- 9、材料穿透損耗

材料	穿透損耗(dB)
Standard multi-pane glass	$L_{\text{glass}}=2+0.2f$
IRR glass	$L_{\text{IRRglass}}=23+0.3f$
Concrete	$L_{\text{concrete}}=5+4f$
Wood	$L_{\text{wood}}=4.85+0.12f$
f is in GHz	

資料來源：ETSI TR 138 901 V16.1.0

表 3- 10、穿透損耗模型

模型	穿透損耗(dB)
Low-loss model	$5 - 10\log_{10}(0.3 * 10^{\frac{-L_{\text{glass}}}{10}} + 0.7 * 10^{\frac{-L_{\text{concrete}}}{10}})$
High-loss model	$5 - 10\log_{10}(0.7 * 10^{\frac{-L_{\text{IRRglass}}}{10}} + 0.3 * 10^{\frac{-L_{\text{concrete}}}{10}})$

資料來源：ETSI TR 138 901 V16.1.0

第四節、6 GHz 免執照頻段對於既有使用者干擾評估

美國電機電子工程師學會（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）於 1997 年發布無線區域網路 IEEE 802.11b 技術標準之初，希望能夠過新興無線連結技術，提供裝置間互通性的連結應用。時至今日透過 Wi-Fi Alliance 的技術推廣與產品相容性認證，得以加速 Wi-Fi 產品應用的廣度與普及。無線區域網路之豐富應用程度深入生活的每一角落中，舉凡公共場所、家中 Wi-Fi 的布署便利性得以連結網際網路，或提供物聯網（Internet of Things, IoT）裝置快速連接至網路等無線應用。

本計畫將先針對國內 Wi-Fi 進行相關調查與分析。使用情境分析以了解未來每日可能最容易發生干擾的時段；戶外蒐集訊號強度，統計分析室內裝置洩漏至戶外剩餘強度之可能，以及相關裝置密度、高度的可能性，予以統計作為初步模擬分析依據；研析既有站臺不受干擾之標準；模擬分析不同區段密度之不受干擾；場域電波干擾實測；精進參數後再模擬分析；對既有站臺於各情境之分析結果。

一、Wi-Fi 使用情境分析

依據臺灣網路資訊中心 2020 年調查，我國無線上網率達 79.3%，無線上網行為包括無線區域網路上網¹²⁵與行動上網兩類。其中僅使用行動上網的民眾有 52.2%，透過戶外、公用場所或家中無線上網則約有 27%，亦包含不僅只有使用行動上網者。上網時間以「不固定時間」比例最高約 46.9%，此外主要上網時間則是集中於晚上「18:00-23:59」時段內，充分顯示下班至就寢前民眾網路使用活動頻繁。此外報告指出，晚上網路服務多以「即時通訊」、「社群媒體」以及「影音娛樂」為主，研究中也發現每日 20:00 點之後的「影音娛樂」比例些微增加，其原因可能與網路串流媒體興盛，以及當前 COVID-19 疫情效應，民眾多願意待在媒體裝置前觀看影音串流。瞭解民眾對於無線網路環境的使用活動之行為研究，有助於了解未來 Wi-Fi 6E 對既有電臺干擾

¹²⁵指在戶外或公共場所使用 WiFi 上網之行為，但不含行動上網與家中無線上網，簡稱區域上網。

的可能，經研究未來每日最有可能發生干擾的時段為 18:00-23:59。

二、 Wi-Fi 訊號收集與分析

首先需了解當前 Wi-Fi 裝置在我國發射功率限制需求，將參考低功率射頻器材技術規範。在非點對點裝置之規範限制中，2.4 GHz 與 5 GHz 其最大 EIRP 可達 36 dBm。為更深入目前市售產品其發射功率，透過國家通訊傳播委員會 SSID 首頁會員入口網查詢相關無線路由器證書，經由證書上最大暴露允許值（Maximum Permissible Exposure, MPE）推算產品 EIRP 資訊¹²⁶。由於近年證書才提供一般民眾下載瀏覽，因此僅只蒐集 2019 年至 2022 年 3 月份資料，經統計多數無線存取裝置產品仍以近於最大許可功率 36 dBm EIRP 作為發射強度。

為了解當前多數室內 Wi-Fi 應用裝置洩漏至戶外之強度，透過市區道路訊號量測計畫，安排於市區道路上進行 Wi-Fi 資訊收集，並以機車作為移動方式，為考量其行進間資料收集之便利性。過程中將利用工程專用手機，錄製戶外所接收到的 Wi-Fi 資訊，其包含 RSSI、BSSID、SSID、通道頻率和經緯度等相關資訊。

Wi-Fi 訊號強度將考量各 BSSID 下最大 RSSI 來評估，而當前 IEEE 802.11 協定中的 RSSI，其同等於接收通道功率指標（Received Channel Power Indicator, RCPI）來呈報通道功率強度。計畫將量測 RSSI 再補償回手機接收天線增益，還原環境中 Wi-Fi 強度。

量測執行前評估選定區域類型。依據政府資料開放平臺的 110 各鄉鎮市區人口密度，將人口密度以 5000 人/km² 為級距來劃分如表 3-11。研究計畫以較高人口密度區為主，期望較易收集大量 Wi-Fi 樣本。執行期間以高雄市的新興區(24986 人/km²)、苓雅區(20187 人/km²)、鹽埕區(16180 人/km²)和前金區(14223 人/km²)作為路測選定區，其區域涵蓋人口密度在 10,000 人/km² 至 25,000 人/km² 區間內。

¹²⁶ OET Bulletin 65, Edition 97-01 第 18 頁公式(4)

表 3- 11、我國鄉鎮市區人口密度級距數量

人口密度級距(人/ km ²)	鄉鎮市區數量
0-5000 (不含)	319
5000-10000 (不含)	20
10000-15000 (不含)	7
15000-20000 (不含)	9
20000-25000 (不含)	10
25000-30000 (不含)	2
30000-35000 (不含)	0
35000-40000 (不含)	1

資料來源：本計畫整理

本計畫之道路收集規劃，將選用工程專用手機 SAMSUNG SM-G9860。其具備 IEEE 802.11ax 技術，能解析當前所用的 Wi-Fi 廣播訊息。該 Wi-Fi 天線主要設計於手機背板上方，2.4 GHz 和 5 GHz 天線增益大約 -6.5 dBi 左右。為避免遮蔽訊號影響量測結果，行進中將手機架設於後背包延伸桿上，並將手機背板朝機車兩側。紀錄工具選用 Wifi collector APP 進行收集，紀錄執行期間各 BSSID 最大 RSSI 等相關資訊。機車主要行駛於機慢車道上（與建物距離大約 10 公尺），行進時速以不超過 40 km/hr（相當於 11 m/s），大道（道路寬度大於 30 公尺以上）以上將盡可能行經該路段雙向車道，避免因距離甚遠無法有效收集到馬路另一側 Wi-Fi 訊號。行經高雄路測軌跡如圖 3- 17。

- ⑥ : 2.4GHz WiFi Ant Tx/RX
- ⑦ : 5GHz WiFi Ant Tx/Rx
- ⑩ : 2.4/5GHz WiFi Ant Tx/RX

ANT0 2.4 GHz : -6.23 dBi
 5 GHz : -6.45 dBi

ANT1 2.4 GHz : -6.46 dBi
 5 GHz : -6.50 dBi

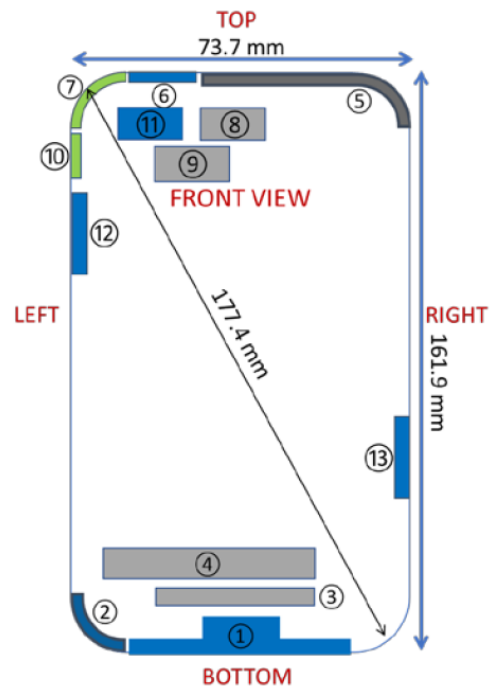


圖 3- 15、SM-G9860 WiFi 天線設計

資料來源：FCC SAR 報告與 NCC 終端證書

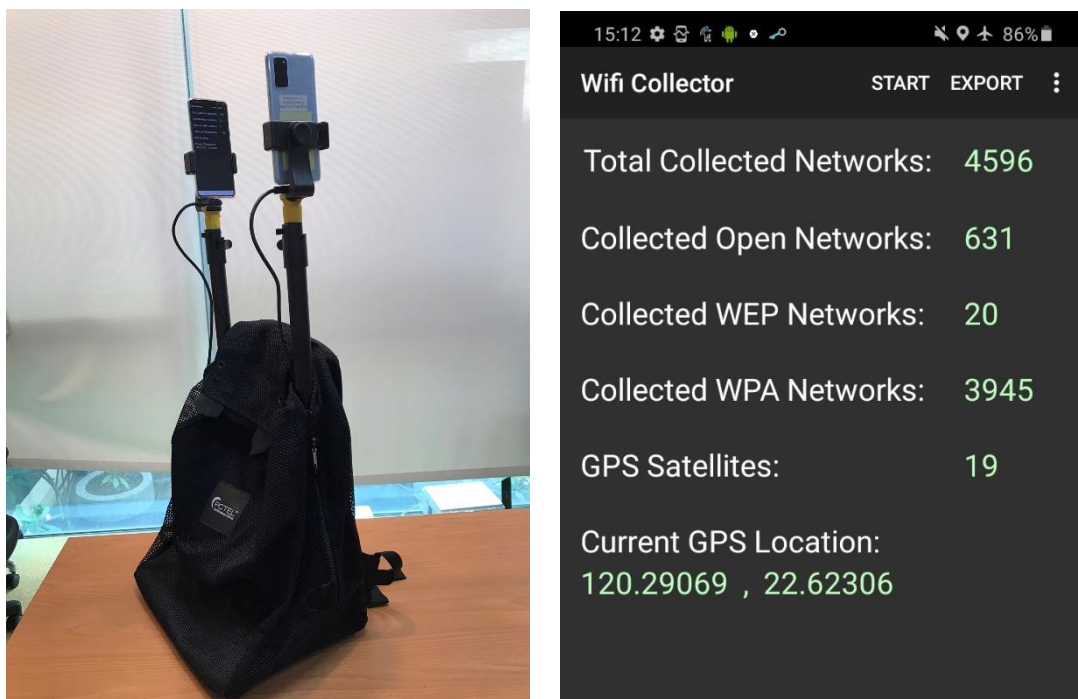


圖 3- 16、量測背包與量測軟體

資料來源：本計畫整理

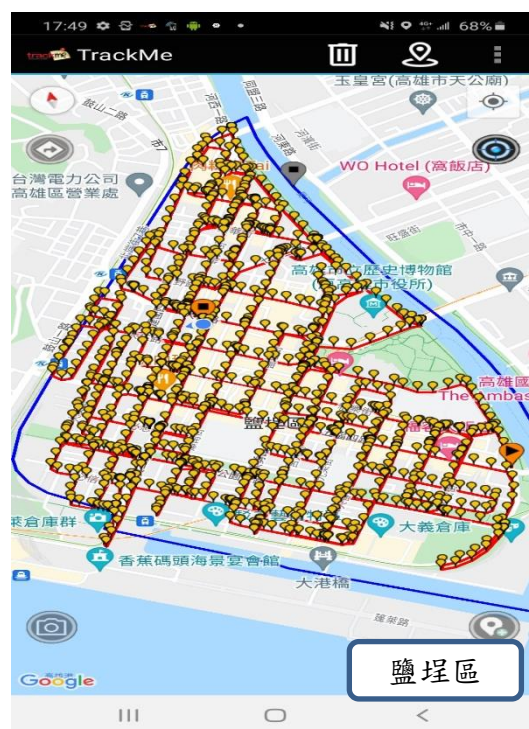
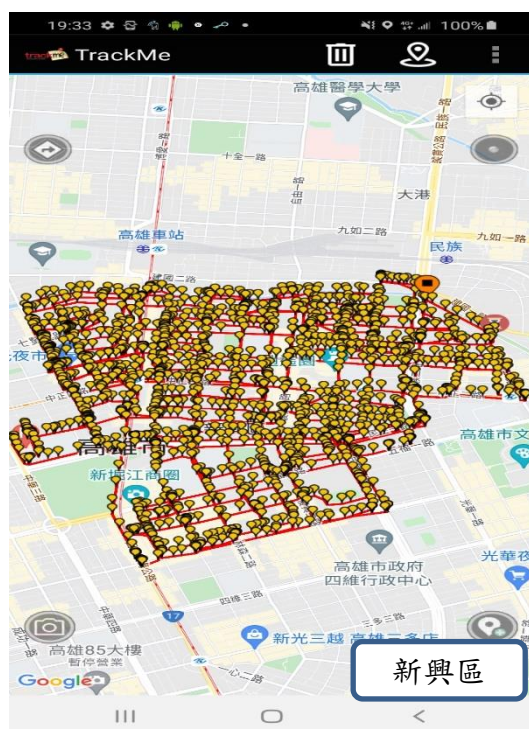
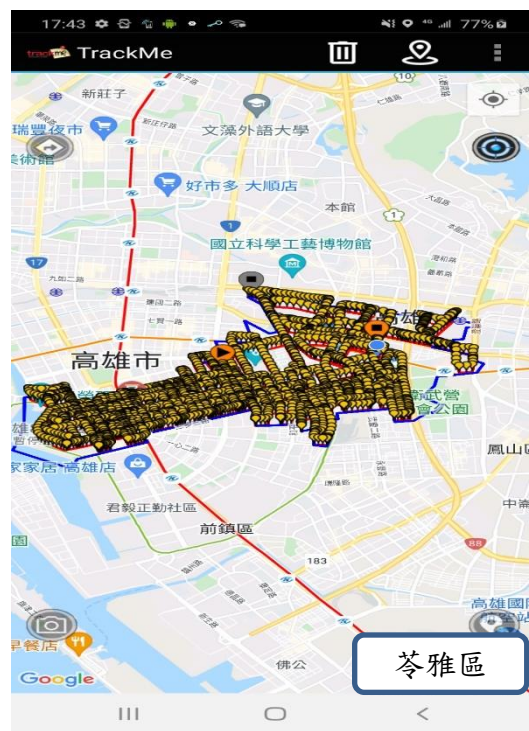
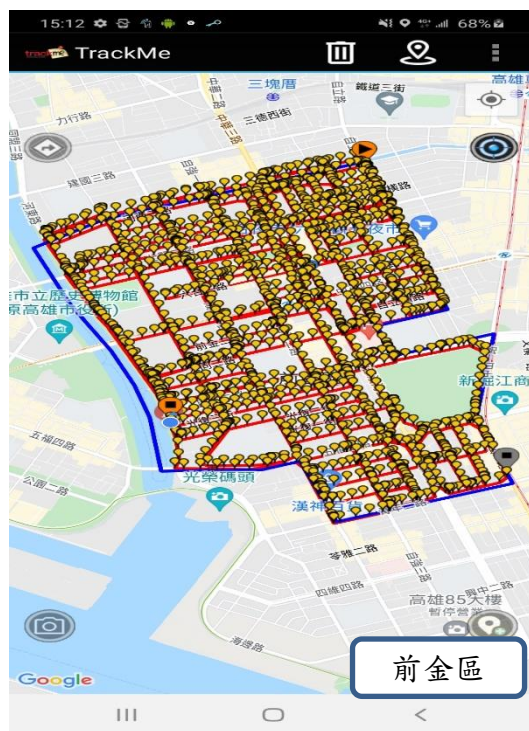


圖 3-17、路測軌跡

資料來源：本計畫整理

資料清理與分析。考量當今手機行動上網的便利性，可能收集到以手機為熱點的 Wi-Fi 裝置，清理資料中將透過 SSID 名稱中可能為手機熱點之裝置予以排除，排除關鍵字有：iphone、android、redmi、nokia、oppo、vivo、galaxy、samsung、Xperia、realme、ZenFone 與手機等名稱。此次收集樣本數達 2 萬 5 千筆，顧慮戶外無線路由器裝置可能距離過近，以致於影響分析結果，且樣本亦無法過濾排除。所幸統計結果並無因為戶外無線路由器問題而有太大差異，這可由收集到的強度來檢視，倘若戶外裝置以 36dBm EIRP 發射距 10 公尺應僅剩下 -24 dBm@2.4GHz 強度，但收集與過濾後的資料中並未有如此大的強度現象。其各區與整體統計分析結果如表 3-12 與圖 3-18 所示。將以四區合計累積分布函數曲線，並補償回天線增益（-6.5 dBi），或許可作為評估模擬建築物外 10 公尺處，室內無線路由器剩餘強度分布參數依據。

表 3-12、路測 Wi-Fi RSSI 統計結果

區域	RSSI (dBm)				
	中位數	平均	標準差	百分位 90	百分位 95
前金區	-82.00	-81.15	8.58	-69.00	-65.00
苓雅區	-83.00	-81.21	8.71	-69.00	-65.00
興新區	-82.00	-80.56	8.97	-68.00	-64.00
鹽埕區	-82.00	-80.68	8.50	-69.00	-65.00
四區合計	-82.00	-80.96	8.74	-69.00	-65.00

資料來源：本計畫整理

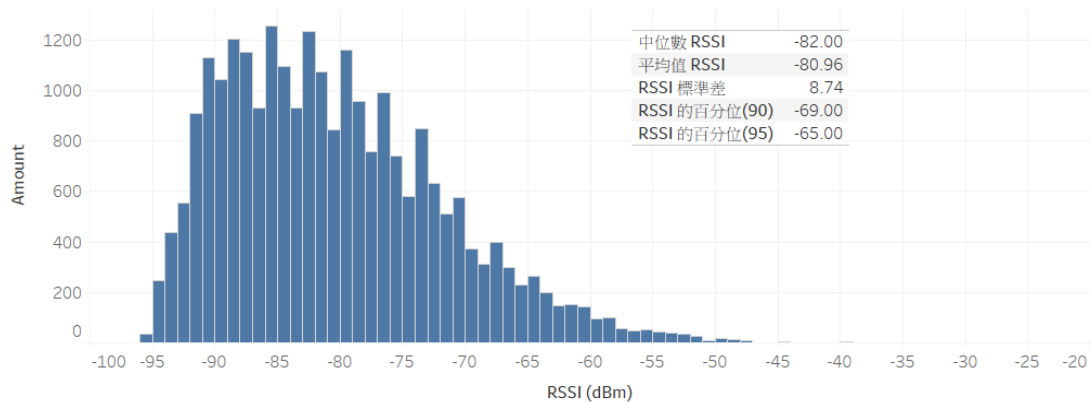


圖 3- 18、高雄四區合計統計圖

資料來源：本計畫整理

室內無線路由器裝置密度統計預估：為研析室內 Wi-Fi 數量分布，蒐集地方政府相關開放資料如各行政區面積、家庭戶數、行政區建物高度分布，以此做為空間上密度分布整合。考量未來每戶家庭至少有一部 Wi-Fi 6E 無線路由器，家庭戶數將由內政部戶政司全國人口資料統計地圖取得，並結合區域面積計算其密度。經統計高密度家庭數仍以六大都會區為居多，如圖 3- 19 所示。當中以新北市永和區 16,000 戶/km² 為最高；排除六都行政區，其他各鄉鎮平均密度約為 327 戶/km²。

室內裝置高度統計預估。將透過多維度國家空間資訊服務平臺，蒐集所需地區建物高度分布，重新統計可用樓層分布，並假設裝置離各樓地板高 1 米，作為裝置所處高度的分析參數。建物高度模擬分析將採以新北市永和區、南投縣草屯鎮（人口密度近於上述戶數密度均值），經統計分析可將各區繪製為累積分布函數，如圖 3-21，供未來將此參數匯入模擬分析。

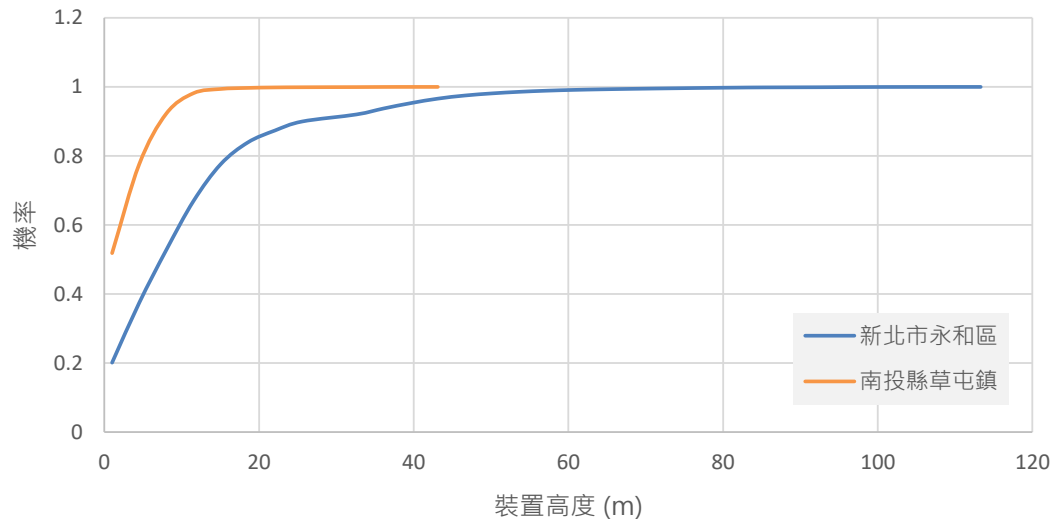


圖 3- 21、室內裝置高度累積分布函數預估

資料來源：本計畫整理

戶外無線路由器裝置密度預估。將依據臺灣常見熱點 Free Wi-Fi、CHT Wi-Fi、iTaiwan、TPE-Free 調查其區域單位面積戶外裝置密度。透過 python 爬蟲收集近 8 萬多筆資料，除了熱點系統自定義之戶外裝置外，並手動針對各熱點位置名稱關鍵字如：巷口、街口、路口、叉口、出口、公話、交接箱，將其手動歸類為戶外裝置。經統計分析，戶外裝置同樣多布署於六大都會區中，若以單位區域面積密度進行排序，以臺中市中區為最高 102.2 個/km²，但其行政區域面積僅 0.8 km²，導致遠高於其他區域密度，作為後續戶外密度評估並不妥當，將以次高密度約 26 個/km² 作為研析基礎；中密度採六都中位數 3 個/km²；排除六都行政區，其他各鄉鎮平均密度約 0.31 個/km² 視為低密度。

在 1%以下。典型接收機雜訊功率密度的定義，為系統溫度雜訊底噪（Thermal noise floor）加上低雜訊放大器（Low Noise Amplifier, LNA）之雜訊指數（Noise figure）。倘若 I/N 為-10 dB，亦指就是在原本雜訊功率密度下增加一小 10 dB 的干擾強度，其最終將使得原本雜訊功率密度總量增加了 0.41 dB；同理 I/N 為-6 dB，最終將使得原本雜訊功率密度總量增加了 0.97 dB，其相關等式如下，接收機受干擾之相關位準指標說明如圖 3- 23。

$$\left[\frac{N + I}{N} \right]_{dB} = 10 \times \log \left[\frac{N + I}{N} \right] = 10 \times \log \left[1 + \frac{I}{N} \right] = 10 \times \log \left[1 + 10^{\frac{\left[\frac{I}{N} \right]_{dB}}{10}} \right]$$

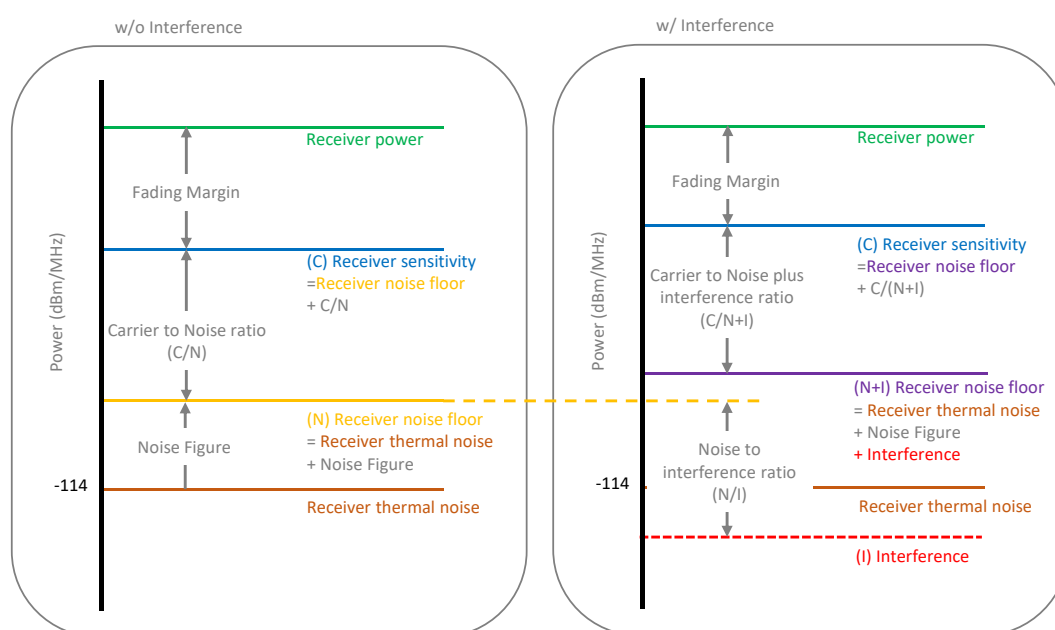


圖 3- 23、接收機系統相關位準指標

資料來源：本計畫整理

對固定衛星服務的干擾成因，主要探討未來 Wi-Fi 在 6 GHz 在共享相同頻率時對於太空軌道上衛星接收站之影響。ITU 建議書中推估要維持長時間不受到干擾的條件，則需將干擾強度維持低於接收機雜訊功率密度約 12 dB（I/N ≤ -12 dB）以下。

四、 模擬結果分析

經由前述國外已開放之免執照頻段裝置分析、干擾訊號強度概估、既有系統受干擾準則與區域類型空間建物統計等資訊，研究計畫將搭配由歐洲郵政及電信管理會議（Conference of European Postal and Telecommunications administrations, CEPT）所開發，頻譜工程用之進階蒙地卡羅分析工具（Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool, SEMCAT）來進行模擬 Wi-Fi 對既有固定微波服務受干擾的可能性。

對於模擬相關的參數，將該章前述所匯集之統計資料與研析結果作為依據，研析在嚴苛裝置條件下，城市中固定微波受干擾程度。可能影響的各參數的設置與說明如下表所示。研析裝置密度與裝置功率作為可調整之變量下，對於固定微波服務受影響的可能性。

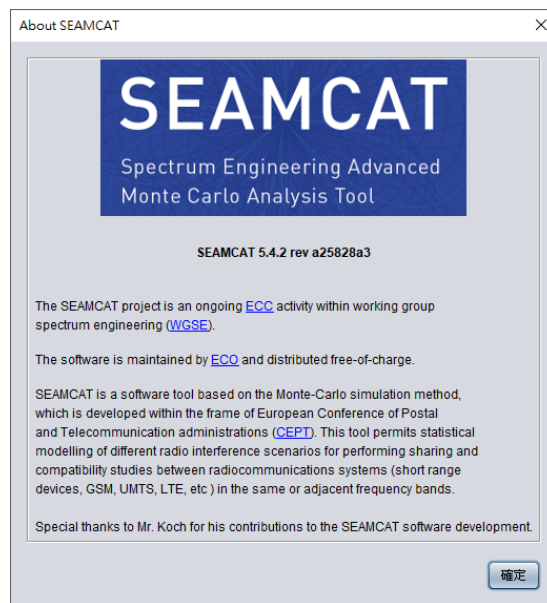
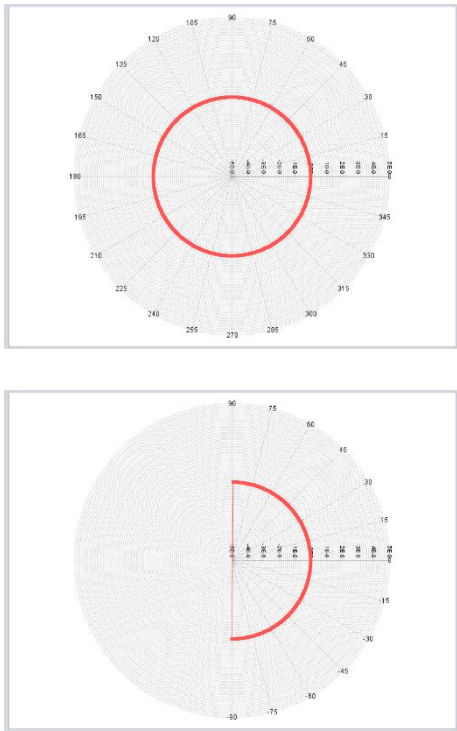


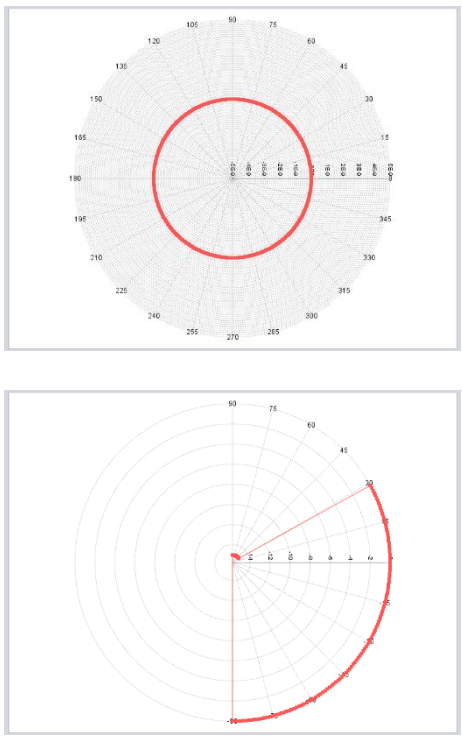
圖 3- 24、SEAMCAT 模擬工具

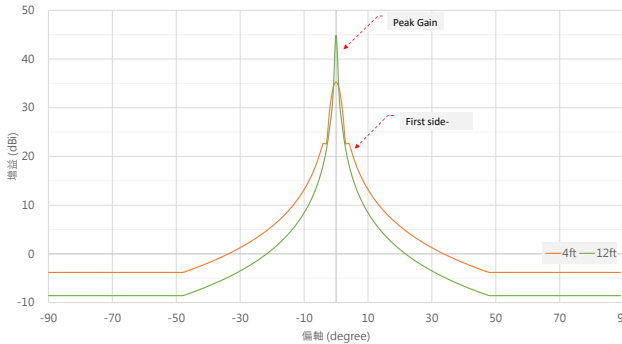
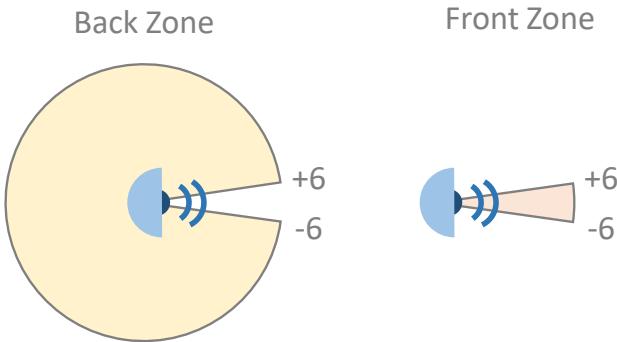
資料來源：SEAMCAT

表 3- 13、Wi-Fi 對微波站同頻干擾的參數設置

項目	說明	設定值
室內 Wi-Fi 穿透至室外剩餘強度	1. 經熱效應建物(ITU-R P.2109-1)且機率為 0.5 的條件，室內至戶外建物材料損耗為 32 dB@ 6 GHz。 2. 利用 High-loss model (ETSI TR 138 901 2022-04)，室內至戶外建物材料穿透損耗為 31 dB@ 6 GHz。 3. 裝置至建物外 10 公尺，自由空間損耗為 68 dB@6 GHz。 4. 以標準功率 EIRP 36 dBm/20 MHz，推估戶外 10 公尺剩餘強度約為 $36\text{dBm}(\text{功率}) - 31\text{dB}(\text{最小建物損耗}) - 68\text{dB}(10\text{公尺自由空間損耗}) = -63\text{dBm}$ 5. 高雄市四區合計，Wi-Fi 道路量測 RSSI 累積分布函數於百分位 90 強度(-69 dBm)，並補償回天線增益(-6.5 dBi)。 6. 路測戶外百分位 90 之強度為 $-69\text{dBm}(\text{RSSI}) - (-6.5\text{dBi}(\text{天線增益})) = -62.5\text{dBm}$ 7. 不考量電波頻率差異造成的損耗落差，以此高估戶外強度。	數學估算與路測相距不遠，採以最大值為模擬參數。 -62.5 dBm
室外 Wi-Fi 強度	1. 以最大 36 dBm EIRP 為初始功率。	36 dBm
Wi-Fi 發射頻關	1. 相同功率下，小頻寬能有較高功率頻譜密度，對於干擾效應亦較為顯著，採以設置最小發射頻寬。	WIFI_BW_20
室內 Wi-Fi 密度	1. 新北市永和區家庭戶數調查，適用於人口高密度城市區，假設每戶一部 Wi-Fi 路由器。	16,000 部/km ²
	2. 排除六都行政區，其他各鄉鎮平均密度，適用於人口低密度區，假設每戶一部 Wi-Fi 路由器。	327 部/km ²
室外 Wi-Fi 密度	1. 裝置調查次高密度，適用於人口中高密度城市區。	26 部/km ²
	2. 中密度採六都中位數。	326 部/km ²
	3. 排除六都行政區，其他各鄉鎮平均密度，	0.31 部/km ²

項目	說明	設定值
	適用於人口低密度區。	
室內 Wi-Fi 位置高度	1. 與微波天線等高。	等高於微波天線離地高度
	2. 新北市永和區建物可用樓層高度累積分布函數。	永和_高 CDF
	3. 南投縣草屯鎮建物可用樓層高度累積分布函數。	草屯_高 CDF
室外 Wi-Fi 位置高度	1. 離地 2 公尺(機率 0.5)與 3 公尺(機率 0.5)。	2m(p=0.5)&3m(p=0.5)
室內 Wi-Fi 天線型態	1. 全向性天線。傳導發射端功率 36 dBm，天線增益為 0 dBi，以維持全向輻射功率 EIRP 36 dBm。 	Indoor_WIFI_Ant
室外 Wi-Fi 天線型態	1. 傳導發射端功率 36 dBm，室外天線為避免對軌道上衛星造成干擾，限制高於天線水平仰角 30 度以上不得超過 21 dBm。因此將天線垂直面大於仰角 30 度設置為-15 dBi，其他角度設置為 0 dBi。	Outdoor_WIFI_Ant

項目	說明	設定值
		
微波站天線尺寸場型與效率	- 透過既有電臺資料分析，市區站臺最小與最大尺寸分別為 4 呎和 12 呎，並依 ITU-R F.699-8 繪製天線場型。6 GHz 微波天線峰值增益為 32.8 dBi(4 呎)和 44.8 dBi(12 呎)。 - 導波管、號角和反射型這類高增益孔徑天線，其效率高達 80%至 90%。分析中則參數採以 100%，提高受干擾接收強度。	Dish_4ft Dish_12ft
微波站天線高度	經可用資料統計，市區微波天線高度平均離地約 50 公尺。	50m
微波站天線無俯仰角度	假設兩端點無短距離且較大地勢變化的鏈路，將設置俯仰角度為 0 度。	Dish_Elev._0
微波站接收系統通道寬度	考量 Wi-Fi 同功率下，小頻寬能有較高功率頻譜密度，對於干擾效應亦較為顯著；而較小微波站接收系統通道寬度，亦能有最低系統接收底噪頻譜密度。既有站臺平均使用頻寬 21.7 MHz，因此採以 20 MHz 接收頻寬亦比較合理。	20MHz
微波站接收系統通道寬度	系統接收底噪頻譜密度(不考慮 LNB 雜訊指數與天線端接收到的環境雜訊)，僅以熱雜訊功率做為接收底噪，$kTB =$	IN_-6

項目	說明	設定值
	$-174\text{dBm/Hz} = -101\text{dBm}/20\text{MHz}$ (k 為波茲曼常數；T 為絕對溫度；B 為雜訊頻寬) 2. I/N 保護規範要求。由於已考量最低系統接收底噪頻譜密度，亦未將 LNB 雜訊指數與天線端接收到的環境雜訊，所以採以同於 FCC 建議 $I/N = -6\text{ dB}$ 作為干擾標準。	
研析角度範圍	1. 考量微波天線增益場形圖。在其越近於主波束其增益變化高，因此分區將其考量± 6度內與± 6度外，分別稱之為 Back Zone 與 Front Zone。在 Back Zone 中，由於較小微波天線增益相較會來得高，因此在 Back Zone 將以分析小微波天線；Front Zone 以分析大微波天線。  微波天線場型比較圖  各 Zone 研析範圍	Back Zone Front Zone
研析距離範圍與傳播模型	1. 由於前述 Wi-Fi 穿透至室外剩餘強度為建物外 10 公尺，因此在距離範圍評估將由微波站臺天線外 10 公尺算起，且 Wi-Fi 裝設與電臺天線位置亦至少保有一段距離	10-250m_FSPL 250m-

項目	說明	設定值
	以上。 2. 基本上電波傳遞上存在 LoS 與 NLoS 方式，由於主要針對市區高密度人口研析干擾的可能，參考 FCC 的建議距離與當前既有電臺資料分析。 3. 短距離 10 公尺至 250 公尺以內都將視為 LoS 來分析，並以 ITU-R P.525-4 自由空間損耗來推估。 4. 250 公尺至 1 公里。城市中微波站 LoS 和 NLoS 占比依據，依據臺北市某站臺地理資訊分析，將其比例分別設置為 20%與 80%，並主要以 WINNER II Urban 為傳播模型。 3. 城市中 1 公里以上採以 Longley Rice 損耗模型。且額外於 Wi-Fi 端增加 ITU-R P.2108-0 機率為 0.5 的雜散模型，來模擬周圍地物造成的損耗。	1k_WII_Urban 1k_LR +Clutter

資料來源：本計畫整理

室內裝置對微波站干擾分析。在近程距離 10 公尺至 250 公尺內採以高密度裝置 16,000 部/km² 布署，裝置高度採等高於微波天線或新北市永和樓層可用高度 CDF（以下簡稱永和_高 CDF），並逐步擴大微波站臺端 10 公尺以上保護區，分析對於受干擾變化。

對於中程距離 250 公尺至 1 公里範圍內，城市中其 NLoS 的裝置將勢必明顯增加，透過城市可視線分析，以臺北市大安區光復南路某微波站址為例，其 LoS 和 NLoS 占比預估相當於 2 比 8，並以此比例將該區裝置總數進行分配。

由於六都高密度人口居住區，多半位處都會中心直徑 16 公里內，因此針對長程距離之分析將拆分為 1 公里至 8 公里、與 8 公里至 16 公里、32 公里以上為三階段。裝置密度布署採 8 公里以內為高密度（16,000 部/km²）、8 公里至 16 公里為高密度或低密度（327 部/km²）、16 公里以上採低密度，如圖 3- 25。

裝置高度的區別。高密度區採永和_高 CDF；低密度區採南投縣草屯鎮樓層可用高度 CDF（以下簡稱草屯_高 CDF）來進行模擬。

研析發生機率以嚴苛 0.05 為標準，並重新估算發射功率最大許可強度，藉此評估與初始設定功率之餘裕度，確保能有效防範干擾的發生。



圖 3-25、室內裝置區間密度示意圖

資料來源：本計畫整理

分析室內裝置對於 Back Zone 的干擾影響。首先考量 1 公里內，於裝置等高於微波天線和採永和_高 CDF 的條件下，為維持密度在 16,000 部/km²，於等高微波天線條件下，需至少距離 40 公尺（與虛線交會處）以如圖 3-26，而永和_高 CDF 條件下，則只要距離 10 公尺即可如圖 3-27，由於等高條件較為嚴苛，對於干擾的影響絕對比較來得嚴重，但實際上附近裝置全都等高於微波站並不可能存在。

微波站受干擾來源並非只有該區段距離，仍需多考量其他裝置區域（其他距離區段裝置、戶外裝置、其他 Zone）合計的干擾影響，因此建議多保留 20 dB 的餘裕空間。考量以永和_高 CDF 較貼近於實際高密度城市建物情境，由圖 3-27 可得知，採以 0.25–1 km 曲線，在 16,000 部/km² 下，該範圍內每部裝置洩漏至戶外功率強度來到 -39 dBm，才有機率 0.05 造成干擾的可能性，其餘裕度有 23.5 dB。

對於 1 km 後的各區段，由圖 3-28 可看出，即使都維持在 16,000 部/km² 最大裝置密度下，其餘裕度都相當充裕。進一步擴大範圍 8 –

128 km 分析如圖 3-29，其距 I/N=-6 的標準仍有一段距離，該區段造成干擾的發生機率為 0。

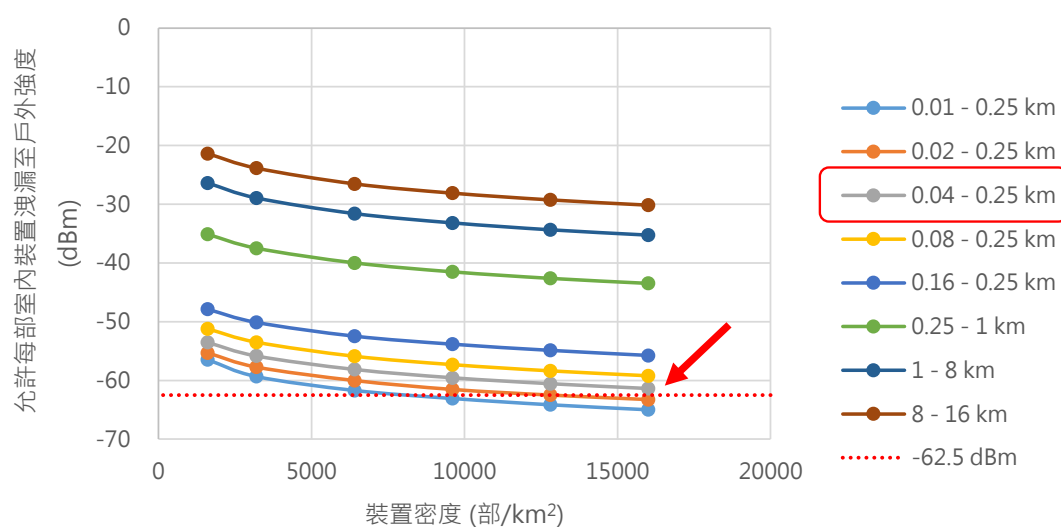


圖 3-26、室內裝置以等高微波站天線於 Back Zone 高密度容許洩漏功率

資料來源：本計畫整理

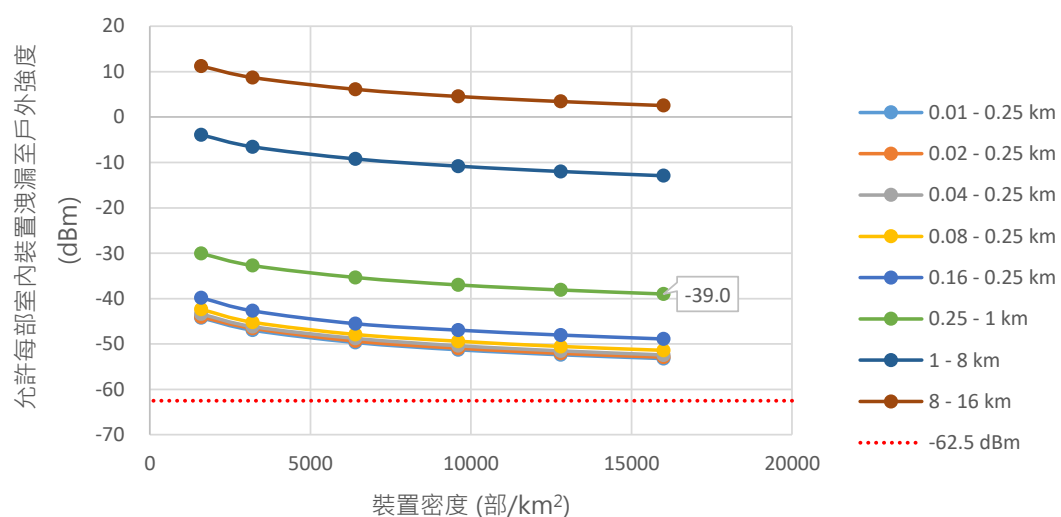


圖 3-27、室內裝置以永和_高 CDF 於 Back Zone 高密度容許洩漏功率

資料來源：本計畫整理

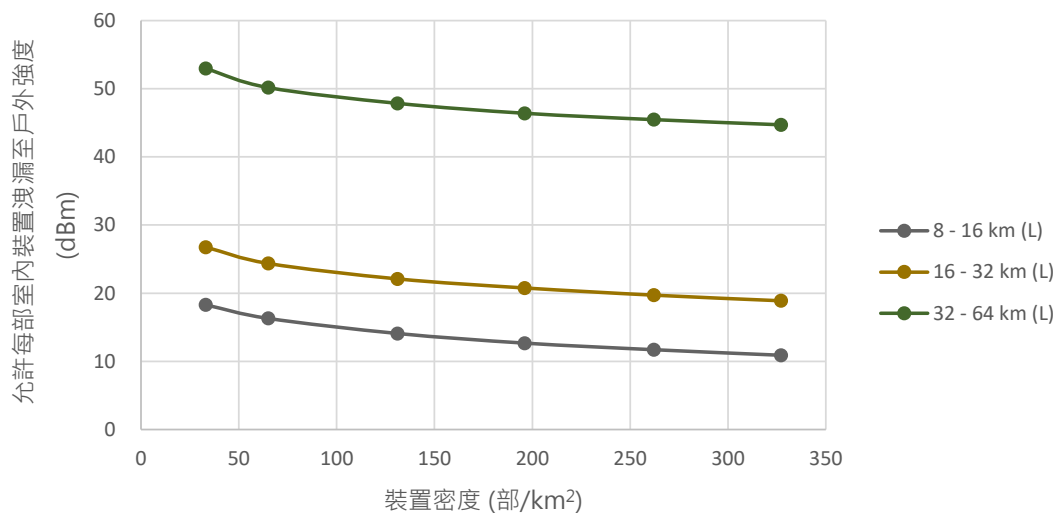


圖 3-28、室內裝置以永和_高 CDF 於 Back Zone 低密度容許洩漏功率

資料來源：本計畫整理

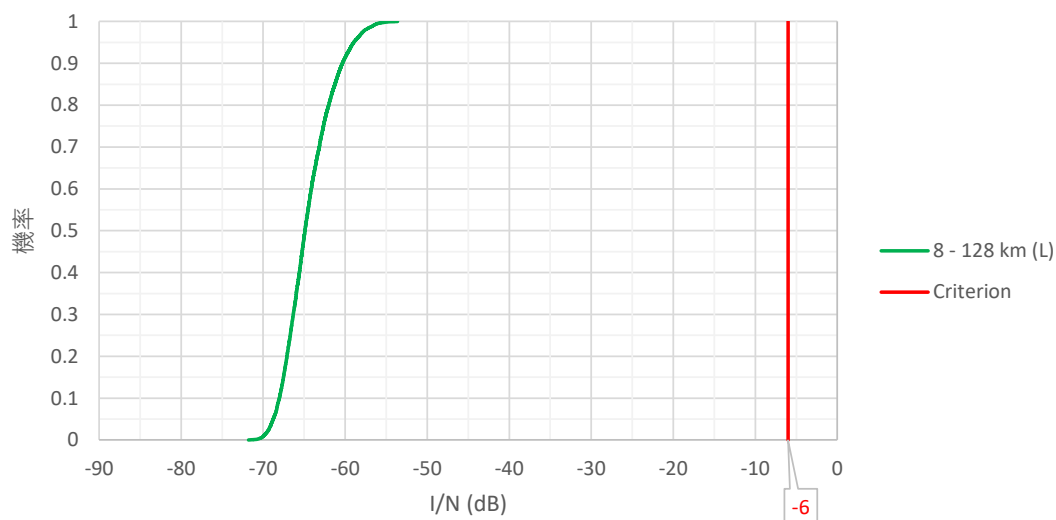


圖 3-29、室內裝置於 Back Zone 低密度大範圍區段之干擾機率

資料來源：本計畫整理

分析室內裝置對於 Front Zone 的干擾影響。於微波站正前方採以等高裝置之情境中並不可能發生，且其前方建物高度與寬度範圍受限於菲涅爾區因素，用來估算傳輸的兩個天線端之間的 3D 橢圓區塊帶，應避免任何遮擋(建物、樹林)而影響傳輸效益，天線視野前的切面半

徑則由兩站點之距離所決定圖 3- 30 所示，因此模擬分析上建議高度採以永和_高 CDF 來做為分析較為合宜。同樣考慮餘裕度，由圖 3- 31 可得知，採以 0.25 – 1 km 曲線，在 16,000 部/km² 最大密度下，該範圍內全部裝置洩漏至戶外功率強度來到 -41.9 dBm，才有機率 0.05 造成干擾的可能性，其餘裕度有 20.6 dB。對於 1 km 後的各區段，同樣由圖 3- 32、圖 3- 33 可看出其距 I/N=-6 的標準仍有一段距離，該區段造成干擾的發生機率為 0。

綜合上述室內裝置之分析，在嚴苛模擬階段下，當室內標準功率裝置以 36 dBm EIRP 最大功率發射於微波站同頻時，對於 Back Zone 或 Front Zone 建議都採以至少 250 公尺作為保護區，來保有充分的餘裕度 20 dB，亦便於對禁區距離有效管制，如表 3- 14 所示。

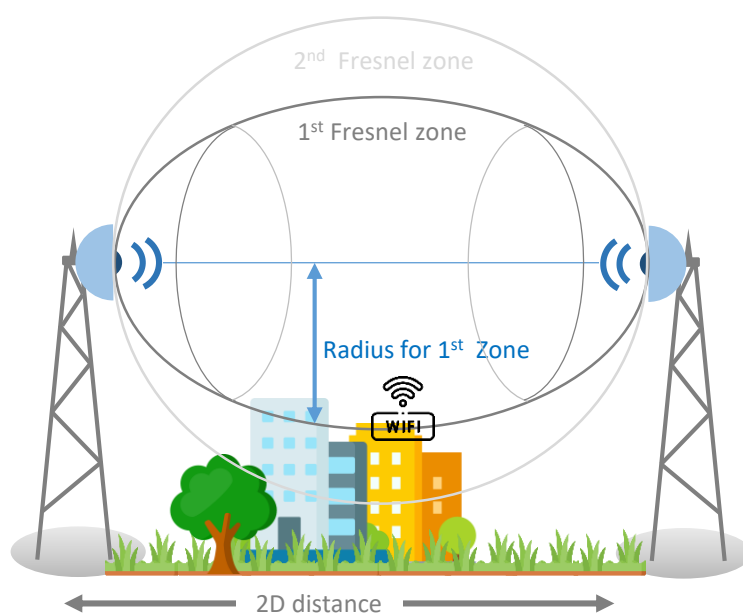


圖 3- 30、菲涅爾區

資料來源：本計畫整理

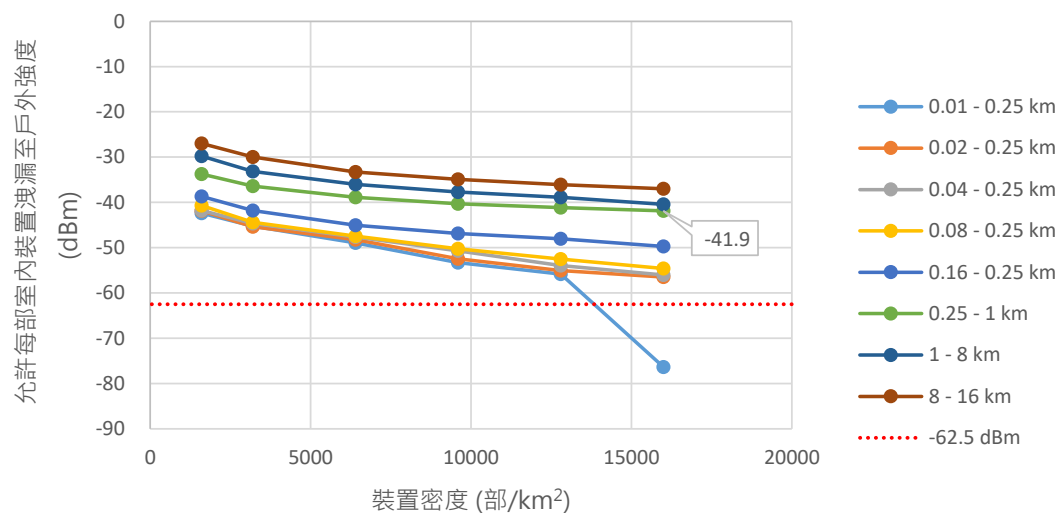


圖 3- 31、室內裝置於 Front Zone 高密度容許功率

資料來源 :本計畫整理

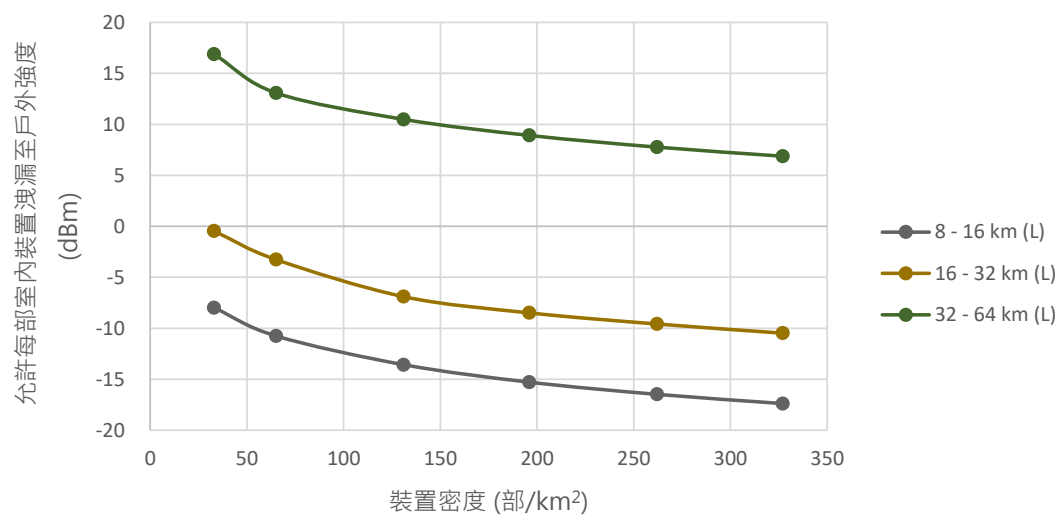


圖 3- 32、室內裝置於 Front Zone 低密度容許功率

資料來源 :本計畫整理

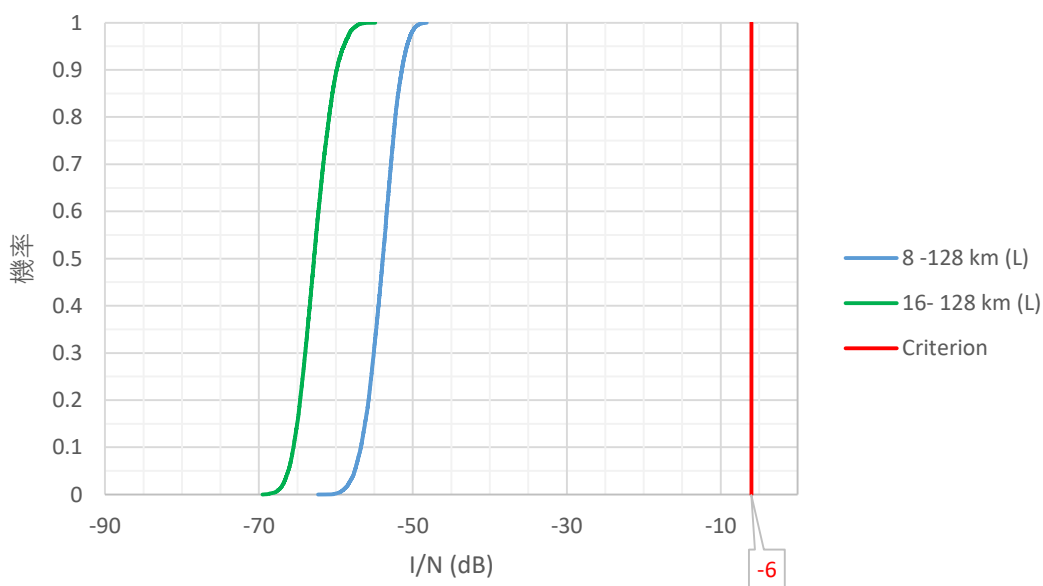


圖 3- 33、室內裝置於 Front Zone 低密度大範圍區段之干擾機率

資料來源：本計畫整理

表 3- 14、室內裝置於各區段建議開放方式

裝置類型	區域	0 - 250m	250m - 4 km	4 - 8 km	8 - 16 km	16 - 32 km	32 - 128 km
室內裝置	Back Zone	禁區	高密度區每部裝置發射可達36dBm EIRP				低密度區每部裝置發射可達36dBm EIRP
室內裝置	Front Zone	禁區					

資料來源：本計畫整理

戶外 Wi-Fi 裝置離固定微波服務站臺之區間劃分，誠如室內裝置的布署，僅不同於裝置密度與裝置高度的設置差異，如圖 3- 34。在分析室外裝置對於 Back Zone 的干擾影響，雖然市場上戶外裝置出貨與情境布署數量遠低於室內裝置，但由於其架設於戶外，可能鮮少環境建物對裝置訊號的遮擋，其輻射功率遠比室內裝置洩漏至戶外強過許多。



圖 3- 34、室外裝置區間密度示意圖

資料來源：本計畫整理

在分析此戶外裝置情境上，由於其影響程度可能遠高於室內裝置，因此各區段將可能採有條件的限制裝置密度與裝置功率來施行。經模擬分析，在 10 公尺至 250 公尺以中，依戶外裝置 26 部/km² 僅有 5 部裝置，倘若為達到發生干擾機率小於 0.05，則全部裝置功率須由原本 36 dBm 降至 -25.5 dBm。如此低的功率其實並不符合傳輸效益，亦無法展現 Wi-Fi 6E 的效能優勢。

假定戶外裝置網路熱點提供上網速率需求，在距熱點 10 公尺處應至少滿足 2021 年我國行動上網定點平均速度 122.53 Mbps。倘若用戶端天線增益為 2.15 dBi，6 GHz 自由空間損耗則為 68 dB，802.11ax 要在最低調變度達到此速度，須採兩天線分集以 64QAM 2/3 coding，方能對單一用戶達到理論速度 137.6 Mbps¹²⁷。透過各調變機制對應之接收感度關係，得知用戶端若要達此速度，其相應最小接收約為 -66 dBm 如圖 3- 36。經上述簡單論述，戶外裝置發射功率 EIRP 應大於 -0.15 dBm （-66 dBm-2.15 dBi+68 dB）方能達成所設定之速度要求。速度需求問題回到於 250 公尺至 1 公里區段中如圖 3- 35，即使調降裝置密度都無法滿足以 -0.15 dBm 來發射。

¹²⁷ <https://semfionetworks.com> , MCS TABLE (UPDATED WITH 802.11AX DATA RATES)

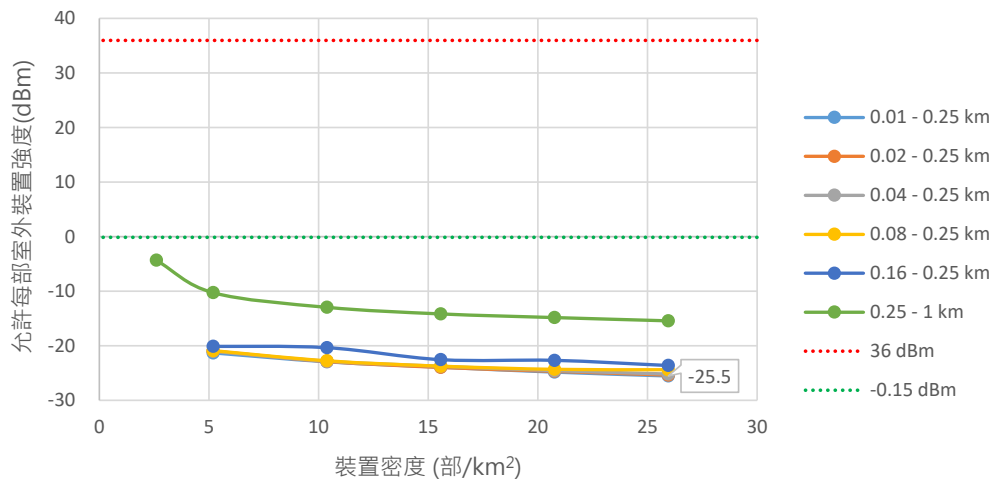


圖 3- 35、室外裝置於 Back Zone 高密度容許功率一

資料來源：本計畫整理

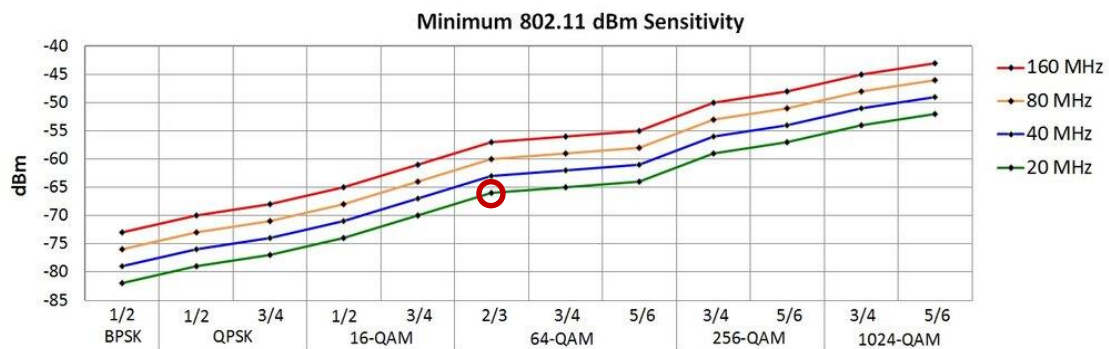


圖 3- 36、Wi-Fi 各調變度之相應接收感度

資料來源：evanmccann.net

由圖 3- 37 分析之結果，當裝置位於 4 – 8 km 分布中，於密度 25.95 部/km² 下，該範圍內全部裝置功率強度都須調整來到 0.2 dBm，干擾機率才可能降到 0.05，且理論傳輸速度亦可達到約 137.6Mbps。若採以此上述條件作為開放似乎仍存在些風險，其風險可能來自於其他距離區段裝置、其他 Zone 干擾的加總。為確保不受功率加總而影響，將戶外裝置劃分 4 區（Back Zone 3 區，Front Zone 1 區），因此為避免發生干擾且符合傳輸效益，建議多採餘裕 6 dB（10log4）以上。

經分析評估，依圖 3- 37 給予建議將 4 – 8 km 的裝置密度應限制在 2.60 部/km² 以下且功率不超過 2.5 dBm （8.5 dBm-6 dB）；8 – 16 km 的裝置密度限制在 10.38 部/km² 以下且功率不超過 1.3dBm （7.3 dBm-6 dB）；依圖 3- 38 分析之結果，建議 16 – 32 km 的裝置維持密度在 0.31 部/km² 以下，且功率不超過 23.6 dBm （29.6 dBm-6 dB）。依圖 3- 39 分析之結果，對於 32 km 以後的各區段，全都採以標準裝置最大功率（36 dBm），其距 I/N=-6 的標準仍有一段距離，該區段造成干擾的發生機率為 0。

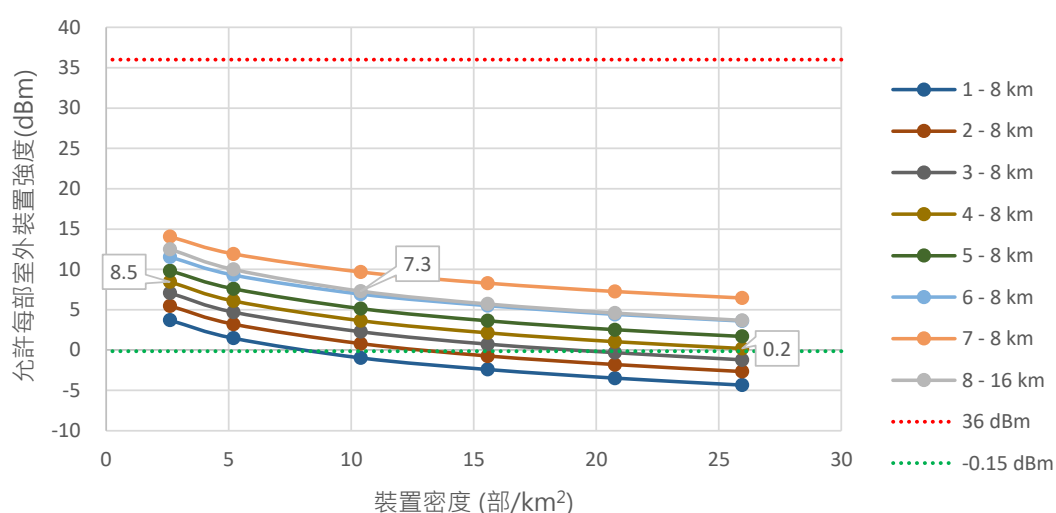


圖 3- 37、室外裝置於 Back Zone 高密度容許功率二

資料來源：本計畫整理

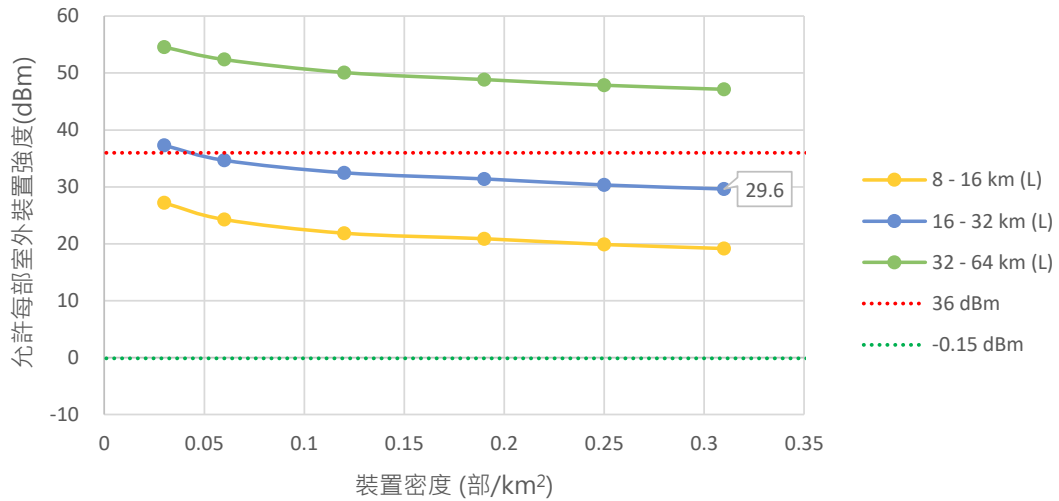


圖 3- 38、室外裝置於 Back Zone 低密度容許功率

資料來源：本計畫整理

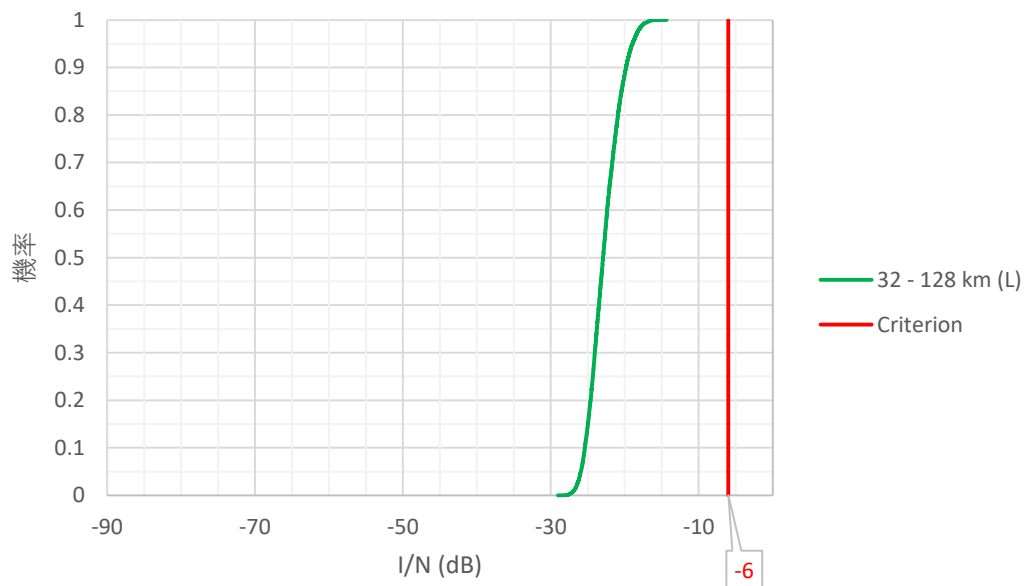


圖 3- 39、室外裝置 36dBm 於 Back Zone 低密度大範圍區段之干擾機率

資料來源：本計畫整理

分析室外裝置對於 Front Zone。分析標準如同前述 Back Zone，由圖 3- 40 分析之結果，8-16 km 僅在裝置密度 2.60 部/km² 條件下，並且全部裝置功率須被受限在功率 2.1dBm 以下，才足以將干擾機率

降至 0.05，但其功率並無法滿足上述提及的基本傳輸速度要求。考量整體受干擾總量與傳輸效益，綜合考量下 16 公里以下不適合開放。由圖 3- 41 分析之結果，16 – 32 km 採以限制發射功率作為有條件的開放，於 0.31 部/km² 密度以下全部裝置功率需降至 12.4 dBm （18.4 dBm-6 dB）。對於 32 km 以後的各區段，倘若全都採以標準裝置最大功率（36 dBm）進行分析，由圖 3- 42 可看出 32 – 128 km 造成的干擾機率僅有 0.017 （1-0.983），可視為不具干擾影響。

綜合上述室外裝置之分析，在嚴苛之模擬階段下。當室外標準功率裝置以 36 dBm EIRP 最大功率發射於微波站同頻時，對於 Back Zone 建議距微波站 4 公里內禁止開放，4 公里至 32 公里採有條件的裝置密度與功率限制，32 公里以上則完全開放；對於 Front Zone 建議距離微波站 16 公里內禁止開放，16 公里至 32 公里採有條件的裝置密度與功率限制，32 公里以上則完全開放，如表 3- 15 所示。

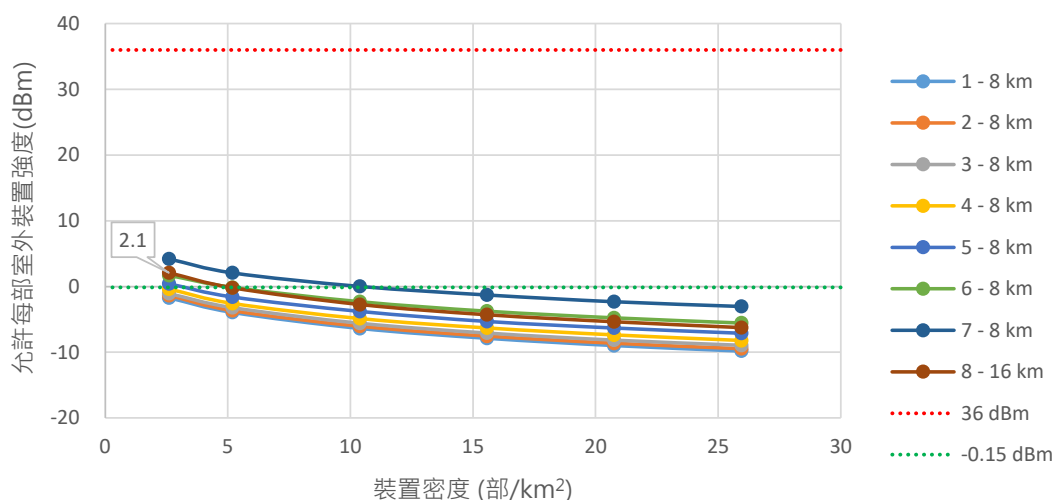


圖 3- 40、室外裝置於 Front Zone 高密度容許功率

資料來源：本計畫整理

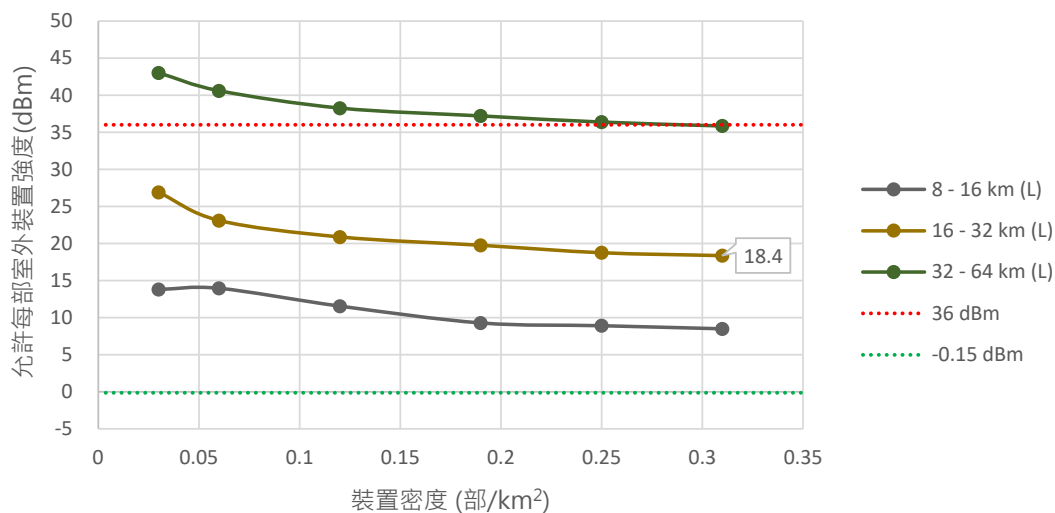


圖 3- 41、室外裝置於 Front Zone 低密度容許功率

資料來源：本計畫整理

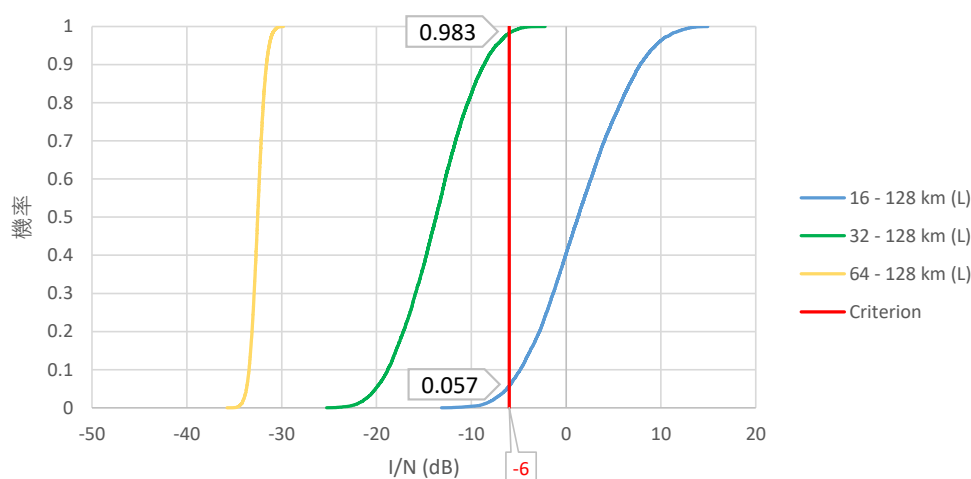


圖 3- 42、室外 36dBm 裝置於 Front Zone 低密度大範圍區段之干擾
機率

資料來源：本計畫整理

表 3- 15、室外裝置於各區段建議開放方式

裝置類型	區域	0 - 250m	250m - 4 km	4 - 8 km	8 - 16 km	16 - 32 km	32 - 128 km
室外裝置	Back Zone	禁區		高密度區(註1)每部裝置 發射不超過2.5dBm	高密度區(註2)每部裝置 發射不超過1.3dBm	低密度區每部裝置發射不 超過23.6dBm	低密度區每部裝置發射可 達36dBm EIRP
室外裝置	Front Zone	禁區					低密度區每部裝置發射不 超過12.4dBm

註1：2.60 部/km²

註2：10.38 部/km²

資料來源：本計畫整理

五、 固定微波服務場域電波干擾實測與分析

本計畫以美國 6 GHz 標準功率裝置為基礎，對固定微波服務之干擾實測研析與空間路徑損耗的評估。固定微波服務站臺附近干擾點的選址，將盡可能以可視線(line-of-sight, LoS)位置為主。非可視線(non-line-of-sight, NLoS)干擾位置的選擇，也應盡可能靠近於兩固定微波服務站址間之地表量測線。如此在較小水平方位角角差下，能獲取較小偏軸角之可能，藉此而補償因建物或地勢阻擋造成電波衰落問題，以提高觀察受干擾微波站上之的干擾訊號。

為釐清固定微波服務電臺可被清楚觀測到干擾強度之位置，由於天線的互易性，其收發特性之基本參數相同，將安排於站臺附近先行進行路測量得該電臺的發射強度分布，供評估可作業之定點干擾，如圖 3- 43。



圖 3- 43、電臺戶外強度分布

資料來源：本計畫整理

干擾端的設置。礙於若採以 EIRP 36 dBm/20 MHz 訊號強度並同頻於微波站臺，因調變頻寬導致功率頻譜密度減少等因素，在微波天線端有可能無法有效觀察到干擾訊號。因此干擾研究計畫將調整干擾頻率於微波鏈路訊號上，發射一連續波(Continuous Waveform, CW)來提高功率頻譜密度，並注入於高功率放大器中，再透過高指向性天線朝著微波天線進行干擾，藉此推估場域之通道傳播衰落，同時也會改採美國 Wi-Fi 標準功率之 EIRP 強度進行干擾評估。此外於干擾作業期間，固定微波服務站臺亦需協助配合站臺鏈路間啟閉發射訊號，供評估受干擾影響程度。干擾流程如圖 3- 45 所示。

為提高量測再現性與精準，於各干擾定點以實時動態(Real Time Kinematic, RTK)定位紀錄座標，並利用搭配三軸陀螺儀紀錄天線姿態。固定微波服務機房端則及時紀錄強度變化，並遠端回報強度供戶外現場人員進行天線調整，以此找尋最大干擾訊號強度之天線姿態，如圖 3- 46。

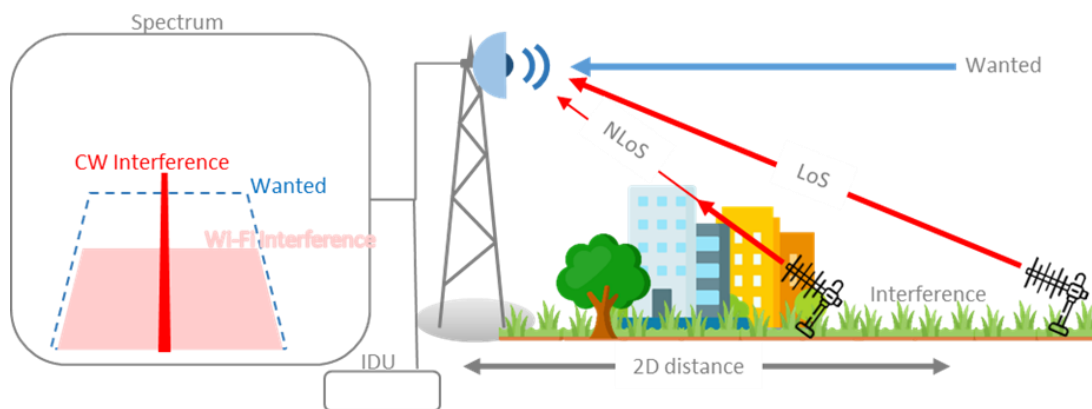


圖 3- 44、干擾實測方式

資料來源：本計畫整理

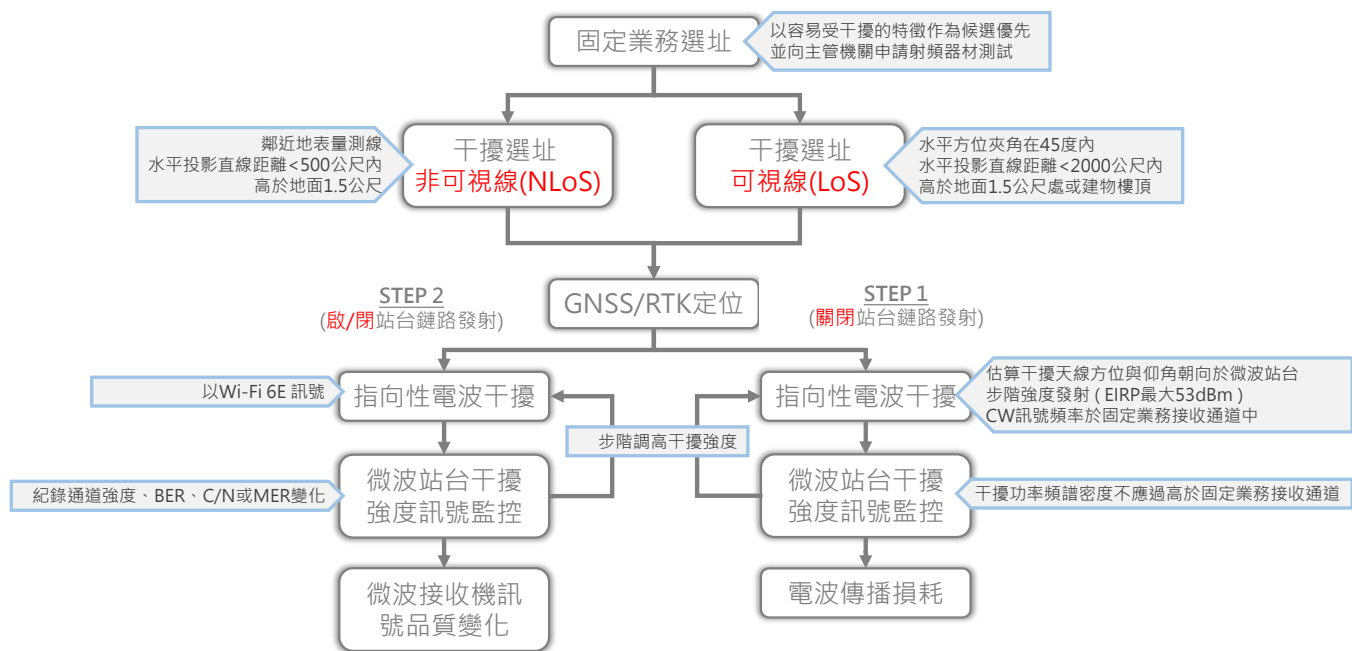


圖 3- 45、干擾作業流程圖

資料來源：本計畫整理



圖 3- 46、干擾架設與量測方式

資料來源：本計畫整理

透過盤點既有電臺，並徵詢各單位協助提供電臺供研究測試，擇其 5 處電臺作為此次戶外干擾執行計畫，如表 3-16。戶外據點選擇的評估方式，根據路測結果、干擾發射功率以及室內量測頻譜儀器之可視平均雜訊位準(Displayed Average Noise Level, DANL)，期望觀察到干擾信號位準，高於頻譜系統底噪 10 dB 以上，確保量測之結果將不受環境與系統雜訊影響。

表 3-16、戶外場域特色

單位	微波地點	區域類型特色
中華電信股份有限公司	枋寮機房	漁村。樓層建物多為 1 至 2 樓樓房且建物密度高。
台灣電力股份有限公司	高港變電所微波臺	園區內微波鏈路方向上 300 公尺內可視，且有園區建物頂樓高處可評估。
台灣電力股份有限公司	路園變電所微波臺	微波鏈路方向上農地居多，且僅有少數矮房或鐵皮工廠。
台灣電力股份有限公司	中南中繼站微波臺	站臺位處臺中火車站附近，高樓層密度多，且微波鏈路方向遠處有高點(立體停車場頂樓)可評估。
台灣電力股份有限公司	新營區域調度中心微波臺	鏈路前方正好為街道，而街道兩側為棋盤式社區公寓大廈。500 公尺外為農地，或許可視得天線。

資料來源：本計畫整理

此次戶外場域主要是了解固定微波服務與屋外裝置間之戶外傳播衰落程度，依據相近的區域類型供模擬修正，以及供未來導入 AFC 參考用途，同時進行 Wi-Fi 6E 使用標準功率 36 dBm/20MHz EIRP 進行干擾，了解同頻干擾下對於微波站臺干擾現象，其干擾量測結果如表 3-17 至表 3-20 所示。

經研析枋寮機房外兩處於干擾監測中如表 3-17，其造成干擾主

要成因為其訊號調變度高、使用頻寬大、站臺接收強度小以及天線尺寸大，對於其上述條件都是降低干擾能耐的因素。對於較小偏軸角位置之標準功率干擾，已導致站臺傳輸明顯受到影響。

台電站臺的測試中，其郊區或鄉村區域類型上可視得電臺天線的機會高。倘若在遠距離上觀測對微波天線之仰角，其對微波天線偏軸小，以致於面對更高的微波天線增益，對於干擾的成因反而遠大於近距離之結果，如表 3- 19 干擾點 2 與表 3- 21 干擾點 1、2 之現象。

對於城市區域類型的結果如表 3- 20，建物林立加大了電波的傳播損耗，即使降低偏軸角之可能，仍因為環境中建物對於電波的雜散現象高，對於造成干擾仍相當有限。

研究計畫所訂定的期望干擾標準為總干擾強度不得高於 $I/N = -6\text{dB}$ ，於這些戶外測試點以標準功率 $36\text{dBm}/20\text{MHz}$ EIRP 所觀測到干擾訊號，其都遠高於 I/N 之標準，不符長期不受干擾之要求，況且實驗中亦僅一部標準功率進行干擾。由戶外實驗可清楚了解，未來戶外裝置是必須適度調降功率或進行移頻來使用，如 AFC 機制方式才有機會降低電臺干擾之問題。

表 3- 17、枋寮機房干擾結果

站臺接收強度與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離(米)	高度差(米)	偏軸角(度)	可視	訊號品質
Main 天線: -47.95dBm /28MHz 128QAM	1	249.0	34.6	8.7	Y	Main 天線:劣化, SNR<19 SD 天線:嚴重, SNR 無法偵測
	2	321.2	36.1	18.9	N	Main 天線:正常, SNR>25 SD 天線:正常, SNR>25
	3	259.3	36.0	11.0	N	Main 天線:正常, SNR>25 SD 天線:正常, SNR>25
	4	229.2	35.8	9.0	Y	Main 天線:劣化, SNR<20 SD 天線:嚴重, SNR 無法偵測
該站臺傳輸途徑方式採空間分集, Main 天線尺寸 10 呎; SD 天線尺寸 12 呎。 SNR>25dB 方能維持 BER<1.0E-6, 確保通訊品質。						

資料來源 :本計畫整理

表 3- 18、高港變電所微波臺

站臺接收強度與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離(米)	高度差(米)	偏軸角(度)	可視	訊號品質
-39.93dBm /10MHz 64QAM	1	261.9	34.2	11.5	Y	正常, SNR 40.2dB
	2	322.1	36.1	6.5	Y	正常, SNR 26.6dB
	3	299.6	45.6	9.5	Y	正常, SNR 25.8dB
	4	291.7	45.6	8.9	Y	正常, SNR 26.2dB
	5	298.5	45.6	9.3	N	正常, SNR 35.7dB
	6	307.6	45.6	10.8	N	正常, SNR 49.2dB
	7	204.4	45.6	13.3	Y	正常, SNR 35.2dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

資料來源 :本計畫整理

表 3- 19、路園變電所微波臺

站臺接收強度與 訊號調變方式	干擾 點	水平投影 距離(米)	高度差 (米)	偏軸角 (度)	可 視	訊號品質
-38.89dBm /5MHz 64QAM	1	1841.0	37.2	1.2	N	正常，SNR 31.6dB
	2	1464.8	39.1	1.6	Y	斷線，SNR 18.7dB
	3	944.3	40.1	2.8	N	正常，SNR 36.4dB
	4	407.7	40.5	14.9	N	正常，SNR 43.4dB
	5	122.5	40.7	18.4	Y	正常，SNR 29.8dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

資料來源：本計畫整理

表 3- 20、中南中繼站微波臺

站臺接收強度與 訊號調變方式	干擾 點	水平投影 距離(米)	高度差 (米)	偏軸角 (度)	可 視	訊號品質
-40.68dBm /10MHz 64QAM	1	89.2	75.9	44.3	Y	正常，SNR 28.7dB
	2	350.4	73.9	12.2	Y	正常，SNR 35.9dB
	3	446.7	73.6	26.0	Y	正常，SNR 37.9dB
	4	1638.7	60.9	5.7	N	正常，SNR 65.5dB
	5	1881.7	41.0	1.6	N	正常，SNR 50.0dB
	6	1874.5	61.0	4.3	N	正常，SNR 66.3dB
	7	759.3	69.9	6.4	N	正常，SNR 54.6dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

資料來源：本計畫整理

表 3- 21、新營區域調度中心微波臺

站臺接收強度與 訊號調變方式	干擾 點	水平投影 距離(米)	高度差 (米)	偏軸角 (度)	可 視	訊號品質
-50.42dBm /10MHz 64QAM	1	4995.6	51.4	0.7	Y	斷線，SNR 13.0dB
	2	2465.8	51.6	1.4	Y	斷線，SNR 13.2dB
	3	138.1	50.6	24.1	Y	斷線，SNR 17.9dB
	4	228.2	50.6	12.8	N	正常，SNR 30.2dB
	5	317.3	50.4	15.2	N	正常，SNR 31.6dB
	6	317.9	50.7	9.1	Y	斷線，SNR 9.4dB
	7	463.4	50.0	16.8	N	正常，SNR 31.7dB
	8	364.7	36.2	13.1	N	正常，SNR 39.8dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

資料來源：本計畫整理

使用路測蒐集資料與上述量測數據，進行資料過濾與整理，擇其資料的可靠性進行通道傳播模擬的差異比對，建立傳播模型趨勢，如圖 3-47 至圖 3-51。由這 5 處測試結果可得知，城市型(Urban)區域類型如臺中市中南中繼站微波臺，近距離可視下之空間路徑損耗評估多位處 WINNER II Urban LoS (C2)曲線附近，而與自由空間損耗並無太大差異，以及當前城市型區域類型近距離僅只於地面評估，倘若裝置位處更高且緊鄰於站臺，勢必面臨較高的干擾可能。如先前模擬所規劃方式，由於當前城市、郊區之站臺天線正前 250 公尺處地面於仍可輕易視得天線，因此建議在短距離間仍希望能以最低自由空間損耗來預測。經傳播結果分析比較，250 公尺至 1 公里建議採以 90% WINNER II Urban LoS(C2)+10% WINNER II Urban NLoS(C2)做為參考依據；1 公里以上建議可採以 Longley Rice + 50% Clutter，如圖 3-50 所示。

對於郊區(suburban)如枋寮與新營區域類型型式，除了 250 公尺內採保守自由空間來評估，對於 250 公尺至 1 公里建議採以 70% WINNER II Suburban LoS(C1)+30% WINNER II Suburban NLoS(C1)做為參考依據；1 公里以上區域類型採類似於鄉村(Rural)型態，建議以 Longley Rice + 0.01% Clutter 來嚴加評估，如圖 3-47 和圖 3-51 所示。

鄉村區域類型如路園變電所微波臺，可視得天線的機率更高，且天線周遭建物複雜度低，雜散效應相對於小，以至於干擾傳播損耗顯得較低。同樣在 250 公尺內採保守自由空間來評估，對於 250 公尺至 1 公里建議採以 90% WINNER II Rural LoS(D1)+10% WINNER II Rural NLoS(D1)做為參考依據；1 公里以上建議可採以 Longley Rice + 0.01% Clutter，圖 3-49 所示。

由上述場外測試之分析結果，統整各區域類型差異予以傳播模型方式之建議，如表 3-22。

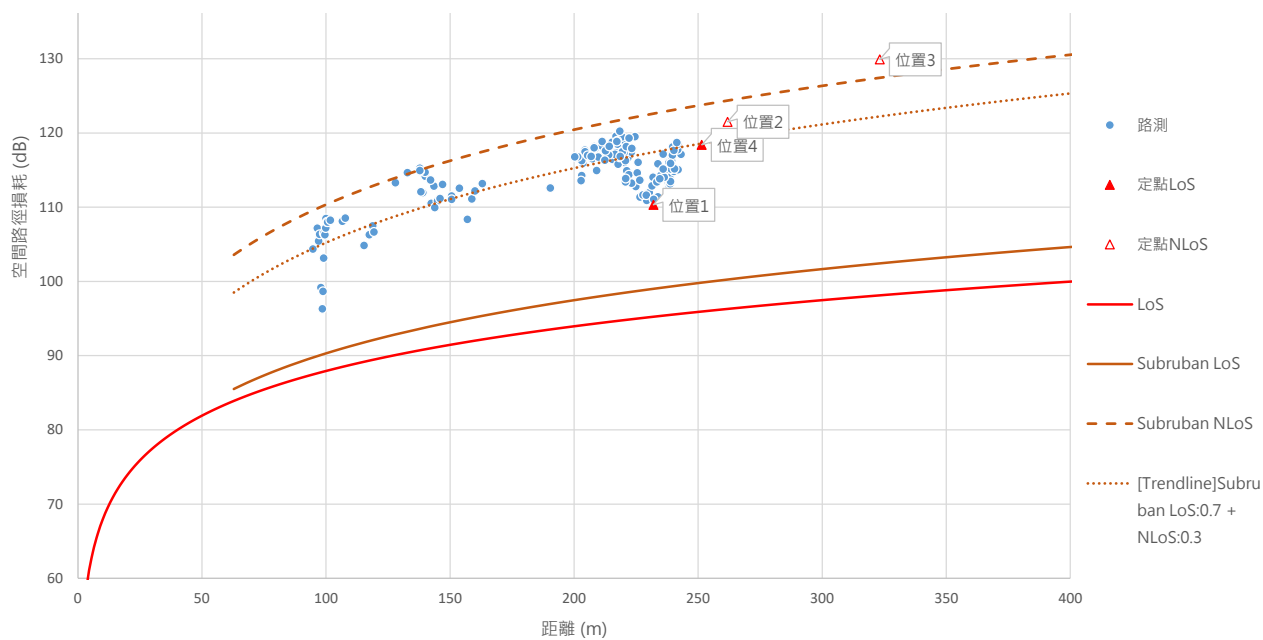


圖 3- 47、枋寮機房戶外傳播模型之可能

資料來源：本計畫整理

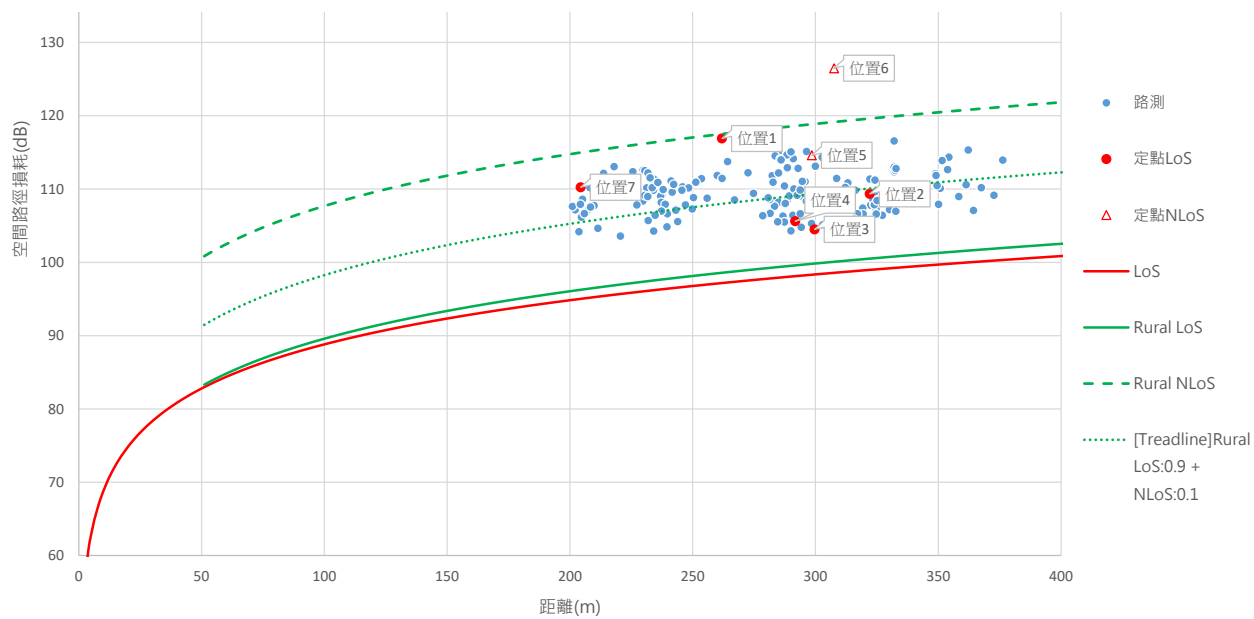


圖 3- 48、高港變電所微波臺戶外傳播模型之可能

資料來源：本計畫整理

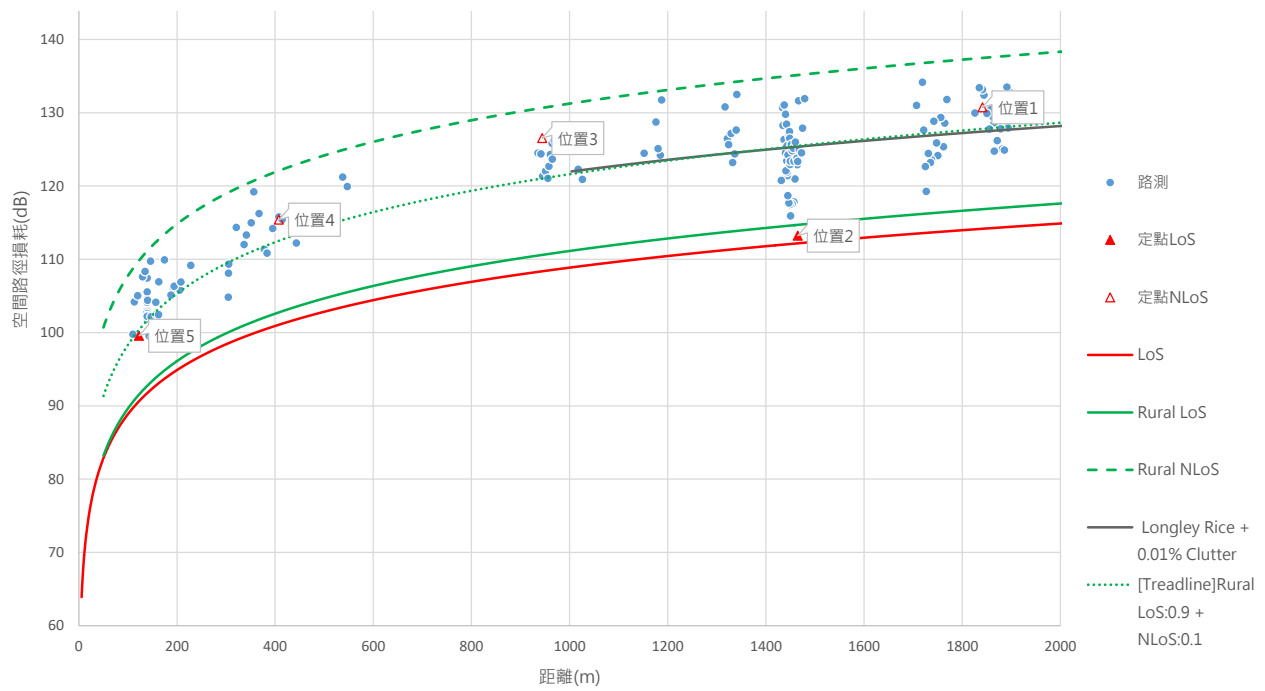


圖 3- 49、路園變電所微波臺戶外傳播模型之可能

資料來源 :本計畫整理

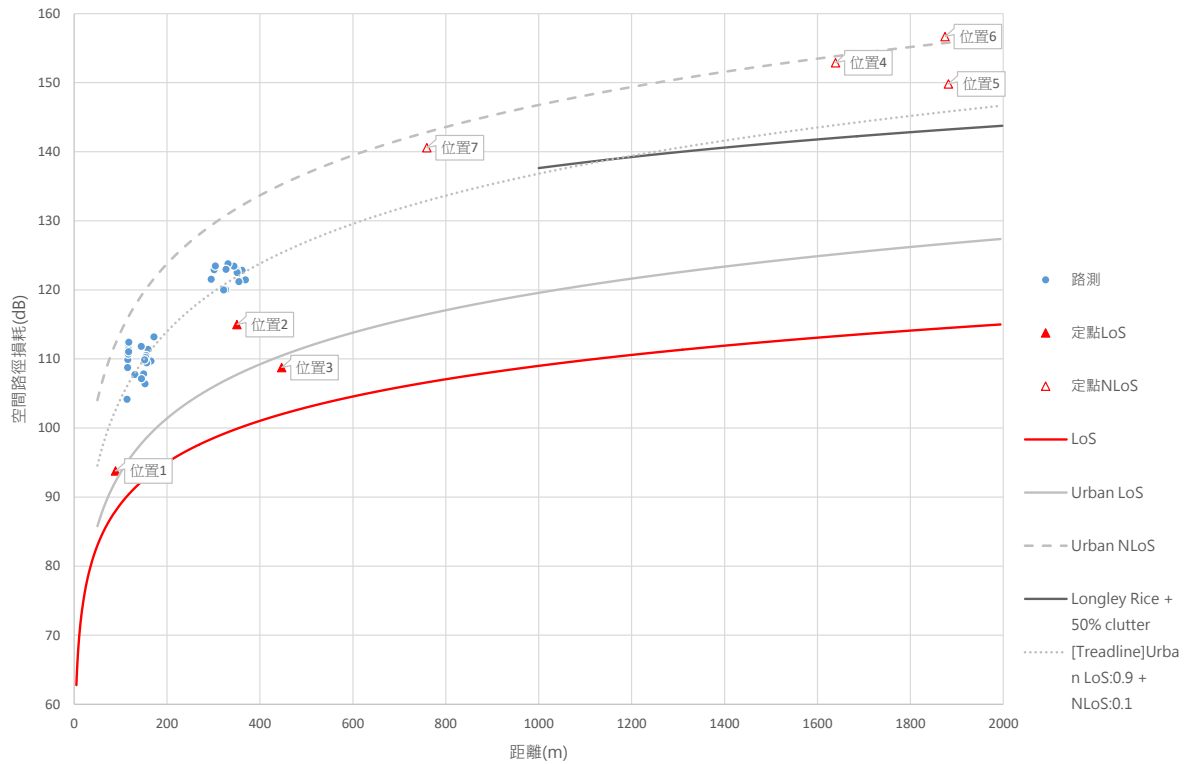


圖 3- 50、中南中繼站微波臺戶外傳播模型之可能

資料來源 :本計畫整理

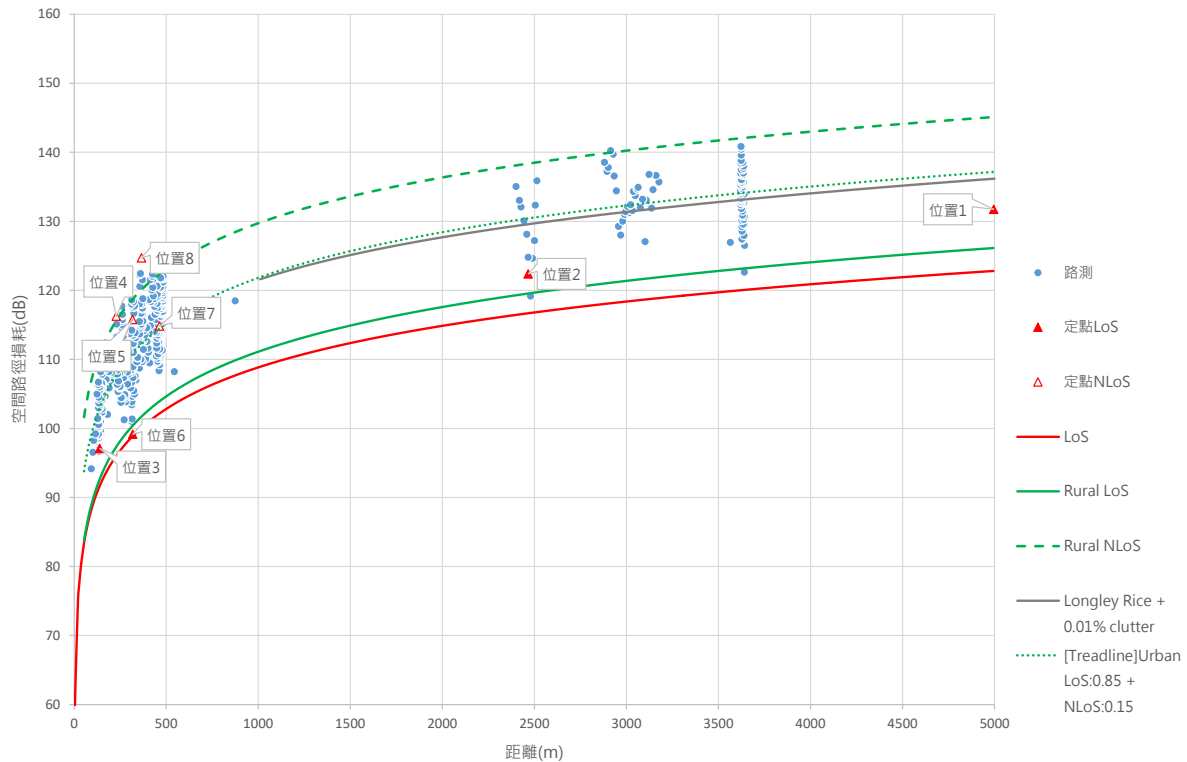


圖 3- 51、新營區域調度中心微波臺戶外傳播模型之可能

資料來源：本計畫整理

表 3- 22、各類區域環境傳播模型建議方式

區域	傳播模型建議
城市	小於 250 公尺：以自由空間損耗 ITU-R P.525 250 公尺至 1 公里：90% WINNER II Urban LoS(C2)+10% WINNER II Urban NLoS(C2) 大於 1 公里：Longley Rice + 50% Clutter
郊區	小於 250 公尺：以自由空間損耗 ITU-R P.525 250 公尺至 1 公里：70% WINNER II Suburban LoS(C1)+30% WINNER II Suburban NLoS(C1) 大於 1 公里：Longley Rice + 0.01% Clutter
鄉村	小於 250 公尺：以自由空間損耗 ITU-R P.525 250 公尺至 1 公里：90% WINNER II Rural LoS(D1)+10% WINNER II Rural NLoS(D1) 大於 1 公里：Longley Rice + 0.01% Clutter

資料來源：本計畫整理

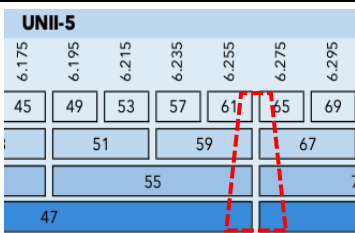
六、 固定微波服務受干擾樣態再模擬分析

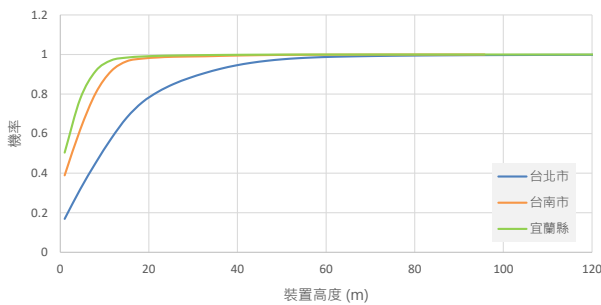
依據實測所評估之傳播模型建議進行調整，同時考慮裝置其他因素，如天線間極化匹配損耗、頻道占用可能、使用 Wi-Fi 終端上網的比例、室內室外人員使用裝置比例、不同區域類型差異之室內布署高度、不同區域類型差異之室內裝置密度的可能、裝置活動率與忍受長期或短期干擾之能力，如表 3-23。重新評估 FCC 所規範之 6 GHz 裝置功率限制外，並將歐盟裝置亦列入情境模擬分析。

模擬分析方式將採以發生長期與短期干擾之可能性，並針對歐盟於戶外的超低功率裝置，評估調降功率情境來降低干擾的可行性，其情境設置列表如表 3-24。

表 3-23、Wi-Fi 對微波站干擾的參數設置

項目	說明	設定值
天線間極化匹配損耗	1. 假設微波站天線與 Wi-Fi 天線間的訊號傳遞存在至少 45 度差，依據 Antenna Theory: Analysis and Design 所述的極化損耗因子(Polarization Loss Factor)定義，其具備 $10\log(\cos^2(45))=-3$ 損耗因子。 (b) PLF for transmitting and receiving linear wire antennas	-3 dB
頻道占用比	1. 考量未來 Wi-Fi 裝置在 6 GHz 使用時，於通道選擇時，可能與 20MHz 微波占用的機率。 2. 對於美國室內裝置，可使用頻段從 5925MHz 至 7125MHz，所有頻寬類型具 109 種頻道選擇方式，同頻的機率為 7.3%。	USA_Indoor_7.3%； USA_Outdoor_10.5%； Euro_17.8%

項目	說明	設定值
	 3. 對於美國室外裝置，可使用頻段從 6425MHz 至 6525MHz 與 6875MHz 至 7125MHz 同頻的機率為 10.5%。 4. 對於歐盟裝置，可使用頻段從 5935MHz 至 6425MHz 同頻的機率為 17.8%	
裝置活動率	1. 尖峰時刻裝置使用之發射活動率。參考 ECC Report 302。	1.97%
人口密度	1. 依據人口密度來評估 Wi-Fi 終端使用基礎依據。各縣市人口密度中，最高為臺北市 9071.42 人/km ² 將其視為高密度人口；縣市人口密度中位數 844.55 人/km ² (臺南市) 將其視為中密度人口；第一四分位數縣市人口密度 290.92 人/km ² (宜蘭縣) 將其視為低密度人口。	People_H_density_9071.42 人/km ² ； People_M_density_844.55 人/km ² ； People_L_density_290.92 人/km ²
使用 Wi-Fi 終端上網的比例	1. 依據臺灣網路資訊中心 2020 年調查，由於行動網路發展普及，生活中有透過戶外、公用場所或家中無線上網僅有 27%。	Using Wi-Fi_27%
室內室外人員比例	1. 採以人口密度中的室外 20%，室內 80% 人員使用 Wi-Fi 裝置之比例。	Indoor_people_20%； Outdoor_people_80%
室內裝置布署高度	1. 依據各密度區別，針對其建物統計其室內裝置布署高度可能。 高密度：臺北市 中密度：臺南市 低密度：宜蘭市	臺北市_Indoor_高_CDF；臺南市_Indoor_中_CDF；宜蘭縣_Indoor_低_CDF；

項目	說明	設定值
		
室內裝置布署密度	1. 依據各密度區別，調查其家庭戶數密度作為室內存取裝置密度。臺北市 3872.7 戶/km²；臺南市 323.9 戶/km²；宜蘭縣 81.3 戶/km²。 高密度：臺北市 中密度：臺南市 低密度：宜蘭市	臺北市 _Indoor_D； 臺南市 _Indoor_D； 宜蘭縣 _Indoor_D；
室內外裝置功率	1. 採用美國室內功率存取裝置 30 dBm EIRP，用戶端 24 dBm EIRP。 2. 採用美國室外標準功率存取裝置最大 36 dBm EIRP，用戶端 30 dBm EIRP。 3. 採用歐盟室內低功率裝置 23 dBm EIRP。 4. 採用歐盟超低功率裝置 14 dBm EIRP。	USA_IndoorA P_30dBm_Cli ent_24dBm； USA_Outdoor AP_36dBm_C lient_20dBm ； Euro_Indoor_ 23dBm； Euro_Outdoor _23dBm
I/N 保護規範要求	1. 長時間發生干擾要求 I/N 於 -6 dB (發生時間機率應在 0.2 以下)¹²⁸ 2. 短時間發生干擾要求 I/N 於 19 dB (發生時間機率應在 0.01 以下)¹²⁹	L_I/N_-6； S_I/N_19

資料來源：本計畫整理

¹²⁸ ITU-R F.758-7

¹²⁹ ITU-R SF.1650-1

表 3-24、情境分析樣態說明

情境	說明
一	都市。室內布署採用美國 30dBm EIRP 存取裝置與 24dBm EIRP 終端，布署半徑 8 公里內高密度；8 至 16 公里中密度；16 至 32 公里低密度。  依人口住戶密度 X 同頻使用比例 X 裝置活動率 X 面積 依人口密度 X 室內人員比例 X 同頻使用比例 X 人員使用Wi-Fi比例 X 裝置活動率 X 面積 室內裝置同頻數量統計方式
二	承情境一，加上室外布署採用美國標準功率存取裝置 36dBm EIRP 與終端 30dBm EIRP。  依戶外AP密度 X 同頻使用比例 X 裝置活動率 X 面積 依人口密度 X 室外人員比例 X 同頻使用比例 X 人員使用Wi-Fi比例 X 裝置活動率 X 面積 室外裝置同頻數量統計方式  依戶外AP密度 X 裝置活動率 X 面積 依人口密度 X 室外人員比例 X 人員使用Wi-Fi比例 X 裝置活動率 X 面積 室外裝置鄰頻數量統計方式
三	承情境一，裝置布署採歐盟室內低功率裝置 23dBm EIRP。
四	承情境三，加上布署歐盟室外超低功率裝置 14dBm EIRP。
五	郊區。室內布署採用美國 30dBm EIRP 存取裝置與 24dBm EIRP 終端布署半徑 1 公里內中密度；1 至 32 公里低密度。
六	承情境五，加上室外布署採用美國標準功率存取裝置 36dBm EIRP 與終端 30dBm EIRP。
七	承情境五，裝置布署採歐盟室內低功率裝置 23dBm EIRP。
八	承情境七，加上布署歐盟室外超低功率裝置 14dBm EIRP。
九	鄉村。室內布署採用美國 30dBm EIRP 存取裝置與 24dBm EIRP 終端布署半徑 32 公里低密度。
十	承情境九，加上室外布署採用美國標準功率存取裝置 36dBm EIRP 與終端 30dBm EIRP。
十一	承情境九，裝置布署採歐盟室內低功率裝置 23dBm EIRP。
十二	承情境十一，加上布署歐盟室外超低功率裝置 14dBm EIRP。

資料來源：本計畫整理

經 SEAMCAT 分析上述各情境結果。針對美國與歐盟所訂定的室內裝置規範限制，在布署可能的存取與用戶端裝置數量下進行模擬。由於建物穿透損耗高且傳遞至室外時訊號強度普遍削弱許多，在城市、郊區與鄉村區域類型下對於固定微波服務站臺的影響低，其各造成的干擾總量 I/N 約在 -58 dB 以下遠低於長期與短期之干擾，因此兩規範之室內裝置都能達成對固定微波服務站臺不受干擾，如表 3- 25。

表 3- 25、僅布署室內裝置對固定微波服務站臺的干擾機率

情境	區域類型	裝置規範	I/N (dB)	長時間發生干擾機率	短時間發生干擾機率
一	城市	美國	-61	0	0
三	城市	歐盟	-59	0	0
五	郊區	美國	-58	0	0
七	郊區	歐盟	-58	0	0
九	鄉村	美國	-62	0	0
十一	鄉村	歐盟	-58	0	0
長時間不受干擾 I/N 於 -6 dB，發生機率不應超過 0.2。 短時間不受干擾 I/N 於 19 dB，發生機率不應超過 0.01。					

資料來源：本計畫整理

在加入戶外裝置分析下。參考美國或是歐盟技術規範的戶外裝置，對於站臺的影響可於戶外實測過程中即可察覺，如表 3- 21 的干擾點 1，在僅一部採用美國標準功率裝置便可對站臺傳輸造成嚴重斷線。倘若未來面對更多裝置時唯有降低發射功率或是採以鄰頻，方能有效降低干擾程度。

裝置在區域類型的分析上，由實測表 3- 19 與表 3- 21 中可察覺，對於站臺位處郊區與鄉村區域上，由於干擾裝置附近較少複雜電波傳遞之障礙，亦代表較少地表雜散損耗，相對提高了對於干擾的可能性。由於實測過程都採較嚴苛方式，亦並未能完全代表全部裝置，因此需透過多樣的環境因素、使用狀況、裝置發射等因素來加以評估。經模

擬在長時間干擾要求下，凡是有戶外裝置的布署，都無法滿足需求；而在短時間干擾要求下，僅有採用歐盟規範能完全符合於城市環境中，其主要由於城市中建物較為密集，對於地面戶外裝置對微波的干擾傳輸上損耗較大。而在郊區與鄉村上，戶外裝置與站臺間的傳輸損耗較小，助長對於干擾的影響。經模擬分析其短時間發生干擾機率約為 0.1。深入研析歐盟戶外裝置對於實際長期干擾之可能，其裝置干擾總量雖在 $I/N < 14 \text{ dB}$ 以下，由於固定微波站臺鏈路強度仍保有一定的通訊餘裕度，如計畫中所安排的電臺其強度都大於 -50 dBm 以上，對於評估 S/I 最小值仍可有 37 dB ($-50 \text{ dBm} - (-101 \text{ dBm} + 14 \text{ dB})$)，對於當前評估之站臺傳輸所需 S/N 要求($S/N > 25 \text{ dB}$)，亦不足以構成明顯之長期通訊干擾現象。

表 3- 26、布署室內與室外裝置對固定微波服務站臺的干擾機率

情境	區域類型	裝置規範	$I/N \text{ (dB)}$	長時間發生干擾機率	短時間發生干擾機率
二	城市	美國	24	1	0.403
四	城市	歐盟	11	1	0.001
六	郊區	美國	25	1	0.460
八	郊區	歐盟	12	0.993	0.121
十	鄉村	美國	24	1	0.457
十二	鄉村	歐盟	14	0.993	0.110
長時間不受干擾 I/N 於 -6 dB ，發生機率不應超過 0.2。 短時間不受干擾 I/N 於 19 dB ，發生機率不應超過 0.01。					

資料來源：本計畫整理

七、 固定衛星服務上鏈干擾評估

目前中華電信，於地球靜止軌道有一 ST-2 衛星服務，並具 C 頻段衛星上鏈、衛星轉頻、小型衛星地面終端設備(Very Small Aperture Terminal, VSAT)等功能，考慮到 5925 MHz 至 6425 MHz 頻段內固定衛星接收波束屬於大覆蓋區域，涵蓋範圍如圖 3-52，對於遠在 3 萬 6 千公里遠的衛星而言，免執照裝置包含用戶端的總數量非常多，這些同頻段發射所形成的干擾屬於平均型聚合形式，對於上鏈的干擾可視為定向非時變。根據 ITU-R S.1432-1 建議書中的保護標準採用 I/N 值定義，由於衛星轉發器需承受長時間不受干擾，因此選擇使用干擾值低於熱雜訊 12.22 dB 做為評估標準，此處的雜訊、干擾值並不包含其他同頻服務上的干擾，如衛星之間的干擾。其他干擾應各自分配衛星上鏈餘裕度。後續將以此衛星資料作為主要評估參數進行分析，相關資料整理於如下表 3-27。

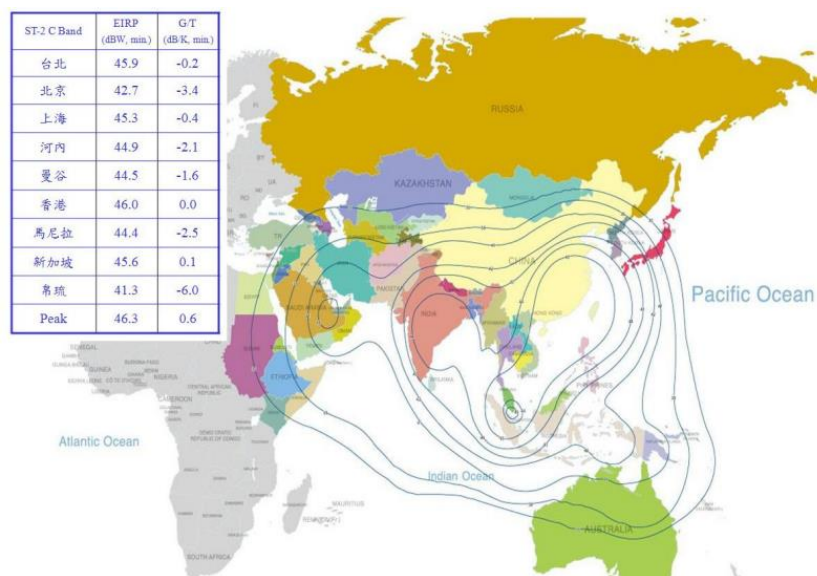


圖 3-52、ST-2 C 頻段涵蓋圖

資料來源：中華電信國際電信分公司衛星處

表 3- 27、ST 2 衛星與地球站相關參數

參數定義	設定值	說明
地球半徑	6,371 km	平均地球半徑
衛星海拔	35,786 km	ST 2 衛星資料 NORAD 37606
衛星到干擾點距離	37,314.98 km	計算自由空間傳輸損耗使用距離
衛星經度	87.97°	ST 2 衛星資料
干擾點經度	121.56685°	菁山路衛星發射站
干擾點北緯	25.14292°	菁山路衛星發射站
干擾點對衛星仰角	42.54°	干擾波束水平夾角
干擾點對衛星方位角	237.40°	面向北順時針方向角度

資料來源：本計畫整理

依據前述無線區域網路使用者人口分析得知約佔目前網路使用者約 27%，根據國家發展委員會臺灣總人口數，可推估得上網總人數約為 2,127.7 萬人，有使用無線區域網路者約為 571.8 萬人，戶外使用者占約 20%，室內使用者佔 80%。依政府資料開放平臺搜尋到臺灣常見熱點，戶外設備目前總計有 8,457 台，根據臺灣人口分布約佔臺灣面積比例 17.5%換算，戶外設備密度約 1.33 台/km²，室內設備約有 69,603 台，室內設備密度約 10.99 台/km²，前述室內設備不含家庭使用之無線路由器，依據內政部民國 110 年 12 月戶口統計資料，全國總戶口數為 9,006,580 戶，考慮同住分戶、全國建物總數為 4,887,298 棟，若每棟建物內住兩戶共用一台室內無線路由器，室內無線區域網路設備可初估約 450 萬台，相較於無線區域網路使用人數室內使用者客戶端估計 457.4 萬人數量具對照性。估算設備數量與使用情境整理如下表 3- 28。

表 3- 28、免執照設備估算數量與使用情境

使用場域	無線路由器	客戶端
戶外	8,457	1,143,600
室內	4,569,603	4,574,400

資料來源：本計畫整理

根據免執照設備特性建立布署模型，考慮使用頻段向下相容，依照 2.4 GHz、5 GHz、6 GHz 頻寬比建立 6 GHz 同頻因子為 47.24%。

根據 ECC Report 244，ITU-R Joint Task Group (JTG) 4-5-6-7 組織指出 62.7%可作為城鎮的平均繁忙時間因子，參考 2020 臺灣網路報告，臺灣使用者使用網路時間具有集中性，且比全球使用網路者平均使用時間更長，又臺灣多屬於集中城鎮地形，因此改採 70%做為繁忙時間因子，另外，為了盡可能高效利用有限的頻譜，無線接取系統並不會連續傳輸數據，而是會具有一定的觀察訊號時間，因此各設備於同樣時間傳輸訊號時，即需要符合射頻活動因子，其值設定為 1.97%，最後考慮市場 6 GHz 設備汰換因子，以高汰換率 80%進行評估。整理上述設備布署模型，建立最大量免執照設備布署進行干擾進行評估。布署模型參數整理如下表 3- 29，另外將此模型參數估計數量，可得同時間發射裝置數量為表 3- 30。

表 3- 29、免執照設備布署模型

修正因子	數值
6 GHz 同頻因子	47.24%
繁忙時間因子	70.00%
射頻活動因子	1.97%
市場更換設備因子	80.00%

資料來源：本計畫整理

表 3- 30、免執照設備同時發射數量

使用場域	無線路由器	客戶端
戶外	44	5,960
室內	23,815	23,840

資料來源：本計畫整理

衛星接收器承受最大干擾總量計算可由熱雜訊、鏈路損耗、再依據長期不受干擾要求低於雜訊 12.22 dB 求得其限值。相關數值與參考文獻整理於表 3- 31，並忽略雜波損失與頻譜重疊損失，衛星接收

器以相同頻寬之功率下推算，採較嚴苛標準進行估算，計算公式如下。

$$EIRPe - PL - Lp + Gs/T - 10\log(KB) = I/N$$

$EIRPe$ 為免執照設備功率上限，即最大承受干擾總量。

PL 為自由空間損失，衛星到干擾點距離。

Lp 為極化失配（Polarization mismatch）損失。

B 為衛星頻寬。

K 為波茲曼常數 $1.3806488 \times 10^{-23}(\text{J/K})$ 。

Gs 為衛星接收端增益。

表 3- 31、衛星上鏈計算參數

計算項目	數值	參考文獻
長期不受干擾 I/N	-12.22 dB	ITU-R S.1432-1
衛星接收站雜訊溫度	500 K	ITU-R-REC-S.1433
衛星接收站訊號增益	30 dB	ITU-R S.2174
極化失配損失	-3 dB	ITU-R-REC-P.341
建物損失	-15.5 dB	ITU-R P.2109
天線仰角增益損失	-15 dB	ITU-R-REC-F.1336

資料來源：本計畫整理

衛星上鏈主要干擾評估來自未經建物衰減之戶外設備，FCC 為保護 FSS 上鏈，規範免執照接取設備 30 度水平夾角以上之最大 EIRP 需低於 21 dBm，最大 EIRP 為 36 dBm；歐盟則是開放 VLP 設備之 EIRP 為 14 dBm。針對干擾使用之全向性天線評估可使用 ITU-R-REC-F.1336 所建議之天線場型圖，如圖 3-53，由此圖可得到仰角 30 度天線增益損失為-15 dB，由於各種設備使用的天線場型均是未知，特別小型基站與企業用 Wi-Fi AP 常用具備向下傾斜場型的天線來降低對於衛星的干擾，因此為了降低評估複雜度，採用 H 平面和 E 平面的全向性天線場型用於免執照設備的室內和室外布署。

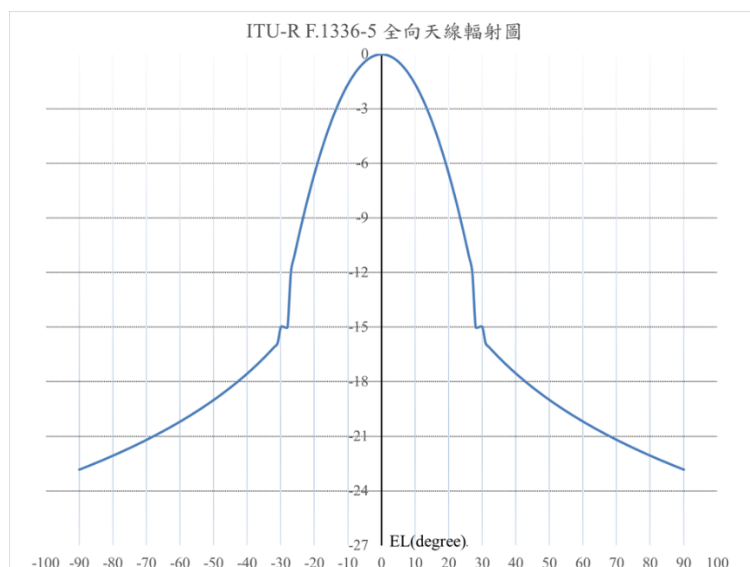


圖 3- 53、天線仰角場型圖

資料來源：本計畫整理

依前述公式可推算 ST - 2 衛星於符合長期標準下可接受之最大干擾總量為 61.88 dBm，再依照前述表 3- 30 所建之布署模型計算同時發射的設備總量，發射功率則以目前 FCC 所開放之標準功率產品、歐盟所開放超低功率產品進行計算，其結果整理於表 3- 32。

以 FCC 標準功率產品規範得到總干擾 EIRP 為 54.77 dBm，依據歐盟超低功率產品規範得到總干擾 EIRP 為 52.66 dBm，二者均小於 ST-2 衛星可承受干擾總量。據推論可得知，設備布署模型、設備使用功率、衛星鏈路可承受干擾總量之限值對於是否形成干擾影響甚鉅，若以未來網路使用情況、設備汰換更新狀況，將繁忙時間因子、市場更換設備因子均設定為 100%情況下並採 FCC 標準功率產品規範計算得干擾總量為 57.29 dBm，亦低於推估之衛星干擾承受限制，唯上述計算均未包含其他國家於 ST-2 衛星覆蓋範圍內之同時發射干擾總量。

表 3- 32、同時發射干擾評估表

使用場域	無線路由器	客戶端	總干擾 EIRP
FCC 標準功率規範(考慮天線場型)	21 dBm	15 dBm	54.77 dBm
戶外	31.43 dBm	54.75 dBm	
室內	49.27 dBm	43.27 dBm	
歐盟超低功率產品規範	14 dBm	14 dBm	52.66 dBm
戶外	30.43 dBm	51.75 dBm	
室內	42.27 dBm	42.27 dBm	

資料來源：本計畫整理

第五節、其他延伸議題研析

中國對於 6 GHz 頻譜規劃，中國大陸工信部於 2021 年亞太頻譜管理會議提及，有意全面開放給行動通訊所使用，對於僅鄰臺灣海峽之隔的我國，面對國內既有站臺的影響亦須審慎評估。

對於固定微波服務站臺的考量，離島金門縣與連江縣上的站臺各有 11 處與 6 處。面對鄰近中國大城市之距離，以金門縣(縣政府)對中國廈門市(人民政府機關)距離約 23 公里；連江縣(縣政府)對中國福州市(人民政府機關)距離約 66 公里。考量中國城市中架設 6 GHz 基地臺之高度與可覆蓋距離，依可視無線電傳播距離方程式計算¹³⁰，在不同站臺高度可覆蓋地表距離如圖 3- 54。由基地臺架設高度與最大傳播距離之關係，金門縣 23 公里仍可能是電波覆蓋區域，因此未來金門縣固定微波服務將可能易受到中國基地臺的干擾影響，建議應該調整固定微波服務使用頻段，而目前金門縣固定微波服務皆為電信業者所擁有，且都布局於 L6 頻段上。

¹³⁰ Translators Cafe, Radio Line of Sight Distance Calculator, <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/NL/calculator/radio-line-of-sight/>

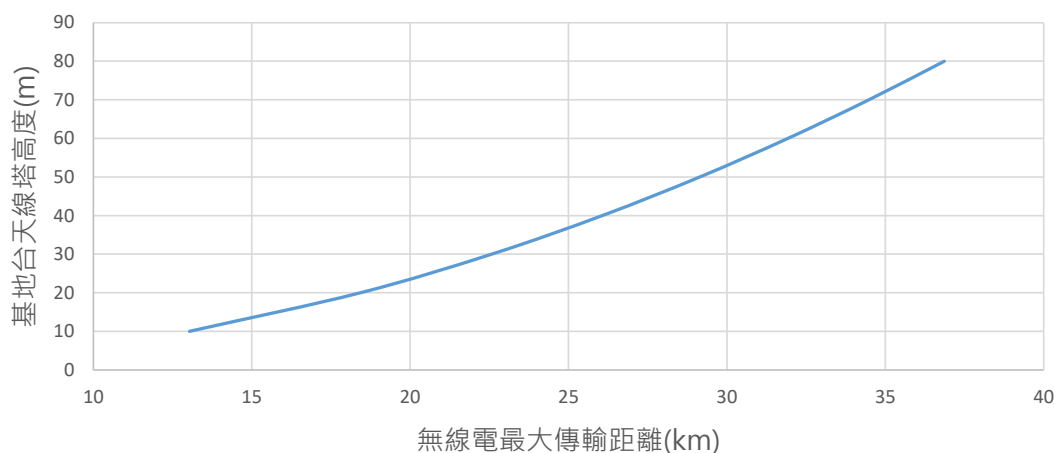


圖 3- 54、天線高度與最大傳播距離

資料來源：本計畫整理

對於固定衛星服務站臺方面，除了未來可能要面對開放大量免授權裝置的使用，更可能因為 ITU WRC-23 決議 6425 MHz 至 7125 MHz 作為行動通訊所使用，將面臨更大的干擾挑戰。由於固定衛星服務的地面服務幅員廣闊，上鏈使用頻率雖然高於下鏈，但其覆蓋範圍應無太大差異，以 ST-2 C band 地面服務範圍如圖 3- 55，其近乎涵蓋半個亞洲與大洋洲。而當前全球使用 C band 作為上鏈傳輸的固定衛星亦不少，以我國常用的接收衛星數量就達 16 顆，若未來將 6 GHz 頻段開放給行動通訊所使用，將可能面臨到我國當初開放 LTE 2.6 GHz 頻段，基地臺干擾到日本 N-Star 衛星上鏈的問題。因此如果將此頻段做為未來行動通訊所使用，各國亦陸續開臺使用，多數以 C band 做為上鏈傳輸服務的衛星，將勢必面臨來自各國的干擾。唯有限制行動通訊基地臺發射功率或限制於室內使用，才有機會降低對 C band 衛星上鏈影響。

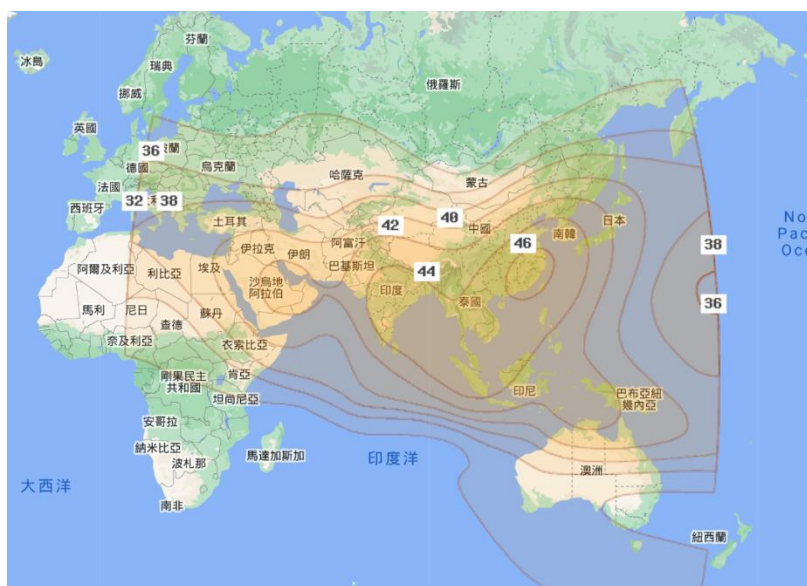


圖 3- 55、ST-2 地面 C band 服務範圍

資料來源：lyngsat 網站

第六節、 小結

本計畫透過盤點我國 6 GHz 既有使用情況、蒐集統計裝置布署與模擬參數，以此進行模擬分析。藉由場域實測了解干擾情況與進一步調整傳播模型，並增列裝置行為參數再進行模擬，如圖 3-56。藉此評估我國既有環境開放 6 GHz 提供免授權裝置使用與既有使用者(固定微波服務與固定衛星服務上鏈)共存可能性，作為我國整備 6 GHz 頻譜政策參考依據。

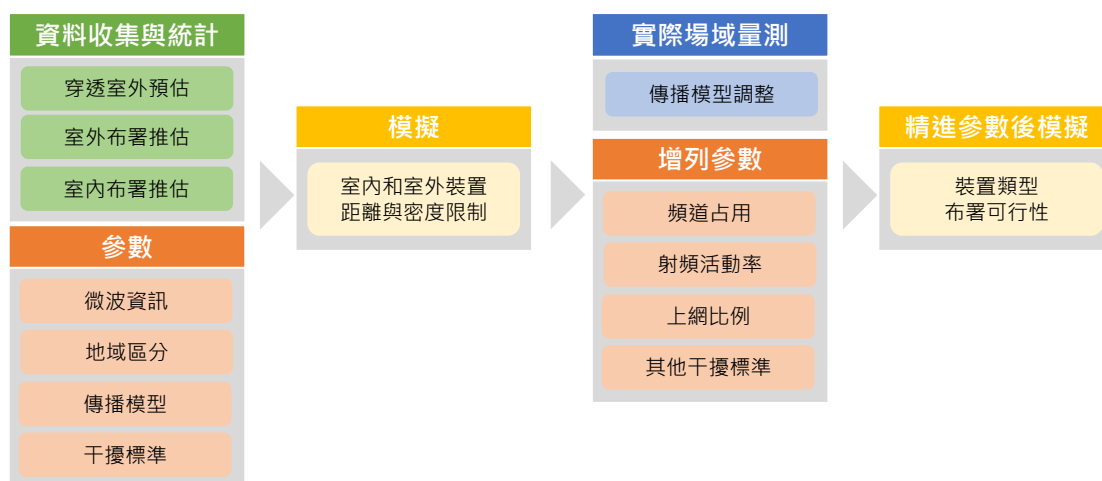


圖 3- 56、固定微波服務研析流程

資料來源：本計畫整理

本計畫盤點我國 6 GHz 既有使用者，發現我國目前共有 21 個單位使用，包含固定微波服務電臺 438 處、固定衛星服務電臺 32 處，其中 45% 固定微波服務電臺座落在高於全國平均人口密度(每平方公里 641 人)之區域。當前進行的內政部警消移頻計畫中，僅有警政單位 92 條鏈路移頻至 L6 頻段上，且站臺亦多位處城市中，在後續干擾研析結果，於城市中的固定微波受到 Wi-Fi 6E 干擾相較郊區或鄉村來得低，因此在開放歐盟裝置功率政策下，受干擾影響之程度低。

已開放 6 GHz 作為免執照頻段的美國、歐盟、日本、南韓等主要國家，對於 6 GHz 免執照頻段裝置技術規範要求，涵蓋各裝置類型之功率使用限制、使用環境限制、應用情境限制與裝置帶外之不必要發射限制等要求。依據功率進行區分可歸納四類型標準功率、室內功率、室內低功率、超低功率，如表 3- 33。多數國家考量干擾與管制議題，採以遵循開放低功率之策略。僅美國與加拿大明確採導入 AFC，作為開放標準功率所使用。本計畫並參考美國、歐盟與日本相關技術報告，研析室內至室外穿透損耗之技術標準、裝置所處環境之地面雜散技術標準等相關電波特性，選擇合適我國環境之傳播模型，如表 3- 22 所示。

表 3- 33、各裝置差異與採用之國家

功率類型	存取裝置(AP) 功率限制	用戶裝置功率 限制	應用限制	適用國家
標準功率	36 dBm	30 dBm	高於水平仰角 30 度，限制功 率需低於 21 dBm ； 具 備 AFC	美國、加拿大
室內功率	30 dBm	24 dBm	禁止操作於移 動車載	美國、加拿大
室內低功率	23 dBm	23 dBm	禁止操作於移 動車載	歐盟、日本、 英國
超低功率	14 dBm	14 dBm	禁止操作於無 人機系統	歐盟、加拿大、 日本、南韓、 英國、香港、 澳洲

經資料來源：本計畫整理

由實測干擾固定微波服務電臺量測結果，並調整各類環境傳播模型與相關參數，模擬分析 6 GHz 美國與歐盟各國免執照裝置之佈局，對固定微波服務既有使用者之干擾，並研析各區域類型對於裝置布署影響之差異。經研析之成果，對於美國與歐盟規範功率之室內裝置布署，皆無干擾現象；若加入布署室外裝置之情境，美國規範功率將造成嚴重干擾問題，歐盟裝置功率則唯獨城市中可符合不受干擾，郊區、鄉村則因為地表雜散效應低，仍有約 10% 機率產生干擾之可能，如表 3- 34 所示。

表 3- 34、未來 Wi-Fi 6E 開放裝置評估

項次	規範	使用裝置內容	評估結果
1	美國 (室內)	1. 室內存取端 (30 dBm) 2. 連接室內存取端之用戶端 (24 dBm)	無干擾現象
2	歐盟 (室內)	1. 室內低功率存取端與用戶端 (23 dBm)	無干擾現象
3	美國 (室內+ 室外)	1. 室內存取端 (30 dBm) 2. 連接室內存取端之用戶端 (24 dBm) 3. 室外標準功率 (36 dBm) 4. 連接室外標準功率之用戶端 (30 dBm)	造成固定微波服務 干擾
4	歐盟 (室內+ 室外)	1. 室內低功率存取端與用戶端 (23 dBm) 2. 超低功率存取與用戶端 (14 dBm)	城市區域環境無干 擾現象 郊區、鄉村約有 10%機率產生干擾

資料來源：本計畫整理

另外固定衛星服務主要受戶外設備干擾較大，因此對於戶外設備功率、數量為主要評估重點，本計畫較為嚴苛之條件進行干擾評估，包含降低衛星上鏈忍受干擾能力，使用較高之繁忙時間因子與設備汰換因子，免執照頻段使用標準功率，評估結果發現 6 GHz 免執照頻段裝置將不致對衛星上鏈通訊產生干擾。

第四章、和諧有效使用機制研析

第一節、潛在候選機制盤點與研析

對於頻譜資源之應用而言，6G 頻段（5925-7125 MHz）係相當熱門之候選頻段。考量頻譜資源有限，於不干擾既有使用者之情形，如何提供更多使用者且各使用者皆可和諧共享頻譜，係值得探討之議題。因此，本節將盤點各頻段採用之頻譜共享機制，包含 5GHz 頻段之先聽候送（Listen-Before-Talk, LBT）與動態頻率選擇（Dynamic Frequency Selection, DFS）、3.5GHz 頻段之公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service, CBRS），以及 6GHz 頻段討論度較高之自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）等共享頻譜機制。藉由本節盤點與研析，俾利於第二節評估潛在和諧共享頻譜機制可行性。

一、先聽候送機制

先聽候送（Listen Before Talk, LBT）係一種頻譜和諧共用與防止干擾之機制。此機制中，發射機使用無線電頻率發射信號前，須先偵測周圍電磁環境，觀察是否已有用戶使用該頻率。若已有人使用，則發射機就不能發射信號；若該頻率無人使用，則可經由一定報准程序，取得授權，進行信號發射與通信，如圖 4- 1。¹³¹

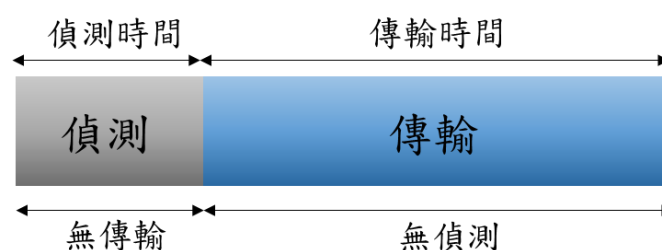


圖 4- 1、LBT 機制

資料來源：SENSOR

¹³¹ Abbass Nasser. Spectrum Sensing for Cognitive Radio: Recent Advances and Future Challenge. 2021.03.

(一)、歐洲電信標準協會

歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）制定有關 5 GHz 頻段無線區域網路標準中¹³²。例如，歐盟規劃供無線麥克風使用之 863-870 MHz 頻段中，就使用 LBT 技術，以動態方式共用無線電頻率。

1. ETSI TR 102 313

ETSI 於 104 年 7 月釋出 ETSI TR 102 313(V1.1.1)¹³³，提及 LBT 相關參數說明，本節將摘錄其重點，如下：

若通道空閒，設備即可傳輸；若通道繁忙，則於通道空閒(或頻率更改為空閒通道)前，設備將被停止傳輸。具有 LBT 功能之設備將被允許於整個 863 MHz 至 870 MHz 頻段上操作，不包含社交警報之頻率範圍。然而 LBT 操作方式須有些規範，適當之 LBT 功能尚取決於接收器性能參數，如表 4- 1：

- 發射機關閉最短時間（minimum transmitter off-time）：此參數指發射機發射一段時間後，須關閉之最小時間，俾利其他裝置可爭取使用通道。
- 接收機偵測最短時間（minimum receiver listen-time）：接收機於接收模式，若有發射需求時，須偵測通道之最小時間。
- 發射機單次發射最長時間（maximum transmitter on-time for a single transmit）：發射機單次發射之最長時間。
- 發射機確認可發射最長時間（maximum transmitter on-time for acknowledge transmissions）：發射機確認可（多次）發射之最長時間。
- 隨機選擇頻率敏捷性（frequency agility with random frequency selection）：可使裝置快速選擇發射通道。

¹³² ETSI EN 301 893

¹³³ ETSI TR 102 313

表 4- 1、歐盟無線麥克風 LBT 相關參數

參數	要求
發射機關閉最短時間 (minimum transmitter off-time)	TX-off 限制 > 100 ms
接收機偵測最短時間 (minimum receiver listen-time)	總接收時間 t_L 係由固定部分 t_F 與偽隨機(pseudo random)部分 t_{PS} 組成 ● 最小偵測時間之固定部分 t_F 應不小於 5 ms ● pseudo random 接收時間應於 0 ms 至 5 ms 之間隨機地變化：若通道於接收時間 t_L 開始時閒置，則 t_{PS} 由設備本身自動設置為零。若通道於偵測時間 t_L 開始時繁忙，則 t_{PS} 應於 0 ms 與 5 ms 內，以 0.5 ms 之間隔(step)隨機變化。
發射機單次發射最長時間 (maximum transmitter on-time for a single transmit)	單次傳輸 TX 開啟時間之限制為 < 1 s。 傳輸對話或輪詢序列之限制為 < 4 s。
隨機選擇頻率敏捷性 (frequency agility with random frequency selection)	頻率敏捷性係確定未占用之子頻段或操作通道之能力，以儘量減少干擾同頻之其他用戶。須注意任何頻率之改變(包含跳頻)，皆不得於傳輸情形下進行。

資料來源：ETSI TR 102 313 報告

2. ETSI EN 301 893

ETSI 於 2017 年 5 月釋出 ETSI EN 301 893 (V2.1.1)¹³⁴，提及 5GHz 頻段 RLAN 相關要求；本節將摘錄 LBT 重點，其 FBE 時序範例如圖 4-2，相關說明如下。

- (1) 固定訊框週期 (Fixed Frame Periods) 應由製造商聲明。這應於 1 ms 到 10 ms 之範圍內。設備可以更改其固定訊框週期，但每 200 毫秒不得超過一次。
- (2) 於固定訊框週期前，執行閒置通道評估 (Clear Channel Assessment, CCA) 檢查。若通道之能量位準超過門檻值 (Threshold Level, TL)，則認為操作通道已被佔用。若操作通道為閒置，則可立即發送。若操作通道被佔用，於下一個固定訊框週期之通道，不應有任何傳輸。設接收天線為 0 dBi 且 P_H 以 dBm e.i.r.p 為單位，接收器輸入端之 ED 閾值 (TL) 與最大發射功率 (P_H) 之關係。
 - 若 $P_H \leq 13$ dBm，則 $TL = -75$ dBm/MHz
 - 若 13 dBm $< P_H < 23$ dBm，則 $TL = -85$ dBm/MHz + (23 dBm - P_H)
 - 若 $P_H \geq 23$ dBm，則 $TL = -85$ dBm/MHz

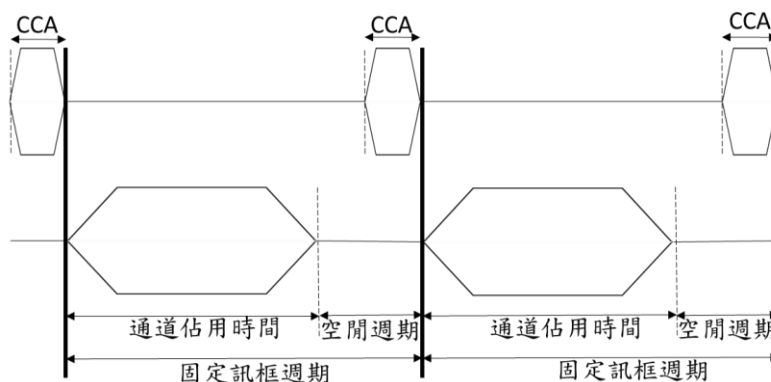


圖 4-2、FBE 時序範例

資料來源：ETSI EN 301 893

¹³⁴ ETSI EN 301 893

- (3) 對於於多個（相鄰或非相鄰）操作通道上同時傳輸之設備，若 CCA 檢查未檢測到這些通道上之任何信號，則允許設備繼續於其他操作通道上傳輸。
- (4) 基於訊框之設備（Frame Based Equipment, FBE）可以於給定通道上進行傳輸，而無需重新評估該通道之可用性總時間被定義為通道佔用時間（Channel Occupancy Time, COT）。
- (5) 通道佔用時間不得大於(1) 固定訊框週期之 95%，且於下一個固定訊框週期開始前，應保留一個空閒週期（Idle Period），其空閒週期至少為 5%通道佔用時間，且最小為 100 μ s。

(二)、3GPP

3GPP 於 2015 年 6 月釋出 TR 36.889 (V13.0.0)，提及 LBT 技術亦應用於 LAA（Licensed Assisted Access）頻譜共享機制¹³⁵。LAA 主要係由 3GPP 提出，供授權頻譜之 LTE（Long Term Evolution）與免執照頻譜合作，並與其 Wi-Fi 共享頻譜，經由 5GHz 之免執照頻譜，分擔 LTE 之負載，以解決熱點地區傳輸量過載。LAA 使用載波聚合（Carrier Aggregation）技術，整合授權頻譜以及免執照頻譜資源，增加可用頻譜以及系統容量，並以授權頻段為主要載波通道，而以免執照頻段為輔。

LAA 系統之設計目標：

- 確保 LAA 可依任何區域監管要求操作，LAA 應提供足夠之可配置性，實現不同地理區域之高效操作。
- 與 Wi-Fi 有效且公平地共存。
- 不同運營商部署之 LAA 網路彼此間有效公平共存

根據設計目標，LAA 系統須包含以下功能：

- Listen-before-talk

¹³⁵ 3GPP TR 36.889

- 於最大傳輸持續時間之載波上進行非連續傳輸
- 於某些頻段/區域內進行雷達避讓之動態頻率選擇
- 發射功率控制(Transmit Power Control, TPC)
- AGC 設置
- 粗同步(Coarse synchronization)
- 無線資源管理(Radio resource management, RRM)測量
- 通道狀態資訊 (Channel-State Information, CSI) 測量

其中，LBT 機制係指設備於使用通道前，應執行閒置通道評估檢查。CCA 係由能量檢測，以掌握通道是否存於其他信號，進而分辨通道是否可用。歐洲與日本之法規於免執照頻段使用 LBT，除法規要求外，經由 LBT 進行載波檢測係公平共享免執照頻段之方式。通道接取機制 (Channel access schemes) 可分為以下 4 類：

- 第 1 類：無 LBT
- 第 2 類：無隨機碰撞避免 (random back-off) 之 LBT
- 第 4 類：具有固定大小競爭視窗 (contention window) 隨機碰撞避免 (random back-off) 之 LBT
- 第 4 類：具隨機碰撞避免之 LBT，且為可變大小之競爭視窗

LBT 對於 LAA 與其他業者與技術於免執照頻段之共存係非常重要，實現頻率重複使用係 LAA 設計目標，建議第 4 類 LBT 程序之機制為基礎，如圖 4-3。

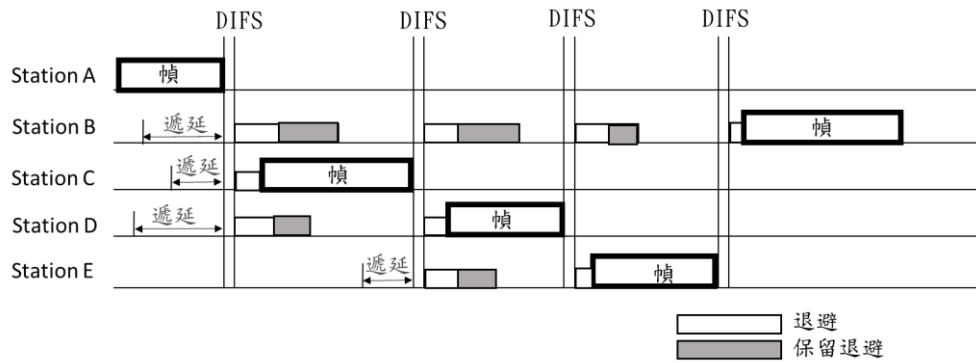


圖 4- 4 、CSMA/CA 協定之架構

資料來源：IEEE Std 802.11™-2016 Part11

相關說明如下：

- (1) Station A 結束傳輸
 - (2) Station B、C、D 與 E 皆等待分散式訊框間間隙（DIFS）
 - (3) 為碰撞避免， Station B、C、D 與 E 皆等待碰撞避免時間（Backoff Time）
 - (4) Station C 之碰撞避免時間先結束
 - (5) Station C 使用通道
 - (6) Station C 結束傳輸
 - (7) Station B、D 與 E 皆等待分散式訊框間間隙（DIFS）
- 以此類推

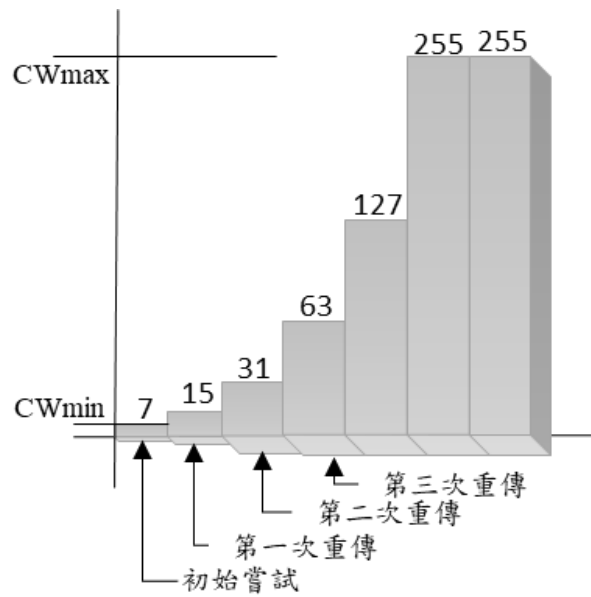


圖 4- 5、競爭視窗(contention window)機制

資料來源：IEEE Std 802.11™-2016 Part11

$$\text{Backoff Time} = \text{Random}() \times \text{SlotTime}$$

- Random()係取自區間 $[0, CW]$ 之偽隨機整數，CW 範圍係 $CW_{\min} \leq CW \leq CW_{\max}$ 。其中， $CW_{\min}$ 初始值為 7，每次競爭失敗即依圖 4- 5 調整，直到 CW 為 $CW_{\max}$ ；若仍需持續競爭，則後續 CW 值皆為 $CW_{\max}$ 。
- Slot Time = 開啟延遲+傳播延遲+偵測忙碌回應時間

二、動態頻率選擇機制

動態頻率選擇 (Dynamic Frequency Selection, DFS) 係一種用於無線區域網路中，通道分配機制之方法。其目的係避免干擾 C-band 之軍用雷達、衛星通訊與氣象雷達。DFS 技術已於 2003 年被列為 IEEE 802.11h 之標準。因 5 GHz 頻段之 5.250-5.350 GHz 以及 5.470-5.725 GHz 為 U-NII 雷達使用之頻段，故 Wi-Fi 5 GHz 須迴避雷達使用之頻段。本節將分別摘錄 3GPP、ETSI、ITU 與 FCC 對於 DFS 之相關說明，分述如下：

(一)、歐洲電信標準協會

1. ETSI TR 102 651 文件

ETSI 於 2009 年 6 月釋出之 ETSI TR 102 651 (V1.1.1)¹³⁷，提及 DFS 之要求，本節摘錄重點如下：

DFS 要求可分為檢測標準 (detection criteria) 與回應標準 (response criteria)，檢測標準規定了無線電區域網路 (Wireless LANs, WLAN) 須能識別雷達信號之射頻功率與信號時間，回應標準描述 WLAN 須執行之事項，以回應檢測事件。

回應要求描述了 WLAN 檢測到雷達信號通道前，允許操作。於探測到雷達後 10 秒內，WLAN 須停止所有傳輸。然而，此 10 秒內，累計傳輸時間之和應小於 260ms (於 ETSI 301 893[10] 則為 1 秒)，這允許 WLAN 設備協調目前通道變更至其他通道；若通道檢測到雷達信號，該通道須禁用 30 分鐘，稱為非占用期 (Non-Occupancy Period, NOP)。DFS 相關參數說明，如表 4-2。

¹³⁷ ETSI TR 102 651

表 4- 2、DFS 參數

參數	說明
操作通道	當設備於可用通道開始操作，該通道即成為操作通道
可用通道檢測	當選擇通道後，設備須確保該通道未被雷達占用，係經由可用通道檢測執行
通道外 CAC	設備經由該機制監測通道是否存在雷達信號，惟該通道係與操作通道不同之通道。
在線監測	通道成為操作通道後，檢測雷達信號，即在線監測，以確保這些通道無雷達操作
可用通道	若無檢測到雷達，則該通道成為可用通道
不可用通道	檢測到雷達信號之操作通道，應成為不可用通道
非占用期	若通道檢測到雷達信號，該通道須禁用 30 分鐘

資料來源：ETSI TR 102 651 (V1.1.1)

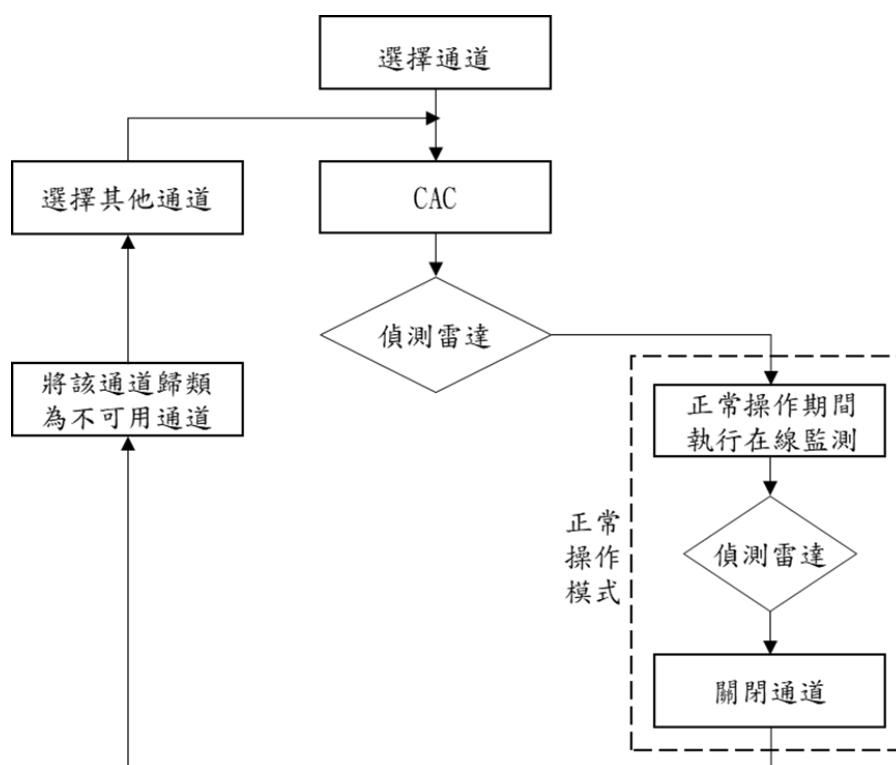


圖 4- 6、典型 DFS 概述

資料來源：ETSI TR 102 651

當選擇通道後，WLAN 設備須確保該通道未被雷達占用，係經由可用通道檢測執行，程序如圖 4- 6。

說明如下：

- (1). 當操作於通道後，WLAN 設備處於一般操作模式（normal operating mode）
- (2). WLAN 設備除處於一般操作模式外，亦執行在線監測（In-Service Monitoring）
- (3). 須持續監測該通道之雷達信號
- (4). 若檢測到雷達信號，則須關閉通道
- (5). 將該通道列為不可用(Unavailable)通道
- (6). 選擇其他通道
- (7). 選擇新通道後，重複(1).，依此類推。

2. ETSI EN 301 893 文件

ETSI 於 2017 年 5 月釋出之 ETSI EN 301 893(V2.1.1)¹³⁸除提及 LBT 外，亦提及動態頻率選擇（DFS）之頻率範圍、操作模式及其操作等相關說明，本節摘錄其重點，分述如下

RLAN(WLAN)採用動態頻率選擇：

- 檢測來自雷達系統之干擾（檢測雷達），以避免與這些系統操作於同頻。
- (1). 動態頻率選擇（DFS）之頻率範圍
 - 當部分或全部落於 5250-5350MHz 或 5470-5725MHz 頻段操作，應使用雷達檢測。此要求適用於所有 RLAN 設備，無論這些設備彼此間之通信類型為何。
 - (2). 動態頻率選擇（DFS）操作模式
 - 於 DFS 功能之操作範圍內，RLAN 設備應作為主站（master）或從屬站（slave）操作。
 - 作為從屬設備操作之 RLAN 設備，僅可操作於主設備所

¹³⁸ ETSI EN 301 893

控制之網路。

- 作為主站與從屬站操作之設備，應遵守其操作模式之要求。
- 一些 RLAN 設備可不連接到網路，以 ad-hoc 方式進行通信。這種方式操作之 RLAN 設備，其部分或全部於 5250 MHz 至 5350 MHz 或 5470 MHz 至 5725 MHz 頻段內，應採用 DFS，並依適用於主設備之要求，進行測試。
- 於固定室外點對點或固定室外點對多點應用所使用之從屬設備，應作為檢測雷達之從屬設備，與其輸出功率無關。

(3). 動態頻率選擇 (DFS) 操作

A. 主設備 (Master devices)

- 主設備應使用雷達干擾檢測 (Radar Interference Detection) 功能，以檢測雷達信號。主設備可依照與主設備相關之另一個設備，執行雷達干擾檢測功能。此情況下，該組合應符合適用於主設備之要求。RLAN 於 5250 MHz 至 5350 MHz 與 5470 MHz 至 5725 MHz 頻段操作時，至少有一個 RLAN 設備係以主模式操作。
- 主設備僅可操作於可用通道，安裝或重新安裝設備時，假設 RLAN 於 5250MHz 至 5350 MHz 且/或 5 470 MHz 至 5 725 MHz 頻段係無可用通道，這些通道之一或多個開始操作前，主設備應執行可用通道檢測或通道外 CAC (Off-Channel CAC)，以確保於任何選定之通道無雷達操作；其中，通道外 CAC 係指 RLAN 設備經由該機制監測通道是否存在雷達信號，惟該通道係與操作通道不同之通道。若無檢測到雷達，則該通道成為可用通道，並保持這種狀態；直至該通道成為操作通道 (Operating Channel) 後，於在線監測 (In-Service Monitoring) 期間，檢測雷達信號。
- 初始之可用通道檢測 (initial Channel Availability Check) 可於安裝設備或重新安裝時，手動啟用。

- 主設備可經由向其他 RLAN(從屬)設備發送啟用信號，以啟動網路，一旦 RLAN 於可用通道開始操作，該通道即成為一個操作通道。於一般操作(normal operation)期間，主設備應監測所有操作通道，即在線監測，以確保這些通道無雷達操作。若設備於操作期間無檢測到雷達，RLAN 卻停止於該通道操作，則該通道將再次成為可用通道。一個 WLAN 可於多個（相鄰或不相鄰）可用通道傳輸，所有通道皆可為操作通道。
- 若主設備於在線監測期間，於一個操作通道檢測到雷達信號，主設備應指示其他所有相關之從屬設備停止該通道之傳輸，該通道將成為不可用通道。當同時操作於多個（相鄰或不相鄰）操作通道，僅檢測到雷達信號之操作通道，應成為不可用通道。
- 一個不可用通道於非占用期(Non-Occupancy Period)後，可再次成為可用通道。再次成為可用通道前，須進行新通道之可用通道檢測或通道外 CAC，以確保該通道無雷達操作。
- 於任何情況，若檢測到雷達信號，即包含檢測到之雷達通道即成為不可用通道(Unavailable Channel 或 Unusable Channel)。

B. 從屬設備 (Slave devices)

- 從屬設備接收到主設備發出之啟動信號前，從屬設備不得進行傳輸。
- 若主設備發出指示，從屬設備應停止該通道之傳輸，從屬設備於接收到相關主設備之啟動信號前，不得於該通道恢復任何傳輸。
- 被要求進行雷達檢測之從屬設備，若於通道檢測到雷達信號，應停止該操作通道之傳輸，該操作通道成為從屬設備之不可用通道。於特定某段非占用期內，不得於該不可用

通道恢復任何傳輸。從屬設備須進行可用通道檢測或通道外 CAC，以驗測該通道無雷達操作，從屬設備方可再次使用。

(二)、國際電信聯合會

國際電信聯合會 (ITU) 於 2011 年 5 月釋出 DFS 相關要求¹³⁹，主要係探討 5GHz 頻段，DFS 應用於 RALN，以保護無線電測定服務。本節將摘錄其重點。

於 5250-5350MHz 與 5470-5725MHz 頻段內，共享無線接取系統 (Wireless Access Systems, WAS) 之可行性研究，以鏈路裕度計算之干擾緩解技術，使 WAS 可與其他系統 (例如雷達系統) 共享頻譜。操作於 5GHz 之 WAS 與雷達，若使用同頻且落於對方區域，則將會產生干擾。

1. 檢測要求

對於最大 E.I.R.P.<200mW 之設備，DFS 機制應可檢測到最小 DFS 檢測門檻值為 -62dBm 以上之干擾信號；對於 1 微秒內平均最大 E.I.R.P. 於 200mW 至 1W 內之設備，DFS 機制應可檢測到最小 DFS 門檻值為 -64dBm 以上之干擾信號。將其定義為接收信號強度 (Received Signal Strength, RSS)，歸一化為 0dBi 接收天線之輸出，即要求 WAS 信號頻寬內檢測到之數值。

2. 操作要求

WAS 應可執行可用通道檢測：該項檢測中，WAS 對某一無線電通道監測 60 秒，確定該無線通道是否存於雷達信號。

WAS 應可執行在線監測：監測正在操作之通道，以檢查同通道之雷達信號是否尚未移轉 (或開始於 WAS 範圍內) 操作。於監測期間，雷達檢測功能持續於正常模式之 WAS 發射間隔內，檢測雷達信號。即要求於連續之 WAS 發射間留有靜噪間隙 (quiet spaces)。

¹³⁹ ITU-R M.1652-1

若 WAS 未曾操作或未持續使用在線監測功能，則於完成可用通道檢測前，不得於任何通道發射。

3. 回應要求

通道可用檢查或在線監測方式被標示為包含雷達信號之通道，於 30 分鐘內，WAS 不得操作，以保護雷達。該禁止占用期，應始於檢測到雷達信號。

此外，於 5600-5650MHz 頻段，若通道被標記為包含雷達信號，須於使用該通道前，對此標記之信號進行 10 分鐘之監測；否則，應需其他通道排除方式。

通道變更時間（Channel move time）定義為 WAS 檢測到 DFS 檢測門檻值以上之干擾信號後，停止通道所有發射所需之 10 秒。該期間內之發射，包含通常 100ms 以下與檢測到雷達信號後最多 200ms 正常服務。此外，可於剩餘時間內，發送間歇性管理與控制信號，以協助清空通道。間歇性管理與控制信號所需時間之和，通常小於 20ms。

4. 彙整

若設備 E.I.R.P. 低於 200 mW，則通道偵測門檻值為 -62 dBm，大於此值，表示該通道有雷達系統使用，WLAN 設備不可使用此通道。經可用通道檢查後，得知已被使用之通道，須於 30 分鐘後，WLAN 設備方可再次對該通道進行通道偵測。可用通道檢查時間為 60 秒、通道變更時間須小於 10 秒。偵測門檻值為 1 微秒內之平均接收功率，並以 0 dBi 天線為參考基準。DFS 通道偵測參數，彙整如表 4-3。

表 4-3、DFS 通道偵測參數

參數	數值
DFS 檢測門檻值	(1)–62 dBm，對於最大 E.I.R.P. < 200 mW 設備 (2)–64 dBm，對於 1 微秒內，平均最大 E.I.R.P.於 200 mW 至 1 W 內之設備
可用通道檢測(Channel availability check)時間	60 秒
禁止占用期 (Non-occupancy period)	30 分
通道變更時間 (Channel move time)	≤ 10 秒

資料來源：ITU-R M.1652-1

(三)、3GPP

3GPP 於 2015 年 06 月釋出 3GPP TR 36.889 (V13.0.0)¹⁴⁰，除了提及 LBT 外，亦提及 DFS 監管要求，本節摘錄其重點，如下：

此決議使 ITU-R 建議書 M.1652-1 描述之 DFS 成為強制性，即歐洲與美國等地制定 DFS 要求之基礎。ETSI 規定某些頻段須使用 DFS，如表 4-4 與表 4-5。

¹⁴⁰ 3GPP TR 36.889

表 4- 4、歐洲之 DFS 要求

參數	要求	註解
對於 WAS/RLAN 而言，DFS 門檻值 (dBm)	$-62(\text{dBm}) + 10(\text{dBm/MHz}) - \text{E.I.R.P.Spectral density} (\text{dBm/MHz}) + G(\text{dBi})$	無 DFS 要求(5150 MHz 至 5250 MHz) G 為天線增益
對於 WFA 而言，DFS 門檻值 (dBm)	$-69 (\text{dBm}) + 23(\text{dBm/MHz}) - \text{E.I.R.P.Spectral density} (\text{dBm/MHz}) + G(\text{dBi})$	無 DFS 要求(5850 MHz 至 5875 MHz) G 為天線增益
可用通道檢測(Channel Availability check)	60 秒 (5600-5650 MHz 外)	主設備模式
	10 分 (5600-5650 MHz 內)	
通道變更時間 (Channel move time)	10 秒	主設備模式與從屬設備模式
非占用期 (Non-occupancy time)	30 分	於可用通道檢測或在線監測之雷達檢測後

資料來源：3GPP TR 36.889

表 4- 5、UNII-2 之 DFS 要求

參數	要求	註解
最大 E.I.R.P.(dBm)	23 至 30	- DFS 功率於 1 微秒內，對 0dBi 天線進行平均。 - 於可用通道之均勻傳播。
DFS 門檻值 (dBm)	-64	
最大 E.I.R.P.(dBm)	<23	
DFS 門檻值 (dBm)	-62	
可用通道檢測(Channel Availability check)	60 秒	主設備模式
通道變更時間 (Channel move time)	10 秒	主設備模式與從屬設備模式
	200 毫秒 一般操作	
非占用期 (Non-occupancy time)	30 分	於可用通道檢測或在線監測之雷達檢測後

資料來源：3GPP TR 36.889

(四)、美國聯邦通信傳播委員會

ETSI 於 2003 年制定了第一個 5GHz 協調標準 ETSI EN 301 893 (V1.2.3)，該標準成為美國聯邦通訊傳播委員會之 DFS 測試規範，與其他國家其他測試規範發展之基礎¹⁴¹，本節摘錄 FCC 規範如下：

1. DFS 之雷達檢測功能 (Radar Detection Function of DFS)

U-NII 設備於 5.25 至 5.35 GHz 與 5.47-5.725 GHz 頻段，應採用 DFS 雷達檢測機制，檢測雷達系統是否存在，並避免與雷達系統操作於同頻，業者僅可使用這些頻段之 DFS 機制設備。最大 e.i.r.p. 為 200 mW 至 1 W 設備之最小 DFS 檢測閾值為 -64 dBm。對於 1 MHz 頻段內，以小於 200 mW e.i.r.p. 與小於 10 dBm 功率譜密度操作之設備，最小檢測門檻值為 -62 dBm。檢測門檻值係參考 0 dBi 天線於 1 微秒內平均接收到之功率。對於初始通道設置，應允許製造商提供隨機通道選擇或手動通道選擇。

(1). 操作模式 (Operational Modes)

- 可用通道檢查時間之要求適用於主操作模式 (master operational mode)。
- 通道變更時間之要求適用於主操作模式與從屬操作模式 (slave operational modes)。

(2). 可用通道檢查時間

U-NII 設備應檢查是否有雷達系統已操作於通道，方可於該通道啟動傳輸與何時須移動至新通道。若於 60 秒內未檢測到功率位準大於本節前述門檻值之雷達信號，則 U-NII 設備可開始使用該通道。

(3). 通道變更時間

檢測到雷達後，所有傳輸應於 10 秒內停止該操作通道。於此期間傳輸應包含於檢測到雷達信號後最多 200ms。另外，可於剩餘時間內，間歇性地發送管理與控制信號，俾利騰出操作通道。

(4). 非占用期

¹⁴¹ ETSI TR 102 651 V1.1.1

經由可用通道檢查或在線監控，已標記包含雷達系統之通道，至少有 30 分鐘之非佔用期，該非佔用期係自檢測到雷達系統時開始計算。

2. 設備安全 (Device Security)

所有 U-NII 設備皆須包含安全功能，以防止未經授權者 (unauthorized) 修改軟體。

(1). 製造商須可於任何 U-NII 頻段操作之任何數位調變設備實施安全功能，俾利第三方無法對設備進行重新編程，使其在設備認證之參數外操作。該軟體須防止用戶使用超出設備批准範圍之操作頻率、輸出功率、調變類型或其他射頻參數操作發射器。製造商可使用之方式包含但不限於使用僅允許經過身份驗證之用戶下載軟體專用網路，

(2). 製造商須採取措施確保 DFS 功能不會被 U-NII 設備之操作員禁用。

3. 對於業者之要求

於 5.15-5.25 GHz 頻段內佈署總共超過 1000 個室外接取點前，各方須向委員會提交一封信，確認若對該頻段之許可服務發生有害干擾，他們將須採取糾正措施。糾正措施可包含降低功率、關閉設備、改變頻段與/或進一步降低垂直方向輻射之功率。

三、 公民無線寬頻服務

前揭 LBT 與 DFS 係以偵測信號掌握通道，以達共享頻譜之目的；然而，未來如何保護 6GHz 頻段既有使用者，若能更進一步掌握相關資訊，保護既有使用者，以避免產生有害干擾。

在部分免執照頻段，頻譜共享係經由強制執行常見之無線電頻譜接取程序處理，例如先聽候送（LBT）。然而，對於 CBRS 頻段，雖無定義常用之無線電頻譜接取程序，惟頻譜接取系統（Spectrum Access System, SAS）可協調頻譜接取。

(一)、美國聯邦通訊傳播委員會

FCC 於 2015 年，經由 3.5 GHz 頻段（3550-3700 MHz）之共享商業使用規範。FCC 建立了公民寬帶無線電服務（Citizens Broadband Radio Service, CBRS），並創建了一個三層接取與授權框架，使該頻段可共享頻譜。管理公民寬帶無線電服務之規範詳見 FCC 規範之第 96 部分，本節重點摘錄 FCC 釋出之 CBRS 彙整資訊如下。

1. 三層架構

● 第 1 層 – 既有接取

既有接取用戶包含 3550-3700 MHz 頻段之授權聯邦用戶、3600-3650 MHz 頻段固定衛星服務（空對地）地球站等。既有接取用戶會受到保護，免受優先接取許可（Priority Access Licenses, PAL）與通用授權接取（General Authorized Access, GAA）用戶之有害干擾。

● 第 2 層 – PAL

優先接取層由優先接取許可（PAL）組成，這些許可證將經由競標逐一個別縣（county-by-county）獲得許可，每個 PAL 包含一個 3550-3650 MHz 頻段內之 10 MHz 通道。PAL 係以 10 年為更新之許可證，由於 PAL 服務之目的，縣區域係由 106 年美國人口普查局（United States Census Bureau）定義之。任何給定之縣區域最多可許可 7 個 PAL，惟任何被許可人皆有 4 個 PAL 通道聚合上限。PAL 須

於初始許可期限結束時，滿足實質性之性能要求。PAL 須保護並接受既有接取用戶之干擾，惟可受 GAA 之干擾保護。

● 第 3 層 – GAA

GAA 層依規範進行許可，以允許盡可能廣泛之潛在用戶群體，以開放、靈活地接取該頻段。GAA 用戶可於 3550-3700 MHz 頻段內操作。GAA 用戶不得對既有接取用戶或優先接取被許可人造成有害干擾，惟須接受這些用戶之干擾。

2. 頻譜接取系統

頻譜接取系統 (SAS) 將促進 3.5 GHz 頻段之三層授權用戶共享頻譜，並依經批准之環境感測能力 (Environmental Sensing Capability, ESC) 感測器資訊，授權使用 PAL 與 GAA 操作。SAS 管理員須可接收與回應固定衛星服務 (FSS) 地球站許可證持有者，於 3600-3700 MHz 頻段之干擾投訴。SAS 管理員不得向公眾披露分類之公民寬頻無線電設備 (Citizens Broadband Radio Device) 之註冊數據；除非，此類披露得到註冊人之授權或法律要求。

無線電信局 (Wireless Telecommunications Bureau) 與工程技術辦公室 (Office of Engineering and Technology, OET) 於國家電信與資訊管理局 (National Telecommunications and Information Administration, NTIA) 與國防部 (Department of Defense, DoD) 密切協商後，批准 Amdocs、CommScope、Federated Wireless、Google、Sony 與 Key Bridge 等公司為頻譜接取管理員 (Spectrum Access Administrators)，進行全面商業部署。

3. 環境感測能力

環境感測能力 (Environmental Sensing Capability, ESC) 係可檢測既有用戶信號，並將其傳達予 SAS，以促進共享頻譜接取。ESC 將檢測 3.5 GHz 頻段內與附近美國聯邦頻率使用情況，並將該資訊傳輸予 SAS。

無線電信局、工程技術辦公室、國家電信與資訊管理局、國防部密切協商，審查並批准之 ESC 感測器註冊(ESC Sensor Registrations) 組織包含 CommScope、Federated Wireless, Inc.、Google 與 Key Bridge。

SAS 自 FCC 資料庫、其他 SAS、環境感知能力與 CBRS 設備 (CBRS Device, CBSD) 獲取資訊，並為每個 CBSD 分配頻率與功率。ESC 主要係以偵測美國海軍船艦近岸之雷達作業，如圖 4-7，通報 SAS 執行優先接取許可 (Priority Access License, PAL) 與 GAA 之頻譜接取程序。據估計，雖該頻譜使用率不到 1%，但對美國國家安全至關重要。

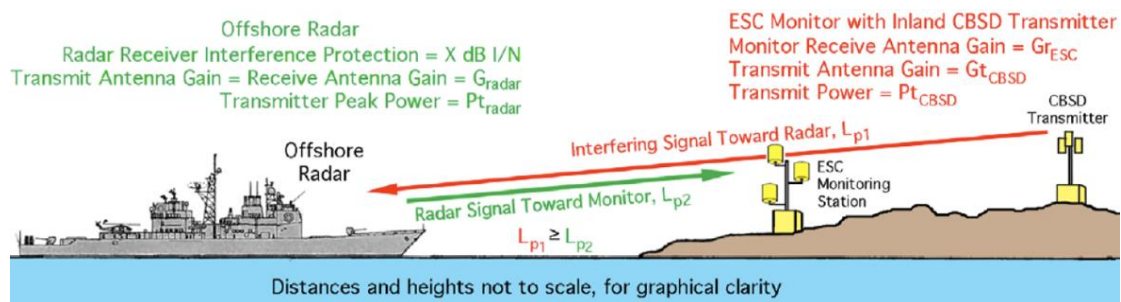


圖 4-7、ESC 偵測美國海軍船艦近岸之雷達作業

資料來源：FCC

(二)、無線創新論壇

無線創新論壇 (Wireless Innovation Forum, WinnForum) 針對 FCC 之 eCFR 規範，進一步提出之相關文獻¹⁴²。WinnForum 相關資料有助於瞭解 CBRS 於 3.5GHz 之進一步資訊，本節將摘錄其重點；其中，摘錄重點分別為 CBRS 要求、SAS 至 CBSD 程序、SAS 至 SAS 程序，以及 SAS 功能架構。

¹⁴² Wireless Innovation Forum, WinnForum CBRS Knowledge Base, <https://cbbs.wirelessinnovation.org/winnforum-cbbs-knowledge-base>

1. CBRS 要求

除 FCC 法規對於 CBRS 提出相關規範外，WInnForum 於 109 年 3 月釋出之 WINNF-TS-0112 (V1.9.1 11)¹⁴³提及 CBRS 進一步要求。因 CBRS 之特色為三層架構，其 PAL 係經由競標，較 GAA 特殊；因此，本節摘錄其 PAL 要求。

由於 WInnForum 係以 FCC 為基礎，進一步提出 CBRS 之相關要求，故該 WInnForum 資料內容包含 FCC 要求與 WInnForum 要求；因此，WInnForum 資料針對這些不同要求進行編號分類。本節亦遵循 WInnForum 之編號分類，其編號分類方式為 R#-<CATEGORY>-<XX>-<Y>，相關定義分別為

- R0-: FCC 規範之要求
- R2-: 由 WInnForum <CATEGORY>規定之要求
- <XX>: 要求之編號
- <Y>: 次級要求之編號(例如 R0-IPM-01-a).

重點摘錄，如下

● R0-PAL-01 指授權、控制權轉移與租賃安排之優先接取分配。

- (1) PAL 可依 47 CFR 1 轉讓或讓與他們之許可，並簽訂租賃安排。
- (2) PAL 可依 47 CFR 1.9046 之規定，與經批准之實體簽訂頻譜管理器租賃安排。PAL 僅能於其服務區域內與 PAL 保護區外之區域，簽訂租賃安排。

● R0-PAL-02 指 SAS 管理員接受且支持租賃通知，SAS 管理員須：

- (1) 確認承租人係於 47 CFR 1.9046 規定之認證名單內。

¹⁴³ Wireless Innovation Forum (2020), Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band, <https://winnf.memberclicks.net/assets/CBRS/WINNF-TS-0112.pdf>

- (2) 建立獲取與儲存租賃通知資訊之流程，並將資訊(包含有關租賃安排之到期、延期或終止等資訊)至少每日與委員會資料庫同步一次；驗證租約不會導致承租人於特定許可區域內持有超過 40 MHz 之 PAL 頻譜。
- (3) 確認租用區域係位於優先接取許可證之服務區域內與優先接取許可證持有人之 PAL 保護區之外。
- (4) 向被許可方與承租方確認，通知是否已收到並核實。

● **R2-PAL-01 指 SAS 應管理 PAL 保護區內特定 40 公里範圍內所有同頻 CBSD 之 CBSD 傳輸，俾使該區域之總干擾保護等於或優於區域保護參考標準：**

- (1) 對於高度 1.5 m 之參考全向天線，保護位準為 -80 dBm/10 MHz（例如，對於 5 MHz 部分重疊發射，保護位準為 -83 dBm/5 MHz），
- (2) 保護蒙特卡洛（Monte Carlo）百分位數為 50%（中位數），
- (3) 保護點最小分數為 95%。

● **R2-PAL-02 指 PAL 保護方法：PAL 保護應由 SAS 產生與以下述結果相似之方式：**

- (1) 對於 PAL 保護區域（PAL Protection Area, PPA）集群清單中之特定 CBSD，SAS 應定義 360 條徑向線，其中每個徑向線對應於從 CBSD 位置向外延伸 40 公里之線，航向（heading）以相對於正北之角度定義， $\theta = 0, 1, \dots, 359$ 度。
- (2) SAS 應確定所有徑向線（radials）之 $N(i)$ ($0 \leq i \leq 359$)，其沿第 i 條徑向線之點數，中值信號強度 (median signal strength) 大於或等於 -96 dBm/10 MHz。

● **R2-PAL-04 指 PAL CBSD 覆蓋範圍**

- (1) 於 R2-PAL-02 之 PAL CBSD 覆蓋周圍之邊界，其計算應由

SAS 於各邊界操作之多邊形聯合函數。

- (2) SAS 應確定並與其他 SAS 共享邊界外部之多邊形。
- (3) 若此方法產生單個邊界，其邊界應作為 PPA 邊界。
- (4) 於每個 CBSD 之各邊界不重疊時，可能會產生多個 PPA。

- **R2-PAL-05 指由 SAS 創建之 PPA，應近似於 R2-PAL-02 與 R2-PAL-04 參考方法創建之 PPA，故差異面積應不超過 10%(由參考方法創建之 PPA 領域)。**

2. SAS 至 CBSD 程序

WInnForum 於 111 年 3 月釋出 CBRS 信令協議與程序¹⁴⁴，提及 CBSD 註冊（Registration）與 CBSD 授予（Grant）等狀態，亦提及 CBSD 之註冊、頻譜查詢（Spectrum Inquiry）、授權、心跳（Heartbeat）、放棄授權（Grant Relinquishment）與註銷（Deregistration）等六項程序，本節將摘錄其重點，說明如下：

- (1) 如圖 4-8，CBSD 始於未註冊（Unregistered）狀態。未註冊之 CBSD 可向 SAS 發送 RegistrationRequest，若 SAS 於 RegistrationResponse 批准註冊，則 CBSD 轉換為已註冊狀態。
- (2) 若 SAS 於 RegistrationResponse 拒絕註冊，則 CBSD 保持未註冊狀態。
- (3) 於 Registered 狀態之 CBSD 亦可發送 DeregistrationRequest，以取消註冊 CBSD。
- (4) 若 SAS 接收到 DeregistrationRequest，SAS 即使用 DeregistrationResponse 回應 CBSD，並聲明 CBSD 處於未註冊狀態。CBSD 轉換為未註冊狀態時，與 CBSD 關聯之全部

¹⁴⁴ WInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS):Spectrum Access System (SAS) – Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD) Interface Technical Specification, <https://winnf.memberclicks.net/assets/CBRS/WINNF-TS-0016.pdf>

既有授予皆將終止。

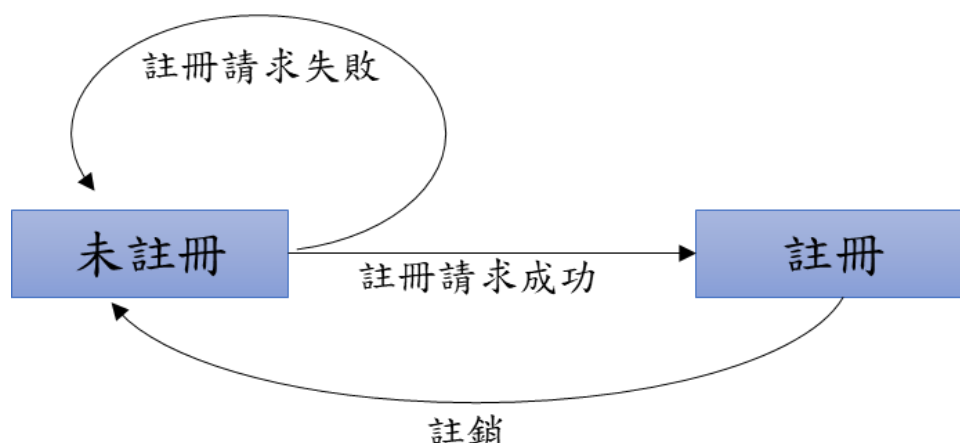


圖 4- 8、CBSD 註冊(Registration)狀態

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

- (5) 於註冊（Registered）狀態之 CBSD 可向 SAS 請求一項或多項授予。若授予尚未被 SAS 批准，則授予狀態機處於空閒（Idle）狀態。
- (6) CBSD 可向 SAS 發送 GrantRequest。若 SAS 批准授予請求，則建立操作參數與通道分配之新授予。
- (7) 若 CBSD 接收到成功之 GrantResponse，則轉換至授予（Granted）狀態。
- (8) 若 SAS 批准心跳請求，授予將轉換為授權（Authorized）狀態。
- (9) 若授予被 SAS 暫停或傳輸權限（HeartbeatResponse 之 translateExpireTime）已過期，則授予自授權（Authorized）狀態變為授予（Granted）狀態。若授予被 SAS 終止、CBSD 放棄或過期，或 SAS 與 CBSD 之失去連接，則授予狀態轉變為空閒狀態。

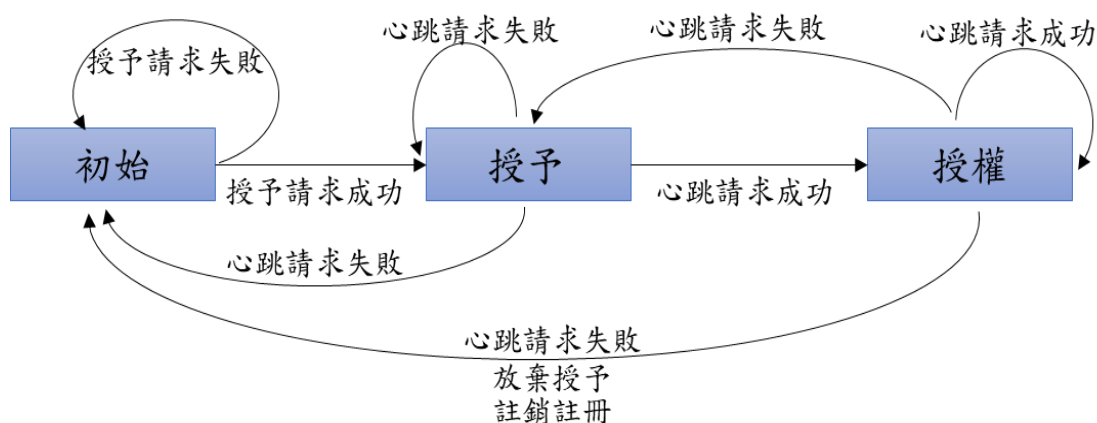


圖 4- 9、CBSD 狀態

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

CBSD 註冊程序

i. 成功操作

- (1) CBSD 經由向 SAS 發送 RegistrationRequest (userId、fccId、cbidSerialNumber、callSign、cbidCategory、cbidInfo、airInterface、installationParam、measCapability、groupingParam)，啟動註冊過程。
- (2) SAS 使用 RegistrationResponse (cbidId、measReportConfig、response) 回應 CBSD，其回應參數指示註冊成功或失敗。
- (3) 若註冊成功，則 RegistrationResponse 包含 cbidId 參數。CBSD 之 cbidId 使用於 SAS 後續所有程序。
- (4) 若 CBSD 發送 RegistrationRequest 前，存於既有授予，則應刪除所有授予。
- (5) 若 SAS 將 CBSD 存於既有 Grants 分配，則 SAS 收到 CBSD 之 RegistrationRequest 後，所有此類授予應被刪除。

ii. 失敗操作

- (1) 若註冊失敗，則 SAS 發送 RegistrationResponse，包含失敗之回應參數。
- (2) 若 SAS 確定註冊不完整，則 SAS 於回應參數中回傳 REG_PENDING。
- (3) CBSD 應定期重複發送 RegistrationRequest，直到從 SAS 接收到成功之 RegistrationResponse。
- (4) 若 SAS 確定 CBSD 操作權限已被撤銷，則 SAS 於回應參數回傳 BLACKLISTED；當 CBSD 操作權限恢復時，CBSD 可發送 RegistrationRequest。
- (5) 若 SAS 確定 RegistrationRequest 有錯誤，則 SAS 於回應參數回傳 INVALID_VALUE 與錯誤參數。

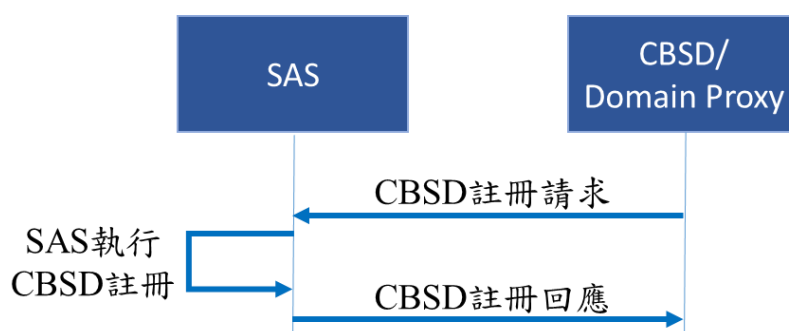


圖 4-10、CBSD 註冊(Registration)程序

資料來源：WinnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

CBSD 頻譜查詢 (Spectrum Inquiry) 程序

此程序描述 CBSD 如何使用 SAS 執行頻譜查詢過程。頻譜查詢允許註冊 Registered 之 CBSD，請求有關可用通道資訊。經由 SAS 提供可用通道資訊，CBSD 可決定授予請求 (Grant request) 之操作參數。CBSD 可於收到 cbsdId 值後，啟動此程序。

i. 成功操作

- (1) SAS 指示有關 CBSD 可用通道之特定資訊，則可啟動頻譜查詢程序。
- (2) CBSD 經由向 SAS 發送 SpectrumInquiryRequest (cbsdId、inquiredSpectrum、measReport)，啟動頻譜查詢程序。
- (3) CBSD 可請求一個或多個頻率範圍
- (4) SAS 應向 CBSD 回傳 SpectrumInquiryResponse (cbsdId、availableChannel、response)，以及查詢頻譜之潛在通道可用性之結果，其 availableChannel 包含頻率範圍、channelType (PAL 或 GAA)。

ii. 失敗操作

- (1) 若 SAS 確定 SpectrumInquiryRequest 有錯誤，則 SAS 回傳 SpectrumInquiryResponse，其回應參數包含錯誤參數
- (2) 若 cbsdId 不存於、cbsdId 無效，或 SAS 發現查詢之頻譜參數指之頻率範圍（部分或完全）超出 CBRS 頻段，則 SAS 將分別出現 102、103、300 等訊息。

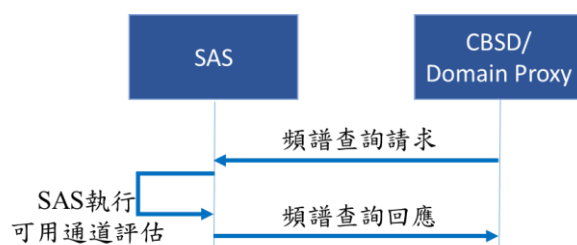


圖 4- 11、CBSD 頻譜查詢(Spectrum Inquiry)程序

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

CBSD 授權程序

CBSD 成功向 SAS 註冊後，才能啟動此程序。CBSD 獲得 cbsdId 後，即被視為註冊；當取消註冊 CBSD 時，cbsdId 將被撤銷（即無效 invalidated）。

i. 成功操作

- (1) CBSD 經由向 SAS 發送 GrantRequest (cbsdId 、 operationParam 、 measReport) 發起 Grant 請求。 cbsdId 參數向 SAS 標識 CBSD。 operationParam 參數包含授權請求之詳細訊息，包含 CBSD 最大 E.I.R.P.與所需使用之頻率範圍
- (2) SAS 使用 GrantResponse(cbsdId 、 grantId 、 grantExpireTime 、 heartbeatInterval 、 measReportConfig 、 operationParam 、 channelType 、 response) 回應 CBSD。 response 參數指示請求成功還是失敗。若 Grant 請求成功，SAS 包含 grantId 、 grantExpireTime 與 heartbeatInterval 等參數。
- (3) 若 CBSD 與 PPA 有關之 CBSD 清單之成員，且若請求之頻率範圍於該 PPA(PAL Protection Area)之優先接取執照(PAL) 保留頻段內，則授權請求被視為 PAL 授予請求。若請求之頻率範圍於頻段之 PAL 保留之外，或若請求之 CBSD 並非 PPA 成員，則授予請求不被視為 PAL 授予請求，而被視為 GAA 授予請求。

ii. 失敗操作

若 SAS 確定 GrantRequest 有錯誤，則 SAS 回傳 GrantResponse ，其回應包含錯誤參數。若 cbsdId 不存於、cbsdId 參數無效，則 SAS 將分別出現 102 (MISSING_PARAM)、103 (INVALID_VALUE) 等訊息。

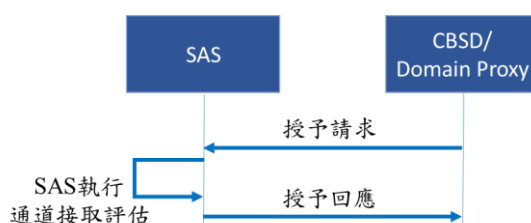


圖 4- 12 、CBSD 授權(Grant)程序

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

CBSD 心跳 (Heartbeat) 程序

- HeartbeatRequest 通知 SAS，CBSD 須接取分配之頻譜。
- HeartbeatRequest 亦允許 SAS 暫停 suspend 或終止 terminate 授予。
- 當授予終止、到期或被放棄，或 SAS 與 CBSD 被視為失去連接時，其 grantId 被撤銷（即不再可用）。

i. 成功操作

- (1) SAS 使用 HeartbeatResponse (cbsdId 、 grantId 、 transmitExpireTime 、 grantExpireTime 、 heartbeatInterval 、 operationParam 、 measReportConfig 、 response) 回應 CBSD 。 response 參數指示請求是成功還是失敗。
- (2) 若請求成功，則 SAS 將包含 translateExpireTime 。 CBSD 使用 transmitExpireTime 確定 CBSD 停止分配頻譜傳輸之時間。 CBSD 應將 transmitExpireTime 之到期，視為 SAS 指示 CBSD 關閉其發射機之時間，並應於傳輸 ExpireTime 到期後之 60 秒內停止使用 SAS 授權之無線電傳輸。

ii. 失敗操作

- (1) 若 SAS 確定 HeartbeatRequest 有錯誤，則 SAS 回傳 HeartbeatResponse，其回應包含錯誤參數。
- (2) 若 cbsdId 不存於、cbsdId 參數無效，則 SAS 將分別出現 102 (MISSING_PARAM)、103 (INVALID_VALUE) 等訊息。

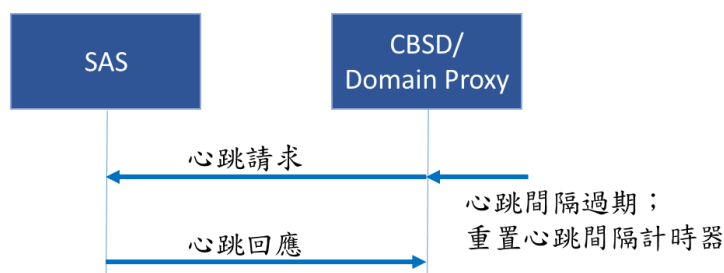


圖 4- 13、CBSD 心跳(Heartbeat)程序

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

CBSD 放棄授權（Grant Relinquishment）程序

i. 成功操作

- (1) CBSD 可為既有之授權啟動此程序，CBSD 應於啟動此程序前，終止與此授權相關之無線電操作。
- (2) CBSD 經由向 SAS 發送 RelinquishmentRequest(cbsdId, grantId) 啟動 Grant Relinquishment Procedure。cbsdId 向 SAS 標識 CBSD。grantId 標識 CBSD 想要放棄授權。SAS 接收到 RelinquishmentRequest 後，SAS 放棄分配予 CBSD 之頻譜。SAS 使用 RelinquishmentResponse (cbsdId, grantId, response) 回應 CBSD。若請求成功，則 CBSD 不再有權使用與該授權相關之頻譜。

ii. 失敗操作

- (1) 無論 RelinquishmentRequest 為何失敗，CBSD 皆不再有權使用與 Grant 有關之頻譜。
- (2) 若 SAS 使用 RelinquishmentRequest 錯誤，則 SAS 回傳 RelinquishmentResponse，包含指示錯誤之 responseCode 參數。
- (3) 若 cbsdId 不存於、cbsdId 參數無效，則 SAS 將分別出現 102、103 等訊息，CBSD 應停止使用與授權相關之頻譜。
- (4) 若 responseCode 指示 103 （ INVALID_VALUE ） 且 responseData 參數包含“cbsdId”，則 CBSD 應立即終止所有

傳輸並視為未註冊。

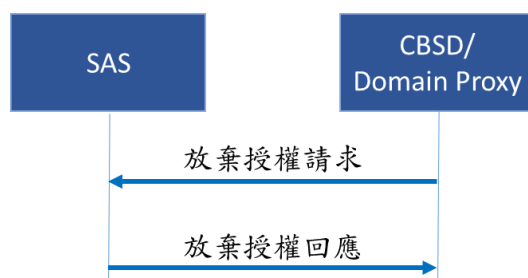


圖 4- 14、CBSD 放棄授權(Grant Relinquishment)程序

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

CBSD 註銷 (Deregistration) 程序

i. 成功操作

- (1) 當 CBSD 確定應從 SAS 註銷時，CBSD 應停止與任何授權相關之傳輸，且應向 SAS 發送 DeregistrationRequest (cbid)。
- (2) SAS 將 CBSD 標記為未註冊，刪除任何既有之 Grants，並使用 DeregistrationResponse (cbid, response) 進行回應。
- (3) CBSD 應於發送 DeregistrationRequest 前，為每個 Grant 發送 RelinquishmentRequest 。

ii. 失敗操作

- (1) 若 DeregistrationResponse 之回應並非成功，則 CBSD 應視為未註冊。

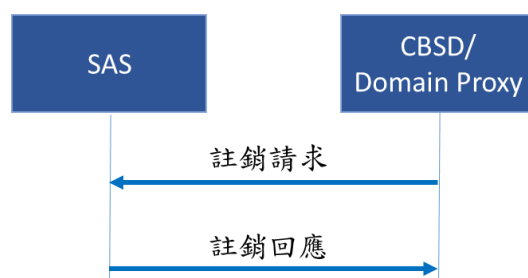


圖 4- 15、CBSD 註銷(Deregistration)程序

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

3. SAS 至 SAS 程序

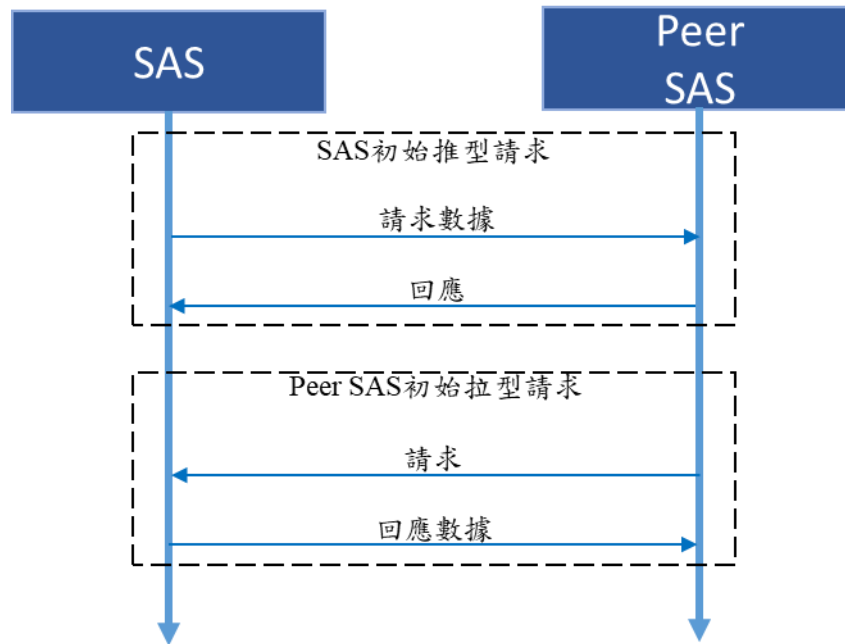


圖 4- 16、SAS 系統間訊息交換程序

資料來源：WInnForumWInnForum (2022), Signaling Protocols and Procedures for Citizens Broadband Radio Service (CBRS)

- 兩個 SAS 彼此間之訊息交換，如圖 4- 16。
- 推型（Push）：由 SAS 將訊息推送予 peer SAS。
- 拉型（Pull）：由 SAS 從 peer SAS 提取想要資訊，即向 peer SAS 請求特定記錄或記錄集
- SAS 向其各自之對應 SAS（peer SAS）發出請求，peer SAS 以成功或錯誤回應（拉型 Pull Type）進行回應。SAS 可與其各自 peer SAS 交換數據，而無須來自 peer SAS 之請求（推型 Push Type）。

4. SAS 功能架構

WinnForum 於 2020 年 3 月釋出美國商業營運 3550 至 3700MHz 頻段 CBRS 之要求¹⁴⁵ ¹⁴⁶，本節摘錄其重點。

頻譜共享委員會（Spectrum Sharing Committee）同意使用之 SAS 系統架構，如圖 4-17。其架構包含了 SAS1、SAS2、FCC 資料庫、既有資訊、既有資料庫（ESC）、DomainProx、設備管理（Element Managemant System, EMS）、CBSD。

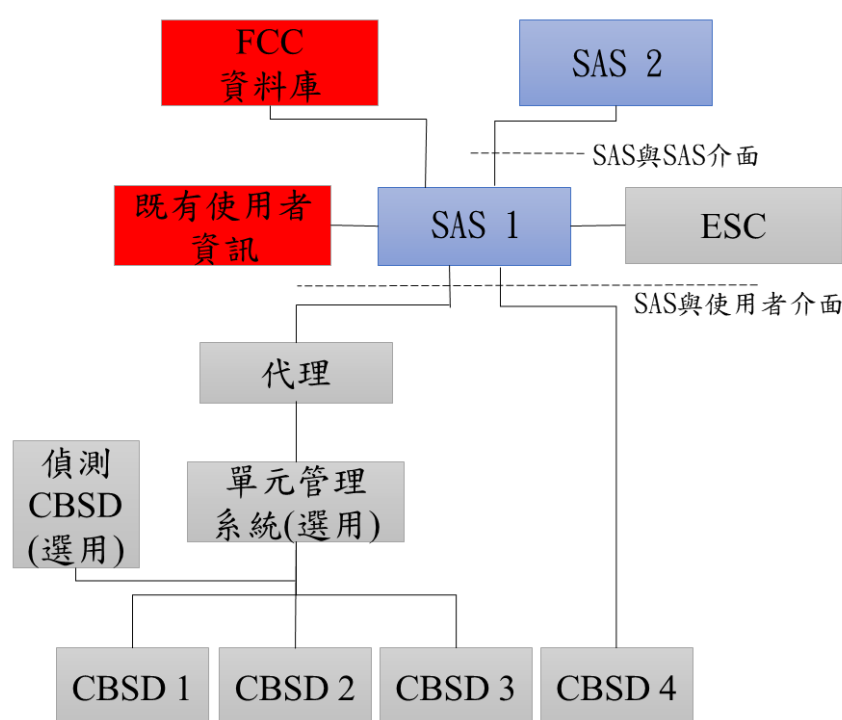


圖 4-17、SAS 功能架構

資料來源：Wireless Innovation Forum (2020), Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band

SAS 至 SAS 介面定義兩個 SAS 彼此間之通信、協調與資訊交換之方法、協議。這些介面要求 FCC 已訂於 CFR 第 96 部分規範中

¹⁴⁵ Wireless Innovation Forum (2020), Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band,

<https://winnf.memberclicks.net/assets/CBRS/WINNF-TS-0112.pdf>

¹⁴⁶ Wireless Innovation Forum (2016), Interim SAS to SAS Protocol Technical Report-A,

https://winnf.memberclicks.net/assets/work_products/Reports/winnf-15-p-0051-v1.0.1%20sas%20to%20sas%20interface%20tr-a.pdf

第 96.55、96.61 與 96.63 節，相關要求如下：

- 合作制定標準化流程，與其他 SAS 協調操作，最大限度地共享可用頻率，確保向所有註冊 CBSD 提供服務，並提供根據第 96.55 節收集之數據。
- 與其他 SAS 管理員協調，包含於許可範圍內分享資訊，促進連接到其他 SAS 之 CBSD，而不受干擾地使用，經由將 PAL 分配予相同地理區域之類似通道，最大限度地提高可用之 GAA 頻率，以確保符合有效利用可用頻譜。
- CBSD 與 SAS 彼此間、ESC 與 SAS 彼此間、單個 CBSD 彼此間，以及不同 SAS 彼此間須為安全之通信，以防止未經授權之攔截。一個 SAS 須受到保護，以防止未經授權之數據輸入或儲存數據之變更。
- SAS 管理員須向其他 SAS 管理員提供所有必要資訊，俾利有效協調 CBSD 彼此間之服務。

四、 自動頻率協調機制

自動頻率協調（AFC）為 Wi-Fi 聯盟（Wi-Fi Alliance, WFA）於 Wi-Fi 6 GHz，採取之動態頻譜管理技術。根據 Wi-Fi 聯盟要求，使用 Wi-Fi 6 GHz 頻譜，須透過 AFC 機制取得頻譜，避免影響既有之 6 GHz 頻譜使用者；特別係部分緊急用途之使用者，例如警察與消防單位等。根據需求，AFC 系統須能提供可用頻譜資訊予一般功率之 Wi-Fi 裝置使用，避免 Wi-Fi 裝置影響既有通信設備。因此，AFC 系統每日皆須能連線至通用執照系統（Universal Licensing System, ULS），執行更新或取得最新之可用頻率、頻寬、振幅、功率、天線高度與天線模型等；並根據這些資訊，建立 6 GHz 可用之傳輸模型，提供可能之傳輸模型予 Wi-Fi 裝置使用。

使用自動系統控制接取頻譜並非首例，FCC 曾使用類似方式保護電視接收免受該頻段之免執照白空間設備（unlicensed white space device）之影響，並保護衛星地面站與政府雷達免受 3550 至 3700MHz 之公民寬頻無線電服務（CBRS）設備之影響。FCC 亦要求 AGC 系統及其標準功率須確保 AFC 系統與標準功率 AP 之通信與連接係安全且準確。未經授權將無法接取或改變其資料庫或發送至 AP 之可用頻率及其最大功率清單，其要求類似於與白色空間資料庫與 CBRS 所採用之方法相同。

（一） Wi-Fi 聯盟

Wi-Fi 聯盟於 2021 年 06 月 22 日釋出 AFC 系統參考模型¹⁴⁷，為 AFC 系統提供了一個參考架構模型，該模型與監管規範架構有關。主要說明構成 AFC 系統參考模型之功能與介面，未來 WFA 可能依監管發展，進一步修訂。AFC 系統參考模型如圖 4- 18，其包含參考測試點；另外，AFC 系統之功能架構，如圖 4- 19

¹⁴⁷ Wi-Fi Alliance (2021), AFC System Reference Model, [https://www.wi-fi.org/downloads-registered-guest/AFC Specifications and Test Plans.zip/38132](https://www.wi-fi.org/downloads-registered-guest/AFC_Specifications_and_Test_Plans.zip/38132)

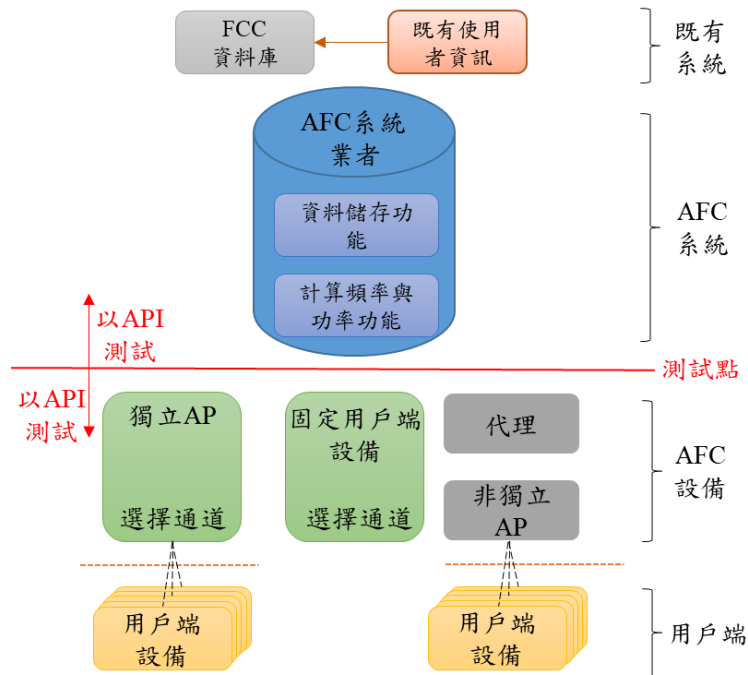


圖 4- 18、AFC 系統參考模型

資料來源：Wi-Fi Alliance (2021), AFC System Reference Model

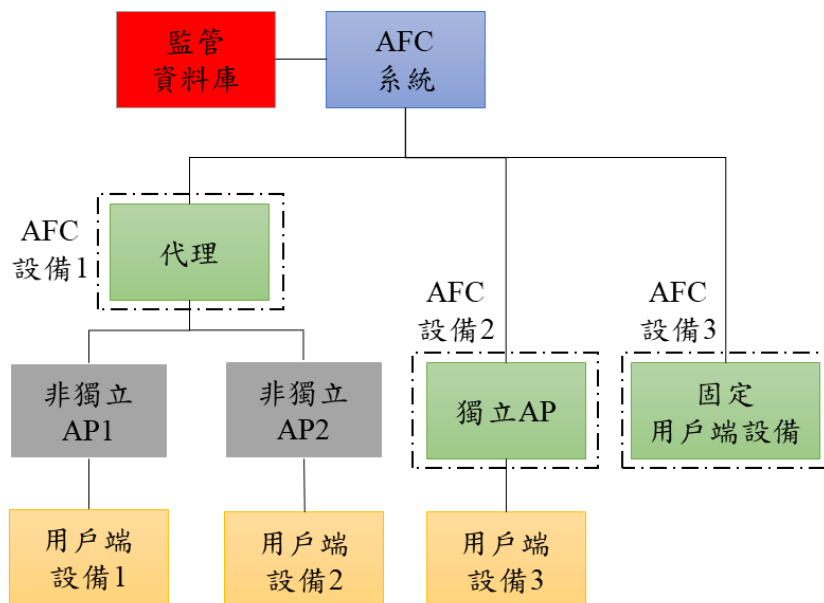


圖 4- 19、AFC 系統功能架構

資料來源：Wi-Fi Alliance (2021), AFC System Reference Model

由圖 4- 19 知，AFC 系統功能架構由以下七項組成：

- (1) 用戶端設備
- (2) 固定用戶端設備
- (3) 獨立接取點
- (4) 非獨立接取點
- (5) 代理
- (6) 自動頻率協調（AFC）系統
- (7) 監管資料庫

WEA 提出之 AFC 系統模型包含六項功能如圖 4- 20，其六項功能分別為 NRA 資料庫更新功能、AFC 設備響應器功能、頻譜可用性功能、既有保護功能、AFC 內部資料庫功能，以及記錄功能。

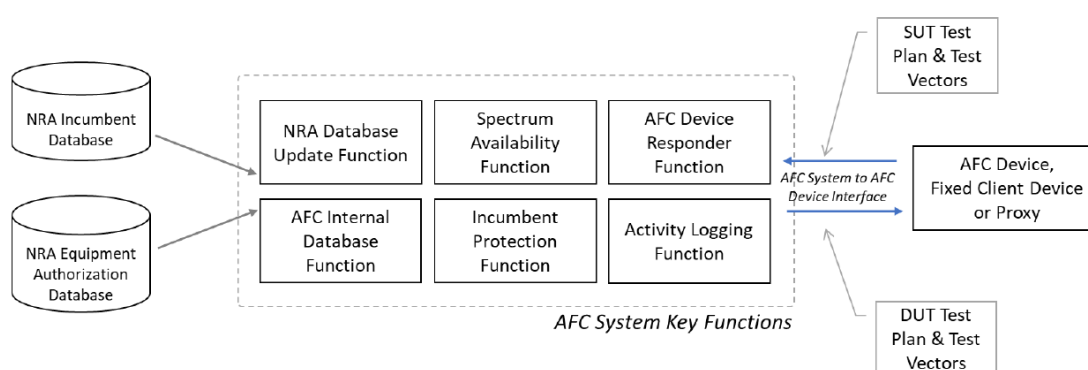


圖 4- 20、整體系統參考模型

資料來源：Wi-Fi Alliance (2021), AFC System Reference Model

1. NRA 資料庫更新功能(NRA Database Update Function)

主管機關（National Regulatory Authority, NRA）資料庫更新功能可為允許 AFC 運營之國家，執行以下操作：

- 根據監管規定之更新頻率，下載所需監管資料庫
- 核對既有記錄（添加新記錄、刪除過期記錄、修改更改之記錄）
- 檢索有關 NRA 授權之 AFC 設備型號/類型之資訊。

2. AFC 設備回應功能 (AFC Device Responder Function)

偵測 AFC 設備之可用頻譜查詢請求訊息，並回應該可用頻譜查詢。此功能之任務可能包含：

- 維護網路偵測器以接收 HTTPS POST 資訊
- 適用於給定之實現所使用之 TLS 版本、密碼套件與其他參數完整 SSL 加密。
- 依實施情況，對每個請求進行身份驗證。
- 驗證任何 NRA 要求之設備 ID。
- 產生與傳輸頻譜查詢回應資訊，以回應 AFC 設備之頻譜查詢請求。

3. 可用頻譜功能 (Spectrum Availability Function)

頻譜可用性功能旨在產生對 AFC 設備回應程序接收到之有效可用頻譜查詢請求之響應。它經由以下方式執行此功能：

- 處理由 AFC 設備提交之任何入站必需或可選功能，以適合實施。
- 根據實施情況一次或多次調用既有保護功能，提供每次調用所需之參數。
- 酌情匯總結果並返回給 AFC 設備響應程序，連同適用於實施之錯誤或警告錯誤代碼。
- 根據每個受支持之 NRA 之要求或實施之需求，經由向記錄功能發送適當之消息來記錄結果。

4. 既有保護功能 (Incumbent Protection Function)

既有保護功能旨在保護既有服務而執行計算之功能，包含但不限於：

- 考慮同頻與鄰頻對持照既有用戶之干擾，並向 AP 提供其位置之允許通道或頻率 (MHz)。
- 向 AP 提供其位置之最大允許傳輸功率位準，同時考慮同頻與鄰頻對持照既有用戶之干擾。

5. 記錄功能 (Logging Function)

構建符合 NRA 要求之 AFC 系統操作之記錄，其包含但不限於：

- 自 AFC 系統功能接收與歸檔相關事件。
- 遵守符合法規要求之記錄保留。
- 為系統管理與回應監管查詢產生報告。

6. AFC 內部資料庫功能(AFC Internal Database Function)

AFC 內部資料庫功能旨在安全儲存與檢索 AFC 系統操作之任何資訊，例如該功能可提供固定服務接收機之天線場型數據。

(二) 電信基礎設施項目

電信基礎設施項目 (Telecom Infra Project, TIP) 成立於 2016 年，係由數間公司與組織組成之全球團體，共同致力於加速開發與佈署開放、分類與基於標準之技術解決方案，以提供現於與幾十年內世界需要之高質量連結。Open AFC Software Group 係 TIP 旗下之小組，其致力於設計、開發、測試與潛在認證 6 GHz 頻段免執照服務之 AFC 軟體，其領銜組織包含博通、思科與 Facebook。Open AFC Software Group 旨在開發 AFC 系統之參考開源實現，使新 6GHz 頻段之免執照設備，可於室外操作，並於室內增加其範圍，同時保護既有服務。於 2021 年 11 月釋出 Open AFC 軟體架構¹⁴⁸，本節將摘錄其重點，說明如下。

Open AFC Software Group 係 TIP 之一個專責之軟體開源小組，致力於設計與開發用於 6GHz 頻段免執照服務之 AFC 軟體，計三十多間公司參與了 Open AFC 小組。經由一個可針對不同市場監管要求進行修改之開源程式，加速全球標準功率無線區網 (Radio Local Area Network, RLAN) 之發展。

¹⁴⁸ TIP Open AFC Software Project Group, (2021), Open AFC Software Architecture. Telecom Infra Project, https://cdn.brandfolder.io/D8DI15S7/at/kj985vm9p375wxtft2kjc58/TIP_Open_AFC_Open_AFC_Software_Architecture_v10_FINAL_November_2021_GREEN_-_Public_Access.pdf

Open AFC 係一個提供 AFC 營運商使用之模組化參考軟體系統，AFC 系統營運商可擴展 Open AFC 所有提供之功能，以滿足各種市場需求。完整之 6GHz AFC 架構，如圖 4- 21。

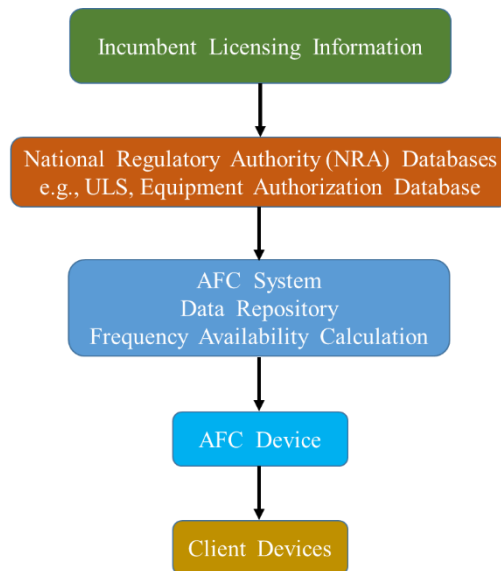


圖 4- 21、AFC 架構

資料來源：TIP Open AFC Software Project Group (2021), Open AFC Software Architecture

表 4- 6、AFC 各單元說明

AFC 單元	說明
Incumbent Licensing Information	自國家監管機構確定之 NRA 資料庫導入與更新資料
National Regulatory Authority (NRA) Databases	自免執照 AFC 設備(AP)獲取、註冊與維護資訊
AFC System	經由驗證 NRA 設備 ID(例如 FCC ID)，驗證 AFC 設備
AFC System Data Repository	允許 AFC 設備查詢國家監管要求之每個頻率之最大允許功率
AFC System Frequency Availability Calculation	向經過驗證授權之 AFC 設備，提供 6 GHz 頻段內所有允許頻率之清單
AFC Device	保留必要資訊(遵守 NRA 之紀錄保存要求)
Client Devices	於 AFC 設備控制之 6 GHz 免執照用戶端設備

資料來源：TIP Open AFC Software Project Group, (2021), Open AFC Software Architecture

執照服務（例如固定服務）之設備業者依系統之技術特徵，向主管機關申請執照。這些持有執照者向相關 NRA 提供資訊（目前執照資訊），並須持續確保資訊之準確性。NRA 於資料庫中，維護這些資料；例如，由美國 FCC 維護之通用授權系統（ULS）資料庫。

NRA 批准或認證一個或多個實體，成為 AFC 業者。AFC 業者須遵守 NRA 法規，使用 NRA 資料庫提供之既有執照資訊。至於 Open AFC System 則是一款開放原始碼軟體，可由 AFC 業者制定，其架構如圖 4-22 所示，流程細節如下：

- 從主管機關之資料庫（例如美國之 ULS 資料庫與設備授權系統）輸入與更新資料。
- 自免執照 AFC 設備（AP）取得、註冊與維護資訊。
- 透過驗證 NRA 設備 ID（例如 FCC ID），驗證 AFC 設備，並確保該設備不於 AFC 系統之內部拒絕清單中，或不於 NRA 識別為未經授權或禁止設備之記錄內。
- 回應來自 AFC 設備之查詢，資料回傳，提供國家規範之最大允許功率。
- 向經過驗證之授權 AFC 設備，提供 6 GHz 頻段內所有允許頻率之清單。
- 保留必要資訊，使 AFC 業者能夠執行 AFC 功能、遵守 NRA 之記錄保存要求、回應 NRA 請求並執行 NRA 任務。

使用 Open AFC 軟體，查詢 AFC 系統。AFC 設備向 AFC 系統提供地理位置訊息，且 AFC 設備只能從 AFC 系統於依據地理位置所指定之允許頻率與發射功率等級，進行選擇。用戶端設備於 AFC 設備之控制下操作，並只能於 AFC 設備指定之允許功率位準下操作。

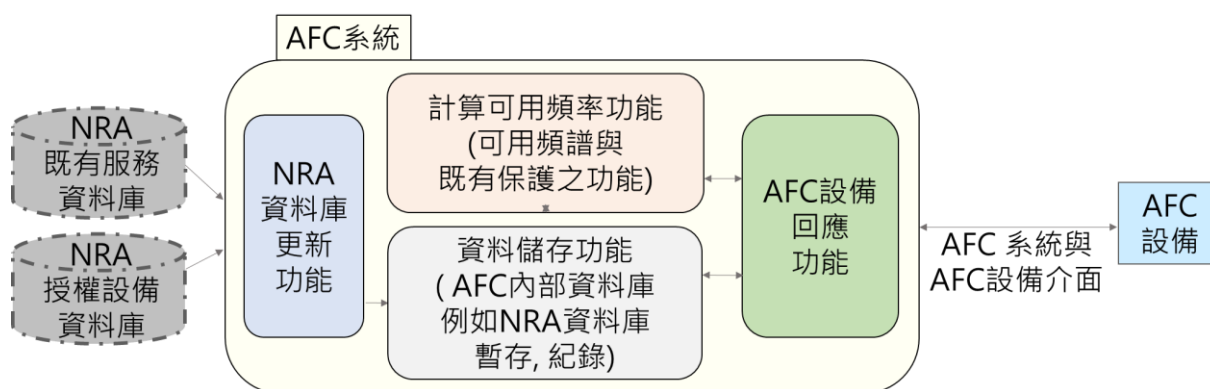


圖 4- 22、Open AFC 軟體功能架構

資料來源：TIP Open AFC Software Project Group (2021), Open AFC Software Architecture

Open AFC 系統使各 AFC 業者可透過結合這四個核心功能，遵守 NRA 監管要求。個別 AFC 業者可透過 Open AFC 系統，整合到其他硬體與軟體元件之 AFC 系統內，補充這些功能。

表 4- 7、AFC 系統各元件敘述

AFC 系統元件	敘述
NRA 資料庫更新	自 NRA 資料庫導入資料，以確定既有許可資訊是否有任何變化，是否添加了與臨時固定微波鏈路相關資訊，是否更改與邊境操作相關之訊息，以及是否更改授權/認證之設備清單 NRA 作為 AFC 設備操作。Open AFC 系統將使用此功能來填充、更新與維護資料庫。
資料庫更新功能	包含三個核心資料集： (1)既有服務資料庫 (2)經授權/認證可作為 AFC 設備操作之接取點資料庫，包含特定 AP 標識符號與 NRA 授權/認證 ID (3)與頻率計算與 AFC 設備活動有關之活動日誌資料庫。 Open AFC 軟體透過 NRA 資料庫，進行功能更新與維護資料庫。
計算可用頻率功能	此函數執行計算，識別頻率與 AFC 設備於特定地理位置操作允許之功率位準。 AFC 設備經由 AFC 設備回應功能，提供地理位置資訊。

AFC 系統元件	敘述
	NRA 資料庫經由 NRA 資料庫更新功能，提供相關之既有許可資訊。
資料 儲存功能	此功能處理來自 AFC 設備之查詢，並將錯誤資訊傳達予未經授權或被拒絕之 AFC 設備，或者將允許之頻率清單與傳輸功率等級，傳送予經由驗證之 AFC 設備。 Open AFC 系統將使用 AFC 系統頻率可用性計算函數，填充對 AFC 設備查詢之回應。

資料來源：TIP Open AFC Software Project Group (2021), Open AFC Software Architecture

(三) 聯邦通信委員會

美國聯邦通信委員會於 2020 年 4 月之 6 GHz 報告與命令，提及了授權使用 AFC 控制之標準功率與室內低功率等 2 種類型之免執照操作。其中，標準功率接取點 (Access Point, AP)、固定用戶端設備等標準功率設備，可部署於任何室外位置作為熱點，或於需要時進行網路容量升級；而使用 6GHz 頻段之室內低功率 AP，正如 2.4GHz 與 5GHz 頻段之 Wi-Fi，6GHz 頻段預計應該將可使之成為大多數人日常生活之一部份。

6GHz 頻段既有服務，係由 4 個子頻段之固定服務、行動服務與固定衛星服務組成。固定微波服務許可使用者為 6GHz 最大用戶，例如點對點微波鏈路、公共事業、商業與公共安全機構等服務；其中，這些固定微波服務許可使用者大量使用 UNII5 (5.925GHz 至 6.425GHz) 與 UNII7 (6.525GHz 至 6.875GHz)。對於 UNII5 與 UNII7 之點對點微波鏈路，FCC 建議允許免執照之標準功率 AP 於 AFC 控制下操作，AFC 將提供標準功率 AP 允許之頻率及其最大功率，以避免對既有微波鏈路造成有害干擾。因接收衛星位於赤道上空約 35,800 公里之軌道上，建議之輻射功率限制值將防止個別免執照設備對 UNII5 與 UNII7 之既有 FSS 造成有害干擾，且無須經由 AFC 系統保

護 FSS。另外，於 UNII6 與 UNII8 之既有服務為移動，FCC 建議允許低功率 AP 於室內操作，且無須 AFC 系統控制。

1. FCC 公告

FCC 於 2022 年 11 月 2 日釋出公告資料¹⁴⁹，FCC 有條件地批准 6GHz 標準功率免執照設備接取的 AFC 系統研發申請計畫；其中，批准之 13 家業者分別為 Broadcom、Google、Comsearch、Sony Group、Kyrio、Key Bridge Wireless、Nokia Innovations、Federated Wireless、Wireless Broadband Alliance、Wi-Fi Alliance、Qualcomm、Plume Design 與 RED Technologies。批准後須進行相關測試，驗證相關業者之操作符合 FCC 之要求；然而，測試協議尚於制定中，後續 FCC 將發布更多相關資訊。

FCC 有條件批准 13 家業者操作 AFC 系統，每個受批准之 AFC 業者須符合以下條件：

- (1). 須遵守所有既有與未來之 FCC 規範、指示與程序。
- (2). 須遵守 OET 依據 FCC 第 0.241 (k)之規範。
- (3). 須參加 FCC 或 OET 召開之研討會與會議，其主題可能包含
 - AFC 系統之開發與操作
 - AFC 系統之測試與認證程序
 - 與 AFC 系統持續發展相關之其他議題
- (4). 若有條件批准之 AFC 業者係依照第三方或特有之規則或協議，則這些規範與協議須與 FCC 規範一致。這些規範與協議須提供予 OET，經 OET 審查，確保與 FCC 規範一致。
- (5). 須採取措施，使 AFC 系統接受實驗室測試。OET 於即將發布之公告，發布關於實驗室測試之指引。

¹⁴⁹ FCC (2022), OET Announces Conditional Approval for 6 GHz Band AFC Systems, <https://www.fcc.gov/document/oet-announces-conditional-approval-6-ghz-band-afc-systems>

- (6). 須採取措施，使 AFC 系統接受示範計畫，OET 於即將發布之公告，發布關於示範計畫之指引。
- (7). 須回應 OET 成員於檢測數據期間之所有詢問，並依 OET 成員之要求，進行修正，作為測試過程之一部份。

對於批准 13 家業者操作 AFC 系統的研發計畫，AT&T、UTC/EEI、Verizon、FWCC、APCO 等評論者提出相關意見，其意見包含申請之充分性、標準功率設備之操作、測試、安全、干擾緩解與執行、傳播模型，與標準功率設備之室內操作。FCC 認為評論者並無提出令人信服之依據；亦即，其結論係有條件地批准 13 家業者操作 AFC 系統。

2. eCFR 法規

FCC 已於 eCFR 列出相關 AFC 規範，本節摘錄重點如下；其中，因部份規範內容互相參照引用，故本節編號遵循 eCFR 進行編號。

- (1) 根據 eCFR 15.407 (a)(4)，操作之標準功率接取點與固定用戶端設備須於傳輸前，接取 AFC 系統，以確定其地理座標之每個頻率範圍內可用頻率與最大允許功率。標準功率接取點與固定用戶端設備，僅能於 AFC 系統指示可用之頻率與功率位準，進行傳輸。
- (2) 對於可用頻率之功率，於最大允許 e.i.r.p. 36 dBm 與 21 dBm 之間，AFC 須具控制其步階功率變化不超過 3 dB 之能力。
- (3) AFC 系統須自資料庫獲取關於 5925 至 6425 MHz 與 6525 至 6875 MHz 頻段內受保護服務之資訊，並根據 eCFR 15.407 (1)(2)之保護標準，計算標準功率接取點與固定用戶端設備之可用頻率
- (4) AFC 系統須使用標準功率接取點與固定用戶端設備於註冊期間提供之資訊，基於標準功率接取點於任何給定之位置，公平地確定每個頻率範圍內之可用頻率與最大允許功率。

- (5) AFC 系統須將註冊資訊儲存於安全資料庫，直至 標準功率接取點或固定用戶端設備於某個位置停止 操作。若標準功率接取點或固定用戶端設備超過三個月未聯繫 AFC 系統，驗證可用頻率資訊時，則該設備被視為已停止操作。
- (6) AFC 系統須於授權接取點開始操作前，驗證任何標準功率接取點與尋求接取其服務之固定用戶端設備 FCC 標識符 (FCC ID) 之有效性。須自設備授權系統，獲得具有效 FCC ID 之標準功率接取點與這些設備 FCC ID 之清單。
- (7) AFC 系統之一般用途包含：
- (i) 制定 AFC 系統營運商根據本節制定之所有政策與程序。
 - (ii) 單獨或經由來自相同網路之多個標準功率接取點之設備，進行註冊、認證與授權標準功率接取點與固定用戶端設備。
 - (iii) 使用本節(1)定義之傳播模型與干擾保護標準，為標準功率接取點與固定用戶端設備，提供該位置之每個頻率範圍內之允許頻率與最大允許功率。
 - (iv) 自資料庫獲取更新之受保護站點資訊。
- (8) 標準功率接取點與固定用戶端設備：
- (i) 須於標準功率接取點與固定用戶端設備之初始服務傳輸前，或於標準功率接取點或固定用戶端設備改變位置後，向 AFC 系統註冊並獲得授權，且須獲得標準功率接取點與固定用戶端設備位置之每個頻率範圍內之可用頻率與最大允許功率之清單。
 - (ii) 須經由提供以下參數向 AFC 系統註冊：地理座標、地面以上之天線高度、FCC ID 與唯一之製造商序列號。若這些參數之任何一個出現更動，標準功率接取點或固定用戶端設備須向 AFC 系統提供更新之參數。標準功率接取點與固定用戶端設備向 AFC 系統

提供之所有資訊須真實、完整、正確且善意。

- (iii) 須直接與單獨或經由來自相同網路之多個標準功率接取點或固定用戶端設備向 AFC 系統提供註冊資訊。標準功率接取點、固定用戶端設備或其網路單元須經由 5925 至 6425 MHz 與 6525 至 6875 MHz 頻段之外，任何有線或無線通信鏈路向 AFC 系統註冊。
 - (iv) 須每日至少聯繫 AFC 系統 1 次，以獲取可用頻率之最新清單，與標準功率接取點或固定用戶端設備位置之每個頻率可使用最大允許功率。若標準功率接取點或固定用戶端設備於任何一日未能成功聯繫 AFC 系統，則標準功率接取點或固定用戶端設備可能會繼續操作到隔日晚上 11:59，此時它須停止操作，直至重新與 AFC 系統建立聯繫並重新驗證其可用頻率清單與相關功率位準。
 - (v) 須包含足夠之安全措施，以防止其接取未經 FCC 批准之 AFC 系統，並確保未經授權之各方無法修改設備，以避免經不符合本節規範與保護標準之操作；確保標準功率接取點、固定用戶端設備與 AFC 系統彼此間之通信係安全，以防止數據損壞或未經授權之攔截。此外，AFC 系統須包含安全措施，以防止未經授權之數據輸入或更改儲存數據，包含於用戶端設備與標準功率接取點彼此間，建立通信認證程序。
- (9) 標準功率接取點與固定用戶端設備地理位置功能：
- (i) 標準功率接取點與固定用戶端設備須包含內部地理定位功能或安全連接到外部地理定位設備或服務之集成功能，以自動確定標準功率接取點之地理座標與位置不確定性(以公尺為單位)，信賴水準為 95%。

若標準功率接取點與固定用戶端設備須自發生斷電狀態，即向 AFC 系統通知此類座標與位置不確定性

- (ii) 外部地理位置源可經由有線或無線連接到標準功率接取點或固定用戶端設備。單個地理位置源可向多個標準功率接取點或固定用戶端設備提供位置資訊。
 - (iii) 外部地理位置源須使用安全連接，以連接到標準功率接取點或固定用戶端設備；確保僅有經批准與標準功率接取點或固定用戶端設備一起使用之外部地理位置源，方能提供該標準功率接取點或固定用戶端設備之地理座標。或者，可使用延長電纜將遠程接收天線連接到標準功率接取點或固定用戶端設備內之地理位置接收器。
 - (iv) 標準功率接取點或固定用戶端設備認證之申請人須證明其地理位置方法之準確性與位置不確定性。對於不使用內部地理位置功能之標準功率接取點與固定用戶端設備，此不確定性須考慮地理位置源之準確性，以及標準功率接取點或固定用戶端設備彼此間之間隔距離。
- (10) AFC 系統營運商之任期為五年，可依營運商於任期內之表現對其進行續期。若 AFC 系統停止操作，則須至少提前 30 天通知，並將任何註冊數據轉移給另一個 AFC 系統營運商。
- (11) 指定一個或多個 AFC 系統營運商於 5925 至 6425 MHz 與 6525 至 6875 MHz 頻段提供服務。
- (12) 可允許 AFC 系統之功能（例如數據儲存庫、註冊與查詢服務），於多個實體彼此間劃分；然而，指定為 AFC 系統營運商之實體將負責管理 AFC 系統整體運作與系統。
- (13) AFC 系統須確保 AFC 系統與標準功率接取點與固定用戶端設備彼此間，所有通信與互動皆係準確與安全；並且，

未經授權之各方不能接取或更改資料庫，或無法提供可用頻率與相關功率之清單予標準功率接取點。

(14) AFC 系統須執行墨西哥與加拿大之國際協議條款。

(15) 指定之每個 AFC 系統營運商須：

(i) 維護一個定期更新之 AFC 系統資料庫，其中包含本節中描述之資訊，包含既有資訊與標準功率接取點以及固定用戶端設備註冊參數。

(ii) 建立並遵循協議與程序，以確保遵守本部分規範。

(iii) 建立並遵循足以確保 AFC 系統與標準功率接取點與固定用戶端設備彼此間，所有通信與互動之協議與程序係準確且安全；並且，未經授權之各方無法接取或更改 AFC 系統，或 AFC 系統至標準功率接取點或固定用戶端設備彼此間無法傳輸資訊。

(iv) 提供為期五年之服務。該期限可由委員會酌情延長。

(v) 若委員會或當事人向 AFC 系統營運商提出 AFC 系統不準確，則及時回應，以驗證、更正或酌情刪除數據。該要求僅適用於委員會要求儲存於 AFC 系統之資訊。

(vi) 制定並遵守協議，以遵守委員會之執法指示，包含於指定地理區域停止標準功率接取點之操作。

(16) AFC 系統營運商可對提供註冊與可用通道功能之服務，收取費用。委員會可應要求審查費用；若委員會認為這些費用不合理，可要求更改這些費用。

(四) 無線創新論壇

無線創新論壇 (WInnForum) 於 2021 年 5 月 25 日釋出基於 AFC 系統之功能要求¹⁵⁰，其包含標準功率設備一般要求 (Standard Power Device General Requirements, DGR)、標準功率設備安全要求 (Standard Power Device Security Requirements, DSQ)、AFC 系統一般要求 (AFC System General Requirements, AGR)，與 AFC 系統安全要求 (AFC System Security Requirements, ASQ)。由於 WInnForum 係以 FCC 為基礎，進一步提出 CBRS 之相關要求，故 WInnForum 資料內容將分別包含 FCC 要求與 WInnForum 要求等不同要求；因此，WInnForum 資料針對這些不同要求進行編號分類。本節亦遵循 WInnForum 之編號分類，其編號分類方式為 R#-<CATEGORY>-<XX>-<Y>，其相關定義分別為

- R0-: FCC 規範之要求
- R1-: 源自 FCC 規範或適用於 FCC 規範之要求
- R2-: WInnForum 為滿足 FCC 而提出之要求
- <XX>: 要求之編號
- <Y>: 次級要求之編號
- <CATEGORY> 要求之種類 (例如 R0-IPM-01-a)。

1. 標準功率設備一般要求：包含標準功率註冊與頻譜查詢、地理定位能力、使用之 Proxy，分述如下：

(1). 設備註冊與頻譜查詢

●R0-DGR-01 設備註冊要求

- (i) 標準功率 AP 與固定用戶端設備須於標準功率 AP 與用戶端設備首次服務傳輸前，或於標準功率 AP 或固定用戶端設備改變位置後，向 AFC 系統註冊

¹⁵⁰ WInnForum Standards (2022), Functional Requirements for the U.S. 6 GHz Band under the Control of an AFC System,
https://winnf.memberclicks.net/assets/work_products/Specifications/WINNF-TS-1014.pdf

獲得授權。(15.407(k)(8)(i))

- (ii) 標準功率 AP 與固定用戶端設備須於 AFC 系統註冊，提供地理座標、天線離地高度、FCC ID 與製造商廠牌型號等參數。(15.407(k)(8)(i))

若資料有何變化，標準功率 AP 或固定用戶端設備須向 AFC 系統提供更新之資訊。

- (iii) 標準功率 AP 與固定用戶端設備須直接與單獨或經由來自相同網路之多個標準功率接取點或固定用戶端設備向 AFC 系統提供註冊資訊。

(15.407(k)(8)(iii))

●R2-DGR-07

除 R0-DGR-01-b 要求之註冊參數外，標準功率設備可通知 AFC 系統是否位於室內。

●R0-DGR-02

標準功率 AP 與固定用戶端設備僅可於 AFC 系統顯示可用之頻率與功率位準上傳輸。(15.407(k)(1))

●R0-DGR-06

依據 CFR 15.407(a)(4)操作之標準功率 AP 與固定用戶端設備須接取 AFC 系統，以確定其地理座標處之可用頻率與每個頻率範圍之最大允許功率，方可發射。(15.407(k)(1))

●R0-DGR-03

標準功率 AP 與固定用戶端設備須每日至少 1 次向 AFC 系統聯繫，獲得最新可用頻率清單，以及標準功率 AP 與固定用戶端設備位置之可用最大允許功率。(15.407(k)(8)(iv))

●R0-DGR-04

若標準功率 AP 或固定用戶端設備於任何一天未能聯繫 AFC 系統，標準功率 AP 或固定用戶端設備，可繼續操作之第二天晚上 11:59，屆時其須停止操作，直至重新與 AFC 系統建立聯繫並重新驗證其可用頻率及其功率位準之清單(15.407(k)(8)(iv))

●R2-DGR-02

若依 R0-DGR-03 聯繫 AFC 系統時，標準功率設備應使用以下方式之一，向 AFC 系統查詢可用之頻率

- (i) 查詢 AFC 系統之頻率範圍，而不指定其操作之通道大小
- (ii) 查詢 AFC 系統之通道，以特定方式確定介面，定義其頻率之上/下限與頻寬。

●R2-DGR-05

若頻率於 UNII5、UNII7 頻段內，則標準功率設備查詢之頻率範圍應包含該設備預期操作頻寬之 1.5 倍，遠離該通道之中心頻率。

(2). 地理定位能力

●R0-DGR-05 Geolocation capability:

- (i) 標準功率 AP 與固定用戶端設備須於斷電狀態激活時，向 AFC 系統回報此類座標與位置之不確定性。
- (ii) 外部地理位置可經由有線或無線連接，與標準功率 AP 或固定用戶端設備相連。一個地理定位可向多個標準功率 AP 或固定用戶端設備提供位置資訊。
- (iii) 標準功率 AP 或固定用戶端設備之認證申請人須證明其地理定位方式之準確性與位置不確定性。
- (iv) 對於可能不使用內部地理定位功能之標準功率 AP 與固定用戶端設備，這種不確定性須可慮地理定位之準確性及其標準功率 AP 或固定用戶端設備之分離距離。

●R1-DGR-01

標準功率設備須包含內部地理定位功能或安全連接至外部地理

定位設備或服務之綜合能力，以自動確定標準功率設備之地理座標與位置不確定（以公尺為單位），信賴度為 95%。(15.407(k)(9)(i))

(3). 可使用 Proxy

●R2-DGR-01

一個或多個標準功率設備須與 AFC 系統進行通信之服務，可經由與 Proxy 結合實現之。

2. 標準功率設備安全要求

●R2-DSQ-01

為與 AFC 通信，標準功率設備或 Proxy 應使用以下協議。HTTP 1.1 或更高版本與 TLS 1.2 或更高版本，或提供類似或更高安全等級之替代通信方式。

●R2-DSQ-02

標準功率設備或 Proxy 使用 TLS 1.2 時，應至少支援以下密碼套件（cipher suites）

(i) TLS_ECDHE_ECDSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256

(ii) TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256

●R2-DSQ-03

亦可支援與使用與 R2-DSQ-02 引用之密碼套件提供同等或更高之保護水平之密碼套件。

●R2-DSQ-04

於 TLS 1.3 或更高版本支援之密碼套件亦可被支援與使用。

3. AFC 系統一般要求

(1). 設備註冊

●R1-AGR-01

AFC 系統於授權標準功率設備開始操作前，須驗證任何請求接取其服務之標準功率設備之 FCC ID 之有效性。(15.407 (K)(6))。應自衛員會之設備授權系統中獲得一份有效 FCC ID 之標準功率設備清單。

●R1-AGR-02

AFC 系統應單獨或經由相同網路之多個標準功率設備之網元設備 (Proxy) 註冊、驗證與授權標準功率設備之操作。(15.407(k)(2))

●R2-AGR-06

若標準功率設備未依 R2-DGR-07 通知是否位於室內
AFC 系統應假設該標準功率設備位於室外。

(2). 計算可用頻率與最大允許功率

●R0-AGR-01

AFC 系統須能確定可用頻率，其步長不超過 36dBm 之最大允許 E.I.R.P.，至少降至 21dBm 之最低位準。(15.407(k)(2))

●R1-AGR-03

AFC 系統須使用標準功率設備於註冊期間提供之資訊，利用傳播模型 47 CFR 15.407(1)定義之干擾保護標準，確定可用頻率與標準功率設備於特定位置之每個頻率範圍之最大允許功率。(15.407(k)(4)、14.407(k)(7)(iii)、15.407(1))

●R2-AGR-01

AFC 系統應使用標準功率設備，報告之位置不確定性，確定其最大允許功率位準，以保護固定服務接收機。

●R2-AGR-02

AFC 系統應支援 R2-DGR-02 規定之一種或多種查詢方式，向標準功率設備提供頻率可用性。

●R2-AGR-03

可用頻率與最大允許功率：

- (i) a.使用 R2-DGR-02 之方式，AFC 系統回應標準功率設備，應確定查詢之頻率範圍內每 1 MHz 間隔

之最大允許功率譜密度。

- (ii) b.使用 R2-DGR-02 之方式，AFC 系統回應標準功率設備，應確定每個指定通道頻寬之最大允許 e.i.r.p。

(3). 儲存訊息

●R0-AGR-02

AFC 系統應自委員會之資料庫獲取最新之受保護資訊。
(15.407(k)(15)(i))

●R0-AGR-03

委員會指定之每個系統營運商須維護一個定期更新之 AFC 系統資料庫，包含既有使用者之資訊與標準功率 AP 與固定用戶端設備之註冊參數。(15.407(k)(15)(i))

●R1-AGR-04

註冊訊息之儲存(15.407(k)(5))

- (i) a.AFC 系統應於一個安全之資料庫儲存標準功率設備之註冊資訊
- (ii) b.於標準功率設備最後一次與 AFC 系統聯繫後之 3 個月內，其儲存之註冊資訊皆可使用。

(4). 委員會之執法指示

●R1-AGR-05

AFC 系統應具有特定設備或設備類型造成有害干擾之情況，依委員會要求，拒絕特定標準功率設備進行頻譜接取之能力。

●R1-AGR-06

委員會指定之每個 AFC 系統營運商須遵守委員會之執法指示，包含指定之地理區域停止標準功率設備之操作。

4. AFC 系統安全要求

●R2-ASQ-01

AFC 系統與標準功率設備或 Proxy 之通信應使用 HTTP 1.1 或更高版本與 TLS 1.2 或更高版本，或提供類似或更高安全等級之替代通信方式。

●R2-ASQ-02

AFC 系統於使用 TLS 1.2 時，應至少支援以下加密套件

- (i) TLS_ECDHE_ECDSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256
- (ii) TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256

●R2-ASQ-03

亦可支援與使用與 R2-ASQ-02 引用之保護水平相近或更高之加密套件。

●R2-ASQ-04

TLS 1.3 或更高版本支援之加密套件亦可被支援與使用。

(五) 小結

WEA 於 2021 年 06 月 22 日釋出資料，提及 AFC 系統參考架構，可供開發 AFC 之參考架構，其內容詳如本章第一節。TIP 之 Open AFC 參考 WEA，於 2021 年 11 月釋出資料，其 Open AFC 將 WEA 之 AFC 系統功能進行歸納，將 WEA 六項功能歸納為 NRA 資料庫更新、資料庫更新功能、計算可用頻率功能，與資料儲存功能等四項功能。FCC 已針對 6GHz 之 AFC 規定相關規範，主要係討論 AFC 之功率限制、設備操作限制、AFC 系統要求，與保護既有服務等要求，其相關內容亦將重點摘錄於本章(三) 聯邦通信委員會部分；WInnForum 亦依 WEA 為基礎，彙整及提出進一步之要求，其相關內容亦將重點摘錄於本章(四)無線創新論壇部分。

第二節、適合我國和諧共享頻譜機制可行性評估

第一節盤點了 LBT、DFS、CBRS 與 AFC 等四項和諧共享頻譜機制，本節將探討各機制之適用分析，並於四個機制篩選出潛在共享頻譜機制；再進一步針對潛在共享頻譜機制由經濟效益、共享或干擾處理技術、頻譜管理等 3 個構面，分析適用於我國之優勢與挑戰。其中，經濟效益、共享或干擾處理技術、頻譜管理 3 個構面之重點如下

- 頻譜管理：主要著重於降低監管成本及簡化行政管理流程，讓頻譜之供應能適時滿足需求。
- 經濟效益因素：主要包含將頻譜做最佳之利用，以創造通訊服務產業或整體社會之經濟利益。
- 共享或干擾處理技術：主要考量目標係於不引起既有合法用戶干擾情況下，和諧共用頻譜，相關技術成熟度及造成干擾之風險亦須列入考慮。

一、LBT 及 DFS 適用分析

DFS 機制主要係應用於 5 GHz 頻段保護既有用戶（例如軍用或氣象用雷達），以達共享頻譜之目的。然而，雷達信號屬於不連續發射之電磁波，雷達系統亦非整日 24 小時運作，故會出現時間之空檔，可供其他次要用途之系統，利用此空閒時間接取頻譜。6 GHz 之既有用戶並沒有雷達系統，DFS 機制不適合此頻段之頻譜共享。

其中，DFS 機制主要係利用 LBT 技術，進行頻譜接取任務。Wi-Fi 負載型裝置使用之 CSMA/CA，或 LTE-LAA 訊框型裝置之碰撞避免機制，皆係利用 LBT 技術，進行通道偵測、接取頻譜。這部份主要於處理免執照系統間之頻譜接取任務。

於頻譜共享機制，設備之型式認證即一個基本作法。例如，藍牙喇叭、智慧手環、無線射頻辨識（Radio Frequency Identification, RFID）系統、無線智慧開關等，這類產品之使用頻段，主要位於工業、科學、醫療頻段，即所謂之 ISM 頻段（Industrial, Scientific, and Medical Band）。其中，以 2.4 GHz 頻段最為常見。通常此類小型裝置所需傳輸距離只

限於小型區域、其發射電功率低於 1 瓦特(W)。這類射頻器材於頻譜使用之監管，皆採免執照方式管理，惟仍須經由型式認證，方可製造、輸入、設置、持有、販賣。至於認證之測試標準，各國皆有規範，如我國國家通訊傳播委員會訂定之低功率射頻電機技術規範。因此，無論 CBRS、Wi-Fi、LTE-LAA、5G NR-U 等免申請頻譜使用執照之裝置，皆須型式認證之機制加以管理。於開放 6 GHz 頻譜供免執照使用時，亦須配合此機制。

二、 CBRS 適用分析

世界上採用 CBRS 頻譜共享機制之國家僅美國，適用頻段為 3550 MHz 至 3700 MHz。使用權限最高者為既有使用者，擁有不被其他層級使用者干擾之權利，其主要用戶為美國海軍(軍艦及岸邊雷達)。這類陸上雷達站主要建置於軍港附近之海岸，俾利連繫海上軍艦。美國領土幅員廣大，軍港週邊範圍佔比很小，遠離軍港之廣大陸地範圍，即無此類海軍通信系統需求。因此，可於海軍通訊涵蓋範圍外、或軍艦出港而陸上通訊站不發射信號之情形，開放其他應用服務使用頻譜。

美國 FCC 順利將此頻段之頻譜拍賣給電信業者。對於買到頻譜之電信營運商而言，其中主要之功能係其無線接取網路設備經由載波聚合功能，以使用 3.5 GHz 頻譜增強原有網路容量並改善網路服務品質。CBRS 亦可提供固定無線接取 (FWA) 服務，可讓新進無線區域網營運商進入電信市場。同時營運商亦有機會解決大型公共場所室內覆蓋問題，或向其他企業提供專用網路類型之服務，以取得合理利潤。

WInnForum 釋出相關案例介紹，例如美國電信商 IGL TeleConnect 公司，標得 CBRS 頻譜後，利用原來擁有之 50 MHz 頻譜，加上 100 MHz 之 CBRS 頻譜，可讓該公司之用戶，享有更大頻寬及更好之傳輸品質。另一家電信商 Federated Wireless，利用 CBRS 技術，於達拉斯州 Love Field 機場，建置機場內使用之無線網路。

IGL TeleConnect 之 CBRS 案例，其位置經 Google Earth 可知，其位置係於美國內陸，如圖 4- 23 紅色標記。

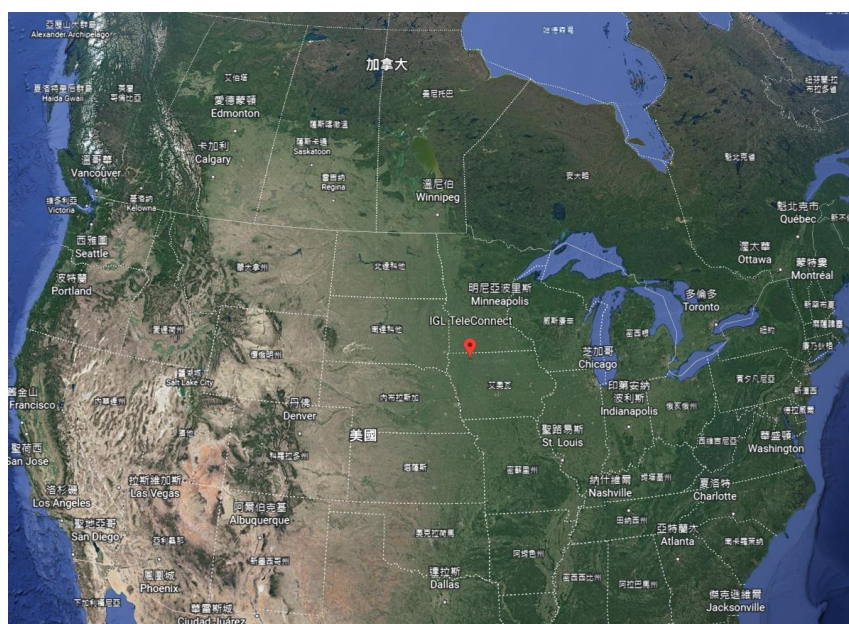


圖 4- 23、IGL TeleConnect 位置

資料來源： Winn Forum, Success Case Studies in the Citizens Broadband Radio Service (CBRS) Band

WinnForum 亦提及於達拉斯愛田機場（Dallas Love Field Airport）之 CBRS 案例，其位置與海岸經 Google Earth 可知，相距約 452 公里，如圖 4- 24。

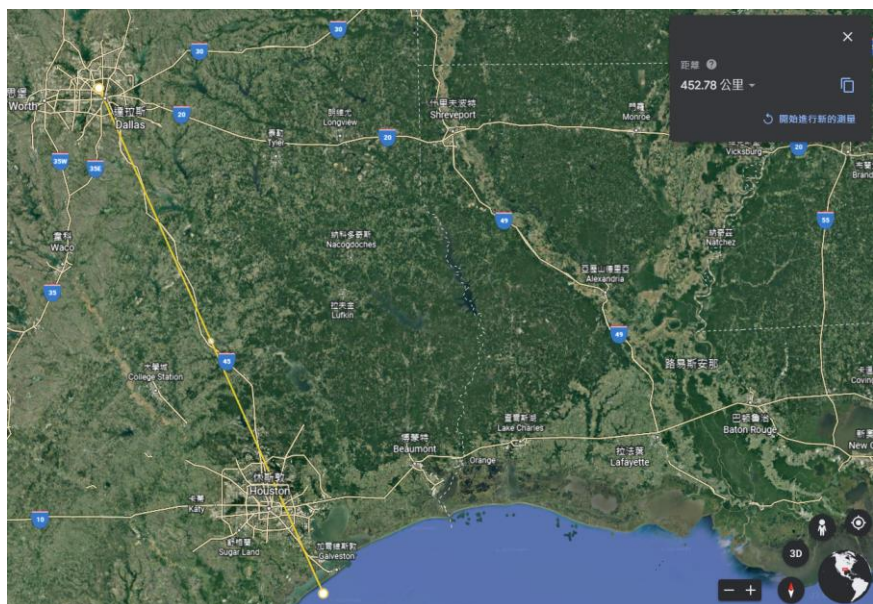


圖 4- 24、拉斯愛田機場與海岸之相對位置

資料來源： Winn Forum, Success Case Studies in the Citizens Broadband Radio Service (CBRS) Band

對於這些案例而言，WinnForum 釋出之資料有限，僅可由目前已知資訊，初判位置如上揭圖示，目前這些相關案例場域位置皆離海岸超過兩百公里以上；這些案例如何落實 ESC、SAS 與 PAL 等 CBRs 操作，目前不得而知。

此外，CBRS 機制係利用 SAS 頻譜資料庫，管制 PAL 系統接取頻譜之請求。這類頻譜資料庫管制之重點，在於掌握軍港附近 PAL 基地臺之相關參數，如位置、天線高度，場型等。而對避免既有服務受到干擾之機制。動態頻譜聯盟（Dynamic Spectrum Alliance, DSA）於 2019 年資料提及，由於 6GHz 頻段之既有使用者多為固定位置，且不易變化（例如點對點微波站臺），相較應用於保護海軍雷達 3.5GHz 頻段之 CBRs，6GHz 頻段之共享頻譜程序應較 CBRs 簡單與精簡。目前我國 6GHz 之既有服務（主要是點對點微波通訊系統），地理位置及使用時間不具有空檔，供其他次要服務共享頻譜（即 PAL）。

三、 AFC 適用分析

前揭分析評估了 LBT、DFS 與 CBRs 等三項和諧共享頻譜機制，本節將探討 6GHz 頻段討論度非常高之 AFC，適用於我國之潛在和諧共享頻譜機制可行性。

國際電信聯合會成立於 1865 年，分配全球無線電頻譜與衛星軌道，制定確保網路與通信之技術標準。世界無線電通信大會每三到四年舉行一次。WRC 之任務係審查並於必要時修訂無線電規範，其修訂係依國際電聯理事會確定之議程，該議程考慮了世界無線電通信大會曾提出之建議；世界無線電通信大會議程之總體範圍係提前四到六年確定，最終議程由國際電聯理事會（ITU Council）於大會召開前兩年確定，並徵得大多數成員國之同意。此會議之頻譜規劃決議，可供各國作開放執照之參考，而大部份國家亦採用 WRC 之決議。

因此，掌握國際電信聯合會之規劃建議，有助於研擬規劃未來我國 6 GHz 頻段（5.925 GHz-7.125 GHz）。ITU 預於 2023 年舉辦 WRC 會議，討論該頻段最新應用。目前部分國家（例如美國、歐盟等），已

決定 6 GHz 頻段之用途；原則上，皆係保障既有使用者之使用權，再開放部份或全部頻譜供其他新服務使用。世界各國 6 GHz 頻譜開放情形如表 4-8，多數國家開放 500 MHz，其比例為 81.5%，開放 1200 MHz 為 18.5%；其中，採用 AFC 機制之國家含美國、韓國與加拿大。

表 4-8、世界各國 6 GHz 頻譜開放情形

	開放 1200 MHz	開放 500 MHz
國家/ 聯盟	美國、加拿大、巴西、哥斯大黎加、瓜地馬拉、宏都拉斯、秘魯、多明尼加、韓國、沙烏地阿拉伯	歐盟(27 個會員國)、英國、挪威、瑞士、冰島、列支敦士登、摩洛哥、肯亞、日本、香港、馬來西亞、巴林、約旦、卡達、阿拉伯聯合大公國、澳大利亞、紐西蘭、智利
數量	10	44
佔比	18.5 (%)	81.5 (%)

資料來源：Wi-Fi Alliance；本研究整理

目前世界各國對 6 GHz 免執照裝置發射功率限制，可分成 FCC 需要 AFC 機制以及歐盟無需使用 AFC 機制等兩種情形。

對於 FCC 採用 AFC 之情形，規定僅能用於室內使用之裝置，稱為 LPI（Low Power Indoor-only）裝置，AP 之最大允許發射信號 E.I.R.P. 為 30 dBm，最大平均 E.I.R.P. 密度為 5 dBm/MHz；Client 之最大允許發射信號 E.I.R.P. 為 24 dBm，最大平均 E.I.R.P. 密度為 -1 dBm/MHz。室外使用之裝置，功率屬於標準功率（Stand Power），AP 之最大允許發射信號 E.I.R.P. 為 36 dBm，最大平均 E.I.R.P. 密度為 23 dBm/MHz；Client 之最大允許發射信號 E.I.R.P. 為 30 dBm，最大平均 E.I.R.P. 密度為 17 dBm/MHz。

對於歐盟不採用 AFC 之情形，僅能用於室內使用之裝置（含 AP 及 client），稱為 LPI（Low Power Indoor-only）裝置，最大允許發射信號 E.I.R.P. 為 23 dBm，最大平均 E.I.R.P. 密度為 10 dBm/MHz。室外使用之裝置，功率屬於 VLP（Very Low Power），最大允許發射信號

E.I.R.P.為 14 dBm，最大平均 E.I.R.P.密度為 1 dBm/MHz。

由上述可知，沒有採用 AFC 機制之裝置，為降低干擾風險，故降低發射功率；與採用 AFC 機制相比，沒有採用 AFC 機制之裝置，其允許裝置最大發射功率較小。且特別降低室外型 AP 之發射功率，僅允許 14 dBm 之 E.I.R.P.（低於室內型）。

AFC 如同 CBRS，亦需資料庫保護既有使用者，以避免對既有使用者造成有害干擾；然而，OET 指出¹⁵¹AFC 並沒有 CBRS 之 SAS 如此複雜，AFC 與 CBRS 不同之處，例如 SAS 須與其他 SAS 通信，即 47 CFR §§ 96.55(a)(2), 96.59(a), 96.63(i)；此外，SAS 可於任何時機關閉設備，即 47 CFR § 96.15(a)(4)。WinnForum 部分成員認為，由 SAS 直接控制之 CBRS 已被證實係複雜，且 CBRS 易出現不必要之長期標準化與測試程序¹⁵²。

由 DSA、WinnForum 與 OET 相關資料，對於 CBRS 與 AFC 而言，6GHz 頻段之頻譜共享機制主要係傾向 AFC 機制，且 FCC 已於 2022 年 11 月 2 日釋出資料，OET 宣布有條件地批准 6GHz 頻段 AFC 系統；因此，接下來進一步針對 AFC 以經濟效益、共享或干擾處理技術、頻譜管理等 3 個構面，評估 AFC 適用於我國之潛在和諧共享頻譜機制可行性，並進一步盤點適用於我國之優勢與挑戰。

(一)、頻譜管理

採用 AFC 共享機制可增加頻譜使用效益，於保護既有用戶免受干擾之前提，AFC 可允許室外 AP 有較高之 E.I.R.P. (36 dBm)，其網路涵蓋範圍較大，信號品質較好；特別有助於須佈建室外型環境感測器、遠端監控等物聯網應用，包含工業互聯網、智慧醫療、智慧交通、智慧城市等。因此，可提高頻譜之使用效率。

AFC 共享機制係以頻譜資料庫為核心，以執行自動化頻率指配

¹⁵¹ FCC (2022), OET Announces Conditional Approval for 6 GHz Band AFC Systems, <https://www.fcc.gov/document/oet-announces-conditional-approval-6-ghz-band-afc-systems>

¹⁵² Wireless Innovation Forum, (2019) WinnForum Standards, Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band, <https://winnf.memberclicks.net/assets/CBRS/WINNF-TS-0112.pdf>

任務。頻譜資源有限，惟需求不斷提高之情形下，AFC 之引進，對頻譜主管機關未來進行頻譜規劃時，提高頻譜使用效益之目標，將有很大之幫助，進而提高頻譜主管機關對頻譜管理之監管能力。

此外，須利用 AFC 取得頻率之室外 AP 之數量會很大，而每台 AP 皆須能經由網際網路與 AFC 伺服器連線，傳送 AP 主要參數給 AFC 伺服器，並取得可使用之通道。因此，AFC 系統建置，隨之產生一個生態系統；例如，資料庫建置與維運管理、固網連線服務、室外 AP 建置與維護等。

然而 AFC 機制運作，須 AFC 伺服器定期（每日）與主管機關維護之頻譜資料庫連線，更新其資料。其頻譜資料為 6 GHz 頻段之既有電台資料，包含電台地址、發射功率、頻率、頻寬、天線高度、天線型式、天線場型等。既有使用者包含公部門之警政、消防單位，公用事業之台電，商業用途之廣播電視業者，以及國防單位等；特別是公部門及國防單位，對這些事涉機密資料之保密及安全性，要求非常高。若 AFC 維運者並非政府部門，資料之安全保護係一大挑戰，可能屬於國家等級之資安議題。

同時，AFC 之建置與維運亦為一大挑戰。AFC 系統之採用，需要一套可行之管理機制與合適商業模式。首先，是否允許外國公司投資？AFC 營運商之管理機制，如家數限制、申請與退出等。其次，合理可行之商業模式為何？即是否須向用戶收取資料庫服務使用費？目前無迫切性決定允許標準功率設備，故後續將持續關注 6GHz 標準功率與 AFC 之發展，以評估適合我國之相關許可與授權。

反之，若不採用 AFC，則只需於低功率射頻電機規範，增加 AFC 裝置相關限制或標準即可。經由型式認證方式，避免 AFC 裝置對合法通信系統產生干擾。於此機制下，室內型裝置允許發射之 E.I.R.P. 大於室外型裝置，即室內型為 23 dBm 室外型 14 dBm。

(二)、經濟效益

採用 AFC 機制，Wi-Fi 裝置無論室內或室外，皆可以較高之電功率發射信號，室外裝置電功率可高達 36 dBm，提高網路涵蓋與品質。

這可促進物聯網之應用，例如工業物聯網，可讓員工、行動裝置、設施、感應器、與各式各樣之設備都彼此互相溝通，並且傳送數據至伺服器做即時分析，並提供予需要做決策之單位。其他應用包含智慧交通、智慧城市，其中受物聯網所驅動之應用包含智慧車道、即時之交通現況資訊回饋，與間接受物聯網所驅動之自動駕駛等，這些科技皆能經由更佳之無線網路傳輸，有效提升城市之流動性與經濟活動。

上述應用，亦促進相關產業之發展並可創造新產業生態系與可觀附加價值。例如上游晶片設計、製造、封測等，中游路由器供應商、WLAN 裝置供應商，下游消費性電子供應商、物聯網服務整合及提供商。例如，我國聯發科技公司已於 2022 年 5 月公布最新 Wi-Fi 7 無線連網平台解決方案「Filologic 880 與 Filologic 380」，提供用於電信商、零售商、商用與消費電子市場高頻寬應用。聯發科宣稱這兩款晶片是全球業界最早推出之 Wi-Fi 7 完整解決方案，可協助設備製造商打造具備先進無線連網技術之產品¹⁵³。

然而，我國 IT 產業主要以外銷為主，台灣市場之經濟規模不大，對公司營收佔有之比率有限。開放台灣市場對整體 IT 產業之產值，助益有限。

(三)、干擾處理

開放 6 GHz 頻段供免執照低功率無線區域網路使用，須評估對既有服務之干擾程度。Wi-Fi 聯盟提出 AFC 機制來解決上述問題，並被美國 FCC 及加拿大 ISED（Innovation, Science and Economic Development）採用。於開放 6GHz 頻段為免執照使用時，用 AFC 以保護既有固定微波鏈路服務免受 Wi-Fi 之干擾。

我國於 6 GHz 頻段主要既有服務為固定點對點微波、固定衛星服務、行動服務。其中，固定衛星服務，於此頻段為地球電台對太空上之衛星發射信號之上鏈通訊，並非接收型態，實務上沒有被干擾之疑

¹⁵³聯發科技（2022），聯發科技發佈全球首款 Wi-Fi 7 無線連網平台以完整解決方案開啟新世代，<https://corp.mediatek.tw/news-events/press-releases/mediatek-announces-worlds-first-complete-wi-fi-7-platforms-for-access-points-and-clients>

慮。此頻段之行動服務，主要係採訪新聞用之行動轉播車（SNG, Satellite News Gathering），電視台操作人員可隨時將所於現場之信號，經由 SNG 車傳送到電視台新聞總部，再由電視台地面系統播出。因此頻段行動服務只規劃於大於 6425 MHz 頻段使用，若只開放 5925 MHz 至 6425MHz，對行動服務亦不會引起干擾。然而，須評估微波鏈路可能受到之干擾。

AFC 對保護既有固定微波鏈路之運作模式，如圖 4- 25。AFC 系統會針對每個微波鏈路接收站，於接收天線前方，計算出一個保護帶（protection zone），此保護帶之區域大小，與微波鏈路接收天線之場型（pattern）、接收機規格及無線區域網路發射功率有關。AFC 系統進一步評估，WLAN 之電波涵蓋區域是否與微波鏈路接收站保護帶重疊。若出現重疊，則不會批准 WLAN 使用微波鏈路之通道。AFC 亦試圖找出可用通道提供予 WLAN，故 AFC 系統須與頻譜主管機構維護之頻譜資料庫定期連線與更新，並計算可供 WLAN 使用之通道。

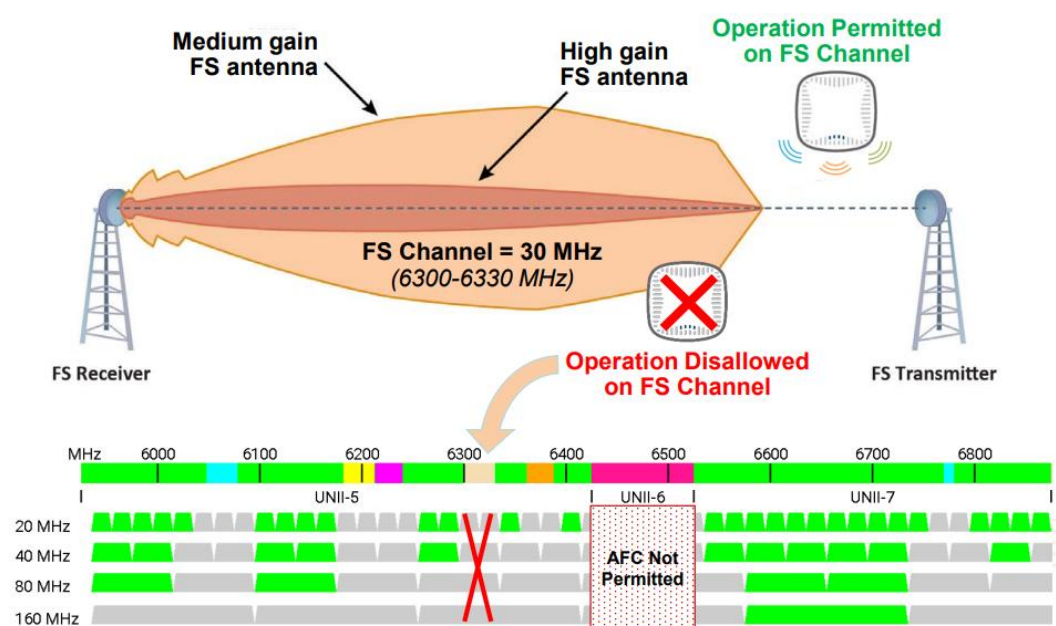


圖 4- 25、AFC 機制保護既固定微波鏈路

資料來源：Aruba (2022), Aruba Wi-Fi 6E¹⁵⁴

¹⁵⁴ Aruba (2022), Aruba Wi-Fi 6E,

AFC 系統運作時，須每日與主管機關之頻譜資料庫連線，並更新資料，以評估干擾風險。AFC 系統須取得資料庫內容，包含既有用戶電台位置、發射電功率、頻率、頻寬、天線型式、天線場型、天線方位角等。其中，目前使用者包含警政、消防、國防等單位。我國目前頻譜管理資料庫，是否有足夠電台資料，可供 AFC 伺服器進行干擾分析評估，仍須進一步釐清。我國頻譜主管單位是否掌握國防單位之頻譜資料，仍係一大挑戰。

此外，即使採用 AFC 機制，若室外型 AP 裝載於飛機、無人機、車輛、輪船上，對既有固定微波通訊系統，仍存於很高之干擾風險。因 AFC 機制之室外型 AP，屬於標準發射功率，與低功率之 AP 相比，對既有使用者而言，係具強之干擾能力。

於不採用 AFC 情形，室外使用之裝置，允許最大 E.I.R.P.為 14 dBm，約為 25 mW，加上 6 GHz 易衰減之傳播特性，對固定微波鏈路干擾之風險較低。雖然室內裝置允許之 E.I.R.P.為 23 dBm，比室外型高出 9 dB，惟經由建築物結構之衰減，當信號傳播至室外，至少衰減約 10 dB 以上，較不易出現干擾議題。為防止室內 AP 用於室外，可於型式認證機制時，對室內裝置規範如下：

- 須插功率線使用，不可使用電池供電。
- 使用整合天線及機殼之設計，即天線不可拆卸。
- AP 不可有防天氣損害之外殼（weatherized enclosure）。
- 須於設備顯眼處貼上“主管機關限制本裝置只限於室內使用”之標籤。

FCC 與歐盟分別係採用 AFC 與不採用 AFC，FCC 與歐盟亦皆已訂定室外型 AP 之 E.I.R.P.，採用 AFC 機制及不採用 AFC 機制之室外型 AP 之 E.I.R.P.分別為 36 dBm 及 14 dBm；若 AFC 機制計算路徑損失與保護帶時，出現較大之誤差，則增加了出現干擾議題之風險。因此，須準確估計路徑損失，亦須建置電子地形地物圖形資料庫，包含

地形高度、建築物分佈等，此亦為 AFC 須面對之課題。

AFC 系統須室外型 AP 之精確位置，即經緯度。AP 可經由本身裝置內建之 GPS 接收模組，提供經緯度資料予 AFC 伺服器。若無內建 GPS 功能，亦可由其他裝置提供。無論使用何種方式，皆提供 GPS 誤差範圍（以公尺為單位）予 AFC 伺服器，俾利進行干擾評估。因此，為確保既有服務免受有害干擾，實際使用 AFC 機制時，可對 AP 位置與誤差進行規範；若無法提供位置或位置誤差過大，AFC 伺服器可拒絕 AP 接取頻譜之請求。因採用 AFC 機制存於干擾風險，故頻譜主管機關須成立干擾處理小組，有效地與既有業者、AFC 業者與 Wi-Fi 使用者進行協調與採取必要應處。

採用 AFC 將可增加 Wi-Fi 室外使用之效益等優勢，惟須建立適用我國 AFC 機制與克服干擾議題等挑戰；若不採用 AFC 機制，經由修改型式認證規範後，可短期內實施。因此，若我國 6GHz 頻段導入 AFC 機制，可列為中、長期規劃；尚須逐步建立以頻譜資料庫為核心，加強開發地形地物電子資料庫，並由理論與實際量測，研發適合我國地形地物之傳播模型。對於採用 AFC 機制與否之優勢與挑戰，彙整如表 4-9。

表 4-9、採用/不採用 AFC 之優勢與挑戰

共享機制	優勢	挑戰	建議
採用 AFC	● 增加 Wi-Fi 室外使用之效益，如互聯網應用等。 ● 提高 IT 製造業利益 ● 可強化頻譜管理監管能力	● 頻譜資料庫有安全疑慮 ● 國內欠缺頻譜共享機制技術 ● AFC 技術複雜度高，採用後仍存於干擾風險。 ● 需要針對 AFC 系統(業者)建立管理機制	中、長期規劃
不採用 AFC	● 頻譜管理機制簡潔 ● 只需增加裝置型式認證規範，推動容易且具時效性。	● 無法提高共享頻譜機制技術層次	修改型式認證規範後，可短期內實施。

資料來源：本研究整理

第三節、小結

各頻段皆存在適用之頻譜共享機制，例如 5GHz 頻段之 DFS 與 LBT，以及 3.5GHz 頻段之 CBRS。其中，LBT 與 DFS 機制皆主要係由檢測信號，達到共享頻譜之目的；因不具資料庫，故較不易掌握既有使用者，即較不易保護既有使用者避免受到有害干擾。

CBRS 三層架構係藉由 SAS、FCC 資料庫、ESC 與既有服務資料庫，保護既有使用者（例如美國海軍雷達）。然而，6GHz 頻段之既有使用者多為固定位置，且不易改變位置（例如點對點微波站臺），相較應用於保護美國海軍雷達 3.5GHz 頻段之 CBRS，6GHz 頻段之共享頻譜程序應較 CBRS 簡單與精簡，且 OET 與 WinnForum 亦皆提及 CBRS 較 AFC 複雜；再者，OET 亦宣布有條件地批准 6GHz 頻段 AFC 系統。

因此，依表 4-9 優勢與挑戰分析，為提升國內共享頻譜技術之使用經驗，建議先於 6GHz 頻段以 AFC 概念驗證（Proof Of Concept, PoC）方式實作場域，藉此評估 AFC 適用於我國之可行性分析。其中，LBT、DFS、CBRS 與 AFC 機制彙整如表 4-10。

表 4-10、候選機制比較

	LBT	DFS	CBRS	AFC
目的	保護既有使用 Wi-Fi	保護既有雷達、固定衛星服務	保護既有雷達	保護既有固定微波服務
頻段 (GHz)	5.150 – 5.925	5.25-5.35 5.47-5.725	3.55-3.7	5.925-7.125
潛在干擾源	LTE/5G	Wi-Fi	PAL GAA	Wi-Fi
現行技術	有	無	無	有
資料庫	無	無	有	有
聚合功率	無	無	有	無
抗干擾能力	中	中	高	高

資料來源：本研究整理

第五章、 結論與建議

一、 國際 6G 觀測政策建議

本分項蒐研國際組織、重點國家與電信業者資訊掌握國際 6G 最新發展趨勢。研究團隊觀察到目前國際 6G 發展仍處於初期階段，各項議題皆尚未確立而存在開放方式與不確定性。因此面對存在高度變動的未來趨勢，研究團隊建議採取系統性且保有與國際接軌之彈性架構，持續彙整國際多元且龐雜之資訊，一方面積極獲取國際最新資訊，彌平資訊落差；另一方面保留滾動式調整的彈性空間。基於上述國際觀測原則，本研究團隊採條列式呈現具體研究建議，並逐一說明敘述如下：

● 國際 6G 觀測建議

- (1) 國際組織成為會員資訊交流之平台，建議可積極爭取參與獲取最新資訊；
- (2) 重點關注 ITU 有關 6G 願景與技術相關文件；
- (3) 蒐研重點國家 6G 文獻，關注各國主管機關政策決議之緣由；
- (4) 建議以宏觀角度採系統化觀測架構持續彙整國際最新趨勢。

● 6G 頻譜建議

- (1) 頻譜計畫兼顧國際最新發展趨勢、國內頻譜使用現況、各方產業核心需求與研究能量；
- (2) 極高頻 Sub-THz/THz 頻段可列為長期科研與實驗頻段；
- (3) 建議 10-10.5GHz、6GHz 頻段可先行觀察 ITU 決議；
- (4) 針對 6G 潛在頻段，可透過實驗頻段、功率規範與限制使用情境方式，有限度開放試驗；
- (5) 持續關注國際新興頻譜和諧機制技術研發現況；
- (6) 關注其他潛在 6G 頻段發展。

(一)、國際組織成為會員資訊交流之平台，建議可積極爭取參與獲取最新資訊

本計畫研析之眾多國際組織，皆以推動聯盟內部成員資訊交流為成立目標，藉此加速 6G 相關生態系發展。國際組織之間也透過簽訂合作 MoU 方式，分享彼此資源與資訊。考量公開文獻皆為較落後資訊或已確立之決議，除系統化觀測國際趨勢之外，建議可積極與國際組織合作，運用國際組織資源掌握尚未確立之最新初級資訊。此外，建議可擇定適當之國際組織平台，建立長期合作關係。

(二)、重點關注 ITU 有關 6G 願景與技術相關文件

國際組織彼此交流資訊、資源，其目的在於發揮國際影響力，將自身立場納入 ITU 的 6G 文獻。依據今年執行成果，各組織願景存在差異，仍有待 ITU 做出最終擘劃之 6G 願景。因此需持續重點關注 ITU 相關報告與建議書，盡早掌握國際標準發展重點。

(三)、蒐研重點國家 6G 文獻，關注各國主管機關政策決議之緣由

各國主管機關立場有別於國際組織思惟，必須兼顧國際趨勢及國內既有環境現況。然而各國政策研議過程並不一定公開揭露，因此蒐研各國 6G 政策與相關文獻之外，仍需探討各國決議之背後可能原因，進而掌握主管機關所關注之重點，分析不同國家背景脈絡所造成之相異政策決議。進而對照我國情境，協助研擬更適合我國國情之政策。

(四)、建議以系統化觀測架構彙整國際最新趨勢

考量目前國際趨勢，建議採取系統化觀測架構，可有效率彙整龐大且多元資訊。本計畫建議可從社會環境（Social）、科技環境（Technological）、經濟環境（Economic）、生態環境（Ecological）和政治環境（Political）的 STEEP 架構，彙整國際 6G 願景趨勢：

S社會環境 (Social)	T科技環境 (Technological)	E經濟環境 (Economic)	E生態環境 (Ecological)	P政治環境 (Political)
• 人口爆炸(全球超過80億人口) • 人口結構改變(老化、人口密集區移轉) • 衍伸社會/經濟不平等	• 通訊領域科技演進 • 多元領域技術整合(AI、半導體、衛星等)	• 新興應用與產業(虛實整合、XR、感測、自動智慧化服務) • 既有產業升級與數位轉型	• 環境永續性 • 零碳排(能源效率、低能耗) • 低環境衝擊(減少建設、循環經濟)	• 國家安全(資安、韌性) • 國家產業政策(科技、產業競爭力)

圖 5- 1、STEEP 架構之國際觀測分析範例

資料來源：本計畫整理

- 社會：社會議題是國際間共同重視的 6G 發展驅動力之一，聚焦於未來全球人口持續增長突破 85 億、先進國家人口老化與勞動力缺乏等議題。進而衍伸財富、健康與生活品質等眾多面向不平等議題。對此 6G 被視為可有效解決各種社會議題的重要科技工具，因而深受國際重視。
- 科技：6G 作為延續 5G 技術的下世代通訊技術，預期將匯集相關資通訊技術，從資通訊、資工、半導體、材料科學等領域建構新世代 6G 網路，相較於 5G 網路，所需科學領域更為廣泛，研發投資金額更高，並非單一企業皆能具備所有領域知識與充足經費，可預期 6G 設計研發階段已呈現仰賴科技生態系的發展特性。
- 經濟：未來 2030 年 6G 技術將成為眾多產業經濟發展的重要驅動力，進而實現數位轉型願景，其中虛實整合趨勢更具備衍生各項創新應用的潛力。對此國際間極為重視 6G 技術所隱含的突破性、孕育創新能力。
- 生態：近年來氣候變遷議題成為主流，與先前通訊世代不同，6G 技術在設計初期便已考量環境永續、環境友善議題。針對能源消耗、環境衝擊等因素接納入技術探討與應用情境之一。
- 政治：5G 技術以來，無線通訊網路已被視為國家關鍵基礎設施之一，對此各國皆訂定投資、研發與安全相關政策。未來

6G 技術進一步延續目前重視議題，一方面被視為國家科研力量展現，藉由政策引導，鼓勵技術研發與商用化發展，另一方面視為國家安全基礎，進而著重網路安全與韌性議題。

展望未來 6G 發展趨勢，現階段 6G 發展被賦予崇高理想，因此發展內容涉及廣泛無所不包。各國際組織、重點國家與電信業者願景皆賦予自身特色目標。而隨著 WRC-23 大會召開，可預期 6G 願景將更為明確，且將彙整為全球共通之發展願景；整體而言，國際 6G 發展仍是基於 5G 技術與願景之擴散延伸，因此現階段與 5G 差異不大。對於未來發展方向，也將深受 5G 之經驗左右。根據研究團隊資料蒐研未來發展趨勢如下：

- **6G 網路發展將呈現跨領域整合之趨勢**

相較於先前通訊世代，在 6G 技術發展中整合雲端、AI 等不同領域技術已成為共識。由於 6G 願景必須涵蓋多元複雜之應用情境，因此透過跨界協作方式，整合不同領域技術將有助於強化 6G 技術之廣泛適用性。

- **龐大投資與高難度技術研發挑戰，將促成區域組織或國家推動技術研發**

6G 技術可預期需要投入更為龐大之經費，同時間 5G 技術與網路布建投資仍處於持續推進的階段。對於個別業者、公司而言，將面臨 6G 技術複雜性高及經費規模過大而難以負荷的窘境。因此區域組織或國家力量的支持，將扮演重要角色，一方面作為平台匯集相關生態系成員，另一方面透過政策計畫輔導，降低 6G 研發機構所承擔之風險。

- **6G 技術範圍廣大，未來發展將聚焦於少數技術突破領域**

在 6G 願景制定初期，盤點 6G 所需之所有重點技術。然而產業無法同時投入龐大經費對所有技術進行研發，後續將依據技術中之重要性、急迫性等因素篩選出首要研發技術領域，並採取分階段發展方式逐步研發。

- **5G 經驗將左右未來 6G 發展方向，促成業者先行聚焦於有明確需求之服務市場。**

就目前現況而言，業者仍然未能從 5G 服務中獲利，因此較有明確需求及發展潛力之應用市場，將成為業者重點發展方向。藉此即早實現獲利進而再行投資挹注新技術。

總結而言，國際間賦予 6G 技術協助解決全球性問題的重要價值，然而仍需參考 5G 發展經驗，研析最可能且實質發展之面向，例如人口老化趨勢不易短時間逆轉，相應衍生需求議題發生可能性較高，將是 5G。最後 6G 技術演進與發展仍將持續長達 10 年的進程，因此透過長期且持續性觀測，累積充足研析資料方能及時掌握未來發展方向。

二、 6G 潛在頻譜政策建議

(一)、頻譜計畫兼顧國際最新發展趨勢、國內頻譜使用現況、各方產業核心需求與研究能量

本計畫團隊認為因應國際 6G 趨勢尚未完全確立，可早日研擬兼顧國際趨勢與國內現況之計畫，一方面持續關注 ITU 最新文獻，以及重點國家最新立場文件；另一方面可從我國實務且核心需求與研究能量為出發點，研析相關應用情境與關鍵技術；此外需要考量國內在 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段都存在既有使用者，為維護既有應用的合法使用權利，仍須持續盤點國內使用環境現況，兼顧新興頻譜整備與國內合法使用者權益兩大政策目標。

(二)、極高頻 Sub-THz/THz 頻段可列為長期科研與實驗頻段

國際間對於 Sub-THz/THz 頻段仍列為長遠發展目標，聚焦於電波特性的基本研究，因此針對 Sub-THz/THz 頻段距離實質商用化或成為 6G 商用頻段仍需投入長期持續性計畫進行研析，故建議可列為長期研發目標，持續透過實驗頻譜方式鼓勵研發計畫。

(三)、建議 10-10.5GHz、6GHz 頻段可先行觀察 ITU 決議

我國在 10-10.5GHz 頻段方面，並未如第一區存在嚴重干擾軍事雷達及哥白尼衛星星系等問題；至於 6GHz 頻段則是可參考各重點國家之經驗與立場，深入探討為何多數國家僅釋出 5925-6425MHz 之原因。依據本計畫之蒐研結果，多國在 6GHz 頻段存在既有使用者，因此需考量和諧共存議題，故而先行開放部分頻段並透過限制功率與使用情境等方式供免執照裝置使用，其目的在於降低干擾嚴重性，同時觀察後續頻譜使用趨勢與國際 ITU 決議，並且 6GHz 與 10-10.5GHz 議題並非第三區討論議題，仍需以國內實際需求與情境為關鍵決策基準。因此基於國際觀測研究成果，建議可先行觀察 ITU 最終決議後再行討論，將更能訂定適合國情需要並與國際接軌之妥善方案。

(四)、針對 6G 潛在頻段，可透過實驗頻段、功率規範與限制使用情境方式，有限度開放試驗

WRC-23 大會已將 6GHz 與 10-10.5GHz 頻段列為討論議題，因此預計在 2023 年底將確立未來 6G 潛在頻段，建議可持續關注國際發展趨勢與 ITU 最新決議，並參考德國電信方式申請實驗執照方式進行 6GHz 頻段初期研究¹⁵⁵。同時目前國際間 6GHz 頻段已有採取功率規範、限制室內使用方式釋出 6GHz 頻段供免執照使用的案例，可做為國內評估有限度開放試驗的參考資訊。

(五)、持續關注國際新興頻譜和諧機制技術研發現況

因應 6GHz 頻段和諧共存目標，美國積極推動 AFC 技術研發。國際間各國也進行 AFC 機制的可行性研析，可持續關注 AFC 研發進度，待公告研發成果後，做為提升頻譜使用效率的潛在技術方案之一。

(六)、關注其他潛在 6G 頻段發展

最後仍須關注其他頻段選項，多數國家皆依循 ITU 決議。然而因應未來 6G 新增頻譜需求，仍須持續關注其他潛在頻段。例如美國已公開諮詢 12.7GHz 頻段（12.7-13.25GHz）共 550MHz 頻段作為 6G 頻段使用之可能性。可預期在 7-24GHz 頻段仍有其他潛在頻段選項，因此持續關注國際趨勢可早日研析其他可能 6G 頻段資源。

¹⁵⁵ Deutsche Telekom (2022), Deutsche Telekom testing 6 GHz frequency spectrum for future mobile communications, <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/deutsche-telekom-testing-6-ghz-frequency-spectrum-1021582>

三、既有使用者使用狀態與干擾評估

本分項計畫為研析國際 Wi-Fi 6E 日後布署於我國之情境，了解其對國內既有站臺的影響程度，計畫團隊透過完整調查國內既有站臺資訊，和相關干擾資訊的蒐集與研析，評估潛在干擾之可能性。經研究團隊之分析，在國際上兩大市場美國、歐盟之室內裝置對於固定微波服務的影響不大，但室外裝置的使用上，則帶來相較嚴重的干擾。這也是為何兩大分歧的裝置系統上，在美國規範對於室外裝置要求須採以 AFC 裝置授權，而歐盟對室外裝置雖不採以管制，但在裝置規範要求上則限縮發射功率。若未來我國對於戶外裝置有開放計畫，勢必須輔以調降功率政策以符合干擾=抑制之要求。對於固定衛星服務方面，國內裝置密度總干擾量評估後，應不具造成當前此頻段之衛星上鏈的干擾。

經各項蒐集與研析結果，對於既有固定微波服務的影響，若採以當前美國與歐盟之裝置規範，因為環境建築物多為水泥、磚造或鐵皮類型之材質，對於室內至室外的穿透損耗大，故室內裝置從研析實測結果研判並不具影響能力。另外，微波天線前方為確保通訊鏈路品質，都會避免於第一菲涅爾區半徑 60% 內出現障礙物，因此即使微波天線近端有較高干擾裝置，亦會因為處於較大的偏軸角，而降低對微波天線增益效應。

固定微波服務站臺面對戶外裝置，經由實測與模擬分析，其對站臺的干擾影響極大。建議未來若有考慮開放該頻段時，可採以 AFC 機制加以管制戶外裝置，或採歐盟方式降低發射功率，若採歐盟規範，須面對設備來至郊區、鄉村戶外裝置使用時約有 10% 的低度干擾風險機率，內容詳如第三章之表 3-34。

(一)、室內免執照裝置較無造成干擾疑慮

經團隊研析國際 6 GHz 免授權裝置對我國既有站臺之干擾評估後，對於開放採歐盟規範之室內、室外裝置或美國規範之室內裝置功率，較無干擾之疑慮；唯獨美國規範之室外功率對固定微波影響甚大，

若國內評估考慮開放十，建議仍須由 AFC 相關機制來管制，才能減少干擾問題，參酌美國及歐盟相關規範後之開放建議整理如表 5- 1。

表 5- 1、裝置規範開放建議

項次	規範	使用裝置內容	開放建議
1	美國 (室內)	1. 室內存取端 (30 dBm) 2. 連接室內存取端之用戶端 (24 dBm)	可行
2	歐盟 (室內)	1. 室內低功率存取端與用戶端 (23 dBm)	可行
3	美國 (室內+室外)	1. 室內存取端 (30 dBm) 2. 連接室內存取端之用戶端 (24 dBm) 3. 室外標準功率 (36 dBm) 4. 連接室外標準功率之用戶端 (30 dBm)	未來需導入 AFC 相關機 制來限制
4	歐盟 (室內+室外)	1. 室內低功率存取端與用戶端 (23 dBm) 2. 超低功率存取與用戶端 (14 dBm)	可行

資料來源：本計畫整理

(二)、6GHz 頻段存在眾多既有使用者，須兼顧國際趨勢、經濟效益與民生便利等公眾最大利益

我國當前 6 GHz 頻譜面對既有使用者之類型與各國相差不大，對於多數已開放 6 GHz 頻段之國家多採已先開放 5925 – 6425 MHz，6425 – 7125 MHz 則多待未來 WRC-23 決議再決定是否開放。爰此，對於我國頻譜開放政策，建議可先依多數國家頻譜策略方式先行開放 5925 – 6425 MHz 頻譜。通訊頻譜為國家珍貴資源，對於免執照裝置的開放決策，仍應適度考量當前頻譜開放是否帶來經濟效益與民生便利等相關因素，故對於當前頻譜開放建議整理如表 5- 2。

表 5- 2、6 GHz 頻段開放建議

項次	頻段範圍	開放建議
1	5925 MHz – 6425 MHz	可行。基於增進國內消費者權益，與促進未來資通產業發展，建議可先開放此頻段。
2	6425 MHz – 7125 MHz	待未來 WRC-23 決議，與頻譜使用需求後再決定此頻段最佳使用方式。

資料來源：本計畫整理

四、我國 6G 先期潛在 6GHz 以上頻段之和諧共用機制方案建議

本計畫因應 5925-7125 MHz 頻段既有使用者，包含衛星傳輸及骨幹微波技術等多種應用，且該頻段為 6G 行動通訊之熱門候選頻段之一，頻譜如何有效和諧共用係攸關國家資通訊發展的重要議題。由於頻譜容量有限，須考慮頻譜容量及有效使用率。據此，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機制之設計與技術可行性評估。

此外，本研究團隊亦進一步研析頻譜和諧有效機制評估準則、AFC 系統運作機制及適合我國國情之和諧有效機制設計與技術可行性方案評估，並以頻譜和諧共存機制技術規範建議為主軸，研提和諧機制方案建議。

(一)、相較其他和諧機制，AFC 機制具備較強保護力、程序較簡單與精簡且受主管機關重視之特性

各頻段因使用狀況差異，故存在不同適用之候選頻譜共享機制，例如 5GHz 頻段使用 DFS 與 LBT 機制，以及 3.5GHz 頻段採用 CBRS 技術等。其中，LBT 與 DFS 機制皆主要係由檢測信號，達到共享頻譜之目的；因不具資料庫，故較不易掌握既有使用者，即較不易保護既有使用者避免受到有害干擾。CBRS 三層架構係藉由 SAS、FCC 資料庫、ESC 與既有服務資料庫，保護既有使用者（例如美國海軍雷達）。依據本計畫觀察，6GHz 頻段之既有使用者多為固定位置，且不易改變位置（例如點對點微波站台），相較應用於保護美國海軍雷達 3.5GHz 頻段之 CBRS，6GHz 頻段之共享頻譜程序應較 CBRS 簡單與精簡，且 OET 與 WinnForum 亦皆提及 CBRS 較 AFC 複雜；再者，OET 亦宣布有條件地批准 6GHz 頻段 AFC 系統，反映 AFC 系統研發有所成果。其中，LBT、DFS、CBRS 與 AFC 機制彙整如表 4-10。

(二)、綜合考量效益與挑戰後，建議可將 6GHz 頻段導入 AFC 機制 列為中、長期規劃

採用 AFC 將可增加 Wi-Fi 室外使用之效益等優勢，惟須建立適用我國 AFC 機制與克服干擾議題等挑戰，當然是否符合經濟成本效益也是考量的重要因素之一；若不採用 AFC 機制，透過修改型式認證規範管制發射功率後，可短期內實施。因此，若我國將 6GHz 頻段導入 AFC 機制，可列為中、長期規劃選項之一；是否導入 AFC 機制尚須考量逐步建立以頻譜資料庫為核心，加強開發地形地物電子資料庫，並由理論與實際量測，研發適合我國地形地物之傳播模型。因此，依第四章表 4-9 優勢與挑戰分析，為提升國內共享頻譜技術之使用經驗，建議先於 6GHz 頻段以 AFC 概念驗證(Proof Of Concept, PoC) 方式進行實作場域驗證，評估 AFC 適用於我國之可行性。

五、 6GHz 頻段釋出之綜合建議

為實現完善我國 6G 頻譜整備政策，健全我國 6G 頻率釋出規劃與和諧共存發展環境之執行目標。本計畫進一步深入探討首波 6G 頻譜之 6GHz 頻段釋出之關鍵考量因素與釋出建議。計畫執行項目共包含國際 6G 技術與頻譜觀測、既有使用者使用情況與干擾評估、潛在候選機制盤點與研析等。分別從不同面向提供多元研究資料與證據，協助研提完備之頻譜政策建議。

研究團隊基於研究成果，並考量主管機關之政策願景¹⁵⁶，總結為頻率充分供給及有效使用、營造產業創新與發展環境、頻率和諧運用等三大頻譜政策原則。因而基於頻譜願景為起點，採取從上而下之方式，研提頻譜釋出建議，分述本計畫研析成果摘要如下：

- **參考國際經驗：多國採事前規範，訂定分階段、釋出部分頻段、設定功率與使用情境等措施。**

國際 6G 潛在頻段 6GHz 頻段，目前多國仍僅釋出 5925-6425MHz，並採歐盟規範供免執照裝置使用。至於 6425-7125MHz 仍待 WRC-23 討論及 ITU 最後之決議。

各國猶豫之主因，除等待 WRC-23 大會決議後，國際趨勢更加明確之外，各國亦皆提及擔憂對該頻段既有使用者造成干擾。由於 6GHz 頻段（5925-7125MHz）共計 1200MHz 頻寬，並包含固定微波、固定衛星與行動等服務，因存在許多既有使用者，所以各國在頻譜釋出政策相對謹慎，多數採階段性釋出計畫，並輔以功率及使用規範等限制，確保國內頻率使用環境和諧共存。可參見第二章內容以及第三章表 3-4。

¹⁵⁶數位部網頁敘述之施政重點為：因應數位匯流及科技發展趨勢，規劃、整備、釋出無線電頻率及電信號碼資源，確保數位通傳資源之充分供給及和諧運用；持續觀測國際無線電頻率標準制定及應用演進，回應國內數位通傳產業需求；規劃短、中、長期無線電頻率供應計畫，營造產業多元創新環境，帶動新興數位經濟活動發展，落實智慧國家願景。

表 5- 3、本計畫研析之重點國家 6GHz 頻譜立場

國家	6 GHz	6 GHz
歐盟	●5945-6425 MHz 供免執照	● (未定)6425-7125 MHz 供 IMT
英國	●5925-6425 MHz 供免執照	● (未定)6425-7125 MHz 供 IMT
美國	●5925-7125 MHz 供免執照	●5925-7125 MHz 供免執照
日本	●5925-6425 MHz 供免執照	● (未定)6425-7125 MHz 供 IMT
韓國	●5925-7125 MHz 供免執照	●5925-7125 MHz 供免執照
中國	●5925-6425 MHz 支持作為 IMT (5925-6125MHz 供專網使用)	●6425- 7125 MHz 提案作為 IMT

資料來源：本計畫整理

考量各國主管機關立場與 6GHz 頻段規劃，建議可依循國際趨勢採階段性釋出計畫，並輔以功率、使用規範等限制，藉由事前規範方式降低干擾發生機率，避免事後出現干擾時產生複雜權責難以釐清，且不易解決之干擾排除作業。對我國而言，亦可獲得國際主流設備生態系之雙重優點，一方面可獲得較低成本之主流生態系設備，另一方面可基於更穩健之策略切入主流市場。

總結而言，參考國際趨勢並非延遲決議之緣由，而是國家頻譜長遠政策目標之參考依據與方針。藉由從各國經驗中，掌握可能之各項潛在影響因素，進而協助完善我國政策研擬之完整性，同時指引國家依循全球規範之長遠發展目標。

- **顧及國內頻譜和諧使用環境：**國內存在許多既有使用者，須顧及其使用權益，干擾評估結果，以室內干擾影響機率最低。

計畫團隊同時盤點既有使用者使用情況，執行干擾評估及量測研析。首先我國在 6GHz 頻段存在許多既有使用者與上百座電臺。依統計結果分析，國內存在數百座電臺分布，按使用頻段區別，使用於 L6 (5925 MHz 至 6425 MHz)頻段有 578 個；U6 (6425 MHz 至 7125MHz) 頻段有 341 個。其中 45%固定微波服務電臺座落在高於全國平均人口密度(每平方公里 641 人)之區域，且多位於人口密集區域周邊；其次，盤點國際免執照裝置規範後，執行干擾模擬及實測研析獲得之結果，

發現建築物造成衰減效果明顯。因此將低功率要求與限定使用情境納入規範，亦對減少干擾有所助益。

表 5-4、美國與歐盟免執照裝置規範干擾評估結果摘要

項次	規範	使用裝置內容	評估結果
1	美國 (室內)	1. 室內存取端 (30 dBm) 2. 連接室內存取端之用戶端 (24 dBm)	無干擾現象
2	歐盟 (室內)	1. 室內低功率存取端與用戶端 (23 dBm)	無干擾現象
3	美國 (室內+ 室外)	1. 室內存取端 (30 dBm) 2. 連接室內存取端之用戶端 (24 dBm) 3. 室外標準功率 (36 dBm) 4. 連接室外標準功率之用戶端 (30 dBm)	<u>造成固定微波服務 干擾</u>
4	歐盟 (室內+ 室外)	1. 室內低功率存取端與用戶端 (23 dBm) 2. 超低功率存取與用戶端 (14 dBm)	城市區域環境無干擾現象； 郊區、鄉村約有 10%機率產生干擾

資料來源：本計畫整理

研究團隊認為建築物建材造成的衰減效果極為明顯，可作為開放與否之重要考量。另外，進而考量實際使用情境複雜性，雖然政策僅開放室內使用，但仍可能存在不合格之室外裝置。假設出現不合格室外裝置，研究結果發現仍以歐盟規範方式有較低之干擾機率。至於美國規範裝置方式，一旦裝置被移至室外將造成顯著干擾影響。此外仍須考量國內使用之需求，是否需要釋出 1200MHz，抑或僅先釋出 L6 之 500MHz 頻寬便已滿足現有使用之需求。

- **和諧機制研析：AFC 技術目前尚未成熟，短期內無法作為和諧共存之解決方案，仍須中長期投入研發。**

計畫團隊為進一步加速實現頻譜和諧共存目標，同步盤點與研析和諧有效使用機制。總結而言，各頻段存在適用之頻譜共享機制，例如 5GHz 頻段使用 DFS 與 LBT 機制，以及 3.5GHz 頻段之 CBRS 技術等。其中 LBT 與 DFS 機制皆主要係由檢測信號，達到共享頻譜之

目的。因不具資料庫，故較不易掌握既有使用者，即較不易保護既有使用者避免受到有害干擾。至於 CBRS 係藉由 SAS、FCC 資料庫、ESC 與既有服務資料庫等三層架構，保護既有使用者（例如美國海軍雷達）。

表 5-5、本計畫研析之四種候選和諧機制比較摘要

名稱	LBT	DFS	CBRS	AFC
目的	保護既有使用者 Wi-Fi	保護既有雷達、固定衛星服務	保護既有雷達	保護既有固定微波服務
頻段 (GHz)	5.150 – 5.925	5.25-5.35 5.47-5.725	3.55-3.7	<u>5.925-7.125</u>
潛在干擾源	LTE/5G	Wi-Fi	PAL GAA	Wi-Fi
現行技術 (6GHz)	有	無	無	有
資料庫	無	無	有	有
抗干擾能力	中	中	高	高
機制	詳見第四章第一節			

資料來源：本計畫整理

研究團隊認為，6GHz 頻段之既有使用者多為固定位置，且不易改變位置（例如點對點微波站台），AFC 共享頻譜程序應較 CBRS 簡單與精簡；最後 AFC 技術仍在研發階段，目前 2022 年並無成熟且可商用化之系統方案，無法作為短期解決和諧共存之方案選項，只能透過設備規範實現短期內頻譜使用環境和諧共存。然而系統研發具有發展潛力因而受到 FCC 重視，已有條件批准多家業者 AFC 試驗計畫。建議可持續推動 AFC 機制研析，作為中長期推動之方向。藉由干擾抑制技術研析，推動可持續降低受干擾影響之範圍與嚴重性，進而優化國內頻譜和諧共存環境。完備之國內頻譜環境，方可因應國際趨勢

的變動與前瞻技術的發展。

- **短期與中長期建議：**短期可考慮參考歐盟規範、中長期則可基於 AFC 機制與替代方案研析成果再行決定。

計畫團隊盤點國際趨勢、國內既有使用現況、干擾評估與潛在和諧使用機制研析後，基於持續優化國內頻譜使用環境，提升頻譜使用效率、降低干擾風險、鼓勵產業發展等頻譜管理之願景；同時參酌政策執行複雜度及執行所需時程等主客觀考量因素，故建議可依短期（1 至 3 年內）及中長期依序規劃執行項目。

- (1) 短期（1 至 3 年內）持續關注國際趨勢及 WRC-23 大會決議後續發展；並可研議採歐盟規範，規劃基於室內裝置、限制功率及部分頻段(L6)等規範方式供免執照使用；同時推動既有使用者替代技術方案、AFC 機制研析，降低干擾機率與影響層面，早日推動整備政策；
- (2) 中長期則持續關注國際趨勢及 WRC-23 大會決議與 WRC-27 大會議題；中期可考量替代方案與 AFC 研析成果，評估開放頻段或功率調整的可能性；長期則是關注 WRC-27 大會決議後之國際趨勢主流方向，並評估導入替代方案與 AFC 機制成果之可行性，確立後續開放頻段與功率限制規範。
- (3) 最後建議持續與利害關係人溝通、研析國內頻譜需求與業界意見，並可考量透過實驗網路方式作為彈性補充的制度措施。

參考文獻

一、 英文文獻

- [1] 3GPP (2022), Feasibility Study on 6 GHz for LTE and NR in Licensed and Unlicensed Operations,
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3436>
- [2] 5G Observatory (2022), Quarterly Report 15, May 2022,
<https://5gobservatory.eu/wp-content/uploads/2022/05/5G-Observatory-Quarterly-Report-15-May-2022.pdf>
- [3] 6G Flagship (2019), Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence ,
https://www.researchgate.net/publication/336000008_Key_drivers_and_research_challenges_for_6G_ubiquitous_wireless_intelligence_white_paper
- [4] 6 GHzopportunity (2022), 6 GHz opportunity: licensed spectrum for mobile networks, <https://6GHzopportunity.com/wp-content/uploads/2022/06/22-06-09-Licensed-6-GHz-opportunity-v2.pdf>
- [5] 789033 D02 General U-NII Test Procedures New Rules v02r01
- [6] 987594 D02 U-NII 6 GHz EMC Measurement v01r01
- [7] 987594 D03 U-NII 6 GHz Q&A v01
- [8] APT(2022), APT Report on point-to-point radiocommunication systems operating in the frequency range 252-296 GHz,
https://www.apr.int/sites/default/files/2022/03/APT-AWG-REP-118_-_APT_Report_on_point-to-point_radiocommunication_systems_operating_in_the_frequency_range_252-296_GHz.docx
- [9] APT(2022), APT Report on walk-through imaging systems operating in the frequency range 275-1000 GHz,
https://www.apr.int/sites/default/files/2022/03/APT-AWG-REP-119_-_APT_Report_on_walk-through_imaging_systems_operating_in_the_frequency_range_275-1000_GHz.docx
- [10] AT&T(2022), AT&T Rolls Out Super-Fast 5G+ Across the U.S.,
<https://about.att.com/pages/5g-plus.html>
- [11] ATIS (2022), ATIS' Next G Alliance Advances Understanding of 6G Technologies, <https://www.atis.org/press-releases/atis-next-g-alliance-advances-understanding-of-6g-technologies/>
- [12] ATIS (2022), National 6G Roadmap,

- https://nextgalliance.org/working_group/national-6g-roadmap/
- [13] CNAS (2019), Secu Our 5G Future: The Competitive Challenge and Considerations for U.S. Policy, <https://www.cnas.org/publications/reports/secu-our-5g-future>
 - [14] CNAS (2021), Edge Networks, Core Policy: Secu America's 6G Future, <https://www.cnas.org/publications/reports/edge-networks-core-policy>
 - [15] CSIS (2018), How 5G Will Shape Innovation and Security, <https://www.csis.org/analysis/how-5g-will-shape-innovation-and-security>
 - [16] DIB (2019), The 5G Ecosystem: Risks & Opportunities for DoD, https://innovation.defense.gov/Portals/63/Templates/Updated%20Meeting%20Documents/5G%20UNCLASS%20PAPER_190404_FINAL.pdf
 - [17] E. C. Strinati, S. Barbarossa, J. L. Gonzalez-Jimenez, D. Ktnas, N. Cassiau, and C. Dehos, (2019), 6G: The next frontier, <https://arxiv.org/pdf/1901.03239>
 - [18] ECC Decision (20)01 On the harmonised use of the frequency band 5945-6425 MHz for Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLAN)
 - [19] ECC Report 235 Assessment of the feasibility of the possible joint use, on a long term basis, of the adjacent bands 5925-6425 MHz and 6425-7125 MHz for P-P links
 - [20] ECC Report 252 SEAMCAT Handbook Edition 2
 - [21] ECC Report 302 Sharing and compatibility studies related to Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLAN) in the frequency band 5925-6425 MHz
 - [22] ECC Report 316 Sharing studies assessing short-term interference from Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLAN) into Fixed Service in the frequency band 5925-6425 MHz
 - [23] ERC REPORT 25 THE EUROPEAN TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS AND APPLICATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA TABLE)
 - [24] ETSI EN 301 893, Harmonised European Standard, Broadband Radio Access Networks.
 - [25] ETSI EN 303 687 V1.0.0 6 GHz WAS/RLAN; Harmonised Standard for access to radio spectrum
 - [26] ETSI TR 138 901 V17.0.0 5G; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz
 - [27] European Commission (2021), Commission Implementing Decision (EU), 2021/1067, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021D1067&from=EN>

- [28] Clazzer, A. Munari, G. Liva, F. Lazaro, C. Stefanovic, and P. Popovski, “From 5G to 6G: Has the Time for Modern Random Access Come?” in Proc. 6G Wireless Summit, Levi (Finland), Mar. 2019.
- [29] FCC (2021), Expanding Flexible Use of the 12.2-12.7 GHz Band, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-21-13A1.pdf>
- [30] FCC (2016), Use of spectrum bands above 24GHz : Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-16-89A1.pdf> (last visited: 2019/3/9)
- [31] FCC Part 15.407
- [32] FCC-06-96A1, Revision of parts 2 and 15 of the Commission’s Rules to permit U-NII devices in the 5GHz band.
- [33] Federal Communications Commission, Unlicensed Use of the 6 GHz Band R&O/FNPRM , <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-363490A1.pdf>
- [34] Federal Communications Commission, 6 GHz Unlicensed R&O/FNPRM, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-20-51A1.pdf>
- [35] Federal Communications Commission, FCC Adopts New Rules for the 6 GHz Band, Unleashing 1,200 Megahertz of Spectrum for Unlicensed Use, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-363945A1.pdf>.
- [36] Fiercewireless(2021), Rakuten Mobile hits 1.77 Gbps on mmWave network in Japan, <https://www.fiercewireless.com/operators/rakuten-mobile-hits-1-77-gbps-mmwave-network-japan>
- [37] GOV.UK (2021), Wireless Infrastructure Strategy: call for evidence, <https://www.gov.uk/government/consultations/wireless-infrastructure-strategy-call-for-evidence#full-publication-update-history>
- [38] GSMA (2021), 5G Mid-Band Spectrum Needs – Vision 2030, <https://www.gsma.com/spectrum/resources/5g-mid-band-spectrum-needs-vision-2030/>
- [39] GSMA (2022), Exploring the metaverse and the digital future, <https://www.gsma.com/asia-pacific/resources/metaverse-report/>
- [40] GSMA (2022), The socioeconomic benefits of the 6 GHz band, <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=69042233&file=310121-The-socioeconomic-benefits-of-the-6-GHz-band.pdf>
- [41] GSMA (2022), Vision 2030: mmWave Spectrum needs estimating high-band spectrum needs in the 2025-2030 time frame.
- [42] Hexa-x(2022), Targets and requirements for 6G – initial E2E architecture, https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2022/03/Hexa-X_WP1_D1.3_Summary-slides.pdf

- [43] IEEE (2021), Hexa-X The European 6G flagship project,
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9482430>
- [44] IEEE Spectrum (2018), It's Never Too Early to Think About 6G,
<https://spectrum.ieee.org/its-never-too-early-to-think-about-6g>
- [45] ITU (2018), Report ITU-R M.2441-0 (11/2018), "Emerging usage of the terrestrial component of International Mobile Telecommunication (IMT).
- [46] ITU (2022), Progress of Draft New Recommendation ITU-R M.[IMT.VISION 2030 AND BEYOND in WP 5D - WORKSHOP ON "IMT FOR 2030 AND BEYOND"], https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/06/R0A060000B50001PDFE.pdf
- [47] ITU-R F.1101-0 Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17 GHz
- [48] ITU-R F.383-10 Radio-frequency channel arrangements for high-capacity fixed wireless systems operating in the lower 6 GHz (5 925 to 6 425 MHz) band
- [49] ITU-R F.384-11 Radio-frequency channel arrangements for medium- and high-capacity digital fixed wireless systems operating in the 6 425-7 125 MHz band
- [50] ITU-R F.699-8 Reference radiation patterns for fixed wireless system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 100 MHz to 86 GHz
- [51] ITU-R F.746-10 Radio-frequency arrangements for fixed service systems
- [52] ITU-R F.758-7 System parameters and considerations in the development of criteria for sharing or compatibility between digital fixed wireless systems in the fixed service and systems in other services and other sources of interference
- [53] ITU-R P.2108-1 Prediction of clutter loss
- [54] ITU-R P.2109-1 Prediction of building entry loss
- [55] ITU-R P.452-17 Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz
- [56] ITU-R P.525-4 Calculation of free-space attenuation
- [57] ITU-R P.619-5 Propagation data required for the evaluation of interference between stations in space and those on the surface of the Earth
- [58] ITU-R S.1432-1 Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz
- [59] LINKPlanner USER GUIDE
- [60] 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
- [61] Next G Alliance, 6G Applications and Use Cases, 網址

- https://nextgalliance.org/white_papers/6g-applications-and-use-cases/
- [62] NGMN(2021), 6G Drivers and Vision, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final_New.pdf
- [63] NGMN(2022), 6G Use Cases and Analysis, <https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/220222-NGMN-6G-Use-Cases-and-Analysis-1.pdf>
- [64] OET Bulletin 65 Edition 97-01
- [65] OET Bulletin 65, Edition 97-01
- [66] Ofcom (2020), Statement: Improving spectrum access for Wi-Fi – Spectrum use in the 5 GHz and 6 GHz bands, https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0036/198927/6_GHz-statement.pdf
- [67] Ofcom (2020), Statement: Supporting innovation in the 100-200 GHz range, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/supporting-innovation-100-200-ghz>
- [68] Ofcom (2021), Unlocking the potential of Terahertz radio spectrum, https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0032/228929/terahertz-spectrum-paper.pdf
- [69] Ofcom (2022), Call for input: UK preparations for the World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23), <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/call-for-input-uk-preparations-for-wrc23>
- [70] Ofcom (2022), Consultation: Enabling mmWave spectrum for new uses, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/mmwave-spectrum-for-new-uses>
- [71] Ofcom (2022), Consultation: Enabling spectrum sharing in the upper 6 GHz band, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/spectrum-sharing-upper-6-ghz-band>
- [72] Ofcom (2022), Spectrum Roadmap: Delivering Ofcom’s Spectrum Management Strategy, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/delivering-ofcoms-spectrum-management-strategy>
- [73] Ofcom (2022), Statement: An update on our sharing proposals for the upper 6 GHz band, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/spectrum-sharing-upper-6-ghz-band>
- [74] Ofcom(2017), 5G spectrum access at 26 GHz and update on bands above 30 GHz, https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0014/104702/5G-spectrum-access-at-26-GHz.pdf
- [75] Ofcom(2017), Consultation: Enabling mmWave spectrum for new uses, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/mmwave->

spectrum-for-new-uses

- [76] Ofcom(2022), Call for input: UK preparations for the World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23), https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0025/239407/WRC-23_Call_for_Input.pdf
- [77] Ofcom(2022), Spectrum Roadmap - Delivering Ofcom's Spectrum Management Strategy, https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0021/234633/spectrum-roadmap.pdf
- [78] Orange(2021), 5G Explores 26 GHz Band, <https://hellofuture.orange.com/en/5g-explores-26-ghz-band/>
- [79] Orange(2022), Introducing 5G into the Operating Theater, <https://hellofuture.orange.com/en/introducing-5g-into-the-operating-theater/>
- [80] RSPG (2021), Interim Opinion on WRC-23, https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/06/RSPG21-031final_RSPG_interim_opinion_WRC23.pdf
- [81] RSPG (2022), Work Programme for 2022 and beyond, https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2022/02/RSPG22-006final-work_programme_2022_and_beyond.pdf
- [82] RSPG(2022), Public Consultation on the Draft RSPG Opinion on ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2022/06/RSPG22-014final-Draft_RSPG_Opinion_WRC23.pdf
- [83] SemFio Networks (2019), MCS TABLE (UPDATED WITH 802.11AX DATA RATES), <https://semfionetworks.com>
- [84] SRC (2016), JUMP Research Announcement, <https://www.src.org/compete/s201617/>
- [85] SRC (2017), JUMP - Proposers' Day Workshop (p.22), <https://www.src.org/calendar/e006128/agenda/vandentop-introduction.pdf>
- [86] SRC (2021), Joint University Microelectronics Program 2.0 (JUMP 2.0) Research Announcement, <https://src.secure-platform.com/a/page/2021-JUMP-2.0-Center-RA>
- [87] SRC, Center for Converged TeraHertz Communications and Sensing, <https://www.src.org/program/jump/comsenter/>
- [88] SRC, The Decadal Plan for Semiconductors, <https://www.src.org/about/decadal-plan/>
- [89] TIP Open AFC Software Project Group, Open AFC Software Architecture v1.0
- [90] T-Mobile(2021), The Current State of 5G, <https://www.t-mobile.com/news/network/the-current-state-of-5g>

- [91] U.S. DHS S&T (2022), 5G: The Telecommunications Horizon and Homeland Security, <https://www.dhs.gov/science-and-technology/publication/5g-telecommunications-horizon-and-homeland-security>
- [92] U.S. FCC (2021), FCC Joins Federal Partners In Spectrum Innovation Cooperation Agreement, <https://www.fcc.gov/document/fcc-federal-partners-sign-spectrum-innovation-cooperation-agreement>
- [93] U.S. FCC, FCC Opens Spectrum Horizons for New Services & Technologies, <https://www.fcc.gov/document/fcc-opens-spectrum-horizons-new-services-technologies-0>
- [94] U.S. NIST (2018), Future Generation Wireless Research and Development Gaps (NIST SP 1219), <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1219>
- [95] U.S. NSF (2021), NSF-led, multi-sector partnership will support research that leads to superior communication networks and systems, 網址 https://www.nsf.gov/news/special_reports/announcements/042721.jsp
- [96] U.S. NSF (2022), NSF announces investment in multi-sector partnership to accelerate research in next generation networking and computing systems, https://nsf.gov/news/special_reports/announcements/041822.jsp
- [97] U.S. NSF, Advanced Wireless Research at NSF, <https://www.nsf.gov/cise/advancedwireless/>
- [98] U.S. NSF, Platforms for Advanced Wireless Research (PAWR): Establishing the PAWR Project Office (PPO), https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=505316
- [99] U.S. NSF, Spectrum Innovation Initiative: National Center for Wireless Spectrum Research, <https://beta.nsf.gov/funding/opportunities/spectrum-innovation-initiative-national-center-wireless-spectrum-research-sii>
- [100] U.S. NSF, S-Program Solicitation, 網址 <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21581/nsf21581.htm>
- [101] U.S. White House (2022), Technologies for American Innovation and National Security, <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2022/02/07/technologies-for-american-innovation-and-national-security/>
- [102] U.S., FCC 47 CFR Part 15 Subpart B - Applications and Licenses § 5.71 License period., <https://www.ecfr.gov/current/title-47/part-5/subpart-B>
- [103] U.S., FCC 47 CFR Part 15 Subpart I - Spectrum Horizons Experimental Radio Licenses, <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-5/subpart-I>
- [104] University of Notre Dame (2020), SpectrumX – Universities join forces to pursue NSF center opportunity, <https://ee.nd.edu/news/spectrumx-universities-join-forces-to-pursue-nsf-center-opportunity/>

- [105] USPTO (2022), New USPTO study finds no one company dominating 5G,
<https://www.uspto.gov/about-us/news-updates/new-uspto-study-finds-no-one-company-dominating-5g>
- [106] Verizon(2022), America's most reliable 5G network is going Ultra,
<https://www.verizon.com/5g/>
- [107] WI-FI ALLIANCE, AFC Device (DUT) Compliance Test Plan Version 1.1
- [108] WI-FI ALLIANCE, AFC System (SUT) Compliance Test Plan Version 1.0
- [109] WiFi alliance® accelerates wi-fi 6E development with Automated Frequency Coordination. [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-accelerates-wi-fi-6e-development-with-automated-frequency>. [Accessed: 15-Apr-2022]
- [110] Wireless World Initiative New Radio phase II (WINNER II)
- [111] Y. Chen, B. Xu, E. Lu and O. Shanaa, "An Integrated True Zero-Wait-Time Dynamic Frequency Selection (DFS) Look-Ahead Scheme for WiFi-Radar System co-Existence," 2020 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), 2020, pp. 211-214, doi: 10.1109/RFIC49505.2020.9218393.

二、 日韓文文献

- [1] KDDI(2021), 世界初、5G 本格展開時代に向けた 28GHz/39GHz 帯デュアルバンド透明メタサーフェス反射板の開発に成功, <https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2021/012001.html>
- [2] NTT DoCoMo(2019), 東海道新幹線における 5 G 無線通信実験について, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2019/topics_190930_00.pdf#page=1
- [3] NTT DoCoMo(2021), 世界初、6G 時代の超カバレッジの実現に向けたユーザー追従型メタサーフェス制御の実証に成功, https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_211112_00.pdf
- [4] 総務省 (2021), 周波数再編アクションプラン (令和 3 年度版) の公表, https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000421.html
- [5] 総務省 (2022), 2023 年世界無線通信会議 (WRC-23) に向けた我が国の考え方 (案) にかかる意見募集, https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban10_02000039.html

- [6] 總務省 (2022), 高周波数帯における実験試験局の免許手続の簡素化に向けた規定の整備に係る意見募集, https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000429.html
- [7] 總務省 (2022), 陸上無線通信委員会報告 (案) に対する意見募集の結果 — 「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち 「無線 LAN システムの高度化利用に係る技術的条件」のうち 「6 GHz 帯無線 LAN の導入のための技術的条件」 — ,
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban12_02000141.html
- [8] ソフトバンク(2022), 京セラとソフトバンク、5G のミリ波を活用したバックホールシステムの実証実験に成功,
https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2022/20220713_01/
- [9] KISTEP(2022), 6G 서비스, 기술, & 추진 전략,
https://www.kistep.re.kr/boardDownload.es?bid=0033&list_no=42651&seq=1
- [10] Korea Ministry of Science and ICT (2020), 과기정통부, 6 기가헤르츠(GHz) 대역을 광대역 비면허 주파수로 공급,
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=31&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3140715&searchOpt=ALL&searchTxt=>
- [11] Korea Ministry of Science and ICT (2021), 신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선설비의 기술기준,
<https://www.law.go.kr/LSW//admRulInfoP.do?admRulSeq=21000000196974&chrClsCd=010201#AJAX>
- [12] MSIT (2022), 조경식 제 2 차관, 5 세대(5G) 28GHz 구축 현장을 방문하여 관계자 격려, 안전사항 점검,
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=1&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3181409&searchOpt=ALL&searchTxt=28>
- [13] MSIT(2022), 미래 주파수 발굴 발표회(세미나)를 통해 전파통신 분야 민·관 협력의 장 마련,
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3181959&searchOpt=ALL&searchTxt=>

- [14] 과학기술정보통신부 (2021), 6세대(6G) 전략회의 개최,
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3180393>

三、 中文文獻

- [1] EE Times Taiwan (2016), 結合各方資源，美國 5G 研發起跑,
<https://www.eettaiwan.com/20160720nt02-5g-research-us/>
- [2] 工信部(2021)，工業和信息化部：5G/6G 專題會議召開，
http://www.gov.cn/xinwen/2021-05/14/content_5606521.htm
- [3] 工信部（2022），公開徵求對《工業和資訊化部關於調整微波通信系統頻率使用規劃及無線電管理有關事項的通知（徵求意見稿）》的意見，
https://www.miit.gov.cn/gzcy/yjzj/art/2022/art_53f768f0847441c99f064a627303671e.html
- [4] 中國信息通信研究院（2021）。6G 網路架構願景與關鍵技術展望白皮書。
<http://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/chengguofabu/baipishu/index.html?index=2>
- [5] 中國信息通信研究院（2021）。6G 總體願景與潛在關鍵技術白皮書。
<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202106/P020210604552572072895.pdf>
- [6] 中國信息通信研究院（2022）。IMT-2030 (6G)推進組與 6G-IA 簽署 6G 合作備忘錄，共同推進 6G 創新發展與全球統一生態。
<http://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/xinwendongtai/1532538678008631297.html?index=4&language=zh>
- [7] 中國無線電管理局（2019）。我國推動研究在 6 GHz 頻段新增 5G 及未來 6G 系統頻譜劃分列入 WRC-23 議題。
https://www.miit.gov.cn/ztzl/rdzt/2019sjwxdtxdh/ywkb/art/2020/art_611825c230d34d0cadfaa89774adfd6d.html
- [8] 中國聯通網路技術研究院（2020）。中國聯通太赫茲通信技術白皮書。
https://www.zhizhi88.com/wp-content/uploads/2021/06/china_unicom_terahertz_communication_technology_

- white_paper.pdf ；中國移動通信有限公司研究院（2022）。6G 可見光通信技術白皮書。<http://221.179.172.81/images/20220225/50781645759060252.pdf>
- [9] 國務院（2021），十部門關於印發《5G 應用“揚帆”行動計畫（2021-2023 年）》的通知，http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/13/content_5624610.htm
- [10] 經濟部智慧財產局（2022），USPTO 新報告：全球尚無主導 5G 技術的創新者，<https://www.tipo.gov.tw/tw/cp-337-903661-fb660-1.html>
- [11] 經濟部智慧財產局（2022），歐洲中小型深度技術(deep tech)企業在創新上落後美國，<https://www.tipo.gov.tw/tw/cp-90-910445-188b0-1.html>
- [12] 工信部（2022），附件 1 工業和資訊化部關於調整微波通信系統 頻率使用規劃及無線電管理有關事項的 通知（徵求意見稿），
https://www.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/1226211233/attach/202112/0d64dbde113a43789d31baef4762991d.pdf
- [13] 工信部（2022），附件 2 關於微波通信系統頻率使用規劃調整的說明，
https://www.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/1226211233/attach/202112/649af4c4354043f38029776d78ef9c97.pdf
- [14] 低功率射頻器材技術規範
- [15] 警消微波網路系統移頻計畫

中英名詞對照

縮寫	原文	中文
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代行動通訊合作計畫
5G	5th Generation Mobile Network	第五代行動通訊網路
5G-PPP	5G Infrastructure Public-Private Partnership	歐盟 5G 公私聯盟協會
6DoF	Six degrees of freedom	6D 自由度
AFC	Automated Frequency Coordination	自動頻率協調
AI	Artificial Intelligence	人工智慧
AP	Access Point	無線接取點
APT	Asia-Pacific Telecommunity	亞太地區電信組織
AR	Augmented Reality	擴增實境
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions	美國電信產業解決方案聯盟
AWRI	Advanced Wireless Research Initiative	先進無線技術研發倡議
BE	Bit Error Rate	位元錯誤率
BSSID	Basic Service Set Identifier	基本服務集識別碼
CAC	Channel Availability Check	可用通道檢查
CBRS	Citizens Broadband Radio Service	美國公民無線寬頻服務
CEPT	Confederation of European Posts and Telecommunications	歐洲郵電管理委員會
CIMR	Copernicus Imaging Microwave Radiometer	哥白尼衛星計畫
CoMP	Cooperative Multipoint Transmission	協調型多點傳輸
ComSenter	Center for Converged TeraHertz Communications and Sensing	兆赫通信與感測中心
CN	Carbon Neutral	碳中和
CPS	Cyber-Physical System	虛實整合系統
C-RAN	Cloud Radio Access Networks	雲端化無線電接取網路
CW	Continuous Waveform	連續波
D2D	Device-to-Device	裝置至裝置
DANL	Displayed Average Noise Level	平均雜訊位準
DCMS	Department for Digital Culture, Media	英國數位文化媒體暨體育

	and Sport	部
DFS	Dynamic Frequency Selection	動態頻率選擇
DOD	Department of Defense	國防部
DOE	Department of Energy	能源部
DVB-S	Digital Video Broadcasting-Satellite	數位衛星視訊廣播
ECC	Electronic Communications Committee	歐洲電子通訊委員會
EESS	Earth Exploration Satellite Services	地球探測衛星服務
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power	等效全向輻射功率
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增強型行動寬頻
eMTC	enhanced Machine Type Communication	增強型機器類通信
EPFD	Equivalent Power Flux Density	等效功率通量密度
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute	韓國電子通信研究院
FCA	Fixed Channel Allocation	固定頻道分配
FCC	Federal Communications Commission	美國聯邦通訊委員會
FFZ	First Fresnel zone	第一菲涅爾區
FS	Fixed Service	固定微波服務
FSS	Fixed Satellite Service	固定衛星服務
FSPL	Free Space Path Loss	自由空間損耗
FTT	Future Technology Trend	未來技術趨勢
FWA	Fixed Wireless Access	固定無線接取
GSMA	Group Speciale Mobile Association	全球行動通訊系統協會
HAPS	High Altitude Platform Station	高空通訊平臺
HIBS	High Altitude IMT Base Station	高空行動通訊基地臺
HTS	High Throughput Satellite	高流通量衛星技術
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection	國際非電離輻射防護委員會
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	美國電機電子工程師學會
IMT	International Mobile Telecommunications	國際行動通訊
IoT	Internet of Things	物聯網
ITM	Irregular Terrain Model	不規則地形模型

ITU	International Telecommunication Union	國際電信聯合會
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication Sector	國際電信聯合會無線電通訊部門
JUMP	Joint University Microelectronics Program	聯合大學微電子計畫
KISTEP	Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning	韓國科技企劃評價院
LBT	Listen Before Talk	發射前先監聽
LF	Light Field	光場
LNA	Low Noise Amplifier	低雜訊放大器
LSA	Licensed Shared Access	許可共享接取
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output	多輸入多輸出
mMTC	Massive Machine-Type Communication	大量機器類型通信
MPE	Maximum Permissible Exposure	最大暴露允許值
MSIT	Ministry of Science and ICT	韓國科學技術資訊通信部
MSS	Mobile Satellite Service	行動衛星服務
MVDDS	Multi-channel Video Distribution and Data Service	多通道視訊數據分發服務
NASA	National Aeronautics and Space Administration	國家航空暨太空總署
NGMN Alliance	Next Generation Mobile Networks Alliance	次世代行動網路聯盟
NIH	National Institutes of Health	國立衛生研究院
NLoS	Non-Line-Of-Sight	非可視線
NPRM	Notice of Proposed Rulemaking	規則制定通知
NR	New Radio	新無線電
NRA	National Regulatory Authority	國家監管機構
NSF	National Science Foundation	國家科學基金會
NTIA	National Telecommunications and Information Administration	美國國家電信與資訊管理局
NTN	Non-Terrestrial Networks	非地面網路
Ofcom	Office of Communications	英國通訊管理局
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	正交頻分多工

Open AFC	Open Automated Frequency Coordination	開放式自動調頻
O-RAN	Open Radio Access Network	開放式無線接入網路
PAWR	Platform for Advanced Wireless Research	先進無線研究平臺
PEAs	Partial Economic Areas	局部經濟區域
PFD	Power Flux Density	功率通量密度
PMSE	Programme Making and Special Events	外景節目製作及特定活動
PoC	Proof of Concept	概念性驗證
PPP	Public Private Partnership	公私協力組織
PSD	Power Spectral Density	功率頻譜密度
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交振幅調變
QKD	Quantum Key Distribution	量子密鑰分發
RAN	Radio Access Network	無線接入網路
RCPI	Received Channel Power Indicator	接收通道功率指標
RF	Radio Frequency	射頻
RINGS	Resilient and Intelligent Next-Generation Systems	具彈性與智慧的下一代系統
RLAN	Radio Local Area Network	無線電區域網路
RRA	National Radio Research Agency, RRA	韓國國立電波研究局
RSL	Receiving Signal Level	接收訊號強度
RSPG	Radio Spectrum Policy Group	歐盟無線電頻譜政策小組
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收訊號強度指標
RTK	Real Time Kinematic	實時動態
SAS	Spectrum Access System	頻譜接取系統
SDG	Sustainable Development Goals	永續發展目標
SDR	Software Defined Radio	軟體定義無線電
SEMCAT	Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool	進階蒙地卡羅分析工具
SINR	Ratio Of Signal To Noise Plus Interference	信號雜訊與干擾比率
SIR	Signal to Interference Ratio	訊號干擾比
SSID	Service Set Identifier	服務集識別碼
THz	Terahertz	兆赫茲

TIP	Telecom Infra Project	電信基礎設施專案
TVWS	TV Band Devices	電視頻段共享
UE	User End	使用者終端
ULS	Universal Licensing System	通用授權系統
UMFUS	Upper Microwave Flexible Use Service	高頻微波彈性使用服務執照
UNESCAP	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific	聯合國亞洲及太平洋經濟社會委員會
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication	超可靠低延遲通信
UWB	Ultra-Wide-Band	超寬頻
VLC	Visible Light Communication	可見光通信
VR	Virtual Reality	虛擬實境
WAS	Wireless Access System	無線接取系統
Wi-Fi	Wireless Fidelity	無線熱點
WLAN	Wireless Local Area Network	無線區域網路
WRC	World Radiocommunication Conference	世界無線電通信大會
BS	Backhaul Service	回傳服務
6G Flagship	6G Flagship Programme	6G 旗艦計畫
SP-AP	Standard-Power AP	標準功率存取裝置