

113 年委託研究報告

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

期末報告書

計畫委託機關：數位發展部

中華民國 113 年 11 月

113 年委託研究報告

113-03-0369

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

受委託單位

台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司

計畫主持人

陳志仁

協同主持人

陳彥宏

研究人員

陳韋伶、陳宥睿、陳蔓萱、廖俊傑、余承庭

研究期程：中華民國 113 年 3 月至 113 年 12 月

研究經費：新臺幣 738 萬元

本報告不必然代表數位發展部意見

中華民國 113 年 11 月

摘要

我國 119 年將面臨 1800 MHz 以下行動通信頻段屆期，因應國際頻譜共識、新興科技服務創新、和諧共用，延續我國定性與定量結合的頻譜規劃依證分析方法，以促進頻譜效率化利用。

本計畫調研國際電信市場趨勢發現，我國距離標竿國家的 IoT 門號數、通信品質、頻率共享制度及頻譜釋照附帶的義務皆有發展空間。我國主要業者平均持有頻寬約 230 MHz，與國際平均值相同。然而電信業者對新需求的態度保守，亦缺乏投入新支出的動能；皆降低業者對頻率需求量。

本計畫頻率需求模型基於 ITU 發布的 M.2290 報告《地面 IMT 未來頻譜需求估計》，並進行架構調整及參數蒐集以更符合我國市場狀況。模型計算結果發現：我國 113 年度頻譜需求量，為 700 MHz，扣除毫米波頻譜後的供給量 850 MHz，仍可穩定支應需求；然而地區及衛星需求尚難支持分區獨立釋照。假設 119 年應用需求無明顯成長，在用戶業務佔比按過去趨勢自然轉換下，因頻譜使用效率提高，故頻譜需求不增反減，僅需 540MHz。假設 119 年應用需求自然成長，將有 850 MHz、1,440 MHz 及 1,910 MHz 等需求量，依用戶業務佔比轉換更多則頻率效率更高，頻率需求量更少。

本計畫頻譜經濟效益以 ITU-R SM.2523 及 Vadim Nozdrin(2021)提出之頻譜經濟效益估算方法為基礎，透過投入產出法分析無線電頻率釋出帶來的整體經濟效益。103 至 112 年間，電信業者投入行動通信固定資本及營運支出約 3 仟 3 佰億元。依產業關聯表，電信業產業乘數為 1.89 元，故 103 至 112 年間電信的第一波及效益為 6 仟 2 佰億元。歷年各家電信業者營收約 1.9 兆元，得第二波及效益。總合效益貢獻總約 2.6 兆元的經濟效益。累積歷年釋出頻率量，每頻率經濟效益為 4.2 億元/MHz。

結合標竿調研及模型推估，應對 119 年釋照進行整體規劃，否則頻率需求與經濟效益皆倒退。為此，本計畫提出短期建議：鼓勵業者轉向 5G SA，提高 AI 終端及場域型使用體驗、促進電信市場競爭，以刺激物聯網市場發展、透過政策引導加速道路覆蓋，完善車聯網通訊基盤、透過低頻重耕及效率化，解決技術過渡時的頻譜資源限制；中長期建議：修訂現行對業者的頻譜申請核配上限規定、持續關注 6G 頻段，逐步規劃 7GHz 以下頻譜重耕、善用頻譜彈性使用制度將有利於頻譜資源效率化運用。

Abstract

The Ministry of Digital Affairs of the Republic of China (refers to “the nation” in below) currently released spectrum under the 1.8 GHz will meet its license duration in 2030. There is an imperative need for assessment to ensure band plan is according to IMT consensus, innovation of technologies, market structure, harmonization and efficiency.

Benchmarking analysis finds out that, the nation’s IoT develop progress is relatively slower, the share of spectrum use is key to better spectrum utilization, coverage and obligations attached to spectrum licenses is not enforced enough, and the QoS performance is relatively weaker. Yet, the nation’s telecom industry does not have a much concentrated structure, individual operators hold only average amount of bandwidth around 230 MHz under 6 GHz. And domestic operators are conservative to competition and emerging demand.

The spectrum demand model is based on ITU report M.2290 “Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT”. According to this report’s calculation, the nation’s current need for spectrum is 690 MHz and supply (without 28 GHz) is 840 MHz. Regional demand and satellite communication is too little to support individual licensing. Spectrum needs will surge to 850, 1,440 and 1,910 MHz based on the growth in market share of 5G, the much efficient use of spectrum leads to much lower spectrum needs. The direct economic effect is 331 billion. With Multiplier Effect 1.89, the 1st spillover effect is 622 billion. The 2nd spillover effect is 1,976 billion. Under the General Equilibrium Theory, total contribution is 2,602 billion NTD in 2014 to 2023 and 0.4 billion/MHz for those accumulated in use spectrum.

Suggestion on short term including: incenting operators to accelerate 5G SA deployment for enhancing Arterial Intelligence end users experience, facilitate telecom industry competition to simulate IoT applications, enforce obligations to accelerate road coverage to simulate V2X infrastructure, and through low band reframing to overcome technology transitioning. On long term including: amend current spectrum caps to higher allowance, attention to 6G spectrum bands and reframing 7 GHz below bands, and agile mechanism in spectrum share of use to elevate efficiency.

目次

第一章 研究計畫之緣由	1
第一節 計畫背景及目的	1
第二節 關鍵議題	3
第三節 研究重點結果	6
第二章 各主要國家及地區電信市場發展情形及頻譜釋出規劃	9
第一節 國際電信市場發展概況與無線電頻率規劃趨勢	9
第二節 頻譜釋出、彈性使用開放情形與制度	19
第三節 主要國家發展頻譜管理規範及釋出制度	33
第四節 各國行動通信頻譜管理綜合分析及我國制度探討	86
第五節 新興電信服務之發展情形	92
第三章 國內業者頻率需求意向調查	111
第一節 電信業者頻率使用及需求調查	111
第二節 影響國內業者頻率使用及需求因素分析	118
第四章 頻譜需求及經濟效益模型建構構想	120
第一節 頻譜需求及經濟效益模型建構說明	120
第二節 模型模擬主要探討議題及情境假設	124
第五章 頻譜需求模型架構及參數說明	129
第一節 頻率需求模型架構	129
第二節 頻率需求模型輸入參數說明	141
第三節 頻譜需求模型計算結果	164
一. 各區域及推計目標年頻譜需求量	164
第四節 頻譜需求模型驗證	170
第六章 頻譜經濟效益模型架構及參數說明	174
第一節 頻譜經濟效益模型	174
第二節 頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果	180

二. 頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果	184
第三節 頻譜經濟效益模型驗證方法說明	192
第七章 促進頻率使用效率與經濟效益	195
第一節 促進頻率經濟效益	195
第二節 促進頻率使用效率	201
第八章 結論與建議	209
第一節 研究結論	209
第二節 建議事項	214
第九章 參考文獻	216
附錄一 「無線電頻率需求模型建構」座談會會議記錄.....	222
附錄二 「無線電頻率需求模型模擬結果」座談會會議記錄	225
附錄三 期中報告審查會議意見及回應.....	230
附錄四 期中報告第二次審查會議意見及回應.....	243
附錄五 期末報告審查會議意見及回應.....	252
附錄六 參數彙整表	269
第一節 市場參數	269
一. 使用者密度參數	269
二. 基地台涵蓋	272
三. 用戶比率	272
第二節 技術參數	274

圖次

圖 1-1 計畫目的與執行工作.....	2
圖 2-1 各主要國家每 100 人之活躍行動寬頻用戶數(2023).....	10
圖 2-2 我國 2020 至 2024 040 物聯網門號數.....	10
圖 2-3 各主要國家每 100 名用戶物聯網門號數(2022).....	11
圖 2-4 GSMA 全球 5G 評分.....	13
圖 2-5 6G 技術規格及頻段確定時間表.....	15
圖 2-6 主要國家及地區 4G 商用頻譜佈局情形.....	17
圖 2-7 頻率釋出機制演進圖.....	20
圖 2-8 因應頻率資源保障目標的釋出策略及規範性措施.....	20
圖 2-9 CCA 制度下非穩定核心維式價格舉例.....	24
圖 2-10 穩定核心價格概念.....	24
圖 2-11 美國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	33
圖 2-12 美國頻譜交易及審核過程.....	37
圖 2-13 日本每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	39
圖 2-14 NTT Docomo 的 5G SA 建置計畫及收費方案.....	41
圖 2-15 南韓每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	44
圖 2-16 韓國 28GHz 頻譜收回與再釋出.....	47
圖 2-17 新加坡每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	51
圖 2-18 新加坡 5G 釋照佈建義務及 Singtel 實際推動情形.....	53
圖 2-19 香港每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	56
圖 2-20 中國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	60
圖 2-21 澳洲每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	65
圖 2-22 英國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	69
圖 2-23 英國提高頻譜利用效率之制度.....	73
圖 2-24 《2020 年代頻譜管理策略》規劃觀點.....	74
圖 2-25 《英國無線基礎設施戰略》目標設定.....	75
圖 2-26 德國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	76
圖 2-27 德國 TKG 規範之頻譜釋出方式.....	80
圖 2-28 法國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢.....	82
圖 2-29 5G 於各產業應用比例.....	92
圖 2-30 5G 事業應用比例.....	93
圖 2-31 電信營運商選擇 5G 應用開發的優先程度.....	93
圖 2-32 電信營運商 5G 商業模式選擇比例.....	94
圖 2-33 4G/5G/5G SA 終端設備型號數.....	95
圖 2-34 5G 終端設備型號數分類.....	96

圖 2-35 電信營運商評比 5G 技術支援的重要程度.....	97
圖 2-36 5G 網路切片與服務應用概念.....	97
圖 2-37 雲端運算運作方式.....	98
圖 2-38 邊緣運算運作方式.....	99
圖 2-39 自駕車廠發展趨勢.....	100
圖 2-40 Fujitsu 5G 智慧工廠應用案例.....	102
圖 2-41 各網路服務對企業發展的策略重要度.....	102
圖 2-42 通訊用途之在軌衛星占比.....	103
圖 2-43 通訊衛星所使用之各類軌道比例.....	104
圖 2-44 低軌通訊衛星技術優勢與應用情境.....	106
圖 2-45 智慧型手機與低軌衛星連線之通訊架構.....	106
圖 2-46 衛星直連手機之物理通訊限制.....	107
圖 3-1 電信市場意見.....	117
圖 4-1 ITU-R SM.2523 頻譜經濟價值計算框架.....	121
圖 4-2 GSMA(2022)之《中頻 5G 服務經濟社會效益模型》.....	122
圖 4-3 我國頻譜需求及經濟效益模型整體架構.....	123
圖 4-4 我國業務別用戶數變化量(含預測).....	124
圖 4-5 112 年增加使用頻率的數位服務.....	125
圖 4-6 頻譜需求模型情境設定.....	127
圖 4-7 頻譜需求模型探討議題.....	128
圖 5-1 ITU M.2290 地面通信頻譜需求模型架構.....	129
圖 5-2 ITU M.2290 地面通信頻譜需求模型計算步驟.....	131
圖 5-3 網路服務分類.....	133
圖 5-4 頻譜需求模型步驟三—通信量計算公式.....	135
圖 5-5 頻譜需求模型步驟四、五、六—頻譜需求計算過程.....	140
圖 5-6 AI 手機市場滲透率.....	154
圖 5-7 推估 2030 年銷售車輛中達 L3 自駕等級車輛的比例.....	156
圖 5-8 我國 2020 至 2030 掛牌車輛中達 L3 自駕等級車輛的比例.....	156
圖 5-9 南韓 2018 至 2024 年物聯網門號數量.....	159
圖 5-10 5G 各頻段區塊定義.....	165
圖 5-11 頻率需求模擬情境參數.....	168
圖 6-1 無線電頻率經濟效益投入產出矩陣.....	176
圖 6-2 無線電頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果示意圖.....	178
圖 6-3 我國各頻段標金單價.....	181
圖 6-4 103 至 112 年間各電信業者的頻率效益.....	189
圖 6-5 GSMA 推計 2030 年中頻段 5G 的 GDP 貢獻.....	193
圖 6-6 GSMA 推計亞太區 2030 年中頻段 5G 的 GDP 貢獻_各國比例.....	194

圖 7-1 電信業者 103 年至 112 年營業收入.....	196
圖 7-2 中華電信 103 年至 112 年營業收入.....	196
圖 7-3 台哥大 103 年至 112 年營業收入.....	197
圖 7-4 遠傳 103 年至 112 年營業收入.....	197
圖 7-5 電信業者 103 年至 112 年營業收入.....	198
圖 7-6 電信業者 107 年至 113 年(第二季)ARPU.....	199
圖 7-7 電信業者 103 年至 112 年經濟效益.....	200
圖 7-8 電信業者 103 年至 119 年(模擬)經濟效益.....	201
圖 7-9 電信事業誘因循環.....	206
圖 7-10 5G SA 建設發展條件.....	207
圖 7-11 6G 頻段規劃.....	208

表次

表 1-1 業者對於頻率需求情境的預期與觀點	7
表 2-2 各主要國家 5G 商用頻譜佈局情形	17
表 2-3 各主要國家工業物聯網/垂直場域/專網頻譜(本地授權或共享)	18
表 2-4 組合標單示意	22
表 2-5 ITU 頻譜管理費類型	30
表 2-6 日本行動通信營運商頻譜核配表	40
表 2-7 南韓行動通信營運商頻譜核配表	45
表 2-8 韓國頻譜計畫(2024-2027)四大策略方針	49
表 2-9 新加坡行動通信營運商頻譜核配表	52
表 2-10 香港行動通信營運商頻譜核配表	57
表 2-11 中國行動通信營運商頻譜核配表	61
表 2-12 澳洲行動通信營運商頻譜核配表	66
表 2-13 英國行動通信營運商頻譜核配表	70
表 2-14 德國行動通信營運商頻譜核配表	77
表 2-15 法國行動通信營運商頻譜核配表	83
表 2-16 各國平均每業者獲核配頻寬比較表	87
表 2-17 各國綜整表	91
表 2-18 ITU 頻譜管理費類型	105
表 2-19 澳洲低軌道衛星工作小組通訊技術方案建議	108
表 2-20 全球電信業者與衛星/NTN 公司結盟案例彙整表	110
表 3-1 我國頻率核配表	112
表 5-1 104 年各功率類型基地台數量	134
表 5-2 市場與網路設置參數	142
表 5-3 裝置密度參數	143
表 5-4 網路服務使用百分比	144
表 5-5 使用者密度參數	145
表 5-6 我國各 RATG 市場佔比	146
表 5-7 基地台涵蓋面積—ITU 原設定	148
表 5-8 網路服務流量技術參數	150
表 5-9 基地台技術參數	151
表 5-10 自駕車等級流量	157
表 5-11 各業者基地台建設狀況	161
表 5-12 基地台地理覆蓋狀況	162
表 5-13 各業者業務用戶比例狀況	163
表 5-14 113 年頻率需求模擬結果與供給現況分析	166

表 5-15 分區釋照情境假設之模擬結果.....	167
表 5-16 頻率需求模擬結果.....	168
表 5-17 關鍵參數表.....	171
表 5-18 敏感度分析結果.....	171
表 5-19 頻譜效率敏感度變動率.....	172
表 5-20 延遲時間敏感度變動率.....	172
表 5-21 各主要國際城市 2030 年中頻段頻率需求.....	172
表 6-1 各電信業者行動通信固定資本支出.....	181
表 6-2 產業關聯程度表 $[I-A]^{-1}$ (63x63).....	183
表 6-3 電信業者歷年行動通信固定資本及營運(推估)支出.....	185
表 6-4 電信業者歷年行動通信固定資本及營運支出貢獻的第一波及經濟效益.....	186
表 6-5 電信業者歷年行動通信固定資本及營運支出貢獻的第二波及經濟效益.....	186
表 6-6 電信業者歷年行動通信固定資本及營運支出貢獻的總經濟效益..	187
表 6-7 電信業者歷年行動通信固定資本支出貢獻的經濟效益.....	189
表 7-1 業者對於頻率需求情境的預期與觀點.....	202

第一章 研究計畫之緣由

第一節 計畫背景及目的

一. 我國行動通信市場 119 年將面臨 1800 MHz 以下頻段屆期，有進行頻率規劃評估之必要

我國於108年開放1800MHz 頻段、3500MHz 頻段及28000MHz 頻段供行動寬頻業務使用，並於111年開放 Ku 頻段及 Ka 頻段供衛星固定通信用。至119年700MHz、900MHz、1800MHz 頻段將面臨屆期，屆時必須面對不同的電信技術基礎設施佈建模式與新興應用需求，釋出方式亦有待探討。

二. 因應國際頻譜共識及新興科技服務創新，必須確保我國頻率釋出與國際趨勢、市場結構、應用發展、設備成熟度接軌

考量我國受限於市場規模，無論是電信技術、局端或終端設備，均無法自給自足，必須高度仰賴國際廠商，並採用國際主流服務規格，並配合國際常用頻段進行規劃，始能提升業者競爭力。在此情形下，頻譜釋出時機對於業者也有一定程度的影響，若過早釋出可能市場尚未成熟，反而造成頻譜資源閒置；如等待相關設備市場形成規模，再正式授權頻譜協助業者拓展服務，可能使業者取得設備的成本優勢，對於迅速佈建及應用反而有利。

三. 基於頻譜資源的稀缺性，應以和諧共用為原則，促進頻譜效率化利用

在行動通信、衛星通信及物聯網(Internet of Things, IoT)等現代通訊科技快速發展，各類電信服務對於頻譜之需求與日俱增，且不同服務間競爭頻譜亦日漸激烈，考量無線電頻譜為國家稀有資源，其規劃與使用應在不互相妨礙干擾的前提下，基於資源效率化觀點採取分時、分地等和諧共用方式，促使有限頻譜資源達到最大的運用。

我國電信管理法授權之「無線電頻率使用管理辦法」明定電信事業可申請頻率提供使用或共用；而目前開放頻段僅限於2100MHz 頻段、3500MHz 頻段及28000MHz 頻段。未來是否

新增或變動電信事業可申請提供使用或共用之頻段，以及頻譜彈性使用後將帶來的效益及風險，必須有合理的量化評估方式。

四. 延續我國定性與定量結合的頻譜規劃依證分析方法，凝聚各界共識

頻譜的供給調控是穩定電信市場及促進產業發展的重要手段，為使頻譜資源被有效分配使用，也讓政府藉以正確引導市場朝向數位經濟轉型發展，我國長期以來皆透過頻譜需求預測模型協助頻譜政策之制定。透過客觀分析之模型模擬我國所面臨的社會經濟及產業環境，並邀集產官學專家依據量化數據，凝聚共識，淬鍊出領域的共識方向，據以制定政策。

綜上，本研究期能掌握國內及國外電信市場現況，並建立模型預測未來市場需求及評估頻譜釋出效益，以完善未來整體頻譜釋出規劃，促進電信市場發展。

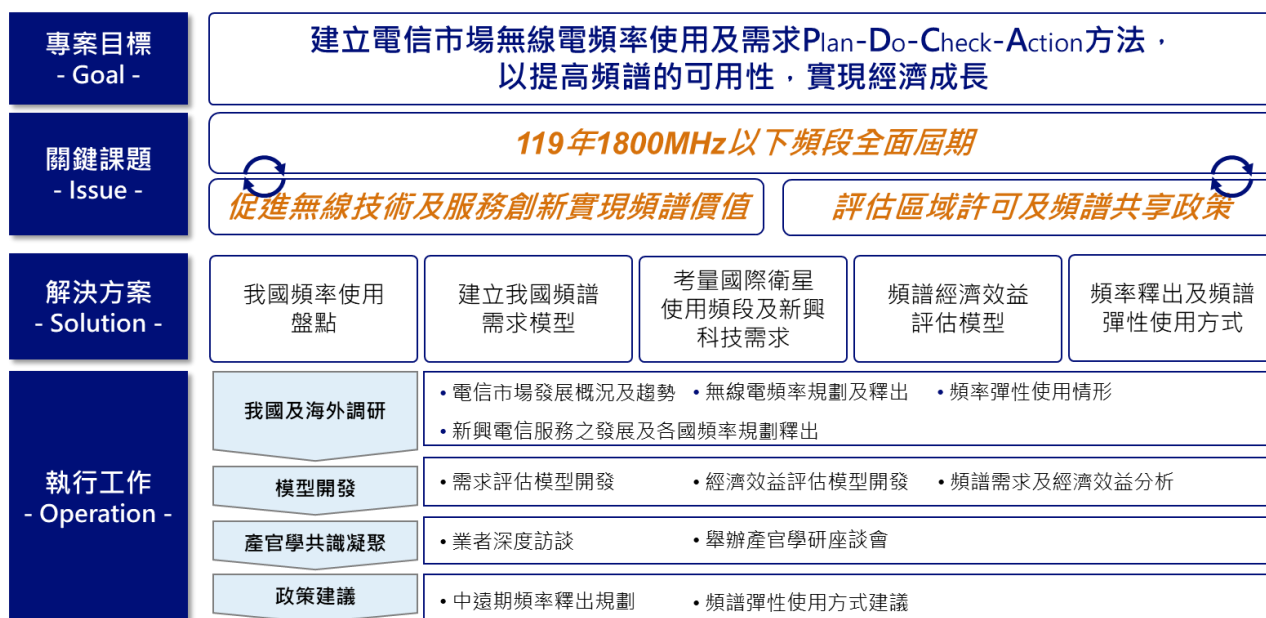


圖 1-1 計畫目的與執行工作

資料來源：本計畫整理

第二節 關鍵議題

一. 配合國際頻譜新共識及國內行動通訊市場環境展開規劃

2023年底結束之 WRC-23會議主要結果，包含同意分配新的行動低頻段頻譜(1 GHz 以下)以及3.5 GHz 和6 GHz 範圍內的中頻段頻譜。上述頻譜可用於行動領域的持續創新，對於實現我國透過頻譜政策制定推動數位發展至關重要。參考其對於各新頻段之探討概念，分析我國目前行動通信頻譜需求亦可分為低頻(1 GHz 以下)、中頻及高頻段(28 GHz)，分別探討我國環境下之釋出及使用議題。

(一) 低頻段頻譜為國家地理覆蓋及數位平權鋪路

WRC-23透過定義歐洲、西亞與北非地區(Europe, the Middle East and Africa, EMEA)470-694 MHz 頻段中更多低頻段頻譜的行動使用，以達成數位平權的目標。在低頻頻段我國仍有600MHz 尚未分配；800MHz 以民生公共物聯網及公共安全與救難應變(Public Protection and Disaster Relief, PPDR)頻段為主；其餘頻段則於119年屆期。考量未來通訊地理覆蓋程度將大幅影響特定應用普及的機會，如車聯網(Vehicle-to-everything, V2X)、無人機等，故低頻頻段將為達成通訊地理覆蓋的關鍵資源，為本計畫評估地理覆蓋時的重點頻譜資源。

(二) 中頻段頻譜的協調及配套措施

我國1800MHz 為目前4G佈建的關鍵頻段，將於119年屆期，3300-3570MHz 已於108年釋出，而3700-4200MHz 目前供衛星廣播電視使用，待使用期屆滿或與既有使用者達成共識，完成清(移)頻作業後，再評估規劃供行動通信或衛星使用。由於中頻段頻譜兼具覆蓋範圍及滿足各類終端消費(To Customer, 2C)數位服務傳輸需求特性，為行動通訊必要資源，故此頻段未來再釋出的相關配套也相對重要。

(三) 高頻段頻譜作以刺激次級市場提升使用率，並預留擴大容量資源

目前國內電信業者對5G 獨立組網(5G Standalone, 5G SA) 佈建尚無具體時程規劃，我國28GHz 頻段雖已釋出，但業務市場在應用場景有限的情形下，有使用效率不足之疑慮。從韓國近期發展也觀察到頻譜釋出後因需求未能滿足供給，而重新收回。因此如何透過次級市場機制提高毫米波頻段使用率將是我國必須面對的議題。

在 WRC-23 會議另提及 6 GHz 頻段(6.425-7.125 GHz) 已被確定將供每個國際電信聯盟(International Telecommunications Union, ITU) 區域的行動通信使用。佔全球人口 60% 以上的國家已積極尋求將該頻段納入授權行動裝置的識別範圍。6 GHz 頻譜將是未來出現擴大 5G 行動容量需求時的關鍵頻段之一。

二. 對應須普及建設之新興技術，應透過頻譜共享及提高頻譜效率之技術來達成

無線電頻譜的釋出與使用將可擴大既有電信服務並擴展新興電信服務業務範圍，藉由提高生產率、推動通信生態圈、增加出口、提升營運效率和增加就業機會等，進而產生經濟效益。而上述效益的觸發點在於必須產生新興電信服務業務。若有新頻段釋出但對於消費者而言無新服務或明顯的品質優化發生，那麼用戶數也不會因此有顯著成長，則此釋出可能反而使市場陷入流動性陷阱，經濟效益有限。

因此，透過已規劃使用但使用頻率低的頻段開放共享(例如無線電空白空間、LTE-Wi-Fi 鏈路聚合(LWA)和 3D 波束成形)和運用高頻譜效率技術，有利於促進頻譜的效率化，加速跨用途的基盤設施佈建，也使 MNO 的建設成本同步效率化。此時，政策規劃者應注意的是對於該頻段優先使用原則的制定與共享頻譜的定價制度設計。

三. 探討新興技術下的差異產品，改變電信市場競爭結構的可能性

我國不論行動寬頻業務為三大行動通信營運商寡佔，企業專網及衛星業務亦為其服務範疇，可說是掌握了我國傳統行動市場及新興通訊市場絕大部分的基礎建設。在三家共同均分市場的情況下，用戶端對於需求的成長也可能趨向鈍化。因此，本計畫另一項重點在於探討新興技術下可能產生的差異產品及商業模式，並由頻譜釋出改變電信市場競爭結構的可能性。

第三節 研究重點結果

本計畫研究結果重點歸納有：國際電信市場趨勢、無線電頻率需求模型、頻率經濟效益模型及促進頻率效率建議。

一. 國際電信市場趨勢綜整

本計畫調研各國頻譜釋出方式仍以各式拍賣為主流，少數國家及頻段(日本、南韓低頻、法國低頻、香港毫米波)為指配制，主要因政策目標的不同而異。而在頻寬持有方面，各主要國家業者平均持有 6 GHz 以下頻寬約為 230 MHz，與我國平均值 233 MHz 接近。惟我國通信品質於主要國家間較為不佳，本計畫亦比對與我國經濟環境(以人均 GDP 而言)接近但通信品質表現優異的南韓作為比較對象，可見南韓人均基地台數量於國際間表現同樣優異，甚為我國的約 5 倍之多。本計畫總結以上調研結果建議頻譜釋照制度應更趨具彈性，對於能達到高覆蓋電信普及能力的低頻的核配制度應更加重視政策指向效果，而針對中頻段更重視電信通信品質要求以促進頻率效率的提升。針對更高頻段(甚至毫米波)，對其面對的基礎建設及應用市場挑戰，本計畫亦調研發展 5G 新興服務的趨勢：歸納有國際電信業者面對新應用的市場結構趨於垂直整合，而整體市場仍受限於終端設備成熟度不足等市場調研結果。

二. 頻率需求模型計算結果

頻率需求模型基於 ITU 發布的 M.2290 報告《地面 IMT¹ 未來頻譜需求估計》(Future Spectrum Requirements Estimate for Terrestrial IMT)，並加入衛星通信頻譜需求計算。依模型計算，我國今年度頻譜需求量在不含衛星的情況下，為 690 MHz，扣除毫米波頻譜後的供給量 840 MHz，仍可穩定支應需求。而依照分區估算，偏鄉或山地部落、離島目前的需求量尚難支持分區獨立釋照。衛星頻譜需求方面則因未達 10 MHz，除非基於災防、備援韌性等特殊用途，方有額外考慮衛星在行動通信的頻譜需求的必要。

¹ 國際行動通信(International Mobile Telecommunications, IMT)

假設119年應用需求無明顯成長，而在用戶業務佔比按過去趨勢自然轉換下，因頻譜使用效率提高，故頻譜需求不增反減，僅需540MHz 即可滿足市場服務需求。若應用需求在終端設備 AI 化、車聯網及智慧製造物聯網等均有合理成長，此時隨用戶業務佔比轉換情形不同，分別有1910MHz、1440MHz、850MHz 三種需求情境。而實際諮詢業者看法，有兩家電信營運商認為540Mhz 接近其對市場發展的認知；而有一家電信營運商及兩家設備商認為1440MHz 較符合市場發展趨勢。

表1-1 業者對於頻率需求情境的預期與觀點

情境代號	0	1	2	3	4
目標年	2024	2030	2030	2030	2030
需求情形	現況	維持現況	自然成長	自然成長	自然成長
人口密集度	都會密集區 (即全台頻譜需求)				
基地台涵蓋度					
用戶成長情形 (現況=4G 65%/5G 35%, 自然成長=4G 35%/5G 65%)	現況	自然成長	維持現況	自然成長	全5G
網路流量需求 (5G流量下限100Mbps, 上限1Gbps)	低度	低度	低度	低度	低度
頻譜效率技術	ITU設定				
頻率需求 MHz	690	540	1,910	1,440	850
業者意向	非公開機敏資料				
結論	頻譜效率提高，但需求無顯著成長，總頻譜需求下降，無助於拓展新業務		需求自然成長，必須透過加強5G建設，以提高頻譜使用效率，減少頻譜使用成本		

資料來源：本計畫整理

三. 頻率經濟效益模型計算結果

頻譜經濟效益推估以 ITU-R SM.2523 及 Vadim Nozdrin(2021) 提出之頻譜經濟效益估算方法為基礎，透過投入產出法分析無線電頻率釋出可帶來的整體經濟效益。

103至112年間，電信業者投入行動通信固定資本支出約3仟億元，若加計營運支出為3.3仟億元。而依產業關聯表，電信業每1元投入即各產業產值創造1.88元，故103至112年間電信的第一波及總效益為6仟億元。第二波及效益係屬對電信業消費，本計畫使用歷年各家電信業者資料以計算其營收即屬於歷年來國民對電信業消費，得此一部份的經濟效益約1.9兆元。總合直接效益+第一波及效益+第二波及效益，即頻譜資源投入予電信業者後，貢獻了總價值約2.6兆元的經濟效益。其中，中華電信貢獻效益共約1.26兆元、台灣大哥大貢獻效益共約6仟7佰億元，同遠傳貢獻效益共約6仟7佰億元。十年間平均每單位頻譜(MHz)所造就的經濟效益為4.19億元，

四. 結論與建議

(一) 短期建議事項

- 鼓勵業者轉向 5G SA，提高 AI 終端及場域型使用體驗
- 促進電信市場競爭，以刺激物聯網市場發展
- 透過政策引導加速道路覆蓋，完善車聯網通訊基盤
- 透過低頻重耕及效率化，解決技術過渡時的頻譜資源限制

(二) 中長期建議事項

- 修訂現行對業者的頻譜申請核配上限規定
- 持續關注 6G 頻段，逐步規劃 7GHz 以下頻譜重耕
- 善用頻譜彈性使用制度將有利於頻譜資源效率化運用

第二章 各主要國家及地區電信市場發展情形及頻譜釋出規劃

本章將分析英國、法國、德國、美國、澳洲、日本、南韓、新加坡、中國大陸、香港等 10 個國家(區域)的電信市場發展概況及趨勢、頻率用途、頻率釋出考量與定價方式、彈性使用開放情形與規範，作為我國頻譜規劃策略方向之參考。

第一節 國際電信市場發展概況與無線電頻率規劃趨勢

一. 國際電信市場發展概況及趨勢

(一) 用戶規模與概況

根據 ITU 統計²，截至 2023 年為止，全球無線通訊技術已覆蓋 97.9% 之人口³。其中 3G 之覆蓋率為 95%、4G⁴之覆蓋率為 90.1%，而 5G 之覆蓋率則為 38.4%。電信產業總產值為 1.48 兆美元⁵。從用戶端觀察，2023 年全球平均最便宜行動通訊方案佔平均國民總所得(Gross National Income, GNI)為 1.25%，2023 年平均活躍行動寬頻訂閱數為每 100 人中 87.4 人，相較 2008 年之 6.3 人上升 81.1 人；而標竿國家大多表現優異，日本、美國、香港、新加坡等地皆超過 150，其中日本每百人中達 232 個訂閱數為各國最高。台灣與南韓約為 120。德國、法國等歐盟國家則約為 100，如下圖。

² 2022 年之資料。ITU, DataHub, <https://datahub.itu.int/data/?e=GBR&c=701&i=100058>，最後閱覽時間 2024/6/24。

³ 至少 2G。

⁴ 統計數字指 LTE/WiMAX。

⁵ 以 IT 業電信服務支出計算。Petroc Taylor(2024). Telecom services: global spending forecast 2008-2024，資料源自 Statista

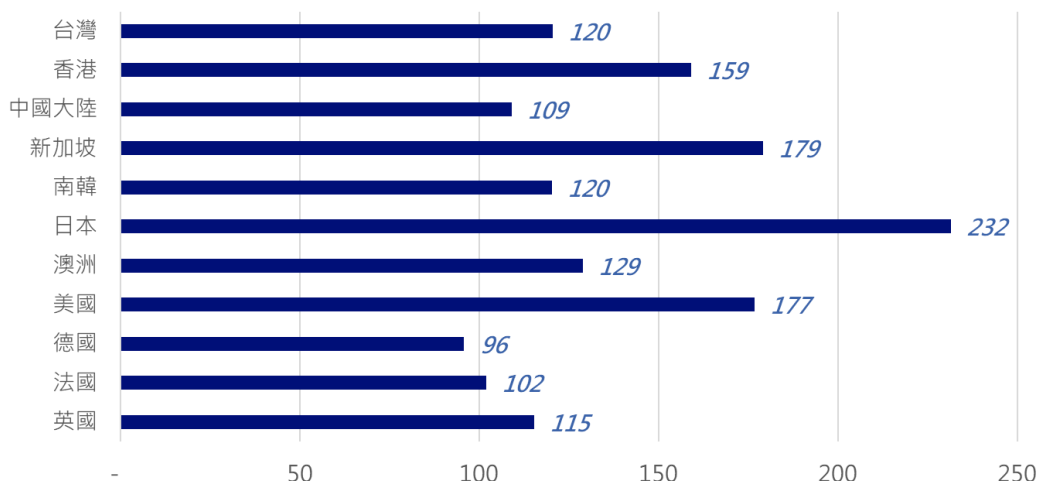


圖 2-1 各主要國家每 100 人之活躍行動寬頻用戶數(2023)

資料來源：ITU DataHub、各國公開資料，本計畫整理

物聯網方面，我國三大業者之 040 物聯網門號數截至 2024 年 6 月門號數為 315 萬，每 100 人物聯網門號數也僅約為 13.4，遠低於本計畫分析之各標竿國家。整體而言，以目前 5G 技術的所應衍生之物聯網營收，在我國尚有大幅成長的空間。

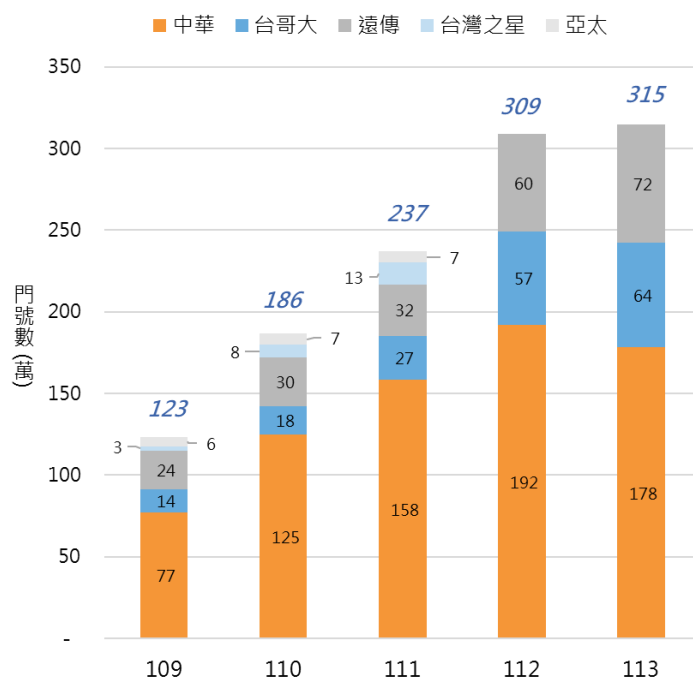


圖 2-2 我國 2020 至 2024 040 物聯網門號數

資料來源：NCC、本計畫製作

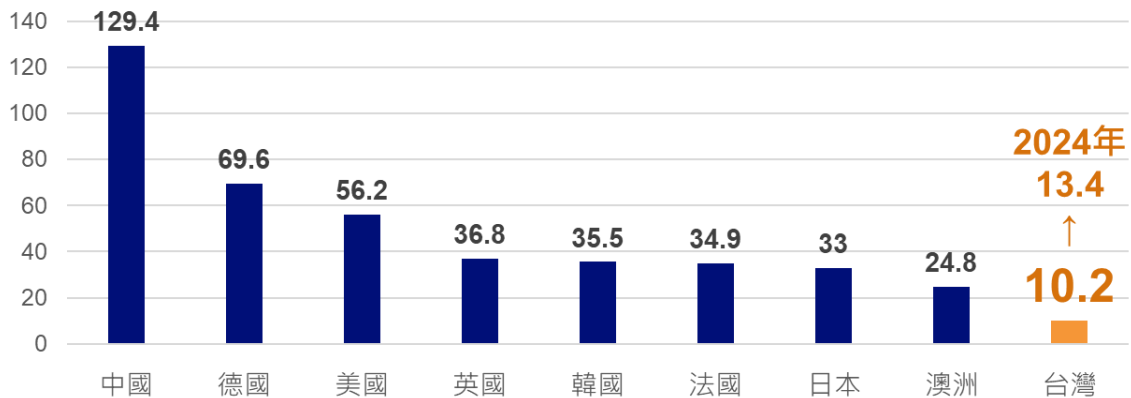


圖 2-3 各主要國家每 100 名用戶物聯網門號數(2022)

資料來源：ITU DataHub、各國公開資料，本計畫整理

(二) 5G 通訊技術性能表現

根據測速網站 Ookla Speedtest Intelligence 之資料分析⁶，5G 相較於 4G 產品在上傳下載速度⁷、延遲⁸等通訊品質表現有長足進步，同時頻段之使用也將影響性能表現；若採用低頻段(低於 1GHz)進行傳輸，5G 之下載速率為 93 Mbps，而若使用中低頻段(1-3GHz)進行傳輸，下載速率將提升至 136 Mbps。隨著高頻段之使用，3.5GHz 與毫米波頻段下載速率將大幅提升至 360 Mbps、1086 Mbps⁹。需特別注意的是，基於頻譜傳播之物理特性，高頻段具有較佳之下載速度等通訊品質表現，覆蓋能力之表現也將隨之降低¹⁰，亦即提升基礎設施佈建成本，需進行成本與效益衡量。

⁶ GSMA 分析

⁷ 5G 之上傳下載速率分別為 24、233Mbps、4G LTE 則為 10、44 Mbps。

⁸ 5G 為 40ms、4G LTE 為 48 ms。

⁹ GSMA(2024).The State of 5G 2024。惟根據高通之研究，非擁塞時段 5G 低頻、中頻與毫米波之下載速率為 315.5 Mbps、256.8 Mbps、1932.5 Mbps。擁塞時段下載速率為 49.5 Mbps、44.8 Mbps、231.4 Mbps。Qualcomm(2023).Global 5G spectrum update and innovations for future wireless systems

¹⁰ Nan Guo、Robert C. Qiu、Shaomin S. Mo、Kazuaki Takahashi(2007).60-GHz Millimeter-Wave Radio: Principle,Technology, and New Results，EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking。根據研究若中心頻率由 3960MHz(4GHz)提升至 10032MHz(10GHz)，覆蓋範圍將於 10 公尺(meter)降低至 1.56 公尺。

(三) 全球 5G 普及

截至2023年底，全球5G 商用電信營運商由2018年之134家成長至超過578家¹¹，並服務於全球15億人口，為歷史以來成長速度最快之通訊技術¹²，預估在2020-2026年間有60億支5G 智慧型手機之出貨量。未來隨著5G 基礎設施佈建之持續發展，至2035年將為各產業帶來13.1兆美元之經濟效益¹³，目前 GSMA 針對全球各國5G 服務¹⁴、5G 基礎設施¹⁵之佈建表現評分如下圖。其中5G 服務之評分項目包含可負擔性(5G 資料傳輸價格、5G 裝置價格)、市場接受度(5G 用戶滲透率、5G 設備出貨量、5G FWA 滲透率)、市場發展(用戶5G 傳輸量、5G 營運商利潤增長)；5G 基礎設施之評分項目包含頻譜(1GHz 以下頻段、1-7GHz 頻段與毫米波頻段)、網路(5G 基地台數量、5G 覆蓋率、5G SA)、體驗(下載速率、上傳速率、延遲、影片品質)；並依此將世界5G 國家分為三個等級，以平均評價50分、30分為界。第一等級之國家於在下載速度、上傳速度和延遲等使用者體驗表現優勢，惟用戶流量增長、5G 收入增長、5G SA 之佈建仍有改善空間，第二等級國家在5G 覆蓋、5G 基地台佈署、消費者體驗尚有提升空間，而第三級的國家5G 滲透率與5G 設備出貨量尚低，處於5G 生態系之早期階段。

由於資料不足，GSMA 未將我國列入評分範圍，本文以比較法方式，尋求與我國各項目表現相近之國家，並以此大略還原我國評分。由於可負擔性與市場發展將影響用戶接受度，因此本計畫暫時以5G 用戶滲透率代表5G 服務表現，而頻譜釋出與網路佈建將影響傳輸體驗，因此本計畫暫時以5G 下載速率代表5G 基礎設施表現。截至2023年，我國之5G 滲透率為30%與新加坡相同¹⁶。而5G 下載速率我國

¹¹ Petroc Taylor(2024).Global number of network operators investing in 5G standalone (5G SA) 2018-2023。資料源自 statistics。

¹² GSMA(2024).The State of 5G 2024

¹³ Qualcomm(2023).Global 5G spectrum update and innovations for future wireless systems、GSMA(2023).5G commercial networks

¹⁴ 5G 服務之評分項目包含消費者可負擔、消費者接受程度、市場發展

¹⁵ 5G 基礎設施之評分項目包含頻率、網路、經驗

¹⁶ Petroc Taylor(2024).Availability of 5G in leading countries 2023.資料源自 statista。

OPENSIGNAL 亦有相似資料，截至 2023 年，我國 5G 可用性為 29.9%，同時新加坡為

232.9Mbps 略優於芬蘭之224.4Mbps¹⁷。由此推測我國應與新加坡、香港、南韓、澳洲相近處於第一等級國家，並屬第一等級與第二等級交界之表現。

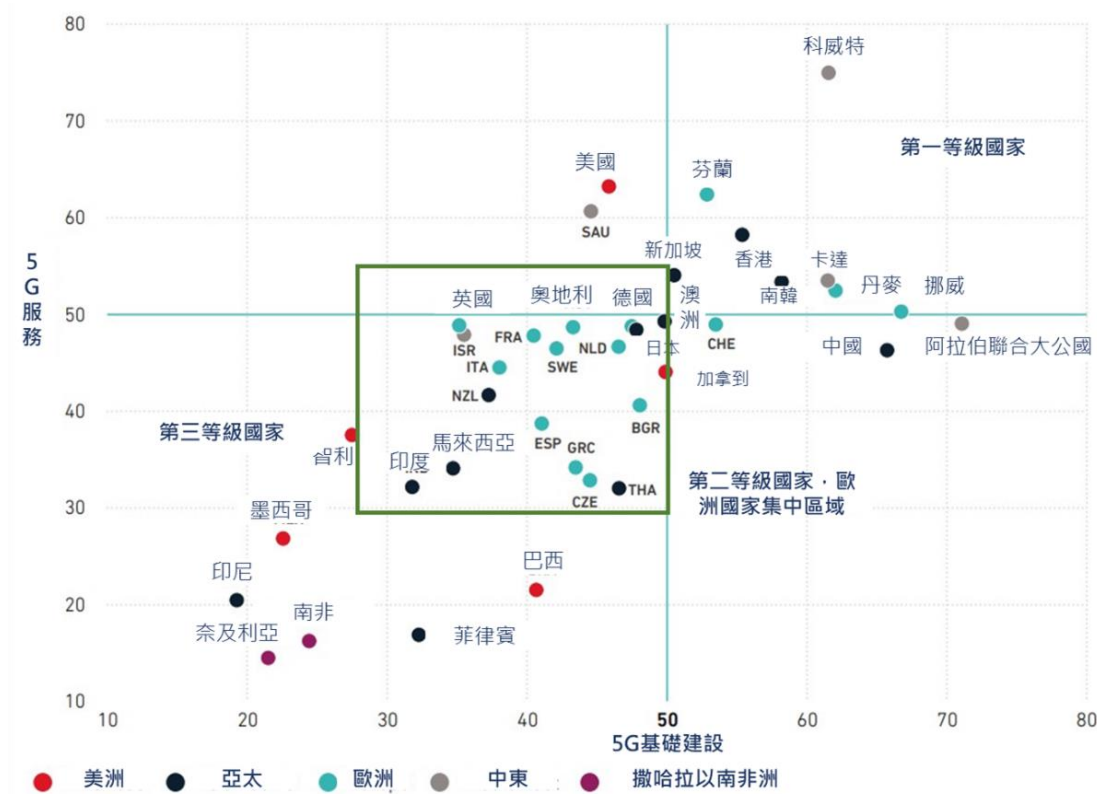


圖 2-4 GSMA 全球 5G 評分

資料來源：GSMA，本計畫整理

(四) 5G SA 佈建現況

相較於5G自2018年發展以來，營運商與用戶數量皆蓬勃成長，然而5G SA之發展卻面臨較大之挑戰。全球39個提供5G服務之市場中¹⁸僅有4個市場(韓國、挪威、香港、中國)於平均每10萬人佈署超過200個5G基地台¹⁹；同時僅5個市場至少有一家營運商能提供完整之5G SA商用服務(澳洲、阿拉伯聯合大公國、中國、泰國、巴西)²⁰，並有17個市場

30%。OPENSIGNAL(2023).Benchmarking the Global 5G Experience — June 2023

¹⁷ OPENSIGNAL(2023).Benchmarking the Global 5G Experience — June 2023

¹⁸ 圖 2-2 之國家，包含美國、芬蘭、澳洲、德國、英國、中國等國

¹⁹ 5G 之佈署分為 NSA、SA。其中又因控制層面、傳輸層面利用之基地台、核心網路之利用與是否使用增強型 4G 基地台有差異，大致可分為 7 種布建模式。5G SA 係指所有通訊傳輸皆由 5G 基地台與核心網路系統完成，故 5G 基地台之布建數量為 SA 之重要指標。

²⁰ GSMA(2024).The State of 5G 2024。依據 GSMA 評價，共有 5 個市場提供完整 5G SA 商用服務。參酌 5G Connectivity Index，5G Standalone 項目得分 96 分以上之國家。係指該國至少有

完全沒有5G SA 服務提供。至2023年第3季，僅有121家營運商提供5G SA 服務²¹，家數僅佔全球約1/5。由於多數營運商未佈署獨立組網，切片技術(Network Slicing)、超可靠低延遲通信(Ultra Reliable and Low Latency Communications, URLLC)等5G 潛在功能尚未完全實現。為此部分國家針對5G SA 之佈建推動策略，例如新加坡將5G SA 作為頻譜義務，要求業者完成佈建²²；英國以5GTT²³(5G Testbeds and Trials Programme)與5G 創新地區計畫²⁴推動基礎設施建設與應用服務發展並進。

(五) 新興應用服務

新興應用與服務為5G 商用化佈署之關鍵因子，目前全球平均用戶月傳輸量約為20GB，擴增實境(Augmented Reality, AR)、虛擬實境(Virtual Reality, VR)、邊緣運算(Edge Computing)、URLLC 等進階應用尚未普及。據調查5G 通訊、物聯網、託管服務(Managed and professional services)之研發對產業發展致關重要，分別有91%、75%、68%之企業認為其重要或特別重要。另外隨著5G 技術發展固定無線接入(Fixed Wireless Access, FWA)產品可能將更有競爭力，有機會成為 FTTH 等寬頻零售服務之替代選擇。預估至21世紀末，全球平均用戶月傳輸量將成長至50GB²⁵。

二. 各國頻譜規劃及釋出情形

(一) 長期頻譜規劃-IMT-2030

為滿足2030年人工智慧(Artificial Intelligence, AI)應用、人機互動(Human-computer interaction)、虛擬實境、數位孿生(Digital Twin)、數位健康(Digital Health)等高傳輸速率、低延遲之應用需求。ITU 預計 IMT-2030之傳輸能力將大幅優於 IMT-2020，至少達到使用者體驗速率300Mbit/s 與

一家營運商能提供完整之 5G SA 商用服務。

²¹ Petroc Taylor(2024).Global number of network operators investing in 5G standalone (5G SA) 2018-2023。資料源自 statistics。

²² IMDA(2021). Decision issued by the info-communications media development authority on next wave of 5g growth & deployment in singapore: policy and regulatory design for 2.1 GHz band

²³ DSIT(2021). 5G Testbeds and Trials Programme

²⁴ GOV.UK(2023). 5G Innovation Regions: successful regions

²⁵ GSMA(2024).The State of 5G 2024

500Mbit/s、區域傳輸容納量30Mbit/s/m²與50Mbit/s/m²、連接設備密度容量10⁶-10⁸km²，同時頻率效率提升1.5至3倍²⁶。目前 ITU 未預設 IMT-2030將使用之頻段，仍將仰賴低、中、高頻段頻譜之特性，以低頻段頻譜進行覆蓋、中頻段頻譜平衡容量與覆蓋能力、高頻段頻譜進行補充；值得注意的是 ITU 正為 IMT-2030研究於92 GHz 以上亦即 THz 頻段之利用。

(二) 中長期 IMT 頻譜規劃-WRC-23 相關決議

雖 ITU 尚未預設 IMT-2030將使用之頻段，WRC 會議已逐步進行 IMT 行動通訊之規劃。WRC-23與我國相關第3區域 (REGION3)IMT 使用相關之重要決議包含中頻段規劃與未來 IMT 頻譜候選頻段之討論。

中頻段規劃部分，首先依據第220號決議與 COM4/7決議，6.4GHz 至7.1GHz(6425-7125MHz)得在不妨礙現行用途(衛星通訊、太空研究)之情況下供行動通訊和諧使用；而第223號決議亦新增用於國際行動通訊之頻段，4.8至4.9GHz(4800-4990 MHz)劃分與行動通信，供主管機關分配²⁷。另外 WRC-27之議程亦將4.4至4.8GHz、7.125-8.400GHz、14.8-15.35GHz 三個頻段列入 IMT 頻段之討論²⁸。

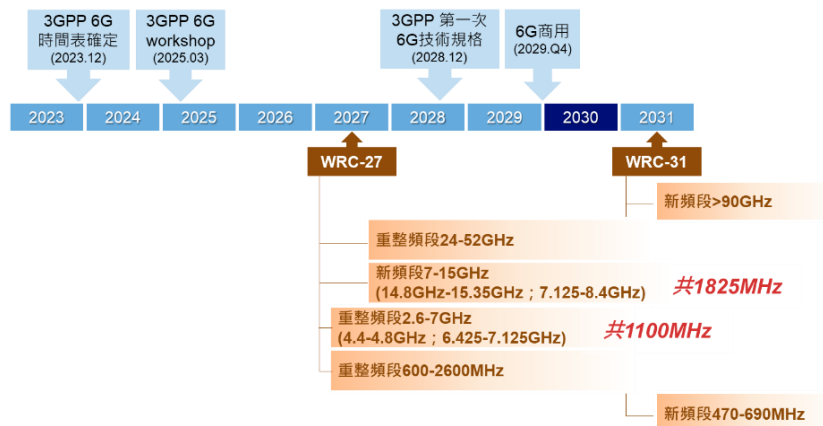


圖 2-5 6G 技術規格及頻段確定時間表

資料來源：Nokia 官方網站、NRI 製作

²⁶ ITU(2023).Recommendation ITU-R M.2160-0

²⁷ ITU(2023).Final Acts WRC-23

²⁸ GSMA(2024). Spectrum Policy Trends 2024

(三) 中長期衛星行動通訊頻譜規劃-WRC-23 相關結論

WRC-23有眾多非地面行動通訊之決議，包含高空平台、手機直連衛星與高低軌衛星使用之頻段。

1. 高空平台決議頻段

WRC-23第5.314A 條、第5.388A、5.409A 條決議部分國家與區域將694-733MHz、758-788MHz、830-835MHz、805.3-806.9MHz、890-915MHz、935-960MHz、1710-1980MHz、2010-2025MHz、2110-2170MHz、2500-2690MHz 用於高空平台²⁹。

2. 手機直連衛星與衛星行動通訊候選頻段

WRC-27之議程將考慮694/698MHz 至2.7GHz 為手機直連衛星之候選頻段，而1427-1432MHz、1645.5-1646.5MHz、1880-1920MHz、2010-2025MHz、2120-2170MHz 為衛星行動通訊之候選頻段³⁰。

(四) 目前商用行動通訊頻段使用

主要國家之4G、5G 頻譜地圖如下圖所示。目前，各國4G 頻譜主要在中低頻段，以800、900、1800、2100、2600MHz 之使用為最為普遍，從低頻負擔範圍較廣泛之物理特性初步推測，4G 仍負擔重要之普及覆蓋任務。而5G 頻譜則涵蓋低、中及毫米波(mmWave)頻段，600、700MHz、3.4-3.8、24-28GHz 為各國熱門使用之頻段，顯見5G 已逐步使用低頻段進行覆蓋³¹建設，並利用高頻段擴充容量，並充分發揮5G 之傳輸效果。

²⁹ ITU(2023).Final Acts WRC-23

³⁰ GSMA(2024). Spectrum Policy Trends 2024

³¹ GSMA 將 1GHz 以下頻段稱為覆蓋頻譜、將 1GHz 以上頻段稱為容量頻譜。GSMA(2017)，Spectrum Pricing and Economics



註1:其中香港使用900、1800、2600、2300(TDD)頻段
 註2:其中新加坡使用900、1800、2600、2300(TDD)頻段

圖 2-6 主要國家及地區 4G 商用頻譜佈局情形³²

資料來源：Qualcomm(2023)、kimovil，NRI 重製

表 2-2 各主要國家 5G 商用頻譜佈局情形³³

	< 1GHz	1-3GHz	3-6GHz	24-30GHz	37-50GHz
臺灣	700MHz(2x60MHz) 900MHz(2x30MHz)	1.8GHz 2.1GHz 2.6GHz	3.5GHz	28GHz	
美國	900MHz (2x35MHz)	2.5/2.6GHz	3.45-3.55GHz 3.7-3.98GHz 4.94-4.99GHz	24.25-24.45GHz 24.75-25.25GHz 27.5-28.35GHz	42-42.5GHz 47.2-48.2GHz
加拿大	600MHz (2x35MHz)		3.475-3.65GHz 3.475-4GHz	26.5-27.5GHz 27.5-28.35GHz	37.6-40GHz
歐盟	700 (2x30MHz)		3.4-3.8GHz	24.5-27.5GHz	
英國	700 (2x30MHz)		3.4-3.8GHz	24.25-27.5GHz	40.5-43.5GHz
德國	700 (2x30MHz)		3.4-3.8GHz	26GHz	
法國	700 (2x30MHz)		3.46-3.8GHz	26GHz	
中國	700/900MHz	2GHz 2.5/2.6GHz	3.3-3.6GHz 4.8-5GHz	24.75-27.5GHz	37-43.5GHz
南韓	700/800MHz	2.3-2.39GHz	3.4-3.7GHz 3.7-4.0GHz 4.72-4.82GHz	25.7-26.5GHz 26.5-28.9GHz 28.9-29.5GHz	37GHz
日本	700/800MHz	2.3GHz	3.6-4.1GHz 4.5-4.9GHz	27-29GHz	
澳洲		2.3GHz	3.4-3.7GHz 3.7-4.0GHz	24.25-29.5GHz	39GHz
香港		2.1GHz	3.5GHz 4.7GHz	24.25-28.35GHz	
新加坡		1.8GHz 2.1GHz	3.5GHz	24.2-29.5GHz	

資料來源：Qualcomm(2023)，本計畫重製與補充

³² 英國、新加坡、香港資料來源為 kimovil，野村重製整合。

³³ 不含免執照頻譜

表 2-3 各主要國家工業物聯網/垂直場域/專網頻譜(本地授權或共享)

	<1GHz	2GHz	3GHz	4GHz	5GHz	6GHz	24-30GHz	37-50GHz
英國	1781.7-1785/ 1876.7-1880 MHz	2390 – 2400 MHz	3.8 - 4.2 GHz				24.25 - 27.5 GHz, local licenses	
法國		2575 – 2615 MHz					26.5 – 27.5 GHz, test licenses	
德國			3.7 – 3.8 GHz				24.25 - 27.5 GHz, local licenses	
美國			3.5 GHz CBRS, exclusive & shared licenses					37 - 37.6 GHz & 42 – 42.5 GHz shared spectrum/ local licenses, under study
澳洲	1755-1785 MHz & 1920-1980 MHz in remote areas		3.7 – 4.0 GHz for local area licensing				24.25 - 27.5 GHz and 27.5 – 29.5 GHz for local licensing	
日本				4.6 - 4.8 GHz indoor only, 4.8 - 4.9 GHz outdoor possible			28.2 - 29.1 GHz	
南韓				4.72 – 4.82 GHz			28.9 - 29.5 GHz	
新加坡	800 MHz						26/ 28 GHz	
中國					5925-6125 MHz (COMAC)		24.75-25.15 GHz (COMAC)	
香港							27.95 - 28.35 GHz available for local licenses	
台灣				4.8 – 4.9 GHz for 5G local private and enterprise licenses				

資料來源：GSA、MFA，本團隊整理

三. 小結

國際電信市場之發展，由 5G NSA 正逐步邁向 5G SA，並開始規劃下世代 IMT-2030 之行動通訊發展。由於行動通訊用戶數已逐漸飽和，未來成長將取決於 1.每人持有設備數量增加、2.因技術轉換所衍生的每人通訊費用增加及 3.物聯網使用門號數等三項。而我國目前物聯網設備數相較於他國仍有成長空間，技術佈局方面 5G SA 也尚待佈建。

未來，全球傳輸通訊量與通訊品質皆逐步提升，因此預估長期仍有頻譜供應之需求。但在技術轉換的過程中也涉及低頻頻譜的重耕，故我國新技術頻段在釋出時更應審慎評估市場供需情形及釋照配套。

第二節 頻譜釋出、彈性使用開放情形與制度

本節將從頻譜釋出機制之歷史發展脈絡與學術理論發展，建構國家頻譜釋出方式之制定、策略抉擇考量、優勢劣勢分析，以作為解析各主要國家政策制定邏輯之基礎，供我國參考。

一. 頻率釋出考量與定價方式

(一) 頻譜釋出機制之考量與歷史演進

頻譜治理之概念包含頻率釋出、次級交易(secondary trade)、頻譜回收與電信事業併購時之規範等架構。整體治理之目標為滿足資源使用效率(efficiency)與利害關係人公平(equity)³⁴；其中，國際頻率釋出之考量與定價方式幾經演進。最早於1980年代，各國多採取審查制(beautycontest)，經評議核配頻率予最適對象。惟評議機制考驗需求單位之企劃、規劃能力，未必與市場機制產生適切之關聯。故1990年代後，各國逐漸轉軌採取拍賣機制(auction)³⁵，由市場機制決定頻譜核配，假若市場趨近於完全競爭，則廠商競標價格得反應頻譜之預期應用價值，並將資源進行最符合經濟效率(economic efficiency)之利用³⁶。惟頻譜等行動通信服務之必要資源有限且具有在同地理區域內排他使用之特性，具顯著市場力量之電信事業有藉由頻譜壟斷/寡占/墊高拍賣價格等反競爭行為提高市場進入障礙之誘因，從而降低市場競爭；且由於該電信事業取得頻譜之目的僅防止競爭者進入行動通訊市場，未必具有使用需求，可能降低頻譜使用效率。為此，各國於頻率釋出時會採取如頻譜上限(spectrum caps)、保障頻寬(set aside mechanism)、提供服務期限(use it or lose it)等競爭保護機制，以保障電信市場競爭與降低頻率排他使用之危害。

³⁴ 周韻采(2020).頻譜市場的競爭機制研析，NCC 委託研究報告

³⁵ 1989年，紐西蘭首次採用拍賣制度，1994年，美國FCC採用後於各國流行。Shuner Hul、Ruhua Shi(2021).Analysis of Recent Development of Spectrum Auction and Forecast of Future Development，Advances in Economics, Business and Management Research, volume 203

³⁶ 周韻采(2020).頻譜市場的競爭機制研析，NCC 委託研究報告

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

國際頻譜釋出制度之演變

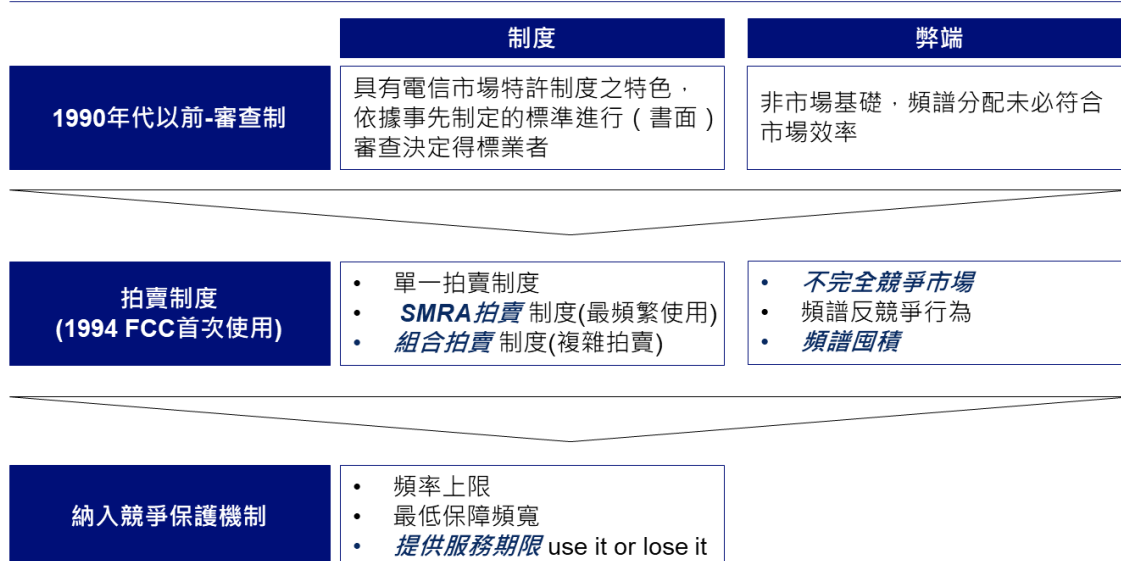


圖 2-7 頻率釋出機制演進圖

資料來源：GSA、MFA，本計畫整理

需保障目標	可採行策略	適合情況	
釋出策略	審查制度	頻譜充足	
	拍賣制度	單一競標	單頻段釋出
		SMRA	多頻段釋出
		CCA	頻率綜合效率低時
供需平衡、促進技術進步與競爭保障措施	總額制度	配合競爭法/電信市業主管機關之競爭保護措施	
	最低保護頻寬	<ul style="list-style-type: none"> • 小型業者須保護 • 保障頻譜利用符合效率 	
	提供服務期限	<ul style="list-style-type: none"> • 潛在頻率閒置情形 • 配合競爭保護措施 	
	其他配套措施	依政策需求	

圖 2-8 因應頻率資源保障目標的釋出策略及規範性措施

資料來源：本計畫整理

(二) 拍賣制度之考量

如前所述，拍賣制度之主要目標是提升頻譜使用效率，尋求有限資源之最有效分配。惟基於資訊不對稱、拍賣者心理、市場結構等因素，拍賣制度之設計亦可能影響頻譜使

用效率之達成。目前除日本及中國外，各國大多採用市場基礎機制訂定頻譜價值。經濟學者提出眾多拍賣制度，例如英式拍賣(English auction)進行多輪次投標，投標者向上加價(upward auction)，最後出價最高者即得標，具有容易理解且利於賣方之特點³⁷；荷式拍賣(Dutch auction)與英式拍賣相反，進行向下拍賣(downward auction)，由拍賣方設定起始價格，隨著拍賣時間進程價格進行下調，直至有買受人願以價格購買³⁸；第一價格密封拍賣(first price sealed bid auction)每位拍賣者僅能進行一次保密出價，最後進行統一開封，由價高者得標；維式拍賣(Vickery auction)納入機會成本之概念，由出價最高者支付次高出價者提出之價金³⁹等⁴⁰。其中重要之可變因子有投標人之資訊取得與中標者支付之價格，由於英式拍賣之投標者相較於荷式拍賣獲取更多價值資訊(其他投標者出價資訊)，因此能降低拍賣之勝利者詛咒⁴¹，使得標者支付之價格更符合使用效率。

1. SMRA 制度

依循前述基礎，1996年史丹佛教授 Robert Wilson 與 Paul Milgrom 受 FCC 委託，設計頻譜拍賣制度，並以同步多輪次拍賣解決頻率組合價值對頻譜釋照之影響，此即多回合上升標拍賣(Simultaneous Multi-Round Auction, SMRA)⁴²。在 SMRA 制度中，所有頻段皆同時進行拍賣，競標者可隨時轉換競標頻段⁴³；當所有頻段皆未出現新出價，整場拍賣始結束⁴⁴。此法有效降低勝利者詛咒，以解決各頻段於各業者價值不一，卻又互為替代方案之特

³⁷ 目前網路拍賣業者如 ebay 多採用此投標模式，

³⁸ 若同價格有多位買受人應買，則以先投標者為準

³⁹ 指單一、不可分商品之拍賣

⁴⁰ 蔡宗翰(2013).以拍賣賽局理論分析第二價格競標之效益與實證，國立台灣大學土木工程學系碩士論文

⁴¹ 指由於資訊不對稱，拍賣之得標者往往不代表經濟效益最高之對象，而為最高估價值之對象。同理，密封價格制度將增加競拍者間之資訊不對稱

⁴² 史丹佛教授 Robert Wilson 與 Paul Milgrom 設計，並因此獲得 2020 年諾貝爾經濟學獎

⁴³ 如果拍賣結束時被撤標商品沒有釋出或釋出價格低於原撤標價格，則原撤標之

投標者還是必須以撤標時之價格標下商品

⁴⁴ 樊沁萍、陳人傑(2018).頻譜拍賣制度之理論回顧、政策經驗與模擬研究，人文及社會科學集刊

性；為目前國際常用之機制⁴⁵。惟隨著行動通訊市場需求上升與廣播、電視節目因應通傳技術進步而降低頻率需求，電信業者有拍得多頻段之需求⁴⁶。而在 SMRA 制度中，競拍者無法進行組合投標；係因為競拍者於各輪出價時無法預知是否能同時拍得兩個目標頻段⁴⁷，故無法以組合之綜合效益出價；使競標趨於保守，同時由於拍定結果無法反映頻段組合之價值，無法發揮最大效益⁴⁸。

2. CCA 制度

為解決 SMRA 的限制，有學者發展出組合價格鐘拍賣 (Combinatorial Clock Auction, CCA)。CCA 之投標制度較為複雜，各電信業者得分別表示各別頻段、組合頻段之投標意願價格⁴⁹。舉例而言，若某次競標有 A、B、C 三頻段可得標，則投標者得以分別針對 A、B、C、AB、AC、BC、ABC 等組合出價，並提出標單。由於頻段組合對投標者之效果，故組合投標之標價可能較單一頻段之標價更高⁵⁰。

表 2-4 組合標單示意

組合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
標價	12	37	86	55	109	137	166

資料來源：樊沁萍、陳人傑(2018)

⁴⁵ Melissa De Witte(2020).The bid picture: Stanford economists explain the ideas behind their 2020 Nobel Memorial Prize in Economic Sciences, Stanford Report

⁴⁶ 舉例而言，假設某次競標包含 725MHz-735MHz、735MHz-745MHz 兩頻段，多頻段需求業者可期望同時拍得兩頻段，以獲得最大效益。在 3G 拍賣時，各國多僅允許業者於單次拍賣中投標單一頻段組合，故無拍得多頻段之需求。

⁴⁷ 除前述相鄰頻段舉例外，尚包含高低頻率之搭配等等。

⁴⁸ 樊沁萍、陳人傑，頻譜拍賣制度之理論回顧、政策經驗與模擬研究，人文及社會科學集刊(2018)

⁴⁹ 同樣以 725MHz-735MHz、735MHz-745MHz 兩假設頻段舉例，SMRA 制度下，競標者僅分別進行兩頻段之投標。價格分別為 X1、X2。在組合投標下，競標者除進行 X1、X2 投標外，亦可進行兩段組合價格 X3 投標。

⁵⁰ 樊沁萍、陳人傑(2018)，頻譜拍賣制度之理論回顧、政策經驗與模擬研究，人文及社會科學集刊

以上為 CCA 組合標單之構想簡介，實務上由於排列組合多元之特性，並為避免部分頻段(或區域)無人得標，CCA 制度之設計尚分為動態價格鐘、補充、核配三階段，流程如下：

(1) 動態價格鐘階段

此階段將複數頻段集合為一類別，並進行多輪次投標。目前決定投標者於各類別中分配之頻段數量⁵¹，拍賣主持單位⁵²將公告⁵³該各類別中單一頻段價格，同時計算各投標者之標單，檢驗是否有類別有超額頻段需求⁵⁴。若有超額需求，則進行下一輪投標，並對該超額需求類別進行加價，直至超額需求不存在為止⁵⁵。

(2) 補充階段

在動態價格鐘階段結束後，理想上各投標者已清楚理解各類別頻率需求、潛在價格，並據此進行補充階段，提出動態鐘階段未曾出現之投標組合⁵⁶以避免避免部分頻段(或區域)無人得標之情形。由拍賣主持單位計算出動態價格鐘、補充階段所有投標組合中，總投標金額最大之組合，以此決定各類別之得標者與得標頻段數量。此階段之頻譜價格採納維式拍賣機會成本之概念，由出價最高者支付次高出價者提出之價金。

惟由於單純以維式價格計算得標者應給付金額可能產生價格過低之情形，因此 CCA 制度尚需計算穩定核心價格。舉例而言若某次拍賣共有 X1、X2、X3 投標人參與投標，而 X1 投標(A 頻段+B 頻段)共 50 元。

⁵¹ 舉例而言，若 A 類別包含 725MHz-735MHz、735MHz-745MHz、745MHz-755MHz 3 個頻段，則各競標者爭取 A 類別可獲得之頻段數量。

⁵² 通常為主管機關

⁵³ 亦可能以區域作區分，一個區域內有多個頻段。

⁵⁴ 例如 A 類別中有 3 個頻段，而甲、乙、丙公司之投標組合皆包含 A 類別中之 2 個頻段，並願意以公告之價格承買 A 類別之頻段，此時 A 類別即為有超額需求。

⁵⁵ 實務上為防止無限輪次，可能設計輪次上限。

⁵⁶ 為防止投標者於動態鐘階段進行欺騙性投標，可能要求為新投標組合支付費用。

而 X2 投標 A 頻段 50 元、X2 投標 B 頻段 50 元。則此時 X2 與 X3 分別得以 0 元之維式價格(次高價格)獲得 A 頻段與 B 頻段。除造成拍賣價格過低外，兩頻段之價格共 0 元等價於 X1 投標(A+B)頻段之 50 元(即 X1 的願意支付價格 Willing to Pay, WTP)，即拍賣未達最有效率。

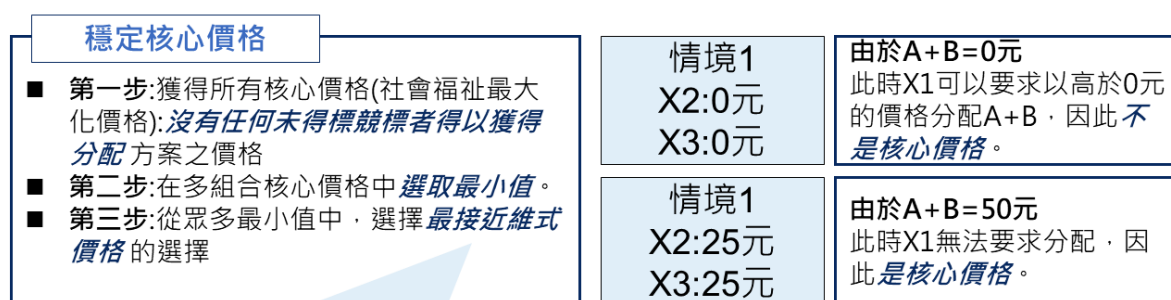
拍賣結果舉例		
X1投標人 (A+B):50元	X2投標人 A:50元	X3投標人 B:50元

維式價格得標
X2:0元獲得A頻段
X3:0元獲得B頻段

圖 2 -9 CCA 制度下非穩定核心維式價格舉例

資料來源：本計畫製作

因此 CCA 制度將套入穩定核心價格之概念，改由三個步驟進行。第一步先獲得所有核心價格，亦即取得所有標單中總拍賣價格最高之組合，並確保各頻段之金額不低於未得標願意支付之金額。第二步在眾多核心價格中選取最小值，此時可能存在眾多相加為最小值之標單組合，因此最後尚需第三步，在各最小值之標單中，選取比例最接近維式價格之選擇。⁵⁷



例如(X2:25元、X3:25元)與(X2:20元、X3:30元)皆是最小值，選擇最接近維式價格的選擇

圖 2 -10 穩定核心價格概念

資料來源：本計畫製作

⁵⁷ Stephan Knappek ,Achim Wambach(2013) . Strategic complexities in the combinatorial clock auction

(3) 核配階段

在補充階段結束後，CCA 制度已進行初步頻率核配。各投標者已得知各類別頻段數量之競標結果。再據此進行頻段核配競標，以進行最終頻率核配。⁵⁸

由於 CCA 制度複雜，競標人之理解門檻高，國際上對於 CCA 制度之投標人是否理性與誠實尚有爭議。例如分析英國 OFCOM 2013 年進行之 CCA 4G 頻譜拍賣，英國審計部(National Audit Office)認為 EE 與 Three 兩家公司於動態價格鐘階段隱匿真實頻譜偏好，此舉可能降低 CCA 制度動態價格鐘階段之價值。此外，預算限制、制度過於複雜亦使投標者難以制定策略等問題皆為 CCA 制度之缺點⁵⁹。故無論學者⁶⁰或頻譜競標軟體公司 Specure 皆建議謹慎使用 CCA 制度，僅在特定頻段取得高度影響總體風險 (aggregation risk) 時，始建議使用 CCA 機制。我國實證研究亦認為 SMRA 已接近效率分配結果。

3. SCA 與 CMRA 制度

除了 SMRA 與 CCA 制度外，升序時鐘拍賣 (Combinatorial Multi-Round Ascending Auction, CMRA) 亦為國際上常見之拍賣方式。CMRA 屬於 CCA 之變體⁶¹，由丹麥能源署(Danish Energy Agency, DEA)委託英國顧問公司 DotEcon Ltd 開發，並於 2016 年丹麥 1800MHz 頻譜拍賣中使用。

CMRA 制度與 CCA 同樣採取時鐘階段進行投標，其與 CCA 制度之差別在於 CMRA 省略 CCA 之補充回合，並允許投標者在動態價格鐘階段進行非線性加

⁵⁸ Jozef2(2020).Spectrum Auction formats – SMRA vs. CCA , Specure 。
<https://specure.com/spectrum-auction-formats-smra-vs-cca/>(最後閱覽時間 2024/6/24)

⁵⁹ National Audit Office(2014).4G-radio-spectrum-auction-lessons-learned

⁶⁰ 例如 Geoffrey Myers(2023).Learning and governance in spectrum auction design: lessons from a small island , London School of Economics & Political Science

⁶¹ Geoffrey Myers(2023) . Spectrum Auctions 。最後閱覽時間 2024/12/3 。
https://eprints.lse.ac.uk/118245/1/Myers_spectrum_auctions_9_choosing_an_auction_format_published.pdf

價：亦即投標者在動態價格鐘階段，除拍賣主辦單位公告各頻段之單一價格外，投標者另可進行加價投標，直至不存在超額需求為止，以取代 CCA 之補充階段。

舉例而言，若共有 6 個頻段供拍賣，並有 2 個投標者參與投標。其中 1 投標者認為某頻段價值 30 美元。拍賣主辦單位宣布以每頻段 10 美元起拍，每輪次加價 10 美元(即線性價格)。當主辦單位宣布價格為 20 美元時(即第 2 輪價格鐘)，某投標者除表達欲購買數量(例如 4 個頻段)外，亦得對各頻段進行加價投標(不超過主辦單位於動態價格鐘階段每輪之加價)，例如其中 2 個頻段加價 10 美元、其中 2 個頻段不加價。

拍賣主辦單位將持續進行各輪次之線性加價，直至頻譜不存在超額需求(即總需求低於 6 個頻段)。假設此時主辦單位宣布之線性價格為 30 美元(即第 3 輪價格鐘)，而 2 個投標者之總需求為 5 個頻段。此時加價投標之標單得加入最終得標頻段之計算，計算總金額最高之分配，而無須仰賴 CCA 之補充投標階段，同時 CMRA 採取第一價格(即投標者支付自身之投標金額)制度，由於 CMRA 階段不存在 CCA 之密封投標，因此將減少投標者之不確定性。⁶²

而簡單時鐘拍賣(Simple Clock Auction, SCA)則屬於時鐘拍賣制度中較簡單之形式，適合非替代、非互補品之頻段拍賣。以拍賣主辦方宣布起拍價格與每輪次加價之形式進行，直至各頻段由單一投標者勝出時即宣布拍賣結束，得標者支付第二價格。⁶³

(三) 頻譜供需平衡或使用保障相關制度

國際常見的頻譜供需平衡機制包含頻率上限、最低保護頻寬、單位頻寬、提供服務期限等，通盤考慮電信政策以選

⁶² Bernhard Kasberger, Alexander Teytelboym(2024) . The Combinatorial Multi-Round Ascending Auction

⁶³ ACMA, About spectrum auctions。最後閱覽時間 2024/12/3。

<https://www.acma.gov.au/about-spectrum-auctions>

擇合適之措施。各項措施分別考慮的觀點及可採行策略分別說明如下。

1. 頻率上限

為防止頻率過度集中，部分國家限制單一業者持有之頻率上限，又分為硬上限(即絕對限制)、軟上限(為考慮例外條件的限制方式)、限制特定頻段(大多為低頻)、多頻段合計之總和上限等不同限制方式。

目前美國、英國、德國、澳洲及我國皆有頻譜持有的絕對上限規定，上限額視頻段特性及各國市場競爭情形各有不同。我國在《無線電頻率使用管理辦法》中規定，1GHz、3GHz、6GHz 以下不得超過1/3，24GHz 以上不得超過2/5。

2. 最低保護頻寬

最低保護頻寬與頻率上限之概念相似，透過保障小型或新進業者之最低頻段，維持競爭。目前英國、德國、義大利、紐西蘭、捷克等國家有設定頻譜拍賣的最低保護頻寬或專屬競標回合。而我國目前並無設定新興業者下限保護。

以義大利2018年之5G 700MHz 頻段拍賣為例，由於低頻段頻譜在網路建設之人口與地理覆蓋上具有成本優勢，考量低頻段其他頻譜如800MHz、900MHz 均已核配予現存業者使用，義大利電信主管機關通訊管理局(Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, AGCOM)認為保留一定比例700MHz 頻段頻譜供新進業者使用有助於促進競爭並保障消費者利益。

AGCOM 在2018年決定將703-733MHz(上行)、758-788MHz(下行)頻譜投入拍賣，並採用 SMRA 拍賣制度，切分為6段2x5MHz 分頻雙工。考量當時義大利三大行動通信營運商 Telecom Italia、Vodafone、Wind Tre 頻譜聚合情形，AGCOM 決定限制單一營運商在1GHz 頻段以下(共有2x95MHz之頻譜)至多獲得2x30MHz 頻分雙工之

頻譜，並在700MHz 頻段保留2x5GHz 之頻譜供新進業者或使用。⁶⁴

當時義大利電信市場正經歷電信營運商整併，Wind Telecomunicazioni 與長江和記控股子公司3 Italia 之合併成立 Wind Tre 之附款包含釋出部分頻譜⁶⁵。在此背景下法國電信集團 Iliad(即 Free Mobile)在義大利成立子公司 Iliad Italia 收購 Wind Tre 釋出之頻譜及部分基地台⁶⁶並參與700MHz 拍賣。

在本次拍賣中，僅有 Iliad Italia 參與2x5GHz 新進業者保留頻段之競拍，因此以約6.76億歐元之底價得標。⁶⁷

3. 單位頻寬

用以保證頻譜之釋出符合經濟效益，ITU 針對各段頻譜亦有單位頻寬之建議。我國即參考 ITU 相關建議，在1800MHz 頻段為上下行各10MHz；3500MHz 頻段為10MHz；28000MHz 頻段為100MHz。

4. 提供服務期限

為避免大型業者透過競標無效頻率壟斷市場，規定提供服務期限及最低使用效率，以防止惡意競標頻譜、排除競爭加速電信普及。我國有執照普及義務之規範，惟無法防止頻譜不效率使用。

(四) ITU 對無線電頻率收費設計之建議⁶⁸

無線電頻率釋出制度決定頻率核配之對象，而收費設計決定頻率核配對象為頻率支付之對價，兩者互相影響但不完

⁶⁴ AGCOM(2017) . Allegato B alla delibera n. 89/18/CONS

⁶⁵ European Commission(2018) . Mergers: Commission clears acquisition of sole control of Wind Tre by Hutchison, subject to conditions

⁶⁶ 同時由於 2G 網路即將退役，Iliad Italia 不自建 2G 網路，其使用者以國內漫遊形式使用 Wind Tre 網路直至 2022 年義大利 2G 關臺。Univerto Free(2018) . Iliad non installerà una rete 2G in Italia, ma userà quella di Wind Tre in roaming。最後閱覽時間 2024/12/3。
<https://www.univerto.com/2018/02/14/iliad-non-installerà-una-rete-2g-in-italia-ma-userà-quella-di-wind-tre-in-roaming/>

⁶⁷ di Paolo Anastasio(2018) . Asta 5G. Le reazioni di Wind Tre, Iliad, Vodafone e Tim。最後閱覽時間 2024/12/3。

<https://www.key4biz.it/asta-5g-le-reazioni-di-wind-tre-iliad-vodafone-e-tim/233575/>

⁶⁸ ITU(2016). Guidelines for the review of spectrum pricing methodologies and the preparation of spectrum fee schedules

全相同，首先，雖全球無線電頻率釋出制度趨勢由審查制轉向拍賣制，並有 SMRA、CCA 等機制之使用。惟拍賣機制在複數競爭者、資源稀缺等前提下始得發揮效益。且少數國家基於電信監理制度、市場情況與政策需求仍採用審查制(或稱指配制)進行商用行動通訊無線電頻率核配。第二，核配制度與收費設計未必完全相同，舉例而言，採取頻譜拍賣制度之國家，仍可能收取行政規費，因此單一頻譜拍賣可能有複數收費。ITU 將無線電頻率核配機制之收費分為行政基礎收費(Administrative Mechanisms)⁶⁹、市場基礎收費(Market-based Mechanisms)，而部分國家可能採取行政與市場基礎混合收費。

1. 行政基礎收費

行政基礎收費又分為旨在回收頻譜管理成本之頻率管理費(spectrum management fees)與頻率效用費(spectrum usage fees)等等。頻率管理費之目的為彌補國家頻率監管機關管理所需的直接和間接成本；頻率效用費又稱為頻率租金(spectrum resource rent)，類似於特別公課，目的為確保頻率使用者有效資源利用。在費用計算上，監理機關可能採取行政誘因定價(Administered Incentive Prices, AIP)，計算頻率核配之機會成本⁷⁰，或頻率費用公式，ITU 建議公式為頻率定價=(地理空間或體積/接取設備數量)X(地理範圍特徵係數 X 基地台區域係數/整體電信系統社會效益係數)X(頻譜管理成本)X(頻譜需求係數)，決定最終頻率使用之對價。

2. 市場基礎收費

市場基礎收費則包含初級交易之頻譜拍賣市場價格與次級市場之交易與租賃價格。如前所述，頻譜拍賣是目前國際上商用行動通訊頻譜釋出主流制度，競標人承買價格即為頻譜對價之市場價格，透過市場機制之運行，理論上頻譜將獲得最有效運用。

⁶⁹ 原文為機制，惟為避免與頻率核配機制如拍賣、審查混淆，本計畫將(Administrative Mechanisms)稱為行政基礎收費、而(Market-based Mechanisms)稱為市場基礎收費

⁷⁰ ITU.(2017).Spectrum Pricing- Administered Incentive Pricing (AIP)

ITU 建議監理機關，頻譜管理者決定頻譜用途分配、用途、核配機制、收費設計、排他使用等議題時，應考慮經濟環境、各頻段收費之具體原則與目標、監理機關運作所需資金、頻率供給需求、技術變遷、已核配頻率之持續使用等問題。ITU 整理各頻譜定價方法之優缺點如下表。

表 2-5 ITU 頻譜管理費類型

方式	優點	缺點
簡單固定費用 監理機關基於裁量空間，決定頻譜使用之規費	<ul style="list-style-type: none"> ● 可同時適用於所有頻譜使用者(公共/私人) ● 無需建立費用計算模型 ● 易於實施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無法反映監理成本 ● 頻率核配無法反映對頻率使用者之重要性 ● 若單獨使用無法提高頻譜使用效率
頻譜管理費 以頻譜管理成本為基礎，決定頻譜使用之規費	<ul style="list-style-type: none"> ● 利於頻譜使用者 ● 收費機制清楚 	<ul style="list-style-type: none"> ● 若單獨使用無法提高頻譜使用效率 ● 直接成本與間接成本計算複雜 ● 監理機關無法藉由頻譜釋出獲得財政收入
頻譜效用費-行政誘因定價 以機會成本概念計算頻率費用	<ul style="list-style-type: none"> ● 計算出之費用將接近市場價值 ● 促進頻譜有效利用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 需要大量資料分析 ● 僅限於競爭頻段使用
頻譜效用費-頻率費用公式 以頻率費用公式模擬擬頻譜價值	<ul style="list-style-type: none"> ● 促進頻譜有效利用 ● 收回部分成本(非主要目的)⁷¹ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 以公式近似市場價值有難度 ● 可能不適合所有頻段
利潤後酬 以頻率使用者收入為基礎，計算頻率使用費	<ul style="list-style-type: none"> ● 頻譜成本與商業價值相牽連 ● 計算簡單 	<ul style="list-style-type: none"> ● 僅適用頻譜與商業收入相關之頻率使用者 ● 無法提高頻譜效率 ● 類似於稅收

資料來源：ITU，本計畫整理

⁷¹ 所有的收費皆有助於回收部分成本，此處特別提及係由於 ITU 建議之頻率費用公式，包含監理成本係數。

二. 彈性使用開放情形與規範(頻率共用、提供使用、次級交易)

頻率彈性使用分為兩個層次，第一個層次為頻譜釋出階段即規劃之彈性使用，包含免執照頻段(Unlicensed band)與多服務共享頻段⁷²，亦即頻譜釋出階段未賦予單一服務類別或單一使用者排他使用之權利或利益。第二次層次為次級交易市場之彈性開放，包含頻率提供使用、頻率轉讓、頻率租賃、頻率買賣等⁷³，由於我國無執照頻段(如 WiFi)之管理機制已相當成熟，故本計畫將著重於頻譜釋出階段之多服務共用頻段與次級交易市場之彈性開放。

(一) 頻率共用

頻率共用或稱頻率共享，多指不賦予單一服務類別、單一頻率使用者排他使用頻譜之權利或利益，包含提供使用、轉讓、租賃。GSMA 認為，全球傳輸量之持續成長趨勢使各國有更多頻譜需求。惟頻率資源稀缺，清空足夠頻譜供商用行動通訊使用越來越困難。頻率共用有助於商用行動通訊之頻率使用與其他服務類別共存，增進頻譜使用效率⁷⁴。進行頻譜共享需考量技術可行性、市場誘因與規範架構之設計。

(二) 頻率次級市場

頻率次級市場，指頻譜釋出時，核配特定使用者排他使用之權利，該特定使用者再允許他人使用。頻譜次級市場依據特定使用者是否保留使用、監理責任劃分又分為頻率自願共享⁷⁵、租賃、交易，允許頻率次級市場之存在有助於移轉資源予當下最適使用者，促進頻譜長久有效利用，惟頻率次級市場之推動仍將面臨風險，據 ITU Data Hub 統計，全球共有31.1%之國家開放頻譜次級市場交易，影響頻率次級市場發展的重點因素如下：

⁷² 即不規劃單一服務排他使用。

⁷³ 頻率次級交易如提供使用、轉讓、租賃之用語與各國對於頻譜釋出之法律定性(債權、物權、準物權等等)有關。

⁷⁴ GSMA(2021).Spectrum Sharing

⁷⁵ 為避免混淆，若於核配頻譜後再進行共享，統稱為頻率自願共享。

1. 頻率使用權明確

由於頻譜利用靈活可能衍生干擾問題，進行影響頻率使用權或優先使用之明確性。建議於允許頻譜靈活利用前先進行成本效益分析。

2. 頻譜屆期

短頻譜期限可能會增加頻譜交易之不確定性，影響頻譜次級市場發生。

3. 交易成本

交易成本可能影響電信市場效率，建議允許專業經理人存在，協助降低使用者間之交易成本。

4. 市場競爭

頻譜集中、競爭者合作皆可能影響電信市場競爭，可能需逐案審查電信市場參與者之頻譜合作。

5. 頻譜交易衍生費用之負面影響

建議規劃頻譜次級市場制度時衡量稅收等頻譜交易衍生費用之負面影響⁷⁶。

⁷⁶ GSMA(2022).Best Practice in Mobile Spectrum Licensing

第三節 主要國家發展頻譜管理規範及釋出制度

一. 美國

(一) 電信市場現況

美國土地面積約937.261萬平方公里，人口密度約為每平方公里38人，同時約有82.2%之人居住於都會區。創造1,330億美元⁷⁷之電信市場規模。

美國電信市場規模為1330億美元⁷⁸，從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，美國平均活躍行動寬頻訂閱數由每100人中8.7人上升至185人，展現出強勁的上升趨勢⁷⁹。另自2018年至2023年之5年期間，美國行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.62%微幅上升至0.76%，為主要國家中少數未呈現下降趨勢者⁸⁰。

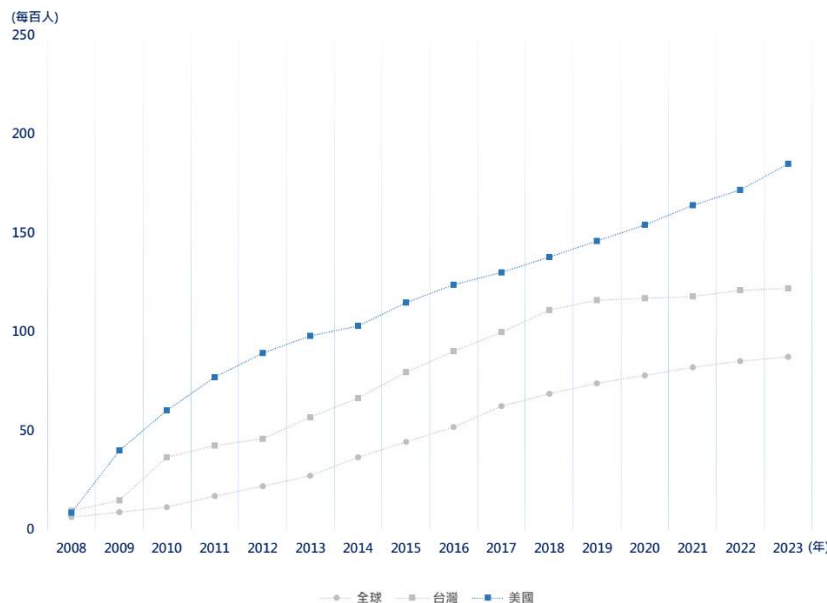


圖 2-11 美國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

⁷⁷ 惟有其他分析認為美國電信收入超過 3320 億美元。Petroc Taylor(2023).Telecoms in the United States - statistics & facts，資料源自 statistics。

⁷⁸ 惟有其他分析認為美國電信收入超過 3320 億美元。Petroc Taylor(2023).Telecoms in the United States - statistics & facts，資料源自 statistics。

⁷⁹ ITU, Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日

<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>

⁸⁰ ITU, Mobile data and voice low-consumption basket 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日

<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

(二) 行動通信營運商現況

美國主要有四大全國範圍之行動通信營運商包含 AT&T(市占率29.62%)、T-Mobile(市占率32.29%)、U.S. Cellular(市占率1.03%)與 Verizon Wireless(市占率37.06%)。

⁸¹同時美國平均每家行動通信營運商可於1-6GHz 間獲得 181MHz 並於毫米波獲得1,426MHz 之頻譜。⁸²

(三) 頻譜管理之法制規劃

目前，美國之無線電頻譜由隸屬於商務部(Department of Commerce, DOC)之國家電信暨資訊管理局(National Telecommunication and Information Administration, NTIA)與聯邦訊傳播委員會(Federal Communications Commission, 以下簡稱 FCC)管理⁸³。並由無線電諮詢委員會(Interdepartment Radio Advisory Committee, IRAC)⁸⁴進行頻率規劃與政策事務之協調。NTIA 主要負責聯邦政府單位(例如軍事用途、美國聯邦航空總署、美國聯邦調查局)使用，而 FCC 主要負責頻率分配表維護⁸⁵與非聯邦使用(例如地方政府、個人、商用)⁸⁶。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

美國頻率管理架構主要規定於美國聯邦規則彙編第 47 編(Code of Federal Regulations 47)⁸⁷。在頻譜分配層面，頻率分配表依據§2.105 分為聯邦表與非聯邦表，分別規範於§2.106 第 4 欄與第 5 欄(部分頻段註明共用⁸⁸)。其中§2.104 與§2.106 將 ITU 全球頻率分

⁸¹ Ahmed Sherif(2024). Wireless network operator subscriptions market share in the United States from 2011 to 2024, by quarter. 資料取自 statista, 2024Q2 數據。

⁸²僅計算 2018 年以後進行之拍賣。總務省 (2023). デジタル変革時代の電波政策懇談会 5 G ビジネスデザインワーキンググループ報告書

⁸³ 總統仍保留部分頻率分配權

⁸⁴ IRAC 為美國最早之頻率協調機構，於 1912 年即負責頻率協調業務(FCC 1927 年成立)

⁸⁵ 由轄下工程與技術政策辦公室(Office of Engineering and Technology, 簡稱 OET)提供政策與技術建議。

⁸⁶ FCC, <https://www.fcc.gov/engineering-technology/policy-and-rules-division/general/radio-spectrum-allocation>, 最後閱覽時間 2024/6/24

⁸⁷ FCC 組織法(規則)亦定於本編

⁸⁸ §2.105(d)(2)

配表與無線電規則⁸⁹納入規範，並授予 FCC 更動之裁量空間⁹⁰。

理論上，頻譜為美國國民的「共有資產」，聯邦政府代美國國民管理頻譜的所有權，且執照並未授權頻譜的獨占權，但多數的企業於會計上將其視為企業的資產。其中為了增加頻譜利用效率，FCC 規劃 3.55-3.7GHz 頻段供公民無線寬頻服務 (Citizens Broadband Radio Service，以下簡稱 CBRS) 使用，藉由執照三層分級與頻譜接取系統 (Spectrum Access System，以下簡稱 SAS) 科技應用進行頻段共享並解決干擾問題⁹¹。

(2) 頻率核配與拍賣授權

美國聯邦規則彙編第 47 編 §2.105 授予 FCC、NTIA 較大裁量空間，可以排他、共用等方式核配予單一或複數單位⁹²；FCC 過往時常以拍賣方式進行頻譜核配，例如 2016 年至 2019 年之 AWS-1(1700MHz 與 2100MHz) 頻譜、2008 年之 700MHz 頻譜、AWS-3(1700MHz-1800MHz) 頻譜等等。惟值得注意的是 FCC 為一直接對國會負責之類似獨立機關。其頻譜拍賣權力為國會透過統一綜合預算調解法案 (Omnibus Budget Reconciliation Act of 1981) 授權，並陸續於 1997 年、2006 年、2009 年、2012 年、2015 年及 2022 年多次延長 FCC 拍賣頻譜之許可權年限。⁹³然而，近年因美國國防部與美國電信產業就頻譜使用的衝突，特別是 3.1-3.45 GHz 頻段的使用權，導致法案並未通過而使 FCC 拍賣頻譜之許可權年限於

⁸⁹ 國際規範(以註腳呈現)，如未經修改，聯邦或非聯邦使用皆需遵守。

⁹⁰ 47 CFR §2.102。資料來源 Cornell Law School。

⁹¹ FCC(2023). 3.5 GHz Band Overview

⁹² §2.105(b)

⁹³ Congressional Research Service (2023). The Federal Communications Commission's Spectrum

Auction Authority: History and Options for Reinstatement.

<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47578>

2023年3月9日到期失效，有關恢復FCC拍賣頻譜權力之相關法案及作法至今仍在研擬中。⁹⁴

(3) 頻率拍賣制度

FCC最早於1994年邀請學者設計SMRA制度，並獲全球廣泛採納，目前仍以拍賣為主要頻譜釋出形式；並有SMRA、類似於SCA制度的升序時鐘拍賣(Ascending Clock Auctions, ACA)、由政府單位出價之反向拍賣並主要用於普及服務的降序時鐘拍賣(Descending Clock Reverse Auctions, DCRA)、目的為頻率重分配而原頻率持有人可能從拍賣價金獲得補償的誘因拍賣(Incentive Auctions, 競拍人僅出價一次的單輪拍賣(Single Round Auctions))⁹⁵。

美國近期(Auction107) 3.7GHz 與(Auction110) 3.45-3.55GHz 拍賣均以價格鐘制度進行拍賣，並採分區釋照，第一階段進行數量競標而第二階段進行位置競標。在第一階段數量競標中，美國僅簡單採取價格鐘升序而未進行補充階段或加價投標，屬於SCA形式。

2. 頻率定價

如前所述，美國頻譜主要拍賣之形式釋出，並以頻譜拍賣系統(Spectrum Auction System, ISAS)，紀錄每次拍賣過程。以2022年⁹⁶5G之3.45 GHz 彈性使用頻譜執照為例，33個投標者共23家得標，淨頻譜收入約為224億美元；同時，頻譜持有人尚需支付35至425美元之執照申請費、監理年費、執照續約費等規費。

3. 頻率彈性使用-次級交易

FCC於2003年即修改規則消除次級市場之法規障礙⁹⁷，頻譜執照持有人專有執照期限內出租(lease)全部或部分

⁹⁴ DEFENSESCOOP (2023). Pentagon, telecom industry's battle over spectrum symptomatic of a troubled system. <https://defensescoop.com/2023/07/31/pentagon-spectrum-access-5g-commercial/>

⁹⁵ FCC(2023). Auction Formats, <https://www.fcc.gov/auction-formats>, 最後閱覽時間:2024/6/26。

⁹⁶ 2021/10-2022/1

⁹⁷ FCC 03-113

使用權(usage rights)之權利，由 FCC 進行個案審查，同時簡化執照或頻率控制權利轉讓之行政程序，以促進頻譜有效利用⁹⁸。

個案審查重點在於該個案交易是否符合公眾利益性、便利性(Convenience)、必要性(Necessity)。公眾利益性主要考量交易後單一無線業者頻譜持有總量占比，當交易後單一業者頻譜持有總量接近1/3時，委員會須確保此交易可促進市場競爭。事實上，FCC 核配時設計有一個兩層次的決策機制，首先以量化規定其單一業者不可超過1/3頻寬，再根據釋照政策背景定制補強因子(Enhanced Factor)，以文件審查確定優先序。又因交易審核過程會發布公報及蒐集外界意見，整體程序時間會依交易複雜程度而再延長或縮短，一般約180天，大致流程如下圖所示。

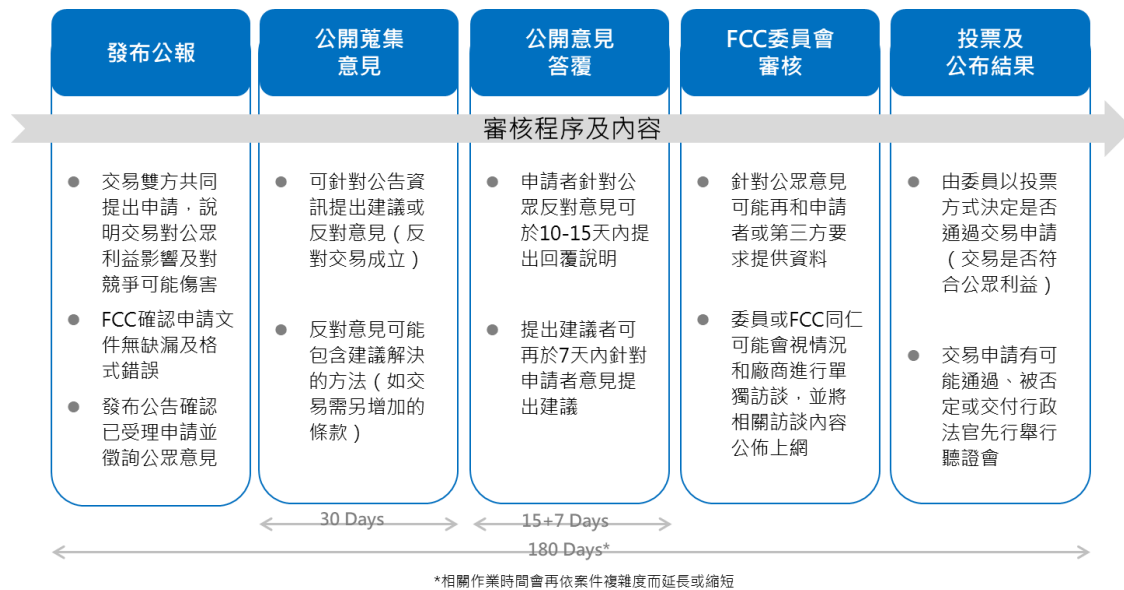


圖 2-12 美國頻譜交易及審核過程

資料來源：FCC 公開資料，本計畫整理

⁹⁸ U.S. Government Accountability Office(2003)

(四) 頻譜未來規劃

美國早期拍賣之頻譜包含 AWS-1(1710-1750MHz、2110-2155MHz)、700MHz、AWS-3(1695-1710MHz、1755-1780MHz)均分別已於2018年至2024年間初次核配執照到期。惟為維持行動通信服務且 FCC 目前尚無法進行頻譜拍賣，故 FCC 目前以換照等方式允許營運商持續使用頻譜。而2030年左右，2.5GHz、3.7GHz、3.5GHz 與毫米波等頻段亦將面臨初次核配執照屆期，屆時將視市場發展與法制情形擬定頻譜核配策略。另外為了促進6G發展，美國國家安全會議(United States National Security Council)制定了6G原則。其中包含使用可信賴技術、開放式創新、安全彈性等等；在頻譜使用上，將積極推動共享與動態頻譜共用。而 FCC 亦已啟動6G 頻譜規劃，將7-16 GHz 作為6G 主要中頻段頻譜，為當前和未來的衛星服務保留12.2-12.7 GHz 之間的頻譜，並開始研究12.7-13.25 GHz 之商用行動通訊使用⁹⁹。

二. 日本

(一) 電信市場現況

日本土地面積約 36.4555 萬平方公里，人口密度約為每平方公里 339 人，同時約有 92.04%之人居住於都會區。創造 1,178 億美元¹⁰⁰之電信市場規模。

日本電信市場規模為1178億美元¹⁰¹，從用戶面觀察，2009年至2023年期間，日本每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自78.2上升為246¹⁰²。其中值得關注的轉折點是2021至2022年自160大幅上升為232，後於2023年持續上升至246；官方報告將此趨勢與日本於2020年導入5G技術相連結，同時亦

⁹⁹ FCC(2023), Remarks of chairwoman Jessica Rosenworcel to the national science foundation“6g: open and resilient by design”

¹⁰⁰ 預估 2024 年資料。Mordorintelligence, Market Size of Japan Telecom Industry, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/japan-telecom-market/market-size>, 最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁰¹ 預估 2024 年資料。Mordorintelligence, Market Size of Japan Telecom Industry, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/japan-telecom-market/market-size>, 最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁰² ITU, Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>

為主要國家中之最高者¹⁰³。另自2018年至2023年之5年期間，日本行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自 1.41% 下降至 1.09%，雖低於全球平均，但仍為主要國家中之最高者¹⁰⁴。

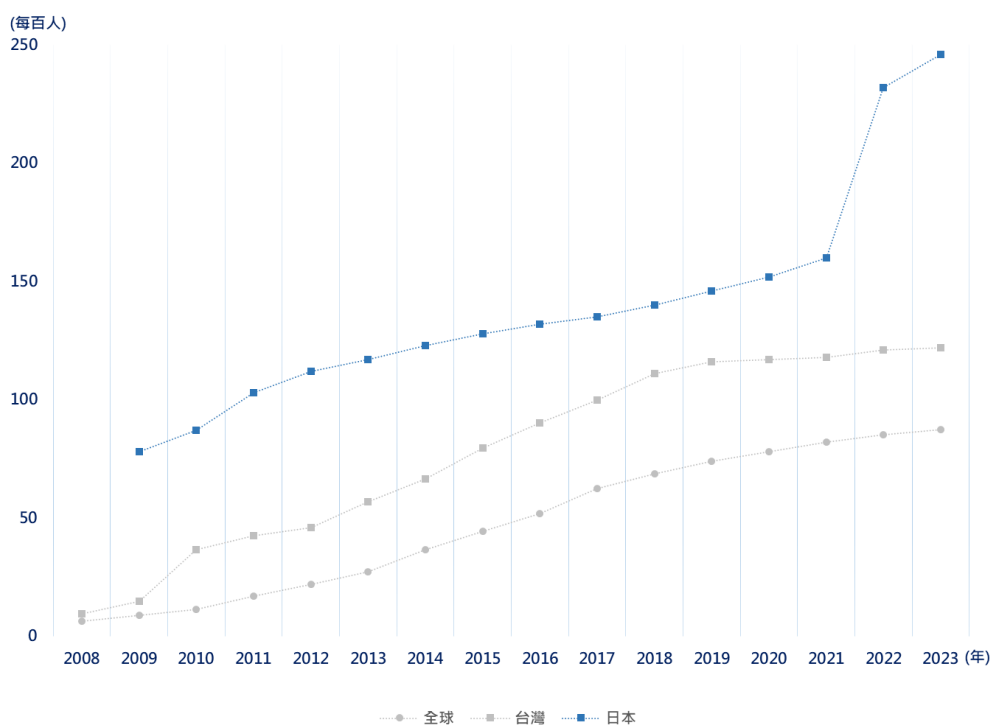


圖 2-13 日本每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

(二) 行動通信營運商現況

日本目前有四家行動通信業者，其市占率¹⁰⁵分別為 NTT Docomo(以下簡稱 Docomo)34.7%、AU(由 KDDI 經營)26.7%、Softbank 20.4%與新進業者 Rakuten 2.7%。其頻譜分配如下表：

¹⁰³ 日本總務省 (2024)，通信市場の動向について。

https://www.soumu.go.jp/main_content/000944045.pdf

¹⁰⁴ ITU, Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日

<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

¹⁰⁵ 不含其 MVNO 批發轉售之用戶

表 2-6 日本行動通信營運商頻譜核配表

日本營運商 頻譜(Mhz)	Docomo	AU	Softbank	Rakuten	總計	
1Ghz 以下	700	20	20	20	-	60
	800	30	30	-	-	60
	900	-	-	30	-	30
	小計	50	50	50	0	150
1-6 Ghz	1500	30	20	20	-	70
	1700	40	40	30	80	190
	2000	40	40	40	-	120
	2300	-	40	-	-	40
	3400	40	-	40	-	80
	3500	40	40	40	-	120
	3700/4 500	200	200	100	100	600
小計	390	380	270	180	1220	
毫米波	28000	400	400	400	400	1600
總計	840	830	720	580	2970	

資料來源：總務省、本計畫整理

除新進業者 Rakuten 外，日本所有業者在1GHz 以下均獲得 50MHz 之頻譜以進行覆蓋，而1-6GHz 頻段之頻譜則有明顯差異，Softbank 受核配頻譜數較少。

各營運商5G 服務多採用 Sub6(3.7GHz 頻段、4.5GHz 頻段)和毫米波(28GHz 頻段)，另包含從4G 頻譜分流出來的低頻頻段。雖日本早在2021年啟動5G SA 商業服務(以28GHz 毫米波及3.7GHz、4.5GHz 等 Sub 6頻段佈建)，但因相容機型及服務區域有限，故使用率不高，根據2022年總務省統計，各業者毫米波使用流量趨近於零。根據 NTT Docomo 目前公告的服務方案，在既有的5G 方案中，原則上以5G NSA 提供服務，但2024年9月底止。在用戶可選擇加價550日圓升級原5G 方案，即可使用特定地點的5G SA 訊號，目前已

在國內501個點開通，惟營運商考量因建置點仍少，擴大建置期間仍暫不對服務申請者收取費用。

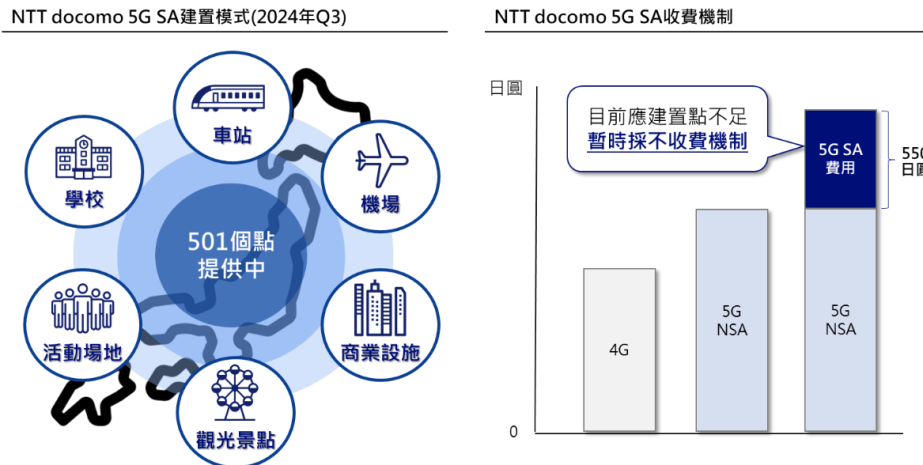


圖 2 -14 NTT Docomo 的 5G SA 建置計畫及收費方案

資料來源：NTT Docomo，本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

日本主要由總務省管理整體電信規劃與無線電頻率分配，並依據《電波法》管理無線頻率相關事務。其中《電波法》第一條即規定，總務省應確保頻譜之公平有效利用並促進社會福祉。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配與釋出計畫

在頻率分配與釋出計畫上，總務省以「頻率重整行動計畫」(周波数再編アクションプラン)檢討頻率分配與核配之總體規劃。依據《電波法》第 26 條，總務省應編制無線電頻率分配表；並依照同法第 26 條之 2、第 26 條之 3 進行無線電頻率使用與分配之規劃。同時日本尚設有無線電波監理委員會(電波監理審議會)，提供總務省諮詢與建議。

(2) 頻率核配

日本《電波法》規定，擬興建行動基地台者(即頻譜申請核配人)應依據同法第六條進行基地台執照申請，並於申請時說明目的、服務對象、設備位置、營運與施工時程規劃及無線電頻率類型、所需頻率範圍(即頻率核配納入基地台執照管理)與功率等資訊，總務省隨即依據同法第 7 條進行頻率核配、干擾、申請人資格、適法性進行審查。其中，當頻率有主要目的與次要目的時，干擾審查就更為重要。若通過則按同法第 8 條授予初步許可，同時告知基地台完工期限、無線電波類型與頻率，並進行電信資源核配，最後在申請人完成基地台佈建後依據同法第 11、12 條檢查，決定是否授與許可執照。

(3) 商用行動通訊頻率核配

日本商用行動通訊頻率之核配流程依序為公布釋出指南、意見徵詢、無線電波監理委員會諮詢、釋出通知、接受商用行動通訊發展計畫申請，進行審議(先進行資格審查，再進行各計畫對比)、無線電波監理委員會諮詢、最後決定整體無線電頻率計畫，並進行頻率核配¹⁰⁶。

審議方面以 5G 頻段(3.6-4.1GHz；4.5-4.6GHz；27.0-28.2GHz；29.1-29.5GHz)釋出為例，先於第一階段是絕對基準審查(資格審查)，即審查業者提交的申請文件是否符合最低要求標準。審查內容包含技術、使用頻率、建設時程、佈建覆蓋率、預計的基地台數量、新技術導入、提高頻率使用效率與干擾防治措施等項目，只要符合標準即通過。第二階段是競爭性比較審查，採用評分方式，得分最高者擁有頻率優先選擇權。比較的項目包含 5G 佈建率與時程規劃、網路與

¹⁰⁶ 日本 2020 年，針對 5G 時代之頻率應用、如覆蓋義務、頻率共用、高低頻段使用進行檢討。總務省事務局(2023). 新たな割当方式の制度化に向けた検討について

設備安全性、可靠性計畫。如本次審查得分最高之 KDDI 與 NTT 相較其他業者多分配 100MHz 頻譜。

2. 頻率定價

日本《電波法》第103條規定無線電頻率相關執照規費，以國家監理成本為基礎進行計算，而同法第103條之2¹⁰⁷則規定無線頻率使用費，依據「獲核配頻寬」乘以「收費費率」，獲得應繳納每 MHz 價格。收費費率之計算基礎為總務省對頻譜使用人收入(折合現值)預估¹⁰⁸，並由總務省每三年檢討一次。現行行動通訊約依據基地台功率與頻率高低而有費率而有不同，為400萬至9.67億日圓不等。

3. 頻率彈性使用-次級交易

基於日本頻率指配制之特性，頻率核配係屬於基地台執照申請之一部，故日本並未開放頻率次級交易。

(四) 頻譜未來規劃

因應《數位時代轉型無線電政策委員會報告》預估至2025年「超5G」(Beyond 5G 推進戰略)行動通訊、衛星通訊與高空平台、物聯網與 WIFI 系統及下世代行動通訊四大領域頻寬需求增長。《頻率重整行動計畫》對頻段分別設定6GHz、9GHz、1GHz、30GHz 之頻寬增加目標。其中超5G 行動通訊之候選頻段為2.3GHz、4.9GHz、26GHz 與40GHz、衛星通訊與高空平台之候選頻段為 Ku(12-18GHz)(衛星行動通訊系統)、Ka(26.5-40GHz)、Q/V(30-300GHz)頻段、物聯網與 WIFI 系統之候選頻段為6GHz 頻段。而下世代行動通訊主要需求為 V2X 系統使用，因此在5GHz 頻段建立一定量之專用頻寬¹⁰⁹。

¹⁰⁷ 本條亦規定基地台建設義務

¹⁰⁸ 總務省事務局(2023).新たな割当方式の制度化に向けた検討について

¹⁰⁹ 總務省(2023).周波数再編アクションプラン

三. 南韓

(一) 電信市場現況

南韓電信市場規模為319億美元¹¹⁰，從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，南韓每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自73.1上升至122，¹¹¹近五年趨勢與台灣相當接近；另自2018年至2023年之5年期間，南韓行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自 1.13% 降至 0.63%，呈現較明顯的下降趨勢。¹¹²

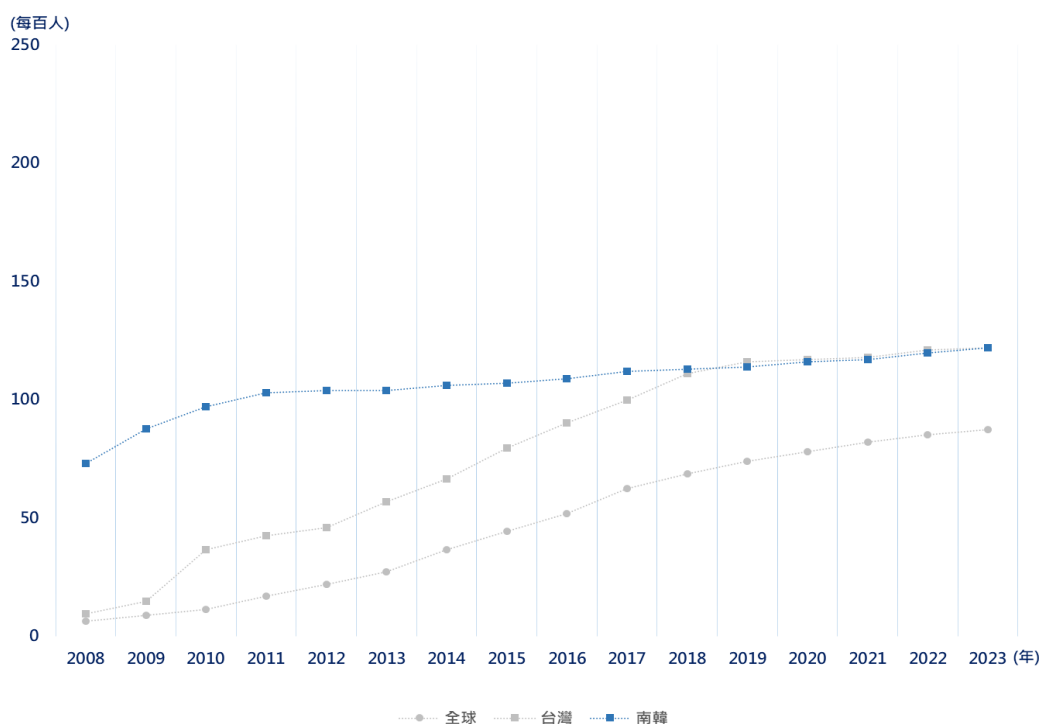


圖 2 -15 南韓每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

¹¹⁰GlobalData(2023)，<https://www.globaldata.com/store/report/south-korea-telecom-operators-market-analysis/>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹¹¹ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹¹² ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

(二) 行動通信營運商現況

南韓目前有三家行動通信業者，其市占率¹¹³分別 SK Telecom (以下簡稱 SKT)39.1%、KT 22%、LG Uplus(以下簡稱 LGU)20.9%，¹¹⁴由於 MVNO 帶來的強烈競爭，以 SKT 為首的 MNO 市占率正逐年下降¹¹⁵。其頻譜分配如下表：

表 2-7 南韓行動通信營運商頻譜核配表

南韓營運商 頻譜(Mhz)		SKT	KT	LGU	總計
1Ghz 以下	800	20	-	20	40
	900	-	20	-	20
	小計	20	20	20	60
1-6 Ghz	1800	35	55	-	90
	2100	40	40	40	120
	2600	60	-	40	100
	3500	100	100	100	300
	小計	235	195	180	610
毫米波		無			
總計		255	215	200	670

資料來源：KCC、本計畫整理

由於基地台佈建效率不佳，且再釋出之規劃亦不順利¹¹⁶，目前南韓已收回毫米波頻譜未核配予行動通信使用。在頻譜核配上，三大業者均由1GHz 以下獲核配20MHz 之頻譜，並在1-6GHz 頻譜核配量有較大差異。

(三) 頻譜管理之法制規劃

南韓之電信事務主要由韓國科學技術資訊通信部(Ministry of Science and ICT, MSIT)與韓國通訊傳播委員會(Korea Communications Commission, KCC)負責監理。無線電波法(전파법)第六條規定，KCC 應鼓勵新技術發展、提高使用效率、防止干擾、處理國際合作事務並保障無線頻率資源使用安全。

¹¹³ 不含其 MVNO 批發轉售之用戶

¹¹⁴ 김용수 기자(2023). “점유율 하락 SKT, 5G 는 우위” …통신시장 경쟁 ‘미흡’

¹¹⁵ 以 SKT 為例由 2019 年之 41.8%逐年下滑至 2023 年之 39.1%。

¹¹⁶ 詳如本節後述。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

依據無線電波法第 9 條，MSIT 應衡量國家安全、公共利益、社會秩序、頻譜使用狀況、國家頻譜使用趨勢(如 ITU 全球頻率分配表)、技術發展、市場需求進行頻率分配，並得指定主要用途與次要用途。

(2) 頻率核配

韓國有拍賣、政府直接分配、審議三種無線電頻率核配方式，政府直接分配規定於《無線電波法》第 10 條第 1 項，僅限於電信事業¹¹⁷與有線電視廣播，與監理政策相關，主要審查頻率分配對電信業務之影響。審議制度規定於同法第 12 條，在未採用拍賣制度下使用，應衡量頻率使用效率、申請人財務能力、技術能力、頻率特性等要件。拍賣則依據第 11 條第 1 項規定，若頻譜價值與技術影響高、具有競爭性需求或其他認為必要情形時，MSIT 得採用拍賣形式核配頻率¹¹⁸。拍賣依揭露形式分為公開競標或密封投標，依進行輪次分為單輪與多輪、依據拍賣標的分為單一商品(頻段)或多商品拍賣，並有升序與降序、最高價與第二高價得標之差異¹¹⁹。自 2011 年韓國首次採用拍賣制度起，韓國曾採用多種拍賣方式(例如 2011 年 800MHz、1.8GHz、2.1GHz 之競標，採用 SMRA、2013 年 1.8GHz 由於 KT 已有相鄰頻段，為增進頻譜使用效率，採用 SMRA 與密封競價多種形式結合)，MSIT 對於釋出方式有相當程度之裁量空間¹²⁰。

(3) 近期頻譜釋出案例

南韓 2018 年 28 GHz 頻譜拍賣，SK Telecom、KT 和 LG U+三家電信公司共花費 6,200 億韓元標得為期五年之 28 GHz 頻譜許可；然而三家公司皆因無法預見

¹¹⁷ 電信業務法規定之業務

¹¹⁸ 2010 年修法新增

¹¹⁹ 詳參本計畫關鍵議題研析

¹²⁰ 사회문화조사실 과학방송통신팀입법조사관 장은덕(2017).국내외 주파수 경매 현황 등

短期內的市場需求，未滿足 2021 年前 15,000 台基地台之義務，故主管機關最終收回頻譜。2023 年採全新策略，重新核配頻譜予新 MVNO 業者 Stage X¹²¹，如下圖所示。但最終，根據 2024 年 6 月份資訊顯示，此次核配仍因業者無法繳付承諾之全額標金而再次面臨收回¹²²。

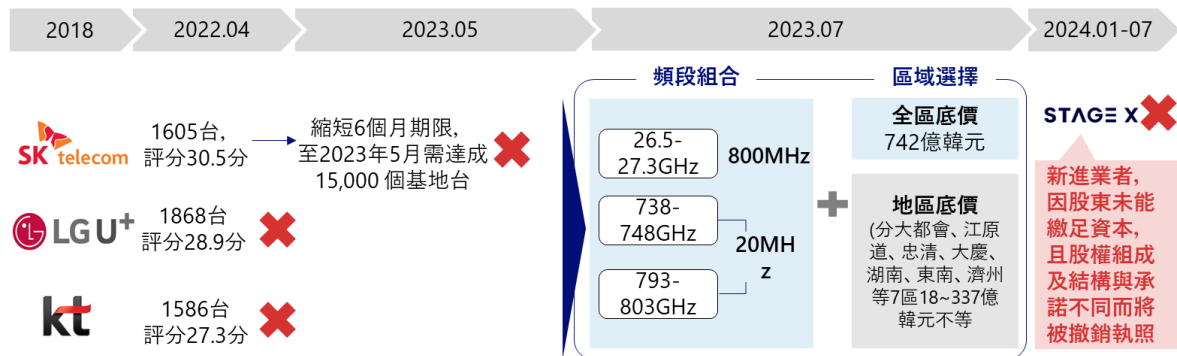


圖 2 -16 韓國 28GHz 頻譜收回與再釋出

資料來源：MSIT，本計畫整理

2. 頻率定價

南韓《無線電波法》第67條、第68條規定頻率使用規費與頻率費(效用費)，使用規費用於頻譜管理與促進無線通訊發展，頻率費則以頻段、頻寬、電力消耗等條件計算，惟商用行動通訊之亦可以用戶數計算¹²³。在拍賣價金部分，以2016年拍賣為例 KT 在1.8GHz 拍定頻寬 20MHz 之頻譜對價為4513億韓元。

3. 頻率彈性使用-次級交易

依據《無線電波法》第14條第1項規定，獲核配頻率人具有排他使用之權利(頻率使用權)，並依據同條第2項，得在 KCC 批准且法規或核配附款未禁止之情形下進行頻率出租或轉讓，承租人或受讓人應繼承相關義務。

¹²¹ MSIT(2023). 과기정통부, 28GHz 대역 주파수 할당 공고

¹²² South Korea set to revoke Stage X licence

<https://www.mobileworldlive.com/operators/south-korea-set-to-revoke-stage-x-licence/>

¹²³ 同時訂有拖欠之罰款

(四) 頻譜未來規劃

韓國於2019年成立「5G+戰略委員會」並制定「5G+頻譜計畫」，目標打造全球最佳5G 體驗，同時扶持韓國之5G 產業鏈。內容包含提升非公眾通信網路與公眾通信網路之傳輸品質。非公眾通信網路包含 WIFI 與5G 專網、5G V2X、無人機與遠距醫療分別提供6GHz、5.9GHz、433MHz 與70GHz 頻段使用；而公眾通信網路部分則制定策略，目標於2026年以前將6GHz 與毫米波頻段之頻譜由2019年分別280MHz 與2400MHz 之頻寬提升至920MHz 與4400MHz¹²⁴。於「5G+頻譜計畫」制定之時，韓國為因應 WRC-19之規畫與對高品質5G 生態系前景之預測，預估5G 頻率需求將提升至2019年之2倍。事後觀察，28GHz 之頻譜特性與建設成本非目前通訊應用需求可負擔，業者建設義務無法達成。

2024年9月1日，MSIT 啟動《韓國頻譜計畫(2024-2027年)》，包含四項關鍵策略，以將頻譜資源轉變為核心資源，因應通訊服務快速發展而增加的流量和頻率需求，加速產業及公共部門數位創新。策略一為行動通信頻率最佳化利用及向其他產業的開放、策略二為支持數位新型產業發展，引領創新服務、策略三為增強對公眾安全的公共無線網絡、策略四為頻率使用制度創新。各策略內容彙整如下表所示。

¹²⁴ MSIT(2019).세계 최고 5G 강국 실현을 위한 5G+ 스펙트럼 플랜

表 2-8 韓國頻譜計畫(2024-2027)四大策略方針

四大策略	具體措施
行動通訊頻率的最佳化利用和向其他產業開放	促進確保新的行動通訊頻率 <ul style="list-style-type: none"> · 終止使用 TRS 在 800MHz 頻段(頻寬 18MHz)的審查。 · 審查 3.3GHz-3.4GHz 頻段轉為行動通訊使用的可能性。
	促進使用期限屆滿後重新分配頻率 <ul style="list-style-type: none"> · 3G、4G、5G 於 2026 至 2028 年陸續屆期時是否重新分配的相關評估。 · (3500MHz 頻段將於 2028 屆期) · (1800MHz、2600 頻段將於 2026 屆期)
	檢討額外 5G 頻率分配的必要性(例如 3.5 GHz 相鄰頻段和低頻段頻率)。
	分析 2500MHz – 2690MHz 頻段資源利用情形。
	開放頻率以滿足三大電信公司以外的數位創新服務需求 <ul style="list-style-type: none"> · 定期發現需求後提供最佳頻率。 · 主要使用 700/800 MHz 頻段(頻寬 78 MHz)、1.8 GHz 頻段(頻寬 50 MHz)、2.1 GHz 頻段(頻寬 110 MHz)和 4.0 GHz 頻段(頻寬 200 MHz)。
	確保 6G 頻率 <ul style="list-style-type: none"> · 透過 WRC-23 的 6G 候選頻段和國際上討論的其他頻段中，探討國內 6G 候選頻率。
支持數位新型產業發展，引領創新服務	及時供應頻率，支持新產業成長 <ul style="list-style-type: none"> · UAM 實驗頻率供應、自駕船頻率發掘。 · 促進頻率擴展，為自駕車普及作好準備。 · 推動衛星通訊頻率擴展(衛星服務用 10.7GHz~11.7GHz 頻段等)。
	使用未經許可的頻率進行產業和日常無線服務的創新 <ul style="list-style-type: none"> · 為加強物聯網發展並確保額外的無線後傳頻率，擬將支援 Wi-Fi 7 的頻寬由 160MHz 擴大至 320MHz，改善非授權無線網路的使用環境。 · 擴展產業和住宅無線服務，如無線精確定位(UWB)、植入式醫療器械(401~406MHz)。
增強對公眾安全的公共無線網絡	加強災害/安全和國防/安全的頻率供應。 <ul style="list-style-type: none"> · 例如洪水預警系統專用頻段(15~17GHz 中約 40MHz 的頻寬)、地面探測雷達專用頻段、用於無人機或機器人的軍民聯合使用頻段等。

四大策略	具體措施
頻率使用制度 創新	導入簡易頻率使用系統，並探討分時、分地的頻率聯合使用制度等。 • 頻率使用系統主要用於非固定位置的臨時使用頻段，如無人機及無線麥克風等。

資料來源：MSIT(2024)，本計畫整理

由於目前三家電信公司正在使用的3G 頻段(2.1GHz 共20 MHz)、4G LTE 頻段(包含800MHz、900MHz、1.8GHz、2.1GHz、2.6GHz 共約350 MHz)將於2026年屆期，5G 頻段(3.7GHz 共300 MHz)於2028年屆期，故共有670 MHz 頻率範圍即將面臨收回或重新釋出。目前正視用戶數量、流量使用情形、通訊服務供應商需求，綜合考量未來頻譜使用或重新分配的機制，有關2026年的3G、4G 頻譜再釋出規劃預計於2025年6月前公布；2028年除了屆期的5G 頻譜之外，同時討論是否需要額外分配5G 頻率(例如3.5 GHz 相鄰頻段和低頻段頻率)，以及3.7GHz 若要釋出，是否可允許多個運營商競爭性參與，同時又不損害寬頻的高實用價值。但由於每位5G 用戶的平均每月數據使用量停滯在20GB 左右，故仍需持續評估使用需求，5G 頻譜再釋出相關規劃預計於2027年11月前公布。

四. 新加坡

(一) 電信市場現況

新加坡土地面積約700平方公里，人口密度約為每平方公里8,332人，同時約有100%之人居住於都會區。創造28.4億美元¹²⁵之電信市場規模。

從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，新加坡每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自73.1上升至122，¹²⁶近五年趨勢與台灣相當接近；另自2018年至2023年之5年期間，新加坡行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自1.13%降至0.63%，呈現較明顯的下降趨勢。¹²⁷

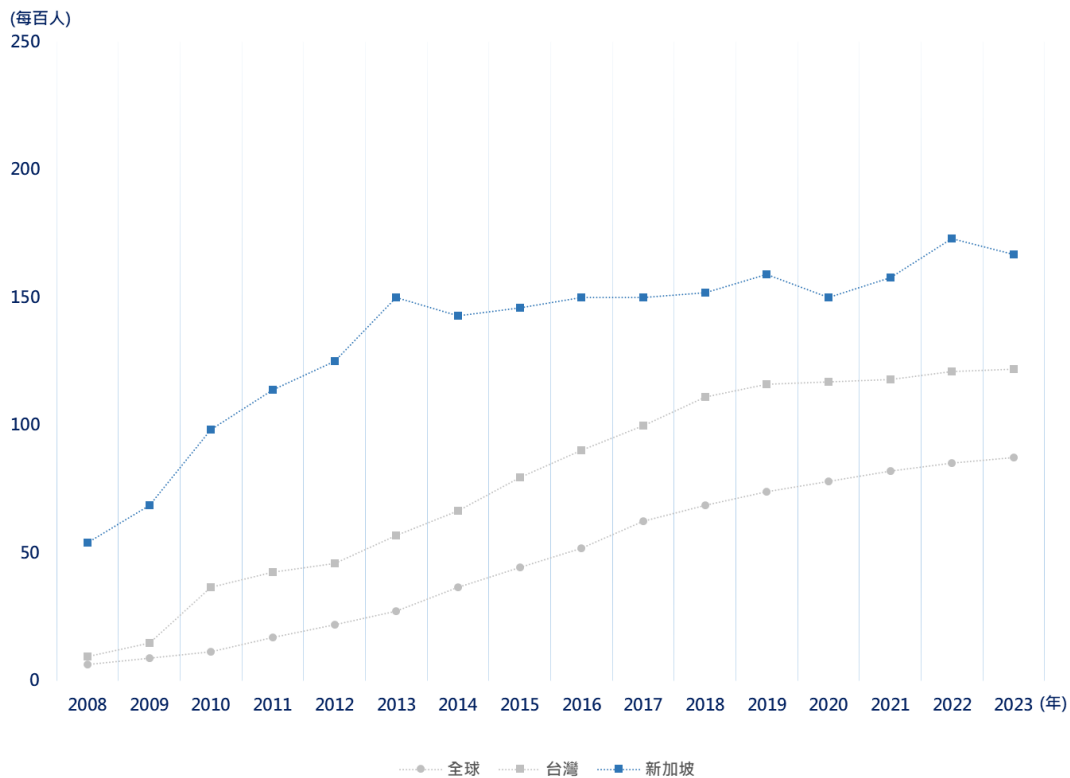


圖 2-17 新加坡每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

¹²⁵Mordorintelligence, Singapore telecom market size, 2023 年之資料，

<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/singapore-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/12/3

¹²⁶ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日

<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹²⁷ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日

<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

(二) 行動通信營運商現況

新加坡主要有四家行動通信營運商，其市占率分別為 Singtel 50%、Starhub 32%、M1 17%與 SIMBA Telecom(前身為 TPG) 1%。¹²⁸而其頻譜核配如下圖：

表 2-9 新加坡行動通信營運商頻譜核配表

新加坡營運商 頻譜(Mhz)	M1	Singtel	TPG	Starhub	M1+StarHub	總計	
1Ghz 以下	700	-	40	-	-	40	
	800	-	-	-	-	0	
	900	10	20	20	10	60	
	小計	10	60	20	10	0	100
1-6 Ghz	1800	40	60	-	50	-	150
	2100	-	50	20	10	40	120
	2300	-	-	40	-	-	40
	2500	40	55	50	20	-	165
	3500	-	100	-	-	100	200
小計	80	265	110	80	140	675	
毫米 波	28000	800	800	800	800	0	3200
總計	890	1125	930	890	140	3975	

資料來源：IMDA、本計畫整理

Singtel 作為市佔率最高之營運商，無論於1GHz 以下獲1-6GHz 均核配較多之頻譜，而值得注意的是，縱然 SIMBA Telecom 之市場占有率較低，仍持有相當數量1-6GHz 頻譜以供未來成長。

新加坡2020年起陸續釋出5G 頻段並課予2025年5G SA 100%全覆蓋的義務。經由國家計畫之推動，已為5G SA 網路之需求創造良好之使用條件。至2022年已提前實現全國5G SA 95%地理覆蓋。

¹²⁸ 2023 資料。Samantha Chiew (2024). Is the Singapore telco market heading for a consolidation?

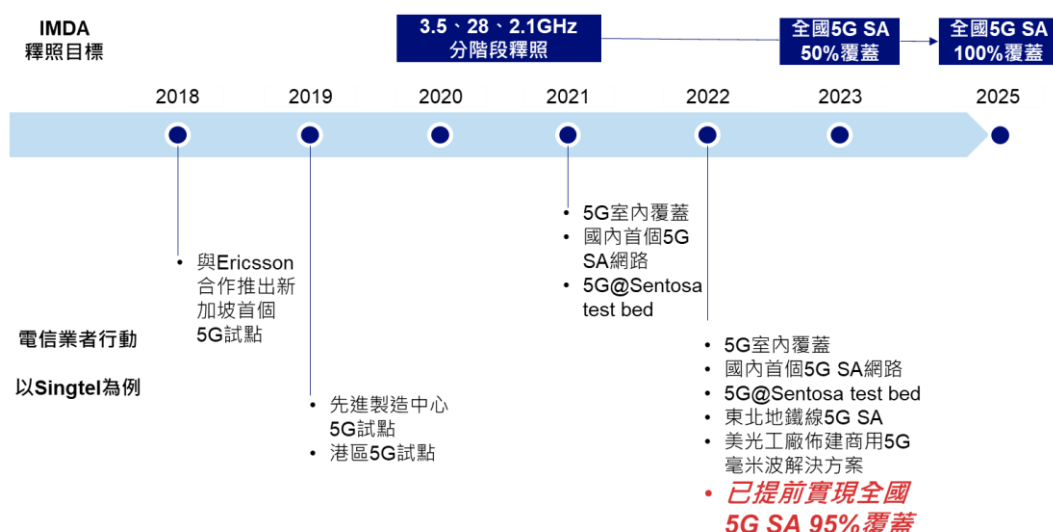


圖 2 -18 新加坡 5G 釋照佈建義務及 Singtel 實際推動情形

資料來源：ITU，本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

新加坡主要由資訊通信媒體發展局 (Infocomm Media Development Authority, IMDA) 主管電信事務。並依據1999年《電信法》(Telecommunications Act 1999) 5A 章節無線通訊規則(Radio-Communcation Regulations)進行頻譜管理。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

依據 IMDA 頻譜管理手冊(Spectrum Management Handbook)，新加坡之頻譜分配參考 ITU 全球頻率分配表與邊境協調規費，並考慮政策目的繪製頻率分配表。

(2) 頻率核配

早期頻率核配多採行政管理手段，惟隨著電信自由化發展，行政手段已無法滿足頻率有效利用需求，因此部分用途之頻譜釋出改採拍賣制度(例如商用行動通訊)。新加坡之頻率核配分為三種類型(長期獨家、長期在地共享、短期共享)，長期獨家核配授予頻譜

使用人排他利用¹²⁹之權利，主要用於公共需求普及覆蓋；長期在地共享則適用於短距離設備使用、私用無線通訊使用；短期共享則限於90日內之臨時性需求，如系統測試或展覽。新加坡之商用行動通訊具有特許制之特色，僅分配頻譜予行動通訊執照持有人或稱指定持牌人(Facilities-Based Operations, FBO)，在非競爭性頻段如公共地面中繼式無線電服務(Public trunked radio service)採取行政審議，審查申請人之網路設施規劃、覆蓋、容量、完整度、技術使用等資訊¹³⁰。在競爭性頻段如3G、4G採取拍賣形式核配，以2022年5G 2.1GHz頻譜競拍為例¹³¹，當年因應Covid-19疫情，故採用遠端投標方式進行兩階段投標，第一階段採用價格鐘，第二階段採用密封投標，盡可能保持各FBO已於3G取得頻段之連續性，最後由IMDA計算各FBO或核配頻寬與價格(本計畫將其歸類為改良型CCA)。

2. 頻率定價

依據無線通訊規則第7條規定，受頻率核配者潛在應繳納費用包含拍賣金、招標金(tender)、預先或事後協商決定核配¹³²費用(By allocation for a pre-determined fee or a negotiated fee)依據頻譜管理手冊，私人行動通訊(專網)、地面固定業務、短期使用需按照使用時間長短、排他性與否、使用頻寬需繳納100至44,500新幣之頻率使用費¹³³。而拍賣金部分，為保持頻段連續性，IMDA設計優先承買價格。以2022年5G 1.2GHz頻譜競拍為例，非優先承買頻譜價格每段(5MHz)為1,550萬新幣，優先承買價格為300萬新幣¹³⁴。

¹²⁹ 惟IMDA仍可能在不干擾情況下允許低功率共享使用

¹³⁰ IMDA(2022).Spectrum Management Handbook

¹³¹ 該年度因應Covid疫情，採用遠端投標

¹³² 原文用Allocation，為免國際案例用與混淆，本計畫統一採用我國法規用語。

¹³³ 另需繳納基地台執照費

¹³⁴ IMDA(2023).Auction of 2.1 GHz Spectrum Rights (2022) for 5G

3. 頻率彈性使用-次級交易

依據無線通訊規則第12條與第13條規定，獲核配頻率人得在 IMDA 批准下與他人共享頻譜或進行頻譜交易，同時 IMDA 得針對交易行為設定附款、或要求更換核配人。

(四) 頻譜未來規劃

新加坡現行頻譜中，最早屆期之頻譜為1800MHz 與2500MHz 之頻譜，將於2030年屆期，其餘頻譜將於2033年至2039年屆期。同時 IMDA 制定無線電頻率總體規劃(目前仍在更新中)(Radio Spectrum Master Plan)更新頻譜使用與技術之趨勢，推動頻譜分配與核配政策之發展，並以頻譜管理手冊(Spectrum Management Handbook)指引利害關係人頻譜申請與使用。

五. 香港

(一) 電信市場現況

香港土地面積約1,050平方公里，人口密度約為每平方公里7,062人，同時約有95.29%之人居住於都會區。創造76.1億美元¹³⁵之電信市場規模。

香港電信市場規模為28.4億美元¹³⁶，從用戶面觀察，2009年至2023年期間，香港每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為33.5上升至114；¹³⁷另自2018年至2023年之5年期間，香港行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.17%降至0.09%。¹³⁸

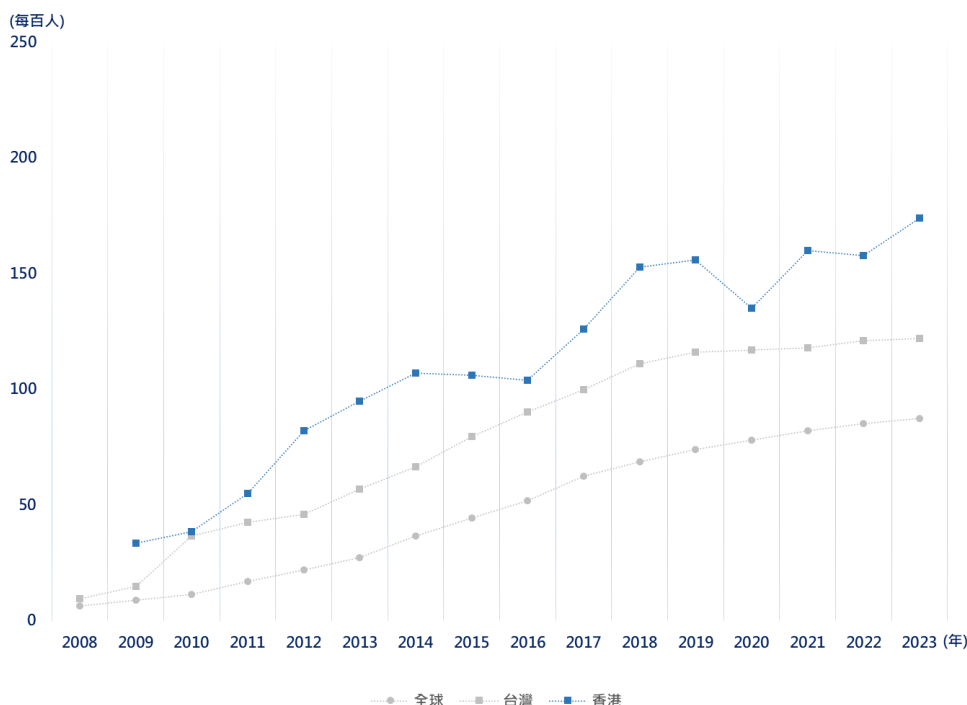


圖 2 -19 香港每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

¹³⁵Mordorintelligence, Hong Kong telecom market size, 2024 年預測資料, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hong-kong-telecom-market/market-size>, 最後閱覽時間 2024/6/26

¹³⁶Mordorintelligence, Hong Kong telecom market size, 2024 年預測資料, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hong-kong-telecom-market/market-size>, 最後閱覽時間 2024/6/26

¹³⁷ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹³⁸ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

(二) 行動通信營運商現況

香港有四家主要行動通信營運商，其市場占有率分別為中國移動香港 China Mobile Hong Kong(以下簡稱 China Mobile HK)34%、香港電訊(以下簡稱 HKT)33%、和記電訊香港控股(以下簡稱 Hutchison)15%與數碼通(以下簡稱 SmarTone)18%。¹³⁹。以下為其頻譜核配情形，四家營運商於1GHz 以下之頻寬相似，而1-6GHz 之頻寬有較大差異，HKT 與 China Mobile HK 為服務較多用戶取得較大頻寬。

表 2 -10 香港行動通信營運商頻譜核配表

香港營運商		SmarTone	HKT	China Mobile HK	Hutchison	GBL (Hutchison 與HKT合資)	總計
頻譜(Mhz)							
1Ghz 以下	700	10	20	20	20	-	70
	850	25	-	-	10	-	35
	900	10	20	10	10	-	50
	小計	45	40	30	40	-	155
1-6 Ghz	1800	40	40	40	30	0	150
	1900/2000	19.8	-	19.6	9.8	-	39.4
	2300	-	-	40	-	-	40
	2500/2600	20	60	40	10	10	140
	3300	20	30	20	30	-	100
	3500	60	60	60	60	-	240
	4900	40	40	40		-	120
小計	199.8	230	259.6	139.8	10	839.2	
毫米波	26000/28000	600	600	600	600	-	2400
總計		844.8	870	889.6	779.8	10	2794

資料來源：通訊事務管理局、本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

香港主要由通訊事務管理局辦公室主管電信事務。並依據香港電訊條例進行電信事務監理與頻譜資源管理。依據電訊條例第32G 條、第32H 條規定，通訊事務管理局辦公室

¹³⁹ 2021 年資料。DBS Group Research (2022) . Hong Kong Telecom Sector

負責管理、分配、核配頻譜資源，並應衡量資源之有效利用，訂有無線電頻譜政策綱要¹⁴⁰。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

香港電訊條例第 32H 條授予通訊事務管理局辦公室編制頻率分配表¹⁴¹之權力，通訊事務管理局可在進行利害關係人諮詢後進行頻率分配，繪製有頻率劃分表、無線電頻率劃分圖、頻率供應表。

(2) 頻率核配

依據香港電訊條例第 32H(1)，通訊事務管理局辦公室有權進行無線電頻率核配。依據無線電頻譜政策綱要，在頻率核配方面，由於頻譜有潛在競爭性需求，除非有公共政策考量，否則傾向採用市場主導的模式。目前香港商用行動通訊除 2019 年因 26、28GHz 容量充足無競爭性需求採用行政指配外，皆採用拍賣形式釋出。26、28GHz 之指配分為共享頻譜與非共享頻譜兩種，其中共享頻譜主要提供地區性使用，非共享頻譜分配予三大行動通訊經營者 400MHz。拍賣部分以 2019 年 3.5GHz 為例，採取兩年投標制，先進行區域頻段數量競標¹⁴²，再進行價格競標¹⁴³(本計畫將其歸類為簡化 CCA 機制¹⁴⁴)。

2. 頻率定價

香港電訊條例第 32I 規定通訊事務管理局得指定頻率使用費，計算方法包含市場基礎之拍賣或行政基礎之監理成本等等；依據無線電頻譜政策綱要，頻譜使用之制定以機會成本為原則，同時賦予通訊事務管理局辦公室調整空間。拍賣部分以 2021 年 700MHz 為例，其中一得標人和記電話有限公司為得標頻譜(703-708、758-763)之頻

¹⁴⁰ 通訊事務管理局辦公室，無線電頻譜政策綱要(2007)

¹⁴¹ 原文為中央登記冊，包含頻率資料、海事與衛星軌道之參數資料。

¹⁴² 詳參本計畫 CCA 拍賣機制

¹⁴³ 通訊事務管理局辦公室(2019). AUCTION OF RADIO SPECTRUM IN THE 3.5 GHz BAND FOR THE PROVISION OF PUBLIC MOBILE SERVICES(2019)

¹⁴⁴ 連續頻段之規劃，非由 CCA 投標機制運算，而由通訊事務管理局辦公室裁量。

率使用費為7,200萬港幣¹⁴⁵。

3. 頻率彈性使用-次級交易

香港電訊條例未定有頻率轉讓、租賃等次級交易條款，且同法第32A條訂有未獲授權使用頻率之罰則，香港禁止頻譜次級交易。

(四) 頻譜未來規劃

依據無線電頻譜政策綱要，香港通訊事務管理局辦公室3年期之頻率釋出計畫供利害關係人諮詢。2024-2026年之頻譜釋出計畫規劃釋出900MHz頻段20MHz頻寬(2026年釋出)、2.3GHz頻段90MHz頻寬(2027年釋出)、2.5與2.6GHz頻段共50MHz頻寬(2028年釋出)，並預計提供6GHz、24-28GHz、39.5-43.5GHz頻段供未來行動通訊使用。而目前正於本月(2024年11月)進行900MHz、2.3GHz、6GHz、7GHz之拍賣作業。

¹⁴⁵通訊事務管理局辦公室(2021). 600兆赫、700兆赫、850兆赫、2.5/2.6吉赫及4.9吉赫頻帶的頻譜拍賣順利完成

六. 中國大陸

(一) 電信市場現況

中國大陸土地面積約938.8211萬平方公里，人口密度約為每平方公里151人，同時約有66.2%之人居住於都會區。創造4,920億美元¹⁴⁶之電信市場規模。

中國大陸電信市場規模為4,920億美元¹⁴⁷，從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，中國大陸每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自0上升至114¹⁴⁸；另自2018年至2023年之5年期間，中國大陸行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.91%降至0.58%。¹⁴⁹

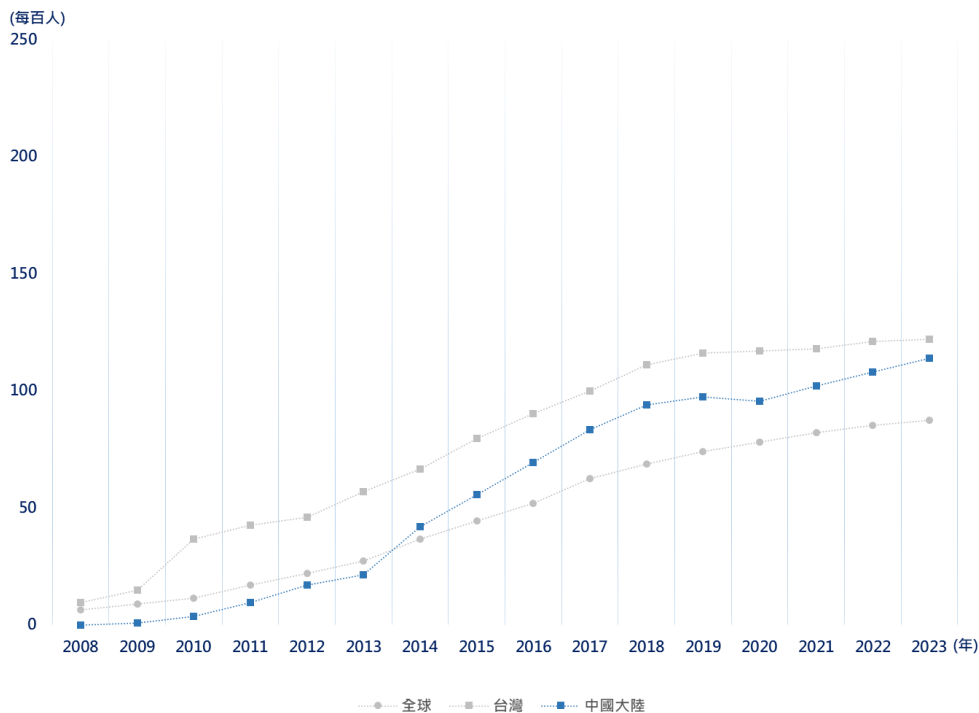


圖 2 -20 中國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

¹⁴⁶Mordorintelligence.China Telecom Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)，2024 年預測資料，<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/china-telecom-market>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁴⁷Mordorintelligence.China Telecom Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)，2024 年預測資料，<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/china-telecom-market>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁴⁸ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹⁴⁹ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

(二) 行動通信營運商現況

中國有四家行動通信營運商分別為中國移動、中國電信、中國聯通與中國廣電，其中中國移動擁有58%之市占率，而中國廣電係2022年始開始服務之新進業者。四家電信之頻譜核配情形如下表，中國廣電做為新進業者目前僅以700MHz 與4900MHz 進行網路佈建，同時其於1GHz 以下頻譜獲得較多頻寬，預期將更容易達成覆蓋。

表 2-11 中國行動通信營運商頻譜核配表

中國營運商 頻譜(Mhz)		中國移動	中國電信	中國聯通	中國廣電	總計
1Ghz以下	700	-	-	-	60	60
	800	-	20	-	-	20
	900	15	-	22	-	37
	小計	15	20	22	60	117
1-6 Ghz	1800	50	40	60	-	150
	1900	40	-	-	-	40
	2000	15	-	-	-	15
	2100	-	40	50	-	90
	2300	50	-	20	-	70
	2600	160	-	-	-	160
	3300	-	100	100	-	200
	3500	-	100	100	-	200
	4900	100	-	-	60	160
	小計	415	280	330	60	1085
毫米波		無				
總計		430	300	352	120	1202

資料來源：工業信息化部、湖南工業信息化廳、本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

中國大陸主要由工業和信息化部與中華人民共和國國家新聞出版廣電總局主管電信事務。並依據中華人民共和國電信條例進行電信事務監理與頻譜資源管理。依據同法第26條國家對電信資源統一規劃、集中管理、合理分配、實施有償使用制度。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

中華人民共和國電信條例第 28 條第 1 項規定，分配電信資源應考慮資源規劃、用途、預期服務能力，同時工業和信息化部訂有第 62 號令中華人民共和國無線電頻率劃分規定，其中第一條即明訂為充分、合理、有效運用無線電頻率資源，參考 ITU 無線頻率分配規則與國內實際發展情形，制訂頻率分配表¹⁵⁰。

(2) 頻率核配

中華人民共和國電信條例第 28 條第 2 項，無線電頻率之核配¹⁵¹得採取指配方式或拍賣方式，惟實際上，依據工業和信息化部第 40 號令中國無線電頻率使用許可管理辦法，多採指配制釋出頻譜使用許可，並依據同法第 5 條、第 6 條審議資格、財務、技術等條件，並繳交頻率佔用費。

2. 頻率定價

在中國大陸，使用無線電頻率需繳交頻率佔用費，依據 1998 年無線電管理收費規定，公眾行動通訊佔用費之全國使用標準為每年 1,500 萬元人民幣/MHz(商用衛星使用為每年 500 萬元人民幣/MHz)¹⁵²、省內使用為每年 150 萬元人民幣/MHz。同時依據 2018 年，國家發展改革委財政部關於無線電頻率佔用費標準等有關問題通知，為鼓勵 5G 通訊技術發展，3GHz 以上頻譜佔用費下修，3GHz-4GHz 降為每年 500 萬元人民幣/MHz、4GHz-6GHz 降為每年 300 萬元人民幣/MHz、6GHz 以上降為每年 50 萬元人民幣/MHz，同時自 2018 年開始，前 3 年免繳交頻率佔用費，第 4 年至第 6 年，分別按照 25%、50%、75% 之費率收取¹⁵³。

¹⁵⁰ 國務院公報(2023)

¹⁵¹ 原文使用分配

¹⁵² 西双版纳傣族自治州人民政府(2021). 频率占用费收费依据及标准

¹⁵³ 中華人民共和國國家發展改革委員會(2018). 國家發展改革委財政部關於無線電頻率佔用費標準等有關問題通知

3. 頻率彈性使用-次級交易

中國大陸之頻譜次級交易採原則禁止例外許可之制度。依據中華人民共和國電信條例第28條第3項規定，未經國務院通訊事務主管部門或政府單位核准不得擅自使用、轉讓、出租或改變電信資源用途；亦即若經過政府單位核准，尚有次級交易之可能。

(四) 頻譜未來規劃

中國大陸之頻率計畫於5年計畫(中华人民共和国国民经济和社会发展五年规划)中發布，繼第13個5年計畫《2016-2020國家無線電管理規劃》¹⁵⁴著重衛星頻率之提供與頻譜監理後，中國大陸第14個5年計畫之《十四五國家無線電管理和發展規劃》著重頻譜效率與全球頻譜國際合作。較特別的是，中國之頻譜無固定核配期限，僅規定執照期滿10年應申請換照，業者亦會自行申請頻譜重耕。例如2022年，中國聯通即獲得許可將900MHz 重耕用於5G 系統。¹⁵⁵

¹⁵⁴ 中華人民共和國國家發展改革委員會(2016).工业和信息化部关于印发国家无线电管理规划(2016—2020年)的通知

¹⁵⁵ C114 通信网 (2023). 工信部松绑 800MHz 频谱 5G 重耕！中国电信迎来重磅利好

七. 澳洲

(一) 電信市場現況

澳洲土地面積約768.23萬平方公里，人口密度約為每平方公里3人，同時約有86.36%之人居住於都會區。創造220億美元¹⁵⁶之電信市場規模。

澳洲電信市場規模為220億美元¹⁵⁷，從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，澳洲每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自18.2上升至109；¹⁵⁸另自2018年至2023年期間，澳洲行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.83%下降至0.42%。¹⁵⁹

活躍行動寬頻訂閱數顯著上升且行動資費顯著下降，顯見澳洲設立國家骨幹網路 NBN 公司之策略相當成功；此外 NBN 公司亦藉由商用衛星通訊之幫助滿足 NBN 公司之普及義務同時促進衛星通訊市場之蓬勃發展。

¹⁵⁶Mordorintelligence.Australia Telecom Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)，2024 年預測資料， <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/australia-telecom-market>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁵⁷Mordorintelligence.Australia Telecom Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)，2024 年預測資料， <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/australia-telecom-market>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁵⁸ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹⁵⁹ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

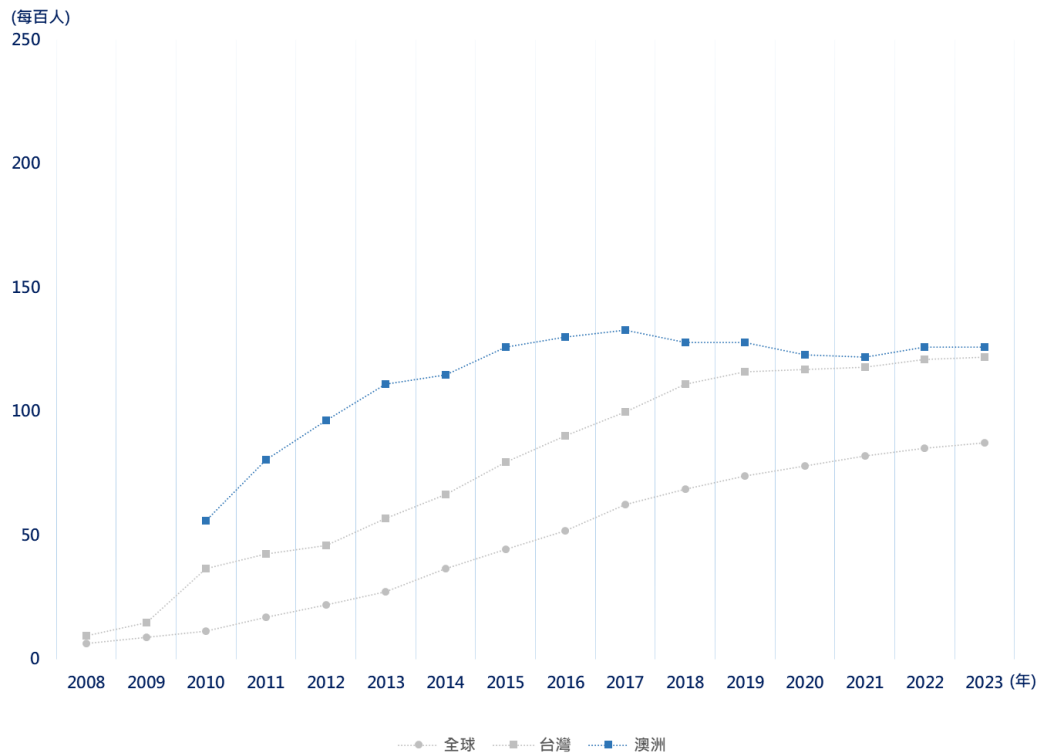


圖 2-21 澳洲每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

(二) 行動通信營運商現況

澳洲有三家主要行動通信營運商，根據 ACCC 之通訊市場報告，非使用 NBN 網路之零售市場佔有率分別為 Telestra 43%、Optus 29%、TPG 17%，另11%為 MVNO 之市場份額。¹⁶⁰另三大業者之頻譜核配情形如下表，TPG 之總頻譜量較少，而 Optus 與 Telestra 分別持有1GHz 以下與1-6GHz 最多之頻譜，將影響網路建置策略。

¹⁶⁰ 2022-2023 年資料。ACCC (2023) . Communications market report

表 2 -12 澳洲行動通信營運商頻譜核配表

澳洲營運商		Optus	Telstra(註1)	TPG(註2)	總計
頻譜(Mhz)					
1Ghz 以下	700	20	40	30	90
	850	-	22	-	22
	900	50	-	-	50
	小計	70	62	30	162
1-6 Ghz	1800 (註3)	43.8	42.3	21.5	107.6
	2500	40	80	20	140
	3600 (註4)	15.7	57.3	43.7	116.7
	小計	99.5	179.6	85.2	364.3
毫米波	26000 (註5)	706.7	900	520	2127
總計		876.2	1141.6	635.2	2653

註1:合併計算子公司Dense Air獲核配頻寬

註2:合併計算子公司Mobile JV獲核配頻寬

註3:1.8Ghz頻段共有13種地理分區，計算各業者平均於每地區獲得之頻寬。經四捨五入至小數點後第一位。

註4:3.6Ghz頻段共有30種地理分區，計算各業者平均於每地區獲得之頻寬。經四捨五入至小數點後第一位。

註5:26Ghz頻段共有30種地理分區，計算各業者平均於每地區獲得之頻寬。經四捨五入至小數點後第一位。

資料來源：ACMA、本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

澳洲主要由澳洲通訊及媒體管理局 (Australian Communications and Media Authority, ACMA) 負責主管通訊事務。依據《1997電信法》(Telecommunications Act 1997) 與《1992無線通訊法》(Radiocommunications Act 1992) 進行電信及頻譜資源管理。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

澳洲 1992 無線通訊法第 2.1 部分第 30 條授予 ACMA 編制頻率分配計畫¹⁶¹之權力。而 ACMA 依據其自身制訂之五年頻譜規劃展望 (Five-Year Spectrum Outlook¹⁶²) 與 ITU 全球頻率規劃表制作澳洲無線頻

¹⁶¹ 原文為中央登記冊，包含頻率資料、海事與衛星軌道之參數資料。

¹⁶² 最新一期為 2023-2028 之規劃

率頻率規劃 (Australian Radiofrequency Spectrum Plan)。

(2) 頻率核配

ACMA 以授予頻譜執照 (Spectrum Licences) 之形式進行頻譜核配¹⁶³。依據無線通訊法第 60 條，無線頻率之核配共有 5 種形式，包含拍賣、投標 (審議)、預先決定價格或協商價格指配、直接指配、總合。實務上，在競爭性頻段 ACMA 主要以拍賣形式釋出頻譜。根據頻段特性與市場需求，ACMA 可能採取 SMRA、CCA¹⁶⁴ 或簡單價格鐘拍賣 (Simple Clock Auction, SCA) 與加強型 SMRA (Enhanced Simultaneous Multi-Round Ascending auction, ESMRA)。ESMRA 是在 SMRA 之基礎上增加價格鐘輪次，協助競拍者價格發現；與 CCA 之差別在於第一輪價格發現階段，競標者之組合投標得針對每段 (類別) 頻譜設定底價與價格鐘費率，總組合費用之計算相較 CCA 更簡單¹⁶⁵。以 2017 年 700MHz 頻譜拍賣為例，ACMA 即採 SCA 制度拍出 2 段頻譜，由 TPG 與 Vodafone Hutchinson Australia (已與 TPG 合併) 得標。

2. 頻率定價

依據無線通訊法第 67 條頻譜執照規費義務包含拍賣、指配價金與頻譜執照稅。拍賣價金部分以 2017 年 700MHz 零碎剩餘頻段拍賣結果為例，TPG 公司 738-748 MHz 與 793-803 MHz 頻段拍定價格為 12.6 億澳幣¹⁶⁶。

3. 頻率彈性使用-次級交易

無線通訊法第 68 條、第 85 條允許權利人授予他人使用及轉讓全部或部分使用執照權利。依據頻譜授予他人使用同法第 68A 條，ACMA 僅在違反 2010 年消費與競爭法

¹⁶³ 原文使用 Procedures for allocating spectrum licences，本計畫統一使用核配。此外尚有設備執照 (Apparatus licences) 與類別執照 (Class licences)，可能需取得始可使用頻譜。

¹⁶⁴ 建參本計畫關鍵議題研析

¹⁶⁵ ACMA，About spectrum auctions。 <https://www.acma.gov.au/about-spectrum-auctions#simple-clock-auction-sca>，最後閱覽時間 2024/06/27

¹⁶⁶ Office of Parliamentary Counsel, Canberra(2024). Radiocommunications Act 1992

(Competition and Consumer Act 2010)時介入管理；而轉讓全部或部分使用執照權利則需滿足第86條之登記 (Assignment)義務，且不得違反 ACMA 依據同法第88條規定之限制。

(四) 頻譜未來規劃

ACMA 發布《2024-2029頻譜展望》研擬長期頻譜規劃。預期雲端、邊緣運算、增強型網路等關鍵技術將推動5G寬頻、WiFi與衛星傳輸需求之增長。經盤點700MHz、850MHz、1800MHz、2GHz、2.3GHz、2.5GHz、2.5GHz、3.4GHz頻段有大量執照將於2028年至2032年屆期，ACMA將進行屆期頻譜之規劃，同時依據WRC-27議程，盤點4400-4800MHz頻段、7125-8400MHz與14.8-15.35 GHz等行動通訊候選頻段。針對低頻段頻譜(1GHz以下)，ACMA之工作重點在於在2027年至2028年將屆期之700MHz與850MHz頻段；針對中頻段頻譜(1GHz-6GHz)，ACMA之工作重點3.4-4.0GHz頻段之整理，規劃偏遠地區與都會地區等區域型授權，促進不同使用者間之和諧共用。而高頻段頻譜包含26 GHz、28GHz、40GHz、47GHz與100GHz在地面通訊與衛星通訊之應用，則持續關注國際規劃與新興商業模式之發展¹⁶⁷。

八. 英國

(一) 電信市場現況

英國土地面積約24.193萬平方公里，人口密度約為每平方公里286人，同時約有84.64%之人居住於都會區。創造359億美元¹⁶⁸之電信市場規模。

英國電信市場規模為359億美元¹⁶⁹，從用戶面觀察，2009年至2023年期間，英國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自

¹⁶⁷ ACMA(2024). Five-year spectrum outlook 2024–29 and 2024–25 work program

¹⁶⁸Mordorintelligence.UK Telecom Market Size (2024 - 2029)，2024年預測資料，<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/united-kingdom-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁶⁹Mordorintelligence.UK Telecom Market Size (2024 - 2029)，2024年預測資料，<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/united-kingdom-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/6/26

36.5上升為115；¹⁷⁰另自2018年至2023年期間，英國行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.54%下降至0.32%。¹⁷¹

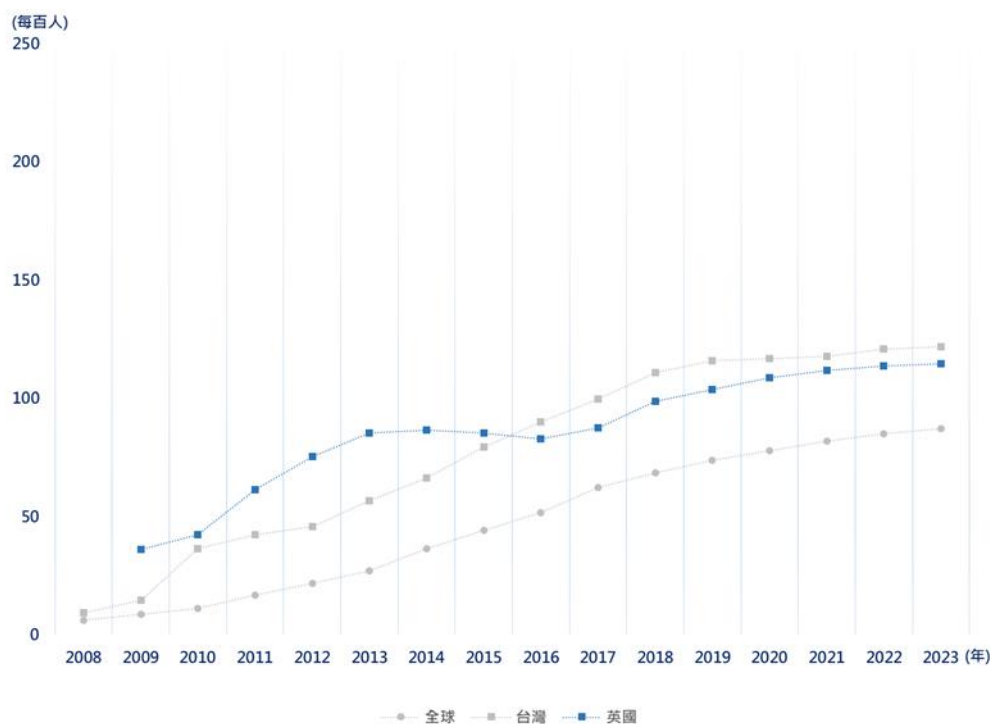


圖 2 -22 英國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

(二) 行動通信營運商現況

英國有四家主要行動通信營運商，其市占率分別為 EE 16%、Vodafone 18%、Hutchison 3G UK Limited(即品牌 Three UK，以下簡稱 Hutchison) 23%¹⁷²、Telefonica UK(即品牌 O2，以下簡稱 Telefonica) 15%。¹⁷³ Telefonica 擁有最多之1GHz 以下頻段，並與 Vodafone 共用20MHz 之頻譜。值得注意的

¹⁷⁰ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹⁷¹ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

¹⁷² 含其 MVNO

¹⁷³ 2024Q2 資料。Max Iannazzi (2024). Exploring the competitive headwinds facing Three in the UK mobile market. 資料源自 Opensignal.

是目前 Hutchison 計畫與 Vodafone 合併，正由主管機關審查中，可能改變英國之行動通訊市場與頻譜資源格局。

表 2 -13 英國行動通信營運商頻譜核配表

英國營運商 頻譜(Mhz)	EE	Hutchison	Telefónica	Vodafone	UK Broadband (FWA)	Vodafone與 Telefónica 共用	總計
1Ghz 以下	700	40	20	20	-	-	80
	800	10	10	20	20	-	60
	900	-	-	24.8	24.8	-	69.6
	小計	50	30	64.8	44.8	0	209.6
1-6 Ghz	1500	-	20	-	20	-	40
	1800	90	30	11.6	11.6	-	143.2
	2100	50	34.9	25	29.6	-	139.5
	2300	-	-	40	-	-	40
	2600	100	-	25	65	-	190
	3400	-	20	40	90	40	190
	3500	40	-	-	-	-	40
	3600	-	-	-	-	80	80
	3700	40	-	40	40	-	120
	3800	-	-	40	-	-	40
	3900	-	-	-	-	84	84
	小計	320	105	222	256	204	0
毫米 波	28000 (註)	-	-	96	208	320	672
	32000	252	-	-	-	-	252
	41000	-	-	-	-	1000	1000
	小計	252	0	96	208	1320	1876
總計	622	135	383	509	1524	20	3192.6

註:英國28Ghz頻段共有14種地理分區，計算各業者平均於每地區獲得之頻寬

資料來源：Ofcom、本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

英國主要由通訊管理局(The Office of Communications, Ofcom)主管電信事務。並依據2003年《通訊法》(Communications Act 2003)與2006年《無線電信法》(Wireless Telegraphy Act 2006)進行電信監理與頻譜資源管理。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

英國2006年《無線電信法》第2條授權Ofcom制定英國之頻率分配計畫，公平、合理且客觀的決定無線

頻率用途。依據同法第 3 條規定，制訂頻率分配計畫與核配頻率時¹⁷⁴應考慮頻譜供給需求、未來發展預期、有效管理、潛在利益、創新服務與電信市場競爭。

(2) 頻率核配

依據《無線電信法》第 8B 條，除非有權利保障、增進效率與公共利益之必要，Ofcom 不應授予排他使用之頻率執照¹⁷⁵。惟雖頻率執照為非排他使用，仍需獲得頻率核配者始得使用頻譜，因此 Ofcom 定有《無線電信執照授予規則 (The Wireless Telegraphy (Licence Award) Regulations)》進行頻譜釋出。以 2020 年規則為例，該年度釋出 700MHz 與 3.6GHz 之頻譜，並以兩階段進行競標；第一輪確定各區域之頻段得標數量，第二輪進行頻譜分核¹⁷⁶，較特別的是本次頻譜分配考慮相鄰頻段之效益，因此於 2020 年規則第 82 條定有鄰接協定，在第二輪頻譜核配時得將特定頻段分配予鄰接得標者。

2. 頻率定價

英國《無線電信法》第 12 條授予 Ofcom 收取頻率執照費用之權力；依據同法第 13 條，若非拍賣釋出之頻譜，Ofcom 得依據行政誘因定價與成本費用¹⁷⁷，同時非拍賣釋出之行動通訊頻譜(多為 900MHz、1800MHz)尚需繳納執照年費。拍賣釋出之頻譜則無需繳納上述費用僅需支付拍賣價金，以前述 2020 年 700MHz 與 3.6GHz 之頻譜拍賣為例(2021 年拍定)，頻寬 80MHz 之 700MHz 頻譜與頻寬 120MHz 之 3.6-3.8GHz 頻譜共拍得 13.8 億英鎊之價金。

3. 頻率彈性使用-次級交易與共存釋照

歐盟之政策為鼓勵頻率彈性使用。依據脫歐協議，英國仍遵守《歐洲電子通訊法典 (European Electronic

¹⁷⁴ 原文為 Ofcom 履行職責時。

¹⁷⁵ 指在考慮干擾因素後，Ofcom 得考慮釋出頻譜予不同用途使用者。

¹⁷⁶ 建參本計畫關鍵議題研析，CCA 投標機制(改良型)。

¹⁷⁷ 詳參本計畫關鍵議題研析

Communications Code) 》規範，依據同規範第45條第2項第(g)款與第4項第(d)款，分別規定各國應制定頻譜提供使用、轉讓、展延、撤銷之規定，以保持監理一致性與可預測性，並應確保頻率共享最大化。英國《無線電信法》第30條授權 Ofcom 訂定頻譜轉讓相關規則¹⁷⁸，並在同法第2項規定全部轉讓與部分轉讓權利(使用權)之形式。同時如前所述，英國未授予頻譜被授權人排他性權利，故除使用權轉讓外，Ofcom 尚推動共享接取執照(Shared access licences, SAL)¹⁷⁹與地區接取執照(Local Access licences, LAL)¹⁸⁰。

(1) 高頻段資源共享：共享接取執照(SAL)

共享接取執照受核配人使用 Ofcom 規劃之特定頻段，與其他使用者共同使用 1.8GHz、2.3GHz、3.8 至 4.2GHz、24.25-26.5 GHz。其中共享接取執照可以分為兩種模式；若使用低功率基地台，則執照以地區進行授權，在半徑 50 公尺之範圍內自由佈建；若使用中功率基地台，則執照以基地台位置進行授權，基地台與線路設備需佈建於指定位置¹⁸¹，以防止干擾。

(2) 閒置頻譜再利用：地區接取執照(LAL)

地區接取執照則使用核配予電信營運商之頻段，提供其他機構、團體(如法人協會、公司、地方政府、醫療機構、慈善團體、學校、宗教團體、社區利益團體)、甚至個人，在現有電信營運商未提供服務區域(如偏鄉)使用頻譜，增加偏鄉在網路覆蓋上的選擇。而為兼顧現有電信營運商權益，Ofcom 於釋出地區接取執照時將徵詢原核配人意見，原核配人得以正在進行服務建設為由反對，否則不得拒絕；同時為考慮未來原核配人之使用需求，原則上除非有特殊情

¹⁷⁸ 因此訂有 Wireless Telegraphy(Spectrum Trading)Regulation、Wireless Telegraphy(Mobile Spectrum Trading)Regulation、The Wireless Telegraphy (Recognised Spectrum Access and Licence)(Spectrum Trading)Regulations 等規定。

¹⁷⁹ 以 10 MHz 舉例需繳納 80 英鎊之年費

¹⁸⁰ 一次性費用 950 英鎊

¹⁸¹ Ofcom(2023). Shared access licences

況(例如原核配人同意)地區接取執照期限為三年¹⁸²，採固定租金方式付費使用。

法制背景		英國2006年無線電信法第8B條: 除非有權利保障、增進效率或公共利益必要，Ofcom 不應授予排他使用之頻率執照	
釋照模式	共享型頻段	高頻段頻譜適合共享 • 中低頻段難滿足未來新興應用需求 • 高頻段頻譜 覆蓋範圍小 ，更有助於 防止干擾	閒置頻譜再利用
		共享接取執照(Shared Access License, SAL)	地區接取執照(Local Access License, LAL)
使用頻段	指定頻段，包含： 1.8Ghz、2.3Ghz、3.8-4.2Ghz、24.25-26.5 Ghz		已核配予行動通訊營運商之頻段
執照範圍	• 低功率基地台:半徑50公尺之範圍 • 中功率基地台:指定位置		行動通訊營運商未營運且短期內 未有營運計畫 地區:
執照期限	無特定期限 ，惟Ofcom得因執照持有人違反規定或無線電頻率管理政策改變得修正、撤銷		為保障行動通訊營運商權利，以 3年 為原則
干擾防止	• 限制傳輸條件、無線電線路設備審查與檢查 • 規定被授權人彼此需建立聯繫管道 並合作，必要時需調整傳輸條件設定以防止干擾		授權其他業者(法人協會、公司、地方政府、醫療機構、慈善團體、學校、宗教團體、社區利益團體、甚至個人)，許可期為 3年 ，固定租金，MNO無正當理由不得拒絕。
應用	低功率 :電信營運商現有頻譜之 補充 中功率 :用於 5G專用網路、新興應用建設		因 3年期限短 ，投資回報不明確因此 使用有限

圖 2-23 英國提高頻譜利用效率之制度

資料來源：英國 Ofcom，本計畫整理

(四) 頻譜未來規劃

英國之頻譜執照並無固定屆期期限，僅規定最早可收回時間，若 Ofcom 未於收回頻譜5年前進行相關通知，則業者得持續使用頻譜，目前900MHz、1500MHz、1800MHz、2100MHz、2600MHz 頻譜均已無最早可收回時間規範，惟 Ofcom 尚未進行收回通知。而 Vodafone 3700MHz-3720MHz 之頻譜為配合頻譜規畫，Ofcom 已通知於2025年收回。

Ofcom 於2020年發布英國《2020年代頻譜管理策略》(Our spectrum management strategy for the 2020s)，針對未來無線

¹⁸² Ofcom(2024). Local Access licences

解決方案的不同需求趨勢，在整體策略方面可看到 Ofcom 的頻譜管理策略也更重視促進商業模式的多元可能性，以支持無線技術創新，並揭示了未來除了全國以外，必須有更多的區域許可模式，透過各種方式促進頻譜資源共享，並持續精進共享條件及技術。

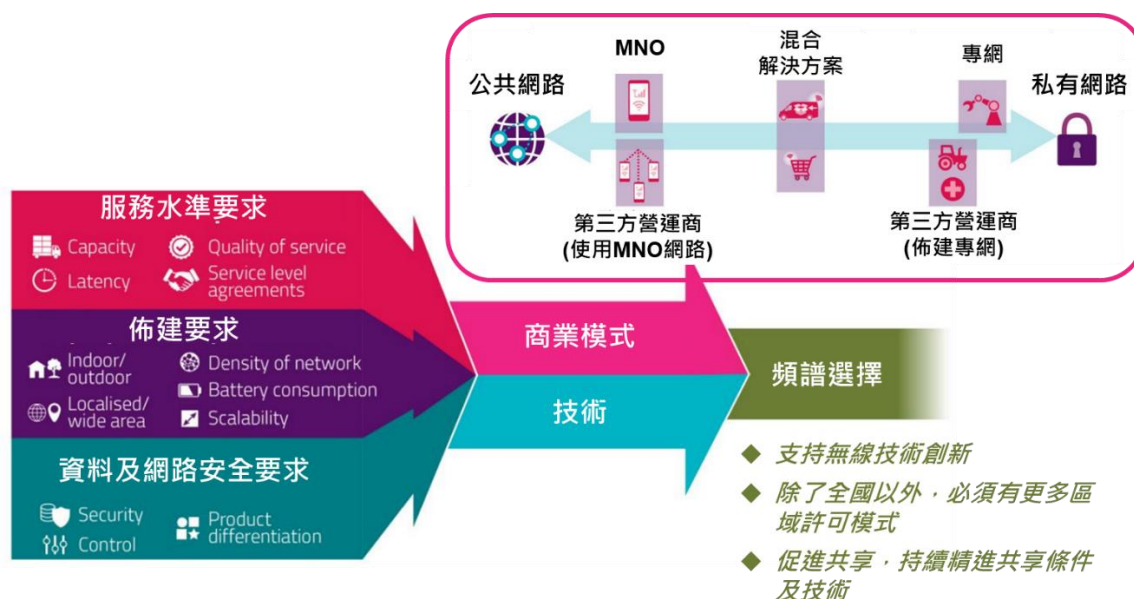


圖 2-24 《2020 年代頻譜管理策略》規劃觀點

資料來源：英國 Ofcom，本計畫重製

其後進一步發布《下世代無線電寬頻頻譜管理》(Spectrum Management for Next Generation Wireless Broadband)，預估固定無線接取、交通、無人機將推動英國未來之無線傳輸需求，Ofcom 正積極研究頻譜共享方法增進頻譜靈活性與尋求非地面網路補充無線通信網路之應用¹⁸³。

另根據2023年4月英國科學、創新和技術部(DSIT)發布之《英國無線基礎設施戰略》，英國為達2030的經濟競爭力目標，須由無線網絡提供商投資5G 和 Wi-Fi 6、7等技術提

¹⁸³ Ofcom(2023). Spectrum Management for Next Generation Wireless Broadband

高公共5G 網絡和專網覆蓋，並使企業、公部門和消費者大規模應用新技術。

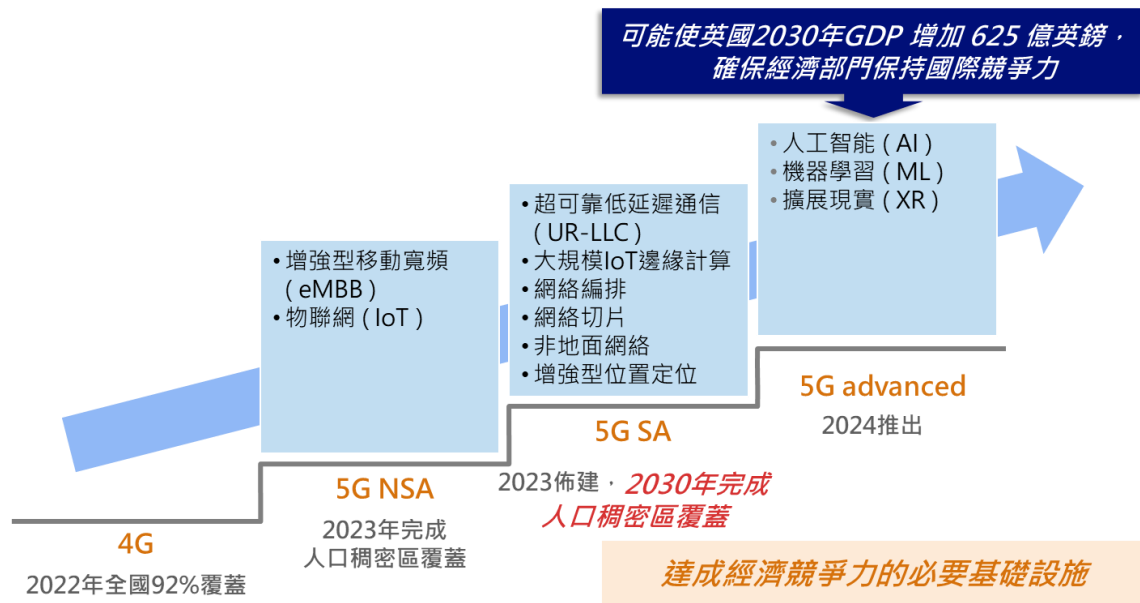


圖 2 -25 《英國無線基礎設施戰略》目標設定

資料來源：英國 DIST，本計畫整理

九. 德國

(一) 電信市場現況

德國土地面積約34.856萬平方公里，人口密度約為每平方公里243人，同時約有77.38%之人居住於都會區。創造815.2億美元¹⁸⁴之電信市場規模。

德國電信市場規模為815.2億美元¹⁸⁵，從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，德國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自16.8上升為94.4；¹⁸⁶另自2018年至2023年期間，德國行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.56%下降至0.33%。¹⁸⁷

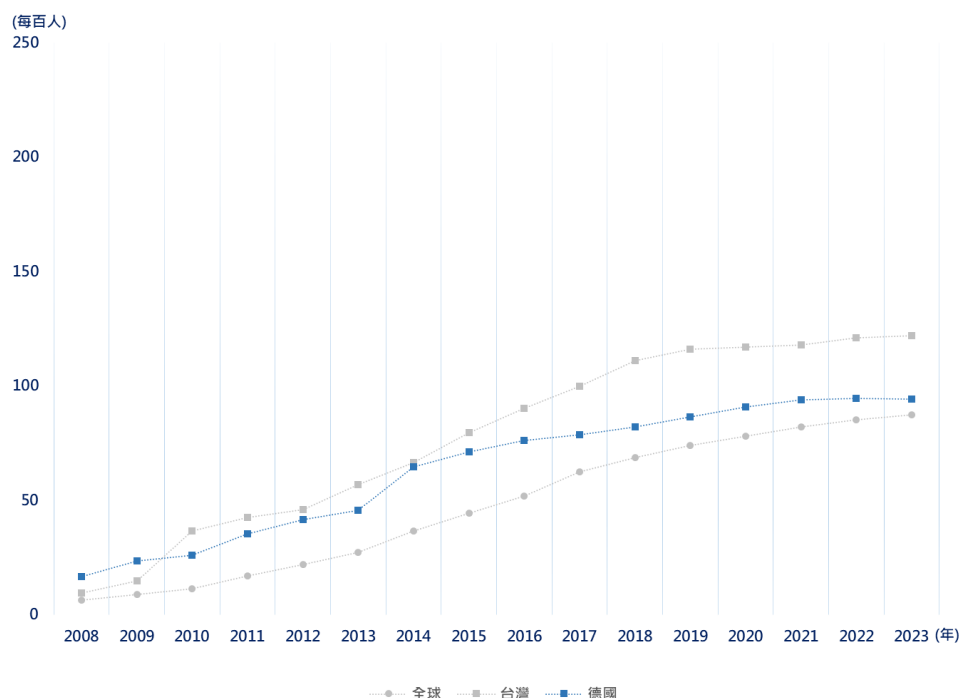


圖 2 -26 德國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

¹⁸⁴Mordorintelligence.Germany Telecom Market Size，2023 年資料，
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/germany-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁸⁵Mordorintelligence.Germany Telecom Market Size，2023 年資料，
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/germany-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁸⁶ ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹⁸⁷ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024 年 8 月 6 日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

(二) 德國行動通信營運商現況

德國有四家行動通信廠商，包含三家主要業者其市占率分別為 Telekom 32%、Vodafone- 41%、Telefónica 26% 與新進 MVNO 業者 Drillisch(1&1)。三大業者無論 1GHz 以下、1-6GHz 或總體頻寬均無太大差異，而為顧及 Drillisch(1&1) 之頻譜需求，德國進行 800MHz、1800MHz 頻段頻譜展延時，特別要求三大營運商提供 Drillisch(1&1) 漫遊接取。

表 2-14 德國行動通信營運商頻譜核配表

德國營運商 頻譜(Mhz)		Drillisch (1&1)	Telefónica	Telekom	Vodafone	總計
1Ghz 以下	700	-	20	20	20	60
	800	-	20	20	20	60
	900	-	20	30	20	70
	小計	0	60	70	60	190
1-6 Ghz	1500	-	20	-	20	40
	1800	-	40	60	50	150
	2100	-	54.3	40	40	134.3
	2600	-	80	45	65	190
	3400- 3800	50	70	90	90	300
	小計	50	264.3	235	265	814.3
毫米波		無				
總計		50	324.3	305	325	1004

資料來源：Bundesnetzagentur、本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

德國由聯邦網路局(Bundesnetzagentur, Bnetza)主管電信事務。並依據德國電信法(Telekommunikationsgesetz, TKG)進行電信監理與頻譜資源管理。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

Bnetza 依據 TKG 第 89 條授權發布頻率分配計畫條例 (Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung, FreqBZPV) 並進行制作無線電頻率分配表，依據 TKG 第 89 條，Bnetza 進行頻率分配時應考慮國家安全、ITU 規則與技術發展，同時應遵守歐盟指令 (EU)2018/1972 之規範。

(2) 頻率核配

TKG 之頻譜分為排他核配與非排他核配兩種；非排他核配係基於 TKG 第 91 條第 2 項，同時核配予多人使用。排他核配則係基於同條第 3 項，在無法進行非排他核配時，考量無線頻率特性、防止干擾需求、頻率共用之可行性、品質與技術確保、資源有效利用、歐盟整體利益等條件，核配排他使用執照。

排他使用之核配依據 TKG 第 91 條第 3 項與第 4 項係基於當事人之申請提出(即指配)，而同條第 9 項規定，當無足夠頻率分配(有超額需求時)，則應使用 TKG 第 100 條之流程。TKG 第 100 條規定主管機關在技術發展與市場競爭情形後(應公布)得選擇同條第 5 項之拍賣或第 6 項審議流程進行頻譜核配。依據同條第 4 款規定，無論採用拍賣或審議流程，均應事先確保投標人具有完成頻率使用之能力。拍賣規則以 2019 年 5G 之 2GHz、3.6GHz 拍賣為例，使用 SMRA 拍賣制度。

另根據 TKG 第 92 條第 5 段規定，在擴展頻率分配時，聯邦網路局可以根據第 99 條維持、撤銷、更改或重新定義頻率使用的類型和範圍以及附加規定，以確保實現以下監管目標：

- 保護用戶，特別是消費者在電信領域的利益(TKG 第 2 條第 2、3 款)。
- 確保城市和農村地區電信領域的同等生活條件(TKG 第 2 條第 2、3 款)。
- 確保頻率的高效率和無干擾使用(TKG 第 88 條與第 2 條第 2 款)。
- 為聯邦的所有最終用戶提供高品質、高效能、全面且不間斷的無線語音和數據服務，特別是農村地區的寬頻覆蓋和可用服務品質(TKG 第 87 條第 1、2 款)。
- 保證所有最終用戶至少在聯邦高速公路沿線、公路路網以及所有鐵路和水路上透過公共行動通訊連續、不間斷地存取語音和寬頻數據服務(TKG 第 87 條第 1 款)。

由於德國期望於 2026 年以後進行頻率分配計畫調整，並計畫於 2030 年後依計畫進行核配。但目前三大電信營運商使用 1GHz 進行普及覆蓋，有繼續使用的需求，若於 2025 年進行頻譜拍賣，僅能提供 5 年期限，不符合市場實際需求，故先展延現有頻段。

由於展延頻段多為低頻，有利於 5G 覆蓋。而 2024 年雖德國整體 5G SA 地理覆蓋已達 9 成，惟考量個別業者建設進程仍有待精進，如 Telekom(5G SA 覆蓋 81.09%)與 Telefónica(5G SA 覆蓋 64.87%)幾乎以 5G SA 作覆蓋；Vodafone 以 5G NSA 為主(5G SA 覆蓋僅 27.72%);1&1 則大多為 5G 漫遊，故展延義務包含了偏鄉覆蓋、交通路線覆蓋及相應之通訊速率要求。促進競爭方面，將要求確保新進業者或服務提供者(1&1¹⁸⁸)之共享使用權利。

¹⁸⁸ 1&1 Kommunikation GmbH 原 MVNO 與固網業者，2019 參與 5G 頻段拍賣而進入市場。

核配類型	一般頻譜核配-TKG第91條		展延-TKG第92條
	非排他核配	排他核配	
核配類型	一般情況下此用此方式 依職權進行核配	<ul style="list-style-type: none"> 在無法進行非排他核配情況下進行 若沒有足夠的頻率供分配，則進行拍賣或審議。 	<ul style="list-style-type: none"> 一般而言，頻譜應遵守頻譜期限 頻譜期限應考量適合用途與必要投資回報
考量因素	若無其他考量應採取本方法	<ul style="list-style-type: none"> 無線電頻率需求的特性 防止干擾的需要 頻譜共用可能性 確保通信服務品質 無線電頻率使用效率 符合歐盟法律的目標 	<ul style="list-style-type: none"> 歐盟協調結果 符合歐盟法律的目標 確保核配頻率之附帶條件 促進競爭之必要性 提高頻譜使用效率 避免服務中斷 其他企業競爭性需求

圖 2-27 德國 TKG 規範之頻譜釋出方式

資料來源：Bnetza，本計畫整理

2. 頻率定價

德國之頻率使用依據聯邦電力、天然氣、電信、郵政與鐵路頻率分配特別收費條例 (Besondere Gebührenverordnung der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen für Frequenzuteilungen, BNetzA BGebV-FreqZut) 之公式收取使用費(依條例第1條僅針對排他核配收取)。以 703 MHz 至 788 MHz 頻段舉例，使用費為「90萬歐元 X 頻譜使用期間(年) X 頻寬(MHz)」；同時主管機關得豁免使用費。拍賣價金則以前述 2019 年 5G 之 2GHz、3.6GHz 拍賣為例，4 家業者共 420MHz 頻寬之頻譜共拍得 65.5 億歐元之價金。

3. 頻率彈性使用-次級交易

與英國相同，因應歐盟之政策為鼓勵頻率彈性使用，德國同樣需遵守歐洲電子通訊法典 (European Electronic Communications Code) 規範，依據同規範第 45 條第 2 項第 (g) 款與第 4 項第 (d) 款，分別規定各國應制定頻譜提供使用、轉讓、展延、撤銷之規定，以保持監理一致性與可預測性；並應確保頻率共享最大化。TKG 第 101 條授予 Bnetza 得於指定範圍內允許頻譜彈性使用，包含交易、租賃、共同使用。

(四) 頻譜未來規劃

EECC 授予歐盟得制定《無線電頻譜計畫》(Radio Spectrum Policy Programme, RSPP)，第一期 RSPP 於2012年推出，要求歐盟會員國釋出 800 MHz 頻段，並進行 900MHz、1800MHz、2GHz、2.6GHz 與 3.4-3.8GHz 頻段之規劃。歐盟原預計(於行政程序中)於2023年第3計推出 RSPP 2.0，將側重於頻譜共享與技術發展之頻譜利用¹⁸⁹。同時，德國預計於2030年以前進行長期頻譜規畫，因此將原2025年屆期之 800MHz 與部分1800MHz、部分2100MHz、部份2600MHz 頻譜展延至2030年，以搭配2033年屆期之 700MHz、900MHz、1500MHz、部份1800MHz 頻譜進行長遠規劃。

一〇. 法國

(一) 電信市場現況

法國土地面積約54.7557萬平方公里，人口密度約為每平方公里122人，同時約有81.78%之人居住於都會區。創造380.4億美元¹⁹⁰之電信市場規模。

法國電信市場規模為380.4億美元¹⁹¹。從用戶面觀察，2008年至2023年之15年期間，法國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數為自18.2上升至109；¹⁹²另自2018年至2023年期間，法國行動資料及語音低用量一籃子服務價格佔 GNI 自0.59%上升至0.60%。¹⁹³

¹⁸⁹ European Parliament(2024). New Radio Spectrum Policy Programme

¹⁹⁰Mordorintelligence.France Telecom Market Size (2024 - 2029)，2023年資料，
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/france-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁹¹Mordorintelligence.France Telecom Market Size (2024 - 2029)，2023年資料，
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/france-telecom-market/market-size>，最後閱覽時間 2024/6/26

¹⁹² ITU.Active mobile-broadband subscriptions. 最後閱覽時間 2024年8月6日
<https://datahub.itu.int/data/?i=11632&v=chart>。

¹⁹³ ITU.Mobile data and voice low-consumption basket. 最後閱覽時間 2024年8月6日
<https://datahub.itu.int/data/?i=34618&v=chart>

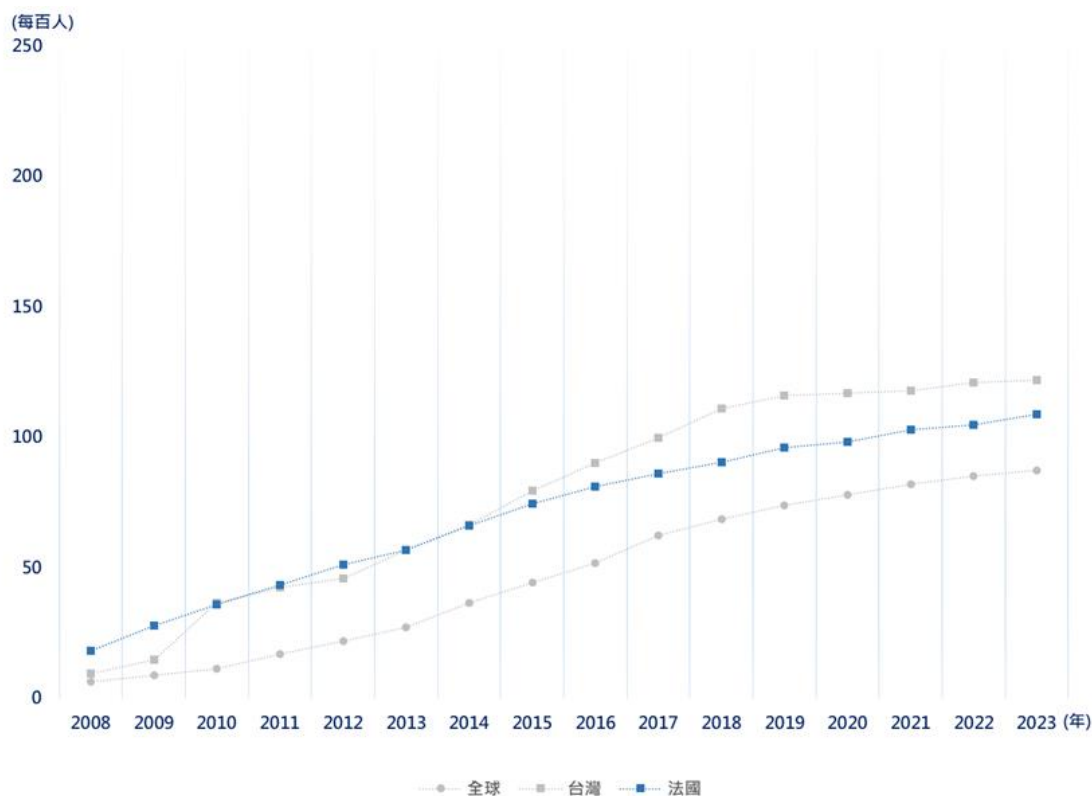


圖 2-28 法國每百人平均活躍行動寬頻訂閱數趨勢

資料來源：ITU，本計畫整理

(二) 法國行動通信營運商現況

法國前三大通訊商市占率分別為 Orange 35%、SFR 27%、Bouyges 15%，剩下為 Free Mobile 與 MVNO¹⁹⁴。其核配頻率如下表，為確保競爭公平性與服務品質，法國採取指配與拍賣並行之制度，在800MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz 與2600MHz 均採取指配制度，僅700MHz 及3400-3800MHz 採用拍賣制度，故各營運商獲得之頻寬相近。

¹⁹⁴ 2018 年資料。Explore France (2018). Mobil telefonieren in Frankreich

表 2 -15 法國行動通信營運商頻譜核配表

法國營運商 頻譜(Mhz)	Bouygues Telecom	Orange France	SFR	Free Mobile	總計	
1Ghz 以下	700	10	20	10	20	60
	800	20	20	20	-	60
	900	17.4	17.4	17.4	17.4	69.6
	小計	47.4	57.4	47.4	37.4	189.6
1-6 Ghz	1800	40	40	40	30	150
	2100	29.6	29.6	29.6	29.6	118.4
	2600	30	40	30	40	140
	3400- 3800	70	90	80	70	310
	小計	169.6	199.6	179.6	169.6	718.4
毫米波	無					
總計	217	257	227	207	908	

資料來源：ARCEP、本計畫整理

(三) 頻譜管理之法制規劃

法國由電子通訊與郵政管理局(Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes, ARCEP)與國家頻率管理局(Agence Nationale Des Frequencies, ANFR)¹⁹⁵主管電信監理及資源管理相關事務。並依據《郵政與電子通信法》(Code des postes et communications électroniques, CPCE)規範頻譜資源管理及運用。

1. 頻率釋出

(1) 頻率分配

依據 CPCE 第 L43 條規定，ANFR 負責無線電頻率之規劃、管理、使用與國際談判，惟需尊重 ARCEP 與總理等機關依據同法 L41 條已協調之頻譜資源使用。而 ANFR 亦據此制定頻率分配表。

¹⁹⁵ CPCE 第 L43 條授權

(2) 頻率核配

依據 CPCE 第 L42 條，ARCEP 負責法國無線頻譜核配。同條第 1 項第 2 款規範，核配需考慮頻率特性、干擾防治、頻譜共享可行性、通訊品質、頻譜有效利用及國家整體電信政策目標；同時依據同法第 L42-1 條，應客觀、透明、無歧視的進行頻譜核配。CPCE 第 L36-6 條第 1 項第 3 款授權 ARCEP 制定同法第 L42 條頻率核配之流程與條件，並依第 L36-6 條第 1 項第 6 款核配頻譜予行動通訊營運商。實務上，競爭性頻譜可能採行審議(Soumission comparative)及拍賣兩種機制¹⁹⁶，並以拍賣機制為主。以 2019 年 3.4GHz-3.5GHz 為例(2020/11 分配完成)¹⁹⁷，拍賣分為兩階段，第一階段進行義務承諾投標，若進行義務承諾(包含提供無線固定接入、加強創新、基地台建置透明度、覆蓋範圍與跨產業合作)投標者未達 4 組則以固定價格(3.5 億歐元)獲得 50MHz 頻寬，若超過則另外競標¹⁹⁸，第二階段進行頻段拍賣，業者透過競標(SMRA 第二價規則)競爭剩餘頻譜與爭取頻譜位置，最終僅有四家業者進行義務承諾，Boutgues Telecom、Free Mobile(爭取頻譜位置費用 309.6 萬歐元)、Orange、SFR 四家業者分別獲得 70MHz、70MHz、90MHz、80MHz¹⁹⁹之頻寬²⁰⁰。

2. 頻率定價

法國依據 2007-1531 規定 (Décret n°2007-1531 du 24 octobre 2007) 頻率受核配人之使用費公式，以專網²⁰¹為例每年之費用為「頻寬(MHz)X 頻段係數 X 拍賣價金 X 參考係數」；ARCEP 應於核配時載明使用費²⁰²。而拍賣則

¹⁹⁶ ARCEP(2023).Le spectre électromagnétique

¹⁹⁷ 在此之前，2015 年 700MHz 頻段曾採用 SMRA 制度競標

¹⁹⁸ ARCEP(2019).5G- Attributions des fréquences de la bande 3,4 – 3,8 GHz : l'Arcep transmet au Gouvernement sa proposition de modalités d'attribution et d'obligations pour les candidats

¹⁹⁹ 每家可獲得上限為 100MHz

²⁰⁰ ARCEP(2020).5G-Résultat final de la procédure d'attribution de fréquences de la bande 3,4 - 3,8 GHz

²⁰¹ 商用行動網路亦得收取使用費，於核配時載明

²⁰² ARCEP(2023).Les fiches pratiques- Les redevances d'utilisation de fréquences

以前述2019年3.4GHz-3.5GHz 拍賣為例，Orange 共獲得90MHz 頻寬之價金為8.54億歐元。

3. 頻率彈性使用-次級交易

與英國、德國相同，因應歐盟之政策為鼓勵頻率彈性使用，法國同樣需遵守歐洲電子通訊法典(European Electronic Communications Code)規範，依據同規範第45條第2項第(g)款與第4項第(d)款，分別規定各國應制定頻譜提供使用、轉讓、展延、撤銷之規定，以保持監理一致性與可預測性；並應確保頻率共享最大化。依據 CPCE 第 L42-3條規定頻率之轉讓與租賃需通知 ARCEP，公眾網路之頻率轉讓、租賃則需主管關核准。

(四) 頻譜未來規劃

法國之情況與德國相同，未來之頻譜規劃受 RSPP 2.0影響，本計畫將持續關注 RSPP 2.0之推出。

另外法國之現行頻譜均於2030年後有屆期議題，於此之前法國正考慮額外分配1.5GHz、26GHz 頻譜以幫助5G 發展。

第四節 各國行動通信頻譜管理綜合分析及我國制度探討

經前節分析各國頻譜管理、釋出情形及未來規劃，本節將綜整 10 國狀況，並對照我國現行制度進行探討，以歸納我國在制度面於短中期將面對之頻譜管理議題。

一. 頻譜釋出方式仍以拍賣為主流

為確保頻譜資源充分有效率利用，目前各國多採取拍賣形式進行頻譜核配，如我國、德國、澳洲、新加坡、南韓²⁰³目前執照期間之頻譜多以拍賣形式釋出。惟部分國家如日本、中國仍以指配制釋出頻譜以避免市場機制之弊端，但日本於近年也開始評估採取拍賣釋出的可行性。而法國為保障各業者均充分獲得頻譜資源，兼採拍賣制度與指配制度，在800MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz、2600MHz 等與覆蓋或網路建設重要相關之頻段採審議指配，僅700MHz 與3400-3800MHz 頻段進行拍賣。而香港則基於28GHz 之頻譜特性與商業價值，僅於28GHz 採指配制度，其餘則採拍賣。

二. 我國與各國每業者平均獲核 6 GHz 以下配頻譜約為 230MHz

參考國際調研成果可以發現，我國在1GHz 以下低頻平均每位業者獲核配額度為46.7MHz，略高於平均39.88 MHz。受核配最多為澳洲，平均每位業者為54MHz；最低為韓國，平均每業者僅持有20MHz。在中頻1-6GHz 頻譜，台灣與中國大陸、英國釋出較為積極；澳洲、新加坡及日本釋出較少。毫米波部份則接近中位數，新加坡、香港、澳洲釋出量皆高於我國，亦有不少國家尚未有業者核配。

²⁰³ 部份頻譜為指配後換照

表 2-16 各國平均每業者獲核配頻寬比較表

國家	主要業者數	1GHz 以下低頻 (MHz)	1-6GHz 中頻 (MHz)	6GHz 以下小計(MHz)	毫米波 (MHz)
台灣	3	60	173.3	233.3	533.3
英國	4	52.4	225.75	278.15	139
新加坡	4	25	133.75	158.75	800
澳洲	3	54	121.4	175.4	708.9
香港	4	38.8	207.3	246.1	600
德國	4	47.5	203.6	251.1	—
法國	4	47.4	179.6	227	—
中國	4	29.5	271.3	300.8	—
南韓	3	20	203.3	223.3	—
日本	4	37.5	150	187.5	400

資料來源：本計畫整理

綜合 6GHz 以下的中頻及低頻來看，我國平均各業者持有頻譜量，僅次於中國。本計畫觀察到較特別的是：我國則較接近於日本、中國大陸、德國此些存在甫經起步規模不大之第 4 家業者。新加坡市場中各業者的頻譜持有量差異較大，在 Singtel 市占五成的情況下，其持有 265MHz 的中低頻頻譜，頻寬集中度甚高。

比較與我國經濟環境相同的南韓(人均 GDP 33,121 美元)及我國(人均 GDP 33,864 美元)，也同樣擁有 3 家電信營運商。惟南韓平均每業者在 1GHz 以下僅獲核配 20MHz 頻寬之頻譜，屬於主要國家中最少，而在 1-6GHz 平均獲核配 203MHz 頻寬亦低於我國。這是因為早期南韓於 1GHz 等低頻頻譜採指配制釋出，每位業者獲核配相同之頻寬；但隨著通訊需求發展，MSIT 於《韓國頻譜計畫(2024-2027 年)》已決定供應 800MHz 頻段空閒頻譜等更多頻率資源供行動通信使用，以支援產業成長。

三. 加強基地台建設以提升通訊品質

為參考 Speedcheck 報告²⁰⁴，我國232.9Mbps 在各國平均中屬於前段班，僅低於第一之南韓(432.5Mbps)與第二之新加坡(376.8Mbps)，優於英國(124.4Mbps)、美國(138.2.5Mbps)、香港(140.1Mbps)、德國(143.2Mbps)、日本(156.5Mbps)、澳洲(177.2Mbps)、法國(222.6Mbps)。

惟參考 Opensignal 下載速率報告²⁰⁵，我國2021年之尖峰下載速率為 25.7Mbps，而整體下載速率為44.8 Mbps。換算尖峰下載速率比為57.3%，在主要國家中僅優於英國之53.1，因此尖峰時段之通訊品質有改善空間。

值得注意的是南韓以主要國家中相對較少之頻寬，在全球5G 下載速率之表現優異。根據 OECD，截至2024年南韓5G 基地台數量為30.6624萬臺，每10萬人593.2臺²⁰⁶為報告中27個 OECD 國家最多，並遠優於第2名之立陶宛之327.5臺。相較之下，截至2022年我國5G 基地台數量為2.9087萬臺，換算每10萬人僅126.47臺(2024年我國人口密集區基地台數量則為每10萬人約83.266臺²⁰⁷)，得以韓國之基礎建設為標竿精進。

四. 頻譜供需平衡制度需因應市場變化評估調整

為避免業者進行頻譜囤積等反競爭行為，各國多進行頻譜供需平衡評估措施，避免頻譜過度集中於單一業者。例如英國在國內有4家主要業者的情況下，將頻譜總量上限設定為單一業者不超過37%，讓業者間有適度積極競爭的空間。美國雖已取消頻譜上限決定，但仍以個案審查競爭影響方式進行頻譜集中度管理。而法國、德國、澳洲等國較常採取每次拍賣得標數量管理方式，以利主管機關於每次拍賣靈活進行競爭影響評估，而澳洲目前與我國同樣為3家主要業者，其在低頻設有82MHz 或40%的上限規範，與英國的上限值設定相似，讓

²⁰⁴ Opensignal(2023)Benchmarking the Global 5G Experience — June 2023 最後閱覽時間 2024/12/5

²⁰⁵ Opensignal(2022) . 5G Impact On The Global Mobile Network Experience

²⁰⁶ OECD(2024) . 5G base stations_e
<https://reurl.cc/NbAYVk> 最後閱覽時間 2024/12/5

²⁰⁷ 本計畫計算，以新北市政府民政局資料，永和區 2024 年 11 月人口數為 21.3772 萬人，共建置 178 臺 5G 基地台推算。參考報告第三章第二節頻率需求模型輸入參數說明中業者資料蒐集參數輸入值基地台佈建情形。

市場保有競爭空間。

目前我國除每次競標時有各頻段上限規範外，《無線電頻率使用管理辦法》第12條第1項及《行動寬頻業務管理規則》第18條第2項另有申請核配總頻寬不得逾行動寬頻業務總頻寬之三分之一；1GHz以下、3GHz以下、6GHz以下分別皆不得逾總頻寬之三分之一、24GHz以上不得逾總頻寬五分之二之規範。在108年規範修訂之時，我國有五家主要的行動通信業者，然而隨112年底業者合併，三分之一的上限規範可能反而削弱三家業者相互競爭的動力，故在目前三家接近均分市場的格局下似有精進空間，建議在119年頻譜屆期重新釋出前，進行上限規範之檢討調整；同時，也需考量是否有可能有新進業者，適度保障潛在新進業者加入競爭的機會。

五. 善用頻譜彈性使用制度將有利於頻譜資源效率化運用

目前各國對頻譜彈性使用之制度可分為「禁止」、「原則禁止」、「開放」、「鼓勵」四種態度。香港及頻率指配制國家日本屬於禁止，規範上即禁止頻譜轉讓或提供使用。而中國則屬於「原則禁止」需例外獲得國家許可始可進行頻譜彈性使用。而南韓、新加坡、澳洲則屬於「開放」，於規範中明定頻譜轉讓或提供使用之規則。最後美國、英國與歐盟國家如法國、德國則以CBRS系統、地區接取頻譜執照、共享接取頻譜執照等方式，積極鼓勵頻譜彈性使用，以最近可能提高頻譜使用效率。

我國則在《無線電頻率使用管理辦法》第17條針對彈性使用，限2100MHz、3500MHz及28000MHz頻段允許電信事業間申請頻率提供使用或頻率共用。但在目前各業者頻譜接近均分的情況下，若無新進業者，在三家主要業者間不易存在次級市場經營的空間。惟28000MHz因指向性過高，業者建置及使用意願低的情況下，可能有主動提供其他需求者彈性使用的機會。未來119年頻譜釋出時，或可參考英國作法，評估加入強制彈性使用的機制，若受核配業者一定期間內在偏鄉地區無具體建置計畫，則需開放他業者租用，以此加速建置並刺激頻譜有效運用。

六. 毫米波頻譜仍需面臨基礎建設及應用的市場挑戰

如前所述，高頻段頻譜又被 GSMA 稱為容量頻譜，並有優異之通訊品質表現。惟基於其指向性高、覆蓋範圍小之特性，網路覆蓋佈建成本高，如果能夠將毫米波策略性地部署在高流量密度的熱點地區，就有可能建構高經濟效率和能源效率的網路，故各國近年相繼使用不同之頻譜策略協助毫米波頻譜商業化。例如香港特別在26-28GHz 頻段一改過往商用行動通訊拍賣制度，以審議制釋出頻譜；中國提出高頻段頻譜降價與頻譜使用費折扣促進5G發展；日本頻率使用費將頻譜高低作為係數參考，電信業者也嘗試用該頻段用於5G SA 點狀佈建；新加坡提供28GHz 頻譜時僅收取123.2萬新幣之使用費²⁰⁸；部分國家甚至未將高頻段頻譜供公眾行動通訊使用²⁰⁹。

我國與南韓雖將28GHz 等高頻段頻譜以拍賣釋出，但在南韓則因建設義務考驗使其最終以頻率回收收場；我國釋出時雖因考量技術中立及尊重市場機制，並未在該頻段限定較高的義務門檻，也導致該頻段使用率極低，顯示毫米波頻段在市場端仍未突破基礎設施建置及應用普及的考驗。

²⁰⁸ International Institute of Communications(2019). Singapore Ups 5G Spectrum Allocation to Four Operators，新加坡僅收取使用費而不收取拍賣標金，提供予 5G 執照持牌人使用。

²⁰⁹ 詳參前段各國頻譜運用情形

表 2-17 各國綜整表

	美國	英國	法國	德國	澳洲	日本	韓國	中國	香港	台灣	新加坡
主要業者家數	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4
頻譜釋照方式	拍賣	拍賣	拍賣+指配	拍賣	拍賣	指配/拍賣 (評估中)	拍賣	指配	指配/拍賣	拍賣	拍賣
低頻上限	無 (個案分析競爭影響)	每次拍賣 (約2頻段) (註1)	每次拍賣 (約2頻段)	每次拍賣 (約2頻段)	5G:82MHz或 40%	X(指配)	每次拍賣 (約10頻段)	X(指配)	每次拍賣	1/3	每次拍賣
頻譜上限	無 (個案分析競爭影響)	37%	每次拍賣 (約2頻段)	每次拍賣 (約2頻段)	每次拍賣	X(指配)	每次拍賣(約 10個頻段)	X(指配)	每次拍賣 (註2)	3、6GHz 以下:1/3 28GHz 以下:2/5	每次拍賣 (註3)
次級交易開放	鼓勵	鼓勵	鼓勵	鼓勵	開放	禁止	開放	原則禁止	禁止	開放	開放
次級交易形式 及 制度	CBRS系統	地區接收頻 譜執照 共享接收頻 譜執照	轉讓、提供 使用	轉讓、提供 使用	轉讓、提供 使用	/	轉讓、提供 使用	/	/	轉讓、提供 使用	轉讓、提供 使用
IMT毫米波頻 段釋出方式	拍賣	拍賣 (準備進行)	/	/	拍賣	/	(收回前經由 拍賣釋出)	/	指配	拍賣	指配(+部份 頻段位置競 標)
2030年前IMT 頻譜可能釋出 規劃	/	1.4GHz 毫米波	1.5/26 GHz	2030 整體計畫	7/8GHz 15GHz	/	/	/	屆期頻譜 6/7GHz 24-28GHz 39.5-43.5 GHz	/	/
2030年前IMT 頻譜到期	/	3720- 2740MHz	/	800MHz 1800MHz 2100MHz 2600MHz	1780MHz 2500MHz	/	800MHz 900MHz 1800MHz 2100MHz 2600MHz 3500MHz	/	850/900 MHz 2300MHz 2500MHz 2600MHz	700MHz 900MHz 1800MHz	1800MHz 2500MHz

註1:每段約10-27Mhz

註2:以2018年5G拍賣為例, 3.5Ghz之上限為70Mhz、3.3Ghz與3.9Ghz為40Mhz

註3:以2013年3G拍賣為例, 1800Mhz為5個5Mhz之頻段

資料來源:本計畫整理

第五節 新興電信服務之發展情形

新通訊技術如 5G、低軌衛星發展重點在於是否有別於以往之新興應用服務需求，此亦為資通訊科技促進產業發展的主要助力，而新應用服務與新通訊技術將共同推升市場對於行動通信頻譜之需求。本節將對 5G、低軌衛星等新興科技進行國外標竿案例調研，以分析頻譜資源未來需求趨勢與走向。

一. 5G 業務發展及商業模式趨勢

因應 5G 業務市場已臻成熟，根據數位發展部發佈新聞²¹⁰指出，我國 5G 人口覆蓋率更已達 97.22%。由全球通信系統協會(Groupe Speciale Mobile Association, GSMA)提出的市場調查資料指出，5G 應用事業比例中以「一般網路服務」(金融、醫療、教育等)為主，佔 46%；次之為「製造應用」，佔 33%，其他(公共事業、資通訊、零售等)僅佔 21%(如下圖)。

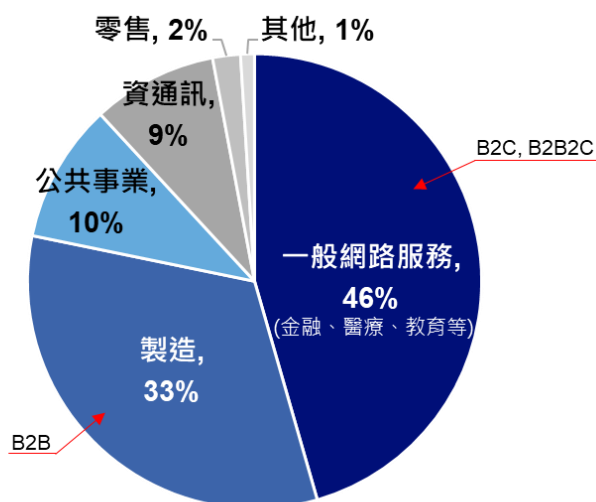


圖 2 -29 5G 於各產業應用比例

資料來源：GSMA，本計畫整理。

²¹⁰ 數位發展部(2023)，《數位部攜手電信業者前進屏東展示 5G 創新應用引導產業數位轉型》

根據 GSMA 調查結果顯示，因應以上網路技術應用趨勢所帶來的是電信營運商同樣選擇以 B2B(Business-to-Business)市場作為最優先，共69%的受訪電信商列為優先；而 B2C(Business-to-Customer)或因多為已飽和市場，因此僅23%的電信商列為優先；其餘如 A2P(Application-to-Person)佔 17% 及 B2G(Business-to-Government)佔14%。由此可見 B2B 商業模式將會是5G 應用重要的機會。

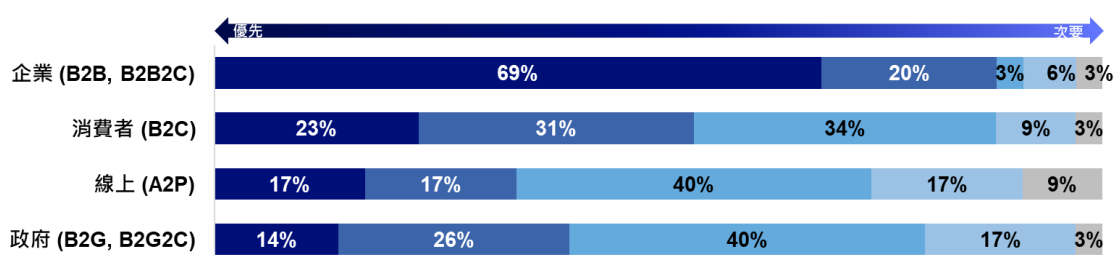


圖 2 -30 5G 事業應用比例

資料來源：GSMA，本計畫整理

在 B2B 市場優先的情況下，電信營運商對5G 應用的開發以「提供群播服務」及「低成本的物聯網供給」為最優先，「加強衛星資源整合」為次，「加強虛擬實境技術支援」及「加強裝置定位功能」則為最後優先順位。

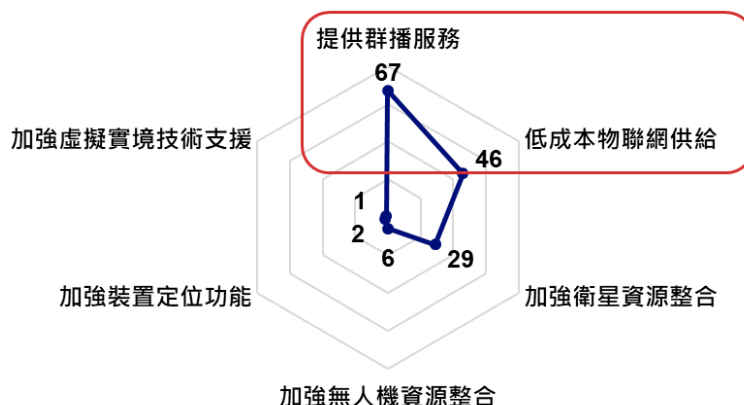


圖 2 -31 電信營運商選擇 5G 應用開發的優先程度

資料來源：GSMA，本計畫整理

從電信市場供應鏈角度觀之，因應5G所帶來的新事業成長動能，更多電信營運商選擇不僅提供「網路接取服務」(僅10%)，更偏向作為「平台供應商」(44%)提供 B2B、B2B2C 及「數位服務供應商」(41%)提供 B2B、B2C(如下圖)。可見未來5G 帶來的新市場供應鏈結構組成將趨向單一，垂直整合度高；這呼應了電信市場普遍高度中，多為寡佔競爭的局面。

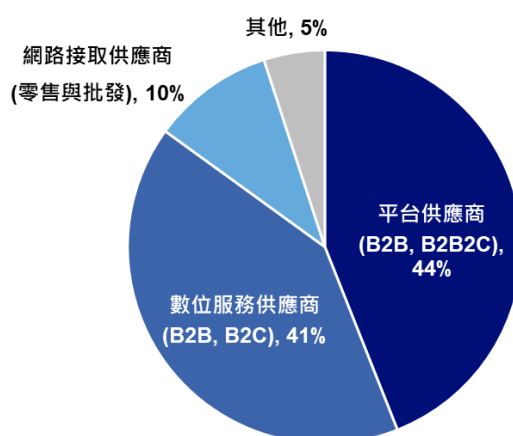


圖 2 -32 電信營運商 5G 商業模式選擇比例

資料來源：GSMA，本計畫整理

二. 5G 終端設備成熟度

從設備成熟度而言，根據全球行動設備供應商協會(Global Mobile Suppliers Association, GSA)統計，2024年市面上可售的5G 終端設備型號將達1,964種，如下圖所示。

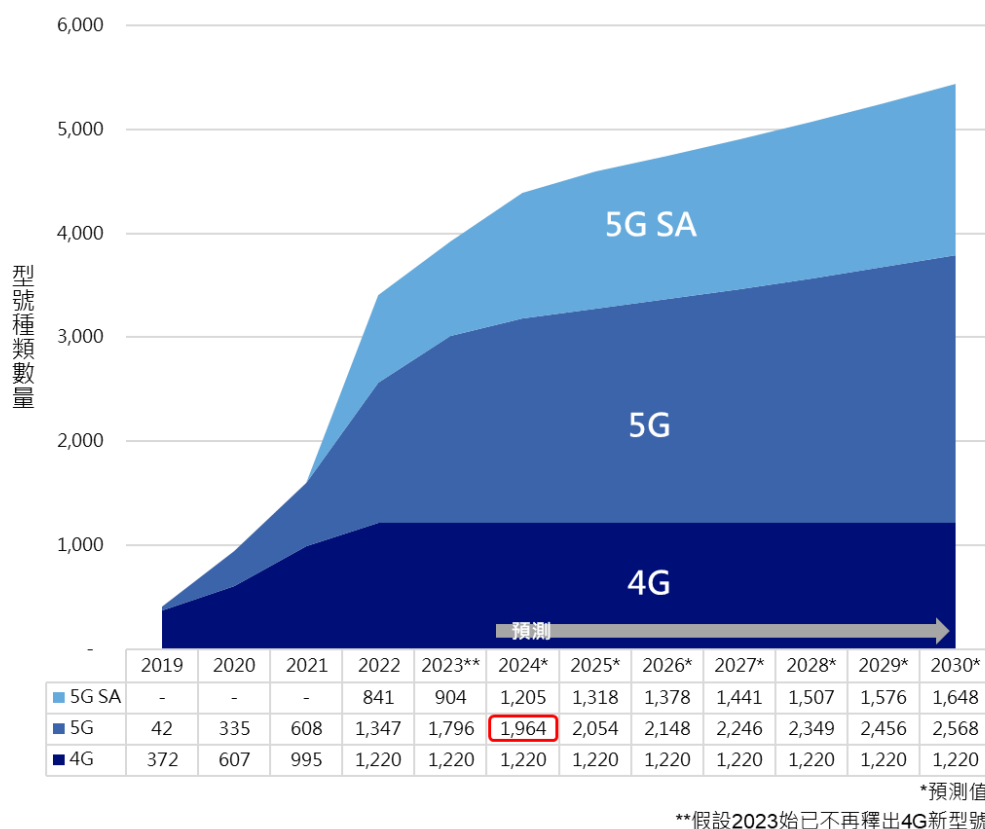


圖 2 -33 4G/5G/5G SA 終端設備型號數

資料來源：GSA，本計畫整理

然而，5G 新興服務應用需求多元，囊括消費性電子產品、交通運輸、生產製造、電力及公共事業、醫療等，應用功能區分手機、電腦平板、路由器、車用電子、其他特定應用(如車/物聯網等)。因應不同的服務應用案例，設備製造技術要求越來越高，晶圓製程多使用2奈米至12奈米，而封裝技術已進入單晶片系統(System on a Chip, SoC)先進製程。從需求多樣性觀之，產品客製化程度較高，造成市場規模生產困難；從技術要求程度觀之，技術要求較高，造成資本投資門檻較高。同樣根據 GSA 發佈的統計資料來看，縱使5G 終端設置的型號數量已較4G 多，但拆分其應用類別卻可見其中53%為手機裝置、24%為路由器與熱點、4%為電腦與平板、13%為模組產品、僅6%為供車/物聯網等用途的特定應用，如下圖所示。

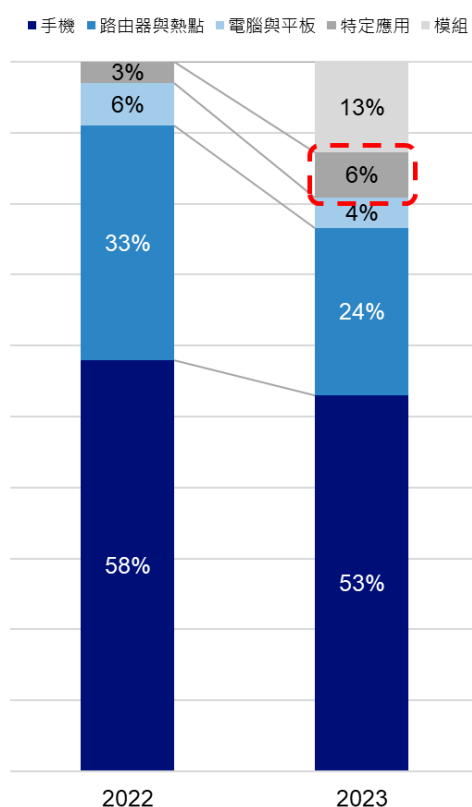


圖 2 -34 5G 終端設備型號數分類

資料來源：GSA，本計畫整理

三. 5G SA 技術特性及新興應用領域

從技術應用方面觀之，電信營運商評比5G 技術支援的重要程度以「網路切片」及「超可靠低延遲通信」為最優先，「簡化網路架構」、「加強支援佈置雲端服務」、「巨量多機器型態通訊」(Massive Machine Type Communication, mMTC)次之，最後為「加強自動化與分析」及「優化路網佈置」等技術(如下圖)。

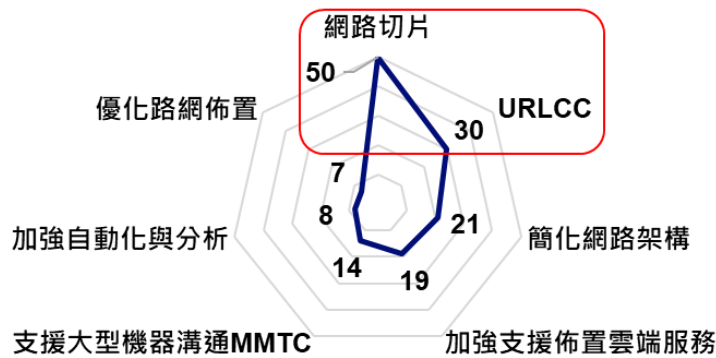


圖 2-35 電信營運商評比 5G 技術支援的重要程度

資料來源：GSMA，本計畫整理

「網路切片」技術係5G SA的重要技術應用，網路接取服務商可將網路進行虛擬切片，按照每個切片中所對應的服務應用類別，如「增強型移動寬頻」(Enhanced Mobile Broadband, eMBB)、URLLC及mMTC，最佳化網路流量管理。雖然其領域相當多元，但由於本計畫主要探討標避惟行動通信頻譜，故考量各應用對於總體頻譜需求的影響性，本計畫將從可規模化程度的觀點出發，將eMBB聚焦於個人終端裝置的使用、URLLC對應車聯網及mMTC對應製造產業應用等三大方向(如下圖)。

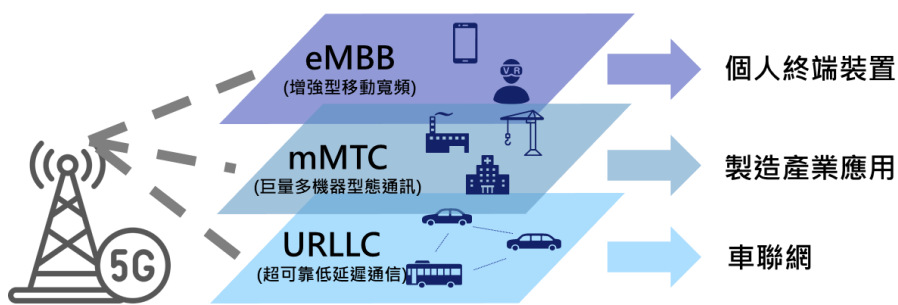


圖 2-36 5G 網路切片與服務應用概念

資料來源：本計畫製作

(一) eMBB—個人終端設備 AI 化

人工智慧已然成為科技業的新顯學，各行各業亦不停探尋 AI 應用的新機會。目前 AI 功能的使用仍以「雲端運算」(Cloud Computing)為主，運作方式係將終端裝置蒐集的資料透過網路回傳至雲端，於雲端進行資料的運算，為一種「集中式」(Centralized)的網路架構。這樣的做法對終端裝置的運算要求低，甚至僅具有資料蒐集及通訊的功能即可；然而，由於終端裝置無法篩選有效資料而將所有資料回傳至雲端，則會造成網路流量與服務延遲度較高。(如下圖)

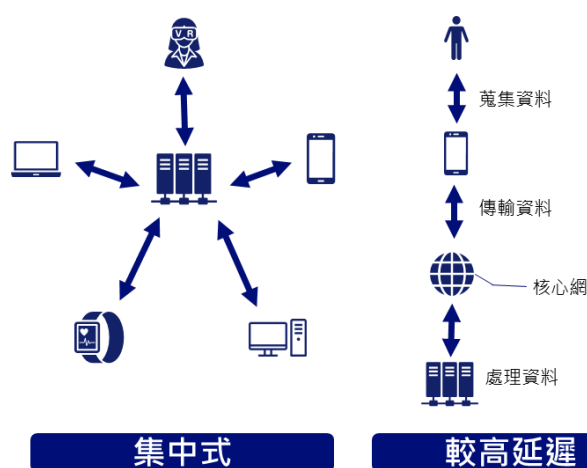


圖 2-37 雲端運算運作方式

資料來源：Gartner、本計畫製作

為解決以上的問題，便衍生了「邊緣運算」的運作模式。「邊緣運算」係將一部分的前沿功能下放至終端或更為接近區域網路的邊緣雲(Edge Cloud)，於終端裝置上處理資料辨識，此時終端裝置便需要額外具備有運算功能。這種「分散式」(Decentralized)的網路結構，有效減少延遲及回傳(Backhaul)至雲端的流量需求。(如下圖)

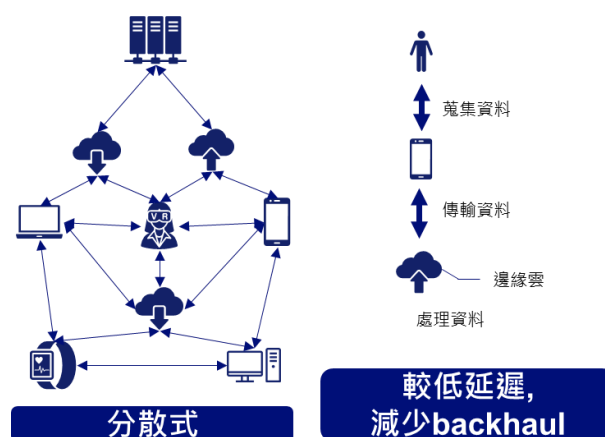


圖 2-38 邊緣運算運作方式

資料來源：Gartner、本計畫製作

儘管終端設備 AI 化的技術有走向邊緣運算的趨勢，整體電信服務的傳輸流量仍會因更多高品質影音內容的產生、雲服務快速增加、對 AI 的依賴度提高等而增加。因此本計畫預計從終端裝置 AI 化角度，推估使用需求量將增加所衍生的網路服務使用流量。

(二) URLLC—車聯網

車聯網係國際間重大趨勢之一；隨著科技發展至自用車輛，輔助或自動駕駛已然成為各車廠市場差異化定位的賣點之一。國際間普遍認同由美國汽車工程師協會(Society of Automotive Engineers, SAE)定義的自駕車分級，一共分為6個等級。其中，前3個級別駕駛人必須操控車輛，不為自駕車分類：第0等級車輛僅提供警告標示及緊急情況輔助功能、第1等級車輛提供車道維持或巡航系統、第2等級車輛提供車道維持及巡航系統。而獲得後3個級別認證的車輛即可認定為自駕車：第3等級車輛可於60 km/h 下進行自動駕駛、第4等級車輛可於特定情況下進行完全自動駕駛、第5等級車輛於所有情況下進行完全自動駕駛。

根據本計畫調研，國際間發展自駕車技術的汽車品牌已佔多數，許多以軟體即服務(Software as a Service, SaaS)為主的企業亦大舉投入了自駕車技術的研究。截至2024年，可進行第4等級自動駕駛的有 Google Waymo、Baidu Apollo 及 Amazon Zoox，皆為

SaaS 公司；可提供第3等級自動駕駛的有 Volkswagen 及 Mercedes-Benz。（如下圖）

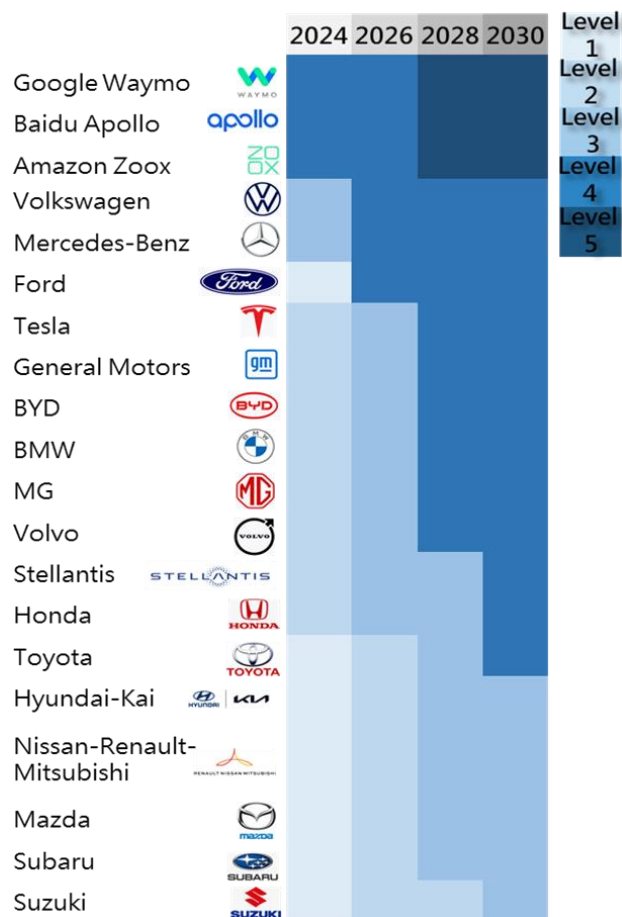


圖 2-39 自駕車廠發展趨勢

資料來源：各車廠發佈新聞、本計畫製作

雖然國際上已多有企業提供自動駕駛車技術，但各國礙於交通法規等問題尚未有明確的全面普及時程，我國亦然。放眼2030年，除了上開目前已達第4等級的自駕車將達了第5等級外；多數汽車品牌皆已設定目標至少達成第4等級。依調研資料來看，排序前20名的自駕車品牌皆會達到第3等級或以上的自駕車技術：共3家(Google Waymo、Baidu Apollo 及 Amazon Zoox)達第5等級、另12名(Volkswagen、Mercedes-Benz、Ford、Tesla、General Motors、BYD、BMW、MG、Volvo、Stellantis、Honda 及 Toyota)達第4等級，其餘5名(Hyundai-Kai、Nissan-Renault-

Mitsubishi、Mazda、Subaru 及 Suzuki)達第3等級。從國際趨勢觀之，自駕車技術的普及僅係時間問題。

儘管我國已開放5850到5925 MHz 的車聯網創新實驗網路頻率，但在車聯網環境所需的道路環境通訊方面，目前以商頻的覆蓋普及速度遠超過車聯網頻率。另外，從前節德國行動通信頻譜相關規範亦可從其對行動通信在道路覆蓋及傳輸速度的要求，窺知未來商網仍會是車聯網的重要通訊基盤。因此本計畫仍認為車聯網將是影響未來行動通信頻率需求的重要應用。

(三) mMTC—製造產業應用

5G 專網應用於製造案例係電信營運商搶佔的重點市場。國際間標竿案例亦有美國美光記憶體公司(Micron Technology)於新加坡分公司的5G 毫米波覆蓋；基於半導體的複雜製程及製造環境的嚴苛要求，為增進品質控管、產能效率及供應鏈可見度，美光選擇佈建廠內物聯網並使用5G 通訊技術建構數位製造環境。我國素以半導體業領先於全球，根據經濟部統計，2022年「電子零組件製造業」及「電腦、電子產品及光學製品製造業」佔我國 GDP 22%為最大宗。面對我國人口負成長，人力資源逐漸短缺的趨勢下，智慧工廠應用即有助於協助相關產業維持競爭力。我國3家電信業者皆有提供企業專網解決方案，除了前章說明的網路切片服務外，尚有企業專用基地台、企業專用基地台及資料核心網及獨立組網²¹¹。本計畫亦蒐集日本 Fujitsu 公司的5G 專網智慧工廠應用案例：透過28 GHz 頻段對應工廠內佈建的感測器，進行 AI 影像分析以輔助品質檢測及使用混合實境裝置遠端控制與訓練、透過4.7 GHz 頻段對應工廠內無人搬運車(Automatic Guided Vehicle, AGV)，進行自動定位及路徑尋找(如下圖)。

²¹¹ 遠傳 5G 企業專網四大解決方案

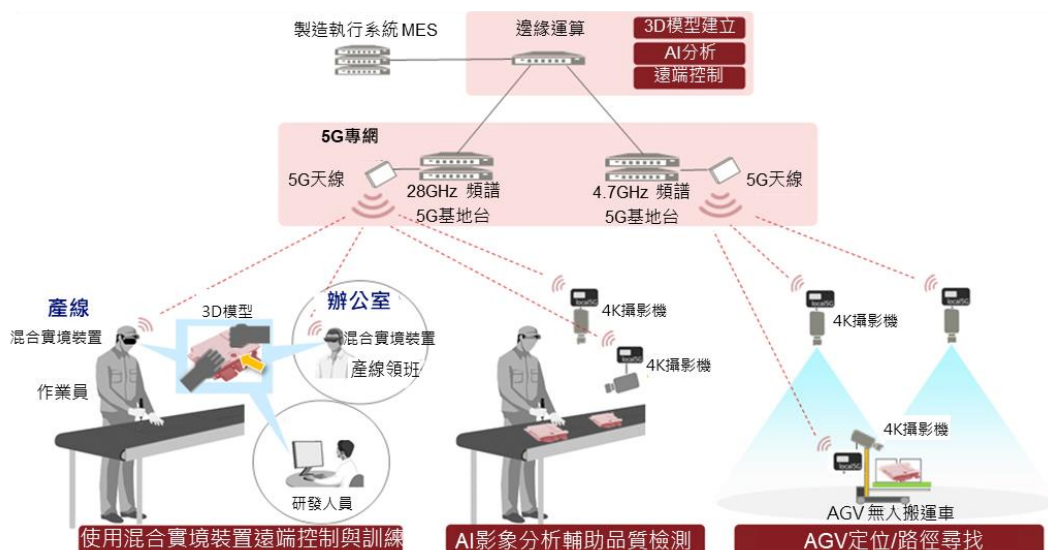


圖 2 -40 Fujitsu 5G 智慧工廠應用案例

資料來源：Fujitsu、本計畫製作

從需求者觀點，根據 GSMA 市場調查資料指出，各網路服務對企業發展的策略重要度(企業認為相應項目極為重要的百分比)，以網路接取(57%)、物聯網(41%)及專網(40%)最重要，其他則為雲端(29%)、資安(18%)、邊緣運算(13%)及大數據分析(11%)。

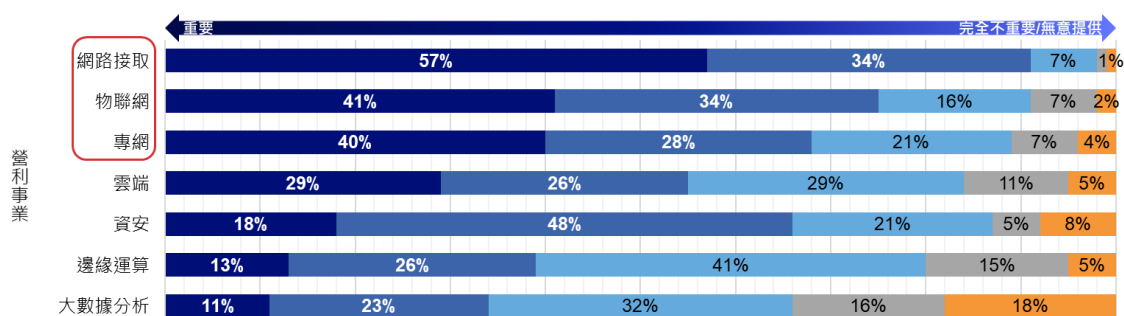


圖 2 -41 各網路服務對企業發展的策略重要度

資料來源：GSMA，本計畫整理

若進一步探討其對於行動通信頻率需求的影響性，雖我國已開放 4.8-4.9GHz 的 5G 專頻專網頻譜，也以較低廉的使用費希望促進其發展，但我國行動通信營運商仍可以商頻提供相關服務。在 5G

專網頻譜正式推出之前，三大電信就已提供大量製造業專網服務，從客觀角度，若非客戶端特殊需求，對電信業者而言，商頻專網基礎設施的建置效率仍較高。此外，對於其他非 MNO 業者而言，雖有機會透過專頻專網參與 5G 事業，國內亦不乏通訊設備商如廣達、亞旭等試圖嘗試，但由於電信營運商的商業模式與設備製造差異極大，要維運專頻專網對於非電信商而言，仍是具有挑戰的門檻。

四. 國際衛星通訊之發展

近年隨著國際衛星業者大量資金投入與新技術發展致使成本降低，太空產業正蓬勃發展，其中尤以低軌衛星所帶動的通訊應用最為外界矚目，國際行動通訊技術標準組織 3GPP 更是有意將衛星通訊等非地面網路(Non-Terrestrial Networks, NTN)納入下一代技術標準²¹²，故以下將從進行探討。

(一) 通訊衛星系統極主要低軌通訊營運商發展情形

根據 Union of Concerned Scientists(UCS)的 Satellite Database 之公開資料²¹³，截至 2023 年 5 月 1 日，在軌運行之衛星總數為 7,560 顆，其中有 5,524 顆衛星之用途為通訊，佔整體衛星總數之 73%。

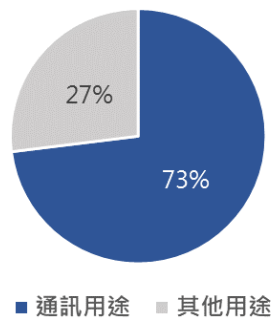


圖 2 -42 通訊用途之在軌衛星占比

資料來源：UCS Satellite Database，本計畫製作

²¹² NCC (2022)。NCC 持續關注國際低軌衛星應用與營運商發展趨勢-歷史資料。

https://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?site_content_sn=8&cate=0&keyword=&is_history=1&page=0&sn_f=47092

²¹³ UCS (2023). Satellite Database. <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>

若按軌道分類，前述5,524顆通訊衛星有5,009顆位於低軌道(Low Earth Orbit, LEO)，20顆位於中軌道(Medium Earth Orbit, MEO)，13顆位於橢圓軌道(Elliptical Orbit)，482顆位於地球同步軌道(Geosynchronous Orbit)衛星，低軌衛星佔通訊用衛星的90.7%，並呈現成長的趨勢。

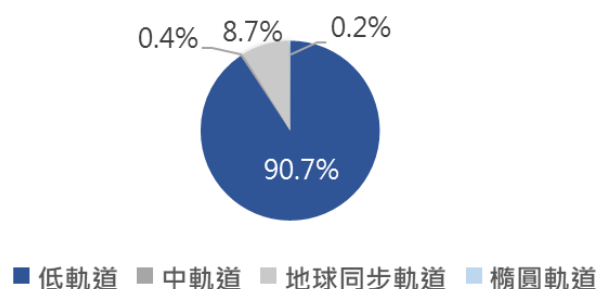


圖 2 -43 通訊衛星所使用之各類軌道比例

資料來源：UCS Satellite Database，本計畫製作

國際主要衛星業者皆投入大規模建設計畫。截至2023年，SpaceX、OneWeb、SES 分別已發射5527²¹⁴、618²¹⁵、26²¹⁶顆衛星；Amazon 亦有大規模之建設計畫²¹⁷。各業者對應使用之衛星訊號落地頻段如下圖所示。





²¹⁴ Ahmed Sherif(2023). Cumulative number of Starlink satellites launched from 2019 to 2023, by launch ; Petroc Taylor(2023). Number of satellites in orbit as of October 2023, by category or major operator. 資料源自 Statista

²¹⁵ Petroc Taylor(2024).Satellite connectivity - statistics & facts. 資料源自 Statista

²¹⁶ SES 網站資料；<https://www.ses.com/o3b-mpower/power-meo>；<https://www.ses.com/o3b-mpower>.最後閱覽時間 2024/4/5.

²¹⁷ OneWeb(2023). OneWeb confirms successful deployment of 16 satellites including next-generation JoeySat

表 2 -18 ITU 頻譜管理費類型

業者	SpaceX 	Project Kuiper 	Oneweb 	O3b (現為SES) 	
發射低軌衛星數量	5527顆(預計超過4.2萬顆)	0顆(預計達3,236顆)	618顆 (預計達3,300顆)	第一代20顆 第二代mPOWER 預計13顆·現有6顆	
軌道高度	約550公里	587公里、612公里、628公里	約1,200公里	約8,000公里	
使用頻段	衛星 to UT : 10.7-12.7 GHz 37.5-42.5 GHz	UT to 衛星 : 14.0-14.5 GHz 47.2-50.2 GHz 50.4-51.4 GHz	FSS : 17.7-17.8 GHz 17.8-18.6 GHz 18.8-19.3 GHz 19.3-19.7 GHz 27.5-28.6 GHz 28.6-29.1 GHz	追蹤、遙測與控制 : 17.7-18.6 GHz 18.8-20.2 GHz 27.5-29.1 GHz 29.5-30.0 GHz	空對地及遙測 : 17.8-18.6GHz 18.8-19.3 GHz
	Gateway to 衛星 : 27.5-29.1 GHz 29.5-30.0 GHz 47.2-50.2 GHz 50.4-51.4 GHz	衛星 to Gateway : 17.8-18.6 GHz 18.8-19.3 GHz 37.5-42.5 GHz			
	追蹤、遙測與控制 Uplink : 13.85-14 GHz 47.2-47.45 GHz	追蹤、遙測與控制 Downlink : 12.15-12.25 GHz 18.55-18.60 GHz 37.50-37.75 GHz	FSS/MSS : 19.7-20.2 GHz 29.5-30.0 GHz	空對地 : 17.7-20.2 GHz	
通訊速度	標準型 : 25-100 Mbps 高級型 : 40-220 Mbps	小型號 : 100 Mbps 標準型號 : 400 Mbps 大型號 : 1 Gbps	約200Mbps	10Gbps(第二代)	

資料來源：主要衛星業者網站、Statista，本計畫整理

(二) 衛星通訊技術特性及應用情境

低軌道通訊衛星相較於地面通訊系統，其具有相對不受環境條件限制的無縫覆蓋、超過300公里半徑的大範圍覆蓋、長距離下的低延遲性等三大優勢，在地廣人稀的國家已經成為重要的通訊解決方案，故近年蓬勃成長。

然而我國雖屬地狹人稠、基地台覆蓋率高之海島國家，考量地形、區域及產業特性，主要低軌通訊衛星應用仍以災難備援及偏鄉普及等特殊情境為主。未來伴隨應用成熟度提高，或可走向海上應用、衛星物聯網、遠距醫療及金融等領域發展。



圖 2-44 低軌通訊衛星技術優勢與應用情境

資料來源：本計畫分析

1. 手機直連衛星

隨著主要業者星系佈建規模逐漸提高，近年低軌衛星通訊業者商業模式已從 B2B 轉向 B2C，智慧型手機成為重要的終端通訊裝置。而目前智慧型手機與低軌衛星連線之通訊架構有三種，分別為透過基地台、衛星終端(即衛星地面接收天線)、手機直連之方式。電子訊號在長距離下的衰減幅度大，因此低軌道衛星所配合之接收天線具有大尺寸、可追蹤衛星的特性，透過基地台與衛星終端的連線方式可取得較佳的連線速度，估計可達 100 Mbps。

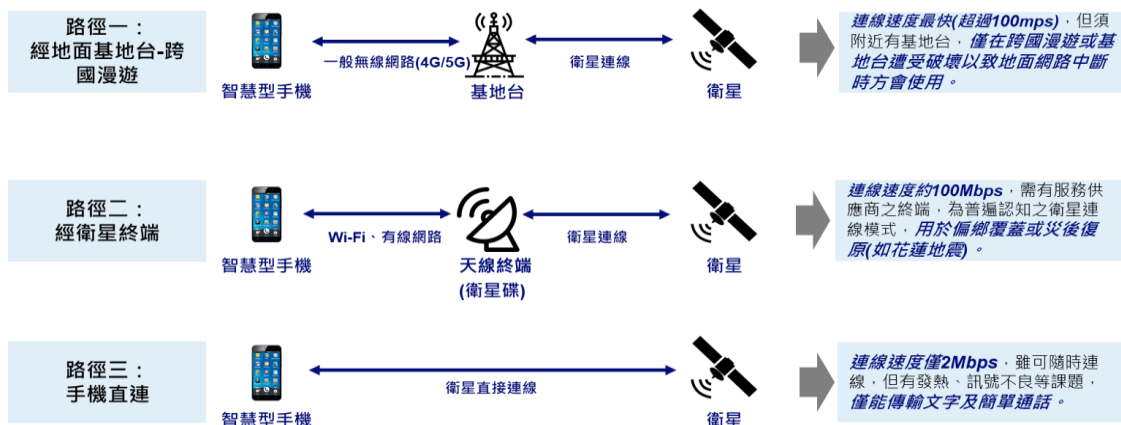


圖 2-45 智慧型手機與低軌衛星連線之通訊架構

資料來源：Starlink 官方網站，本計畫整理

若為衛星直連手機，受限傳輸距離及手機天線大小兩項客觀物理條件，連線速度僅有2 Mbps，且設備亦需面對過熱風險，僅能傳輸文字訊息及簡單通話，適用於山難與天災等緊急需求，難以成為普及服務，若要擴大商用尚需一段技術發展，以克服易發熱、訊號不良等問題。

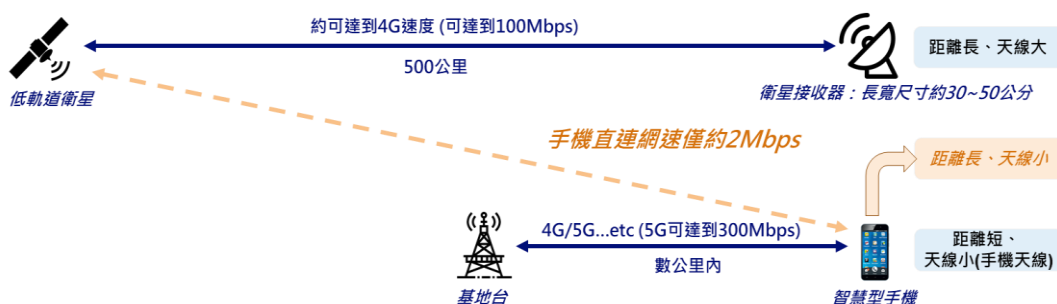


圖 2 -46 衛星直連手機之物理通訊限制

資料來源：本計畫分析

而低軌通訊衛星營運所需之電信頻譜資源分為兩種，第一種為衛星通訊營運訊號落地 Gateway 或 UT 所需資源，如前圖所示；第二種為衛星電信營運商提供用戶接取所需之頻譜²¹⁸，目前海外衛星商落地為加速市場普及擴大，大多與各國在地電信商合作獲得頻譜使用資源。因應此一商業模式需求，在政策方面，政府部門需思考國內衛星通訊與地面行動通訊之競合策略，依各國人口、商業、地理環境等條件制定合適通訊基礎建設，以提高通訊人口或地理覆蓋。以澳洲為例，為滿足通訊困難族群之通訊需求(含地理、經濟困難)於2022年成立低軌道衛星工作小組，依據都市化發展與人口分散程度，參考衛星通訊、WiFi、地面通訊網路特性組合成國家電信網路，依區域及對應技術已與業者合作展開相關技術及商業問題之克服²¹⁹(如下表)。

²¹⁸ 手機直連之情況下，衛星營運所需頻譜與提供用戶接取頻譜相同。另外衛星電信營運商提供用戶接取頻譜可能與地面行動通訊營運商合作。

²¹⁹ DITRDCA(2024). Low Earth Orbit Satellite Working Group—2023Chair’s Report

表 2-19 澳洲低軌道衛星工作小組通訊技術方案建議

區域	技術方案	成本	缺點與挑戰
都會區	WiFi 基礎設施(不需衛星)	★	<ul style="list-style-type: none"> WiFi 安全性問題 依賴既有基礎設施
人口聚集區-小範圍	以低軌衛星提供WiFi 熱點	★★	<ul style="list-style-type: none"> WiFi 安全性問題 若人數過於集中，可能有容量不足問題(可採用多重下行鏈路down link)
	以低軌衛星提供WiFi無線網狀網路(Mesh Wi-Fi)	★★★	<ul style="list-style-type: none"> WiFi 安全性問題 單一下行鏈路:若衛星線路設備故障，整段無線網站網路癱瘓 多重下行鏈路:成本上升 基礎設施建設複雜
	以4G、5G網路提供服務，並以低軌衛星作為backhaul	★★★	<ul style="list-style-type: none"> 營運管理、接取規則複雜
	分散之多重衛星下行鏈路(專屬衛星接取)	★★★★	<ul style="list-style-type: none"> 成本高 基礎設施維護困難
熱帶與亞熱帶地區	特殊技術方案	★★★★★	<ul style="list-style-type: none"> 由於大雨將影響衛星傳輸，需要大型天線等技術方案克服環境問題
所有區域	低軌衛星作為IMT網路備用與延伸	不一定	<ul style="list-style-type: none"> 擴大IMT網路覆蓋範圍

資料來源：DITRDCA、澳洲低軌道衛星工作小組，本計畫製作

(三) 各國電信商與 NTN 公司合作之概況

全球網路已涵蓋90%以上的人口，但仍有多達7%的人口位於行動寬頻的涵蓋範圍之外；與此同時，行動網路之使用率為55%，加以成長率逐漸放緩，種種落差都是電信營運商尋求與衛星業者合作的動力。此外，物聯網的部分亦值得關注，據 GSMA Intelligence 估計，單就企業對企業的物聯網，行動電信業者的全球潛在市場營收將從40億美元，於2035年以前攀升至每年100億美元，而移動載具、海上、農業、基礎設施監測及無所不在的物聯網未來也應將持續成長。²²⁰

以日本的軟銀集團(Softbank)為例，其透過與衛星通訊及 NTN 業者開展策略聯盟與併購，預期在未來的 Beyond 5G 的通訊時代透過與 Skylo、OneWeb、HAPS MOBILE 等公司共同建構完整的網路生態系，其中與 Skylo 之合作方向為以地球軌道衛星

²²⁰ GSMA Intelligence (2023). Satellites and telcos: coming to a place above you. <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=79790674&file=231023-Radar-Satellites-and-Telcos.pdf>

提供窄頻物聯網的網路服務，替漁業、採礦業、航運業等使用情境與場域較為缺乏基礎建設之產業提供網路通訊服務；而後與 OneWeb 之合作方式為以低軌道衛星提供低延遲的衛星通訊服務與高速寬頻網路，透過低延遲的低軌道衛星通訊特性與高頻寬服務，服務用戶需求，提供高品質之全球網路；HAPS MOBILE 則在平流層內提供高速的5G 與 LTE 服務，針對移動設備與消費者終端，如手機等電子設備進行連線。藉由不同軌道之衛星與基礎建設連線，結合不同類別通訊技術之優勢，提供100% 覆蓋之無縫通訊服務，積極佈局次世代的完整網路生態系。

下表彙整本計畫所關注之主要國家/地區市場電信業者與衛星/非地面網路公司結盟之近年案例(按預期可服務用戶數、主要市場排序)，標記底色者為已測試或開通衛星通訊服務之業者。在此以有業者已測試/開通衛星通訊服務之美國、日本及歐洲為例進行說明：目前美國電信市場之三大業者皆宣布與各家衛星/NTN 業者結盟，預估使用衛星通訊之行動連接數可達3.77億，對比現今美國人口數約為3.36億²²¹，將有機會彌平數位落差，並進一步於物聯網及基礎建設等層面進行商業應用，其中 T-Mobile 與 Starlink 兩家業者已於2024年1月率先完成第一則直接透過手機連結衛星網路的簡訊測試，並預計於2024年底正式推出商業方案²²²；日本各家電信業者亦分別與 Amazon(即 Project Kuiper)、SpaceX(即 Starlink)、Skylo、OneWeb、AST SpaceMobile 等衛星/NTN 公司合作，其中 KDDI 與 Starlink 已率先於2024年6月推出物聯網商業方案，並已有百餘家企業導入使用²²³；歐洲市場則以德國電信(Deutsche Telekom)於2024年2月底推出衛星物聯網商業方案，其分別與 Skylo、Intelsat、Viasat 等衛星/NTN 業者合作，並可於歐洲及北美地區使用。

²²¹ Census Bureau, U.S. and World Population Clock. Retrieved from August 8, 2024, <https://www.census.gov/popclock/>

²²² Mary Lennighan (2024). [Starlink ready for T-Mobile US launch with 100 direct-to-cell satellites \(telecoms.com\)](https://www.telecoms.com/).

²²³ KDDI, お客さま導入事例, <https://biz.kddi.com/usecase/#page-usecase-list>

表 2-20 全球電信業者與衛星/NTN 公司結盟案例彙整表²²⁴

電信業者	衛星/NTN 公司	主要市場	開通狀態	預期可服務用戶數(百萬)
Vodafone	Amazon	歐洲、非洲	待開通	341
Telefónica	OneWeb SpaceX	歐洲、拉丁美洲	待開通	262
Orange	OneWeb	歐洲、拉丁美洲、 非洲	待開通	229
Deutsche Telekom	Skylo Intelsat Viasat	歐洲、美國	已開通 (物聯網)	193
Verizon	Amazon	美國	待開通	144
T-Mobile	SpaceX	美國	已測試	119
AT&T	OneWeb AST SpaceMobile	美國	待開通	114
NTT Docomo	Amazon	日本	待開通	89
KDDI (au)	SpaceX	日本	已開通 (物聯網)	67
Softbank	Skylo OneWeb	日本	待開通	54
Rakuten	AST SpaceMobile	日本	待開通	6
Telstra and Optus	SpaceX	澳洲	待開通	28
BT	OneWeb	英國	待開通	22

資料來源：GSMA Intelligence、各家業者公開資料；²²⁵本計畫整理重製

²²⁴ 原 GSMA Intelligence 之表格資料為 2023 年 12 月所統整，本計畫於 2024 年 8 月就原表格所納入之電信業者與衛星/NTN 公司再次進行調研，以新增各家業者開通狀態之欄位，其中待開通之業者多預計於未來 36 個月內進行商業測試或營運。另外，因德國電信業者 Deutsche Telekom 與衛星業者 Skylo 之服務已開通，另家宣布合作之美國衛星業者 Intelsat 則於 2020 至 2021 年間聲請破產後完成債務重組，並將與衛星業者 SES 合併，故暫時將 Intelsat 自本表移除。Intelsat (2024). SES to Acquire Intelsat in Compelling Transaction Focused on the Future. <https://www.intelsat.com/newsroom/ses-to-acquire-intelsat/>

²²⁵ GSMA Intelligence (2024). The Mobile Economy 2024. <https://data.gsmainelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=79791127&file=260224-The-Mobile-Economy-2024.pdf>

第三章 國內業者頻率需求意向調查

本章將從我國釋出之頻譜資源，並從國際新興服務發展及我國電信營運商發展情形分析頻率使用情形；配合實際業者調查結果進行實際使用之佐證分析。

第一節 電信業者頻率使用及需求調查

一. 我國各電信技術用戶發展情形

5G 業務開始以來，5G 用戶量除了於第一年爆發式成長外，近年成長率已趨邊緣化；本計畫以 NCC 公開資料計算，5G 開台後第一年用戶量成長216%、第二年46%、第三年25%、第四年僅8%。截至2023年5月，5G 總用戶僅9,056,725；對比4G 開台第二年即達11,574,386，相差甚遠。

根據中華電信2023年年報：其主要營業收入來自於「個人家庭事業群」，佔整體營收61.4%，次者為「企業客戶事業群」營收佔32.7%。由於電信業者的主要營業收入仍然來自於 B2C，然而5G 行動上網用戶量後續成長動能卻不如預期。更甚至，緊隨 ITU 已公佈6G 的相關技術文件，或將加速5G 至6G 間的技術迭代，使5G 產品生命週期縮短，難以回收投入成本。致使我國電信業者對投入新一代5G 基礎建設缺乏效益誘因，造成5G SA 普遍覆蓋的時程不明朗，進一步影響市場對新興服務應用的需求挖掘能量。

二. 各電信業者頻率持有情形

我國為加速中華民國4G/5G 之技術發展，推動國內產業全面升級4G 與布局5G，展開多次無線寬頻釋照作業，包含102年700MHz、900MHz、1,800MHz 頻段釋照作業、104年2,500 MHz~2,690 MHz 釋照作業，106年1,800MHz 及2,100MHz 頻段釋照作業，以及109年1,800MHz、3,500MHz 及28,000MHz 頻段釋照作業(NCC, 2019)。藉由上述四次釋照，一共釋出頻段共2,450MHz，各行動通信營運商目前頻率持有情形如下圖所示。

表 3-1 我國頻率核配表

執照編號	釋照民國年	電信業者	頻寬 MHz	頻段 MHz	始	終
A1	102	遠傳	20	700	上 703 下 758	上 713 下 768
A2	102	遠傳	20	700	上 713 下 768	上 723 下 778
A3	102	遠傳	10	700	上 723 下 778	上 728 下 783
A3	102		10	700	上 728 下 783	上 733 下 788
A3	102	台哥大	30	700	上 733 下 788	上 748 下 803
B1	102	台哥大	20	900	上 885 下 930	上 895 下 940
B2	102	中華	20	900	上 895 下 940	上 905 下 950
B3	102	中華	20	900	上 905 下 950	上 915 下 960
C1	102	台哥大	30	1,800	上 1,710 下 1,805	上 1,725 下 1,820
C2	102	中華	20	1,800	上 1,725 下 1,820	上 1,735 下 1,830
C3	102	遠傳	20	1,800	上 1,735 下 1,830	上 1,745 下 1,840
C4	102	遠傳	20	1,800	上 1,745 下 1,840	上 1,755 下 1,850
C5	102	中華	30	1,800	上 1,755 下 1,850	上 1,770 下 1,865
C6-1	106	中華	10	1,800	上 1,770 下 1,865	上 1,775 下 1,870
E1	106	遠傳	10	2,100	上 1,920 下 2,110	上 1,925 下 2,115
E2	106	遠傳	10	2,100	上 1,925 下 2,115	上 1,930 下 2,120
E3	106	遠傳	10	2,100	上 1,930 下 2,120	上 1,935 下 2,125
E4	106	台哥大	10	2,100	上 1,935 下 2,125	上 1,940 下 2,130
E5	106	台哥大	10	2,100	上 1,940 下 2,130	上 1,945 下 2,135
E6	106	台哥大	10	2,100	上 1,945 下 2,135	上 1,950 下 2,140
E7	106	台哥大	10	2,100	上 1,950 下 2,140	上 1,955 下 2,145
E8	106	台哥大	10	2,100	上 1,955 下 2,145	上 1,960 下 2,150
E9	106	中華	10	2,100	上 1,960 下 2,150	上 1,965 下 2,155
E10	106	中華	10	2,100	上 1,965 下 2,155	上 1,970 下 2,160
E11	106	中華	10	2,100	上 1,970 下 2,160	上 1,975 下 2,165
E12	106	中華	10	2,100	上 1,975 下 2,165	上 1,980 下 2,170
D1	104	台哥大	40	2,600	上 2,500 下 2,620	上 2,520 下 2,640
D2	104	中華	40	2,600	上 2,520 下 2,640	上 2,540 下 2,660
D3	104	遠傳	40	2,600	上 2,540 下 2,660	上 2,560 下 2,680
D4	104	中華	20	2,600	上 2,560 下 2,680	上 2,570 下 2,690
D5	104	遠傳	20	2,600	2,570	2,595
D6	104	遠傳	20	2,600	2,595	2,615
F1~F4	109	台哥大	40	3,500	3,300	3,340
F5~F12	109	遠傳	80	3,500	3,340	3,420
F13~F21	109	中華	90	3,500	3,420	3,510
F22~F27	109	台哥大	60	3,500	3,510	3,570
G10~G15	109	中華	600	28,000	27,900	28,500
G16~G19	109	遠傳	400	28,000	28,500	28,900
G20~G22	109	遠傳	300	28,000	28,900	29,200
G23	109		100	28,000	29,200	29,300
G24~G25	109	台哥大	200	28,000	29,300	29,500

資料來源：NCC，本計畫整理

三. 各電信業者頻率需求調查

未來電信頻率需求的看法被分為兩個方向，分別係維持與進取。由於電信需求現已成為民生消費中不可分割的剛性需求，因此頻率需求必須至少維持目前現有的容量以支援目前的電信市場需求(然而需求將隨接取技術的頻譜效率而異，如 ITU 建議書便指出5G 之於4G 的頻譜效率為3倍，將於後章深入探討之)。然而目前市場情況是否全時段滿足絕對服務品質條件下的頻率需求?係本計畫亦有進行探討的情形。

另一方面，從前章對5G 技術發展及新興應用之分析可得知，國際趨勢已錨定下一個電信市場的新事業機會在於5G 技術可以支援的多元化網路服務應用，如車/物聯網、企業專網等；並且國際間電信營運商亦認同其商業模式，且偏向作為市場主導方，透過垂直整合度高的價值鏈，來獲取更大營利空間。

綜上所述，可見維持目前的電信消費需求係電信業者被動的對頻率需求的必然需要，惟本計畫將計算其尖峰時段的所需系統容量；而新興電信需求則將刺激電信業者主動需求更多頻寬。

(一) 目前一般及尖峰時段頻率需求

本計畫透過蒐集有關於我國通訊市場的市場調研資料導入模型中，並輔以我國實際人口密度及人均裝置持有比例等模擬我國目前的通訊市場母體，並結合由 ITU 或本計畫調研其他電信標準組織建議的技術標準值，以推計我國電信市場整體所需的頻率需求。計算結果與向業者訪查的方向大致相同，皆顯示在維持我國基本電信需求的情況下，目前的頻寬量並無不足，意即業者在這部分無額外的頻率需求。顯示詳細資料的蒐集結果、量化模型計算方法及計算結果皆說明於第五章。

另本計畫亦透過取得現存電信業者的尖峰時間網路服務流量資料，以推估其現有的頻譜使用效率。將採用95%百分位值(95th percentile)，向業者取得我國人口密集區近一年內由大至小排序第5%順位的 Mbps 資料，以此作為業者網路服務頻寬的合理尖峰容量值，並推估其現行持有頻率下的實際使用率。結果可見在絕對的服務品質條件下，尖峰時段所需要的頻寬遠高

於一般時段亦遠高於目前已釋出的頻寬，可見若尖峰時段時，系統已嚴重擁擠。詳細資料的蒐集結果、量化模型計算方法及計算結果皆說明於第五章。

(二) 新興電信服務頻率需求

經本計畫初步調查，雖然我國三間行動網路電信營運商雖皆有 5G 網路切片技術，然而我國目前 5G 網路切片服務與其應用案例仍屬少數且於實驗階段。各業者對於 5G SA 的佈建及毫米波頻段的應用仍處於相對被動狀態，尚未有明確須達成的目標時間表，故據業者表示，短期頻譜需求以有利於降低覆蓋成本的低頻為主。

在本計畫訪查業者對 5G 新興服務電信需求的態度後，可見各業者對 5G 提供的空白市場機會皆趨於保守。本計畫使用三大消費需求與電信業者進行討論：

1. 邊緣運算終端設備

針對這個需求，業者的反應兩極。一方認為我國歷年來訊務量已成長接近 6 倍，縱使我國整體人口負成長，電信業者仍需要持續面對如何支援訊務量成長的問題。這方意見對傳統電信市場的頻率需求亦與 AI 手機的滲透率相同：意見認為，因就我國平均資費方案的換約年數為 4 年；直至 2030 年，AI 手機的市場滲透率將較高且甚至過半，這亦將提高訊務使用量。然而另一方意見認為，目前 AI 運算功能逐漸走向邊緣運算(即手機裝置不需上網即可在單機進行運算，與雲端運算相異)，單就手機個體而言，若沒有其他機器與機器之間的互動，僅 AI 功能並不會對流量的帶來爆炸性的成長。

2. 車聯網

業者普遍對於車聯網的需求不甚樂觀，從消費方面而言，目前並沒有看見汽車聯網的市場有進一步擴張外，技術面來說亦難供給。有鑑於我國車行環境複雜度高，且車聯網的要求理想通訊環境要求度以目前來說供給面向困難。所有業者對車聯網縱使行至 2030 年，成功發展的機會仍極微。因此對頻率需求來說，業者沒有意願投入更多的資源或持有任何專

用頻段來進行營運。

3. 物聯網

物聯網分為公共與產業兩個構面，公共構面即目前我國 800MHz 頻段所支援的民生公共物聯網，而產業則為本計畫預設與毫米波頻段較相關的智慧工廠應用。公共構面而言，業者認為與基地台佈建的可能性始有相關，基於在巷弄內的民生住宅來說，由於其他基礎建設佈建(如交通號誌或路燈等)的完整性高，可藉由此來提高微型基地台的佈建密度而支援複雜的多功能需求。產業面而言，目前我國相關案件僅零星幾例，對於需求的規模效應尚未形成，且目前案例多使用 5G 專網，因此並未見有急切的頻率需求。連帶 28GHz 毫米波頻段釋出的假設，業者認為對毫米波的技術支援成本已遠超其能供給的效益，由於技術特性所礙，28GHz 的低穿透能力無法契合於製造產業需求的使用。

(三) 業者對市場見解綜合整理

本計畫舉行有業者座談會二場，除了蒐集業者對頻率需求模型的意見外，亦徵詢業者對本計畫需求推估方向的意見。本小節對所有業者(電信業者 3 家及設備業者 2 家)的意見進行蒐集並重新歸納以綜合討論之，以描繪電信市場未來發展情形。意見分為 3 個層次進行探討，與本計畫的直接關係層為頻率需求，與第二關係層為帶動頻率需求的消費需求，而最後一層為建設傾向，是頻率與消費需求衍生的需求，即係電信業者對支援一定程度需求時的基地台設備建設需求。

1. 頻率需求

頻率需求主要可以分為兩個面向，「量」與「質」。需求發生的決定係數主要是使用者員數的多寡及其使用的網路流量，基礎而言，若使用者量大且幅員遼闊，而其使用的網路流量亦高，則頻率需求會非常可觀。我國人口近年來已負成長，因此由既有使用者帶來的量體不會顯著增長，這是所有業者的共識；然而分歧點在於訊務量的增長幅度，也就是所謂的「質」。一派業者認為根據過去歷年我國電信市場經驗及國際報告指出，訊務量幾乎都是成長的，因此不認為頻率需求

在會比目前的水準更低，而另一派業者認為未來的新頻率需求不高，目前的頻寬量已經足夠，頻率需求在 2030 年的再釋出也只是為了維持現有的使用量。

2. 消費需求

消費需求是帶動頻率需求的主要動力，網路服務應用的發展與創新係其燃料。業者的意見各異，在基礎既有使用者的消費需求來看，一些業者認為 AI 應用的植入會提高使用者的流量需要，然而亦有可能因 AI 運算邊緣化而不上雲，抑制了流量的提升。為此，一派業者認為 AI 手機的滲透率可觀且可能在 2030 年超過五成的手機市佔率，搭配我國電信市場換約率，或將帶來一波消費升級潮；另一派業者認為，AI 手機的情形須待 2 至 3 年後觀察較明朗。

另一方面，對於目前我國電信業者皆有提供的物聯網門號服務，需求不明顯係事實，並不需求過多釋出頻寬來支撐需要。在物聯網的應用場域上推行 5G SA 業務是可行的，然而其他技術擠壓了其空間，應用上非必要為之；且此等應用目前使用專用網路而非商用網路，因此對頻率需求影響不大。然而，國際間在 5G SA 應用上的創新案例有不少，例如遠距手術等，認為積極推動各式各樣的創新應用有助於擴大需求規模。而這有賴於電信營運商的產品策略，針對不同應用及客推出不同的計價與產品內容將有助於提高既有使用者及潛在未開發客群的消費誘因。

3. 建設傾向

頻率需求與建設需求有一定程度的關聯，建設需求或可以作為頻率需求的機會成本，但礙於一定的效用程度，頻率需求通常也與建設需求相輔相成。電信技術的更迭往往牽涉很多建設議題，大多數業者都認為在目前 4G 過渡至 5G 的緩慢進程下，覆蓋義務上仍然需要靠 4G 現階段的成本優勢來支撐，因為轉換至 5G 的建設隱性與市場成本皆高，同時也沒有誘因，認為政府可協助提供誘因以供過渡。

	頻率需求	消費需求	建設傾向
A電信	<ul style="list-style-type: none"> ■ 預期2030年頻率需求高於現有頻譜。 ■ 希望儘量取得頻譜以維持市場領先地位。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 雖然人口負成長，但歷年來人均訊務量已顯著成長。 ■ 國內平均約3~5年更換手機，故對AI手機市場滲透率較樂觀，認為2030市佔可能>50%。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 4G至5G轉換速度偏緩。 ■ 不認為低頻覆蓋會從4G脫離。
B電信	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目前的頻譜已足夠，政府無需再釋出新頻譜。 ■ 119年釋照目的應是維持既有市場，使營運商現有業務持續。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 對新興服務需求的成長態度偏向保守，不足以支撐頻率需求。 ■ AI手機若有大量雲端運算才会有新流量需求，但未來運算主要會發生在邊緣或是雲端仍未明朗，建議過2~3年再觀察。 ■ 對車聯網的技術與供給存疑，認為需求至2030也未成熟。 ■ 同意5G Advance一定需要5G SA，物聯網應用場域或許可以推5G SA，但以目前應用發展仍非必要，且是走專網非商網。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 4G至5G轉換對營運商建設及市場成本皆高。 ■ 28GHz技術及建設困難，導致使用率較低。 ■ 認為地理覆蓋沒有誘因。 ■ 探討衛星接取的可行性。
C電信			
D設備商	<ul style="list-style-type: none"> ■ 國際趨勢皆持續成長，不認為頻譜需求會維持在現況或減少。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 國際有許多5G SA專用服務應用案例，如遠距手術等。 ■ 積極推廣新興服務有助於擴大市場規模。 ■ 技術用戶的結構過於穩定，可以由營運商推出市場差異化來提高誘因。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 低頻覆蓋仍由4G支撐。 ■ 建議透過政府政策提供5G SA的覆蓋誘因。
E設備商			

圖 3-1 電信市場意見

資料來源：本計畫整理

因就頻率需求與技術供給息息相關(供給效率影響頻率需求)，本計畫亦向業者探尋其更新技術效率的可能性。就目前而言，我國絕大部分既定消費皆未使用 5G SA 供給，而 5G NSA 已能提供與 SA 無異的頻譜效率，因此在目前需求僵化及技術升級效益不高的情形下，業者對 5G SA 的普及及覆蓋仍欠。業者亦指出，目前核心網路已可準備好支援升級 5G SA，然而在消費市場對資費方案升級的意願不強下，在技術過渡期需要維護兩套組網才得以維持服務品質。若以這樣的方式進行過渡，除了營運成本的驟升外，亦需要額外頻寬才得以維護雙核心網路，勢必需要對頻段進行重耕(Refarming)，綜合因素較多。

第二節 影響國內業者頻率使用及需求因素分析

本節統整國內業者對於頻率使用及需求的看法，探討造成部分業者對頻譜需求保守看待的主要因素，可從市場結構、應用情境發展、設備技術發展及頻譜管理模式影響等四大項分別分析。

一. 市場結構因素

我國電信市場結構在業者合併後，趨向於三家業者均分的寡佔市場，加以三家頻譜資源相近，對消費者的服務方案價格也相近，在產業應用上亦未見有創新的商業模式加入5G 市場競爭。若在無外在刺激，在消費用戶數趨於飽和，且電信服務商品未增加的情況下，業者容易趨向降低接取成本以維持利潤。若有新的頻譜釋出，意味著必須有新的資本及建設投資，但若缺乏新的營收機會，對業者而言將直接侵蝕現有利潤。

二. 應用情境發展因素

而從前章對5G 技術發展及新興應用之分析可得知，國際趨勢已錨定下一個電信市場的新事業機會在於5G 技術可以支援的多元化網路服務應用，如車/物聯網、企業專網等；並且國際間電信營運商亦認同其商業模式，且偏向作為市場主導方，透過垂直整合度高的價值鏈，來獲取消費用戶之外更大營利成長機會。但目前除了先進製造場景外，其於5G 應用的市場需求挖掘度不足，對電信商而言快速轉換至5G SA 將使成本難以回收。對於頻譜使用而言，在新興服務需求未被發掘及4G 用戶自然轉換5G，逐漸提高頻譜使用效率的情況下，我國電信市場對頻譜的需求甚至可能不增反減；加上若無相應的配套措施，亦無助於頻譜資源的有效率應用。因此，若要使頻譜需求成長，就必須從未來車/物聯網、智慧工廠、AI 邊緣運算等新興電信應用服務的發展加速推動的角度思考相關政策及產業配套。

三. 設備技術發展因素

在5G 電信終端設備市場方面，過於專注於消費性電子品等已開發市場區塊，對5G Advance 的應用裝置如自動搬運車等，因其市場規模及技術門檻較高，目前市場成熟的產品線仍相當有限，間接影響應用的開展。

四. 頻譜管理模式影響

頻譜的使用並非單向受到需求開發的影響；在5G 網路切片應用中，三種應用情境對應的服務特性同樣受頻譜資源的影響。對 eMBB 及 mMTC 而言，兩者使用情境內因使用者裝置的密度較高，因此需要更高頻率的頻譜以供5G 技術的效率最大化，如毫米波；而對於 URLLC，因應車聯網等需求覆蓋率較廣的應用情境，因此需要低頻段但覆蓋範圍較廣的頻段作為頻譜使用，如 Sub-6 GHz。國際上已有開發彈性調配頻譜使用的機制與工具，惟我國對頻譜釋照與管理彈性的應用模式較為單一，建議在未來頻率特性差異擴大情形下，應積極評估各種多元釋照及彈性使用機制在國內推行的可能性。

因此，本計畫將透過設計數種應用發展情境並推估市場需求量，透過計量模型的模擬，除了協助我國電信業內相關利害關係人更加瞭解 5G 新興服務的潛力外；亦可以模擬新興服務的頻譜需求，供政策制定參考。本計畫設計情境與模擬結果將可得潛在終端市場中，推估頻譜使用所需要的頻率量的量化結果，並搭配質化分析以推演我國於高低頻段頻譜的政策，以從政策面向激勵我國電信業者更多創新科技應用以創造更大的經濟效益。

第四章 頻譜需求及經濟效益模型建構構想

第一節 頻譜需求及經濟效益模型建構說明

頻譜需求預測及經濟效益評估涉及國家有限資源分配，為追求國家社會福祉最大化以及利害關係人間的公平性，模型的選擇須同時滿足計算精確度、市場接受度及開發機構公信力。有鑑於資通訊技術高度標準化的特性，標準制定組織—ITU，在電信產業有相當程度的影響力；ITU 作為聯合國資通訊技術的專門機構，其出版品具有一定的品質與共識。此外 GSMA 亦從推動電信產業的角度產出不少對於頻譜預估及經濟效益的論述，同樣為各國所認可，惟從其立場出發通常較 ITU 更為積極看待相關資源的釋出。本計畫顧及選用模型的公信力並接軌國際，將考量 ITU 或 GSMA 所發佈之模型及方法為基礎進行頻譜需求及經濟效益之分析。

一. 頻率需求模型的選擇

頻率需求模型及其相關研究計畫前期多有執行先例，自98年度起，「我國中、長期無線電頻譜最佳化規劃」與「行動寬頻頻譜政策研究」等計畫中皆以 ITU-R M.2078模型進行頻譜需求預測。隨著2013年12月 ITU 發佈新版本 ITU-R M.2290模型，自103年度起，「我國3G 頻譜屆期釋出規劃及 B4G/5G 規範與發展研究—我國未來頻譜政策規劃」、「我國未來頻譜政策規劃」、「頻譜供應規劃與政策規範研究」等專案皆使用 ITU-R M.2290模型進行計算。目前 ITU-R M.2290模型仍為最新的頻率需求模型，因此本計畫仍將以 ITU-R M.2290模型進行我國2030年行動通訊及新興技術頻譜需求分析；並依據技術演進及我國情況對模型框架及參數進行調整。

二. 頻譜經濟效益模型的選擇

經濟效益推估本計畫主要評估 Vadim Nozdrin 博士於 ITU Journal on Future and Evolving Technologies, Volume 2 (2021)發表之《頻譜分配經濟效益模型》(ECONOMIC EFFICIENCY OF SPECTRUM ALLOCATION)、ITU-R SM.2523《頻譜效率及經濟

價值的評估》及 GSMA(2022)之《中頻5G 服務經濟社會效益模型》(The Socio-Economic Benefits of Mid-Band 5G Services)三套計算框架的適用性。

Vadim Nozdrin(2021)的計算架構主要以投入產出矩陣透過規劃和再分配，說明資源投入之效果。從技術流程、產業部門之間的相互依賴關係以及頻譜使用的經濟影響的觀點出發，設計了部門間頻譜投入產出矩陣以作為評估頻譜效率的經濟模型。主要以投入產出法分析無線電頻率釋出可帶來的整體經濟效益。而不同頻段的釋出又會因為其資本支出、營運支出、交易成本、外部性成本等有關，因而影響不同頻段之經濟效益。

ITU-R SM.2523《頻譜效率及經濟價值的評估》一文，也採用類似方式，將行動通信業務收入與衛星通信業務收入相加，除以同年 GDP，得到基於無線頻譜的 GDP 直接經濟效益。外部經濟效益部分則以產業對 GDP 的影響因子形成一線性回歸結果，可以透過投入產出表中的矩陣取得電信業所帶來之間接貢獻。其概念圖如下所示。

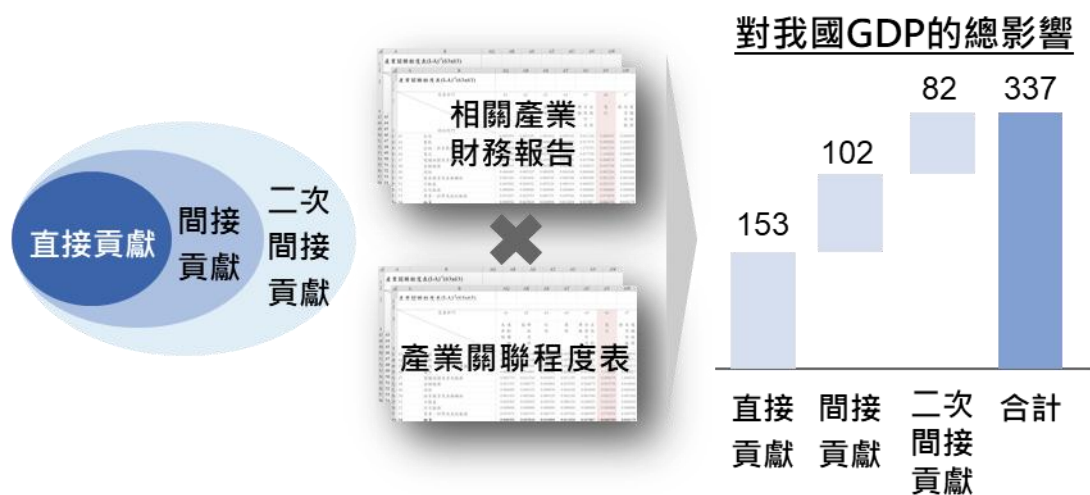


圖 4 -1 ITU-R SM.2523 頻譜經濟價值計算框架

資料來源：本計畫整理自 ITU-R SM.2523

而根據 GSMA 報告 (Mobile technology: two decades driving economic growth, Working Paper, GSMA Intelligence, 2020)，行動

裝置採用率平均每增加10%，GDP 就會增加1%；此外，從2G 升級到3G 以及從3G 升級到4G 時，行動採用的經濟影響會增加約15%。為了預測5G 技術對 GDP 的總體經濟影響，假設從現有網路技術(主要是4G)到5G 的轉型將對每個行動連接產生與以前科技轉型類似的經濟影響；因此對於每個過渡到5G 的連接，4G 連接的經濟影響會增加15%。故 GSMA(2022)模型基於兩個方向：(1)基於5G 的技術對整體經濟的生產力和經濟成長的影響；(2)根據多種因素在各個行業之間分配收益，包括行業的技術準備以及5G 技術對該行業的預期影響。惟我國屬高度集中於製造業的小型國家，產業結構及發展狀況與歐美等大陸型國家有異，而 GSMA 模型必須基於5G 對於15個產業所給定的影響參數作計算，目前並無5G 針對台灣產業環境有相關影響力的數據，導致適用上的困難。

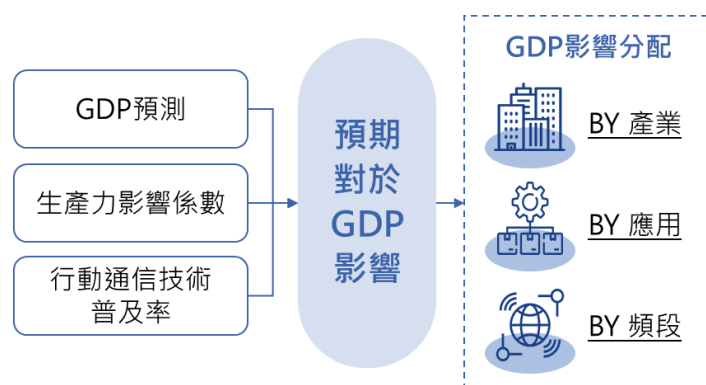


圖 4-2 GSMA(2022)之《中頻 5G 服務經濟社會效益模型》

資料來源：本計畫整理自 GSMA(2022)

綜上，本計畫擬結合 Vadim Nozdrin(2021)、ITU-R SM.2523兩種較相近的計算架構之概念，考慮我國資料取得情形，設計一基於投入產出之經濟效益模型。

三. 頻譜需求及經濟效益模型的關係

本計畫將我國頻譜需求及經濟效益評估，分成兩個階段進行計算，由兩個模型建構組成，如下圖所示。於第一階段頻譜需求計算中，對於地面通信的頻譜需求計算基於 ITU 發布的 M.2290報告《地

面 IMT²²⁶ 未來頻譜需求估計》(Future Spectrum Requirements Estimate for Terrestrial IMT)，而衛星通信頻譜需求部分將併入頻譜需求模型中計算，並調整部分參數以符合衛星通信技術特性。模型計算中主要受我國市場概況與網路設置影響，如用戶規模、用戶使用習慣、基地臺涵蓋範圍、技術規格等。

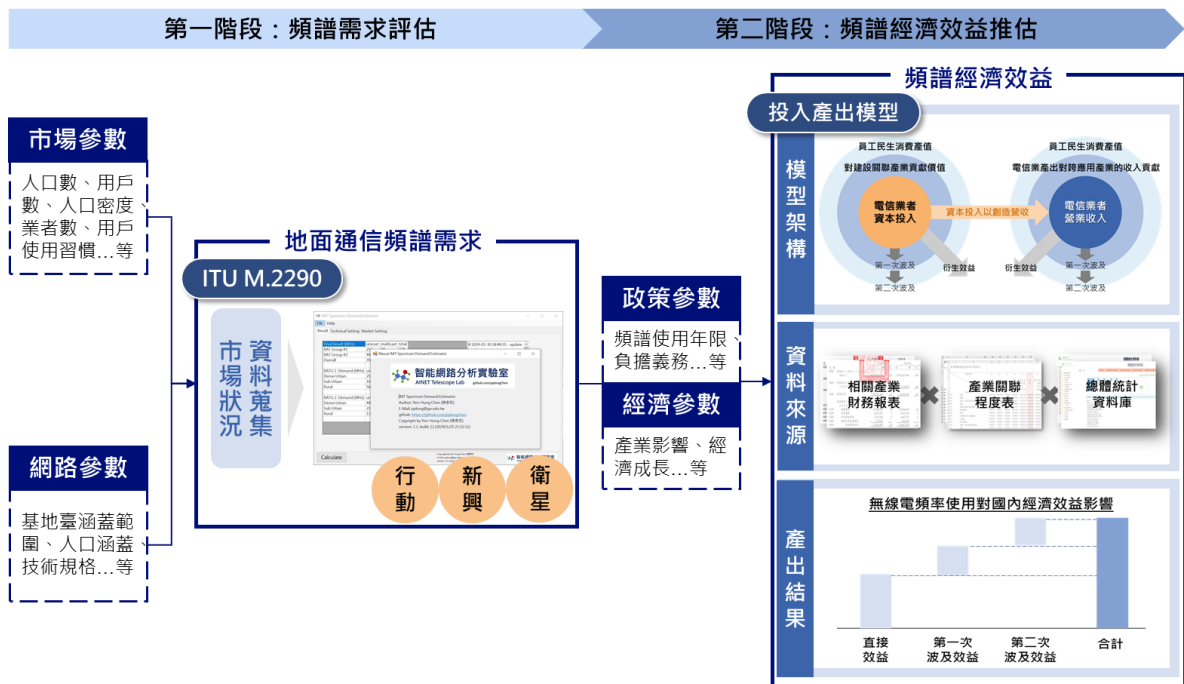


圖 4-3 我國頻譜需求及經濟效益模型整體架構

資料來源：本計畫整理

²²⁶ 國際行動通信(International Mobile Telecommunications, IMT)

第二節 模型模擬主要探討議題及情境假設

ITU 發佈的 M.2290 報告及計量模型，發佈時間為 2013 年，原版模型內的參數未針對最新的網路服務趨勢進行更新，並且該模型為國際通用版本，未有鑑於不同市場與特性進行調整。本計畫為使模型計算結果更貼近我國市場特性及最新通訊市場趨勢，已針對原版模型以我國在地化因素進行模型架構的調整，輔以情境假設，以探討對頻譜規劃的相關議題。以下將從三個構面探討模型模擬的主要探討議題及情境假設，分別為網路接取技術方面、使用網路服務方面及服務環境方面。

一. 網路接取技術

網路接取技術方面，我國消費市場用戶已逐漸普及且趨向飽和。本計畫預估於計畫的模擬時程範圍內，預期用戶數不易再如3G轉換4G時期有明顯的用戶成長，在2C的消費市場總用戶數維持的情況下，從近年趨勢及營運商訪談結果，也看到4G業務轉換至5G的速度也將較3G轉4G更為緩慢。截至目前，5G市佔31%，對比4G市佔率69%，依照過往轉換率預測，2030年自然成長的情況下5G將佔65%，取代4G成為市場主流，而4G僅剩下約35%(如下圖)。

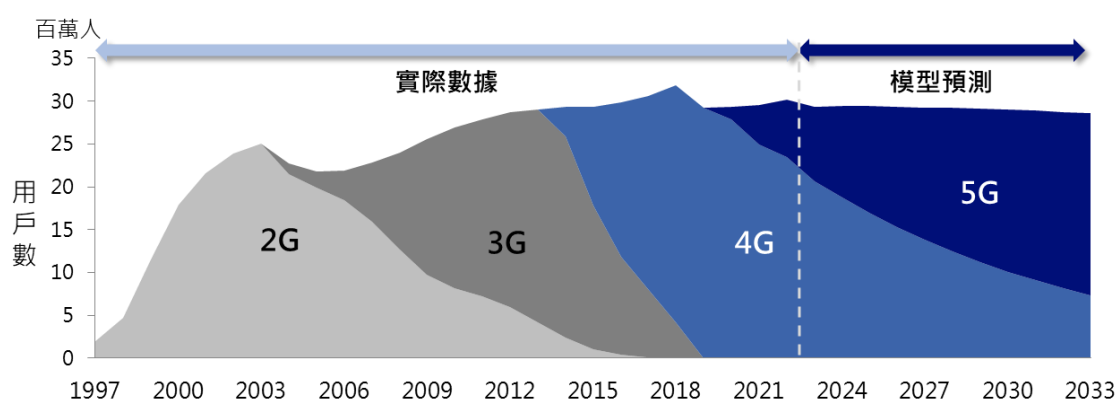


圖 4-4 我國業務別用戶數變化量(含預測)

資料來源：本計畫製作

二. 使用網路服務

使用網路服務方面，因 COVID-19 疫情影響，加速社會對於遠距會議、教學、影音串流等高流量需求服務的轉型。根據國家通訊傳播委員會(下稱 NCC)《112 年通訊傳播市場報告》所示，如「網路購物與外送服務」、「視訊會議」、「線上學習」、「線上繳費」、「線上串流影音」等高服務流量的網路服務需求項目都已相對增加了使用百分比(如下圖)。

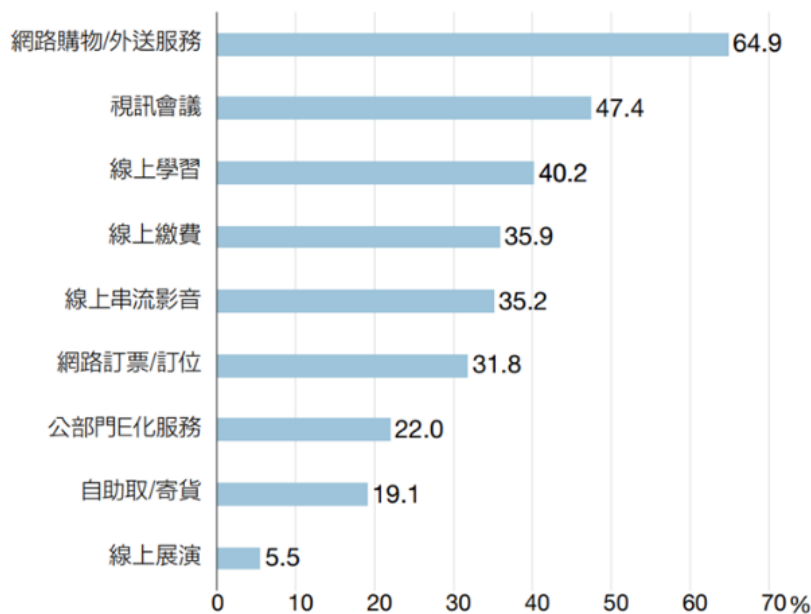


圖 4-5 112 年增加使用頻率的數位服務

資料來源：NCC《112 年通訊傳播市場報告》

三. 服務環境

服務環境方面，因應不同頻譜釋照假設方式以及我偏鄉、山地部落與離島覆蓋率不足之議題，本模型透過假設三種情境計算每區域特性下，頻譜需求的量化結果，以供後續政策討論。首先，本計畫將全台368個行政區進行畫分，並提出以下三種樣區：「人口密集區」(非偏鄉及離島)、「偏鄉」(不含山地部落及離島)及「山地部落與離島」。其中，「人口密集區」係由全台共368個鄉鎮市區，排除《電信事業普及服務管理辦法》定義之電信普及服務地區97處及金城鎮、金寧鄉兩處非偏鄉之離島，共271個鄉鎮市區；

取人口密集度最高的「新北市 永和區」作為樣區。而「偏鄉」係依《電信事業普及服務管理辦法》定義之電信普及服務地區，其定義為人口密度低於全國平均人口密度五分之一之鄉鎮市區，或距離直轄市、縣(市)政府所在地七點五公里以上之離島及普及服務提供者之市內網路單一交換機房服務區域符合以下各款情形，經主管機關依交通、電力供應、電信基礎設施、住戶社會經濟條件或其他因素核准者，服務區域與偏遠地區相鄰及人口密度介於全國平均人口密度五分之一至四分之一之鄉鎮市區，亦視為偏遠地區；取「苗栗縣 南庄鄉」、「新北市 雙溪區」、「花蓮縣 鳳林鎮」、「苗栗縣 三灣鄉」、「南投縣 魚池鄉」。「山地部落與離島」之定義，其中「山地部落」係依原住民族委員會核定並刊登公報之部落一覽表(113.04.08)，共30個山地鄉(其中蘭嶼鄉為離島，基於不重複計算原則，納於離島分類中)；取「臺東縣 金峰鄉」、「屏東縣 霧臺鄉」、「新北市 烏來區」。「離島」係依國家發展委員會定義與臺灣本島隔離且屬我國管轄之島嶼，共19個(然而其中金城鎮與金寧鄉為非屬偏鄉之離島，予以排除之)；取「澎湖縣 望安鄉」、「連江縣 東引鄉」、「金門縣 金沙鎮」、「連江縣 南竿鄉」、「金門縣 烈嶼鄉」。

以上三種地區分屬，係為對應因地理與人口環境不同而各異的市場誘因進行頻譜需求的估算。其中，「人口密集區」為純粹市場機制推動，「偏鄉」係因應我國對電信普及服務之提供的頻譜釋照義務而推動的市場，「山地部落與離島」則是即使以電信普及服務基金資源亦不易達成覆蓋的低經濟效益地區與低市場誘因情形。

於模型計算時，將透過三種不同情境的模擬，以將不同市場誘因與頻譜釋照方式進一步連結並輔以量化結果佐證之。第一種情境以三種分區中最大值(理論應為人口密集區)，作為全台頻譜需求，此亦為我國現行頻譜釋照方式；訴諸具體佈建模式及時程，於2030年加強5G SA 覆蓋率。第二種情境將人口密集區與偏鄉之間取最大值作為全台頻譜需求，以此作為頻譜釋照時同網偏鄉覆蓋義務的頻譜釋照方式；同時亦單獨計算山地部落與離島的頻譜需求，用以瞭解這樣不經濟地區的覆蓋需求。第三種情境為將人口

密集區單獨計算以作為全台頻譜需求，而將偏鄉和山地部落與離島地區取最大值，用以瞭解2030年達成這些地區的覆蓋需求，以支援遠距醫療、教育、防災、物流、交通等網路服務(詳下圖)。

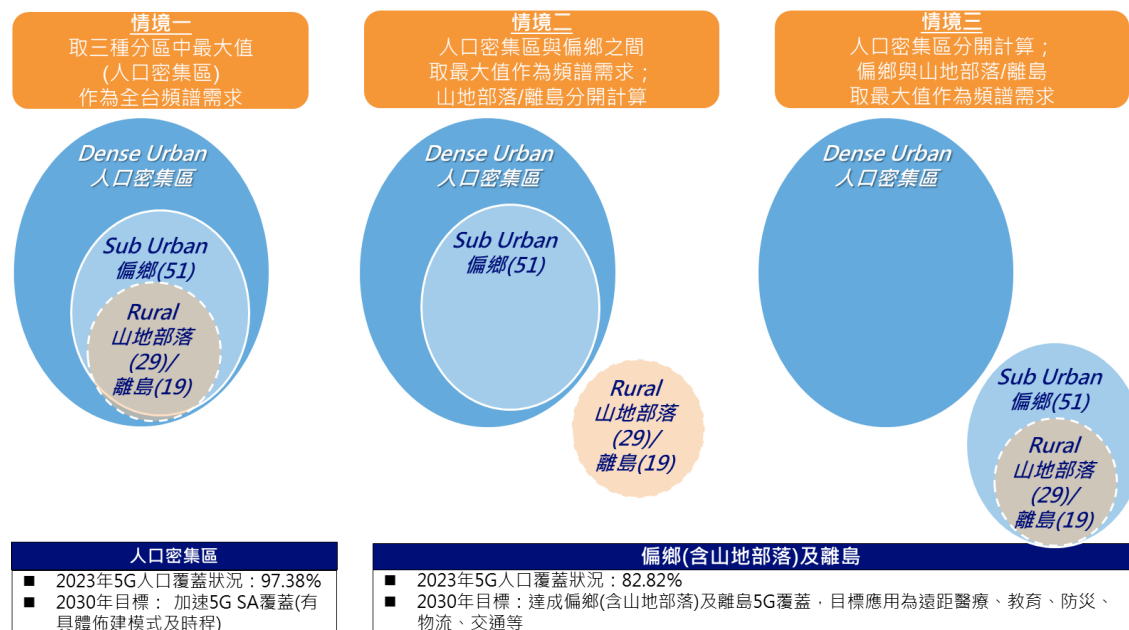


圖 4-6 頻譜需求模型情境設定

資料來源：本計畫製作

綜合以上，基於社會對服務需求的轉變、未來基礎設施佈建的需求及頻譜資源有效利用，本期計畫將透過無線電頻率需求模型，預評估 2030 年頻譜需求。對於服務需求的轉變，將探討傳統與新興服務使用的服務水準要求，以促進無線技術及服務創新；對於基礎建設佈建需求，將評估如何以再釋照的模式促進業者達到更好的地理覆蓋；對於頻譜資源的有效利用，將探討各類頻譜特性與應用服務特性的分配，以評估區域內許可及頻譜共享政策。



圖 4-7 頻譜需求模型探討議題

資料來源：本計畫製作

第五章 頻譜需求模型架構及參數說明

第一節 頻率需求模型架構

ITU M.2290 模型以 M.1768-1 模型為基礎，對部分參數進行更新而得。ITU M.1768-1 考量市場需求與網路部署情況，以建立一個頻率需求的計量模型。模型對頻譜需求評估的出發點係無線電通信服務的市場需求預測，為此模型設計導入市場上不同網路服務的特性。而 M.1768-1 模型採取技術中立的態度，模型可以導入不同的無線接取技術(Radio Access Technology Group, RATG)，以透過對不同的 RATG 設定其對應的技術參數，用予納入頻譜計算方法中計算服務所需的頻譜量。總括而言，頻譜計算的必要元素有其四：網路服務、市場預測、技術與營運框架、頻譜計算算法。

一. 頻譜需求模型架構

本計畫將 ITU M.2290 分為四個模組，分別為：「蒐集市場資料」、「計算流量需求」、「評估系統容量」及「計算頻譜需求」。(如下圖)

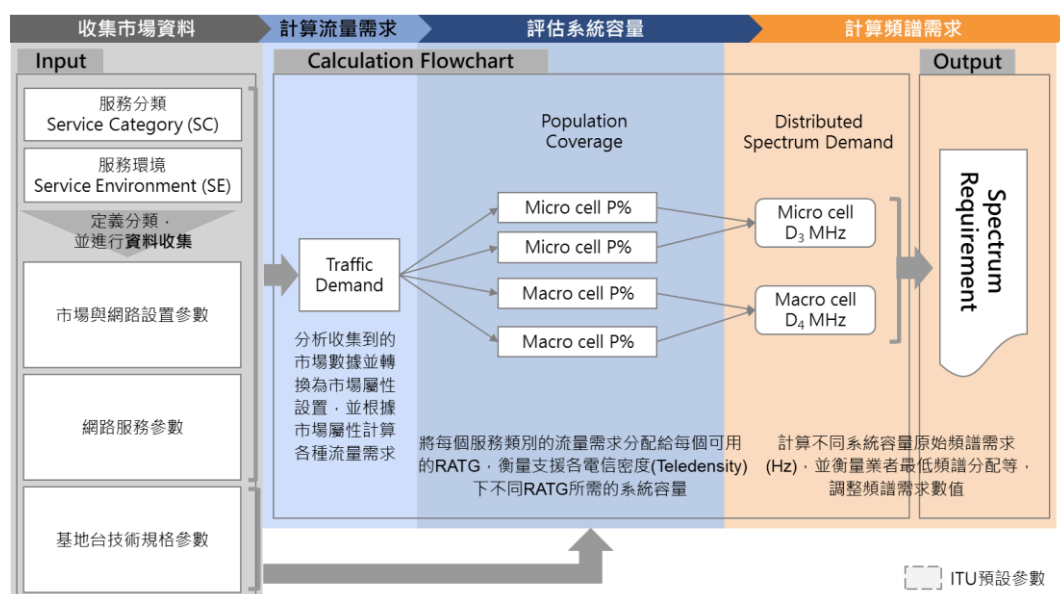


圖 5 -1 ITU M.2290 地面通信頻譜需求模型架構

資料來源：本計畫製作

模組一：「蒐集市場資料」

「蒐集市場資料」係對網路服務使用需求進行定義與蒐集相關的市場調查資料。在這個模組中，需要對電信服務提供的「服務分類」(Service Category, SC)及「服務環境」(Service Environment, SE)進行定義，並且蒐集對應分類的「市場與網路設置參數」、「網路服務參數」及「基地台技術規格參數」。

模組二：「計算流量需求」

「計算流量需求」係對蒐集完成後的市場調查數字，進行計算並轉換為網路接取系統的進入傳輸流量。

模組三：「評估系統容量」

「評估系統容量」係將已計算的流量數字按照其對應的分級分類，分配予每個可用的 RATG，並衡量支援各電信密度(Tele-density)下不同 RATG 所需的系統容量。

模組四：「計算頻譜需求」

「計算頻譜需求」係針對評估後的所需容量，結算頻率需求量。

二. 模型計算步驟說明

上述四個模組將被進一步細分為六個步驟，以利使用者進行模型操作與使用。步驟一：定義服務分類、步驟二：定義環境分類、步驟三：計算區域服務通信量、步驟四：分配通信量至可支援的技術與基地台、步驟五：計算電信密度的通信量以及步驟六：取各電信密度其大值者為每 RATG 所需的頻譜。(如下圖)

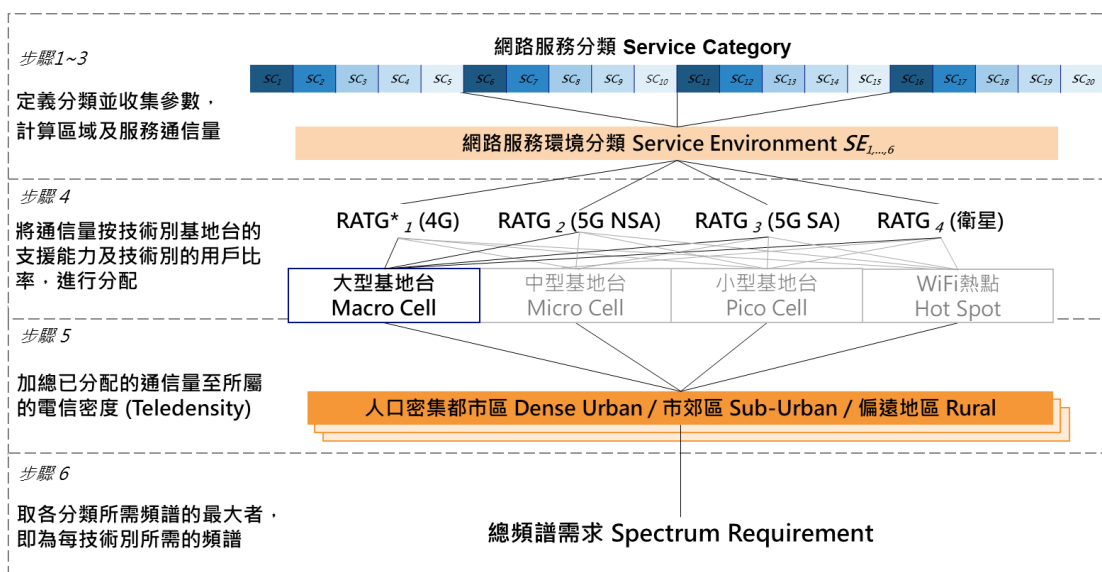


圖 5 -2 ITU M.2290 地面通信頻譜需求模型計算步驟

資料來源：本計畫製作

(一) 步驟一：定義服務分類

ITU M.2290模型將網路服務分類分為20個，由一個5x4的矩陣所組成，橫軸為流量分級(Traffic Class)，縱軸為傳輸速率分級(Service Type)。流量分級以對應網路服務可接受的延遲程度區分，分為四個等級：「會話」(Conversational)、「串流」(Streaming)、「互動」(Interactive)以及「背景」(Background)。其中，「會話」等級的允許延遲度最低，「串流」次之，「互動」再次，最後最高允許度的是「背景」。而傳輸速率分級以服務需要的傳輸速率區分，分為五個等級：「超高速」(Super high)、「高速」(High)、「中速」(Medium)、「低速」(Low)以及「極低速」(Very Low)。其中，「超高速」所需的傳輸速率最高，需要100 Mbps至1 Gbps；往下為「高速」傳輸速率，需要30 Mbps；再者為「中速」傳輸速率，需要2 Mbps；再次者為「低速」傳輸速率，需要144 kbps；最後為「極低速」傳輸速率，僅需要16 kbps。

所謂定義網路服務分類，係指將可能發生的網路使用服務分類至以上各個每個流量等級與傳輸速率分級。舉例，「5G新興服務」如車聯網，所需的流量等級為「會話」級，而傳輸速率分級為「超高速」，則為網路服務分類第一類(SC₁)。而各個網路服務對應的分類係參考 ITU M.2290模型原版的定義以及延續

前期計畫經驗而得(以蒐集而得的實際流量參數進行分類)，其中未有其對應的服務應用係因為現有的網路服務中未能可明確定義於其中流量及傳輸等級中。除了本計畫將 SC₁ 定義為 5G 新興服務外，其他分類如下：網路服務第二類(SC₂)，「會話」與「高速」等級，係指 IPTV 及視訊會議此等服務；網路服務第三類(SC₃)，「會話」與「中速」等級，係指遠距同步學習此等服務；網路服務第四類(SC₄)，「會話」與「低速」等級，係指 VOIP 此等服務；網路服務第五類(SC₅)，「會話」與「極低速」等級，係指撥號通話此等服務；網路服務第六類(SC₆)，「串流」與「超高速」等級，未有其對應的服務應用；網路服務第七類(SC₇)，「串流」與「高速」等級，係指線上直播及線上影片此等服務；網路服務第八類(SC₈)，「串流」與「中速」等級，係指線上遊戲此等服務；網路服務第九類(SC₉)，「串流」與「低速」等級，係指線上廣播此等服務；網路服務第十類(SC₁₀)，「串流」與「極低速」等級，未有其對應的服務應用；網路服務第十一類(SC₁₁)，「互動」與「超高速」等級，未有其對應的服務應用；網路服務第十二類(SC₁₂)，「互動」與「高速」等級，係指電子書及資料瀏覽此等服務；網路服務第十三類(SC₁₃)，「互動」與「中速」等級，係指即時通訊及線上購物此等服務；網路服務第十四類(SC₁₄)，「互動」與「低速」等級，係指金融交易此等服務；網路服務第十五類(SC₁₅)，「互動」與「極低速」等級，未有其對應的服務應用；網路服務第十六類(SC₁₆)，「背景」與「超高速」等級，係指雲端同步此等服務；網路服務第十七類(SC₁₇)，「背景」與「高速」等級，係指電子地圖及遠距醫療此等服務；網路服務第十八類(SC₁₈)，「背景」與「中速」等級，未有其對應的服務應用；網路服務第十九類(SC₁₉)，「背景」與「低速」等級，係指電子郵件及 SMS 此等服務；網路服務第二十類(SC₂₀)，「背景」與「極低速」等級，未有其對應的服務應用。(如下圖)

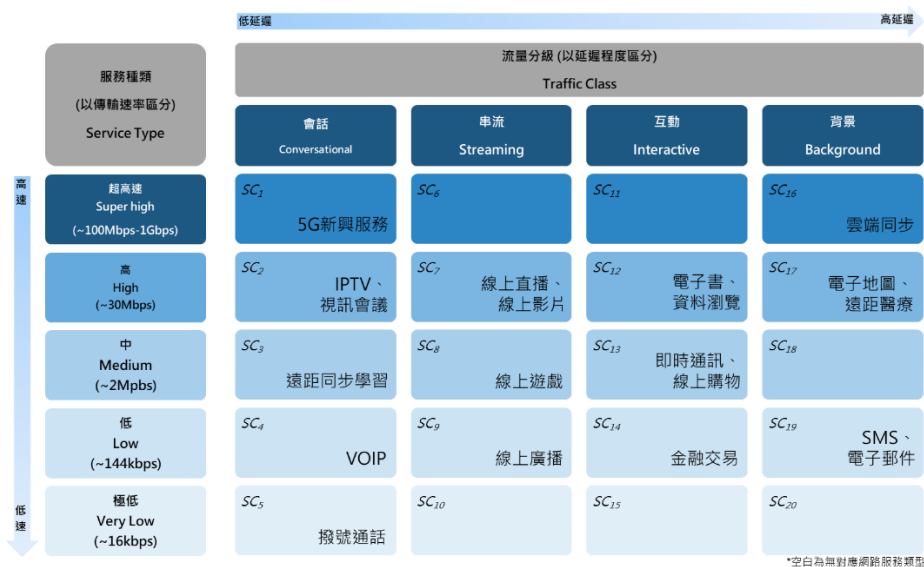


圖 5-3 網路服務分類

資料來源：本計畫製作

對一些常見的網路服務分類進行定義外，因應本計畫探討的議題，本計畫亦蒐集各種資料來源以定義5G 新興服務的對應類別。將於第二節詳細說明之。

(二) 步驟二：定義環境分類

ITU M.2290模型將「服務環境」(Service Environment, SE)分類分為6個，以「電信密度」(Teledensity)及「服務使用模式」(Service Usage Pattern)劃分之。「電信密度」有三，分別為：「人口密集區」、「市郊區」、「偏遠地區」；而「服務使用模式」則有：「住宅」、「辦公場所」、「公共場所」；「服務環境」則為兩項分類的集合。服務環境第一類(SE₁)，「人口密集區」中的「住宅」；服務環境第二類(SE₂)，「人口密集區」中的「辦公場所」；服務環境第三類(SE₃)，「人口密集區」中的「公共場所」；服務環境第四類(SE₄)，「市郊區」中的「住宅」；服務環境第五類(SE₅)，「市郊區」中的「辦公場所」及「公共場所」；服務環境第六類(SE₆)，「偏遠地區」中的「住宅」、「辦公場所」及「公共場所」。

以上環境分類的主要差異在於各服務環境下不同的移動速率 (Mobility Ratio, MR)的技術支援及基地台佈建情況，然而根據

前期研究計畫結果發現²²⁷，我國電信營運商所佈建的基地台並不存在高度多樣化，並以大型基地台(Marco Stations)²²⁸為主(表5-4)。因此本計畫考量我國市場特性，將以上「服務使用模式」劃一為1種，仍然對應3種「電信密度」，係為「人口密集區」、「偏鄉」及「山地部落與離島」，詳如前節所述。

表 5-1 104 年各功率類型基地台數量

基地台種類	基地台功率	中華	台哥大	遠傳	台灣之星	亞太	國基	總和
Pico Cell	0.02W			1				1
	0.1W			2				2
	0.5W						1	1
Micro Cell	1W		2	1				3
	2W	8	1	26	5		1	41
	2.5W	8						8
	5W			4				4
	8W		22					22
Macro Cell	14W			3				3
	18W			49				49
	20W	2	0	8	0		4	7
	22W			22				22
	25W		38					38
	28W			1				1
	30W	105	0	14	0	0	0	119
	40W	11	50	9	89	25	0	184
	50W	13	20					33
	60W	55	35	110	7	19	0	226
70W	71	72					143	
80W		36					36	
總和		273	276	250	101	50	7	957

資料來源：《我國 3G 頻譜屆期釋出規劃及 B4G/5G 規範與發展研究－我國未來頻譜政策規劃》

(三) 步驟三：計算區域服務通信量

為計算頻譜量，ITU M.1768-1模型設計了三條公式以計算「服務流量」(Session Volume)、「區域連網總數」(Area Arrival Rate)

²²⁷ 陳志仁、張正武、田崎嘉邦、郭力慈、沈宜中、王懷賢(2016).《我國 3G 頻譜屆期釋出規劃及 B4G/5G 規範與發展研究－我國未來頻譜政策規劃》

²²⁸ 根據 NCC 發佈，大型基地臺為射頻設備最大輸出功率大於 10 瓦特之基地臺

及「區域服務總量」(Area Traffic Volume)。其中，「服務流量」的計算為「平均服務傳輸速率」(Mean Service Bit Rate)乘以「服務佔據時長」(Average Session Duration)，此兩參數將於第五章第二節詳細說明之。而「區域連網總數」的計算為「使用者密度」(User Density)乘以「平均連網次數」(Session Arrival Rate per user)，此兩參數將於第五章一節詳細說明之。以上計算所得的數值，進一步相乘作為「區域服務總量」 T (Area Traffic Volume)，係為計算網路服務頻譜所需的使用流量數值。

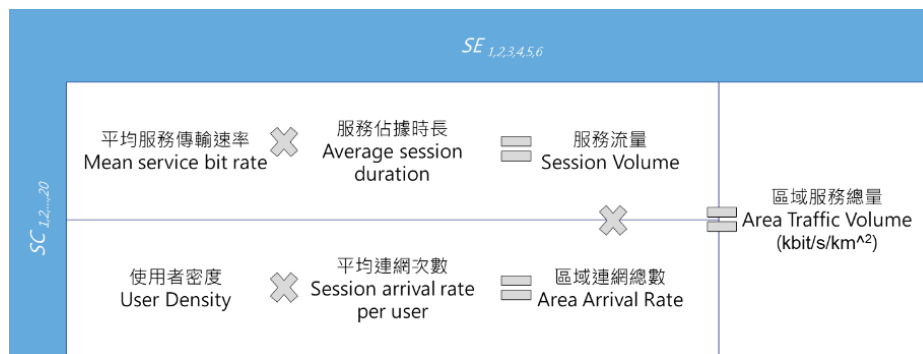


圖 5-4 頻譜需求模型步驟三—通信量計算公式

資料來源：本計畫製作

(四) 步驟四：分配通信量至可支援的技術與基地台

ITU M.2290模型最終計算結果係以 RATG 作劃分，因此在這個步驟中，各個網路服務流量(由步驟三計算而得)於此開始分配至各個技術別中，此步驟前半部將檢核網路服務所需要的技術支援標準是否可為該 RATG 下的基地台所支援。各個 RATG 下可各自對應大型基地台(Marco Station)、微型基地台(Mirco Station)、微微型基地台(Pico Station)及熱點(Hot Spot)。而後半部則為以各技術別比例、基地台人口涵蓋率及支援的網路服務移動速率計算分配比例。

這個步驟首先由兩個分配邏輯組成：一、服務環境中的各 RATG 的各基地台技術是否可以支援網路服務所需的移動速率及二、各 RATG 的各基地台技術是否可以支援網路服務所需的傳輸速率。最終產出相應於兩個問題的定義函數，以1或0邏

輯矩陣作出分別，若於計算流量前該邏輯矩陣對應為0，則該 RATG 基地台不獲分配流量。

除以上兩個分配邏輯外，模型亦對應於各 RATG 的業務佔比、人口涵蓋率及移動速率進行分配比率的計算。RATG 的業務佔比係指市場上不同 RATG 用戶量的佔比，用以分配流量至各個 RATG 中，於第五章第一節詳細說明之。人口涵蓋率係指基地台可覆蓋的人口面積百分比，用於分配流量至各類型基地台，於第五章第一節詳細說明之。移動速率佔比係指，通常情況下對應使用網路服務時的移動速率(分為「靜止」Stationary、「步行」Pedestrian、「低速」Low Mobility 及「高速」High Mobility)的比例，本計畫採用 ITU 建議值的作為比例標準值。其中，移動速率的百分比與人口涵蓋率同為以人口作為母體的分群比例，人口涵蓋率所指的是基地台涵蓋的人口比例，而移動速率比例為人口在使用網路服務時的移動速率比例。因此於此步驟中，各類基地台將基於以下原則獲得相應的分配比例：微微型基地台及熱點僅支援「靜止」及「步行」類的網路服務使用佔比，而微型基地台可額外支援大型基地台可支援「低速」類的網路服務使用佔比，最終大型基地台可額外支援「高速」類的網路服務使用佔比。然而，就上節所述我國電信市場需求複合度不如大陸型國家高，且過去年經驗亦顯示我國基地台建設僅以大型基地台為主，亦反向印證此一假設。因此，有別於 ITU 原模型為其他國家設計其更符合的計算過程，本計畫一將我國市場情形設置為「低速」(>4且<100km/h)，即符合我國實際市場特性。

(五) 步驟五：計算電信密度的通信量及頻譜量

根據步驟三的總通信量計算步驟四的分配分例，於此步驟開始對已分配的通信量與其所需的頻譜量進行計算。步驟五分為前後兩部分，前部分除了將通信量按照分配比例及基地台涵蓋面積進行計算外，亦將計算結果初步收斂至電信密度。後半部分則根據已初步收斂的結果進行頻譜量的計算，基於網路服務的流量分級，頻譜的計算方式分為兩種：「保留基礎」(Reservation-

based)及「封包基礎」(Packet-based)；最後則得到各個網路服務於每個電信密度中所需的頻譜量。

如上所述，此步驟前半部分以三個參數計算已分配的通信量：總通信量、分配比例及基地台涵蓋面積；計算公式為：總通信量乘以分配比例乘以基地台涵蓋面積。當於步驟四，模型已將通信量分配至各 RATG 的基地台，以其人口涵蓋率計算分配比例。而接續到這個步驟中，因應每類基地台所分配到的比例，乘上其基地台涵蓋面積，意即實際佈建狀況(或理論最大值)下每座基地台所需涵蓋的面積(於下節詳細說明之)，則每基地台所需負擔的流量。這樣的計算意義在於，當基地台數量多，則該區流量更易進行分流，所需的頻譜則越少；係模型忠實反映市場狀況的作法。

在計算各個基地台的流量後，此步驟的後半部分則使用已分配至各基地台的流量進行計算其頻譜需求。在此，由於目前，模型將頻譜量的計算分為：「保留基礎」(Reservation-based)及「封包基礎」(Packet-based)。這樣的分類係基於網路服務的「可容許延遲度」高低作區分。前10個網路服務分類於「會話」及「串流」等級，所要求的延遲度較低，因此模型計算上，將這兩個等級包括的網路服務分類歸為「保留基礎」計算方式。而後10個網路服務分類係「互動」及「背景」等級，可容許的延遲度較高，因此模型計算上，將這兩個等級包括的網路服務分類歸為「封包基礎」計算方式。

1. 保留基礎

此計算係基於「Erlang Formula」設計，早於1917年由電信工程師 Agner Krarup Erlang²²⁹提出，被譽為排隊理論(Queuing Theory)的基礎。「Erlang」係一個電信訊號使用的單位，係用於計算多個集群流量 ρ 需要的通訊系統容量，其延伸的多維度「Erlang-B」公式被用於計算計畫使用的模型中。先定義 r_n 為各網路服務的傳輸速率、 π 為其通信不良率；並宣告變數 ν 作為通訊系統所需要用以支援通信量的同時存在通

²²⁹ ERLANG, A.K. (1917), Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges. Post Office Electrical Engineer's Journal, 10, 189-197.

道數、所有服務類別 n ，得每傳輸速率的通道數 v_n 。接著使用「單維度遞迴」(One-Dimensional Recursive)^{230、231}(以 $G(k)$ 式表之)進行計算：

$$G(k) = \frac{1}{k} \left[\sum_{j=0}^k G(j) + \sum_{m=1}^{N_{cs}} v_m \rho_m G(kv_m) \right] \quad (5.1)$$

若其中一次服務接取流量 ρ 抵達時 v 不足，計為通信不良率 B ；且持續至使 v_n 等於 r ：

$$v_n = \lceil \frac{r_n}{r} \rceil, 1 \leq n \leq N_{cs} \quad (5.2)$$

並達到網路服務所需的通信不良率標準 π ，則 $B < \pi$ 。最終滿足條件後由此作為系統容量 C_R 。

$$B_n(v) < \pi_n, 1 \leq n \leq N_{cs} \quad (5.3)$$

參數定義：

- n = 服務類別，由 n_1 至 N_{cs}
- r_n = 各網路服務的傳輸速率
- ρ = 通訊系統容量
- π = 通信不良率最大容許值
- v = 同時存在通道數
- v_n = 每傳輸速率的通道數
- B = 網路服務的通信不良率

2. 封包基礎

「封包基礎」則使用「M/G/1 排隊理論」作為計算基礎，其適用於封包抵達時間相互獨立且長度任意分布的情形，以先到先服務(Frist Come First Serve, FCFS)作為排隊規則。對於所有服務類別 n 、服務環境 d 、接取技術 $ratg$ 及基地台類別

²³⁰ KAUFMAN, J.S. (1981), Blocking in a shared resource environment. IEEE Trans. Commun., Vol. COM-29, 10, p. 1474-1481.

²³¹ ROBERTS, J.W. (1981), A service system with heterogeneous user requirements. Perf. of Data Commun. Sys. and their Applications, G. Pujolle (Ed.), p. 423-431, North-Holland.

p (基於說明方便起見，此節數學式矩陣行列運算規則省略之)，先定義 T 為網路服務的流量、 s 為封包尺寸(bits/包)，兩參數相除等於封包抵達率 λ ：

$$\lambda = \frac{T}{s} \quad (5.4)$$

為評估因排隊而累積的流量所需的系統容量，定義 D 為封包延遲度，使用「Cobham's Formula」²³²計算達到 D 服務品質(Quality of Service, QoS)的系統容量 C_n ：

$$D_n(C) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ps}} \lambda_i s_i^2}{2(C - \sum_{i=1}^n \lambda_i s_i)(C - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i)} + \frac{s_n}{C} \quad (5.5)$$

並以三次方程式求解 C_n ：

$$a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n = 0 \quad (5.6)$$

$$a_n = 2D_n \quad (5.7)$$

$$b_n = 2(D_n(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i) + s_n) \quad (5.8)$$

$$c_n = 2(D_n(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i)(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i) + s_n(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i)) - \sum_{i=1}^{N_{ps}} \lambda_i s_i \quad (5.9)$$

$$d_n = -2s_n(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i)(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i) \quad (5.10)$$

而系統容量不可小於到達率，則取求解後的三個根中滿足以下列式者，為頻譜系統需要容量：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i < C_n \quad (5.11)$$

參數定義：

λ = 封包抵達率

n = 服務類別，由 n_l 至 N_{ps}

d = 服務環境類別

²³² COBHAM, A. (1954), Priority assignments in waiting line problems. Operations Research, Vol. 2, 1 (February) p. 70-76.

- $ratg$ = 接取技術
- p = 基地台類別
- T = 網路服務的流量
- s = 封包尺寸(bits/包)
- D = 封包延遲度
- C = 系統容量

最後將兩種計算基礎的通信系統的上下行及各基地台需求容量進行加總，作為整體通信系統所需的容量。然而為反映不同 RATG 的頻譜效率，整體系統需求容量除以頻譜效率即為初估的頻譜需求量。相關參數將於第二節詳細說明。

(六) 步驟六：取各電信密度其大值者為每 RATG 所需的頻譜

頻譜量係指一時間可連通的通信量，係一通信系統可使用的最大容量，不同電信密度並不重疊，則模型對已計算的所需頻譜量進一步收斂，取各個網路服務及電信密度中最大值者。除此之外，持續對頻譜需求進行微調：基於業者數量間的頻譜保護帶(Guard Band)、最小頻譜需求量及頻譜顆粒度。相關參數將於第二節詳細說明。

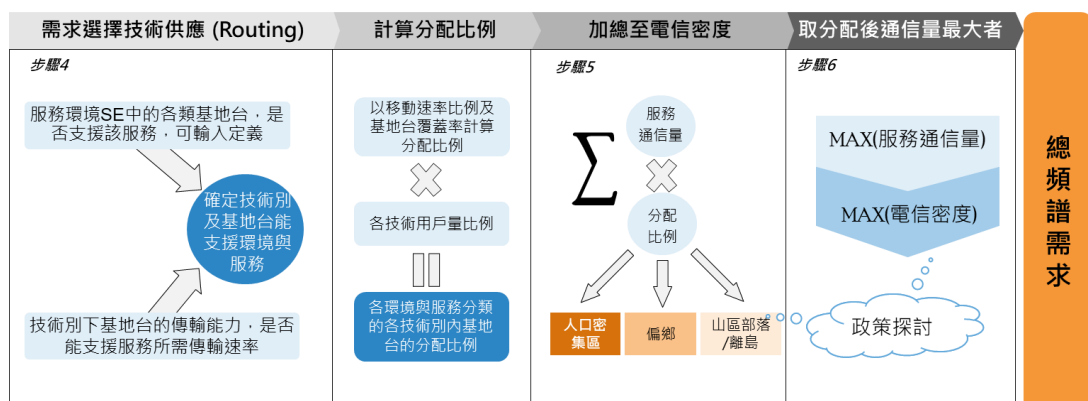


圖 5-5 頻譜需求模型步驟四、五、六—頻譜需求計算過程

資料來源：本計畫製作

第二節 頻率需求模型輸入參數說明

此節針對頻譜需求模型的參數輸入及其輸入值作出說明。第一部分將說明 ITU M.2290 地面通信頻譜需求模型輸入參數，對應前章假設所述，衛星通信頻譜需求將併入同模型計算之。第二部分將對闡述本計畫調研的新興網路服務需求，同時亦將說明新興服務納入同模型計算的方法。

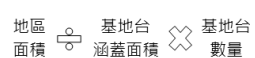
一. 頻譜需求模型輸入基本參數

本計畫將頻譜需求模型參數分割為「市場與網路設置」、「網路服務」及「基地台技術規格」三大類，以其功能導向區分之。其中，「市場與網路設置」的意義為市場需求與供給量，其需求為各個網路服務的使用量，透過真實的市場調查資料而得，其供給量則為目前各個電信服務營運商所佈建的基地台數量，透過向業者取得的真實資料而得。「網路服務」則為，各個網路服務所需的網路流量數值，與「市場與網路設置」中的市場需求量相互呼應，透 ITU(原版模型數及相關建議書)或3GPP 定義取得。「基地台技術規格」為各型基地台的技術支援規格，透過 ITU 建議書內取得相關參數。

(一) 市場與網路設置參數

此參數模組主要以真實的市場資料而得，務求忠誠反映我國現有市場情況。這個參數模組共有五項參數：「使用者密度」(User Density)、「電信業者數量」(Number of Network Deployments)、「各技術別的用戶比率」(Distribution ratios among available RATG)、「基地台涵蓋面積」(Sector Area)、「基地台涵蓋人口比率」(Population Coverage Percentage)。(如下表)

表 5-2 市場與網路設置參數

參數類別	項目	說明	資料來源
市場與網路設置	使用者密度 User Density	各服務類別於各個環境中的使用者密度，單位為users/km ² ： 	NCC 《112年通訊市場調查》
	基地台涵蓋面積 Sector Area	不同地區(密集都會 Dense Urban、郊區Sub Urban、偏鄉 Rural)的面積內各類基地台(大型基地台 Macro cell、小型基地台 Micro cell、微型基地台 Pico cell 與 WiFi 熱點 Hot spot)的數量計算或以ITU理論上限覆蓋面積而得，單位為km ² ： 	業者
	基地台涵蓋人口比率 Population Coverage Percentage	由基地台涵蓋面積 Sector Area、基地台數量、地區面積計算而得： 	業者
	電信業者數量 Number of Network Deployments	我國提供該技術別的電信業者數量	我國現況為3家業者
	各技術別 (Radio Access Technology Group, RATG) 的使用比率 Distribution ratios among available RAT groups	各技術別的用戶數量比例	業者

資料來源：ITU、本計畫整理

1. 使用者密度

使用者密度係用於衡量實際市場網路服務使用需求量，其計算由三個參數組成：「人口密度」乘以「服務比重」乘以「環境比重」。單位為 users/km²。

(1) 環境比重

「環境比重」代表服務使用的環境，根據 ITU 原定義為「住宅」、「辦公場所」及「公共場所」；由於本計畫將服務環境進行調整以符合我國市場狀況，於此並無此比重問題，將設置為 100%。

(2) 人口密度

「人口密度」則以我國內政部《人口統計資料》為基礎。然而，根據數位發展部發佈的《112 年國家數位發展研究報告》統計，我國每戶擁有行動上網設備其 4.5 部；根據本計畫計算，我國人/戶比例為每戶 2.5 人，則換算出我國每人擁有 1.8 部行動上網設備。以此持有設備倍數乘

以人口數除以土地面積，即為「裝置密度」。(如下表)根據本計畫計算，設備密度結果如下：

I. 都會人口密集區

都會人口密集區，永和區：2023年67,659、2030年67,590。

II. 偏鄉

偏鄉，樣區均值：2023年142、2030年142。

III. 山地

山地，樣區均值：2023年25、2030年24。

IV. 離島

離島，樣區均值：2023年1,026、2030年1,025。

表 5-3 裝置密度參數

分區	行政區	年底人口數		土地面積	人口密度		人/戶比	設備數		設備密度	
		2023	2030		2023	2030		2023	2030	2023	2030
都會人口密集	永和區	214,771	214,553	6	37,588	37,550	1.8	386,588	386,196	67,659	67,590
	南庄鄉	8,843	8,834	165	53	53	1.8	15,917	15,901	96	96
偏鄉	雙溪區	7,915	7,907	146	54	54	1.8	14,247	14,233	97	97
	鳳林鎮	10,435	10,424	121	87	86	1.8	18,783	18,764	156	156
	三灣鄉	5,975	5,969	52	114	114	1.8	10,755	10,744	206	205
	魚池鄉	14,687	14,672	121	121	121	1.8	26,437	26,410	218	218
	樣區均值	47,855	47,806	606	79	79	1.8	86,139	86,052	142	142
	金峰鄉	3,732	3,728	381	10	10	1.8	6,718	6,711	18	18
山地	霧臺鄉	3,265	3,262	279	12	12	1.8	5,877	5,871	21	21
	烏來區	6,360	6,354	321	20	20	1.8	11,448	11,436	36	36
	樣區均值	13,357	13,343	981	14	14	1.8	24,043	24,018	25	24
	望安鄉	5,409	5,404	14	386	386	1.8	9,736	9,726	695	695
離島	東引鄉	1,572	1,570	4	393	393	1.8	2,830	2,827	707	707
	金沙鎮	20,858	20,837	41	509	508	1.8	37,544	37,506	916	915
	南竿鄉	7,827	7,819	10	783	782	1.8	14,089	14,074	1,409	1,407
	烈嶼鄉	12,766	12,753	16	798	797	1.8	22,979	22,955	1,436	1,435
	樣區均值	48,432	48,383	85	570	569	1.8	87,178	87,089	1,026	1,025

資料來源：本計畫製作

(3) 服務比重

「服務比重」是各個網路服務分類被使用的比重，此資料由 NCC 《112 年通訊市場原始調查數據》 而得。NCC 《112 年通訊市場原始調查數據》 針對我國各個常見的網路服務分類進行了問卷調查，本計畫分析其原始資料後，得出對應於定義的 20 個網路服務分類的百分比，並根據其服務特性區分其網路流量應為上下行或雙向(如下表)。

表 5-4 網路服務使用百分比

SC分類	服務種類	使用比例	流量類別
4	撥打網路語音電話	69%	雙向
13	下載圖片/電影/影片/音樂、玩或下載遊戲	46%	下行
13	參與社群網路	37%	雙向
19	發送或接收電子郵件	35%	雙向
3	觀賞網路電視	34%	下行
13	購買或預訂商品或服務	32%	下行
14	網路銀行	32%	下行
16	使用線上儲存空間存放文件、照片、音樂、影片或其他檔案	29%	雙向
13	取得商品或服務資訊	28%	下行
13	造訪聊天網站、部落格、新聞群組或線上討論	28%	下行
13	下載軟體或應用程式	26%	下行
13	查詢維基百科、線上百科或學習為目的之網站	24%	下行
13	內容分享/上傳自製內容	21%	上行
13	閱讀或下載電子新聞、雜誌、電子書	20%	下行
13	使用旅遊或與旅遊相關的住宿服務	18%	下行
13	搜尋健康相關的資訊	18%	下行
3	參加線上課程	13%	下行
16	使用網路軟體編輯文件、電子表單或簡報	13%	雙向
13	透過網站預約醫師掛號	12%	下行
14	販售商品或服務	10%	雙向
13	取得政府機構的訊息	9%	下行
13	經營個人網頁	9%	上行
9	收聽網路電臺	6%	下行
13	在部落格維護或新增內容	4%	上行
13	找工作或遞交履歷	4%	下行
13	與政府機構互動	3%	雙向
13	參與線上諮詢或投票以確立公民或政治議題	2%	下行
13	在任何個人或組織之網站上發表對公民或政治議題的意見	2%	上行

資料來源：本計畫製作

為了推估網路服務使用百分比的成長率以供 2030 年頻譜需求量計算，然而本計畫所使用的 NCC《通訊市場調查》系列，僅公開 111 及 112 年度的原始資料，無從推敲上述網路服務使用百分比的年變化率。因此，本計畫自數發部 2030 年數發部發佈的《國家數位發展研究報告》系統取得各類服務的年變化率，僅對以下服務類別進行變動：SC₁₃ 成長 5%、SC₁₄ 成長 5%、SC₁₆ 成長 1%、SC₁₇ 衰退 1% 及 SC₁₉ 成長 1%。

將以上三個參數矩陣相乘(舉例 SC₉ 在離島的計算為：使用者密度 1,026 乘以使用百分比 0.056 為 57.456 使用者密度)得到各個網路服務對應分區的使用者密度表(如下表)。使用者密度表由 20 個網路服務的使用百分比對應至各個分區的設備密度，並分為上下行流量。其中，SC₁ 為 5G 新興服務，為非一般市場調查的常用網路服務，然而本計畫予以推估其市場潛力。各個網路服務分類的使用者密度如下表。

表 5-5 使用者密度參數

網路服務分類		人口密集區		偏鄉		山地部落		離島	
		下行	上行	下行	上行	下行	上行	下行	上行
1	邊緣運算終端、車聯網	0	0	0	0	0	0	0	0
2	IPTV	30,501	0	64	0	11	0	461	0
3	遠距學習	21,519	0	45	0	8	0	326	0
4	VOIP	72,828	72,828	153	153	26	26	1,102	1,102
5	撥號通話	0	0	0	0	0	0	0	0
6	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
7	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
8	線上影片	2,456	0	5	0	1	0	37	0
9	廣播	3,813	0	8	0	1	0	58	0
10	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
11	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
12	資料瀏覽	127,110	0	267	0	46	0	1,923	0
13	即時通訊	207,176	82,974	435	174	75	30	3,134	1,255
14	金融交易	45,946	11,438	97	24	17	4	695	173
15	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
16	雲端同步	47,303	47,303	99	99	17	17	716	716
17	物聯網	0	0	0	0	0	0	0	0
18	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
19	電子郵件	36,640	36,640	77	77	13	13	554	554
20	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0

資料來源：本計畫製作

2. 電信業者數量

經由2023年兩起電信商合併案，目前我國電信商數量已下降至3家。然而，模型的計算係基於我國總體需求，並且本模型參數將使用所有基地台佈建數量作為輸入值；因此本計畫將以1作為這個參數輸入值的代替。

3. 各技術別的用戶比率

ITU M.2290模型將各個網路接取技術代稱為 RATG，而模型架構設計可容納4個不同的 RATG：RATG₁、RATG₂、RATG₃ 及 RATG₄。本計畫亦善用模型框架對擬探討議題進行相關假設如下。

首先，雖然我國電信市場已早於2020年開啟5G 銷售，然而目前5G 業務量尚未及4G 成熟。根據 NCC 公開資料，截至2024年5月，我國4G 用戶佔比69%，5G 用戶佔比31%。根據本計畫預測，2030年5G 將超越4G，擁有65%市佔率，而4G 將萎縮至35%。因應本計畫探討的相關議題，本計畫擬將5G 分拆為5G 非獨立組網 (5G Non-Standalone, 5G NSA)與5G SA，分述為 RATG₂與 RATG₃導入模型架構中計算，而 RATG₁則作為4G。因此，本計畫擬向我國電信業者取得4G、5G NSA 及5G SA 的用戶數量，以計算各技術別的頻譜需求量。

表 5-6 我國各 RATG 市場佔比

參數	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024*	2025*	2026*	2027*	2028*	2029*	2030*
3G市場佔比	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4G市場佔比	95%	100%	95%	84%	78%	70%	64%	58%	52%	47%	43%	39%	35%
5G市場佔比	0%	0%	5%	16%	22%	30%	36%	42%	48%	53%	57%	61%	65%

資料來源：本計畫製作

本計畫亦蒐集關於6G 業務發展時程的相關文件，以預測6G 市場並評估導入模型計算的可能性。文件顯示，ITU 於2023年發佈 M.2160-0建議書，賦予6G 相關技術框架；而3GPP 則於2024年發佈了 R19標準，普遍視作5G Advanced 最後一版標準，並且 R19將於2025年被凍結。同時參考3GPP 與 ITU 在世界行動通訊大會(Mobile World Congress, MWC) 6G 論壇

的看法，6G 商轉化時程大致落於2028至2030年間。然而截止目前，市面上有關於6G 業務的市場調查資料與終端設備成熟度等議題探討尚缺，因此本計畫暫定不納入6G 至模型框架中。

除地面通信需求之外，由於本計畫將衛星通信需求同時納入M.2290模型中計算，因此尚須將衛星設定為 RATG₄。由於我國衛星市場成熟度不足，且多數處於實驗應用階段，未見大規模商用化現象；因此本計畫將衛星通訊技術別比率設置為0.1%，僅極少數替代地面通信需求服務的可能。

總結以上，ITU M.2290模型可同時容納4個 RATG。而根據本計畫探討的議題與預測本計畫將分配以下各技術別比率：RATG₁設置為4G，2024年佔比64%，2030年佔比35%；RATG₂設置為5G NSA、RATG₃設置為5G SA，2024年佔比依業者提供資料而定，2030年佔比依2024年資料由本計畫預測；RATG₄設置為衛星通信技術，2024年與2030年佔比僅為0.1%。

4. 基地台涵蓋面積

基地台涵蓋面積係用作計算區域內每個基地台所需要涵蓋的面積，計算公式為面積除以基地台數量，單位為 km²。當基地台數量越多，基地台所需要涵蓋的面積則更少，從而基地台分配到的服務流量更少，頻譜需求更少。根據 ITU 原版模型設定，ITU 已有其各類型基地台理論最大涵蓋值，以避免極端的基地台佈建情形。其中，大型基地台(Marco Station)為0.1 km²、微型基地台(Mirco Station)為0.07 km²、微微型基地台(Pico Station)為0.0016 km²，熱點(Hot Spot)佈建特性與一般基地台不同，因此不於此假設中。(如下表)

表 5-7 基地台涵蓋面積—ITU 原設定

基地台涵蓋面積 km ² ITU設定			
基地台	人口密集區	市效區	偏遠地區
大型	0.1000	0.1500	0.8700
微型	0.0700	0.1000	0.1500
微微型	0.0016	0.0016	0.0016
熱點	0.0001	0.0001	0.0001

資料來源：ITU、本計畫整理

由於基地台佈建情形係計算頻譜需求的重要參數，為使模型計算結果更貼近我國實際現況，本計畫已向電信業者取得各取樣地區的基地台佈建資料，以真實資料計算基地台涵蓋面積。然而，考量前期計畫結果發現我國基地台佈建結構極端單一的情況，合理預期我國業者佈建微型基地台及微微型基地台數量較少，導致公式計算結果使兩種基地台的平均所需要涵蓋的面積不合理地過度放大，而將使用 ITU 理論最大值。

5. 基地台涵蓋人口比例

「基地台人口覆蓋比例」與「基地台涵蓋面積」概念相同，卻係用以計算個別基地台可涵蓋的人口，單位則為百分比。由「基地台涵蓋面積」回推而得，個別基地台所涵蓋的面積乘以基地台數量即為所有基地台總涵蓋面積；以此總涵蓋面積除以地區面積，計算其佔比即為「基地台涵蓋人口比例」。同樣地，基地台涵蓋面積仍受 ITU 理論最大值所控制，不應因應基地台的佈建結構過於極端而造成失真。

(二) 網路服務技術參數

「網路服務技術」參數與上一節說明的「市場與網路設置」參數相互呼應，前節注重於計算我國電信市場的需求量，而「網路服務技術」參數則針對每個網路服務所需要的系統流量大小進行設定。本計畫根據 ITU M.2290 建議書的參數值作為此一技術參數的標準值，而又根據同份建議書中的參數設置閾值進行設定。首先，ITU 根據各區域蒐得的調查數字設定網路流量的上下限值，並將其設定為兩種流量閾值；所謂閾值，其實係 ITU

在評估電信市場成長率的高低的基準，其定義成長率區間為25%與75%，分別對應40%與80%的閾值。本計畫在選用閾值時，基於更符合我國電信市場的穩定結構，過去亦未見有突發式爆炸性的成長，因此選用40%的閾值作為流量調整參數，以避免過於進取的設定。各個網路服務的流量參數如下：

表 5-8 網路服務流量技術參數

服務種類	流量分級				通訊 不良率
	會話 Conversational	串流 Streaming	互動 Interactive	背景 Background	
超高速 (~100Mbps- 1Gbps)	SC ₁ : 車聯網 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₆ : 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₁ : 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₆ : 雲端同步 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	皆設定為 1 %
	上行 1,000,000 12 0.005	下行 418,000 12 0.01	上行 418,000 12 0.01	下行 20,000 12 0.02	
高 (~30Mbps)	SC ₂ : IPTV、視訊會議 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₇ : 線上直播、線上影片 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₂ : 電子書、資料瀏覽 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₇ : 電子地圖、遠距醫療 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	
	上行 9,920 12 0.005	下行 3,087 7 0.01	上行 9,761 12 0.02	下行 11,227 12 0.02	
中 (~2Mbps)	SC ₃ : 遠距同步學習 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₈ : 線上遊戲、遠距教學 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₃ : 即時通訊、線上購物 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₈ : 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	
	上行 630 4 0.005	下行 1,030 12 0.01	上行 1,369 8 0.02	下行 587 11 0.02	
低 (~144kpps)	SC ₄ : VOIP 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₉ : 廣播 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₄ : 金融交易 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₉ : SMS、電子郵件 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	
	上行 96 1 0.005	下行 144 2 0.01	上行 125 1 0.02	下行 144 2 0.02	
極低 (~16kpps)	SC ₅ : 撥號通話(電路交換) 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₀ : 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₁₅ : 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	SC ₂₀ : 服務流量 (kpps) 封包尺寸 (kbit) 延遲 (秒)	
	上行 16 1 0.005	下行 16 2 0.01	上行 11 1 0.02	下行 16 2 0.02	

資料來源：ITU、本計畫整理

(三) 基地台技術參數

此參數模組為模擬真實基地台技術參數，以供網路服務流量分配及最終頻譜計算。模組中包括：「頻譜效率」(Spectrum Efficiency)、「傳輸速率」(Application Data Rate)、「最大支援移動速率」(Maximum Supported Velocity)、「保護帶」(Guard Band between Operators)、「最小頻譜需求量」(Minimum Deployment of Radio Environment per Operator)、「網路重疊數量」(Number of Overlapping Network Deployment)、「支援群體傳播」(Support for Multicast)及「頻譜顆粒度」(Granularity for Spectrum Allocation)。(如下表)

表 5-9 基地台技術參數

參數項目	單位	4G	5G NSA	5G SA	衛星	資料來源	
頻譜效率	bits/Hz	4	12	12	3	4G: ITU M.2290 5G: ITU M.2160 衛星: ITU M.2514	
傳輸速率 Application data rate	kbit/s	DL	1,000,000	20,000,000	20,000,000		700,000
		UL	1,000,000	10,000,000	10,000,000		20,000
最大支援移動速率 Maximum supported velocity	km/h	250	500	500	250		
保護帶 Guard band between operators	MHz	0				依我國現況	
最小基地台佈建數量 Minimum deployment of radio environment per operator	MHz	10				原模型設定	
網路重疊數量 Number of overlapping network deployment	#	1					
支援群體傳播 (是=1, 否=0) Support for multicast (yes=1, no=0)	/	0					
頻譜顆粒度 Granularity for spectrum allocation	MHz	10				依我國現況 (最小值)	

資料來源：ITU、本計畫整理

1. 頻譜效率

頻譜屬於稀有資源，因此在電信技術更新迭代中，頻譜效率係最為重要的技術指標之一。根據 ITU M.2290 原版模型建議，4G 的頻譜效率為 4 bits/Hz；而根據 ITU M.2410 建議，5G 的頻譜效率為 4G 的 3 倍，本計畫依此將 5G NSA 與 5G SA 的頻譜效率設置為 12 bits/Hz。至於衛星的頻譜效率，本計畫依 ITU M.2514-0 建議書設置為 3 bits/Hz。

2. 傳輸速率

網路接取技術的另一項重要技術指標為傳輸速率。在本計畫中，4G 持續參照原版模型設定為上下行同為1 Gbps，而5G NSA 及5G SA 同樣按 ITU M.2410建議書，將下行設定為10 Gbps 及上行20 Gbps。至於衛星，同前述資料來源設定為下行70 Mbps 及上行2 Mbps。

3. 最大支援移動速率

最大移動速率係指該 RATG 最大可支援的網路服務移動速率。在本計畫中，4G 持續參照原版模型設定為為250 km/h，而5G NSA 及5G SA 同樣按 ITU M.2410建議書，同設定為500 km/h。至於衛星，同前述資料來源建議，設定為250 km/h。

4. 保護帶

保護帶係指不同頻段由不同電信營運商持有時，為了減少信號干擾而設置的保護頻段。依我國現行商用頻段，僅少量設置有保護帶(2600MHz TDD 頻段)，因此本計畫將此參數值設置為0 MHz。

5. 最小頻譜需求量

最小頻譜需求量係指每有佈建基地台時，無論有流量與否所給予的最小頻譜量，本計畫依 ITU 建議設置為 10 MHz。

6. 網路重疊數量

網路重疊數量係指每個電信密度間是否有存在重疊的情況，若設置為1，表示僅取1種電信密度仍為頻譜總需求量。本計畫依 ITU 及我國釋照規劃進行設置為1。

7. 支援群體傳播

支援群體傳播參數係一定義型函數，以1或0作分。若該 RATG 支援群播功能，則設置為1，否則為0。有鑑於原版模型內未將4G 設置為支援群播功能，因此本計畫比照辦理將4G 的群播定義函數設置為0。而根據本計畫調研，5G 支援群播功能係一重要功能，如前章所述，更尤為電信營運商優先選擇提供的服務之一。據此，本計畫將5G NSA 與5G SA 的群播功能定義函數皆設定為0。至於衛星，同根據 ITU 建

議因應其技術特性，設置為可支援群播功能。

8. 頻譜顆粒度

頻譜顆粒度係指頻譜可被切割為多細的單位以供分配。此參數值依照我國現況最小值設置為10 MHz。

二. 未來需求推估情境及參數

因應本計畫探討議題，為發掘5G新興網路服務應用的市場潛力，本計畫設計三項應用案例並蒐集相關參數導入模型計算，以取得未來頻譜需求。本計畫根據前章所述的網路切片技術，將新興服務應用分為三種，設計其分別對應 eMBB 的邊緣運算終端設備、對應 mMTC 的智慧工廠製造案例及對應 URLLC 的車聯網。

未來需求情境推估分為三種發展情境「維持現況」、「自然成長」及「積極發展」。「維持現況」即三大應用需求不成長，我國電信市場維持同目前情況，無新興需求的成長僅存有既有使用者業務。「積極發展」為本計畫調研國際標竿市場情形推估而得，並無考慮各別國家社會經濟狀況的市場狀況。而「自然成長」為在「積極發展」的目標之下，根據我國社會經濟環境的合理收斂值；為本計畫透過訪查電信從業者而得，為較合理的我國未來應用需求發展情形，以防過度樂觀而高估頻率需求量。

(一) eMBB—邊緣運算終端設備

本計畫調研邊緣運算新興服務為5G新市場主流，為計算其頻譜需求，本計畫蒐集我國行動上網普及率及 AI 手機市場滲透率，並蒐集相關技術參數以導入模型中。

1. 服務比重

對於資通訊市場而言，個人消費性電子產品仍是最大宗，係 AI 等新興科技的最佳切入點。截止目前，市面上已有少數旗艦行動設備型號加入 AI 應用，如 ROG Phone 8、Samsung Galaxy S24 Ultra 等；根據 Gartner²³³推估，2024年 AI 手機的市場滲透率已達到22%，據此本計畫推估2030年 AI 手機的市場滲透率將達到81%(如下圖)。

²³³ Gartner (2024), Gartner Predicts Worldwide Shipments of AI PCs and GenAI Smartphones to Total 295 Million Units in 2024

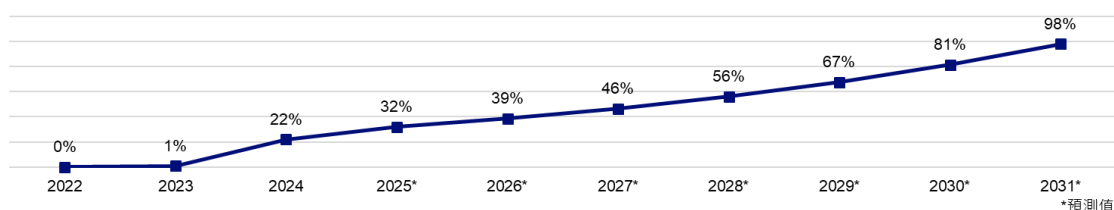


圖 5-6 AI 手機市場滲透率

資料來源：Gartner、本計畫製作

根據數發部《112年國家數位發展研究報告》，我國手機可上網人數比例已高達87%。由於影響手機使用的因素眾多，因此本計畫設定此持有比例不再上升，持平推估至2030年仍為87%。結合上述國際調研數字，本計畫設定我國2024年 AI 手機滲透至每人口比例為19%；預測我國2030年 AI 手機滲透至每人口比例為71%。換言之，其網路服務使用百分比為2024年19%及2030年71%，並以前開說明的「服務比重」邏輯導入模型中。

然而，經本計畫訪查，目前大多數行動裝置並未達1Gpbs 的超高速率，因此本計畫將此一新興服務的速率上限設置為0.1Gbps，以避免過度推估頻寬需要。

2. 服務流量

根據 Ericsson²³⁴ 發佈，2023年每隻手機的每月平均傳輸流量已達21 GB，並估計2029年將達到每月56 GB；可見智慧型手機發展趨勢將增加傳輸流量。因此本計畫除對 AI 手機的需求量成長進行推估外，同樣蒐集 AI 手機主要功能的服務流量標準，以符合其服務應用趨勢。本計畫蒐集3GPP²³⁵ 發佈的資料顯示，AI 邊緣運算功能使用情境較高的網路服務流量者有以下3種：「雲端/邊緣/拆分渲染」(Cloud/Edge/Split Rendering)、 「電競/互動式資料交換」(Gaming or Interactive Data Exchanging)及「VR 頭戴式裝置」(Consumption of VR content via tethered VR headset)。其中，「雲端/邊緣/拆分渲染」及

²³⁴ Ericsson (2024), Mobility Report June, 2024

²³⁵ 3GPP (2024), Service requirements for the 5G system Release 19

「電競/互動式資料交換」的最大傳輸速率達1 Gbit/s，而「VR 頭戴式裝置」更是達到10 Gbit/s。以最大可容許延遲度來說，「雲端/邊緣/拆分渲染」及「VR 頭戴式裝置」為5 ms，「電競/互動式資料交換」為10 ms。據此，本計畫以 AI 手機較常見功能「雲端/邊緣/拆分渲染」及「電競/互動式資料交換」的最大傳輸速率1 Gbit/s 作為傳輸流量輸入值，而取其中「雲端/邊緣/拆分渲染」的最大可容許延遲度5 ms 作為延遲度的輸入值。

3GPP 係主要為維持網路服務品質(Quality of Service)的標準建議書。於本計畫使用的計算模型中，因涉及頻譜需求計算而所需的「連網次數」及「服務用時」，鮮有相關標準建議書制定之。因此，本計畫為求模型精確度，蒐集電機電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 文獻²³⁶一篇，內容以模擬情境的方式求出5G 切片技術下 eMBB 及 V2X 應用的「連網次數」及「服務用時」。其中，「連網次數」為1.2次/秒及「服務用時」為120秒，本計畫以上開數字作為模型參數輸入值。

(二) URLLC—車聯網

本計畫調研車聯網對5G 市場發展的重要性，為計算其頻譜需求，本計畫推計我國汽車已登記數量及自駕車市場滲透率，並蒐集相關技術參數以導入模型中。

1. 服務比重

有鑑於我國未開放自駕車輛上路行駛，因此我國目前第3等級的自駕車輛市場佔有率為0%；然而，本計畫樂觀預期我國2030年已開放自駕車上路。根據交通部統計調查網資料所示，我國汽車已登記牌數品牌市佔率前20名依序為：國瑞(含豐田)、中華、日產、本田、福特六和、賓士、凌志、馬自達、寶馬、三陽(含現代)、福斯、鈴木、納智捷、富豪、起亞、SKODA、速霸陸及五十鈴，佔我國汽車數量97.5%。可見我國汽車市場皆屬於已開發或開發自駕車技術中的品牌，且市

²³⁶ ALBONDA, PEREZ-ROMERO (2019), An Efficient RAN Slicing Strategy for a Heterogeneous Network with eMBB and V2X Services

佔率極高。

根據麥肯錫²³⁷推估，2030年銷售車輛中達第3自駕等級車輛的比例為：低推估4%、中推估12%及高推估20%。其中，高推估情形假設車廠可對已售車進行軟或硬體的更新。

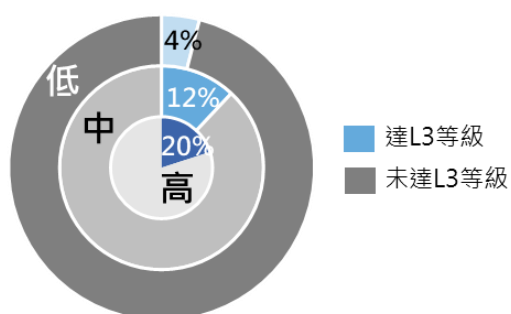


圖 5-7 推估 2030 年銷售車輛中達 L3 自駕等級車輛的比例

資料來源：麥肯錫、本計畫製作

綜合以上邏輯，本計畫以我國市場規模、汽車種類佔比等進行預測，推估我國於2030年將達到15%的自駕車市佔率。

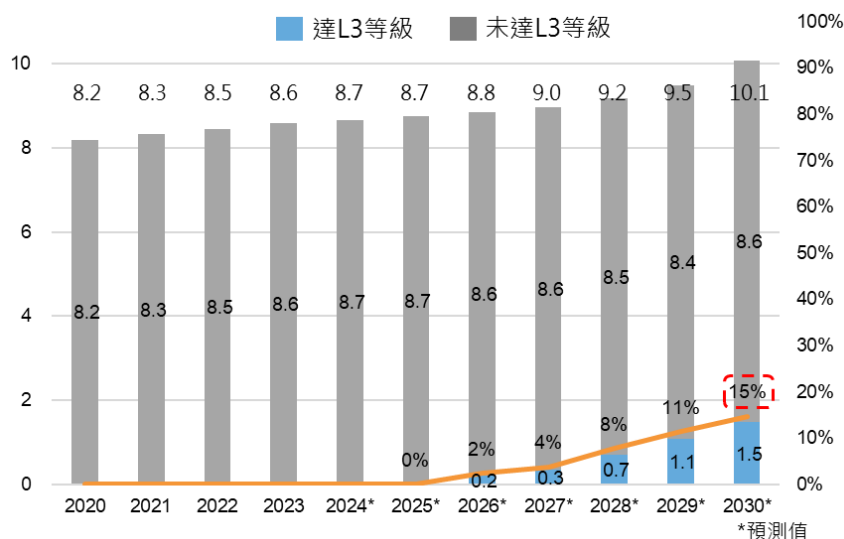


圖 5-8 我國 2020 至 2030 掛牌車輛中達 L3 自駕等級車輛的比例

資料來源：本計畫製作

²³⁷ Mckinsey & Co (2023), Automotive software and electronics 2030

根據本計畫以我國已掛牌車輛數及人口計算及預測，每人持有車輛比例為44%，計算2030年每人持有自駕車比例為6.6%。換言之，其網路服務使用百分比為2024年0%及2030年6.6%，並以前開說明的「服務比重」邏輯導入模型中。

然而，經本計畫訪查，我國自駕車或車聯網應用需求目前於我國市場極微少，並可能至2030年亦未見有其成長。因此，本計畫將車聯網的比重縮小至上開說明的「低推估」情形，最後計算其比重為1.6%。

2. 服務流量

我國目前電信服務流量多發生於行動通信設備，車聯網市場的需求量發生亦會帶來新的電信服務流量需求。根據5G Americas²³⁸發佈，車聯網服務類別可被分為：「便利服務」、「行車安全」、「車流優化」、「載具營運管理」及「自動駕駛」，而又各自有其服務項目及對應的傳輸速率、可允許延遲度及要求可靠度；而本計畫將其重新整理根據自駕車等級排序之(如下表)：

表 5 -10 自駕車等級流量

²³⁸ 5G Americas (2021), Vehicular Connectivity: C-V2X & 5G

Level	服務類別	服務項目	可允許延遲度 (ms)	要求可靠度	傳輸速率
1	便利服務	提醒訊息	20	99%	40 kbps
	便利服務	阻礙物辨識	50	99%	5 Mbps
2	行車安全	行人跨越道協調	100	99%	64 kbps
	載具營運管理	車載軟體更新	不要求即時性	99%	200 MB
	便利服務	車內娛樂	20	99%	250 Mbps
3	便利服務	自動停車	500	99%	16 kbps
	自動駕駛	行車道協調	20	100%	12 kbps
	自動駕駛	自動十字路口跨越	10	100%	64 kbps
	自動駕駛	自動駕駛失效報告	10 分鐘	100%	26.7 Mbps
4	行車安全	車流協調	50	99%	2 Mbps
	便利服務	臨停協調	100~5000	99%	16 kbps
	便利服務	停車協調	10~100	99%	27 Mbps
	自動駕駛	危險情況處理	10	95%	48 kbps
	自動駕駛	跟車管理	50	99%	24 kbps
	自動駕駛	車行地圖蒐集分享	100	99%	16 Mbps
	自動駕駛	車行環境資料蒐集	100	100%	80 Mbps
	車流優化	綠燈管理	100	95%	20 kbps
	自動駕駛	輔助駕駛	20	100%	64 Mbps
5	自動駕駛	車行軌道資料蒐集	50	100%	400 kbps
	自動駕駛	遠距駕駛	20	100%	36 Mbps
	車流優化	公車專用道共享協調	200	99%	40 kbps
	車流優化	群體起步	10	100%	20 kbps

資料來源：5G Americas、本計畫製作

基於本計畫市場預測，我國汽車自駕車於2030年至多達到第4等級，因此本計畫僅計算車聯網服務流量至上表第4等級。由於第4等級自駕車應包括第1至4等級的所有功能，因此本計畫累計其服務流量為約500 Mbps，並為確保其 QoS 取最低可容許延遲度10 ms 作為延遲度的輸入值。至於「連網次數」及「服務用時」，同樣根據前節所引用的文獻作為參考，「連網次數」為1.2次/秒及「服務用時」為120秒，本計畫以上開數字作為模型參數輸入值。

(三) mMTC—物聯網

本計畫調研物聯網新興服務為電信業最優先發展的5G 應用市場之一，為計算其頻譜需求，本計畫蒐集相關國際應用案例，並蒐集相關技術參數以導入模型中。

1. 市場與網路設置參數

前開所述的新興網路服務與我國人口息息相關，其使用群體皆可回溯至使用者，然而物聯網母體數量不與人口直接相關

(然電子消費品流通市場上有一定的個人穿戴裝置比例)，因此本小節探討其參數變項及如何將物聯網的新興需求導入同一計算過程中。根據 NCC 公開的040物聯網門號數統計數字，我國物聯網門號數達315萬門；單純由統計數字的比例來看，若將統計母數設置為230萬人，即315萬門的數量佔其約當15%(準確而言為13.44%)。

由此尚可言我國2024年的物聯網使用比例以實際040門號換算，而2030年成長幅度的推估，本計畫則使用國際標竿調研預測。此新興服務推估的標竿對象選擇與我國產業環境相似度較高的南韓作為標的；從圖5-10可見，南韓的物聯網門號數高達約2,429萬門，從其人口數約5,182萬來看，滲透率達母體的46%。相較於我國僅15%的滲透率，若將標竿國視作成長目標，則需要在2030成長3倍。

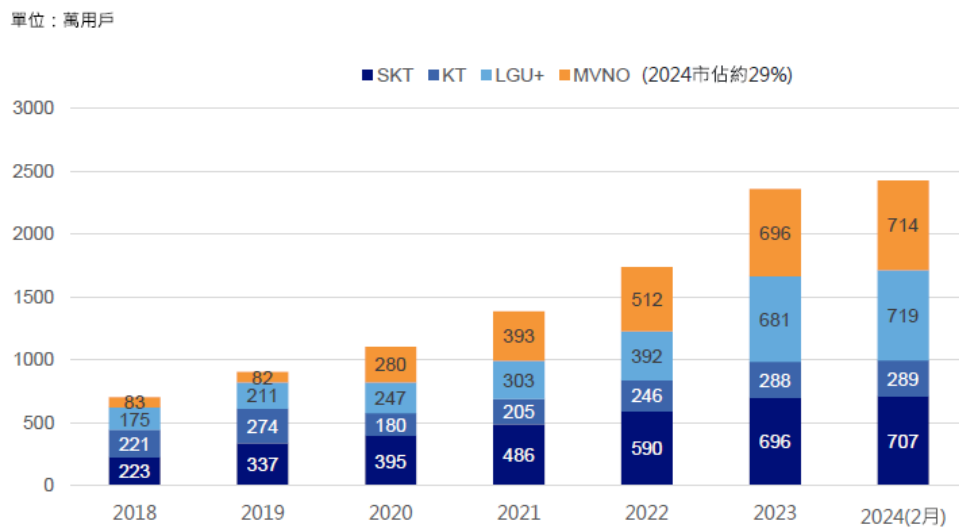


圖 5-9 南韓 2018 至 2024 年物聯網門號數量

資料來源：KCC、本計畫製作

2. 服務流量

根據3GPP 發佈的《Service requirements for the 5G system》第19版，提供予工廠使用的設備使用情境有「感測器」及「具邊緣運算功能的機器人」。其中，「感測器」的最大傳輸速

率5 Mbit/s，最大可容許延遲度為50 ms；而「具邊緣運算功能的機器人」的最大傳輸速率1.5 Gbps，最大可容許延遲度為10 ms。由於本計畫設置的需求量以「感測器」為主，因此採用最大傳輸速率5 Mbit/s，最大可容許延遲度為50 ms 作為模型參數輸入值。

三. 業者資料蒐集參數輸入值

本計畫說明模型所需參數及輸入計算方式如上述，然為反映我國行動通信市場的實際情況，於113年7月31日已蒐集市面上三大業者資料。其中包括各樣區的基地台佈建情形、業務用戶比例及尖峰小時流量。以下說明之。

(一) 基地台佈建情形

基地台蒐集有大型及微型基地台，以各業者登記或紀錄在案的基地台數量為主。以樣區分述則為：

人口密集區—大型 4G 271 臺、大型 5G NSA 167 臺、微型 4G 32 臺、微型 5G NSA 11 臺；共計大型 438 臺及微型 43 臺。

偏鄉—大型 4G 511 臺、大型 5G NSA 393 臺、微型 4G 6 臺、微型 5G NSA 13 臺；共計大型 904 臺及微型 19 臺。

離島—大型 4G 252 臺、大型 5G NSA 138 臺、微型 4G 4 臺、微型 5G NSA 12 臺；共計大型 390 臺及微型 16 臺。

山地部落—大型 4G 122 臺、大型 5G NSA 81 臺、微型 4G 1 臺；共計大型 203 臺及微型 1 臺。

表 5-11 各業者基地台建設狀況

區域分類	行政區	大型	大型	大型	微型	微型	微型
		4G	5G NSA	5G SA	4G	5G NSA	5G SA
密集	永和區	271	167	0	32	11	0
偏鄉	魚池鄉	167	130	0	1	1	0
	雙溪區	102	99	0	3	3	0
	南庄鄉	102	52	0	0	4	0
	鳳林鎮	85	74	0	1	1	0
	三灣鄉	55	38	0	1	4	0
離島	金沙鎮	81	36	0	1	6	0
	南竿鄉	68	54	0	2	4	0
	烈嶼鄉	55	17	0	0	2	0
	望安鄉	28	14	0	1	0	0
山地部落	東引鄉	20	17	0	0	0	0
	烏來區	77	56	0	1	0	0
	霧臺鄉	26	12	0	0	0	0
	金峰鄉	19	13	0	0	0	0

資料來源：各業者、本計畫製作

綜上，我國沒有業者建設 5G SA 基地台，而佈建種類也以大型基地台為主，符合前節所述。

如上節所述，基地台佈建數量係用作計算基地台覆蓋面積，並用作以計算頻率需求的參數。因此將以上基地台數量代入計算後得基地台涵蓋面積如下表：

表 5-12 基地台地理覆蓋狀況

分區	行政區	行政區面積	基地台數量		基地台涵蓋面積_實際		基地台涵蓋面積_ITU		覆蓋比例	
			Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro
人口密集區	永和區	5.7138	438	43	0.013	0.133	0.1000	0.0700	100%	53%
	三灣鄉	52.2964	93	5	0.562	10.459	0.1000	0.0700	18%	1%
偏鄉	雙溪區	146.2484	201	6	0.728	24.375	0.1000	0.0700	14%	0%
	鳳林鎮	120.5181	159	2	0.758	60.259	0.1000	0.0700	13%	0%
	南庄鄉	165.4938	154	4	1.075	41.373	0.1000	0.0700	9%	0%
	魚池鄉	121.3735	297	2	0.409	60.687	0.1000	0.0700	24%	0%
	總計	605.9302	904	19	0.670	31.891	0.1000	0.0700	15%	0%
山地部落	金峰鄉	380.6635	32	0	11.896	-	0.1000	0.0700	1%	0%
	霧臺鄉	278.796	38	0	7.337	-	0.1000	0.0700	1%	0%
	烏來區	321.1306	133	1	2.415	321.131	0.1000	0.0700	4%	0%
	總計	980.5901	203	1	4.830	980.590	0.1000	0.0700	2%	0%
離島	東引鄉	3.8	37	0	0.103	-	0.1000	0.0700	97%	0%
	金沙鎮	41.19	117	7	0.352	5.884	0.1000	0.0700	28%	1%
	南竿鄉	10.4	122	6	0.085	1.733	0.1000	0.0700	100%	4%
	烈嶼鄉	16.003	72	2	0.222	8.002	0.1000	0.0700	45%	1%
	望安鄉	13.7824	42	1	0.328	13.782	0.1000	0.0700	30%	1%
	總計	85.1754	390	16	0.218	5.323	0.1000	0.0700	46%	1%

資料來源：各業者、本計畫製作

其中，可見都會密集區的大型基地台地理覆蓋比例達 100%，微型基地台達 53%；偏鄉與山地部落覆蓋面積偏低，大型基地台的地理覆蓋面積分別為 15%及 2%，微型基地台為 0%；離島的地理覆蓋面積稍佳，為大型基地台 46%，然微型基地台仍僅 1%。以上統計亦驗證了普遍假設，除都會密集區外的基地台地理覆蓋率皆較低，僅離島相對地理面積較小覆蓋較易；而基地台類型比例亦同，我國僅都會密集區此等流量密度相對高的區域設有微型基地台輔助大型基地台分流外，其他流量需求較低的區域，皆未廣設有除了大型基地台外的基地台類型。

(二) 業務用戶比例

業務用戶資料蒐集有接取技術別於各樣區的業者登記用戶數，係以帳單地址作分。同基地台情況，我國業者未有 5G SA 用戶別；而從比例上來看，4G 仍佔多數為 65%，5G NSA 為 35%。

表 5-13 各業者業務用戶比例狀況

區域分類	行政區	4G		5G NSA		5G SA	
		數量	佔比	數量	佔比	數量	佔比
密集	永和區	200,628	65%	106,912	35%	-	0%
偏鄉	魚池鄉	5,981	55%	4,832	45%	-	0%
	雙溪區	3,074	59%	2,093	41%	-	0%
	南庄鄉	3,521	54%	2,980	46%	-	0%
	鳳林鎮	4,448	57%	3,382	43%	-	0%
	三灣鄉	2,756	59%	1,883	41%	-	0%
離島	金沙鎮	5,720	64%	3,180	36%	-	0%
	南竿鄉	9,144	85%	1,662	15%	-	0%
	烈嶼鄉	3,083	66%	1,594	34%	-	0%
	望安鄉	1,066	61%	681	39%	-	0%
	東引鄉	590	73%	215	27%	-	0%
山地部落	烏來區	1,858	51%	1,810	49%	-	0%
	霧臺鄉	1,064	50%	1,070	50%	-	0%
	金峰鄉	1,145	45%	1,416	55%	-	0%
總計		244,078	65%	133,710	35%	-	0%

資料來源：各業者、本計畫製作

為驗證資料，本計畫將蒐集而得的資料與 NCC 公開的統計資料作比對。整體而言，根據 NCC 的統計資料計算我國 4G 比例為 68%，而 5G 為 32%；蒐得資料的計算為整體我國 4G 比例 65%，5G 為 35%，兩者相去不遠。

(三) 尖峰小時流量

為計算我國網路服務流量需求及業者頻譜使用效率，蒐有各業者於 112 年 6 月至 113 年 6 月間的每小時流量由高至低排序前 5% 順位的當筆資料。由於模型使用每秒時流量資料，因此對業者回傳資料進行均分，以每小時流量(kbps)除以 60 為其分鐘，每分鐘除以 60 為其秒時；其中蒐得資料為三間業者總計 4,601,660,639kbps。惟此資料值的處理較為特殊，由於此資料為實際已發生的網路流量，因此不用作頻率需求模型的底層資料，而是直接代入本章第一節步驟三的「計算區域服務通信量」作為計算結果，即「區域服務通信量」。換言之，跳過模型前三個步驟(因為前三個步驟是用以計算會發生的總服務流量，而業者提供的尖峰小時流量是已發生的實際總服務流量，將兩者輸入模型中並其他參數不變即可驗證結果)，直接將實際值代入圖 5-4 中最右方的區域服務總量。

針對此流量資料的實際使用的計算方式，除能符合頻率需求在計算市場流量需求時的邏輯外，亦能驗證本計畫使用的頻率需求模型的可信度。基於此，此部分的計算結果將併入第四節呈現。

第三節 頻譜需求模型計算結果

基於上述參數蒐集，此節以不同模擬情境分別說明模型計算結果。如前章所述，情境一以人口密集區為全台頻譜需求量、情境二與三分別計算偏鄉、離島、山地部落的頻譜需求量。本章首先說明各個區域下的頻譜量，並輔以 113 年度和 119 年度的推估需求量以闡述不同的未來推演情境。

一. 各區域及推計目標年頻譜需求量

本小節說明各區域及 113 年及 119 年分別的需求情境下，經過頻率需求模型計算的頻譜需求量。

(一) 113 年各區域頻譜需求量

依模型參數設定結果估計 113 年頻譜需求量，在基本情境(即情境一，以人口密集區需求代表全台總需求)中，計算結果為 4G 580 MHz、5G NSA 120 MHz，另衛星頻譜需求量因未達 10 MHz，模型計算結果以最小單位量 10MHz 顯示，計算之總頻譜需求合計為 710MHz，但實質上衛星頻譜需求可忽略不計，故建議以總頻譜需求 700MHz 視之。未來除非基於災防、備援韌性等特殊用途，方有額外考慮衛星在行動通信的頻譜需求的必要。

同時，為對計算後的頻率需求結果於不同頻段上進行分配，亦考量了頻段偏好問題。根據 Nokia 說明，4G 及 5G 的低、中、高頻段分別位於：低頻段，1GHz 以下、中頻段，1GHz 以上至 6GHz、高頻段 24GHz 至 40GHz。低頻段擁有較高的覆蓋效能，電信商通常將其稱為「海景第一排」，因其優越的覆蓋能力而較受歡迎，係電信業者優先會選擇的頻段。中頻段通常會承擔 60% 的網路服務總吞吐量，係支撐 5G 新興服務需求的中流砥柱。而高頻段則能支援超高速的服務流量需求，然而其傳輸距離短，需依賴大量佈建微型或微型基地台以取得最佳的覆蓋率。

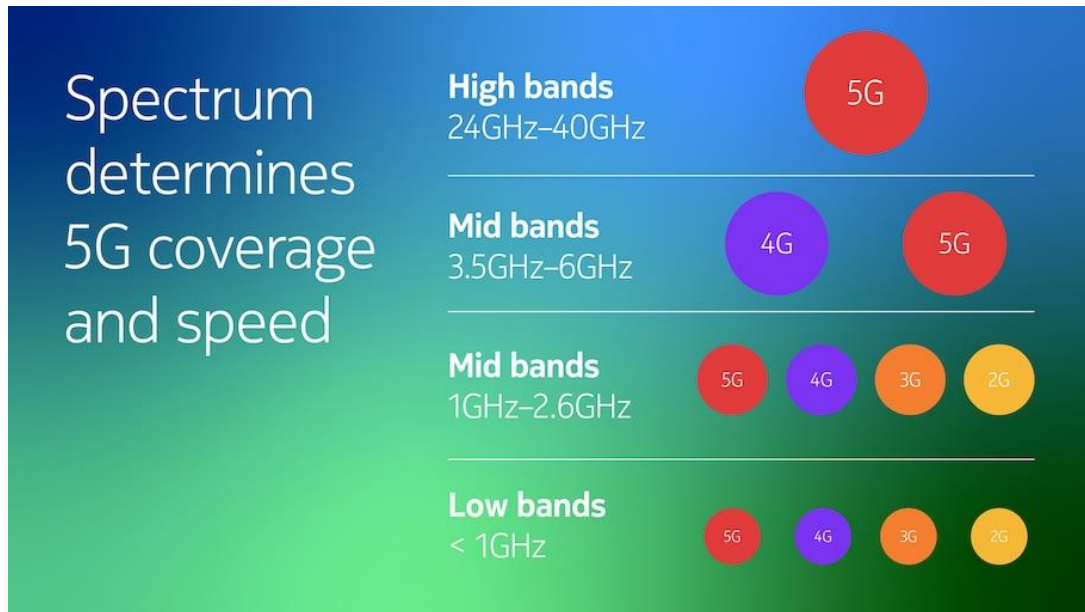


圖 5 -10 5G 各頻段區塊定義

資料來源：Nokia

綜上，結合我國頻率需要模擬結果與國際間頻段分配及偏好優先性，本計畫分配頻率需求至各頻段，以113年的頻譜需求推計及現行頻譜核配情形結合說明如下：

1. 現階段在 3.5GHz 以下仍有 140MHz 餘裕，仍有應用及基礎設施發展、成長空間

根據模型預估結果，113年4G+5G 之總頻譜需求為690MHz，以目前3.5GHz 以下已釋照頻譜量840MHz 而言，仍有150MHz 的使用成長空間。

若依技術別區分，4G 總頻譜需求為580MHz，目前4G 總供給為490MHz，尚不足90MHz，接近市場上電信業者期待之低頻再釋出情形。雖4G 在低頻有632-652MHz, 678-698 MHz 或 PPDR 頻段(下表情境組合 A)、中頻有2300-2390 MHz 可用頻段(下表情境組合 B)，但以5G 目前的評估之頻譜需求，3.5GHz 目前僅使用約11%，仍有240MHz 餘裕，故在應用需求未出現明顯變革情況下，綜合考量4G 及5G 供需現況，短期內頻譜仍足夠使用。

表 5-14 113 年頻率需求模擬結果與供給現況分析

技術	頻段類型	頻譜供給現況					頻譜需求估計	
		頻段	中華電信	遠傳電信	台灣大哥大	合計	組合 A	組合 B
4G	低頻	700MHz +900MHz	20*2	25*2	10*2+15*2+5*2- 5*2	150	180	140
	中頻	1800MHz	30*2	20*2	15*2	340	400	440
		2100MHz	—	15*2	20*2+5*2			
		2600MHz FDD	30*2	20*2	20*2			
4G 小計			160	160	170	490	580	
5G	中頻	2100MHz	20*2	—	—	90	90	
		2600MHz TDD	—	50	—			
	中高頻	3500MHz	90	80	60+40	270	30	
5G 小計			130	130	100	360	120	
4G+5G 小計			290	280	270	840	700	
5G	毫米波	28GHz	600	700	200	1500	0	
總計			890	980	470	2340	700	

註：組合 A 指需求以低頻 632-652MHz、678-698 MHz 或 PPDR 頻段滿足；組合 B 指需求以 2300-2390 MHz 等中頻滿足。

資料來源：本計畫整理

2. 現階段偏鄉、山地部落/離島需求尚無獨立釋照需求

依據本計畫前述對於我國分區釋照以滿足偏鄉、山地部落/離島需求之假設，進行不同分區情境模擬。模擬結果顯示，不論山地部落/離島單獨分區、或採取偏鄉、山地部落/離島單獨分區，皆以離島需求較高，偏鄉樣區需求並未高於離島，故以離島代表獨立分區之需求。獨立分區在 4G 需求為

40MHz，5G、衛星需求未達10 MHz，即未達模型計算最小單位量10MHz，合計獨立分區之頻譜需求僅約40MHz，顯示依113年需求預估，偏鄉、山地部落/離島之使用需求尚難以支持獨立釋照。

表 5-15 分區釋照情境假設之模擬結果

情境	113 年情境 1： 不分區	113 年情境 2： 山地部落/離島獨立計算		113 年情境 3：偏鄉、山地 部落/離島獨立計算	
區域別	Zone 1	Zone 2-1	Zone 2-2	Zone 3-1	Zone 3-2
說明	以人口密集區需求代表全台頻譜需求	以人口密集區需求代表	山地部落/離島	以人口密集區需求代表	偏鄉、山地部落/離島
4G	580 MHz	580 MHz	40 MHz	580 MHz	40 MHz
5G	110 MHz	110 MHz	(<10 MHz)	110 MHz	(<10 MHz)
衛星	(<10 MHz)	(<10 MHz)	(<10 MHz)	(<10 MHz)	(<10 MHz)
總計	690 MHz	690 MHz	40 MHz	690 MHz	40 MHz

資料來源：本計畫整理

頻率需求並非單論電信市場消費需求、技術演進更迭、電信業者經營策略等因素就可一概括之，然而在複雜的頻率需求討論中，如何有效率地針對每一個因素進行調整並最終提出整合性的政策方向，係一挑戰。因此，本計畫有效地透過頻率需求模型的模擬情境、參數及其模擬結果與頻率使用者進行溝通，有助於主管機關能系統化辨識資源的使用方向，從而真正瞭解形成頻率需求的複雜因素。本計畫將頻率需求的主要影響參數分構如下圖；可以看到影響著電信業者營收和商業模式的需求情境及其推估市場量化數字、同時影響消費及業者建設的用戶佔比及影響服務品質和技術支援規格的流量參數，在這樣的分構下，可以清楚發展討論脈絡並挖掘真正的底層因素。

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

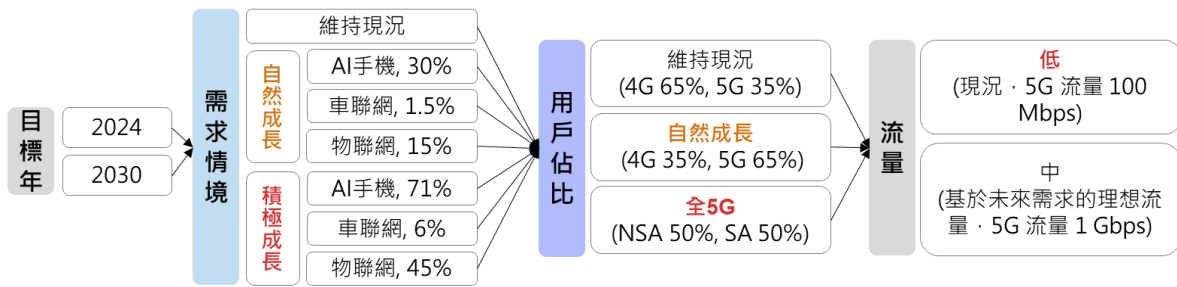


圖 5-11 頻率需求模擬情境參數

資料來源：本計畫整理

(二) 119 年頻譜需求預估情境

隨著上一步的討論，本計畫依據需求情境及用戶業務佔比，提出的4種2030年之頻率需求情境，各需求情境的詳細假設參數細節已詳述於第五章，模擬結果如下表所示。

表5-16 頻率需求模擬結果

情境代號	0	1	2	3	4
目標年	2024	2030	2030	2030	2030
需求情形	現況 (AI 手機 0%，車聯網 0%， 物聯網 13.4%)		自然成長 (AI 手機 30%，車聯網 1.5%，物聯網 15%)		
人口密集度	都會密集區				
基地台涵蓋度	(即全台頻譜需求)				
用戶成長情形	現況 (4G 65% /5G 35%)	自然成長 (4G 35% /5G 65%)	維持現況	自然成長	全 5G
網路流量需求 (5G 流量下限 100Mbps, 上限 1Gbps)	低度	低度	低度	低度	低度
頻譜效率技術	4G Macro 4, Micro 5; 5G Macro 12, Micro 15; 衛星 3				
頻率需求(MHz)	690	540	1,910	1,440	850

資料來源：本計畫整理

情境一為假設2030年應用需求無明顯成長，而在用戶業務佔比按過去趨勢自然轉換下，因頻譜使用效率提高，故頻譜需求不增反減，僅需540MHz即可滿足市場服務需求。

情境二至四為假設2030年應用需求依照本計畫所推估我國市場在終端設備 AI 化、車聯網及智慧製造物聯網等有合理成長，此時隨用戶業務佔比轉換情形不同，分別有1910MHz、1440MHz、850MHz三種需求情境。

在情境二至四的需求量，已超過目前6GHz以下釋出的840MHz，由於各營運商手中仍有未使用的毫米波頻段，故從總量而言看似無需釋出新頻段。惟毫米波指向性高，營運商者需要付出高額的建設及覆蓋成本方可滿足需求，從企業投資評估及選擇的角度，除非市場可接受使用5G SA的用戶需支付更高額的月租費，讓營運商看到新的營收機會，不然要使用覆蓋成本較高毫米波來滿足使用需求的可能性較低，相較之下，營運商很選擇維持頻譜擁塞的狀況。

另一選項為檢討釋出新的低頻(1GHz以下)與中頻(1~6GHz)的配對組合，為此作法仍需視各家業者意向及WRC-28將決議之6G頻譜綜合考量，本計畫將整合上述觀點及過往經濟效益評估情形，第七章持續探討。

第四節 頻譜需求模型驗證

本計畫在完成模型計算後，以目前頻譜釋出情況、國際頻譜釋出情況、業者意見、市場反應等回饋，從質化方法進行模型的市場接受度驗證；而模型計算精確性，則由上開所述的尖峰小時資料進行檢核。

一. 質性驗證-業者反饋

本計畫執行兩場座談會與業者交流針對頻率需求模型的建構與計算邏輯及計算結果的說明。對於建構邏輯而言，業者就市場與技術兩個面向對本計畫使用模型提出精進意見，並本計畫對較正方案的意見回覆如後章座談會意見整理。對於模型計算結果而言，本計畫使用上一小節所述的五種模擬情境的計算結果(如表 5-16)與業者進行溝通，業者對需求假設及模型計算結果的反應意見分述於前章需求訪查與後章期末論述。

二. 量化驗證

(一) 尖峰頻寬

本計畫蒐有業者尖峰小時流量資料並依前節說明導入模型中，並與本計畫計算結果進行比對；比對結果為：實際資料導入計算結果 4,930 MHz，模型計算結果 5,210 MHz。兩者相差 5%，足以證明本計畫使用的頻率需求模型與所蒐集的我國市場特性資料於可信區間內。

(二) 敏感度分析

本計畫除設定有不同需求與供給情境上的模擬外，亦在此節對模型中的各個參數進行調整，觀察參數變化對模型結果的影響，以確定模型的關鍵參數和對模型結果的影響程度。由於整體市場關鍵參數都已提列於情境模擬中並說明於前章，因此本計畫篩選關鍵技術參數有二，頻譜效率及延遲時間；選擇頻譜效率的原因係因為頻譜效率係技術更迭之於頻譜主要的影響，且本計畫瞭解有關於頻譜效率的建議眾多，受應用服務、低中高頻段、設備場域等影響，雖本計畫最終劃一選用 ITU 建議值，然而仍呈現其敏感度分析以供計畫參考；而選擇延遲時間係因為，目前普遍著重的網路技術支援規格的因素有二：網路服務流量

要求及延遲時間，兩者皆與服務者對通訊技術的體驗有極大關係，而服務流量已於市場模擬情境中處理，前文對延遲時間的探討僅注重於新興服務需求，因此本計畫於此對整體延遲時間進行敏感度分析，如下表：

表 5-17 關鍵參數表

金參數類別	項目	是否選擇	原因
市場與網路設置	使用者密度	否	我國人口變動幅度不劇烈及分析歷年統計資料服務使用百分比變動不明顯
	基地台涵蓋面積	否	已於需求情境假設上進行評估
	基地台涵蓋人口比率		
	電信業者數量	否	頻率需求模型不為分業者運估
	各技術別的使用比率	否	已於需求情境假設上進行評估
	服務流量要求	否	已於需求情境假設上進行評估
基地台與技術設置	頻率效率	是	各頻段及各機構的頻率效率各異且變動因素多，惟本計畫統一使用ITU建議值
	阻擋率	否	僅影響電路交換
	封包大小	否	通信技術上封包傳輸技術成熟，無預期劇烈變動
	延遲時間	是	基於新興服務需求逐漸為VR/AR等要求延遲度的應用

資料來源：本計畫整理

如下表所示，本計畫所選擇的兩個參數在交叉對比下發現：延遲時間的上下限調整至 0.5 倍及 1.5 倍時發現，當網路服務要求能夠允許更高的延遲時間時(1.5 倍)，頻率需求將會較低，也反映了一般事實。另一方面，頻譜效率的敏感度則較高，但不為難以理解之；由於在模型內頻譜效率是總系統需求頻寬除以頻譜效率的倍數計算，因此當敏感度分析假設頻譜效率倍數變動時，頻率需求變動亦以倍作增減。

表 5-18 敏感度分析結果

		頻譜效率				
		x0.5	x0.8	x1	x1.2	x1.5
延遲時間	x0.5	1,400	880	720	610	490
	x1	1,390	880	710	600	480
	x1.5	1,370	870	700	590	480

資料來源：本計畫整理

表 5-19 頻譜效率敏感度變動率

倍數	4G				5G NSA				5G SA				衛星			
0.8	32	4	4	5.84	9.6	12	12	17.52	9.6	12	12	17.52	2.4	2.4	2.4	2.4
1	4	5	5	7.3	12	15	15	21.9	12	15	15	21.9	3	3	3	3
1.2	4.8	6	6	8.76	14.4	18	18	26.28	14.4	18	18	26.28	3.6	3.6	3.6	3.6
1.5	6	7.5	7.5	10.95	18	22.5	22.5	32.85	18	22.5	22.5	32.85	4.5	4.5	4.5	4.5

資料來源：本計畫整理

表 5-20 延遲時間敏感度變動率

倍數	服務分層																			
0.5	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
1.5	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

資料來源：本計畫整理

三. 國際研究比較

根據 GSMA《The Socio-Economic Benefits of Mid-Band 5G Services》報告，其推計國際間各個主要城市的 2030 年中頻段(1 GHz 以上至 6 GHz 以下)的頻率需求量。從下表可知，在低推估情境中從 1,020 MHz 至 3,020 MHz，而高推估中從 1,200 MHz 至 3,690 MHz。本計畫於上節說明我國頻率需求量約分 850 MHz、1,440 MHz 及 1,910 MHz 三大情境，假設優先由 1 GHz 以下(共 150 MHz)滿足需求，尚需 700 MHz 至 1,760 MHz 的頻寬量。概括而言，本計畫的推估數字落在 GSMA 推估的中位數，則頻率需求計算結果尚謂為保守。

表 5-21 各主要國際城市 2030 年中頻段頻率需求

城市	低推估 (MHz)	高推估 (MHz)	城市	低推估 (MHz)	高推估 (MHz)
香港	3,020	3,690	曼谷	1,780	2,210
拉格斯	2,440	3,260	開羅	1,560	2,080
紐約	2,580	3,130	奈洛比	1,560	2,060
東京	2,420	2,950	約翰尼斯堡	1,690	2,010
聖保羅	2,440	2,870	柏林	1,630	1,950
巴黎	2,350	2,830	羅馬	1,630	1,950
仰光	2,140	2,750	安曼	1,500	1,780
莫斯科	2,340	2,800	麥加	1,510	1,780
北京	2,130	2,520	里昂	1,450	1,750
孟買	1,850	2,510	米蘭	1,450	1,750

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

馬德里	2,060	2,480	塔什干	1,320	1,600
巴塞隆納	2,040	2,450	漢堡	1,320	1,600
利雅德	2,000	2,430	馬賽	1,300	1,570
伊斯坦堡	2,050	2,400	慕尼黑	1,300	1,570
雅加達	1,980	2,380	阿姆斯特丹	1,270	1,480
墨西哥城	1,980	2,340	巴庫	1,270	1,480
胡志明市	1,720	2,250	明斯克	1,260	1,470
波哥大	1,780	2,230	德黑蘭	1,020	1,200

資料來源：GSMA

第六章 頻譜經濟效益模型架構及參數說明

第一節 頻譜經濟效益模型

一. 頻譜釋出多寡對經濟效益的影響面向

無線電頻譜的釋出與使用多寡可擴大既有電信服務並擴展新興電信服務業務範圍外，也將直接影響經濟效益。頻率的釋出量會影響到電信服務的覆蓋、服務品質以及市場競爭情況，進而對相關技術發展和產業經濟體系產生各種影響。

(一) 覆蓋範圍及服務品質

更多的頻率釋出，配合適當的建設義務，可以增加電信服務的覆蓋範圍，尤其是在偏遠地區更需要政策付與義務，方可提高人們對通訊服務的可及性。同時，更充足頻寬也可以增加服務容量，提升通訊速度和品質，從而提升了消費者的使用體驗。

(二) 市場競爭

頻率的釋出也會影響到市場的競爭格局。如果頻率的釋出量不足，可能導致基礎建設趨緩，進而影響到服務品質和價格。相反，適度的頻率釋出可以促進市場競爭，激發創新，降低價格，提高服務品質。

(三) 技術創新

不同應用的頻率需求通常反映了不同的技術需求和創新機會。例如，工業自動化和智慧型裝置可能需要低延遲的頻率，而遠距教育和醫療健康應用可能需要高頻寬的頻率。根據不同的頻率需求，相應的技術創新和產品開發將推動相關產業的發展，並帶來相應的經濟效益。

(四) 產業發展

頻率的釋出量也會影響到相關產業的發展。當頻率需求高時，釋出相應的頻率將能夠激發相關產業的投資和創新，進而促進經濟增長。例如，更多的頻率釋出可以促進通訊設備製造商、軟體開發商等相關產業的投資和創新，進而帶動整個產業鏈的發展，創造就業機會，推動經濟增長。

二. 頻譜經濟效益模型架構

本計畫擴大參考 ITU-R SM.2523 及 Vadim Nozdrin(2021) 相關文獻，建構了專門對頻譜的投入產出模型。頻譜投入產出模型同以本計畫發展的頻率需求模型作為原始輸入參數或以已釋照情形作為基礎，主旨計算政府頻譜釋出以作為經濟資源的投入；接續計算其直接效益、第一波波及效益、第二波波及效益作為量化結果，最後輔以衍生效益擴展討論質化效益。

本計畫評估無線電頻率使用所產生之經濟效益，包括以下四個項目：直接效益、第一波波及效益、第二波波及效益，以及衍生效益。主要分為兩個主體進行上述直接效益與波及效益計算，分別為提供無線電設備及無線電服務之營運產值，前者以電信業者固定資本投入作為無線電相關建置計算基準，而後者則以電信業者營業收入為基準；即企業藉由購置無線電相關設備等資本投入以提供大眾無線電相關服務，從而影響其他產業產生增加投入。

因此，電信業者資本及營運投入(直接效益)的第一次波及為電信業產出對跨應用產業的收入貢獻，第二次波及為電信業者的營業收入。然而，除了上述的直接與間接效益，有些無線電頻譜使用會產生經濟效益，但不直接產生產業價值但卻有效消除其外部成本、增進產業效率等。此類效益尚未有明確或可靠可衡量的經濟數值可以量化這些頻譜使用帶來的衍生效益，如技術競爭力、生活品質提高及社會公平等。

(一) 經濟效益模型架構

本計畫設計的經濟效益模型由3個構面組成，分別為 ITU SM.2523、V. Nozdrin(2021) 的 ITU 期刊文章與投入產出模型中的產業關聯表。其中，ITU SM.2523 定調了對頻率經濟效益的主軸，其提供了直接的經濟效益評估方法。文中以行動通信服務及衛星通信服務收入對比於整體 GDP 的比率作為通信業務的直接貢獻效益。定式如下：

$$\frac{\text{行動通信服務收入} + \text{衛星通信服務}}{\text{當年度GDP}} \times 100\%$$

(6.1)

而 V. Nozdrin(2021)的 ITU 期刊文章則發展了對頻率的投入產出矩陣，本計畫將 Nozdrin 博士的頻率投入產出矩陣作為主要架構，對其進行調整並發展成本計畫使用的經濟效益模型主幹，並表現如下：

		頻譜使用者 n			累計已釋出頻譜	經濟影響		總計效益
		中華	台哥	遠傳		對產業消費	對電信業消費	
頻譜分配	k	k_1	k_2	k_3	K_n	$Y_{Industry}$	$Y_{consumption}$	Y
電信業者營利		p_1	p_2	p_3				
電信業者資本支出 CAPEX		cap_1	cap_2	cap_3				
電信業者營運支出 OPEX		op_1	op_2	op_3				
頻譜使用者成本		w_1	w_2	w_3				

圖 6-1 無線電頻率經濟效益投入產出矩陣

資料來源：本計畫整理

- n = 頻譜使用者數量
- k_n = 各使用者獲分配頻譜量
- K_n = 各使用者累計已獲分配頻譜量
- cap_n = 頻譜使用者資本支出
- $opex_n$ = 頻譜使用者營運支出
- w_n = 頻譜使用者總支出
- $y_{industry}$ = 使用者對產業的消費
- $y_{consumption}$ = 民生對使用者的消費
- Y_n = 各頻譜使用者所產出的經濟效益

由此可見，頻率投入產出的概念已在這個構面形成，然而其中重要的一塊拼圖則係如何衡量頻率使用者對產業的影響。其中，若延續投入產出模型的探討可知投入產出的基礎是由每個產業的投入與產出所構成的矩陣；這是俄裔美國經濟學家 Wassily Leontief 在所提出的「投入產出理論」²³⁹。其系統性地

²³⁹ W. Leontief (1951) Scientific American, Vol. 185, No. 4 (October 1951), pp. 15-21

將產業進行分類並製一矩陣表，透過工商普查得其中產業與產業間的交易流向，如此梳理出在一個國家的 GDP 貢獻，每產業間的貢獻量與其關係，有助於釐清個別產業的產出效益，並作為總體資源分配參考。我國主計總處每五年一期(目前最新一期為以110年為基準年的資料)進行資料蒐集，即為理論模型其中的第一層資料；其中，蒐得每產業間的投入是為 Z_{ij} 、民間消費等最終消費流向為 X_{ij} ，是為生產者價格交易表。接著，於矩陣中計算並得各產業交易間的供需比例，製成技術係數表，是為 A 表。其中各部門供需比例為 a_{ij} ，由下式計算而得：

$$\frac{Z_{ij}}{X_{ij}} = a_{ij} = [A] \quad (6.2)$$

而理論上，各部門的投入產出關係可以無限衍生，最終影響比例收斂至1，因此需要對[I-A]進行反矩陣計算：

$$[A] = [I - A]^{-1} \quad (6.3)$$

最後得出的反矩陣表即為產業關聯表，意表各產業部門間各自對其他部門影響的直接與間接經濟效益。本計畫使用主計總處編製的110年《生產者價格交易表(進口品按 C.I.F.計值63x63)》，對矩陣進行6.2式運算得《生產者價格投入係數表(A)(63x63)》(即 A 矩陣)；建立一63x63矩陣並輸入對角線上的數值皆為1，其餘為0(即 I 矩陣)，使用此矩陣減去 A 矩陣(即 I-A 矩陣)；再使用 MINVERSE 函數對 I-A 矩陣進行6.3式運算，即得[I-A]⁻¹ 矩陣係為產業關聯表，內含各業別對其他業別的產量乘數(直接與間接效益)；觀察需要部門第46直欄，可得電信業每1元需要對其他產業的產量乘數，其中間投入合計為1.89。

以上產業關聯表再導入至第二構面中的頻率投入產出矩陣，即完整本計畫所設計的經濟效益模型。上述直接效益與波及效益

以實際資料進行推算，衍生效益則較難以量化價值呈現，故彙整不同產業或應用層面等相關質性資料說明其價值。本計畫根據以上計算方法與內容，設計出計算無線電頻率經濟效益之評估架構。以下分別就直接效益、波及效益、其他衍生效益評估方式進行說明。整體概念如下圖。

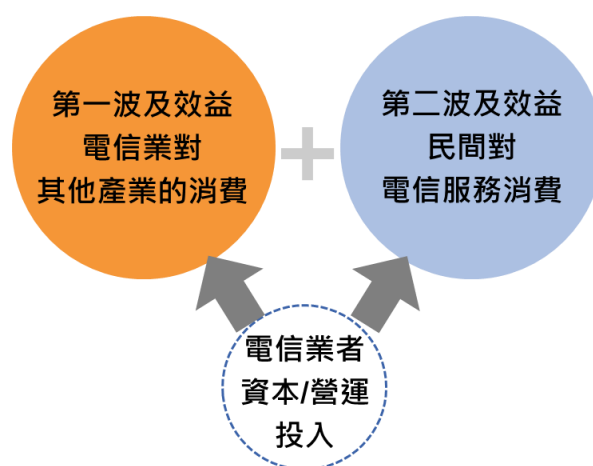


圖 6-2 無線電頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果示意圖

資料來源：本計畫整理

(二) 直接效益：頻譜帶動的電信業直接投資

使用無線電頻率提供相關電信服務的電信業者取得頻譜後為提供營業行為而開始建置網路及基礎設施等的資本及營運支出，視同為無線電設備產值；為最為直接的投入效益。

(三) 波及效益：電信業投資對其他產業消費及帶動民間對電信的消費

波及效益的基本概念為每一單位之生產活動投入，可創造關聯產業的營運收入(第一次波及)，此活動同時也讓所有相關產業就業人口獲得薪資，並提高對外消費能力，而帶來第二次波及。在無線電頻率直接效益下，第一次波及效益為各行各業對電信業增加投入後，其所增加產值的乘數效應。第二次波及效益來自於各國民對電信業消費而得的經濟效益，以歷史資料而言即為電信業者的歷年營業收入。本計畫為得出無線電頻率使用帶來之直接效益可對外產生的波及效益，採用投入產出分析法，

以行政院主計總處投入係數表及產業關聯表，推估對外波及之產業關聯效果總額。

波及效益的計算方法是先將不同生產部門之直接效益依照各產業之投入係數表，計算出中間需要。接著，將產業部門別中區分出之中間需求，視之為我國產業關聯表中個別部門的最終需要，並帶入產業關聯表中表格中得出帶動關聯產業之產值(第一次波及效益)。然而必須注意的是，由於投入產出理論係基於整體均衡的基礎而成立，即社會中整體的投入等於產出，若同時加計電信業的投入與其對經濟整體的需要，將重覆計算其經濟效益。業者在配得頻率後進行的資本投入係很直接的概念，然而在波及效益計算時須剔除這一部分的效益才得其真正的直接與間接效益。因此，在使用投入產出理論計算而得的乘數效應時，必須要避免重覆加計。而第二次波及效益方面則設定為國民對電信業消費部分。

(四) 衍生效益

在無線電頻率帶來的效益中，除了以上述量化方式找出其直接與波及的經濟效益之外，尚有許多無形且不易量化的經濟效益，同樣可以對我國整體社會帶來正面的影響。因此，於本計畫中預計以彙整不同產業或應用面向之相關質性資料說明其價值。

第二節 頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果

一. 頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果

本計畫之頻譜經濟效益模型，規劃透過三大面向的輸入參數評估頻率使用的經濟效益，分別為頻率需求與應用特性、經濟與產業環境，以及政策因素。

(一) 頻率需求與應用特性

無線電頻率的釋出將直接影響經濟效益，藉由影響電信服務的市場競爭、技術創新以及產業發展，進而對相關產業和整個經濟體系產生各種影響。此外，不同的行業及應用案例通常反映了不同的技術需求和創新機會，例如，在工業和物流產業較常見的自動化和智能裝置可能需要低延遲的頻率，而遠距教育和醫療健康應用可能需要高頻寬的頻率。根據不同的技術與應用需求，相應的技術創新和產品開發將推動相關產業的發展，並帶來相應的經濟效益。

據此，本計畫透過前開說明的頻率需求模型推估各式情境下的頻率需求，在此作為一方面的參數進行經濟效益評估。以頻率需求不同的區域、技術、應用情境設定，求解頻譜需求後導入經濟效益模型中作為投入，並計算相應的產出。

本計畫盤點我國歷年來頻譜釋出的投標金額與頻率量，以作為變動基準值及下節投入產出分析計算的參數值。為確實反映業者在取得頻譜後貢獻的經濟效益，參考以下頻譜標金價量表，可顯見28GHz的總量標金較其他頻段更低，可見此頻段的評價低，經濟效益自然也不會顯著。

因此，本計畫排除所有電信業者在28GHz持有的頻譜量，整理歷年頻譜釋出情形如下：中華電信現持有頻率執照共290MHz、台灣大哥大持有持有頻率執照共270MHz及遠傳持有頻率執照共280MHz。如前章表3.6。

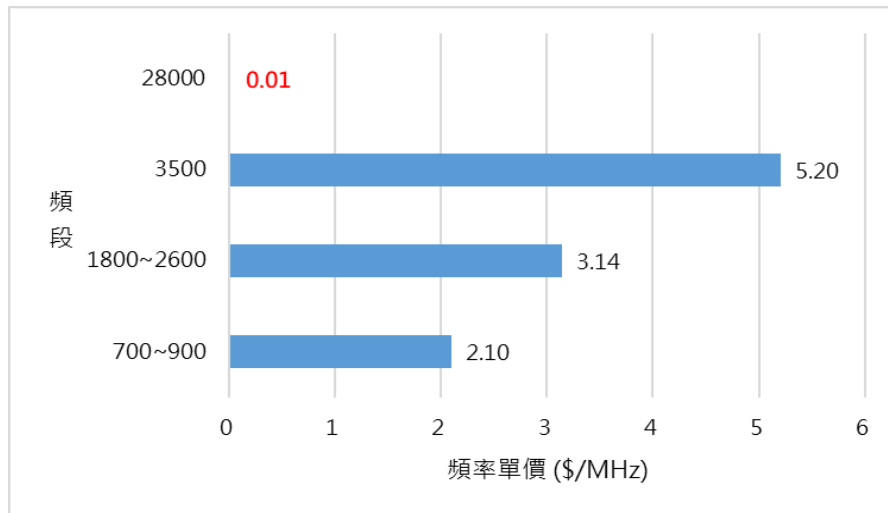


圖 6-3 我國各頻段標金單價

資料來源：本計畫整理

(二) 經濟與產業環境

對整體電信市場而言，頻譜釋出係屬資源投入的一環，而資源投入將直接影響產業並帶動一連串的經濟行為。最直接的經濟效益方面，必屬頻譜釋照後的持照者—電信業者因持有頻譜資源而投入的營業行為。因此，本計畫設定直接效益為電信業的資本與營運投入，參考相關產業的財務報表。然而考慮頻譜僅適用於無線電通信，亦即行動通信業務市場，因此此處的資本支出只考慮行動通信資本支出。各電信業者資本支出參數如下：

表 6-1 各電信業者行動通信固定資本支出

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
103年	9,618,961,000	13,569,058,000	12,406,322,000
104年	8,596,075,000	11,585,672,000	10,905,829,000
105年	8,980,930,000	9,932,672,000	8,906,250,000
106年	9,742,113,000	9,181,491,000	7,732,052,000
107年	10,663,759,000	7,813,657,000	6,039,383,000
108年	7,773,226,000	6,605,925,000	5,449,121,000
109年	8,827,322,000	11,037,092,000	10,127,684,000
110年	16,808,936,000	10,433,984,000	11,456,692,000
111年	16,551,326,326	9,839,436,000	8,528,507,000
112年	16,046,557,450	8,519,575,000	7,412,151,000

資料來源：本計畫整理

頻譜釋出後可能產生的經濟效益會受到需求端的總體經濟環境影響；因此，除了考慮直接效益外，還須考慮分析各產業之間的相互關係，電信業的最終需要變動將帶動各產業的投入增加，將影響無線電頻率經濟效益中對於其他產業的波及效益。因此，研究中將再藉由投入係數表與產業關聯程度表，評估無線電頻率使用相關產業的經濟效益。

本計畫使用的產業關聯表內電信部門乘數效果為1.89倍；簡言之，電信部門1元新臺幣的投入可對其他62個產業部門及電信業創造共1.89元的倍數效果(理論概念已於上一節說明之)。節錄電信業作為需要部門的產業關聯程度表63部門反矩陣 $[I-A]^{-1}$ 如下表。

(三) 政策因素

在監理機關釋出頻譜執照時，常伴隨著一系列的義務條件或規劃，這些條件旨在確保頻譜的有效使用以及促進整個電信生態系統的發展。舉例而言，其中一些條件可能包括確保偏鄉地區的覆蓋、增加基地台的建置數量，或提高服務的人口覆蓋率等。透過設定這些條件，不僅能夠確保頻譜資源的充分利用，還能夠促進更多人受益於先進的通訊技術，從而帶動社會經濟的發展。

此外，頻譜執照的有效年限也是影響頻率使用業者營運的重要因素。適當的執照期限可以提供業者穩定的營運環境，使其有足夠的時間進行中長期的投資規劃和營運策略，這將有助於業者提高服務品質、擴大營收來源，並推動技術創新和服務改進，從而為整個產業帶來更穩健的發展。

因此，在建立模型時，我們需要將這些義務條件、規劃和執照有效年限納入考量，並以可調整的欄位作為政策因素調整試算的輸入參數。透過模型的評估，我們可以更好地理解這些因素對於頻譜使用的經濟效益所產生的影響，並提供相應的政策建議和策略規劃。

現行我國頻譜釋出各頻段如前開頻譜歷年釋照盤點，而根據各頻段分類各頻段持照期限如下：700MHz、900MHz、1.8GHz 執照期限至2030年為止；2.1GHz、2.5GHz、2.6GHz 執照期限至2033年為止；3.5GHz、28GHz 執照期限至2040年為止。

二. 頻譜經濟效益模型輸入參數與產出結果

在進行頻率使用經濟效益評估時，首先將各參數輸入模型中，進行投入產出分析，以了解無線電頻率使用所產生的整體經濟效益，其中包括直接效益、第一次波及效益和第二次波及效益，進一步評估頻率使用對整個經濟體系的影響，以最大程度地發揮頻率使用的經濟潛力，並確保整個無線電頻率規劃與經濟體系的穩定和可持續發展。

經濟效益評估計算流程如下：先經由資料蒐集取得頻譜投入後的直接效益，再以主計處公佈的105年《產業關聯統計編製報告》投入係數表計算出產業關聯表，以計算電信部門對跨產業的第一次波及效益；接著加上電信業者營收作為第二波及效益；再計算歷年來累計釋出的頻譜量，以取得每頻譜所產生的經濟效益價值。

(一) 直接效益

本計畫設定以電信業者取得頻譜後為提供行動通信服務而投入的資本及營運支出作為直接效益，因此上開2.1.2.1節所蒐集而得的資料相同；2014至2023年間，電信業者投入行動通信固定資本支出約3.01仟億元。而營運支出一項，因未取得業者針對行動通信業務的營運支出，則推估使用資本支出的百分之十，視作營運支出，約3佰億元。總計資本與營運支出為即3.31仟億元。詳細資料如下表：

表 6-3 電信業者歷年行動通信固定資本及營運(推估)支出

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	總計
103年	10,580,857,100	14,925,963,800	13,646,954,200	39,153,775,100
104年	9,455,682,500	12,744,239,200	11,996,411,900	34,196,333,600
105年	9,879,023,000	10,925,939,200	9,796,875,000	30,601,837,200
106年	10,716,324,300	10,099,640,100	8,505,257,200	29,321,221,600
107年	11,730,134,900	8,595,022,700	6,643,321,300	26,968,478,900
108年	8,550,548,600	7,266,517,500	5,994,033,100	21,811,099,200
109年	9,710,054,200	12,140,801,200	11,140,452,400	32,991,307,800
110年	18,489,829,600	11,477,382,400	12,602,361,200	42,569,573,200
111年	18,206,458,958	10,823,379,600	9,381,357,700	38,411,196,258
112年	17,651,213,195	9,371,532,500	8,153,366,100	35,176,111,795
TTL	124,970,126,353	108,370,418,200	97,860,390,100	331,200,934,653

資料來源：本計畫整理

(二) 波及效益

第一次波及效益以上一小節提出的過去十年間，電信業者固定投入資本支出3仟億元，而設定其對固定營運支出佔資本支出的百分之十，3佰億元，此兩作為基數乘以電信部門產業關聯倍數每1元投入即各產業產值創造1.88元，得2014至2023年間電信

的第一波及總效益約為6.22仟億元。歷年各電信業者產生的效益如下表：

表 6-4 電信業者歷年行動通信固定資本及營運支出貢獻的第一波及經濟效益

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	總計
103年	19,892,011,348	28,060,811,944	25,656,273,896	73,609,097,188
104年	17,776,683,100	23,959,169,696	22,553,254,372	64,289,107,168
105年	18,572,563,240	20,540,765,696	18,418,125,000	57,531,453,936
106年	20,146,689,684	18,987,323,388	15,989,883,536	55,123,896,608
107年	22,052,653,612	16,158,642,676	12,489,444,044	50,700,740,332
108年	16,075,031,368	13,661,052,900	11,268,782,228	41,004,866,496
109年	18,254,901,896	22,824,706,256	20,944,050,512	62,023,658,664
110年	34,760,879,648	21,577,478,912	23,692,439,056	80,030,797,616
111年	34,228,142,842	20,347,953,648	17,636,952,476	72,213,048,966
112年	33,184,280,806	17,618,481,100	15,328,328,268	66,131,090,174
總計	234,943,837,543	203,736,386,216	183,977,533,388	622,657,757,147

資料來源：本計畫整理

第二波及效益係屬對電信業消費，本計畫使用歷年各家電信業者資料以計算其營收即屬於歷年來國民對電信業消費，得此一部份的經濟效益約為1.98兆元。

表 6-5 電信業者歷年行動通信固定資本及營運支出貢獻的第二波及經濟效益

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	總計
103年	115,988,866,000	51,945,586,000	60,499,756,000	228,434,208,000
104年	118,352,468,000	51,811,095,000	60,688,172,000	230,851,735,000
105年	113,331,375,000	51,549,981,000	59,328,723,000	224,210,079,000
106年	111,406,813,000	52,069,597,000	56,485,675,000	219,962,085,000
107年	102,638,789,000	47,890,846,000	44,056,624,000	194,586,259,000
108年	97,032,687,000	43,133,841,000	41,196,684,000	181,363,212,000
109年	91,766,101,000	39,946,961,000	39,297,490,000	171,010,552,000
110年	96,837,124,000	40,216,905,000	39,555,050,000	176,609,079,000
111年	87,709,391,845	41,202,847,000	41,028,032,000	169,940,270,845
112年	92,751,795,704	43,732,621,000	42,972,916,000	179,457,332,704
總計	1,027,815,410,549	463,500,280,000	485,109,122,000	1,976,424,812,549

資料來源：本計畫整理

基於總體均衡的概念，電信業者的資本支出為其需要亦為其供給，因此上開闡述的直接效益不應被計重覆計入其產生的第一波及效益中。換言之，電信業者應計的貢獻效益為直接效益+第一波及(剔除已計算的直接效益本身)及第二波及效益：總合直接效益331,200,934,653元+第一波及效益(622,657,757,147-331,200,934,653)=291,456,822,494元+第二波及效益1,976,424,812,549元，得總波及約2.6兆元的經濟效益。詳細如下表：

表 6-6 電信業者歷年行動通信固定資本及營運支出貢獻的總經濟效益

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	總計
103年	135,975,581,797	80,139,993,470	86,278,177,588	302,393,752,854
104年	136,213,784,621	75,884,332,596	83,348,800,809	295,446,918,026
105年	131,992,360,890	72,188,539,818	77,834,535,381	282,015,436,088
106年	131,649,419,638	71,147,317,682	72,551,685,232	275,348,422,552
107年	124,796,433,724	64,126,418,822	56,605,529,397	245,528,381,944
108年	113,184,250,447	56,859,933,199	52,519,116,097	222,563,299,743
109年	110,107,913,183	62,880,334,056	60,341,253,644	233,329,500,883
110年	131,763,497,719	61,897,112,751	63,360,287,070	257,020,897,540
111年	122,100,492,436	61,647,675,805	58,748,952,750	242,497,120,991
112年	126,094,064,506	61,434,982,433	58,374,221,347	245,903,268,285
TTL	1,263,877,798,961	668,206,640,632	669,962,559,314	2,602,046,998,907

資料來源：本計畫整理

其中，中華電信貢獻效益共約1.26兆元、台灣大哥大貢獻效益共約6仟7佰億元，同遠傳貢獻效益共約6仟7佰億元。

本計畫從 Nozdrin 的研究中獲得頻率經濟效益的概念，其將頻率經濟效益表為下式：

$$e_n = \frac{y_n}{w_n} \quad (6.4)$$

可以瞭解到，這裡將頻率經濟效益的值對比於頻率使用者為頻率所支付的總成本。本計畫認為這是一個可以從使用頻率的成本來衡量其經濟效益的方法，然而無法為主管機關單就

頻率資源本身進行貼切的經濟效益衡量概念。因此，本計畫根據為衡量頻率的經濟效益而循經濟理論裡「生產力」的概念設計針對頻率釋出的關鍵參數。「生產力」觀念於18世紀由經濟學家奎提出，在經濟學的概念為產出與投入的比率。我國自民國61年起採用「工業生產指數除以受僱者投入工時指數」，以供政府制訂勞工、產業政策、學術界從事學術研究、產業界從事決策運用之參考，其目的在於正確反映我國勞動生產力之變動趨勢，指出未來資源流向及利用方式；如下式表之：

$$\text{勞動生產力} = \frac{\text{實質國內生產毛額}}{\text{勞動投入量}} \quad (6.5)$$

本計畫中將此一概念置換到頻率供應中，同以資源主管機關的角度出發，雖應用領域不同，卻可以提供同質的概念來為政府衡量其資源的有效運用程度。本計畫設計頻率生產力的公式如下：

$$\text{頻率生產力} = \frac{\text{頻率直接效益} + \text{第一波及效益} + \text{第二波及效益}}{\sum_{nt} \text{各使用者每年頻率持有量}} \quad (6.6)$$

N =所有頻率使用者

T =頻率持有期間(年)

t =頻率核配年數

在這樣的概念下計算頻譜效率，將各電信業者自2014年來的固定資本支出與其自2014年逐年累計的持有頻譜量，以計算其歷2014至2023年每單位頻譜(MHz)所造就的經濟效益。其中，中華電信每 MHz 貢獻效益5.87億元、台灣大哥大每 MHz 貢獻效益3.49億元及遠傳每 MHz 貢獻效益3.11億元，均值为4.19億元。

表 6-7 電信業者歷年行動通信固定資本支出貢獻的經濟效益

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	總計
103年	135,975,581,797	80,139,993,470	86,278,177,588	302,393,752,854
104年	136,213,784,621	75,884,332,596	83,348,800,809	295,446,918,026
105年	131,992,360,890	72,188,539,818	77,834,535,381	282,015,436,088
106年	131,649,419,638	71,147,317,682	72,551,685,232	275,348,422,552
107年	124,796,433,724	64,126,418,822	56,605,529,397	245,528,381,944
108年	113,184,250,447	56,859,933,199	52,519,116,097	222,563,299,743
109年	110,107,913,183	62,880,334,056	60,341,253,644	233,329,500,883
110年	131,763,497,719	61,897,112,751	63,360,287,070	257,020,897,540
111年	122,100,492,436	61,647,675,805	58,748,952,750	242,497,120,991
112年	126,094,064,506	61,434,982,433	58,374,221,347	245,903,268,285
TTL	1,263,877,798,961	668,206,640,632	669,962,559,314	2,602,046,998,907
頻譜量	2,150	1,910	2,150	6,210
頻譜經濟效益	587,850,139	349,846,409	311,610,493	419,009,179

資料來源：本計畫製作

總合而言，中華電信擁有最佳的頻譜投入效益，而頻譜持有量雖三家業者並無太大差異，然而遠傳及台灣大哥大因投入較低的資本且創造更少的附加價值，兩者得到的效益差異無幾，皆遠低於中華。

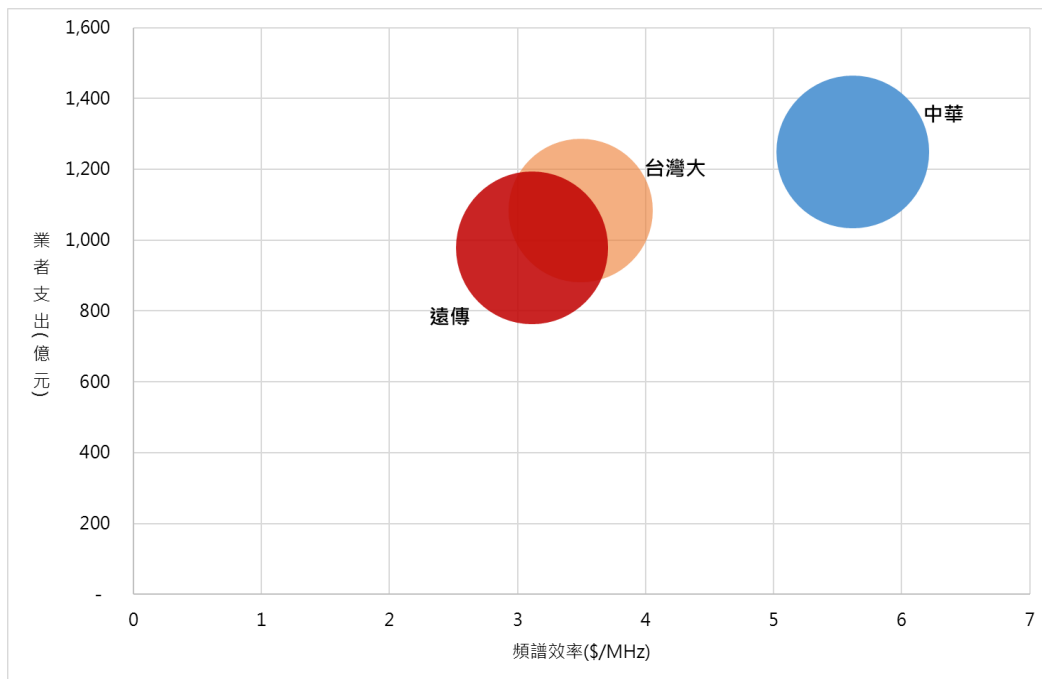


圖 6-4 103 至 112 年間各電信業者的頻率效益

資料來源：本計畫依據業者財報模擬

(三) 衍生效益

在無線電頻率帶來的效益中，除了以上述量化方式找出其直接與波及的經濟效益之外，尚有許多無形且不易量化的經濟效益，同樣可以對我國整體社會帶來正面的影響。因此，於本計畫中彙整不同產業或應用面向之相關質性資料說明其價值。頻譜作為一種經濟資源被投入，除驅使電信業者直接投入電信基礎建設所引起的產業聯動效益及創造家計消費之外；由於電信市場價值鏈下游為終端消費者及企業專用等服務應用，因此頻譜釋出後為電信業者提高服務量能亦可創造更多的服務應用機會。

於頻率需求模型中，本計畫模擬了三種新興服務應用情境，視為電信市場的重要突破：消費性電子邊緣運算應用、車聯網及智慧製造。

1. 消費性電子邊緣運算應用

普遍認為，AI 有助於推動個人工作效率；根據資誠聯合會計師事務所《2024臺灣企業領袖調查報告》調查，導入生成式 AI 將提升員工效率至少5%以上。頻率需求模型中推計，AI 手機的滲透率將達到我國人口的71%，即約每10中有7人將持有內建 AI 功能的手機。根據主計總處²⁴⁰公佈，全年每人每月總薪資平均為58,545元；又根據勞動部²⁴¹公佈，112年全年平均每人每月總工時為168.3小時。以上開兩方資料交叉計算，換算每人平均時薪348元。本計畫推計，若 AI 可增進工作效率5%，即可於原工時之外創造多8.4小時的工作價值，乘以時薪即平均每人多創造2,928元價值。同主計處公佈，我國受僱員工其中工業3.4百萬人、服務業4.7百萬人；以112年服務業全年而言，每月可多創造總值1佰億元的加值空間。

2. 車聯網

隨著 AI 及通訊的技術進步，車聯網係新一代通訊技術的主要應用場域。而在運輸領域中，經濟學家多注重於如何利用經濟手段來消弭交通擁擠；交通擁擠是運輸領域中非常顯著的外部性成本，探討運輸系統內因擁擠而造成的無謂損失已

²⁴⁰ 2024 年薪資與生產力統計

²⁴¹ 勞動統計查詢網 <https://statfy.mol.gov.tw/index17.aspx>

是再日常不過的問題。根據美國聯邦高速公路局使用的智慧交通運輸系統手冊²⁴²中，早已推估智慧交通可有效減少至少9%的旅行時間。根據交通部112年發佈的《自用小客車使用狀況調查報告》，全台登記掛牌自小客車696萬輛；國人使用自小客車且無兼用其他載具如機車、公共交通者佔16.3%，其中43%作為通勤用；每次行駛時間約1.3小時；每車次載1.7人。若節省9%旅行時間則為0.1小時，上一小節所述的平均受僱人員時薪348元，換算時間價值節省34.8元；排除有使用其他通勤方式可能的受眾，每工作日惠及487,826人，推估每日可節省16,976,358元，約1仟7佰萬元的時間價值，且仍未計及對空污等成本的節約影響。

3. 智慧製造

近年來，產業間對第四次工業革命(The Fourth Industrial Revolution, 4IR)多有探討；麥肯錫報告²⁴³中指出，4IR 是對工業製造的數位化升級，受惠於資料分析、串聯與人機協作而提升效率，亦有助於能源效率及環境永續²⁴⁴。根據經濟部公開資料²⁴⁵，112年我國製造業貢獻整體 GDP 的35%，係我國經濟命脈，加速通信市場供給於製造部門絕對有利於我國總體經濟提升。國內已有製造業者辦理 AIoT 的工廠轉型計畫²⁴⁶：「於2018至2020年三年內，將生產成本降低15%，整體製造生產效率提升30%以上並且透過 AIoT 數位化與資料科學技術，開發出智能水電網系統 Smart Grid，讓台中廠於2018至2020三年間成功減少23%用水量、20%碳排放量及6.4%電力消耗」。

²⁴² Smith S.(1998), Integrating intelligent transportation system within the transportation planning

²⁴³ 麥肯錫 (2022), What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR?

²⁴⁴ 麥肯錫 (2021), Lighthouses unlock sustainability through 4IR technologies

²⁴⁵ 經濟統計數據分析統計

²⁴⁶ 工商時報 (2021), 友達獲選「全球燈塔工廠」 展現 4IR 轉型加速

第三節 頻譜經濟效益模型驗證方法說明

就直接效益而言，預計透過過往實際頻譜釋照時的歷史數據與以當時點資料輸入的模型預測結果進行比對作為參考。由於本計畫使用的底層資料係透過分析業者的財務報表經過運算而得，然而亦瞭解到主計總處公開有電信業的工商普查資料生產者價格交易分析表中；因此本計畫透過解析生產者價格交易表來與蒐集而得的資料得比對。而且，由於主計總處的工商普查資料以五年一期為基準，則本計畫以最新的基準年 105 年中從兩套資料中選取兩項參數，分別代表第一波及效益及第二波及效益。

一. 第一波及效益

如前所述，本計畫定義第一波及效益的計算參數是由業者的資本支出而得，因此本計畫從業者財報蒐有 105 年的資本支出值(含折舊)將與 105 年的生產者價格交易表中「固定資本消耗」一項進行比對。比對結果為：本計畫蒐集參數 982 億元，「固定資本消耗」817 億元，兩者誤差 17%。本計畫認為這是因為採計資本及認列消耗的不同處而得；且受限於會計制度，電信業者財務報表的編列有一定自主性，因此要精準分析其資本支出一項仍有一定的困難度。

二. 第二波及效益

如前所述，本計畫定義第二波及效益的計算參數是由業者的營業收入而得，因此本計畫從業者財報蒐有 105 年的營業收入將與 105 年的生產者價格交易表中「中間需求+民間消費」一項進行比對。比對結果為：本計畫蒐集參數 4,450 億元，「中間需求+民間消費」4,386 億元，兩者誤差 1%。本計畫認為這是因為營業收入的認列較直白明確，因此差異不甚巨大。

三. 研究限制

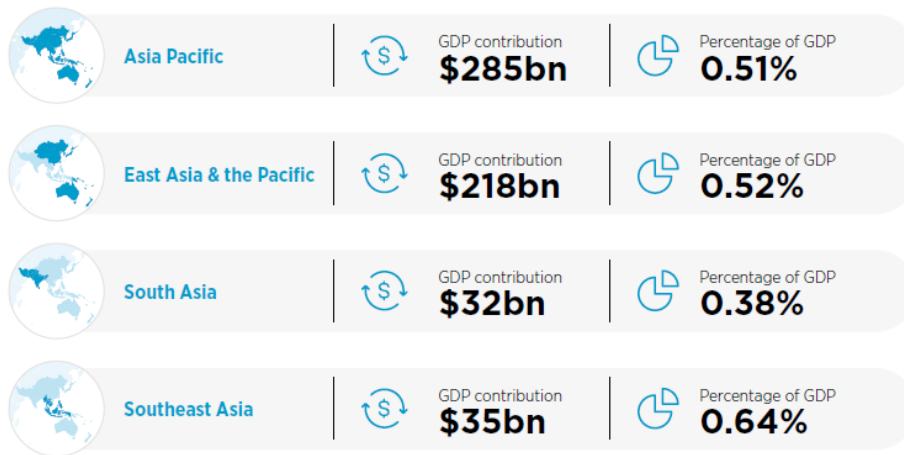
本計畫設計的經濟效益模型以三家電信業者的財務報表作為輸入資料，受限於資料取得研究期間可取得之業者公開財報資料，故惟較難脫離此框架進行額外探討，例如過往曾投入此市場的亞太、台灣之星等小型業者所帶來的經濟效益、MVNO 業者所產生之經濟效益等，在這個情況上對研究存在一定限制。惟我國三家

主要電信業者與小型業者及 MVNO 業者在建設投入及消費市占率方面差距極大，故僅計算三家業者之經濟效益已具足夠的代表性。本計畫建議未來機關可持續追蹤市場業者發展狀況，更新相關電信業者收入或資本投資財務數據，以因應市場變動完善主管機關對於頻譜投資經濟效益的掌握。

四. 國際研究比較

根據 GSMA《The Socio-Economic Benefits of Mid-Band 5G Services》報告，推估 2030 年各區域內的頻率所貢獻的 GDP。在我國所處的亞太區域(East Asia and Pacific)中，頻率所貢獻的 GDP 於 2030 年推計為 2,180 億美元(見下圖)。

Figure 17: Asia Pacific: GDP contribution generated by mid-band 5G, 2030



Source: GSMA Intelligence

圖 6 -5 GSMA 推計 2030 年中頻段 5G 的 GDP 貢獻
資料來源：GSMA

由於報告中認為，以上亞太區的經濟貢獻僅計以下三個國家中國大陸、日本及南韓，而各別貢獻比率為 78%、11%及 4%(見下圖)。

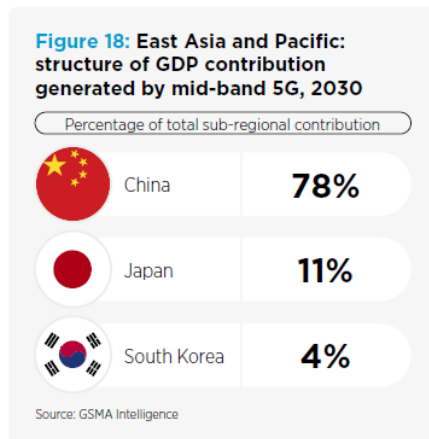


圖 6 -6 GSMA 推計亞太區 2030 年中頻段 5G 的 GDP 貢獻_各國比例
資料來源：GSMA

因此取其中與我國社經環境較接近的南韓貢獻 4%，即 2,180 億美元中的 4% 為南韓 2030 年的頻率所貢獻的經濟效益，得 87.2 億美元。換算 87.2 億美元以匯率 32.75²⁴⁷ 計，得 0.29 兆元新台幣經濟效益。根據本計畫的方法推計，我國過去十年頻率所貢獻的 GDP 為 2.6 兆元新台幣，平均 0.26 兆元/年。

²⁴⁷ 2024/12/09 台灣銀行公告牌價

第七章 促進頻率使用效率與經濟效益

本計畫以質化調研與量化模型兩者進行對我國頻率需求使用效率的探討，設計並建構了兩個量化模型。頻率需求牽涉了電信市場未來的消費發展，亦間接與民生消費及產業發展的未來趨勢相關；而頻率的經濟效益則隨頻率需求更變動，需求多寡與需求的質量掛勾，量化的經濟效益是資源調控和瞭解政策效果的重要指標。本計畫認為頻率需求、經濟效益及釋照機制是一互相聯動的齒輪結構，應綜合研究並持續進行滾動探討以利應釋照政策的擬定。

第一節 促進頻率經濟效益

本計畫建構頻率經濟效益模型以供過去和未來進行頻率經濟效益的估計。在第六章裡，本計畫說明了頻率經濟效益的來源及其計算邏輯，亦設計了頻率生產力的概念來衡量各別業者的持有頻率效益為何。延續頻率使用效率的探討，本節主要透過各業者在頻率需求的意向及頻率計算量導入至模型內進行經濟效益的計算，以供未來資源使用的方向建議。

一. 頻率需求與經濟效益的關係

上節本計畫說明了電信市場消費需要之於頻率需求的重要性，及其趨勢如何影響我國業者頻率需求，從總體來對頻率資源的調控方向進行建議。而在此節，本計畫進一步聚焦頻率資源市場內的個別業者，針對其頻率需求、經營策略(其頻率需求此向)及經濟效益進行探討，以供主管機關在資源分配上的方向建議。如前所述，因 5G 需求的不明朗程度(市場無誘因進行消費升級)，業者因此不對投入資本的回報率抱樂觀態度，然而在沒有新的技術供給下，又不易讓更多新的事業機會出現，久而久之造成所謂的死循環。為解析這一頻率需求、業者經營策略和經濟效益的三角關係，本計畫分析歷年由 103 年至 112 年的來各家電信業者的財報。從圖，從 103 年至 109 年的營業收入雖無大幅度波動，但整體收入持續微幅下滑，而在 110 年 5G 開台後電信業者營收稍有起色。

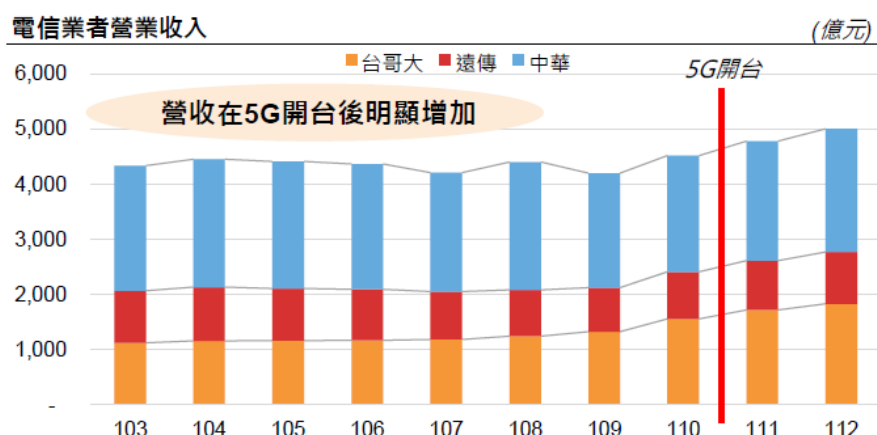


圖 7-1 電信業者 103 年至 112 年營業收入

資料來源：本計畫整理

若進一步拆分各電信業者的營業收入項目，從下三圖可見，中華、台灣大哥大及遠傳的行動通信收入皆穩步下跌，僅有銷貨收入一項有成長。換言之，電信業者的本質業務隨著 4G 技術的產品生命週期推移，其營收亦隨步向下，而僅在 5G 開台的第一年後，營收才漸有起色，然而成長幅度卻不強勁。

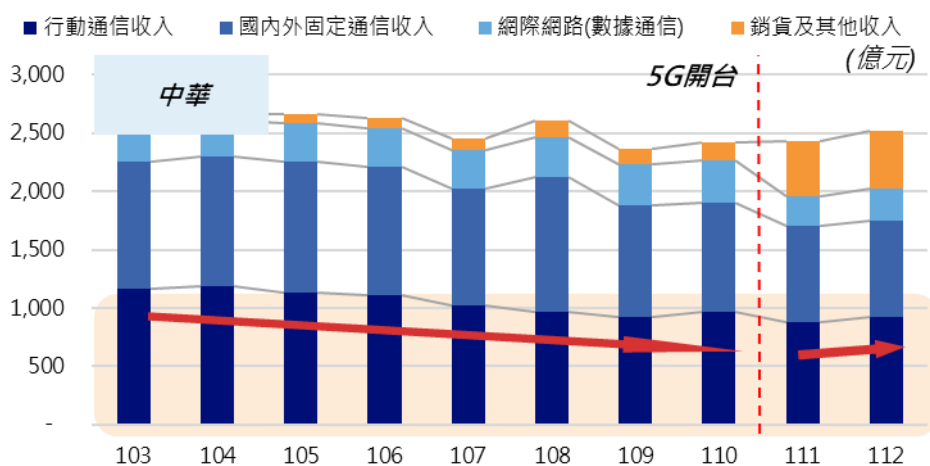


圖 7-2 中華電信 103 年至 112 年營業收入

資料來源：本計畫整理

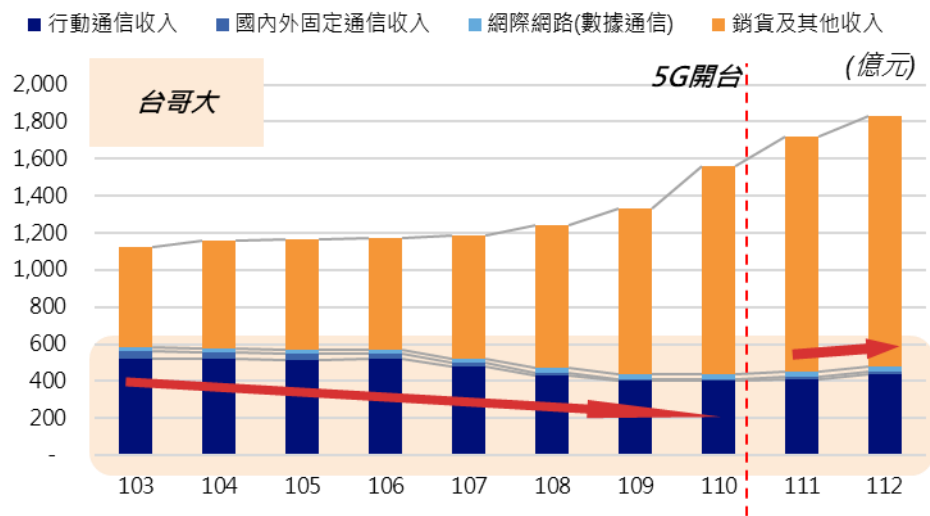


圖 7-3 台哥大 103 年至 112 年營業收入

資料來源：本計畫整理

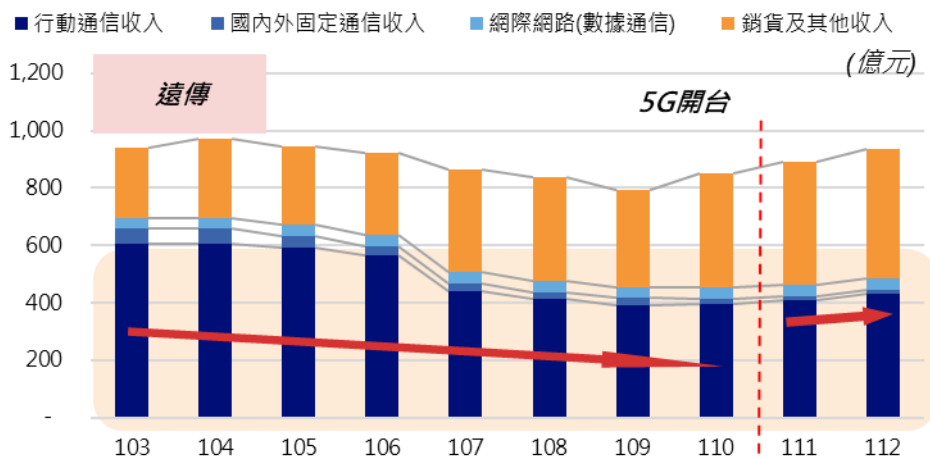


圖 7-4 遠傳 103 年至 112 年營業收入

資料來源：本計畫整理

在市場沒有全然擁抱新 5G 技術的情況下，電信業者對推動行動通信設備的更新升級意願亦欠缺。從下圖來看，三家電信業者不僅是營收下滑，連帶其對電信設備資本的投資亦持續下跌，僅僅在 5G 釋照前後的一年的支出成長率為正。

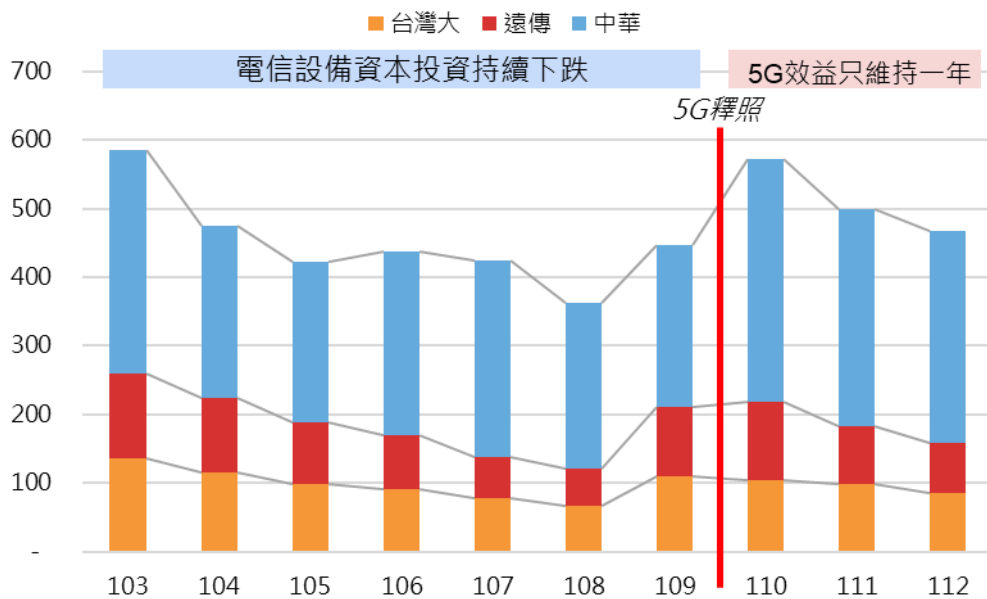


圖 7-5 電信業者 103 年至 112 年營業收入

資料來源：本計畫整理

而這樣的原因我們可以透過進一步拆解每使用者平均營業貢獻 (Average Revenue Pre User, ARPU) 來獲得更直接的概念。從下圖可以看到，在 2018 年至 2024 年間，用戶量總數並無太多的變化；而在 2018 至 2020 年時，這時 5G 仍未見有大規模的用戶量，市場仍然係 4G 佔大多數，同時 ARPU 也持續下跌。在 2021 年 5G 開始漸漸提升其市佔率時，ARPU 才應聲上漲，這也呼應了在前文所觀察到的電信業者營業收入因 4G 生命週期開始衰退使業者 ARPU 與營收倒退，然而在 5G 開台後，營收才稍有起色。

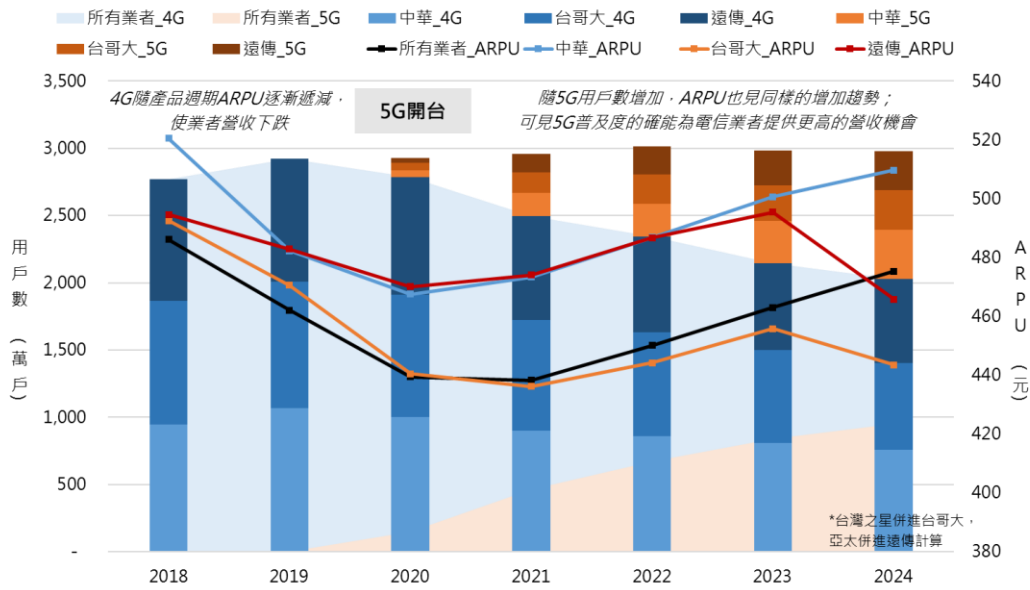


圖 7-6 電信業者 107 年至 113 年(第二季)ARPU

資料來源：NCC，本計畫整理

在第六章時，本計畫定義了頻率生產力是來自於業者行動通信營業收入及其行動通信設備的資本及營運支出。而在前文透過分析業者財務表現可以看到其 103 年至 112 年的行動通信營業收入及行動通信資本支出皆下挫。從下圖可以看到，在這期間的頻率生經濟效益是也是呈相同的趨勢，在 103 年至 108 年間持續下滑，僅在 109 年 5G 釋照期間見有些微上漲，但仍然不見其達到預期的效果。

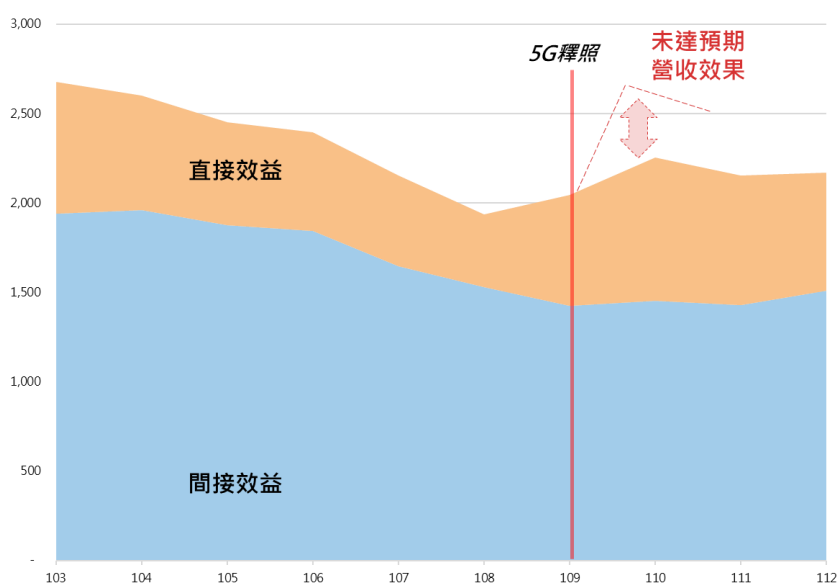


圖 7-7 電信業者 103 年至 112 年經濟效益

資料來源：NCC，本計畫整理

綜合前文，本計畫說明了從消費需求之於頻率需求、消費需求之於業者財務表現、業者財務表現之於業者經營策略、業者財務表現之於頻率經濟效益、頻率需求之於業者經營策略，這樣的相互交聯關係。

二. 未來頻率經濟效益

頻率需求與其經濟效益互相扣合，同時本計畫在本章開頭同樣定義，這樣的關係也緊扣釋照政策與機制。這一小節裡，本計畫透過上一節分析的業者財務表現，模擬業者頻率需求的意願，並將模擬資料導入頻率經濟效益模型，來說明在 119 年釋照時所將面對的議題。

本計畫在上一節說明各電信業者對頻率需求量化值的反應與其所看見的未來市場及經濟策略方向及本計畫分析各業者營業收入結構而得經營策略可知模擬整體電信市場及各業者經營策略，可得其累計至 2030 年的頻率經濟效益如下圖：

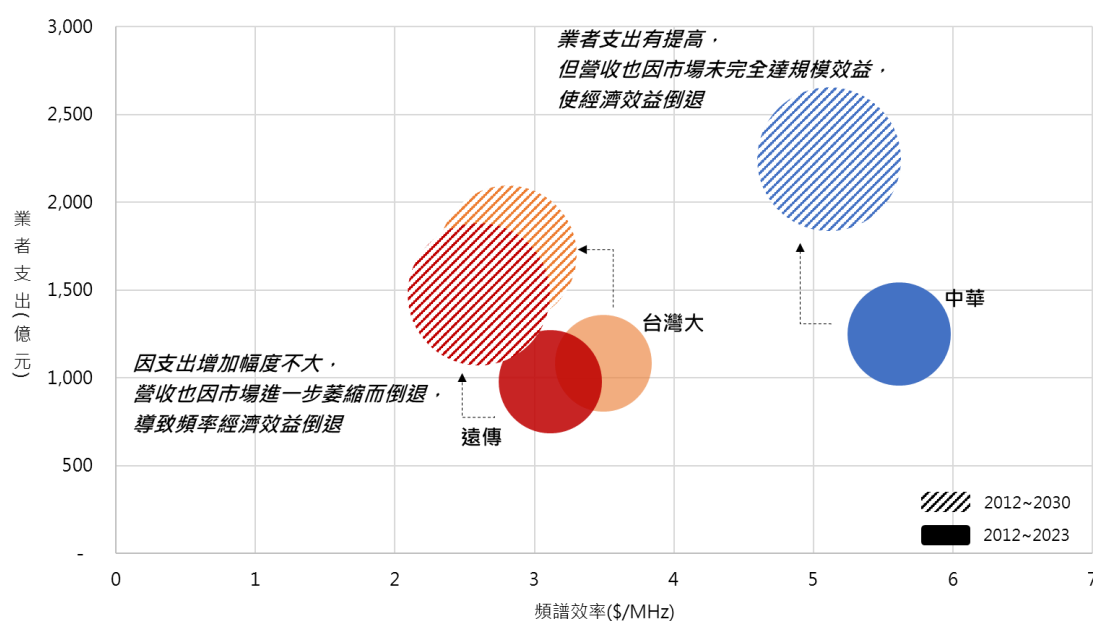


圖 7-8 電信業者 103 年至 119 年(模擬)經濟效益
資料來源：NCC，本計畫依據業者財報模擬整理

上圖中的實心圓是使用歷史資料來計算頻率效益，而斜線圓是本計畫累加模擬 2012 至 2030 年間，額外 5 年間的財務狀況模擬，目的是模擬至 2030 年計畫目標年時，透過頻率需求推估及業者經營策略下的頻率經濟效益。可以清楚見到每一家業者直到 2030 年累計的頻率經濟效益都會倒退，這是因為在特定需求的情況下，業者對資本支出的意願不高，結果是電信消費需求亦未能升級。

第二節 促進頻率使用效率

本節將根據本計畫為我國電信環境所設置的模擬情境，與透過座談會和業者的交流探討，綜合分析質、量化的研究結果，探討促進我國應用發展、技術進步及頻率效率使用的策略方向。

一. 頻率需求與業者意向

結合第三章業者需求意向訪談及第五章頻率需求模擬結果，業者對於頻率需求的情境為，有兩家電信業者偏向情境 1，對於需求成長保守，也認為自然的用戶轉換可提高部分頻譜效率，故

既有頻譜量已足以支應 2030 年需求。

表7-1 業者對於頻率需求情境的預期與觀點

情境代號	0	1	2	3	4
目標年	2024	2030	2030	2030	2030
需求情形	現況 (AI手機 0%, 車聯網 0%, 物聯網 13.4%)	維持現況	自然成長 (AI手機 30%, 車聯網 1.5%, 物聯網 15%)	自然成長	自然成長
人口密集度	都會密集區 (即全台頻譜需求)				
基地台涵蓋度					
用戶成長情形 (現況=4G 65%/5G 35%, 自然成長=4G 35%/5G 65%)	現況	自然成長	維持現況	自然成長	全5G
網路流量需求 (5G流量下限100Mbps, 上限1Gbps)	低度	低度	低度	低度	低度
頻譜效率技術	4G Macro 4, Micro 5; 5G Macro 12, Micro 15; 衛星 3				
頻率需求 MHz	690	540	1,910	1,440	850
業者意願	/	台灣大哥大、 遠傳	/	中華電信、 諾基亞、愛立信	/
結論	頻譜效率提高，但需求無顯著成長， 總頻譜需求下降，無助於拓展新業務		需求自然成長，必須透過加強5G建設， 以提高頻譜使用效率，減少頻譜使用成本		

資料來源：本計畫整理

而一家電信業者與兩家設備商對於未來需求的預估則偏向情境 3，認為儘管過往用戶數已無有明顯成長，訊務量成長卻是事實，未來在終端 AI 化驅動下，維持自然成長趨勢較為合理。在用戶業務佔比方面，一家電信業者及兩家設備商也同時認為在 2030 年 4G 仍會是確保通訊覆蓋的技術，故以情境 3 最符合三者對未來需求的預估。

由於業者對整體頻率需求模擬的看法不盡相同，因此各業者分別對未來頻率需要的量值亦不同。假設在均分結構的市場情形下，一家電信業者對整體市場的頻率需求看法為 1,440MHz，而其單獨可持有頻率將為 480MHz；另兩家電信業者看法則類似，認為整體頻率需求萎縮至 560MHz，而其各自單獨可持有的頻率將為 180MHz，在頻譜資源上形成一大兩小的競爭態勢，看似有利於差異化競爭，但也可能進一步衍生市場再整併議題。

二. 提升頻率使用效率議題

本計畫將需求情境進一步分類以利進行頻率效率使用的進一步探討。分割情境 1 及 2，討論了從市場漸漸增進了供給效率後，

在需求卻沒有增加的情況下，頻率需求量會開始萎縮，倘若頻率的供給沒有減少，則會開始降低頻率使用效率，而在業者營收不成長的情況下也將無法支持業者投資，較容易走向「沒有雞就沒有蛋」的困境。

而情境 3、4 及 5 則反映了在需求自然增加的情況下，不同業者供給效率的差異，因供給效率主要與接取技術相關，因此可見在 5G 佔比 100%、5G 佔比 65%及 5G 佔比 35%的情況下，頻率需求的變動由少至多，也忠誠反映了 5G 頻譜效率較 4G 更高的情形，為本計畫認為發生可能性較高的情境。然而在這個情況下，除了探討如何確保市場趨需求成長，又額外衍生兩個探討議題，一是技術過渡成本與難題，二是對新釋頻段的規劃。

（一）確保市場需求成長

假設需求維持現況而頻譜效率又上升，則頻率需求下降；又因供給不變，則降低頻率使用效率。因此，這個議題的假設出發點是基於需求成長的實現，若市場成長，則不會發生頻率使用效率降低的情況。業者提高供給效率的同時，若沒有增加新的需求來匹配供給，亦無助於其營收，因此對業者而言提高了供給效率必然要尋求新的需求來獲得更好的收入。如前章所述，本計畫透過三個應用情境來探討推動新需求，而在此延伸探討其發生的關鍵要素，即業者應如何推動整體市場的需求。

1. 鼓勵業者轉向 5G SA，提高 AI 終端及場域型使用體驗

本計畫預測我國 AI 手機自然滲透率可達 30%，根據 3GPP 建議邊緣運算裝置支援速率需達 0.1~1Gbps，但在 5G NSA 的架構下，通訊速度僅約 0.1~0.5 Gbps，限制了消費者對於終端技術及應用升級的感受；因此本計畫認為，網路速度是其成功關鍵要素。由於 5G 資費已不再是吃到飽的供應模式，而本計畫向業者訪查時，業者亦表示訊務量需求帶動的 ARPU 提升將會是未來電信在消費市場主要的成長錨地。然而在市場仍維持以 5G NSA 服務時，速度無法提升，影響了 AI 終端使用及流量。

綜上，本計畫認為未來的通信流量仍有機會成長，但取決於

業者可供給的通訊速度。若可鼓勵業者透過在流量密度高的場域如巨蛋體育館、車站、商圈等加速建設微型基地台，加速推動建設轉換至 5G SA，當速度可有效提升至 1Gbps 以上，則流量成長仍然可期，同時也將有助於整體頻率使用效率的提升。

2. 促進電信市場競爭，以刺激物聯網市場發展

本計畫透過標竿研究預測我國物聯網門號數滲透率達 45%。物聯網的應用方案無窮，然而必須有足夠的成本效益比來促進其使用率。本計畫調研國際市場發現影響物聯網創新解決方案的三個趨勢：一是電信消費市場的垂直整合趨勢，二是終端裝置的成熟度、三為刺激電信市場競爭。

在電信消費市場的垂直整合方面，國際上的調查及國內業者皆漸漸從提供接取技術的角色進一步擴張至提供終端服務者，可見我國電信市場漸漸從水平整合移動至垂直整合結構。而又當新技術提供更多供給可能性時，供應鏈分工的細緻度卻沒有提高，或有礙於創新環境的形成。由於物聯網多為 2B 市場，而對企業客戶而言，通訊多為成本項，若可降低單價較有可能提高使用量，故如何在物聯網市場透過促進競爭降低通訊費用單價，則有機會加速擴大應用。

南韓的產業結構與我國相近，以先進科技製造業為主要經濟來源；同時本計畫在圖 5-9 中觀察到南韓的物聯網門號分佈情形：MVNO 的市佔率接近 3 成。這樣的市場劃分在 2020 年成形，而 MVNO 也沒有隨著 MNO 的先天優勢而降低其市場份額，反而一起與其他非虛擬業者共同成長至今維持同等市佔率。上開討論到國際調研來看，以電信業垂直整合為趨勢；然而垂直整合未必是一件好事，它或許削弱了企業在不同市場區塊上的產品差異化能力，進而導致市場業務無法擴大至未開發用戶。本計畫查有跨國 MVNO 業者 1NCE(SoftBank 轉投資業務)在我國販售的 NB-IoT 產品，比對我國 MNO 電信業者公告的物聯網費率，顯示我國每 MB 流量的單價較其跨國業者高出 1.5 至 2 倍，難見有成本效益優勢。雖然我國設有實驗專頻專網頻段，然而並不強制如南

韓般要求 MNO 業者須開放予 MVNO 接取。簡言之，我國產業資本結構等與南韓必有異同之處，雖不可一言概之，然而電信市場產品差異化的重要性以過去 4G 時代的經驗而言確實已見不足。

3. 透過政策引導加速道路覆蓋，完善車聯網通訊基盤

本計畫透過我國汽車市場的各式資料，推測我國自駕車滲透率若在環境許可下的自然成長率為 1.6%。除了配合運具減碳促進汰換的相關政策配套外，從電信建設方面，透過蒐集我國業者在各樣區的基地台覆蓋情形，未見在除了都會密集區外的偏鄉、離島或山地部落有足夠的地理覆蓋率可以實現車行環境的無縫通信覆蓋。然而透過業者訪查時亦瞭解到我國車聯網的技術供給困難，基本上從市場自由發展的角度很難形成。

參考本計畫蒐有案例德國電信業者 Telekom 目標在全國高速公路沿線佈建 6,000 餘座基地台，以解決車行無縫覆蓋的通信環境難題，可見車聯網的關鍵要素在於地理覆蓋。而增加道路覆蓋的方式有兩種，一為透過普及基金鼓勵優先覆蓋偏鄉道路，補足道路覆蓋的空白；其次，覆蓋提高勢必與低頻段的頻段特性接近，故於 119 年再釋照時應強化道路覆蓋及通訊速度的義務，從政策面引導車聯網通訊環境建設。

(二) 透過低頻重耕及效率化，解決技術過渡時的頻譜資源限制

汰換 4G 至 5G 最大的優勢除了通訊體驗提升外，便是頻譜資源利用效率提高，根據本計畫頻率需求模型的推計，當提高 5G 市場佔比，則可用更少的頻譜資源提供相同或更多的服務需求。因此，最直接有效提高頻率使用效率的方法便是更新接取技術。然而，在市場營收誘因缺乏的情況下，業者更加不願意投入資本來提高供給效率。然而，本計畫在第二章曾介紹過 5G 網路切片技術對提供電信產品差異化的重要程度，若無法在供給與需求的死循環中找到突破口(如下圖)，則無法推動電信市場的消費升級與進步。近年來多有談論到電信市場的「先有雞先有蛋」問題，主要依然是源自於 5G SA 的需求錨地不明顯，電信市場沒有誘因投入成本進行建設，久而久之又造成了僵化的市

場結構。

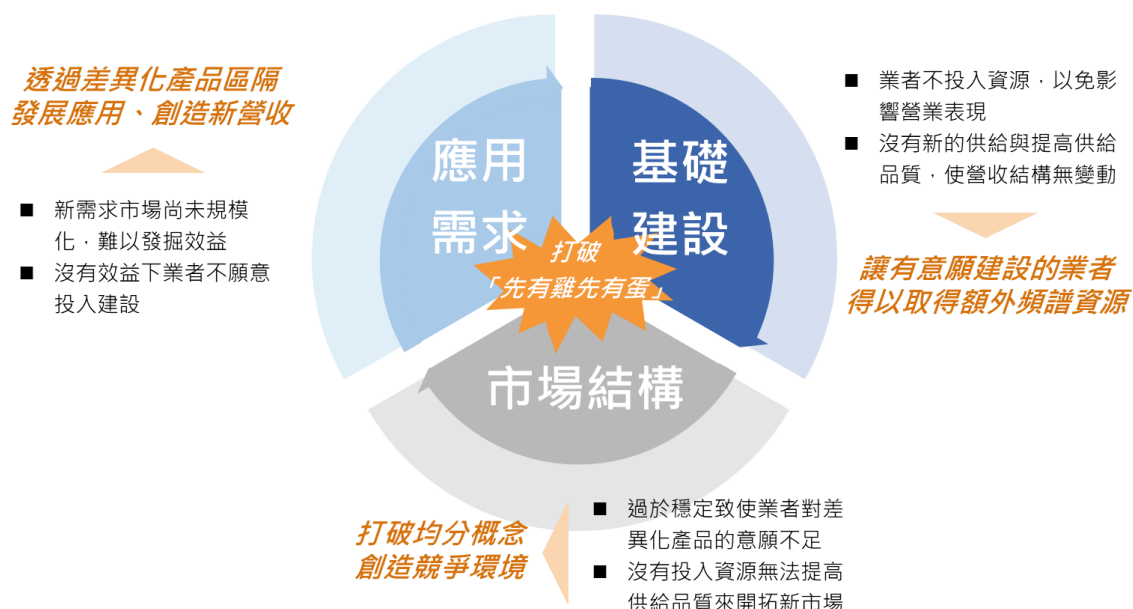


圖 7-9 電信事業誘因循環

資料來源：本計畫整理

在透過與業者訪查後瞭解到，由於業者已為 5G SA 轉移做有準備，其核心網路及軟硬體功能皆已可支援。然而，礙於市場消費未有升級意願，且亦有業者表示並無足夠的低頻空間以供技術全面過渡。

雖然 5G 主要使用的頻段為 3.5GHz，但仍需有足夠的低頻相互搭配方可促進 5G SA 從點狀再擴大，走向技術汰換，且在汰換的過程中也必須同時保持 4G 服務品質。目前各家業者再低頻的持有頻寬不同，對於頻寬較少的業者而言，即使已為低頻進行容量升級(2TR 升級至 4TR)，使用仍然飽和。亦即若無法為 5G SA 製造新的低頻空間，提高業者技術過渡的門檻。因此，本計畫建議對頻譜重耕進行研究，從協助技術過渡的角度適當引導業者可合理調配低中高頻空間，容納兩套技術的核心網路。

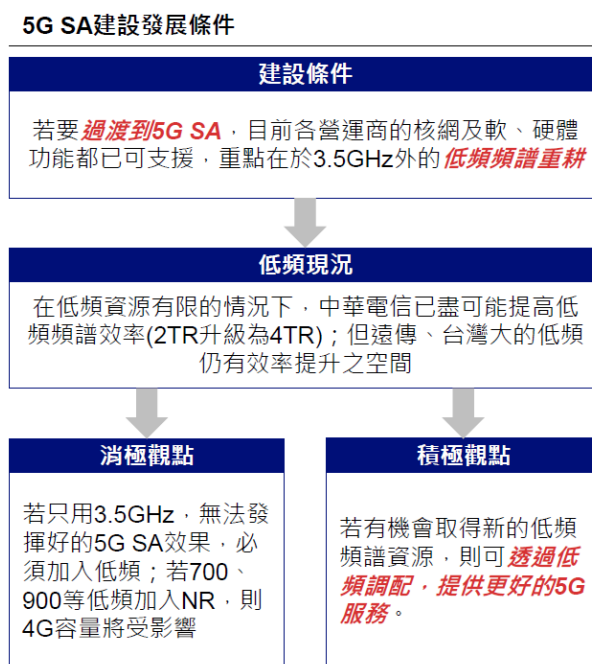


圖 7-10 5G SA 建設發展條件

資料來源：本計畫整理

由於技術過渡所需要的額外頻段終究會在過渡完成後減少其需要量，因此本計畫假設透過頻段共享解決技術過渡陣痛期所需的額外頻寬量。經本計畫盤點低頻頻段，目前 800MHz 供 PPDR 使用，由於其頻段位置優渥，覆蓋能力佳，且與近鄰其他頻段，因此其或可供過渡使用。目前 800MHz 段供 PPDR 使用的頻寬為 40MHz，根據本計畫研究所得的每頻率經濟效益來看，若不分業者共同建設此頻段，則能創造 40MHz*\$4 億元/MHz 的經濟效益，即為 160 億元的總經濟效益值。然此假設的可行性仍受限於主管機關(及內政部)對於 PPDR 頻段的防救災通訊建置需求而定。

(三) 持續關注 6G 頻段，逐步規劃 7GHz 以下頻譜重耕

根據頻率需求模擬結果與本計畫盤點的頻率供給現況，目前頻率供給 840MHz，在需求持續成長下僅全 5G 供給效率足敷使用，然而因就上一小節探討的種種因素，全 5G 供給效率的可能性未見明朗；而原 4G 轉 5G 的頻譜重耕議題也係本計畫提出的建議之一。本計畫設想 4G 至 5G SA 技術過渡期延長，而

又 6G 技術將於 WRC-27 發佈制訂標準時程，可見下圖，6G 規劃的頻段多與 5G 重疊，而容量頻段則較多使用 7 至 15GHz 段。之於 2030 年的低頻段再釋照勢必取得更前瞻性的共識才得以避免稀缺資源的不浪費。

而透過業者訪查亦瞭解到，在 2030 年不論電信商及基地台設備商皆認為 4G 仍是普及覆蓋的重要技術，而我國在技術中立的情況下，119 年除了處理屆期頻段，亦可觀察 WRC-27 對於 6G 頻段的決議，評估相關頻段是否有機會作為業者走向技術過渡可調配之頻譜資源。

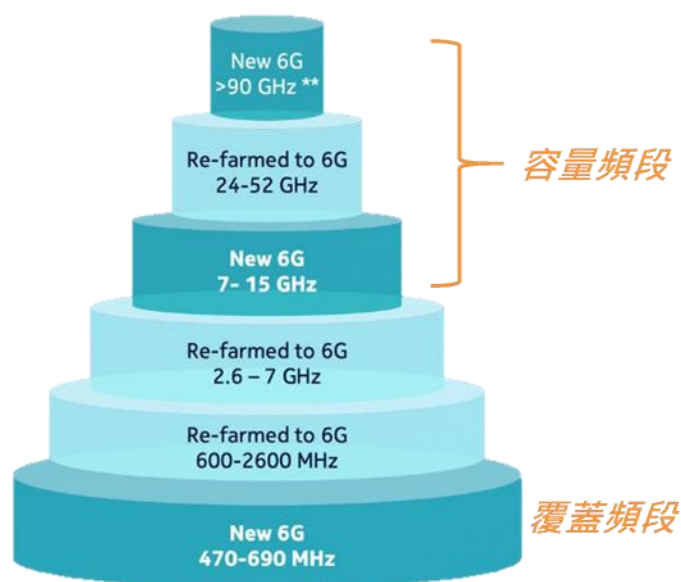


圖 7 -11 6G 頻段規劃

資料來源：Nokia、本計畫整理

第八章 結論與建議

第一節 研究結論

一. 各主要國家及地區電信市場發展情形及頻譜釋出規劃

本計畫分析國際及英國、法國、德國、美國、澳洲、日本、南韓、新加坡、中國大陸、香港等10個國家(區域)的電信市場發展概況及趨勢、頻率用途、頻率釋出考量與定價方式、彈性使用開放情形與規範。分析初步結論如下：

(一) 我國電信應用服務市場需以更多元的政策手段刺激發展

5G 為歷史以來成長速度最快之通訊技術，新興應用與服務為5G 商用化佈署之關鍵因子。以目前全球平均用戶月傳輸量而言20GB，AR、VR、AI 邊緣運算、車聯網、超低延遲物聯網等進階應用尚未普及。我國目前三大業者之040物聯網門號數截至2024年8月約為351萬，每100人物聯網門號數約為13.4，相較韓國(37.9)、丹麥(32.7)、瑞士(29)、美國(24)²⁴⁸等物聯網發展優異之國家，尚有發展空間。

(二) 利用頻譜釋出配合推動行動通訊技術更新

各國5G 頻譜涵蓋低、中及毫米波(mmWave)頻段，其中600、700MHz、3.4-3.8、24-28GHz 為各國熱門使用之頻段，顯示5G 必須同時使用低頻段進行覆蓋建設，並利用高頻段擴充容量，方可充分發揮5G 之傳輸效果。為刺激可發揮5G 技術的通訊應用。這方面新加坡及英國因監理角度的不同，加上國土面積差異，有兩種截然不同的作法。新加坡在政府頻譜釋出時已附帶5G SA 建設義務，要求業者在2025年前完成佈建；英國以5GTT 與5G 創新地區計畫推動基礎設施建設與應用服務發展並進，鼓勵業者走向5G SA。而119年行動通信頻譜屆期再釋出時則是

²⁴⁸ 2016 年之資料，更凸顯我國物聯網發展之進步空間。IoT.Business.News(2016). The countries with the most IoT devices, ranked

重新規劃頻譜分配與核配彈性使用，與利用低頻頻段促進5G地理覆蓋之另一個關鍵政策推動時點。

(三) 終端設備 AI 化、車聯網、物聯網為刺激通訊需求關鍵應用

網路切片技術為電信營運商眼中最重要的5G 技術子項，透過虛擬切片可發揮各種通訊需求的最佳化網路流量管理。依本計畫分析，個人終端裝置隨 AI 發展所衍生的邊緣運算需求將提高對5GeMBB 特性下的需求；URLLC 則對應我國以半導體為核心的製造產業在全球供應鏈競合下，持續擴大智慧製造相關物聯網應用導入；mMTC 則可能來自於車輛電動化趨勢促進自駕功能的加速發展，2030年前至少15家主要汽車品牌皆會達成Level 4的自駕技術，故預期車聯網所衍生的通訊需求規模也將快速增加。

(四) 低軌衛星通訊於我國仍以災防韌性、山地及海上通訊等地面通訊無法服務之特定情境較具優勢

我國屬地狹人稠、基地台覆蓋率高之海島國家，低軌衛星通訊優勢主要將以地面通訊中斷或難以覆蓋之情境為主。瞄準之關鍵應用應為災難備援及山地、海上之通訊需求，未來伴隨應用成熟度提高，可能走向海上、農林物聯網、跨國醫療及金融等應用領域發展。而目前用戶端與低軌衛星連線之通訊架構有三種，分別為透過基地台、衛星終端、手機直連之方式。前兩者可取得較佳的連線速度，手機直連則受限傳輸距離及天線大小，連線速度僅有2Mbps，以支應緊急需求為主，不易成為普及服務，服務模式上參考 Starlink 作法，為加速市場普及擴大，選擇與各國在地電信商合作，使用行動通信頻譜資源。

二. 國內業者頻率需求意向保守，但仍有部分業者人認為有新需求

我國行動寬頻業務為三大行動通信營運商寡佔，企業專網及衛星業務亦為其服務範疇，幾乎掌握我國傳統行動市場及新興通訊市場絕大部分的基礎建設。經本計畫初步調查，雖我國三間行動網路電信營運商雖皆有5G網路切片技術，然目前5G網路切片服務與其應用案例仍屬少數且於實驗階段，對於5G SA 的佈建仍尚未有明確的目標時間表，故部分業者表示無需求，亦有業者表示短期有新增需求，以輔助5G技術過渡的低頻為主。

三. 符合我國環境之頻譜需求及經濟效益模型建構

基於社會對服務需求的轉變、未來基礎設施佈建的需求及頻譜資源有效利用，本期計畫將透過無線電頻率需求模型，預評估2030年頻譜需求。對於服務需求的轉變，將探討傳統與新興服務使用的服務水準要求，以促進無線技術及服務創新；對於基礎建設佈建需求，將評估如何以再釋照的模式促進業者達到更好的地理覆蓋；對於頻譜資源的有效利用，將探討各類頻譜特性與應用服務特性的分配，以評估區域內許可及頻譜共享政策。

為達上述目的，本計畫將開發我國頻譜需求及經濟效益評估模型，分別分成兩階段計算。於第一階段頻譜需求計算基於ITU發布的M.2290報告《地面IMT²⁴⁹未來頻譜需求估計》(Future Spectrum Requirements Estimate for Terrestrial IMT)，並加入衛星通信頻譜需求計算。模型計算中主要受我國市場概況與網路設置影響，如用戶規模、用戶使用習慣、基地台涵蓋範圍、技術規格等。於第二階段頻譜經濟效益推估中，則以ITU-R SM.2523及Vadim Nozdrin(2021)提出之頻譜經濟效益估算方法為基礎，透過投入產出法分析無線電頻率釋出可帶來的整體經濟效益，同時也受到政策因素與經濟環境的影響，如頻譜使用年限、頻率使用者負擔義務、產業關聯、經濟成長等。

四. 頻譜需求模型架構及參數說明

本計畫將以119年頻譜需求為目標年，以ITU M.2290的四個模組進行計算，分別為：「蒐集市場資料」、「計算流量需求」、「評估系統容量」及「計算頻譜需求」，四個模組將被進一步細分為六個步驟。步驟一：定義服務分類；步驟二：定義環境分類；步驟三：計算區域服務通信量；步驟四：分配通信量至可支援的技術與基地台；步驟五：計算電信密度的通信量；步驟六：取各電信密度其大值者為每RATG所需的頻譜。其中我國各項服務流量比重基礎參考NCC《112年通訊市場原始調查數據》設置，基地台涵蓋情形則以三大業者提供之人口密集區(新北市永和區)、偏鄉(苗栗縣南庄鄉、新北市雙溪區、花蓮縣鳳林鎮、苗栗縣三灣鄉、南投縣魚池鄉)、山地部落(臺東縣金峰鄉、屏東縣霧臺鄉、新北

²⁴⁹ 國際行動通信(International Mobile Telecommunications, IMT)

市烏來區)、離島(澎湖縣望安鄉、連江縣東引鄉、金門縣金沙鎮、連江縣南竿鄉、金門縣烈嶼鄉)資料為主。

為發掘至119年前的5G新興網路服務應用市場潛力，本計畫設計三項應用案例並蒐集相關參數導入模型計算，以取得未來頻譜需求。本計畫根據前章所述的網路切片技術，將新興服務應用分為三種，設計其分別對應 eMBB 的邊緣運算終端設備、對應 mMTC 的智慧工廠製造案例及對應 URLLC 的車聯網，並針對我國上述三項情境之市場發展進行預估，作為需求計算依據。

五. 頻譜需求模型計算結果說明

依模型計算，我國今年度頻譜需求量在不合衛星的情況下，為690 MHz，扣除毫米波頻譜後的供給量840 MHz，仍可穩定支應需求。而依照分區估算，偏鄉或山地部落、離島目前的需求量尚難支持分區獨立釋照。衛星頻譜需求方面則因未達10 MHz，除非基於災防、備援韌性等特殊用途，方有額外考慮衛星在行動通信的頻譜需求的必要。

假設119年應用需求無明顯成長，而在用戶業務佔比按過去趨勢自然轉換下，因頻譜使用效率提高，故頻譜需求不增反減，僅需540MHz即可滿足市場服務需求。若應用需求在終端設備 AI 化、車聯網及智慧製造物聯網等均有合理成長，此時隨用戶業務佔比轉換情形不同，分別有1910MHz、1440MHz、850MHz 三種需求情境。而實際諮詢業者看法，有兩家電信營運商認為540Mhz 接近其對市場發展的認知；而有一家電信營運商及兩家設備商認為1440MHz 較符合市場發展趨勢。

六. 頻譜經濟效益模型架構及參數說明

無線電頻譜的釋出與使用將可擴大既有電信服務並擴展新興電信服務業務範圍，藉由提高生產率、推動通信生態圈、增加出口、提升營運效率和增加就業機會等，進而產生經濟效益。本計畫評估無線電頻率使用所產生之經濟效益，包括以下四個項目：直接效益、第一波波及效益、第二波波及效益，以及衍生效益。

電信業者資本投入(直接效益)的直接效益及其第一波及效益為對建設關聯產業的價值貢獻，第二次波及為員工民生消費產值，以

行政院主計總處投入係數表及產業關聯表，推估對外波及之產業關聯效果總額。在無線電頻率帶來的效益中，除了以上述量化方式找出其直接與波及的經濟效益之外，尚有許多無形且不易量化的經濟效益，則被歸入衍生效益，如技術競爭力、生活品質提高及社會公平等，則需以質性方式說明，以強化對整體頻譜經濟效益分析之完整性。

七. 頻譜經濟效益模型計算結果說明

103至112年間，電信業者投入行動通信固定資本支出約3仟億元，若加計營運支出為3.3仟億元。而依產業關聯表，電信業每1元投入即各產業產值創造1.88元，故103至112年間電信的第一波及總效益為6仟億元。第二波及效益係屬對電信業消費，本計畫使用歷年各家電信業者資料以計算其營收即屬於歷年來國民對電信業消費，得此一部份的經濟效益約1.9兆元。

總合直接效益+第一波及效益+第二波及效益，即頻譜資源投入予電信業者後，貢獻了總價值約2.6兆元的經濟效益。其中，中華電信貢獻效益共約1.26兆元、台灣大哥大貢獻效益共約6仟7佰億元，同遠傳貢獻效益共約6仟7佰億元。十年間平均每單位頻譜(MHz)所造就的經濟效益為4.19億元，其中，中華電信每 MHz 貢獻效益5.87億元、台灣大哥大每 MHz 貢獻效益3.49億元及遠傳每 MHz 貢獻效益3.11億元。

第二節 建議事項

本計畫建議事項可包含短期及中長期兩大類，短期作為指現階段即可開始評估規劃；中長期則為 3 年後，視屆時市場發展情形及 WRC-27 頻譜討論狀況再作評估檢討。

一. 短期建議事項

(一) 鼓勵業者轉向 5G SA，提高 AI 終端及場域型使用體驗

鼓勵業者透過在流量密度高的場域如巨蛋體育館、車站、商圈等加速建設微型基地台，加速推動建設轉換至 5G SA，當速度可有效提升至 1Gbps 以上，則流量成長仍然可期，同時也將有助於整體頻率使用效率的提升。

(二) 促進電信市場競爭，以刺激物聯網市場發展

促進電信業者從朝國際化市場發展的視角，走向垂直整合，扮演 SI 角色提供終端服務。另外，透過在物聯網市場透過促進競爭，降低通訊費用單價，則有機在國內加速擴大應用。

(三) 透過政策引導加速道路覆蓋，完善車聯網通訊基盤

除了配合運具減碳促進汰換的相關政策配套外，通訊地理覆蓋亦為車聯網發展的關鍵要素。可透過普及基金鼓勵優先覆蓋偏鄉道路，補足道路覆蓋的空白，或於 119 年再釋照時應強化道路覆蓋及通訊速度的義務，從政策面引導車聯網通訊環境建設。

(四) 透過低頻重耕及效率化，解決技術過渡時的頻譜資源限制

為使業者在營運 4G 網路的同時，可加速啟動 5G SA 網路，除現有 3.5GHz 外，但仍需有足夠的低頻相互搭配方可促進 5G SA 從點狀再擴大，故建議對頻譜重耕進行研究，從協助技術過渡的角度適當引導業者可合理調配低中高频空間，容納兩套技術的核心網路。

二. 中長期建議事項

(一) 修訂現行對業者的頻譜申請核配上限規定

目前我國除每次競標時有各頻段上限規範外，《無線電頻率使用管理辦法》第 12 條第 1 項及《行動寬頻業務管理規則》第

18 條第 2 項另有申請核配總頻寬不得逾行動寬頻業務總頻寬之三分之一；1GHz 以下、3GHz 以下、6GHz 以下分別皆不得逾總頻寬之三分之一、24GHz 以上不得逾總頻寬五分之二之規範。目前三家接近均分市場的格局下有精進空間，類似狀況於英國、澳洲上限設定分別為 37%、40%。建議在 119 年頻譜屆期重新釋出前，進行上限規範之檢討調整；同時，也需考量是否有可能有新進業者，適度保障潛在新進業者加入競爭的機會。

(二) 持續關注 6G 頻段，逐步規劃 7GHz 以下頻譜重耕

在 2030 年不論電信商及基地台設備商皆認為 4G 仍是普及覆蓋的重要技術，而我國在技術中立的情況下，119 年除了處理屆期頻段，亦可觀察 WRC-27 對於 6G 頻段的決議，特別是 7GHz 以下與 4G、5G 重疊的頻段，或許有機會作為業者走向技術過渡可調配之頻譜資源，故提早盤點進行必要的重耕將有利於配合市場需求變化，及時因應補充。

(三) 善用頻譜彈性使用制度將有利於頻譜資源效率化運用

未來 119 年既有 4G 頻譜重新釋出，或 6G 新頻譜決議後，可參考英國作法，在釋照時評估加入強制彈性使用的機制，若受核配業者一定期間內在偏鄉地區無具體建置計畫，則需開放他業者租用，以此加速建置並刺激頻譜有效運用。

第九章 參考文獻

一. 中文參考文獻

- 中華人民共和國國家發展改革委員會(2018).國家發展改革委財政部關於無線電頻率占用費標準等有關問題通知
- 西双版纳傣族自治州人民政府(2021).頻率占用費收費依據及標準
- 周韻采(2020).頻譜市場的競爭機制研析，NCC 委託研究報告
- 通訊事務管理局辦公室(2021). 600 兆赫、700 兆赫、850 兆赫、2.5/2.6 吉赫及 4.9 吉赫頻帶的頻譜拍賣順利完成
- 蔡宗翰(2013).以拍賣賽局理論分析第二價格競標之效益與實證
- 樊沁萍、陳人傑(2018).頻譜拍賣制度之理論回顧、政策經驗與模擬研究
- 數位發展部(2023).數位部攜手電信業者前進屏東展示 5G 創新應用引導產業數位轉型
- 國家通訊傳播委員會(2022). NCC 持續關注國際低軌衛星應用與營運商發展趨勢-歷史資料
- 國家通訊傳播委員會(2023).112 年通訊傳播市場報告
- 陳志仁、張正武、田崎嘉邦、郭力慈、沈宜中、王懷賢 (2016).我國 3G 頻譜屆期釋出規劃及 B4G/5G 規範與發展研究－我國未來頻譜政策規劃

二. 英文參考文獻

- 3GPP(2024), Service requirements for the 5G system Release 19
- 5G Americas(2021). Vehicular Connectivity: C-V2X & 5G
- Ahmed Sherif(2023). Cumulative number of Starlink satellites launched from 2019 to 2023
- ALBONDA, PEREZ-ROMERO(2019). An Efficient RAN Slicing Strategy for a Heterogeneous Network with eMBB and V2X Services
- COBHAM, A.(1954), Priority assignments in waiting line problems. Operations Research, Vol. 2, 1 (February) p. 70-76
- DSIT(2021). 5G Testbeds and Trials Programme
- DITRDCA(2024). Low Earth Orbit Satellite Working Group 2023Chairs Report
- ERLANG, A.K.(1917). Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges. Post Office Electrical Engineer's Journal, 10, 189-197
- Ericsson(2024). Mobility Report June, 2024
- FCC(2023). 3.5 GHz Band Overview
- FCC(2023).Auction Formats
- Gartner(2024). Gartner Predicts Worldwide Shipments of AI PCs and GenAI Smartphones to Total 295 Million Units in 2024
- GOV.UK(2023). 5G Innovation Regions: successful regions
- GSMA(2024).The State of 5G 2024
- GSMA(2023).5G commercial networks
- GSMA(2022).Best Practice in Mobile Spectrum Licensing
- GSMA(2021).Spectrum Sharing

- GSMA(2017).Spectrum Pricing and Economics
- Geoffrey Myers(2023).Learning and governance in spectrum auction design: lessons from a small island
- IMDA(2021). Decision issued by the info-communications media development authority on next wave of 5g growth & deployment in singapore: policy and regulatory design for 2.1 GHz band
- ITU.(2017).Spectrum Pricing- Administered Incentive Pricing (AIP)
- IMDA(2023).Auction of 2.1 GHz Spectrum Rights (2022) for 5G
- IMDA(2022).Spectrum Management Handbook
- International Institute of Communications(2019). Singapore Ups 5G Spectrum Allocation to Four Operators
- Jozef2(2020).Spectrum Auction formats – SMRA vs. CCA
- KAUFMAN, J.S.(1981). Blocking in a shared resource environment. IEEE Trans. Commun., Vol. COM-29, 10, p. 1474-1481
- Mckinsey & Co(2023). Automotive software and electronics 2030
- Melissa De Witte(2020).The bid picture: Stanford economists explain the ideas behind their 2020 Nobel Memorial Prize in Economic Sciences
- National Audit Office(2014).4G-radio-spectrum-auction-lessons-learned
- Nan Guo,Robert C Qiu,Shaomin S. Mo,Kazuaki Takahashi (2007) .60-GHz Millimeter-Wave Radio: Principle P,Technology, and New Results
- Ofcom(2023). Shared access licences
- Ofcom(2024). Local Access licences

- Office of Parliamentary Counsel, Canberra(2024). Radiocommunications Act 1992
- Office of the Communications Authority(2019).AUCTION OF RADIO SPECTRUM IN THE 3.5 GHz BAND FOR THE PROVISION OF PUBLIC MOBILE SERVICES
- OneWeb(2023). OneWeb confirms successful deployment of 16 satellites including next-generation JoeySat
- Petroc Taylor(2024).Global number of network operators investing in 5G standalone (5G SA) 2018-2023
- Petroc Taylor(2023). Number of satellites in orbit as of October 2023, by category or major operator
- Petroc Taylor(2024).Satellite connectivity - statistics & facts
- Petroc Taylor(2023).Telecoms in the United States - statistics & facts
- Petroc Taylor(2024).Telecom services: global spending forecast 2008-2024
- Qualcomm(2023).Global 5G spectrum update and innovations for future wireless systems
- ROBERTS, J.W.(1981). A service system with heterogeneous user requirements. Perf. of Data Commun. Sys. and their Applications, G. Pujolle (Ed.), p. 423-431, North-Holland
- Shuner Hu, Ruhua Shi(2021).Analysis of Recent Development of Spectrum Auction and Forecast of Future Development

- Vadim Nozdrin(2021).Economic Efficiency of Spectrum Allocation, ITU Journal on Future and Evolving Technologies, Volume 2 (2021), Issue 1, 15 March 2021

三. 其他外文參考文獻

ARCEP(2023).Les fiches pratiques- Les redevances d'utilisation de fréquences

ARCEP(2023).Le spectre électromagnétique

ARCEP(2020).5G-Résultat final de la procédure d'attribution de fréquences de la bande 3,4 - 3,8 GHz

ARCEP(2019).5G- Attributions des fréquences de la bande 3,4 – 3,8 GHz : l'Arcep transmet au Gouvernement sa proposition de modalités d'attribution et d'obligations pour les candidats

總務省事務局(2023).新たな割当方式の制度化に向けた検討について

사회문화조사실 과학방송통신팀입법조사관 장은덕(2017). 국내외 주파수 경매 현황 등

MSIT(2023). 과기정통부, 28GHz 대역 주파수 할당 공고

附錄一 「無線電頻率需求模型建構」座談會會議記錄

開會時間：113 年 6 月 18 日（星期二）下午 2 時

開會地點：集思交通部國際會議中心 202 會議室

主持人：台灣野村陳副總經理志仁

紀錄：廖俊傑助理顧問師

出席單位及人員：詳簽到表

台灣野村簡報：(略)

項次	問題	NRI 回覆
5	模擬情境 2 與 3，將偏鄉與離島分開計算，原因為何？	考量業者在人口密集區、偏鄉、山區部落及離島使用者密度及基地台覆蓋模式明顯不同，為客觀區分不同區域的頻率需求差異，故將不同區域資料分開蒐集模擬，以呈現因區域特性形成的使用者需求。
8	此計畫的量化結果是否用於頻譜釋照？	本計畫結案時程為 113 年底，我國再釋照時程為 119 年，距今期程尚遠，主要目的在與各業者在尚無需面對釋照壓力下，作為對未來技術演進、使用供需、及中長期頻譜政策作客觀、廣泛的可能性研究與探討。
11	希望計畫執行結果並不偏向於衛星使用，進而壓縮地面通信頻譜使用資源。	依照目前研究團隊所知衛星通訊特性及商業模式，僅以地面通信有實質使用困難之特殊情境，方以衛星通訊作為替選方案，並不特別偏向於使用衛星服務。
7	使用者密度參數以人口為基準，照人口推估資料所示，人口呈下滑趨勢，然而國人持有裝置不僅為 1:1，計畫是否有納入考量之？	有納入考量。根據數發部數位發展部發佈的《112 年國家數位發展研究報告》統計，我國每戶擁有行動上網設備其 4.5 部；根據本研究計算，我國人/戶比例為每戶 2.5 人，則換算出我國每人擁有 1.8 部行動上網設備。以此持有設備倍數乘以人口數除以土地面積，即為「裝置密度」。

9	目前模擬情境以終端裝置 AI 化、車聯網、智慧工廠等應用作為情境假設，但若為偏鄉、部落需求情境未必與目前設定有關，未來是否會考量其他偏鄉部落需求情境？	會。目前考量的三項情境為研究團隊從規模觀點觀察之重要需求趨勢，未來在情境模擬中將考量國家政策及全球需求趨勢增加必要情境，計畫執行期間歡迎設備業者提供海外相關應用趨勢作為本國參考。
16	隨著網路接取技術進步，頻譜效率亦有所增加；且各種技術應用上的頻譜效率亦不盡相同，模型是否予以考量之？	模型可以模擬技術別的頻譜效率，如 4G 為 4、5G 為 12，惟參考值來自於 ITU 且並未根據各應用案例進行調整，計畫執行期間歡迎設備業者提供相關技術參數作為參考。
10	計畫使用的模型是否僅限於地面通信？是否可處理衛星使用需要？	本計畫已將衛星量化方式納入同地面通信需求模型中，考量衛星於我國僅佔少數使用比率，初步擬將衛星納為第四個 RATG 並設置使用比率為 0.001%。
12	需求模型計算結果是針對於各個電信營運商？	模型計算結果為全台灣頻譜總需求，非個別業者。
15	模型是否模擬 5G SA？	是，5G SA 將設定為其中一項 RATG。
1	永和區、山地、偏鄉、會請業者提供資料之格式是否相同？	相同。
2	基地台數量是否以登記執照為基準？若是，予以註明。	以登記執照及登錄在案的基地台為基準，將予以註明。
3	簡報第 18 頁，是否只需要大型基地台的數量？	須提供登記執照及登錄在案的大型及微型基地台。

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

4	簡報第 40 頁，技術別用戶數量是否以帳單數量為基準？若是，予以註明。	技術別用戶數量應為全台用戶數量，將予以註明。
6	基地台數量資料需求，係需要全區域的基地台或僅需要區域流量熱點？	需要指定行政區全區域的基地台數量。
13	基地台的數量係使用 base station 或是 cell？	使用 base station。
14	過去未於模型中使用永和區作為樣區，是否已考慮該區住抗問題？	本次使用永和區係因永和區已躍為我國人口密集度最高的行政區，若對於樣區選擇有其他建議，敬請於會後一周內提出，供本公司作為調整參考。
會後來信	提供取樣的 14 個行政區的基地台資訊，發射功率是要逐站逐頻提供嗎？還是一個行政區逐頻一個數字？	敬請業者依登記執照逐站逐頻提供。
會後來信	同上，服務流量的邏輯也是逐站逐頻還是該區所有站點合起來取所謂的 top 5%，且我們應該並未收集留存此類資料是否就不提供？	敬請業者依該區所有站點合起來取所謂的 top 5%，經洽詢設備商本資料蒐集應具可行性，再請貴公司協助查詢後提供。

附錄二 「無線電頻率需求模型模擬結果」座談會會議

記錄

開會時間：113 年 11 月 1 日（星期五）下午 2 時

開會地點：集思北科大會議中心 304 會議室

主持人：台灣野村陳副總經理志仁

紀錄：吳宜芷助理顧問師

出席單位及人員：詳簽到表

台灣野村簡報：(略)

項次	問題或回饋	NRI 回應
1	就簡報第 5 頁「基地台實際涵蓋比例」，Marco 總計 46%，此處定義是地理涵蓋的比例嗎？	是的，此處係根據 ITU M.2290 之部分計算式換算，使用地理面積及基地台數所能支援的最大理論涵蓋率所做之計算。
2	承上，只是在平均計算上比較地理涵蓋的意義為何？	它是假設在估計該地理面積的需求時，使用者是分布在該地理面積上，在此分布情形下，基地台是否能有效涵蓋，接收訊號並做流量傳輸等所為之計算，因此與頻率需求的使用較有直接關係。
3	承上，實務上許多地方（特別是偏鄉），地理涵蓋率不會是百分之百，特別是像這個有幾十%的部分，都是在人口集中的地方，因此不確定這樣 5%或 10%的地理涵蓋，在假設模型中是否能合理對應。	（本段為業者之意見回饋。）
4	就簡報第 9 頁之用戶成長，有分維持現況、自然成長以及全 5G 的部分，此處所指的是基地台皆改為 5G，或用戶全部都是 5G？	照理來說，若用戶皆為 5G，負責供給之基地台即為 5G。

5	承上，故此處有一定程度是基地台的比例隨之改變？	是。
6	承上，模型假設 5G 單一基地台的頻率使用效率是 4G 的三倍？但事實上	是，此假設為 ITU 所公布之建議。
7	承上，上述 3 倍的假設可能還是基於 5G 在中頻段使用 AAS 的天線，才有可能與 4G 做 3 倍比例的假設；但若是全 5G 的話，意思是所有 4G 頻段都轉做 5G，如此一來中低頻段實際上並不會使用到 AAS 天線，頻率使用效率可能不會到 3 倍，因此可能會產生部分估算誤差。	(本段為業者之意見回饋)
8	就簡報第 11 頁，在臺灣社經情況底下，估算 AI 之用戶終端比例至 2031 年約 45%，看起來遠低於國際，對於此假設的合理性有疑慮，原因包括：目前換機比例約 4-5 年，另因下一波換機潮可能都會是具有 AI 功能的手機，因此對於 2031 年 AI 用戶終端比例為 45% 的假設，持較為保留之態度。	(本段為業者之意見回饋)
9	就簡報第 5 頁，地理涵蓋面積的部分應再做進一步研議。以霧台鄉為例，其中有個村里為好茶村，且在頻率使用費的減免範圍內，屬於偏鄉村里的指定區域，然而各業者都已經請數位部將其移除，原因是在經歷重大風災後，好茶村基本上已無人居住，但仍有好茶村這個行政區劃的	(就地理及人口涵蓋的討論)，雖然在霧台鄉的範圍內並非全部都是聯外道路，但若以道路的視角而言(特別是國道)，其所貫穿的地區也會是在偏鄉的位置，另因聯外道路基本上亦不會有人口密集的情形，因此可能沒辦法透過如人口密集度的涵蓋來做計算，而是需要地理涵蓋率的計算才能補足這一塊的空白。

	<p>存在。</p> <p>透過好茶村的例子，應考量使用地理涵蓋面積計算是否合適，若要使用地理涵蓋面積計算的話，是否應考量人口及移動範圍等情況，或以南投信義鄉為例，該地居民的移動可能僅限於村落及聯外道路區域，有部分區域受限地理環境可能是沒辦法到達的。因此，是否也應考量 NTN 及衛星涵蓋的部分，若衛星涵蓋是要針對緊急急難救助，作為偏遠地區地理涵蓋之補強，那是否偏遠地區就先以 NTN 做計算，而非以業者的大型基地台 (Marco Site) 或微型基地台 (Micro Site) 做涵蓋比例的計算驗證？</p>	<p>第二就是在 NTN 的部分，敝團隊亦相當注重 NTN 的替代可行性，還請業界先進分享相關看法。</p>
10	<p>由於技術及規範因素的限制，建議頻譜效率提升的假設可以再多做考量。另想確認 2030 年維持現況所提出的 540 MHz 頻率需求所對應的頻段為何；以及因頻譜需求多半隨用戶成長的情況下，是否能補充此處頻率需求降低的結論？</p>	<p>承業界先進所言，之所以會假設頻率需求有明顯降低，是因透過歷史資料分析，可見用戶量的曲線已經逐漸平緩，甚至去年還有下降。緣此，敝團隊假設傳統使用者已不再成長，因此頻率需求效率仍會下降，惟團隊有更進一步地考量其他新興的應用解決方案，例如物聯網及車聯網等。</p>
11	<p>第一個問題是好奇在維持現況模型中，結論所做出的頻率需求下降，其背後的細部考量為何？</p> <p>第二個問題是就目前業者手上的評估資源來看，似乎未見本研究對高頻的部分做討論，但未來的趨勢是往高頻發展（加上若有特定的解決方案突破），以及上次見面時所討論的使用案例，是否會納入此處頻率需求的討論？</p>	<p>就第一個問題，因本研究對於不同的需求切分較細緻，例如 AI 手機的應用則歸納在 EMBB，也就是三個新的應用需求底下。</p>

12	跟進前面的討論，在 AR/VR 的普遍性提升以後，為什麼會認為資料使用量會下降？	在 2030 年維持現況的模型中，資料使用量（data usage）是持平、頻率效率提高，因此頻率需求才會下降。
13	那假設 2025 年以後 AR/VR/XR 的普及提高以後，這一段的成長是不被計入嗎？	沒有不計入 AR/VR/XR 的普及，而是將其放入右邊三個自然成長的模型做統合計算。
14	承上，所謂自然成長的驅動因子（driver）為何？	基於資料、趨勢及貼近生活的應用，敝團隊從供給的角度將各類應用需求區分為三個面向，第一個是個人終端裝置，其中又以 AI 手機為大宗，也包括剛才先進所提及的 AR/VR 的應用，因此我們才會推估國際的滲透率會到 98%，而我們國家的私營環境目前預設是 45%，當然這部分可以再討論，因此流量及數量的成長會在這個部分。
15	跟進提問，就簡報第 9 頁從 2024 年的 690 MHz 到 2030 年維持現況的模型推估得出 540 MHz 的部分，試圖理解研究團隊的假設是傳輸量（Traffic）保持不變，2030 年的情況和現在是完全一樣的情況，換言之用戶的使用是不成長的情形；另外 4G/5G 的基地台比例是從 2:1 變成 1:2，然後 4G/5G 頻率使用效率的比例是 1:3，因此相乘後會得出頻率效率約為 5.7，反推回來便會得出前面的從 690 MHz 降至 540 MHz 的結論。然而，前面訊務維持現況的假設，基本上不大可能成立，原因在於業者自 103 年 4G 開台到 112 年底，台灣的訊務量成長了 16 倍，而且是每年在成長，這個和用戶數有沒有成長並	（本段為業者之意見回饋）

	<p>沒有關聯。第二個是 4G/5G 基地台的使用效率使用 1:3 的假設過於理想，這樣推算出來的數值會與實際上有非常大的誤差。換言之，因為用量肯定會成長的趨勢，2030 年維持現況的假設基本上可以不用作為應用假設的情境。</p>	
16	<p>回應 28 GHz 的部分不會用到太多涵蓋 (coverage)。另外想請教 NTN 的部分呢？</p>	<p>(研究團隊先行提問) 另在這裡想和業界先進請教高頻段方面，例如在半導體工廠有 28 GHz 的使用案例，也是目前業者握有的頻段，想就這部分請教業者實際或未來的趨勢為何？</p> <p>研究團隊有預估衛星的滲透率會在萬分之一，屬於比較低的滲透率。</p>
17	<p>承上，衛星通訊的萬分之一滲透率所指為何？</p>	<p>研究團隊模型的需求量基數是基於裝置數量，亦即人口乘以裝置比例，因此就會有個裝置數量的母數在這個模型裡面，在這個母數裡，研究團隊假設衛星通訊的手機支援部分，有萬分之一的滲透率。</p>
18	<p>1440 至 1910 MHz 之間是較合理的推斷。我們也可以看到 4G 從一開始的 270 MHz 至今加上 5G 的中頻段約 800 多 MHz，這樣的成長可呼應我們剛才所提的十年來的訊務量成長，再加上前述的 AI 應用成長，以及頻率使用效率之技術未必相對應提升的情況下，頻寬的需求勢必會增加。</p>	<p>(研究團隊先行提問) 另外想請教各業界先進，特別是呼應中華電信提到的 AI 手機方面，研究團隊推估的需求可能稍微的保守一點，若將 2030 年我國的 AI 手機持有率從 30% 提升 2 倍至 60%，再結合剛才所言的 5G 傳輸效率可能沒有團隊原先預估的 3 倍情形，那各位認為 1440 或 1910 MHz 等至少遠高於現在持有頻譜的情形，會比較接近業界先進實際上所認知的結果嗎？</p>

附錄三 期中報告審查會議意見及回應

壹、會議時間：113 年 7 月 26 日 上午 10 時

貳、會議地點：數位發展部 901 會議室

審查意見	處理及回應
曾文方委員	
1. 請補充經濟效益資料模型建構之參考文獻、模型架構。	遵照辦理，本計畫擴大參考 ITU-R SM.2523 及 Vadim Nozdrin(2021)相關文獻，建構我國頻譜經濟效益評估模型的投入產出模型。其中將量化計算(1)直接效益：電信業者資本及營運投入；(2)第一次波及：電信業產出對跨應用產業的收入貢獻；(3)第二次波及：電信業者的營業收入。模型架構詳第六章第一節。
2. 頻譜需求模型部分應考量 WiFi off-load、專頻專網、免執照車聯網頻譜等因素。	本計畫主要計算商用行動通信譜之最大需求量，故將基於業者擴大業務、實際佈建效率化等考量，假設以商用行動通信頻率需求滿足作為最大需求估計。在最大需求假設下，期末階段將針對實際可能釋照需求進行探討。
3. 頻譜需求應區分高中低頻段。	遵照辦理，以將 113 年級 119 年頻譜需求預估結果進行低、中、高頻分配探討，詳第五章第三節。
陳玟良委員	
1. 期中報告國際資料蒐集略顯簡要且宜整理分析，請於各章節結束後增加初步結論與整理說明。	遵照辦理，目前以補充部分章節，期末階段將持續補充各章節結論論述。
2. 無線電頻率需求及經濟效益資料等模型等請補述選擇採行之理由與比較說明。	本計畫主要評估 Vadim Nozdrin 博士於 ITU Journal on Future and Evolving Technologies, Volume 2 (2021)發表之《頻譜分配經濟效益模型》(ECONOMIC EFFICIENCY OF SPECTRUM ALLOCATION)、ITU-R SM.2523《頻譜效率及經濟價值的評估》及 GSMA(2022)之《中頻 5G 服務經濟社會效益模型》(The Socio-Economic Benefits of

審查意見	處理及回應
	Mid-Band 5G Services)三套計算框架的適用性。其中前兩者方法論及計算框架較為接近，GSMA 模型則有台灣在地化參數蒐集上的困難，故採取前兩個模型的概念進行本計畫模型設計。
3. 考量本案前瞻性，雖 6G 技術標準尚未成熟，惟仍建議模型可考量納入 6G 新技術發展對市場環境之彈性與影響。	遵照辦理，若根據本計畫的市場調研推計，5G 新興服務應用使頻譜需求量增加時，由於對網路流量有更高的需求與更低的延遲度，頻譜需求量樂觀估計最高可達到 6,610 MHz。初步盤點目前我國頻譜低、中、高頻可供規劃之情況，3.5GHz 以下估計將有 260MHz 需求，其餘則需由毫米波滿足。但考量毫米波指向性及建設成本問題，若屆時 6G 有其他低頻或中高頻段釋出，估計市場營運商將以 6G 頻段為優先偏好選項。建議後續宜配合 6G 技術標準、頻譜效率、頻率分配釋出，持續作情境模擬探討。
4. 期中報告請補正 (1) 圖 2-4 及圖 4-1 圖案壓縮至部份文字太小不易閱讀，請酌予調整。 (2) 部分重要頻段與實際核配情形有誤(如 1800MHz 頻段)，請補正。 (3) P.52 應為 Amazon 公司尚未正式發射衛星，618 顆衛星應屬 OneWeb 衛星公司。	(1) 感謝提醒，圖 2-4(現已更動為表 2-1)與圖 4-1 之圖片表現已修正。 (2) 感謝提醒，第二章第一節目前商用行動通訊頻段中，我國與主要國家之比較表及第三章第一節各電信業者頻率持有情形皆已修正。 (3) 感謝提醒，主要低軌通訊衛星系統營運商發展情形 Amazon 與 OneWeb 衛星數量錯置係為筆誤，詳第二章第四節。
陳文字委員	
有關頻譜需求議題，建議表 5-9(P. 91)內容之頻譜效率參數請再確認，如：4G：4 bits/Hz；5G NSA：12 bits/Hz 是否合適？	感謝並瞭解委員提出以 QAM 為基礎的頻譜效率數值建議。惟模型中頻譜效率以技術別及大、微、微微型基地台作分類，則 QAM 值與頻段較有直接關係。同根據 ITU 建議書調整頻譜效率：4G 大型 4 bits/Hz、微型 5 bits/Hz、微微型 5 bits/Hz，5G 以其 3 倍作調整。
P. 75 請說明，保留基礎(reservation-	原 ITU 模型設計電路交接基礎的通信方式，

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

審查意見	處理及回應
based)和電路交換的關係。	隨著該技術逐漸式微，然又新興電信服務對延遲度要求提高，因此 ITU 更新模型及其參數時仍保留電路交換的計算基礎，然而只適用於前兩大類對延遲度要求較高的服務分類。
P. 70 服務分類之“會話 (conversational)”建議說明和“語音”之關係。	“會話”一詞由英文建議書中直譯而得，意指互動等級較高的網路服務分類，如具象化的“會話”、LINE 通話等；與語音並無直接關係。
頻率需求模型之參數，建議需再確認。	遵照辦理，已修正 5G 頻譜效率參數，並同步檢討相關參數。
頻譜經濟效益模型，建議參考相關學術期刊，如 Telecom Policy。	遵照辦理，本計畫擴大參考 ITU-R SM.2523 及 Vadim Nozdrin(2021)相關文獻，建構我國頻譜經濟效益評估模型的投入產出模型。其中將量化計算(1)直接效益：電信業者資本及營運投入；(2)第一次波及：電信業產出對跨應用產業的收入貢獻；(3)第二次波及：電信業者的營業收入。模型架構詳第六章第一節。
經濟模型，建議可考慮各國拍賣價格、頻段等因素。	感謝委員建議，本計畫於期末階段將持續評估納入拍賣價格、頻段等因素。
莊奕琦委員	
1. 清查國內業者頻率需求意向固然重要，但因國內為 3 家行動通信業者的寡占且相對封閉的市場結構，業者本身的需求未必符合社會福利與公平的目標，宜就國際發展現況適度改變模型參數，以求社會的最適需求為目的。	在我國市場結果及頻率供需現況下，頻率供已仍大於需求(依本次模擬結果超過約 140MHz)，在無法產生新興服務需求的情況下，若超額釋出，不易使 5G 普及率上升，除了使頻譜釋出的邊際效益遞減外，更可能出現費率下降、導致用戶使用量上升，衍生對海外輸入內容的需求擴大，擠壓本土內容生存空間等議題，故仍建議審慎看待。
2. 在頻譜需求模型，採用 ITU M.2290 的模型，在既有架構應為可行，但也必需考量在經濟效益模型中投入產出分析的不同產業結構的需求，使兩模型能有相容性和互補作用，強化分析結果的	遵照辦理，本計畫將結合 ITU M 2290 需求模擬結果，及投入產出經濟效益模型，共同探討未來頻譜釋出組合與經濟效益變化之情形，以強化最終建議之論述。

審查意見	處理及回應
有效性。	
<p>3. 經濟效益模型缺少數量模型的具體建構和相關說明。若以投入產出分析則必需考慮 ① 產業關聯矩陣(A)以多少產業來分類，行動通信產業為獨立出來的產業，或會併在整體通信產業中。 ② 產業最終需求應和頻譜需求相對應，亦即頻譜需求如何影響各產業的最終需求 ③ 考量未來技術的變動，勢必影響產業關聯矩陣(A)，也應做適度的變動調整和模擬。</p>	<p>遵照辦理，本次已補充模型相關計算說明、輸入資料及參數、與初步計算結果，詳報告書第六章。惟未來技術變動對於產業關聯矩陣之影響，仍受限於本計畫採用行政院主計總處資料為基礎，不易直接調整，但將採衍生效益的方式進行說明。</p>
郭文忠委員	
<p>受託單位詳細整理各主要國家 5G 營運情形與頻譜釋出，並嘗試提出頻譜需求與經濟效益模型。建議如下：</p> <p>1. 頻譜需求模型方面：</p> <p>(1) 採用 2013 年 ITU M.2290 模型，可補強其他國家或者研究報告是否採用過以及敘明其限制。</p> <p>(2) 能否有更好的模型進行比較參考。</p> <p>(3) 三種情境對頻譜需求之影響差異重點為何可敘明清楚。</p> <p>(4) 當前與未來之釋出頻段與 2013 年時存在相當之差異，模型中如何納入此頻段技術特性之差異。</p> <p>(5) 需求模型可具體列出數理模型。</p> <p>(6) 產業市場結構之影響呢？</p>	<p>(1) 使用 ITU 模型作為頻率需求模型的基礎係基於 ITU 組織公信力；有關於頻率需求計算建議書，其中公信力、透明度較佳者即為本計畫使用的模型基礎。</p> <p>(2) 基於模型基礎上，本計畫因應我國市場特性及技術演變(我國 4G、5G 技術表現及基地台佈建、頻率使用情形)，蒐有各式資料以精進模型更吻合台灣目前市場環境之計算結果。</p> <p>(3) 情境一以我國現行釋照邏輯進行模擬，情形二與三以量化結果呈現對偏遠地區等的使用者需求。其中，我國人口密集區的頻譜需求(情境一)與他區(情境二、三)有著顯著差異，我國電信市場自由化已然成熟，然而基於完全市場效率的業者行為，將忽略偏遠地區使用者。過去亦鮮有公私部門瞭解此區塊，因此本計畫基於需求量化結果，希望探討分區釋照的可能性，透過促進更良好的市場競爭行為優化偏鄉覆蓋。</p> <p>(4) 本計畫將模型儘量擴張其彈性，以確</p>

審查意見	處理及回應
	<p>保模型可與時俱進，並能輔助不同質化研究進行討論。新本計畫已先行對技術及市場需求方面進行市場調研及調整於模型當中，並將補充探討未來對頻段規劃。</p> <p>(5) ITU 模型係一系統交互及連續計算的過程，非屬目標式的最佳化資源分配模型，難以以單一算式呈現，惟本計畫於報告書內拆分各個計算步驟及各參數模塊以說明其如何蒐集計算，並羅列於第五章中詳細說明。</p>
<p>1. 經濟效益模型方面之敘述目前較為精簡，缺乏文獻與具體研究方法，以及研究方法之限制。</p>	<p>遵照辦理，本計畫擴大參考 ITU-R SM.2523 及 Vadim Nozdrin(2021)相關文獻，建構我國頻譜經濟效益評估模型的投入產出模型。其中將量化計算(1)直接效益：電信業者資本及營運投入；(2)第一次波及：電信業產出對跨應用產業的收入貢獻；(3)第二次波及：電信業者的營業收入。模型架構詳第六章第一節。</p>
<p>2. 各國頻譜釋出可加強與我國於各頻段之比較，各國未來之頻譜規劃，以及國際組織對於技術協定之發展與規劃情形。</p>	<p>目前已於第二章第一節新增 ITU 與 WRC 等國際組織長期與中長期頻譜規劃與相關決議發展，並新增我國商用頻段及主要國家頻段之比較表，研究團隊將持續進行我國與國際頻段使用趨勢之比較，並在期末報告呈現，非常感謝委員建議。</p>
<p>3. 一些細節釐清與修正：</p> <p>(1) 第 6 頁圖 2-2 中之跨國比較圖缺乏我國，應補充我國的位置，或者補強其他包含我國之比較圖。綠色框線的意義為何？圖形中中國處於第二等級國家，與第 6 頁註解 10 註明中國為第一等級國家互相矛盾。</p> <p>(2) 第 8 頁說明全球 39 個提供 5G 服務之市場，只有 5 個</p>	<p>(1) 感謝建議，GSMA 由於資料不足未能將我國納入比較表中，研究團隊於第 2 章第 1 節全球 5G 普及中補述 GSMA 分數項目與標準，並以文字形式以 5G 滲漏率與傳輸速率初步推測我國目前定位，研究團隊將持續蒐集我國 5G 表現相關資料並於期末報告補充。另外中國之表現應為 5G 基礎建設為第一等級之國家、5G 服務表現為第二等級國家，為免讀者誤會已刪除相關註解。</p> <p>(2) 感謝建議，參酌 5G Connectivity Index，</p>

審查意見	處理及回應
<p>提供完整 5G SA 等等請提供更完整統計與國家別。</p> <p>(3) 第 11 頁韓國對於 28 GHz 釋出之經驗值得國內借鏡，可於之後內容敘明其對我國頻譜需求之意義。</p> <p>(4) 第 109 頁僅由活躍戶數推論我國應用尚未普及過於簡略，應有更具體的各種應用情形統計比較。</p>	<p>為 5G Standalone 項目得分 96 分以上之國家。該項目係指該國至少有一家營運商能提供完整之 5G SA 商用服務，分別為澳洲、阿拉伯聯合大公國、中國、泰國、巴西，惟新加坡之得分僅 64.4 分，與義務要求有差距，研究團隊將持續調整並於期末報告呈現。</p> <p>(3) 遵照辦理，已於第二章第一節高頻段頻譜釋出議題補充韓國考量毫米波頻譜釋出之失利，今年預期之新頻譜計畫，預計將著重於中頻段頻譜之釋出。顯示毫米波應用端市場需求及成本尚無法滿足電信營運商之期待，導致供大於需，借鑑韓國經驗，我國新技術頻段在釋出時更應審慎評估市場供需情形及釋照配套。</p> <p>(4) 感謝建議，我國電信應用服務市場需以更多元的政策手段刺激發展部分，物聯網已改由 100 人物聯網門號數進行國際比較。</p>

期中報告工作小組檢視表

113.7.26

壹、履約工作完成進度說明

契約約定於 113 年 7 月 1 日前提出期中報告相關資料。台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司於 113 年 7 月 1 日繳交期中報告初稿，並無逾期。

貳、報告章節初審意見

委託辦理工作項目	報告章節頁碼對照	工作小組初審意見
<p>一、蒐集各主要國家及地區(包含但不限於英國、法國、德國、美國、澳洲、日本、南韓、新加坡、中國大陸、香港)電信市場(包含但不限於行動通信、衛星通信、物聯網)發展情形及頻譜釋出規劃，包括：</p>		
<p>(一)包含但不限於電信市場產值、用戶規模、使用頻段與頻寬，及其市場趨勢。</p>	<p>pp. 5-11、 pp. 21-56</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、圖 2-4 未包含香港及新加坡，建議予以補充。 三、主要國家之電信市場現況僅有敘及行動通信部分，建議就衛星通信部分予以補充。 四、對於主要國家之市場現況(例如每百人有效訂閱人數、GNI、市場規模)大多以單一時間點描述，無法看出其趨勢，請受託單位就其趨勢予以補充。</p>
<p>(二)主管機關對不同電信市場無線電頻率用途(例如行動通信、衛星通信)之最新規劃。</p>	<p>pp. 21-56</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、對於主要國家之頻譜規劃僅提及法律依據，並無詳盡描述對於行動通信、衛星通信頻段規劃，建議後續報告應有更詳細之描述。 三、建議補充日前美國議院停止 FCC 拍賣權力之始末及現狀。</p>
<p>(三)各主要國家及地區主管機關決定頻譜釋出方式</p>	<p>pp. 21-56</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p>

<p>(例如競價或審查)之設計及考量因素(例如頻譜價值、市場競爭程度、行政成本等),及頻譜釋出之訂價方法。</p>		<p>二、各主要國家頻率定價部分,大多提及最終拍賣價格。建議如有底價相關資訊,亦呈現於後續報告中。</p> <p>三、建議就各主要國家近期拍賣頻段之價格(包含底價、最終價格)予以整理,並以圖表呈現於後續報告中。</p>
<p>(四)各主要國家及地區頻率彈性使用(例如頻率共用、提供使用或其他次級交易等方式)開放情形與規範,包括:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.主管機關對各頻率用途彈性使用之開放程度(例如開放之頻段與頻寬大小),及訂定之相關規範(例如是否需申請、申請資格、申請文件、審查基準、申請人負擔義務等)與其訂定各規範之目的。 2.蒐集頻譜彈性使用實際案例,及其對電信市場與頻譜使用效率帶來之效益。 	<p>pp. 21-56</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、頻率彈性使用部分大多僅介紹法規為主,較無實際案例。如有相關案例,請於後續報告呈現。</p>
<p>二、訪查國內業者頻率需求意向:</p>		
<p>(一)調查國內業者就不同用途頻譜(例如行動通信、衛星通信及其他新興電信服務)需求意向,及其所需求之頻寬。</p>	<p>pp. 57-60</p>	<p>對於各電信業者頻譜需求之調查並無呈現,建議就相關規劃予以說明。</p>
<p>(二)調查國內業者預期取得所需求頻譜之效益及對於取得所需求頻譜需負擔成本之評估。</p>	<p>pp. 57-60</p>	<p>對於各電信業者頻譜需求之調查並無呈現,建議就相關規劃予以說明。</p>
<p>三、依所蒐集與訪查資料,以量化及非量化方式以分析軟體分別建立頻譜需求及經</p>		

濟效益模型，相關說明如下：		
<p>(一)模型輸入參數：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.市場相關參數(包括用戶使用習慣、用戶數量或人口密度、電信市場業者家數、頻率取得成本)。 2.政策相關參數(包括頻譜使用年限、負擔義務)。 3.設置網路相關參數(包括人口涵蓋率、基地台涵蓋範圍、設置網路成本)。 4.如於研究過程發現其他重要參數，或本部有其他指定輸入參數，應配合將其納入。 	<p>pp. 61-77、 pp. 79-99、 pp. 101-107</p>	<ol style="list-style-type: none"> 一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、3G 網路於 2024 年 6 月 30 日才關閉服務，圖 4-2 對於 2024 年以前之 3G、4G 及 5G 用戶數應更新。 三、部分報告陳述過於冗長，例如 p. 82(4)服務比重、p. 88(二)網路服務參數及 p. 96 2.服務流量建議精簡敘述，或以條列式呈現。 四、目前以 B2C 為主的行動服務所佈建的基地台以大型基地台為主，但 5G 專網等新興應用則不一定，建議在做未來預估時應納入考量。
<p>(二)模型輸出參數：輸出無線電頻率不同用途(包括行動通信、衛星通信、物聯網)之不同頻段需求頻寬數量及對市場帶來之經濟效益。</p>	<p>p. 78</p>	<ol style="list-style-type: none"> 一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。
<p>(三)模型驗證：以所蒐集或訪查資料，驗證模型之正確性(例如以釋出頻率時決標價格為頻率取得成本，檢視由模型求出之需求量是否會近似實際釋出頻寬)。</p>	<p>p. 100、 p. 108</p>	<ol style="list-style-type: none"> 一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。
四、利用前述建立模型，就以下議題進行分析：		
<p>(一)行動通信頻率釋出規劃：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.分析未來行動通信市場對頻率之需求：若未來再行釋出 5G 行 	<p>pp. 109-112</p>	<ol style="list-style-type: none"> 一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求

<p>動通信頻段，考量中遠期可能面臨情境(例如技術演進、市場家數變動等)，就該情境市場、政策及設置網路相關參數進行預測，並代入前述建立模型，以預估行動通信市場對頻率之需求。</p> <p>2. 評估已釋出頻段(700MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz、2600MHz、3500MHz及28000MHz頻段)對市場帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>3. 評估未來釋出頻率之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如低、中、高頻段、毫米波等)，釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>4. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若以頻譜彈性使用方式(例如提供使用或共用)開放使用，不同開放程度所產生量化及非量化之經濟效益。</p>		<p>及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。</p>
<p>(二)衛星通信頻率釋出規劃：</p> <p>1. 分析未來衛星通信市場對頻率之需求：若未來再行釋出衛星通</p>	<p>pp. 109-112</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求</p>

<p>信頻段，考量中遠期可能面臨情境(例如技術演進、國際規範變動等)，就該情境市場、政策及設置網路相關參數進行預測，並代入前述建立模型，以預估衛星通信市場對頻率之需求。</p> <p>2. 評估釋出頻率之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如 C、X、Ku、Ka、V 頻段等)釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>3. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：考量衛星通信與不同無線電頻率用途(例如行動通信)使用相同頻段之可能情境(例如衛星直連手機)，並分析其量化及非量化之經濟效益。</p>		<p>及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。</p>
<p>(三)新興電信服務頻率需求分析及頻率釋出規劃擬定：</p> <p>1. 預測中遠期新興電信服務(例如車聯網、物聯網等)之市場參數、政策參數及其他參數，並代入前述建立模型，以預估新興電信服務對頻率之需求。</p>	<p>pp. 109-112</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。</p>

<p>2.分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如低、中、高頻段、毫米波等)釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>3.評估頻譜彈性使用之經濟效益：前揭所預估之頻率需求若以頻譜彈性使用方式(例如頻率共享)開放使用，其可採行之方法(例如分時分地使用、建立地理資料庫等)，並分析其量化及非量化之經濟效益。</p>		
<p>五、依前揭所分析結果，就以下面向提供建議：</p>		
<p>(一)頻率釋出規劃：考量行動通信、衛星通信及新興電信服務中遠期可能面臨情境(例如技術演進、市場家數變動等)，就以下面向(包含但不限於釋出機制、釋出流程、釋出頻寬及頻寬大小等)提出相關建議。</p>	<p>pp. 109-112</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。</p>
<p>(二)頻譜彈性使用：</p> <p>1. 就行動通信、衛星通信及新興電信服務採不同彈性使用頻率方式(例如頻率提供使用或共用、頻率共享等)之可行性。</p> <p>2. 探討頻譜彈性使用所面臨公平性之問題，以及如何落實不同電</p>	<p>pp. 109-112</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、目前受託單位尚待引入訪查業者資料以計算頻譜需求及經濟效益。如完成訪查業者資料建議需有更深入分析。</p>

<p>信服務(例如行動通信、衛星通信等)頻譜使用之公平性。</p>		
<p>六、本案應參酌國際發展經驗及前揭蒐集資料，辦理相關研習或座談活動至少 2 場次，邀請議題之相關利害關係者(並注意參與專家學者之性別均衡性)與會，蒐集國內現況及產官學等意見，必要時本部得要求加辦前述活動。</p>	<p>p. 114</p>	<p>一、受託單位已初步辦理 1 場座談會，並預計於 113 年 10 月再召開一場。 二、建議將辦理第一次座談會成果亦呈現於報告中。</p>
<p>七、提供諮詢服務及協助資料彙整：於履約期間，提供本部就研究範圍內之業務諮詢，並配合本部資料彙整需求，以簡潔明瞭之形式(例如圖案或表格)提供彙整後之資料。</p>		<p>受託單位已依本案委託工作項目辦理。</p>

附錄四 期中報告第二次審查會議意見及回應

壹、會議時間：113 年 8 月 19 日 下午 2 時 30 分

貳、會議地點：數位發展部 801 會議室

審查意見	處理及回應
曾文方委員	
4. 請整理主要國家總釋出頻寬(分高中低頻),及平均單一業者獲核配頻寬。	謝謝委員建議,目前研究團隊已整理各主要國家 5G 商用頻譜佈局如表 2-1;將整理各主要國家總釋出頻寬(分高中低頻),並視資料可取得程度盡可能補充單一業者獲核配頻寬資訊。
5. P.82 請用 2024 年 data。	謝謝建議。惟 5G 人口覆蓋率資料為參考 NCC 報告,尚未更新 2024 年資料,若於期末報告前有可循資料,將更換之。
6. P.86-90, 100, 104, 105, 112 建議用表格呈現,以增加可讀性。	遵照辦理,已修正於本期中報告書。
7. 敬請於期末報告補充韓國開放 MVNO 之政策配套。	謝謝委員建議,韓國 2007 年 10 月將 MVNO 納入《電信事業法》,推出眾多以批發價格管制為核心之開放政策與配套;研究團隊將借鑑韓國之政策,研擬我國 MVNO 策略,呈現於期末報告。
陳玟良委員	
請假。	
陳文字委員	
1. 第六章的頻譜經濟效益模型,目前主要參考 ITU-R SM2523 及 Vadim Nozdrin 的文獻。為了使模型更加精確,建議再增加一些來自學術期刊論文之文獻,並說明計畫建立模型時,針對我國相關經濟或頻譜情形,有哪些調整或設定,建議在期末報告中補充說明。	謝謝建議。本計畫持續蒐集並參考各類文獻以精進模型設計,亦持續補強模型模擬情境的質性說明,並說明於期末報告中。
2. 對於所提出之頻譜經濟效益模型,進行相關正確性之驗證,如歷史資料驗證或和其他方法之比較。	將新增使用主計總處公佈的生產者價格交易表而計算的整體經濟效益分析,與本計畫使用的經濟效益模型交叉驗證。

審查意見	處理及回應
<p>3. 建議針對技術發展，如 6G，NTN，THz 等技術創新，對頻譜經濟效益之影響，納入模型中。</p>	<p>謝謝建議。本計畫將持續針對新技術進行調研，並思考新技術納入模型評估的可行性與驗證方法。惟主要技術演進，如 6G，目前國際間尚未定調其規範與標準共識，恐對結論建議產生與後期研究於實際上的偏差。</p>
<p>莊奕琦委員</p>	
<p>4. 報告中有關經濟效益的衡量，應為創造的產業附加價值或 GDP 的概念，而非營收。總體均衡的概念，總產出即等於總所得，產出效果即等於所得效果，不需要再去估計所謂延伸二次消費效果。</p>	<p>謝謝建議。本計畫使用之經濟效益模型，設計乃為計算各別業者核配頻譜後所對我國創造的經濟效益，因此設定業者營收為主計總處公佈的生產者價格交易表中對電信業民間消費，本計畫將針對兩種方法進行分別計算及交叉驗證；然同委員建議，此部分未計總體均衡概念，將檢討並修正計算方式，於期末報告中呈現。</p>
<p>5. 投入產出分析法的確是衡量產業間關聯效果(含直接與間接效益)的可行方法。依此方法，可進行的方式建議如下：</p> <p>甲、由本研究的無線電頻率需求的估計去推估其對電信業最終需求的影響。</p> <p>乙、再利用李昂鐵夫逆矩陣$(I-A)^{-1}$，去推算由於電信業最終需求的增加如何對電信業本身和其他產業的產出影響(即直接與間接的關聯效果)。</p> <p>丙、由於頻率需求的變化會大幅擴張 AI 的應用，屬於一種技術進步，故應評估此技術變動對各產業可能帶來的生產效率的提升，即影響 I/O 表中的 A 矩陣係數的更新，可做模擬分析不同情境的經濟效益。</p> <p>丁、I/O 表中產業分類可依本研究</p>	<p>感謝建議。本計畫設計的經濟效益模型同委員建議第一及二點，利用頻譜釋出後電信業者建設行動通信設備的支出作為其最終需要，並利用李昂鐵夫逆矩陣的電信業一欄係數進行產業乘數效應計算；針對電業的分別到達產業議題，亦可由產業關聯程度係數進行乘數效應計算，擬規劃於期末報告中增補。惟技術進步議題甚於複雜，並涉及各別產業自身生產效率的關鍵影響要素問題，後續將持續思考新技術納入模型評估的可行性與驗證方法。</p>

審查意見	處理及回應
的需要加總成不同的分類。	
郭文忠委員	
1. 頻譜需求可進一步納入 SA 之進程，以及垂直應用之影響分析，以及低軌道衛星之頻譜需求。	感謝建議。本計畫將針對此部分加強增述相關模型設定情境的背景與進程，期中階段已完成修正：本計畫於頻率需求模型中的 RATG ₃ 已設定為 5G SA，並已說明 5G SA 特有技術—網路切片及其應用場域(具邊緣運算的個人消費性電子產品、車聯網及智慧製造)；同衛星已設定為 RATG ₄ 且其市場滲透率為萬分一，並已初步評估頻譜需求。
2. P.130 分析頻譜過多之不良影響，建議亦納入頻譜不足之影響。此外，第一點市場壟斷影響之推論和之前結果未必一致，宜引用參考之依據。	遵照辦理。本計畫已設計不同模型需求情境，然對情境描述將再補強，以供政策建議。另，本計畫亦將以質化說明增述頻譜作為稀有資源，其釋收對電信市場壟斷的影響，惟相關論述將持續檢討修正，於期末報告中呈現。
3. 產業關聯程度表(表 6-4)為計算經濟效益之關鍵，宜增加說明此表之依據和限制。	遵照辦理。將於期末報告書中新增關於產業關聯表與投入產出分析法的說明、依據與限制。
4. 建議擇一些關鍵參數進行敏感性分析，以了解這些參數選擇假設之影響。	遵照辦理。將於期末報告書中針對模型中的參數進行敏感性分析。
5. 建議可再和國際代表性國家比較之。	謝謝建議。本計畫後續可嘗試蒐集國際頻譜效率資料，惟頻譜經濟效益雖有計算概念的共識，但無標準計算模型及公式，故即使有其他國家頻譜經濟效益資料，仍無法確保各國計算基準及計算方式之一致性，故初步判斷，不易將本計畫計算結果作跨國比較。

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構
修正後期中報告工作小組檢視表

113.8.19

壹、履約工作完成進度說明

- 一、契約約定於 113 年 7 月 1 日前提出期中報告相關資料。台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司(下稱台灣野村)於 113 年 7 月 1 日繳交期中報告初稿，並無逾期。
- 二、本部於 113 年 7 月 26 日(五)上午 10 時整召開期中報告審查會議，會議決議經全體出席審查委員審核為修正後再審，台灣野村應依各審查委員意見及契約約定妥適修正，並於 113 年 8 月 14 日(三)下班前提供修正後期中報告電子檔及紙本 7 份，並提供審查委員意見回復對照表。台灣野村於 113 年 8 月 14 日繳交前述文件，無逾期情事。

貳、報告章節初審意見

委託辦理工作項目	報告章節 頁碼對照	工作小組初審意見
一、蒐集各主要國家及地區(包含但不限於英國、法國、德國、美國、澳洲、日本、南韓、新加坡、中國大陸、香港)電信市場(包含但不限於行動通信、衛星通信、物聯網)發展情形及頻譜釋出規劃，包括：		
(一)包含但不限於電信市場產值、用戶規模、使用頻段與頻寬，及其市場趨勢。	pp. 5-14、 pp. 24-69	受託單位已初步辦理本案委託工作項目。
(二)主管機關對不同電信市場無線電頻率用途(例如行動通信、衛星通信)之最新規劃。	pp. 24-69	受託單位已初步辦理本案委託工作項目。
(三)各主要國家及地區主管機關決定頻譜釋出方式(例如競價或審查)之設計及考量因素(例如頻譜價值、市場競爭程度、行政成本等)，及頻譜釋出之訂價方法。	pp. 24-69	一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、建議就各主要國家近期拍賣頻段之價格(包含底價、最終價格)予以整理，並以圖表呈現於後續報告中。
(四)各主要國家及地區頻率彈性使用(例如頻率共用、提供使用或其他次級交易等方式)開放情形與規範，包括： 1. 主管機關對各頻率用途彈性使用之開放程度(例如開放之頻段與頻寬大小)，及訂定之	pp. 24-69	受託單位已初步辦理本案委託工作項目。

委託辦理工作項目	報告章節 頁碼對照	工作小組初審意見
<p>相關規範(例如是否需申請、申請資格、申請文件、審查基準、申請人負擔義務等)與其訂定各規範之目的。</p> <p>2. 蒐集頻譜彈性使用實際案例，及其對電信市場與頻譜使用效率帶來之效益。</p>		
<p>二、訪查國內業者頻率需求意向：</p>		
<p>(一)調查國內業者就不同用途頻譜(例如行動通信、衛星通信及其他新興電信服務)需求意向，及其所需求之頻寬。</p>	<p>pp. 70-74</p>	<p>受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p>
<p>(二)調查國內業者預期取得所需求頻譜之效益及對於取得所需求頻譜需負擔成本之評估。</p>	<p>pp. 70-74</p>	<p>受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p>
<p>三、依所蒐集與訪查資料，以量化及非量化方式以分析軟體分別建立頻譜需求及經濟效益模型，相關說明如下：</p>		
<p>(一)模型輸入參數：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.市場相關參數(包括用戶使用習慣、用戶數量或人口密度、電信市場業者家數、頻率取得成本)。 2.政策相關參數(包括頻譜使用年限、負擔義務)。 3.設置網路相關參數(包括人口涵蓋率、基地台涵蓋範圍、設置網路成本)。 4.如於研究過程發現其他重要參數，或本部有其他指定輸入參數，應配合將其納入。 	<p>pp. 75-118、 pp. 135-141</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、部分報告陳述過於冗長，例如 p. 98、p. 100、p. 104、p. 105 及 p. 113 建議精簡敘述，或以條列式呈現。</p>
<p>(二)模型輸出參數：輸出無線電頻率不同用途(包括</p>	<p>pp. 119-127、 pp. 141-146</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p>

委託辦理工作項目	報告章節 頁碼對照	工作小組初審意見
<p>行動通信、衛星通信、物聯網)之不同頻段需求頻寬數量及對市場帶來之經濟效益。</p>		<p>二、對於頻譜需求量之計算結果無計算過程或計算公式，建議就相關內容予以補充。 三、建議加強對於物聯網頻寬需求及對市場帶來之經濟效益相關分析。</p>
<p>(三)模型驗證：以所蒐集或訪查資料，驗證模型之正確性(例如以釋出頻率時決標價格為頻率取得成本，檢視由模型求出之需求量是否會近似實際釋出頻寬)。</p>	<p>p. 128、p. 147</p>	<p>建議後續報告詳細說明模型驗證方法。</p>
<p>四、利用前述建立模型，就以下議題進行分析：</p>		
<p>(一)行動通信頻率釋出規劃：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.分析未來行動通信市場對頻率之需求：若未來再行釋出 5G 行動通信頻段，考量中遠期可能面臨情境(例如技術演進、市場家數變動等)，就該情境市場、政策及設置網路相關參數進行預測，並代入前述建立模型，以預估行動通信市場對頻率之需求。 2. 評估已釋出頻段(700MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz、2600MHz、3500MHz及 28000MHz 頻段)對市場帶來量化及非量化之經濟效益。 3.評估未來釋出頻率之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如低、中、高頻段、毫 	<p>pp. 148-152</p>	<p>受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p>

委託辦理工作項目	報告章節 頁碼對照	工作小組初審意見
<p>米波等)，釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>4. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若以頻譜彈性使用方式(例如提供使用或共用)開放使用，不同開放程度所產生量化及非量化之經濟效益。</p>		
<p>(二) 衛星通信頻率釋出規劃：</p> <p>1. 分析未來衛星通信市場對頻率之需求：若未來再行釋出衛星通信頻段，考量中遠期可能面臨情境(例如技術演進、國際規範變動等)，就該情境市場、政策及設置網路相關參數進行預測，並代入前述建立模型，以預估衛星通信市場對頻率之需求。</p> <p>2. 評估釋出頻率之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如 C、X、Ku、Ka、V 頻段等)釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>3. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：考量衛星通信與不同無線電頻率用途(例如行動通信)使用相同頻段之可能情境(例如衛星直連手機)，並分析其量化及非量化之經濟效</p>	<p>pp. 148-152</p>	<p>一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。</p> <p>二、建議受託單位加強頻譜彈性使用之分析。</p>

委託辦理工作項目	報告章節 頁碼對照	工作小組初審意見
益。		
<p>(三)新興電信服務頻率需求分析及頻率釋出規劃擬定：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.預測中遠期新興電信服務(例如車聯網、物聯網等)之市場參數、政策參數及其他參數，並代入前述建立模型，以預估新興電信服務對頻率之需求。 2.分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如低、中、高頻段、毫米波等)釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。 3.評估頻譜彈性使用之經濟效益：前揭所預估之頻率需求若以頻譜彈性使用方式(例如頻率共享)開放使用，其可採行之方法(例如分時分地使用、建立地理資料庫等)，並分析其量化及非量化之經濟效益。 	pp. 148-152	<ol style="list-style-type: none"> 一、受託單位已初步辦理本案委託工作項目。 二、建議受託單位加強頻譜彈性使用之分析。
五、依前揭所分析結果，就以下面向提供建議：		
<p>(一)頻率釋出規劃：考量行動通信、衛星通信及新興電信服務中遠期可能面臨情境(例如技術演進、市場家數變動等)，就以下面向(包含但不限於釋出機制、釋出流程、釋出頻寬及頻寬大小等)提出相關建議。</p>	pp. 148-152	受託單位已初步辦理本案委託工作項目。
<p>(二)頻譜彈性使用：</p>	pp. 148-152	一、受託單位已初步辦理本案委

委託辦理工作項目	報告章節 頁碼對照	工作小組初審意見
<p>1. 就行動通信、衛星通信及新興電信服務採不同彈性使用頻率方式(例如頻率提供使用或共用、頻率共享等)之可行性。</p> <p>2. 探討頻譜彈性使用所面臨公平性之問題，以及如何落實不同電信服務(例如行動通信、衛星通信等)頻譜使用之公平性。</p>		<p>託工作項目。</p> <p>二、建議受託單位加強頻譜彈性使用之分析。</p>
<p>六、本案應參酌國際發展經驗及前揭蒐集資料，辦理相關研習或座談活動至少 2 場次，邀請議題之相關利害關係者(並注意參與專家學者之性別均衡性)與會，蒐集國內現況及產官學等意見，必要時本部得要求加辦前述活動。</p>	<p>p. 154</p>	<p>受託單位已初步辦理 1 場座談會，並預計於 113 年 10 月再召開一場。</p>
<p>七、提供諮詢服務及協助資料彙整：於履約期間，提供本部就研究範圍內之業務諮詢，並配合本部資料彙整需求，以簡潔明瞭之形式(例如圖案或表格)提供彙整後之資料。</p>		<p>受託單位已依本案委託工作項目辦理。</p>

附錄五 期末報告審查會議意見及回應

壹、會議時間：113 年 11 月 25 日 下午 2 時 30 分

貳、會議地點：數位發展部 901 會議室

審查意見	處理及回應
曾文方委員	
8. 頻率需求及經濟效益建議加入與國際相關研究之比較。	遵照辦理，已補強說明頻率需求國際研究比較於 5.4.3 節 P.174 及頻率經濟效益國際研究比較於 6.3.4 節 P.195；皆以 GSMA 報告提出國際研究比較。
9. 高頻寬需求只有 AI? XR 跟數位學生?	謝謝委員提醒，本計畫在三大應用之一設定為邊緣運算裝置，通俗以 AI 說明之；詳參 5.2.1.2 節 P.156，此一服務應用的詳細技術規格定義，仍係包括虛擬實境及即時渲染(Rendering)，與 XR 及數位學生的核心技術相同，換言之係假定了邊緣運算裝置的高頻寬技術設定係已支援以上應用，因此未特設獨立估計。
10. 相關模型建議提供操作手冊。	遵照辦理，將於舉辦模型教育訓練時一併提供。
陳玟良委員	
5. 本委託案為「無線電頻率需求」及「經濟效益」等兩項模型建構之研究主軸，建議報告最前面章節宜有能明確呈現本計畫之重要研究結果，俾供快速了解及參考利用。	遵照辦理，已補強「研究重點結果」於 1.3 節 P.6。
6. 期末報告敘述頻率單位時，部分章節敘述頻率為 MHz，但部分以 Mhz 表示，建議整體研究內容之單位表示應一致。	遵照辦理。
7. 頻率需求模型計算之結果，建議宜有較詳細演算或模擬過程，避免僅呈現結果。例如： (一) P.148 表 5-14 「113 年頻率需求	遵照辦理，說明如下： (一) 組合 A 為原表上文「4G 在低頻有 632-652MHz, 678-698 MHz」，而組合 B 為原表上文「中頻有 2300-

審查意見	處理及回應
<p>模擬結果與供給現況分析」表格內「頻率需求估計」所稱組合 A 或組合 B 之意旨?請補充說明。</p> <p>(二) P.151 估算 119 年頻譜需求預估情境中,「表 5-16 頻率需求模擬結果」所稱「維持現況」、「自然成長」或「積極發展」涵義?</p>	<p>2390 MHz 可用頻段」,已補強說明於原處。</p> <p>(二) 補充說明三種情境內涵於 5.2.2 節 P.155,「維持現況」為 2030 年電信需求不成長且無新興應用需求、「自然成長」為根據「積極發展」的樂觀情境收斂以符合我國社經情境的成長幅度及「積極發展」為本計畫調研國際標竿市場情形。</p>
陳文字委員	
<p>1. 請確認我國各電信業者持有頻譜於 6 GHz 以下,是否為 2,450MHz?(P.99)。</p>	<p>謝謝委員提醒,已修正:2,450 MHz 不為 6 GHz 以下而係 6 GHz 含 28 GHz。</p>
<p>2. P.124 請補充說明 eq.(5.2)-(5.8)方程式中各變數之定義,如 λ、n、N_{ps}。</p>	<p>遵照辦理,已補充說明於 5.1.2.5.2 節 P.141。</p>
<p>3. 請補充說明計畫使用之 Erlang-B 之公式,及相關變數之定義。</p>	<p>遵照辦理,已補充說明於 5.1.2.5.2 節 P.140。</p>
<p>4. P.153 量化驗證之尖峰頻寬:請補充說明”實際資料導入計算結果 4920MHz”與”模型計算結果 5210MHz”這 2 項結果,所使用的重要參數或數據為何?</p>	<p>遵照辦理,說明已補強於 5.2.3.3 節 P.165,差異在參數輸入步驟:本計畫設計模型步驟前三步為計算為蒐集市場及網路參數以計算會發生的服務流量,然而本計畫亦蒐有業者提供的已發生的服務流量此樣的歷史資料;因此將跳過前三步驟直接輸入至模型中,則其他參數不變動,以提出模擬值與實際值的差異。</p>
郭文忠委員	
<p>1. 第二章國際比較加入小結,或可補強頻譜效益或滿意度等指標。</p>	<p>遵照辦理,本研究以第二章第四節作為國際比較小結,已於小節中補強各國頻譜分配、建設及通訊品質之比較說明,詳 P.88-P.93。</p>
<p>2. 第三章較單薄。</p>	<p>謝謝委員建議,已補強說明於 3.1.3.3 節 P.117-P.121。</p>
<p>3. 第五章可彙整參數表,增加重要變</p>	<p>遵照辦理,已補充附錄六 參數彙整表</p>

無線電頻率需求及經濟效益資料模型建構

審查意見	處理及回應
數之情境分析。	P.274。
4. 效益由投入產出 1.88 倍計算而來，可再敘明操作取得此數字之細節。另外，非三大電信相關投資或收入未納入，可列為研究限制。	遵照辦理，1.88 倍計算係使用主計總處發佈的《生產者價格交易表》進行本報告 6.2 及 6.3 式計算而得，詳細說明已補強於 6.1.2.1 節 P.179；研究限制已補強於 6.3.3 節 P.194。
5. 自然成長率等估計方式可再交代清楚。	遵照辦理，自然成長率係根據本計畫調研的「積極發展」情境探詢我國電信從業者意見而收斂調整以符合我國社經環境，已補充說明於 5.2.2 節 P.155。
6. 韓國於產業發展、頻譜數量、經濟特性和我國較接近，可多加補強比較。	遵照辦理，說明已補強於 2.4.3 節 P.90。
7. 物聯網於我國之發展欠佳，可由國際比較中具體提供建議。	遵照辦理，取產業結構近似的南韓為標竿對象比照我國情形，並已補說明於 7.2.2.1.2 節 P.205。
莊奕琦委員	
請假。	

期末報告工作小組檢視表

113.11.25

壹、履約工作完成進度說明

契約約定於 113 年 11 月 14 日前提出期末報告相關資料。台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司於 113 年 11 月 14 日繳交期末報告初稿，並無逾期。

貳、報告章節初審意見

委託辦理工作項目	報告章節頁碼對照	工作小組初審意見
<p>一、蒐集各主要國家及地區（包含但不限於英國、法國、德國、美國、澳洲、日本、南韓、新加坡、中國大陸、香港）電信市場(包含但不限於行動通信、衛星通信、物聯網)發展情形及頻譜釋出規劃，包括：</p>		
<p>(一) 包含但不限於電信市場產值、用戶規模、使用頻段與頻寬，及其市場趨勢。</p>	<p>pp. 5-10、pp. 25-30、pp. 31-32、pp. 35-36、pp. 42-43、pp. 47-48、pp. 51-52、pp. 55-56、pp. 59-pp. 60、pp. 66-67、pp. 71-72、pp. 80-98</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>

<p>(二) 主管機關對不同電信市場無線電頻率用途(例如行動通信、衛星通信)之最新規劃。</p>	<p>p. 29、p. 34、p. 39、p. 46、p. 50、p. 54、p. 58、p. 64、p. 70、p. 74、p. 78</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>
<p>(三) 各主要國家及地區主管機關決定頻譜釋出方式(例如競價或審查)之設計及考量因素(例如頻譜價值、市場競爭程度、行政成本等)，及頻譜釋出之訂價方法。</p>	<p>pp. 26-28、pp. 32-34、pp. 36-38、pp. 44-45、pp. 52-53、pp. 56-58、pp. 61-62、pp. 67-70、pp. 72-74、pp. 75-76</p>	<p>一、p. 20 提及英國、德國等國家有針對小型或新進業者的最低保護頻寬或專屬競標回合。請受託單位再補充說明其設計內容。</p> <p>二、p. 28 請受託單位補充近期美國拍賣案例(例如 3.7GHz 頻段 (Auction 107)及 3.45-3.55GHz 頻段(Auction 110)) 所採用之拍賣方式。</p> <p>三、請受託單位釐清 SCA 拍賣方式是否確由 CCA 改良而來，並請釐清 SCA 拍賣方式是否允許競標人投組合標。有關 SCA 拍賣方式請附上參考資料。</p>

<p>(四) 各主要國家及地區頻率彈性使用(例如頻率共用、提供使用或其他次級交易等方式)開放情形與規範，包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 主管機關對各頻率用途彈性使用之開放程度(例如開放之頻段與頻寬大小)，及訂定之相關規範(例如是否需申請、申請資格、申請文件、審查基準、申請人負擔義務等)與其訂定各規範之目的。 2. 蒐集頻譜彈性使用實際案例，及其對電信市場與頻譜使用效率帶來之效益。 	<p>pp. 28-29、p. 34、p. 38、p. 45、p. 49、p. 54、p. 58、pp. 62-63、p. 70、p. 74、p. 77</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>
<p>二、訪查國內業者頻率需求意向：</p>		
<p>(一) 調查國內業者就不同用途頻譜(例如行動通信、衛星通信及其他新興電信服務)需求意向，及其所需求之</p>	<p>pp. 99-103</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>

頻寬。		
(二) 調查國內業者預期取得所需求頻譜之效益及對於取得所需求頻譜需負擔成本之評估。	pp. 162-180	受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。
三、依所蒐集與訪查資料，以量化及非量化方式以分析軟體分別建立頻譜需求及經濟效益模型，相關說明如下：		
(一) 模型輸入參數： 1. 市場相關參數（包括用戶使用習慣、用戶數量或人口密度、電信市場業者家數、頻率取得成本）。 2. 政策相關參數（包括頻譜使用年限、負擔義務）。 3. 設置網路相關參數（包括人口涵蓋率、基地台涵蓋範圍、設置網路成本）。 4. 如於研究過程發現其他重要參數，或本部有其他指定輸入參數，應配合將其納入。	pp. 104-146、 pp. 161-166	p. 130 雖有說明表 5-5 之數值為「人口密度」乘以「服務比重」乘以「環境比重」，但建議舉例單一欄位計算公式（例如 SC9 人口密集區下行使用者密度參數，為使用表 5-3 及表 5-4 何項數值，以及環境比重 100% 之相乘結果，以利了解相關運算結果）
(二) 模型輸出參數：輸	p. 147-152、	一、p. 149 表 5-13 請補充

<p>出無線電頻率不同用途(包括行動通信、衛星通信、物聯網)之不同頻段需求頻寬數量及對市場帶來之經濟效益。。</p>	<p>p. 170</p>	<p>組合 A 及組合 B 意思。</p> <p>二、p. 151 表 5-16 「頻譜效率技術」請補充 4G 及 5G 量化數字。(如量化數字為 p. 135 之數值，請將該數值填於表 5-16)</p>
<p>(三) 模型驗證：以所蒐集或訪查資料，驗證模型之正確性 (例如以釋出頻率時決標價格為頻率取得成本，檢視由模型求出之需求量是否會近似實際釋出頻寬)。</p>	<p>p. 153-154、 p. 173</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>
<p>四、利用前述建立模型，就以下議題進行分析：</p>		
<p>(一) 行動通信頻率釋出規劃：</p> <p>1. 分析未來行動通信市場對頻率之需求：若未來再行釋出 5G 行動通信頻段，考量中遠期可能面臨情境(例如技術演進、市場家數變動等)，就</p>	<p>pp. 174-187</p>	<p>p. 181 請將圖 5-11 需求情境參數填於表 7-11，以利對照「維持現況」、「自然成長」等情境對應之量化數字。</p>

<p>該情境市場、政策及設置網路相關參數進行預測，並代入前述建立模型，以預估行動通信市場對頻率之需求。</p> <p>2. 評估已釋出频段 (700MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz、2600MHz、3500MHz 及 28000MHz 频段) 對市場帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>3. 評估未來釋出頻率之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各频段(例如低、中、高频段、毫米波等)，釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟效益。</p> <p>4. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若以頻</p>		
--	--	--

<p>譜彈性使用方式(例如提供使用或共用)開放使用，不同開放程度所產生量化及非量化之經濟效益。</p>		
<p>(二) 衛星通信頻率釋出規劃：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 分析未來衛星通信市場對頻率之需求：若未來再行釋出衛星通信頻段，考量中遠期可能面臨情境(例如技術演進、國際規範變動等)，就該情境市場、政策及設置網路相關參數進行預測，並代入前述建立模型，以預估衛星通信市場對頻率之需求。 2. 評估釋出頻率之經濟效益：分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段(例如 C、X、Ku、Ka、V 頻段等)釋出之可行性及可帶來量化及非量化之經濟 	<p>p. 189、p. 191</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>

<p>效益。</p> <p>3. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：考量衛星通信與不同無線電頻率用途（例如行動通信）使用相同頻段之可能情境（例如衛星直連手機），並分析其量化及非量化之經濟效益。</p>		
<p>(三) 新興電信服務頻率需求分析及頻率釋出規劃擬定：</p> <p>1. 預測中遠期新興電信服務（例如車聯網、物聯網等）之市場參數、政策參數及其他參數，並代入前述建立模型，以預估新興電信服務對頻率之需求。</p> <p>2. 分析前揭所預估之頻率需求若進行釋出，各頻段（例如低、中、高頻段、毫米波等）釋出之可行性及可帶來量化及非量</p>	<p>p. 183、p. 191</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>

<p>化之經濟效益。</p> <p>3. 評估頻譜彈性使用之經濟效益：前揭所預估之頻率需求若以頻譜彈性使用方式(例如頻率共享)開放使用，其可採行之方法(例如分時分地使用、建立地理資料庫等)，並分析其量化及非量化之經濟效益。</p>		
<p>五、依前揭所分析結果，就以下面向提供建議：</p>		
<p>(一) 頻率釋出規劃：考量行動通信、衛星通信及新興電信服務中遠期可能面臨情境(例如技術演進、市場家數變動等)，就以下面向(包含但不限於釋出機制、釋出流程、釋出頻寬及頻寬大小等)提出相關建議。</p>	<p>p. 193、p. 194</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>
<p>(二) 頻譜彈性使用：</p> <p>1. 就行動通信、衛星通信及新興電信服務採不同彈性使用頻率方式(例</p>	<p>p. 194</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>

<p>如頻率提供使用或共用、頻率共享等)之可行性。</p> <p>2. 探討頻譜彈性使用所面臨公平性之問題，以及如何落實不同電信服務(例如行動通信、衛星通信等)頻譜使用之公平性。</p>		
<p>六、本案應參酌國際發展經驗及前揭蒐集資料，辦理相關研習或座談活動至少 2 場次，邀請議題之相關利害關係者(並注意參與專家學者之性別均衡性)與會，蒐集國內現況及產官學等意見，必要時本部得要求加辦前述活動。</p>	<p>pp. 201-211</p>	<p>受託單位已依本案委託辦理工作項目辦理。</p>
<p>七、提供諮詢服務及協助資料彙整：於履約期間，提供本部就研究範圍內之業務諮詢，並配合本部資料彙整需求，以簡潔明瞭之形式</p>		

(例如圖案或表格)提供彙整後之資料。

參、期末報告勘誤表：

項次	期末報告對應章節頁碼	期末報告工作小組檢視建議
1	封面	「期末」請修正為「期未」
2	p. 3	請確認 EMEA 為何。
3	p. 4	「我國不論...」請確認「不論」是否為贅字。
4	p. 9	「加拿到」請釐清是否為「加拿大」。
5	p. 10	「(Virtual reality, VR)」請修正為「(Virtual Reality, VR)」
6	p. 10	「連接設備密度容量 106-108km ² 」請釐清是否應為「連接設備密度容量 10 ⁶ -10 ⁸ 裝置數 /km ² 」。
7	p. 19	「始競標趨於保守」請修正為「使競標趨於保守」。
8	p. 20	「最低保戶頻寬」請確認是否應為「最低保護頻寬」。
9	p. 20、p. 28、p. 62	「GHZ」請修正為「GHz」，「Mhz」請修正為「MHz」。
10	p. 23	「直接成本與間接成本之計算可能需複雜之計算」請重新修正為較通順語句。
11	p. 28	「NITA」請修正為「NTIA」。

12	p. 28	「(Single Round Auctions)」請刪除多餘右括號。
13	p. 28	「中標」請修正為「得標」。
14	p. 28	「聯通訊傳播委員會」請修正為「聯邦通訊傳播委員會」
15	p. 28	「負則」請修正為「負責」。
16	p. 29	「均非別...」請釐清是否為「均分別...」。
17	p. 29	「已換照」請修正為「以換照」。
18	p. 29	「界時」請修正為「屆時」。
19	p. 31	「4,5GHz」請修正為「4.5GHz」。
20	p. 38	「Stage X 之...」請釐清「之」是否為贅字。
21	p. 41	「2.1GHz 中共...」請釐清是否為「2.1GHz 總共...」。
22	p. 56	表 2-11 註解 1.8Ghz、3.6Ghz、26Ghz 之「h」應為「H」，請修正。
23	p. 57	共 3 處「AMCA」請修正為「ACMA」。
24	p. 98	Project Kuiper 和 Starlink 為計畫，非公司名稱，請修正。
25	p. 99	「期末階段」文字請刪除，並請重新調整語句。
26	p. 103	「供如效率影響頻率需求」請釐清本段文字意思。

27	p. 103	「亦需要頻率頻段的支援才得出維護雙核心網路，...」請修正為較通順語句。
28	p. 111	「國家通訊委員會」請修正為「國家通訊傳播委員會」。
29	p. 119	「『電信密度』有仨」請修正為「『電信密度』有三」。
30	p. 121	「(Session Arrival Rate per)」請修正為「(Session Arrival Rate per user)」
31	p. 122	「本計畫劃」請刪除贅字。
32	p. 123	「基台地」請修正為「基地台」
33	p. 133	「基地台涵面積」請修正為「基地台涵蓋面積」。
34	p. 140	「本計畫」請修正為「本計畫」。
35	p. 142	「蒐集我相關」請刪除贅字。
36	p. 142、p. 183	「標竿」請修正為「標竿」。
37	p. 143	「作為作為」請刪除贅字。
38	p. 145	「並蒐集」請修正為「及」以通順語句。
39	p. 147	「已蒐集有」請刪除贅字。
40	p. 149	請確認「340」是否為「350」。
41	p. 153	「並本計畫對較正方案解決的意見回覆如後章座談會意見整理」請確認本句意思。

42	p. 153	請確認「本計畫使用上一小節所述的五種模擬情境的計算結果(如下表)」之敘述修正為「本計畫使用上一小節所述的五種模擬情境的計算結果(如表 5-16)」是否較合適。
43	p. 156	請確認「接續計算」意思。
44	p. 156	公式(6.1)「衛星通信服務」請修正為「衛星通信服務收入」。
45	p. 157	「經濟效益模主幹」請修正為「經濟效益模型主幹」。
46	p. 158	公式(6.3)為 $[I-A]^{-1}$ ，請受託單位確認「需要對[A]進行反矩陣計算」之敘述是否有誤。
47	p. 158	請確認「預計彙整」之「預計」是否為贅字。
48	p. 159	請確認「所增加其」之「其」是否為贅字。
49	p. 177	「(Average Revenue pre User, ARPU)」請修正為「(Average Revenue Per User, ARPU)」
50	p. 179	請確認「中華認為 AI 手機持續成長下帶動訊務量成長」敘述是否正確。
51	p. 182	請確認「中華對整體市場的頻率需求看法為 1,440MHz」敘述是否正確。

附錄六 參數彙整表

第一節 市場參數

一. 使用者密度參數

(一) 維持現況

網路服務分類		維持現況							
		人口密集區		偏鄉		山地部落		離島	
		下行	上行	下行	上行	下行	上行	下行	上行
1	邊緣運算終端、車聯網	0	0	0	0	0	0	0	0
2	IPTV	30,501	0	64	0	11	0	461	0
3	遠距學習	21,519	0	45	0	8	0	326	0
4	VOIP	72,828	72,828	153	153	26	26	1,102	1,102
5	撥號通話	0	0	0	0	0	0	0	0
6	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
7	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
8	線上影片	2,456	0	5	0	1	0	37	0
9	廣播	3,813	0	8	0	1	0	58	0
10	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
11	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
12	資料瀏覽	127,110	0	267	0	46	0	1,923	0
13	即時通訊	207,176	82,974	435	174	75	30	3,134	1,255
14	金融交易	45,946	11,438	97	24	17	4	695	173
15	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
16	雲端同步	47,303	47,303	99	99	17	17	716	716
17	物聯網	0	0	0	0	0	0	0	0
18	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
19	電子郵件	36,640	36,640	77	77	13	13	554	554
20	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0

(二) 自然成長

網路服務分類		自然成長							
		人口密集區		偏鄉		山地部落		離島	
		下行	上行	下行	上行	下行	上行	下行	上行
1	邊緣運算終端、車聯網	21,312	21,312	45	45	8	8	322	322
2	IPTV	30,501	0	64	0	11	0	461	0
3	遠距學習	21,519	0	45	0	8	0	326	0
4	VOIP	72,828	72,828	153	153	26	26	1,102	1,102
5	撥號通話	0	0	0	0	0	0	0	0
6	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
7	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
8	線上影片	2,456	0	5	0	1	0	37	0
9	廣播	3,813	0	8	0	1	0	58	0
10	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
11	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
12	資料瀏覽	127,110	0	267	0	46	0	1,923	0
13	即時通訊	217,535	87,123	457	183	79	32	3,291	1,318
14	金融交易	48,243	12,010	101	25	17	4	730	182
15	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
16	雲端同步	47,776	47,776	100	100	17	17	723	723
17	物聯網	10,047	10,047	21	21	4	4	152	152
18	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
19	電子郵件	37,007	37,007	78	78	13	13	560	560
20	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0

(三) 積極成長

網路服務分類		積極成長							
		人口密集區		偏鄉		山地部落		離島	
		下行	上行	下行	上行	下行	上行	下行	上行
1	邊緣運算終端、車聯網	52,097	52,097	109	109	19	19	788	788
2	IPTV	30,501	0	64	0	11	0	461	0
3	遠距學習	21,519	0	45	0	8	0	326	0
4	VOIP	72,828	72,828	153	153	26	26	1,102	1,102
5	撥號通話	0	0	0	0	0	0	0	0
6	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
7	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
8	線上影片	2,456	0	5	0	1	0	37	0
9	廣播	3,813	0	8	0	1	0	58	0
10	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
11	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
12	資料瀏覽	127,110	0	267	0	46	0	1,923	0
13	即時通訊	217,535	87,123	457	183	79	32	3,291	1,318
14	金融交易	48,243	12,010	101	25	17	4	730	182
15	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
16	雲端同步	47,776	47,776	100	100	17	17	723	723
17	物聯網	30,142	30,142	63	63	11	11	456	456
18	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0
19	電子郵件	37,007	37,007	78	78	13	13	560	560
20	無定義	0	0	0	0	0	0	0	0

二. 基地台涵蓋

(一) 基地台涵蓋面積

基地台種類	基地台涵蓋面積			
	都會密集	偏鄉	離島	部落
大型 (Macro)	0.013045	0.100000	0.100000	0.100000
微型 (Micro)	0.070000	0.070000	0.070000	0.070000
微微型 (Pico)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
熱點 (Hot Spot)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

(二) 基地台涵蓋率

基地台種類	基地台涵蓋率			
	都會密集	偏鄉	離島	部落
大型 (Macro)	100%	15%	46%	2%
微型 (Micro)	53%	0%	1%	0%
微微型 (Pico)	0%	0%	0%	0%
熱點 (Hot Spot)	0%	0%	0%	0%

三. 用戶比率

(一) 維持現況

維持現況			
4G	5G NSA	5G SA	衛星
64.9999%	35.0000%	0.0000%	0.0001%

(二) 自然成長

自然成長			
4G	5G NSA	5G SA	衛星
35.0000%	34.9999%	30.0000%	0.0001%

(三) 積極成長

積極成長			
4G	5G NSA	5G SA	衛星
0.0000%	49.9999%	50.0000%	0.0001%

第二節 技術參數

一. 網路技術

(一) 平均連網次數

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	平均連網次數	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	1.200	1.200
2	會話	高	IPTV	0.192	0.411
3	會話	中	遠距學習	0.388	0.388
4	會話	低	VOIP	1.290	1.290
5	會話	極低	撥號通話	1.180	1.180
6	串流	超高速	無定義	1.200	1.200
7	串流	高	無定義	0.022	0.239
8	串流	中	線上影片	0.208	0.208
9	串流	低	廣播	0.823	0.823
10	串流	極低	無定義	0.823	0.894
11	互動	超高速	無定義	0	0
12	互動	高	資料瀏覽	3.655	0.352
13	互動	中	即時通訊	0.267	1.527
14	互動	低	金融交易	0.265	0.265
15	互動	極低	無定義	2.497	17.119
16	背景	超高速	雲端同步	0	0
17	背景	高	物聯網	0.951	0.726
18	背景	中	無定義	0.411	0.411
19	背景	低	電子郵件	0.411	0.411
20	背景	極低	無定義	0.411	0.411

(二) 平均服務流量

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	平均服務流量	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	100,000	100,000
2	會話	高	IPTV	13,920	9,920
3	會話	中	遠距學習	643	630
4	會話	低	VOIP	96	96
5	會話	極低	撥號通話	16	16
6	串流	超高速	無定義	100,000	100,000
7	串流	高	無定義	13,779	3,069
8	串流	中	線上影片	1,030	1,030
9	串流	低	廣播	144	144
10	串流	極低	無定義	16	16
11	互動	超高速	無定義	100,000	30,000
12	互動	高	資料瀏覽	13,829	9,761
13	互動	中	即時通訊	1,453	1,369
14	互動	低	金融交易	125	125
15	互動	極低	無定義	11	11
16	背景	超高速	雲端同步	20,000	20,000
17	背景	高	物聯網	11,227	12,404
18	背景	中	無定義	582	582
19	背景	低	電子郵件	144	144
20	背景	極低	無定義	16	16

(三) 平均服務用時

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	平均服務用時	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	120	120
2	會話	高	IPTV	480	7,406
3	會話	中	遠距學習	241	270
4	會話	低	VOIP	1,048	4,010
5	會話	極低	撥號通話	282	282
6	串流	超高速	無定義	150	150
7	串流	高	無定義	1,190	467
8	串流	中	線上影片	128	67
9	串流	低	廣播	20	30
10	串流	極低	無定義	4	1,445
11	互動	超高速	無定義	0	0
12	互動	高	資料瀏覽	37	23
13	互動	中	即時通訊	36	45
14	互動	低	金融交易	124	33
15	互動	極低	無定義	37	48
16	背景	超高速	雲端同步	0	0
17	背景	高	物聯網	44	125
18	背景	中	無定義	82	35
19	背景	低	電子郵件	21	21
20	背景	極低	無定義	25	25

(四) 封包大小

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	封包大小	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	12.00	12.00
2	會話	高	IPTV	12.00	12.00
3	會話	中	遠距學習	3.64	3.64
4	會話	低	VOIP	0.64	0.64
5	會話	極低	撥號通話	0.47	0.47
6	串流	超高速	無定義	12.00	12.00
7	串流	高	無定義	7.19	7.19
8	串流	中	線上影片	12.00	12.00
9	串流	低	廣播	1.88	1.88
10	串流	極低	無定義	1.88	1.88
11	互動	超高速	無定義	12.00	12.00
12	互動	高	資料瀏覽	12.00	12.00
13	互動	中	即時通訊	8.17	8.17
14	互動	低	金融交易	0.82	0.82
15	互動	極低	無定義	0.38	0.38
16	背景	超高速	雲端同步	12.00	12.00
17	背景	高	物聯網	12.00	12.00
18	背景	中	無定義	10.95	10.95
19	背景	低	電子郵件	1.88	1.88
20	背景	極低	無定義	1.88	1.88

(五) 封包長

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	封包長	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	982	982
2	會話	高	IPTV	982	982
3	會話	中	遠距學習	188	188
4	會話	低	VOIP	7	7
5	會話	極低	撥號通話	3	3
6	串流	超高速	無定義	982	982
7	串流	高	無定義	481	481
8	串流	中	線上影片	982	982
9	串流	低	廣播	117	117
10	串流	極低	無定義	117	117
11	互動	超高速	無定義	982	982
12	互動	高	資料瀏覽	982	982
13	互動	中	即時通訊	422	422
14	互動	低	金融交易	9	9
15	互動	極低	無定義	2	2
16	背景	超高速	雲端同步	982	982
17	背景	高	物聯網	982	982
18	背景	中	無定義	738	738
19	背景	低	電子郵件	117	117
20	背景	極低	無定義	117	117

(六) 延遲時間

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	延遲時間	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	0.005	0.005
2	會話	高	IPTV	0.005	0.005
3	會話	中	遠距學習	0.005	0.005
4	會話	低	VOIP	0.005	0.005
5	會話	極低	撥號通話	0.005	0.005
6	串流	超高速	無定義	0.005	0.005
7	串流	高	無定義	0.010	0.010
8	串流	中	線上影片	0.010	0.010
9	串流	低	廣播	0.010	0.010
10	串流	極低	無定義	0.010	0.010
11	互動	超高速	無定義	0.020	0.020
12	互動	高	資料瀏覽	0.020	0.020
13	互動	中	即時通訊	0.020	0.020
14	互動	低	金融交易	0.020	0.020
15	互動	極低	無定義	0.020	0.020
16	背景	超高速	雲端同步	0.020	0.020
17	背景	高	物聯網	0.020	0.020
18	背景	中	無定義	0.020	0.020
19	背景	低	電子郵件	0.020	0.020
20	背景	極低	無定義	0.020	0.020

(七) 阻擋率

服務類別	流量分級	傳輸分級	網路服務	阻擋率	
				下行	上行
1	會話	超高速	邊緣運算終端、車聯網	0.010	0.010
2	會話	高	IPTV	0.010	0.010
3	會話	中	遠距學習	0.010	0.010
4	會話	低	VOIP	0.010	0.010
5	會話	極低	撥號通話	0.010	0.010
6	串流	超高速	無定義	0.010	0.010
7	串流	高	無定義	0.010	0.010
8	串流	中	線上影片	0.010	0.010
9	串流	低	廣播	0.010	0.010
10	串流	極低	無定義	0.010	0.010
11	互動	超高速	無定義	0.010	0.010
12	互動	高	資料瀏覽	0.010	0.010
13	互動	中	即時通訊	0.010	0.010
14	互動	低	金融交易	0.010	0.010
15	互動	極低	無定義	0.010	0.010
16	背景	超高速	雲端同步	0.010	0.010
17	背景	高	物聯網	0.010	0.010
18	背景	中	無定義	0.010	0.010
19	背景	低	電子郵件	0.010	0.010
20	背景	極低	無定義	0.010	0.010

二. 基地台技術

(一) 4G

項目		單位	4G			
			大型	微型	微微型	熱點
可支援最大傳輸速率	上行	kbit/s	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
	下行		1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
可支援最大移動速率		km/h	250	250	250	250
保護帶		MHz	0	0	0	0
最小頻寬		MHz	5	5	5	5
重疊網路數量		個	1	1	1	1
是否支援群體傳播		有=1/ 無=0	0	0	0	0
頻譜顆粒度		MHz	10	10	10	10

(二) 5G NSA

項目		單位	5G NSA			
			大型	微型	微微型	熱點
可支援最大傳輸速率	上行	kbit/s	20,000,000	20,000,000	20,000,000	20,000,000
	下行		10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000
可支援最大移動速率		km/h	500	500	500	500
保護帶		MHz	0	0	0	0
最小頻寬		MHz	5	5	5	5
重疊網路數量		個	1	1	1	1
是否支援群體傳播		有=1/ 無=0	0	0	0	0
頻譜顆粒度		MHz	10	10	10	10

(三) 5G SA

項目		單位	5G SA			
			大型	微型	微微型	熱點
可支援最大傳輸速率	上行	kbit/s	20,000,000	20,000,000	20,000,000	20,000,000
	下行		10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000
可支援最大移動速率		km/h	500	500	500	500
保護帶		MHz	0	0	0	0
最小頻寬		MHz	5	5	5	5
重疊網路數量		個	1	1	1	1
是否支援群體傳播		有=1/ 無=0	0	0	0	0
頻譜顆粒度		MHz	10	10	10	10

(四) 衛星

項目		單位	衛星			
			大型	微型	微微型	熱點
可支援最大傳輸速率	上行	kbit/s	700,000	700,000	700,000	700,000
	下行		20,000	20,000	20,000	20,000
可支援最大移動速率		km/h	250	250	250	250
保護帶		MHz	0	0	0	0
最小頻寬		MHz	5	5	5	5
重疊網路數量		個	1	1	1	1
是否支援群體傳播		有=1/ 無=0	0	0	0	0
頻譜顆粒度		MHz	10	10	10	10

三. 頻譜效率

基地台種類	基地台涵蓋率			
	4G	5G NSA	5G SA	衛星
大型 (Macro)	4	12	12	3
微型 (Micro)	5	15	15	3
微微型 (Pico)	5	15	15	3
熱點 (Hot Spot)	7.3	21.9	21.9	3