

財團法人電信技術中心出國報告

出席泰國 2023 年 第 9 屆亞太頻譜管理會議 出國報告書

單位名稱：財團法人電信技術中心

姓名職稱：徐玉珊 資深研究員兼副理
王資寧 副研究員

派赴國家：泰國曼谷

出國期間：2023 年 4 月 24 日至 2023 年 4 月 27 日止

報告日期：2023 年 5 月 27 日

目錄

壹、 目的.....	2
貳、 行程.....	3
參、 會議過程及內容	5
肆、 心得及建議	56
伍、 附件：相關照片及資料	58

壹、目的

亞太頻譜管理會議（Asia-Pacific Spectrum Management Conference）為全球頻譜系列（Global Spectrum Series）之區域會議之一，於 2013 年召開首次會議，其後每年舉辦一次，主要探討亞太地區頻率規劃、分配與管理之區域性會議，扮演各國主管機關、產業代表和其他利益關係人交流的平臺。2023 年為第 9 屆亞太頻譜管理會議，本次會議討論主題包括 WRC-23 於亞太地區之主要目標、關注於 3.5 GHz、6 GHz、7 GHz 與毫米波頻段規劃與運用、頻譜藍圖與展望、邁向 5G Advanced 之型塑未來連結、衛星與非地面網路未來形態、提供可負擔之最後一哩網路連結等，邀請亞太地區主管機關、不同頻率用途之產業代表、國際組織或研究單位分享觀點。

本中心為執行數位發展部「ITU 及國內頻率資源管理規範研究」補助計畫案，達成參與國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）相關會議之工作目標，由徐玉珊資深研究員兼副理及王資寧副研究員出席泰國舉辦之 2023 年第九屆亞太頻譜管理會議，蒐集亞太地區國家頻譜管理發展動態，並建立與專家之國際鏈結。

貳、行程

表 1：出國行程表

日期	行程
2023 年 4 月 24 日 09:25~12:10	差旅時間：臺灣桃園國際機場至曼谷蘇凡納布國際機場 (搭乘中華航空 CI831)
2023 年 4 月 25 至 26 日 9:00-18:00	參加 2023 年第 9 屆亞太頻譜管理會議(9th ASIA-PACIFIC Spectrum Management Conference)兩天議程 主要參與議題： • WRC-23 之亞太地區的總體目標 • 5G 時代的頻譜分配與政策 • 3.5 GHz、6 GHz、7-24 GHz 頻段發展與規劃 • 衛星和非地面網路的未來形態
2023 年 4 月 27 日 13:20~18:00	差旅時間：曼谷蘇凡納布國際機場至臺灣桃園國際機場 (搭乘中華航空 CI832)

表 2：會議參與進程

2023 年 4 月 25 日	
時間	主題
09:00 - 09:35	Opening Ceremony and Keynote Presentations
09:35 - 11:25	Session 1: WRC-23 - what should be the overall objectives for the APAC region and how can these be achieved?
11:25 - 12:30	Session 2: 6GHz band - exploring the progress towards a harmonised and balanced approach for the region
12:30 - 13:25	Lunch
13:25 - 14:40	Session 3: Meeting the needs of all users in the 3.5GHz range - where does the balance lie?
14:40 - 15:45	Session 4: Spectrum 'Short' i: Meeting the spectrum demands of Fixed Wireless Access (FWA)
15:45 - 16:50	Session 5: Last mile connectivity - exploring the technological, policy and spectrum solutions for affordable last-mile and rural connectivity solutions across different environments
16:50 - 17:35	Session 6: Spectrum 'Short' ii: The evolution of backhaul services - avoiding a bottleneck as the 5G ecosystem matures

2023 年 4 月 26 日	
時間	主題
0915 - 10:35	Session 7: Country Case Study Session - A look at spectrum roadmaps across the region
11:00 - 12:25	Session 8: Shaping the future connectivity landscape - progress in the continued rollout and development of 5G and lessons learnt
12:25 - 13:15	Session 9: A focus on the 7GHz - 24GHz bands - can a 'win-win' solution be found?
13:15 - 14:10	Lunch
14:00 - 15:15	Session 10: mmWave - unlocking the potential of these high value frequencies
15:15 - 16:25	Session 11: The future shape of satellites and non-terrestrial networks - changing connectivity and business models in a fast evolving sector
16:25 - 16:40	Closing Remarks

參、會議過程及內容

一、開幕

(一) Mario Maniewicz (ITU 無線電通信局局長)

會議首先由 ITU 無線電通信局 Mario Maniewicz 局長致詞。Mario Maniewicz 局長表示，由於近幾年 COVID-19 影響，亞太頻譜管理會議皆以線上形式舉辦，今年終於可採取實體會議方式邀請來自各地的專家學者共聚一堂。2023 年底 ITU 舉辦的 WRC-23 大會對全球無線通信產業具有重要的意義，亞太地區在此會議前已取得一些值得注意的成就，並且陸續進行各種會議以做準備。上個月（2023 年 3 月底）於日內瓦舉行大會會前會（Conference Preparatory Meeting, CPM）第二次會議，這次會議的成果匯集成超過 1,000 頁的 CPM 報告，總結和分析 ITU-R 成員進行的廣泛技術研究的結果，並描述了滿足 WRC-23 各項討論議題的可能方法和監管解決方案，同時包含許多觀點，表達了對討論議題的解決方案之推論、理由和與主管機關的關切點。對於每項議題都有相當的研究結果，以及各個國家或地區為解決該議題所提出的方法。

值得注意的是，議題 1.2 正在討論 6 個頻段是否提供予 IMT 使用，並提出了幾種方法來解決各候選頻段的問題。包含(1)不改變現有使用情形，以保護既有服務免受干擾；(2)主管機關正在規劃新設計或其他應用；(3)正在討論頻率分配表中的分配或最終決定，以及修改現有工作流程；(4)添加適用新的地區或國家，提出適用情形或附加條件等方法。

議題 10 是一個非常有趣的議題，其內容為確定下次會議(WRC-27)的議題，除了將討論新的 IMT 頻率範圍（目前尚未定案）。另一方面，隨著低軌衛星（Low earth orbit, LEO）通信興起，對國際監管框架的需求變得越來越重要，同時亦需要制定衛星系統的協調程序以及服務間技術和營運共享。在未來四年的研究中，我們將聽到更多關於衛星服務運作的資訊。

本次會議作為 WRC 流程的一部分但非正式活動，目的在促進資訊交流和協議，並說明每個地區在會議共同程序方面的進展情況。今年 9 月還有另一個全球性的會面機會，鼓勵主管機關和地區代表之間進行所有正式和非正式的交流，以便在 WRC 23 之前找到全球解決方案。

總而言之，WRC-23 會議將於 2023 年 11 月 20 日至 12 月 15 日在杜拜舉行，希望能在會議上再次見到大家。

(二) Masanori Kondo (亞太地區電信聯盟秘書長)

本次亞太頻譜管理會議為混合型會議，聚集亞太地區各國與會代表，既有現場參與者，也有線上參與者，旨在促進亞太地區及其他地區相關利害關係人間的討論，了解全球頻譜管理的最佳實踐方式。通信技術對於實現聯合國可持續發展目標至關重要。由於其重要性，亞太會議會前會 (APT Conference Preparatory Group, APG) 透過近幾年 COVID-19 凸顯數據通信技術在維持連接性的重要性。關於移動性、融合和資訊方面，APG 致力於推廣無線技術應用，促進頻譜協調。然而，隨著數據流量的增加和新興無線技術的出現，必須重新審視有效管理頻譜資源之作法。APG 舉辦一系列的講座，以滿足成員對相關主題的教育需求，討論亞太地區 5G 在不同國家的應用情況、3.5GHz 頻段、固定無線接取的頻譜需求與連接，以及頻譜管理相關的其他主題。

(三) Saneh Saiwong (泰國國家通訊委員會首席工程專家)

近來，全球通信產業一直面臨著多項挑戰。最具影響力之一是由於無線設備的成長，對頻譜的需求不斷增加。透過參加本次會議與各方專家學者提供全面的觀點和資訊交流。本次亞太頻譜管理會議以實體和線上並行舉辦，這是 COVID-19 爆發之後的常態，就像大多數國家一樣，泰國在 COVID-19 大流行時對該國經濟產生重大影響並面臨許多挑戰。許多人失去工作並嘗試尋求收入，這加劇了數位落差。數位落差使邊緣化人群難以獲得教育、工作機會，因此改善各種電信服務的接取有助於緩解此一問題。

在 COVID-19 之前，泰國於 2020 年舉行了對電信領域重大影響的拍賣，本次拍賣頻段為 700 MHz、1800 MHz (無得標者)、2.6 GHz、26 GHz。自 2020 年以來，泰國啟動 5G 服務，並已證明可以提高消費者的服務品質。近期，泰國國家廣播與通訊委員會 (National Broadcasting and Telecommunications Commission, NBTC) 於 2023 年 4 月 29 日起接受 5925-6425 GHz 頻段之申請，並提出相關測試報告。

本次泰國身為舉行亞太頻譜管理會議的地主國，期許所有參與者在會議中盡情交流，同時不忘享受泰國道地的美食與文化。

二、 WRC-23 -亞太地區的總體目標是什麼？如何實現這些目標？

WRC-23 會議召開之前，除了已於韓國舉行 APT WRC-23（APT Conference Preparatory Group for WRC-23, APG-23）會議之籌備會議，也已經在瑞士日內瓦召開另一場次籌備會議。本次會議聚焦討論各項議題，並為最後一場 APG-23 會議（8 月舉行）做準備，以滿足不斷成長的連網需求。

（一）因應 WRC-23 之亞太地區籌備工作

亞太地區涵蓋整個 ITU 的第 3 區，其人口涵蓋為 ITU 各區之中最大。由於亞太地區之人口、地理、文化和發展具有多樣性，對頻率需求不盡相同，因此 APG 係以包容（Inclusive）的態度討論各項議題。亞太地區於 WRC-23 提出的議題包括議題 1.2（IMT 使用 7025-7125 MHz 頻段）、議題 1.4（搭載行動基地臺之高空通訊平臺）、議題 1.6（次軌道飛行器）、議題 1.7（航空 AMS(R)S 分配 117.975-137 MHz）和議題 1.11c（將額外衛星系統納入全球海上遇險與安全系統）（參見下圖），透過會議討論，以凝聚共識。

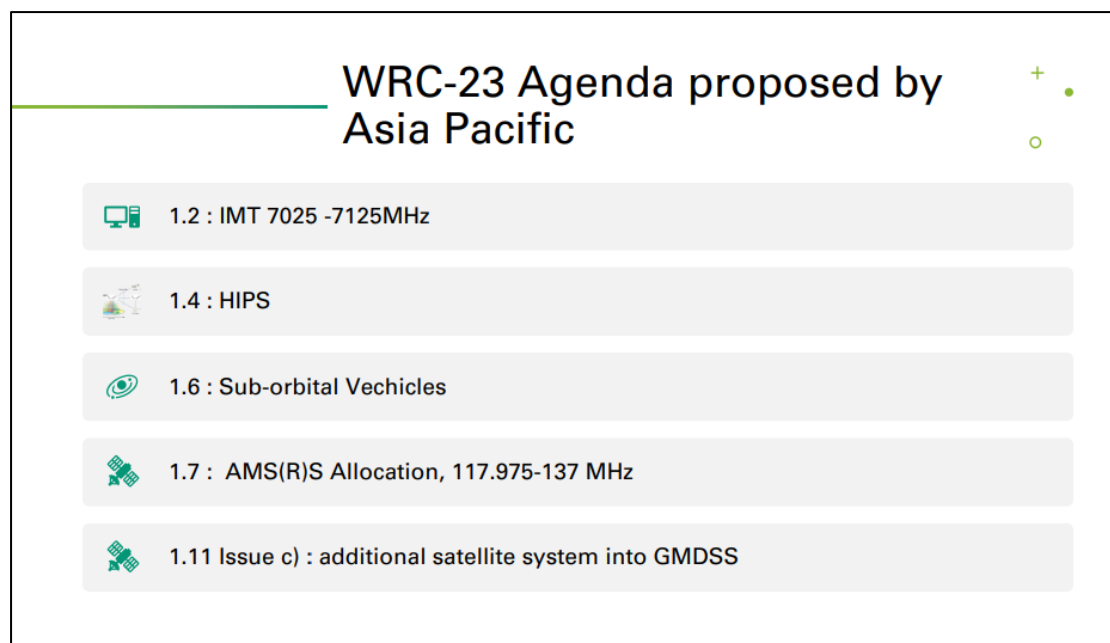


圖 1：亞太地區於 WRC-23 提出的議題

資料來源：APT (2023), Asia Pacific Preparation for WRC23

(二) WRC-23 與行動連線

現今 5G 發展雖然仍處於早期階段，但仍極具發展潛力。截至目前為止，全球手機用戶約有 54 億戶，其中約有 15 億戶使用 5G，約占總體用戶的 1/4，其中亞太地區用戶數約 1.1 億戶，預估未來 10 年將成長 3 倍。隨著行動通訊的發展，將帶動經濟成長、提高生產力、減少品質落差等。然而，5G 的普及也為網路建設帶來壓力，對此 GSMA 認為在 WRC-23 中確保行動通訊之頻率資源非常重要，特別是不同頻段之使用。

以低頻段而言，有助於擴大網路涵蓋，特別是偏鄉地區，且網路下載速率與頻率容量密切相關，增加低頻段之頻譜供給量，將可使偏鄉地區享受高品質的服務。另一方面，中頻段對於實現 5G 效能十分重要，GSMA 評估至 2030 年，每個國家平均需求約 2 GHz 頻寬之中頻段頻率資源，以滿足未來的 5G 發展需求。

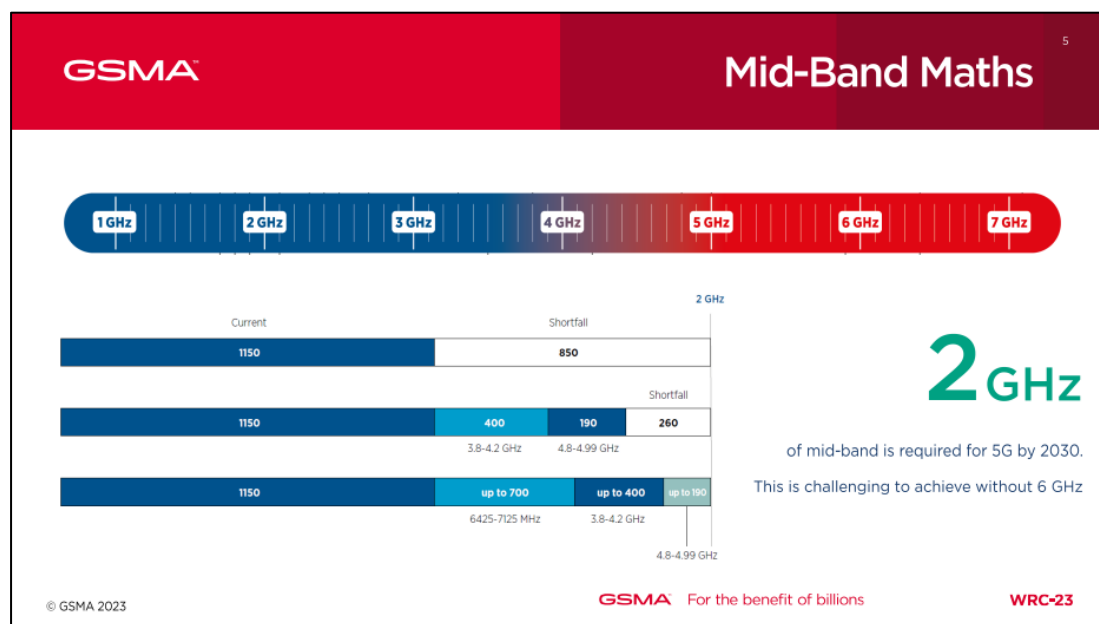


圖 2：預估未來中頻段頻需求

資料來源：GSMA (2023), WRC-23 and mobile connectivity

展望未來，預估 2030 年中頻段頻率作為 5G 頻段所帶來的經濟效益占全頻段的 2/3，倘若無法提供足夠的中頻段頻率資源，將損及潛在的經濟效益，因為較少的頻率意味著較慢的網路速率，隨著用戶增加，將限制 5G 網路的使用。最後，GSMA 再次強調頻率資源對於行動通訊發展之重要性，並且將有助於促進生態系統的發展。

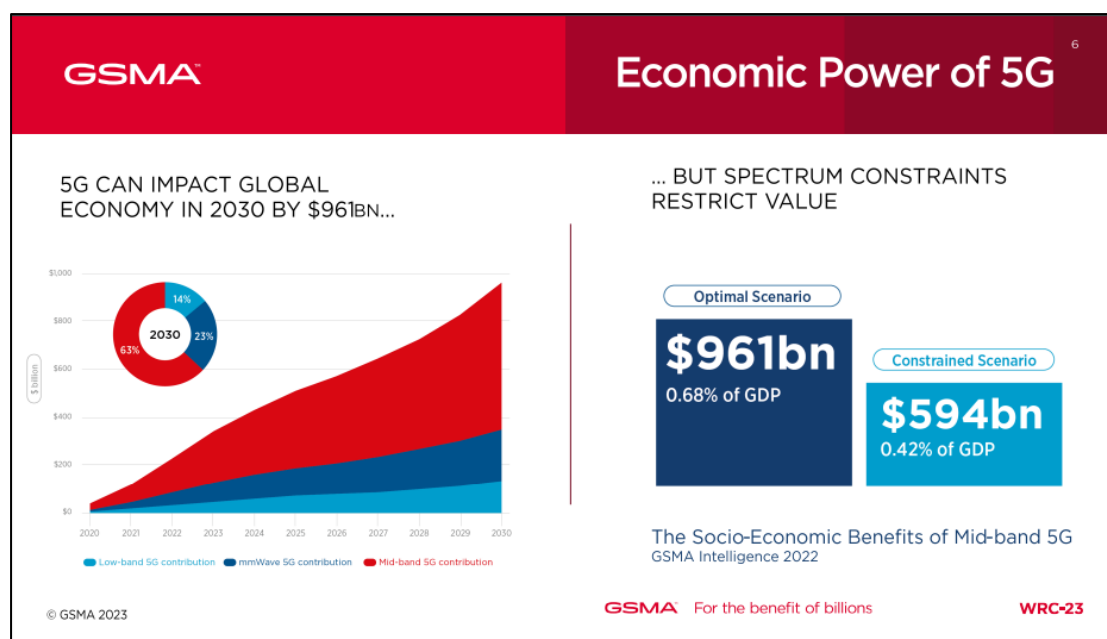


圖 3：預估 2030 年 5G 帶來的經濟效益與中頻段頻率對 5G 的社會經濟效益
資料來源：GSMA (2023), WRC-23 and mobile connectivity

(三) WRC-23 產業觀點-Wi-Fi

WRC-23 議題 1.2 討論未來 IMT 使用 6425-7025 MHz 與 7025-7125 MHz 頻段的可能性，然而從 ITU-R 第 5D 工作組之頻率共享研究顯示，IMT 系統對於衛星固定服務與固定服務皆會產生干擾，必須透過防範措施以緩解干擾問題。就固定服務而言，必須設置數十公里的間隔距離，而德國研究顯示間隔距離甚至需要超過 200 公里方能避免受到 IMT 基地臺的干擾。綜合前項說明，顯示 IMT 與既有使用者共用 6 GHz 頻段極具挑戰性。

考量 Wi-Fi 使用 6 GHz 頻段可使用以 80 MHz 或 160 MHz 通道，其高吞吐量（throughput）與低延遲的特性對於使用案例至關重要，因此 6 GHz 頻段對 Wi-Fi 產業十分重要。倘若將 6425-7125 MHz 分配予 IMT 使用，將使 Wi-Fi 6E 減少 8x80 MHz 和 4x160 MHz 個通道（參見下圖）。

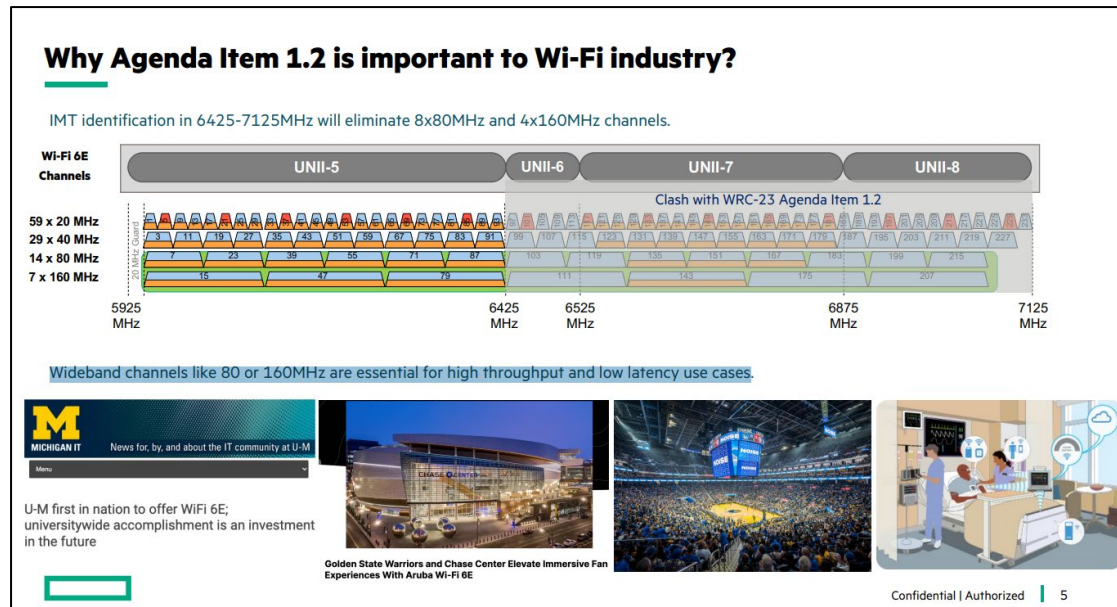


圖 4：Wi-Fi 6e 使用 6 GHz 頻段之通道配置

資料來源：Hewlett Packard (2023), WRC-23 Industry Perspective

再者，倘若 Wi-Fi 6E 能使用完整 5925-7125 MHz 共計 1.2 GHz 頻寬，用戶使用 160 MHz 頻寬將可實現 2.4 Gbps 的傳輸速率，此可與光纖技術相比較。然而，若使用頻寬只有 500 MHz (5925-6425 MHz)，則用戶只能使用 40 MHz 頻寬，數據傳輸速率將下降至 574 Mbps，無法充分發揮光纖和行動毫米波頻段結合固定無線存取（Fixed Wireless Access, FWA）的潛力。

綜上所述，將 6 GHz 頻段分配予 IMT 將阻礙 Wi-Fi 6E 和 Wi-Fi 7 發展。再者，相較於發射功率較高之 IMT，Wi-Fi 可與 6 GHz 之既有使用者可以共存，能發揮較佳的頻率使用效率。

(四) WRC-23 產業觀點-衛星

全球衛星經營協會（Global Satellite Operators Association, GSOA）之成員包括以 GSO 和 NGSO 提供固定衛星服務、衛星廣播服務和行動衛星服務之 29 家經營者，致力於推廣衛星服務，以滿足全球連網需求。過去 10 年，衛星技術顯著進步（衛星發射與製造成本下降），改變衛星服務經濟規模，擴大使用案例。其中，對於亞太地區更為重要，因為如菲律賓和印尼等多島嶼國家，可由衛星系統提供連網需求。

針對 WRC-23 議題 1.2 是否分配 6425-7125 MHz 予 IMT 使用對於衛星服務發展有重大影響，存在頻率共享問題。衛星服務於此頻段為固定衛星服務之上鏈，

也是 NGSO 行動衛星服務之下鏈，倘若分配予 IMT 使用將存在頻率干擾議題，因此 GSOA 支持不改變無線電規則 (Radio Regulations)，即不將 6425-7125 MHz 分配予第 1 區 IMT 使用，以及不將 7025-7125 MHz 分配予全區 IMT 使用。

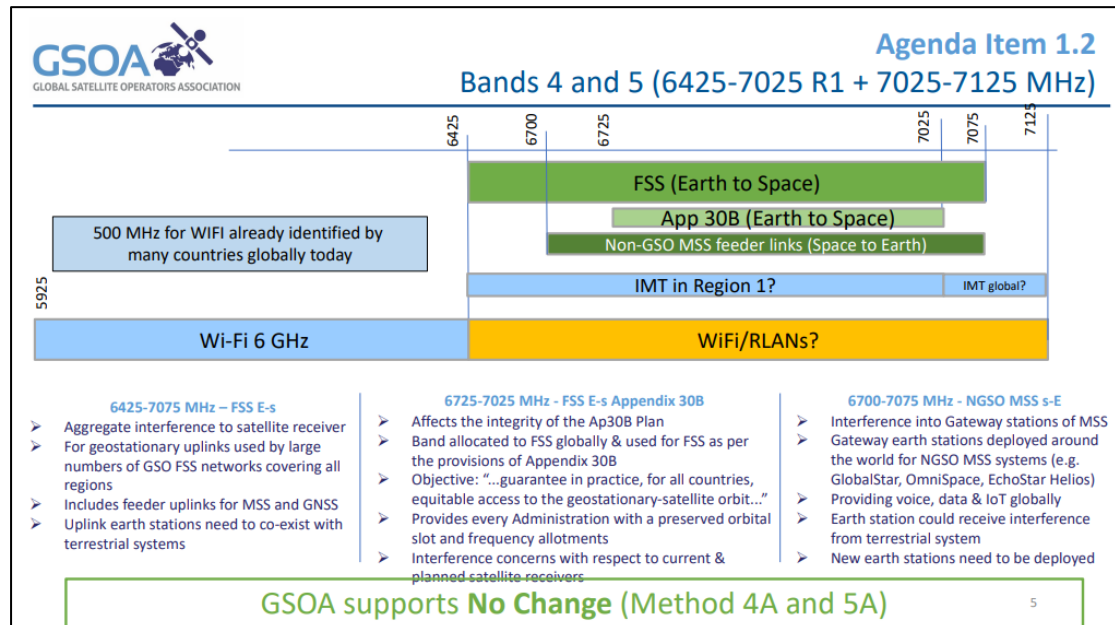


圖 5：GSOA 於 WRC-23 議題 1.2 之意見

資料來源：GSOA (2023), WRC-23 what should be the overall objectives for the APAC region and how can these be achieved.

針對 WRC-23 議題 1.16，考量全球海運與航空連網需求不斷增加，且已有 NGSO 衛星系統使用 Ka 頻段提供 ESIM 服務，為促進創新擬將 17.7-18.6 GHz、18.8-19.3 GHz 和 19.7-20.2 GHz 頻段（空對地），以及 27.5-29.1 GHz 和 29.5-30 GHz 頻段（地對空）作為 NGSO 衛星系統之 ESIM 使用，GSOA 支持方法 B 之頻率分配規劃。

(五) 案例分析-中國 6GHz 規劃

中國 5G 網路於 2023 年 2 月底已布建超過 238 萬座基地臺、5G 用戶達 5.92 億戶，而 2022 年之 5G 投資超過 1.8 兆人民幣，占總通信產業投資的 43%，成長快速。目前中國分配予 5G 使用頻寬有 792 MHz，其中優先釋出頻段有 2.6 GHz、3.5 GHz、4.9 GHz 和 700 MHz，並重整 (refarmed) 900 MHz 和 2.1 GHz 頻段供 5G 使用。

國際間將中頻段列為 5G 的優先釋出頻段，也是中國發展 5G 之重要頻段，而 6 GHz 頻段將會是未來 5G 的關鍵頻段，理由在於 6 GHz 頻段可提供更高的整

體經濟價值、受益於規模經濟和全球統一的 IMT 生態系統、同時滿足容量和涵蓋範圍，以及對於發展中國家特別有利。對此，中國除了在 WRC-23 議題 1.2 中贊成在保護既有使用者之前提下將部分 6 GHz 作為 IMT 頻段，並著手進行 IMT 系統與 6 GHz 頻段既有服務共享和相容性研究，結果顯示共存是可行的。2022 年 12 月，中國發布微波通信系統使用頻率調整，取消使用 5925-7125 MHz。事實上，中國傾向將整段 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）列為授權執照頻段。目前，中國規劃在新版的《中國無線電頻率分配規則》中將 6425-7125 MHz 或部分頻段用於 IMT。對於 5925-6425 MHz，中國支持用於工業物聯網。

最後，於第 3 區將 6425-7125 MHz 分配予 IMT 使用將有助於頻率協調與規模經濟，因此共同支持亞太地區將 6 GHz 頻段分配予 IMT 使用。

(六) 案例分析-英國 6 GHz 規劃

根據英國 2020 年頻譜管理策略規劃，包括(1)支持無線創新，規劃更多頻譜用於創新與支持無線技術的創新；(2)規劃適合區域和全區服務執照制度，考慮更多區域頻率接取選擇；(2)促進頻率共享，鼓勵頻率使用者成為好鄰居（good neighbors）。在此前提下，擬將前段的 Upper 6GHz 用於實現連結不同產業，並研析 IMT 與無線電區域網路（如 Wi-Fi）共存的潛力。為達前述目標，須搭配一系列的措施，包括建置資料庫、新通道接取協議、新的載波感測機制或其他創新方法等。

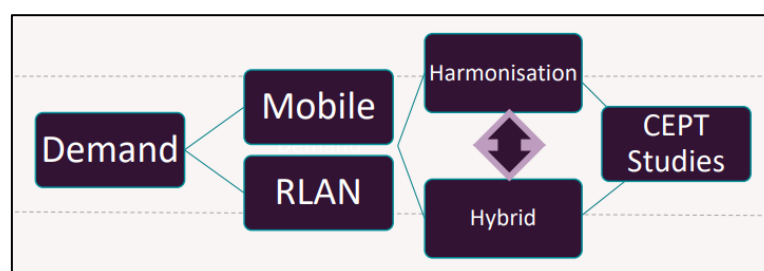


圖 6：6 GHz 頻段的機會

資料來源：Ofcom (2023), Innovations in Spectrum Sharing: Meeting demand for future wireless innovation: a shift in mindset.

三、6GHz 頻段 -探討在亞太地區採取協調和平衡的方法方

在亞太地區，對於 6 GHz 頻段之使用規劃，各國存在不同的觀點。韓國決定將整個 5925-7125 MHz 頻段用於免執照使用（unlicensed）；澳洲、日本和紐西蘭等僅將部分頻段（5945-6425 MHz）用於免執照使用；中國則將整個頻段分配給 IMT 使用，同時將 5925-6125 MHz（共 200 MHz 頻寬）用於 5G 專用網路。由於目前全球針對 6 GHz 頻段之規劃仍有不同的觀點，本次會議聚焦探討是否仍有可能對該頻段採取協調一致的方法，並且將在 WRC-23 上進行討論。

(一) 6 GHz 頻段-亞太地區的 WRC-23 機遇

如同前述所說，根據 GSMA 之研析指出，由於 3.5 GHz 頻段有限，亞太地區許多國家面臨頻譜短缺之情形，因此若要擴展 5G 的應用，預估至 2030 年每個國家中頻段平均至少需要總頻寬 2 GHz。如果沒有額外的中頻段頻譜分配給行動通信使用，至 2030 年 5G 的預期收益可能會損失高達 40%。

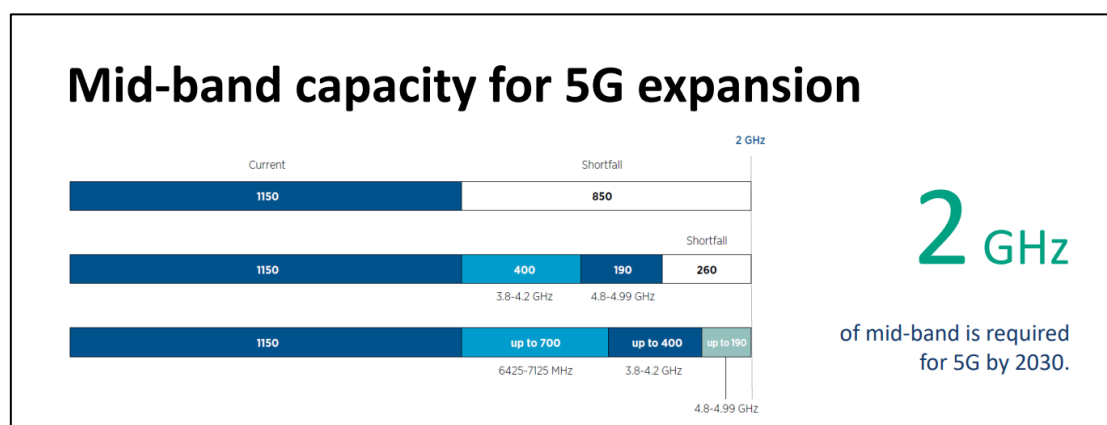


圖 7：至 2030 年亞太地區中頻段頻譜至少需要總頻寬 2 GHz

資料來源：GSMA

大多數第 3 區國家對 3300-3400 MHz 和 3600-3800 MHz 的使用非常有限，6 GHz 頻段是解決第 3 區中頻段頻譜缺口的唯一方法。

(二) Meta-6 GHz 頻段協調和平衡方法的進展

在過去的五個年份裡，通訊技術發生了巨大的變化。在這個進程中，元宇宙是一個合乎邏輯的演變。下一代網路將會是身臨其境的 3D 體驗，更多身臨其境的技術變得越來越流行，例如 AR/VR，但元宇宙的全面實現還需要 5 至 10 年的時間。

目前歐洲多數行動業者結合使用 3G 和 4G 網路來處理行動數據流量，大約

一半的流量被分流到 Wi-Fi，以減輕 3G 和 4G 網路的壓力。根據 Cisco 指出，對於 5G 網路，流量分流到 Wi-Fi 的比例上升到 70% 左右。Wi-Fi 的需求可能來自：一般寬頻需要、補充和支持 5G、功率效率（特別是室內應用）等。

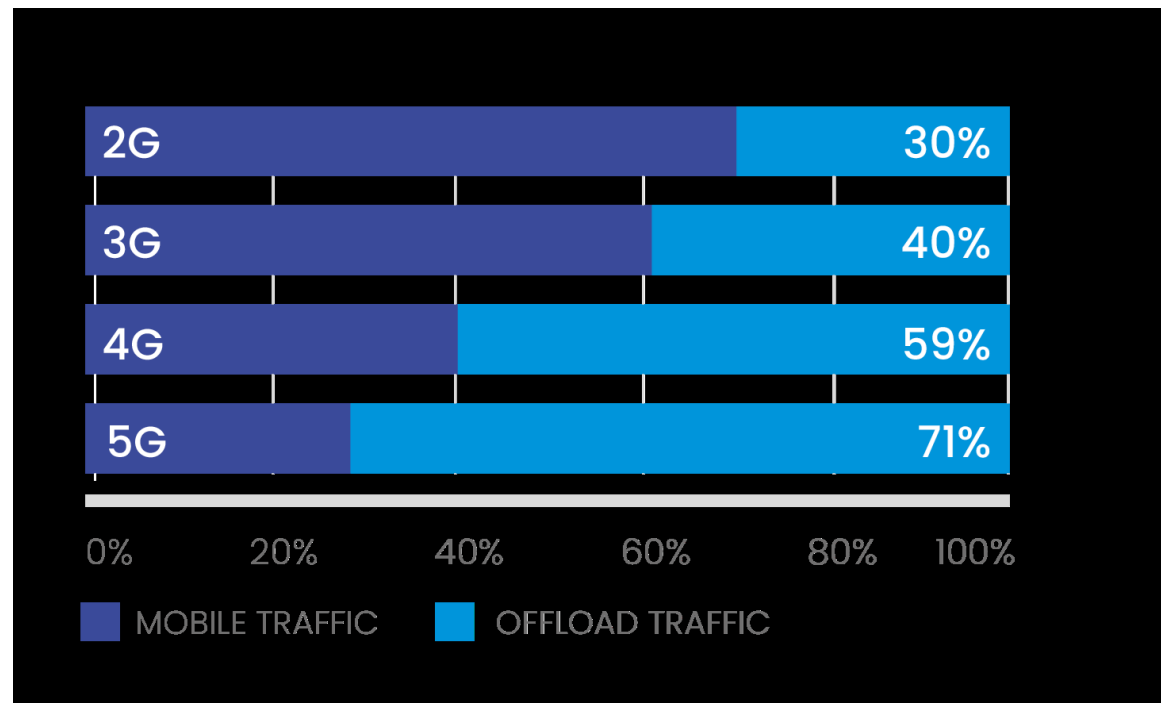


圖 8：2G 至 5G 之行動數據與分流（OFFLOAD TRAFFIC）

資料來源：Cisco

在 WRC-19 之前確定用於 IMT 之頻段如下：450-470 MHz、790-960 MHz、1710-2025 MHz、2110-2200 MHz、2300-2400 MHz 與 2500-2690 MHz，在區域或國家基礎上為 IMT 確定的附加頻段如下：698-790 MHz（第 2 區）、610-790 MHz（第 3 區的 9 個國家：孟加拉國、中國、韓國、印度、日本、紐西蘭、巴布幾內亞、菲律賓和新加坡）、3400-3600 MHz（第 1 區的 80 多個主管機關加上第 3 區的 9 個主管機關，包括印度、中國、日本和韓國）。WRC-23 可能會確定更多 IMT 使用頻段，即使確定了 6 GHz 用於 IMT，實際上分配時間也尚未確定。過往 Wi-Fi 的使用通常位於各種寬頻連接（光纖、電纜、固定 5G、衛星、企業以太網等）的終端，且 2.4 GHz 和 5 GHz 頻段的無線電頻譜使用壅塞。因此 Meta 認為需要 6 GHz 頻譜來應對數據流量成長和創新挑戰，以緩解壅塞並為新技術創新提供創新方案。若完整將 5925-7125 MHz 頻段（6 GHz）合計共 1200 MHz 頻寬用於 Wi-Fi，更寬的通道可實現 Gigabit 容量、低延遲和低功耗等優點。

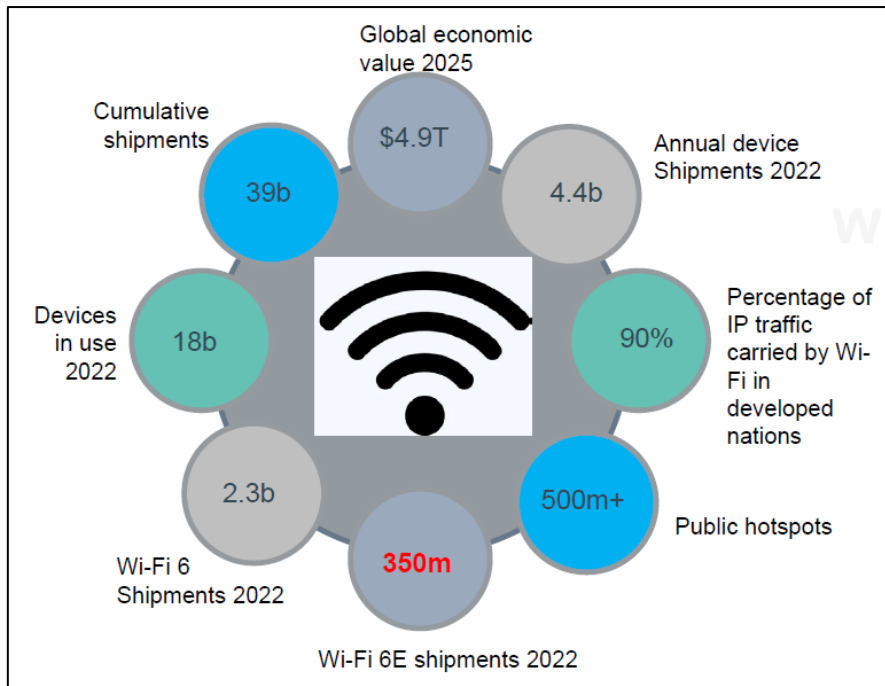


圖 9：Wi-Fi 技術-爆炸式成長

資料來源：DAS, WFA

綜上所述，以下總結開放完整 6 GHz 頻段供免執照使用之理由：

1. 完整的 6 GHz 頻段開放給 Wi-Fi 是良好的頻譜政策，並保護衛星連接性：考量衛星連接性的重要性，6 GHz 頻段中的固定衛星服務（FSS）布建可能會受到不同地區 IMT 布建的影響，因為可能處於衛星波束的視野範圍內。例如，第 3 區 2.6 GHz 頻段的 MSS 上行通訊受到了第 1 區 IMT 使用的干擾，因此存在著尚未解決的跨區域干擾問題。
2. 6 GHz 的 Wi-Fi 將更好地服務於偏鄉地區，而 6 GHz 中 5G 的潛在好處將僅限於為密集區域提供微小的額外容量，並不適用於偏鄉地區：例如，在歐洲，5G 基地臺占 4G 基地臺總數的 34.5%，但這些 5G 基地臺中的大多數都在 4G 頻段使用動態頻譜共享（DSS），而 5G 基地臺則在 3.4-3.8 GHz 頻段使用僅占 4G 基地臺總數的 6.99%。雖然目前歐洲有相當大的 5G 布建（截至 2022 年 8 月約有 256,074 臺 5G 基地臺），但在 3.5 GHz 布建 5G 基地臺的比例仍十分有限。
3. 透過低成本應用獲得經濟效益：至 2025 年，Wi-Fi 預計將為全球經濟貢獻近 4.9 兆美元，為 Wi-Fi 提供全頻段的國家將獲得更大的社會經濟效益。

(三) IMT 的中頻頻譜分配和泰國 6 GHz IMT 大型基地臺涵蓋區域的現場測試

泰國目前已釋出中頻段為 700 MHz(頻寬 50 MHz)、800 MHz(頻寬 30 MHz)、900 MHz(頻寬 60 MHz)、1.8 GHz(頻寬 80 MHz)、2.1 GHz(頻寬 120 MHz)、2.3 GHz(頻寬 60 MHz)、2.6 GHz(頻寬 190 MHz)、3.5 GHz(頻寬 200 MHz)，低頻段合計頻寬 140 MHz，中頻段合計頻寬 650 MHz，中低頻寬總計頻寬 790 MHz。

泰國目前 6 GHz 頻段使用情形如下圖，將 5925-6425 MHz 規劃給 Wi-Fi 6 使用，同時存在既有服務，包含衛星服務(FSS)使用 5850-6725 MHz、固定服務(FS)使用 6425-7100 MHz。左下圖為泰國 FSS 站點分布位置，可以發現大多數的 FSS 站點使用標準 C 頻段(5.850-6.425 GHz)；少部分的 FSS 站點使用擴展 C 頻段(6.425-6.725 GHz)；右下圖為泰國 FS 站點分布位置，FS 站點的使用率較低。

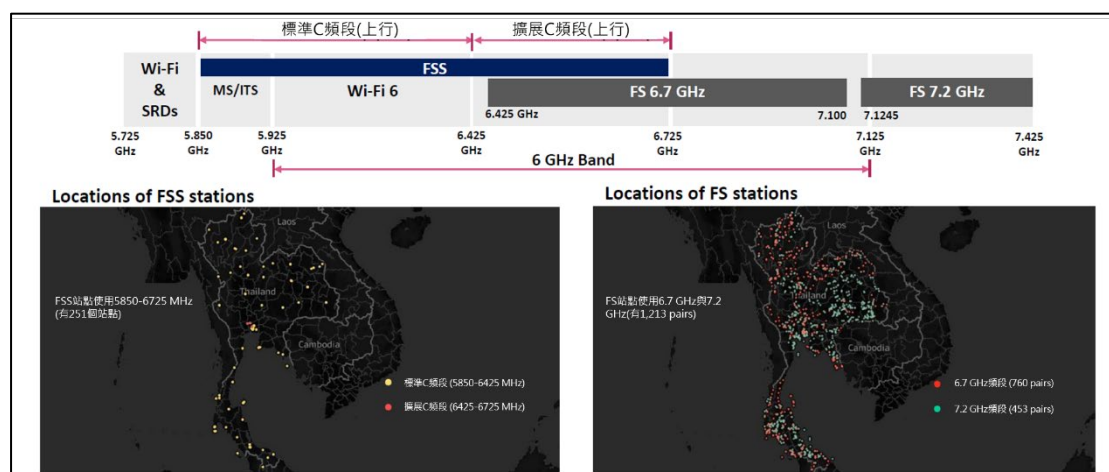


圖 10：泰國 6 GHz 頻段使用情形

資料來源：King Mongkut's University of Technology North Bangkok

泰國曼谷朱拉隆功大學於 2023 年 2 至 3 月對於 6GHz 室外進行測試，為驗證 6GHz IMT 大型基地臺的涵蓋範圍，試驗中心頻率為 6.8 GHz(6.425-7.125 GHz)、頻寬為 80 MHz，測試場景戶外到戶外(O2O)與室外到室內(O2I)。測試結果(如下表)顯示 6 GHz 頻段對於 O2O 和 O2I 都達成了良好的大型基地臺涵蓋性能。若有更高的輸出功率和更大的通道頻寬，性能將得到顯著提高。因此 6 GHz 頻段具有用於全國範圍 IMT 的強大潛力。

表 3：泰國曼谷朱拉隆功大學 6 GHz 戶外測試結果-O2O 與 O2I

情境	平均速率		最差速率		備註
	下載	上傳	下載	上傳	
戶外到戶外 (Outdoor-To-Outdoor)	1100 Mb/s	87 Mb/s	405 Mb/s	9 Mb/s	580 公尺半徑全 6 GHz 小區涵蓋無死角。
戶外到室內 (Outdoor-To-Indoor)	550 Mb/s	18 Mb/s	291 Mb/s	9 Mb/s	-

資料來源：King Mongkut's University of Technology North Bangkok (2023)

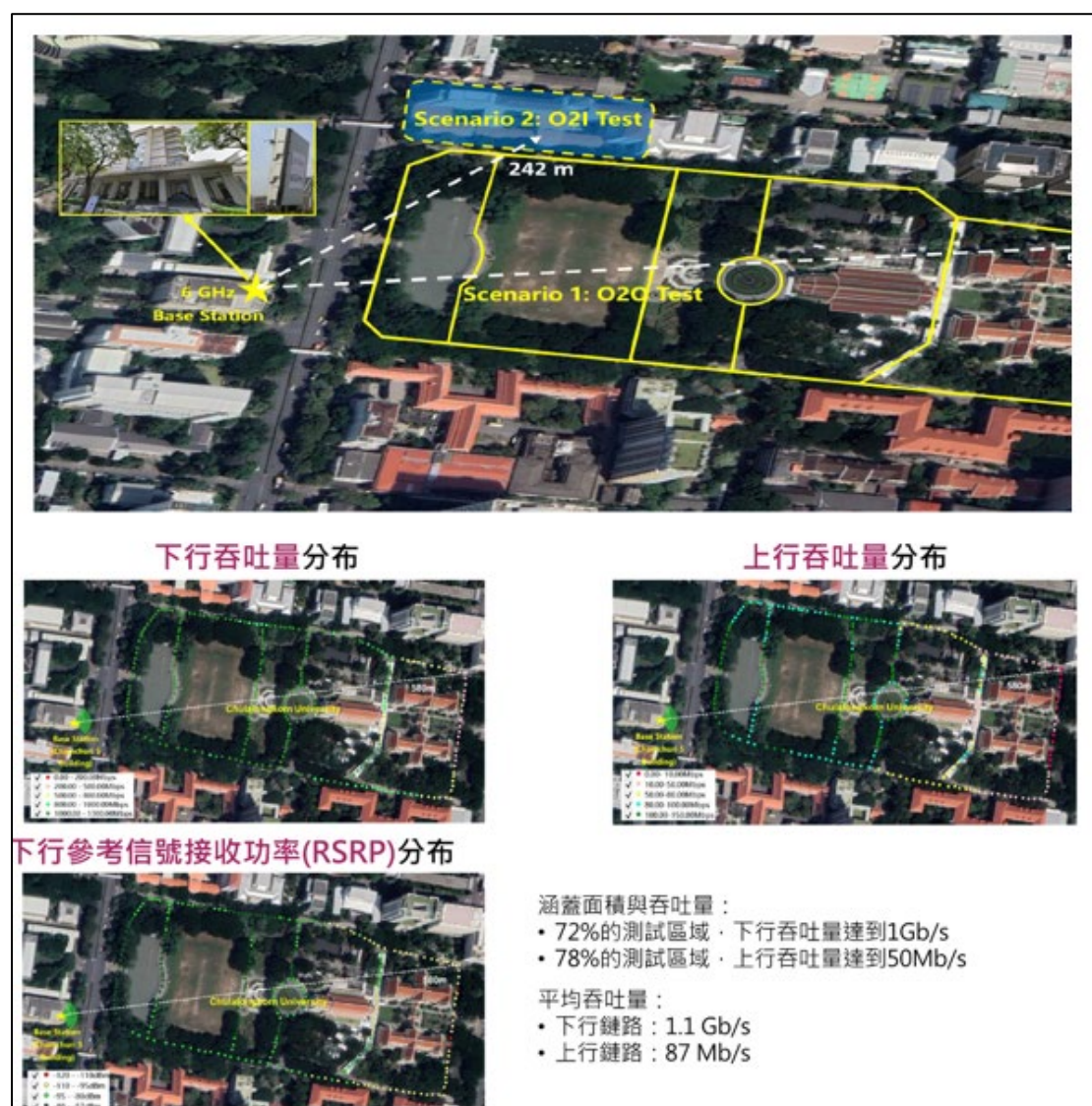


圖 11：泰國曼谷朱拉隆功大學 6 GHz 戶外測試場景及測試結果

資料來源：King Mongkut's University of Technology North Bangkok (2023)

四、滿足 3.5GHz 頻段所有用戶的需求之平衡點

亞太地區為 3.5 GHz 頻段的最大用戶，因 C 頻段對於亞太地區衛星服務至關重要，同時也是全球推動 5G 之重要頻段。目前 C 頻段之 3.8-4.2 GHz 被視為推動 5G 垂直場域之具潛力頻段，因此，本場會議將探討整個 3.3-4.2 GHz 頻段之最佳分配方式，以滿足各方需求。

(一) 中國

中國於 2017 年 11 月公布 5G 中頻段釋出計畫，規劃 3.3-3.6 GHz 供 5G 使用，但其中的 3.3-3.4 GHz 僅限室內使用。由於 3.5 GHz 頻段存在固定衛星服務之既有使用者，為順利釋出 5G 中頻段頻率資源，不再核發 3.4-3.7 GHz 衛星服務與 3.4-3.6 GHz 衛星 TT&C 新執照（參見下圖）。

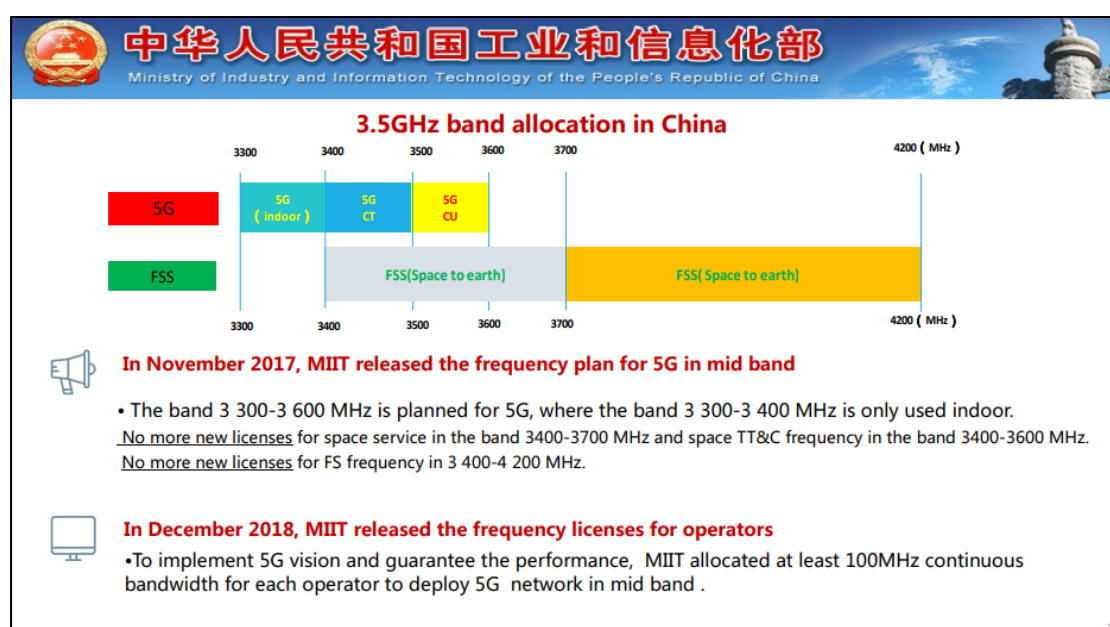


圖 12：中國 3.5 GHz 頻段頻率分配

資料來源：中國工信部(2023), Usage of 3.5 GHz band in China

截至 2023 年 2 月，中國已布建超過 238 萬座 5G 基地臺，5G 用戶超過 5.92 億，成果卓越。然而，5G 與固定衛星服務干擾問題仍然存在，包括了同頻與鄰頻干擾。對此，中國進行一系列的防干擾保護措施，包括建立衛星地球電臺名冊、建立干擾協調程序和標準、設置保護距離與協調區域等措施。目前，已有運作於 3.4-3.6 GHz 之衛星地球電臺與 5G 基地臺完成協調程序，以及關閉超過 35 顆運作於 3.4-3.7 GHz 之衛星轉頻器。原先由固定衛星提供的服務，以光纖作為替代電路。

(二) 越南

越南已分配 3.6-3.98 GHz 頻段供 5G 使用。然而，考量該頻段存在固定衛星服務之既有使用者，故參考 APT 於 2021 年 9 月發布之 APT/AWG/REP-112 有關改善 4G 和 5G 系統與使用 3.3-4.2 GHz 既有使用者之間的和諧共存措施。文件所提出來的和諧共存措施有：於固定衛星地球電臺安裝帶通濾波器、設置護衛頻帶（guard band）、設置禁建區和協調區、基地臺或天線技術規範與發射功率限制等。此外，以實驗室測試結果為基礎，加裝帶通濾波器可有效降低干擾，選擇適合的和諧共存措施。整體而言，亞太地區發展中國家或島嶼國家需仰賴之數位基礎設施不限於 5G，亦包括衛星通信，因此尋找適合的 5G 與固定衛星服務之和諧共存措施，將有助於國家發展。

(三) 英國

隨著民眾或企業對無線通訊需求不斷成長，英國政府致力於制定一套頻率共享機制，因此 2019 年公布頻率共享接取指導文件，開放區域接取執照（Local Access Licence）與共享接取執照（Shared Access Licence）。其中，區域接取執照係針對已核配予行動網路業者但未使用之頻譜，提供例如偏鄉地區之專網或無線寬頻網路接取使用；共享接取執照又區分為單一地區之低功率執照與單一基地臺之中功率執照，且採先到先得原則。下圖為頻率共享頻段與限制。

Classification: CONFIDENTIAL				
Shared spectrum and authorisation				
	1800 MHz (2x3.3 MHz) & 2390 MHz (10 MHz)	3.8-4.2 GHz (390MHz)	24.25-26.5 GHz (2.25 GHz) <i>indoor only</i>	Awarded mobile spectrum
Private 4G/5G networks	✓	✓	✓ in building	✓
Wireless Broadband (FWA)	✓	✓		✓
Coverage improvement Including rural and in- building	✓	✓ in building	✓ in building	✓

圖 13：英國頻率共享頻段與限制

資料來源：Ofcom(2023), Innovations in Spectrum Sharing Ofcom; 3.8-4.2 GHz

為了促進頻率共享，英國政府鼓勵用戶作一個「好鄰居」(good neighbors’)，可行作法有在國家與國際層級頻率共存分析增加可行性、鼓勵用戶更能抵抗頻率干擾（如改善接收天線），以及降低保護要求等，如此將可讓每一位用戶都能有好的網路接取體驗。

(四) 3.5 GHz 頻段 IMT 與衛星通信共存實證分析

3.3-3.6 GHz 之固定衛星系統廣泛用於東協國家，然而此頻段同時也是 5G 之熱門頻段，故優化頻譜管理與和諧共存為重點工作之一。考量亞太地區各國差異性，目前 5G IMT 優先考慮頻段為 3.4-3.6 GHz，並預留 100 MHz 的護衛頻帶，並規劃 4.8-5.0 GHz 頻段供 5G 使用（只有孟加拉將 4.5-4.8 GHz 供固定衛星服務和電視單收系統（Television Receive Only, TVRO）使用）。由於固定衛星服務一般操作於 3.7-4.2 GHz，因此保留 100 MHz 護衛頻帶可避免頻率干擾問題，且透過加裝帶通濾波器或低雜訊降頻模組（Low Noise Block Down Converter, LNB）等符合檢驗標準之合格產品，將可確保固定衛星服務之穩定操作。SETON 公司致力於開發具消除 3.5 GHz 與 10.5 GHz 頻段電信和固定衛星服務、TVRO 系統防干擾之衛星信號接收產品，並廣泛應用於中國和巴西等國家。

(五) INTELSAT 觀點

全球化發展帶動數位連網需求，惟地面基礎設施可能無法滿足所有需求，進而造成連網差距。截至目前為止全球有將近 27 億人口無法連網，但衛星通信可提供無所不在的連網服務，預期 2030 年衛星通信將連接超過 5 億人口，並預期亞太地區衛星寬頻用戶將成長 120%。衛星電視和衛星廣播是一個成熟的市場，預期 2030 年經濟效益可達 860 億美元，其中對於許多未獲得通信服務地區，可藉由衛星寬頻服務提供更好的教育與醫療機會。

雖然 5G 已於 2018 年開始提供服務，但商業化過程緩慢，截至 2025 年，將只會有 14% 的亞洲地區提供 5G 服務。再者，雖然 2022 年全球 5G 用戶增加 4.46 億戶，但 4G 卻有 5.92 億戶，顯示 IMT 無法與其他用途共用頻率，即使已採共存方案，但對 IMT 的經營者來說仍希望獨享頻段，故是否應分配更多 C 頻段頻譜供 IMT 使用值得進一步討論。最後，中頻段頻率資源無法提供良好的網路涵蓋，因為 1 GHz 是較佳的選擇，例如中國使用 900 MHz 作為提高網路涵蓋的頻段。

綜整上述說明，頻推動 5G 服務不僅僅仰賴 3.6 GHz 以上更多的的頻率資源，建議利用既有 IMT 頻段，如重整既有 2G 和 3G 頻率，或使用 2.5 GHz 段等作為 IMT 使用（參見下圖）。

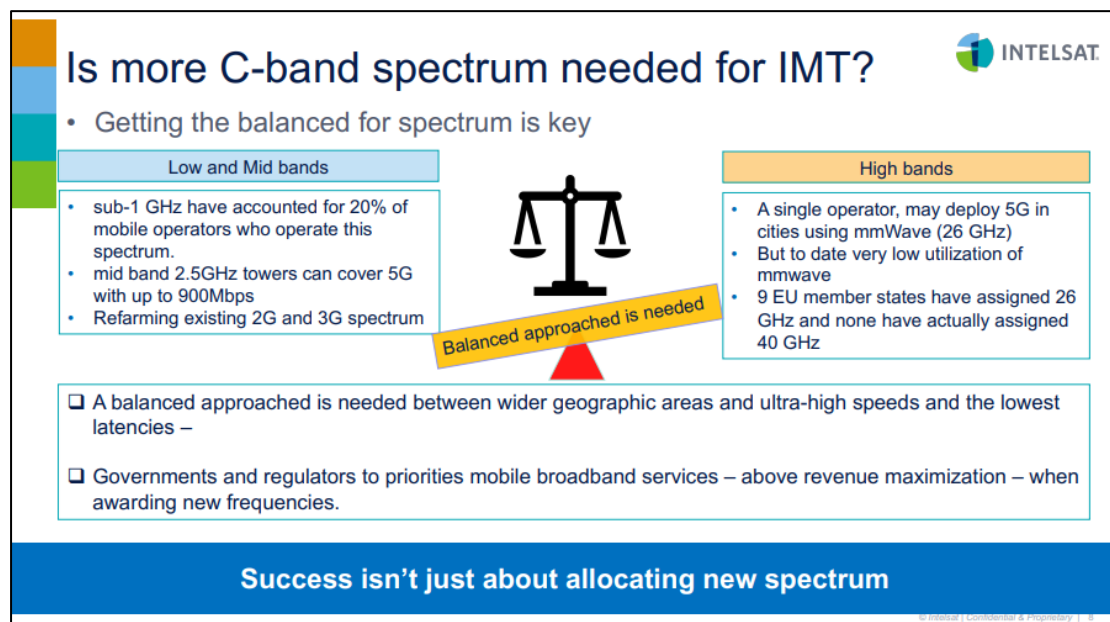


圖 14：較佳的 IMT 頻率規劃

資料來源：INTELSAT(2023), Session 3: Meeting the needs of all users in the 3.5 GHz range-where does the balance lie?

(六) 中國電信（China telecom）3.5 GHz 頻段經驗分享與未來考量

中國工信部於 2019 年 6 月 6 日正式核配 5G 商用執照予中國電信、中國聯通、中國移動和中國廣播電視，允許使用 3.5 GHz 頻段頻率使用，以推動 5G 網路布建。中國電信與中國聯通於 2019 年 9 月簽訂 5G 網路共頻共網框架協議，共用 3.4-3.6 GHz 頻段建設全國 5G 無線接取網路與 5G 核心網路，並率先實現室外 200 MHz 頻寬技術，以電源共享（Power Sharing）、動態頻譜共享和無線接取網路共享等技術實現下載峰值速率 2.7 Gbps 的水準。

針對 3.4-3.6 GHz 存在 5G 基地臺與既有固定衛星服務地球電臺之鄰頻與同頻干擾問題，透過在固定衛星服務地球電臺加裝 LNA 或 LNB 設備解決，以達到和諧共存之目的。目前，中國提議 WRC-27 議題 2.12 研究新的頻率範圍 3.4-3.6 GHz 限制用於地球對太空鏈路（ground-air link）的可能性。對此，中國電信正在研究如何以 3GPP NR 布建太空對地面（Air-to-ground, ATG），即基於 5G 技術在地面與飛機之間建立通信鏈路，使機艙內的乘客也能享受 5G 的服務。

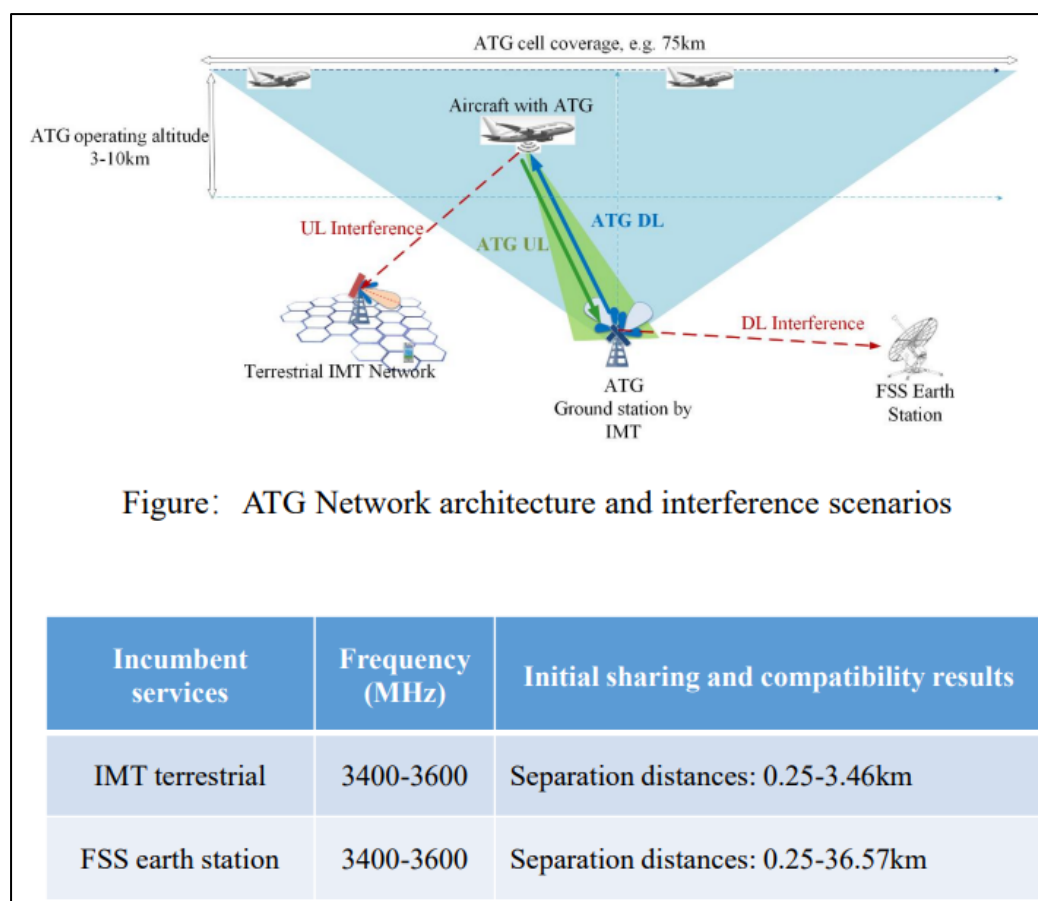


圖 15：ATG 網路架構與干擾情境

資料來源：China Telecom(2023), China telecom experiences and future considerations in 3.5GHz

五、滿足固定無線接取（FWA）的頻譜需求

隨過去一年許多新應用的出現，固定無線接取（Fixed wireless access, FWA）正逐漸受到市場歡迎。目前 FWA 已布建於菲律賓、澳洲、紐西蘭、香港、馬來西亞、泰國、越南和印度等地，本次會議將探討這些地區之 FWA 生態系統與發展趨勢。

（一）5G FWA

目前有多種不同類型的電信業者正布建 FWA，其背後原因也各不相同。以固定電信經營者為例，因為光纖布建成本高，故以 FWA 這種相對成本低廉的方式布建網路。又或者在處於高訊務量市場中的行動網路經營者，如馬來西亞和泰國等國家，也考慮導入 5G FWA。還有一種類型是運用於產業或工業。下圖整理不同 5G FWA 經營者類型與網路布建理由。

A wide range of operators have launched 5G FWA, and they have various rationales for doing so

5G FWA operator type	Deployment outlook
Fixed incumbents using 5G FWA as part of a technology mix	FTTP roll-outs may be cost-prohibitive in some areas, so 5G FWA may be useful and could form part of a copper decommissioning strategy.
Challenger MNOs	Some MNOs see 5G FWA as a way to enter the fixed broadband market. Success will depend on FTTP competition and matching FWA offers with existing mobile propositions.
Wholesale fibre fee-avoiders	Some integrated operators see 5G FWA as a way of avoiding wholesale fibre fees. The case for migrating low-usage DSL customers is clear, but migrating existing FTTP customers to 5G FWA may be challenging.
MNOs in markets with very high cellular traffic levels	Some markets have monthly cellular traffic levels of a few tens of gigabytes per capita. Moving traffic from handsets to 5G FWA routers with better spectral efficiency can deliver cost and revenue benefits.
mmWave 5G FWA	It is unlikely that there will be many large-scale deployments, but there is potential for 5G FWA to be useful in smaller towns with limited FTTP competition.

圖 16：5G FWA 經營者類型與網路布建理由

資料來源：analysis mason(2023), 5G Fixed Wireless Access

FWA 技術已存在一段時間，但隨著 5G 的推出，此項技術才開始真正受到重視。研究機構 Analysis mason 預測，至 2025 年全球將有大約 5,000 萬用戶與設備接取 FWA，並且預期將約有 4% 的固定寬頻接取來自於 FWA。然而，不可否認的是要達這樣的目標需要有合理的價格、頻率資源，與正確的商業使用案例。根據 analysis mason 的分析，即使用戶對於光纖所提供的速度和可靠性較為滿意，但在 FWA 使用率較高的國家中，其淨推薦值（Net Promoter Score, NPS）較 Cable 和光纖高。

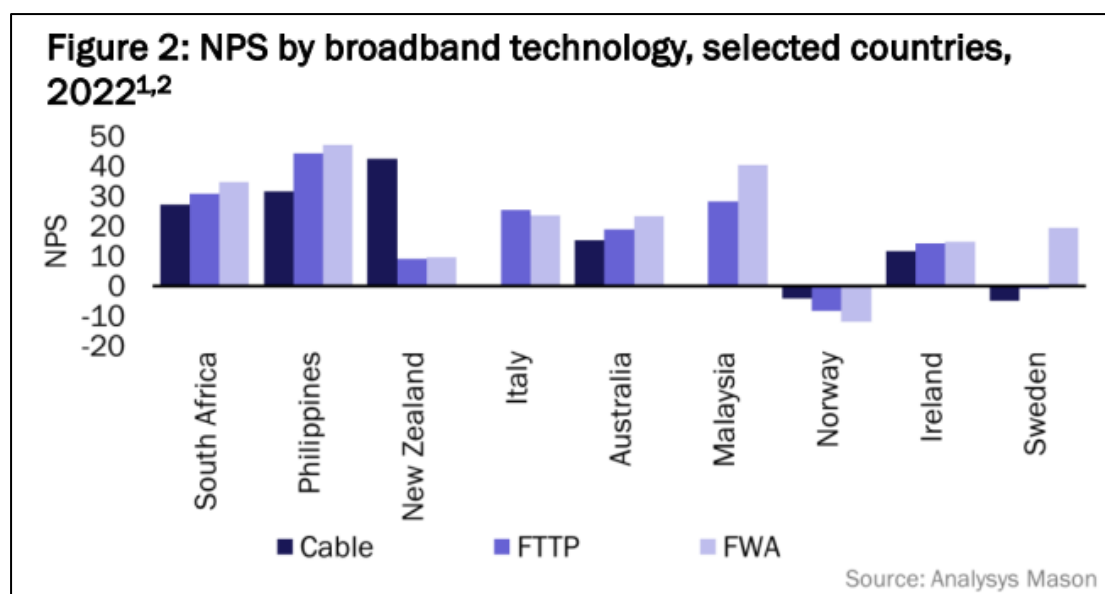


圖 17：各國不同寬頻技術淨推薦值比較

資料來源：analysis mason(2023), 5G Fixed Wireless Access

(二) 高通（Qualcomm）之 5G FWA 解決方案

綜觀全球，目前已有將近 100 家網路經營者布建 5G 網路，在這些地區將可接取更高、更快的網路。其中，毫米波頻段可提供的數據傳輸量與速率更甚於中頻段頻率、光纖技術。部分毫米波頻段搭配 FWA 技術，有助於達成更好的涵蓋目標。

雖然在亞洲地區，如新加坡、泰國和香港等國已釋出大量的頻率資源，但在東南亞國家，如菲律賓或印尼之行動寬頻人口涵蓋比例仍相當低，不及 10%，而布建實體光纖網路成本更高。對此，高通研究如何在效能及成本中取得平衡。根據 GSMA 的分析，比較低功率和高功率用戶終端設備（customer premises equipment, CPE）與光纖到府（Fiber To The Home, FTTH）之成本，結果顯示於東南亞地區布建 5G 毫米波 FWA 具有成本效益，但偏鄉地區使用低功率 CPE 的網際網路服務供應商（Internet Service Provider, ISP）除外。再者，與光纖到府相比，5G 毫米波 FWA 更具成本效益，且即使必須布建新的管道（ducts）亦較光纖到府具成本效益。大功率室內 CPE 讓 FWA 於所有情境擁有較佳的性價比。

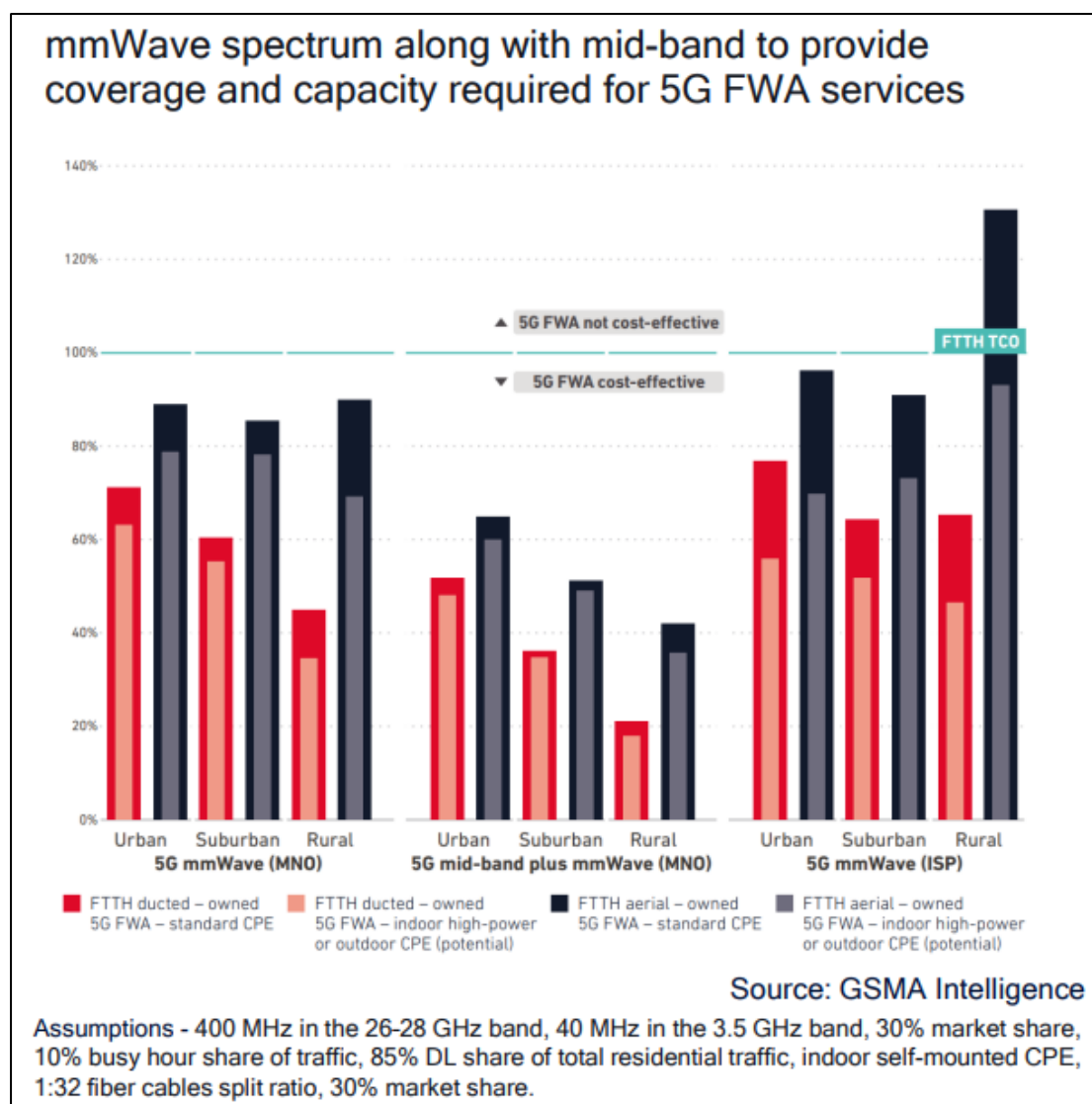


圖 18：東南亞 5G 毫米波總擁有成本與光纖到府比較

資料來源：Qualcomm(2023), Qualcomm on 5G FWA solution

(三) 印度 FWA 之頻率需求

印度固定寬頻滲透率很低，僅 3,300 萬用戶接取固定寬頻網路，相較之下，行動用戶高達 11.43 億戶，顯示多數印度民眾仰賴行動通訊。除了許多地區無法接取網路，位於郊區的中小企業和較小城鎮之企業面臨同樣的問題。

對此，2022 年印度釋出 3 個頻段供 5G 使用，包括 700 MHz、3.3-3.67 GHz 與 24.25-27.5 GHz。同年 10 月印度啟用 5G 網路，並於 200 天內網路涵蓋超過 600 座城市，完成超過 14 萬座基地臺之建置，成長快速。印度對於發展 FWA 之考量因素包括網路涵蓋、容量與成本。其中，中頻率具較佳網路涵蓋、適中的容量，較適合用於郊區和偏鄉地區；毫米波頻段之網路涵蓋較短，但具較高的容量，較適

合都會區。目前已有行動網路經營者於印度進行 FWA 布建試驗，初期計畫以中頻段頻率資源布建 FWA，當設備生態系統改善時，將以毫米波頻段布建 FWA。

六、最後一哩連網—偏鄉連網解決方案的技術、政策與頻譜

在亞太地區，各國為了消除數位落差，提出可持續且負擔得起的方式提供「最後一哩連網」(last mile connectivity)，即滿足偏鄉地區的連網需求的解決方案，同時提供對相關連網提供商 (connectivity providers) 之合理的商業案例，以確保所需的頻寬能滿足連網需求。本次會議聚焦討論在不同環境中，包含偏遠和難以涵蓋地區的挑戰，以及實現最後一哩連網的困難。此議題將關注政策制定、技術提供商、非政府組織和其他利害關係人與連網提供商一起發揮作用，以確保提供可持續和可靠的解決方案。

(一) APT 的最後一哩連網計畫

盤點近幾年亞太地區國家提出有關最後一哩連網計畫如下：

1. 薩摩亞 (2023 年)：透過在薩摩亞 (Samoa) 的薩瓦伊島 (Savaii island) 利用先進的 ICT 基礎設施改善偏鄉連網和社區接取，彌補數位落差；
2. 蒙古 (2022 年)：在偏鄉地區利用 FM 廣播傳輸，並安裝緊急警報廣播系統 (Emergency Warning Broadcast System, EWBS) 和光纖無線技術 (Radio over Fiber, RoF)
3. 尼泊爾 (2020 年)：透過智慧網路增強本地化中心服務的傳輸
4. 蒙古 (2019 年)：針對大部分寒冷和沙漠地區安裝大面積低成本光纖接取網路，並進行耐久性測試，以改善人口稀少地區的生活
5. 圖瓦盧 (2019 年)：使用光纖和無線系統建立國家 ICT 網路，以改善圖瓦盧的政府服務、公共安全並促進經濟和教育
6. 尼泊爾 (2018 年)：杜魯市社區發展的有效寬帶基礎設施

(二) 柬埔寨電信主管機關 (TRC) 提出的最後一哩連網計畫

柬埔寨之行動用戶達 1,954 萬多人，固網用戶達 3.8 萬多人，同時使用行動與固網用戶達 1,759 萬多人。在行動市場中有三大電信業者，排名第一之業者為柬埔寨星港 (Metfone) 市占率達 42%，其次為柬埔寨智慧 (Smart Axiata) 占 37%，第三為柬埔寨全球電信 (Cellcard) 占 20%；在固網市場中，排名第一之電信業者

為柬埔寨電信（Telecom Cambodai）市占率達 67%，其次為柬埔寨國際電信（Camintal），第三為柬埔寨星港（Metfone）。

柬埔寨目前的光纖基礎設施和光纖到府（FTTH）的概況如下：光纖到府總計有 453,968 條，其中包含光纖到金邊市（柬埔寨首都）有 230,936，以及光纖到各省分有 223,032 條。柬埔寨電信主管機關（Telecommunication Regulator of Cambodia, TRC）於 2013 年啟動「柬埔寨光纖通信網路」（Cambodia Fiber Optic Communication Network, CFOCN），骨幹長度為 17,099 公里，建構一個國家級的光纖通信網路，以促進柬埔寨的資訊和通信技術發展，其目標是在全國範圍內布建光纖網路，提供高速、高頻寬的網路連接，以支持數據、語音和影像等通信服務。另外，該計畫中有 2 條國際光纖通信連接路徑：

1. Submarine AAE-1（亞洲非洲歐洲 1 號）：涵蓋柬埔寨海域 170 公里、分支為 380 公里，是一條跨洲際的海底光纖電纜系統，連接亞洲、非洲和歐洲的多個國家和地區，該電纜系統總長度超過 25,000 公里，並提供高速、高頻寬的國際通信服務，加強柬埔寨在國際通信網路中的地位 and 影響力，以及提升全球連網能力。
2. Submarine MCT：涵蓋柬埔寨海域：470 公里、分支 54 公里，是一條連接柬埔寨與相近地區馬來西亞、泰國的海底光纖電纜系統，有助於促進國際貿易、商務合作和文化交流。同時，也為柬埔寨的電信業者提供了更多的國際網路選項，提升了通信服務的品質和效率。

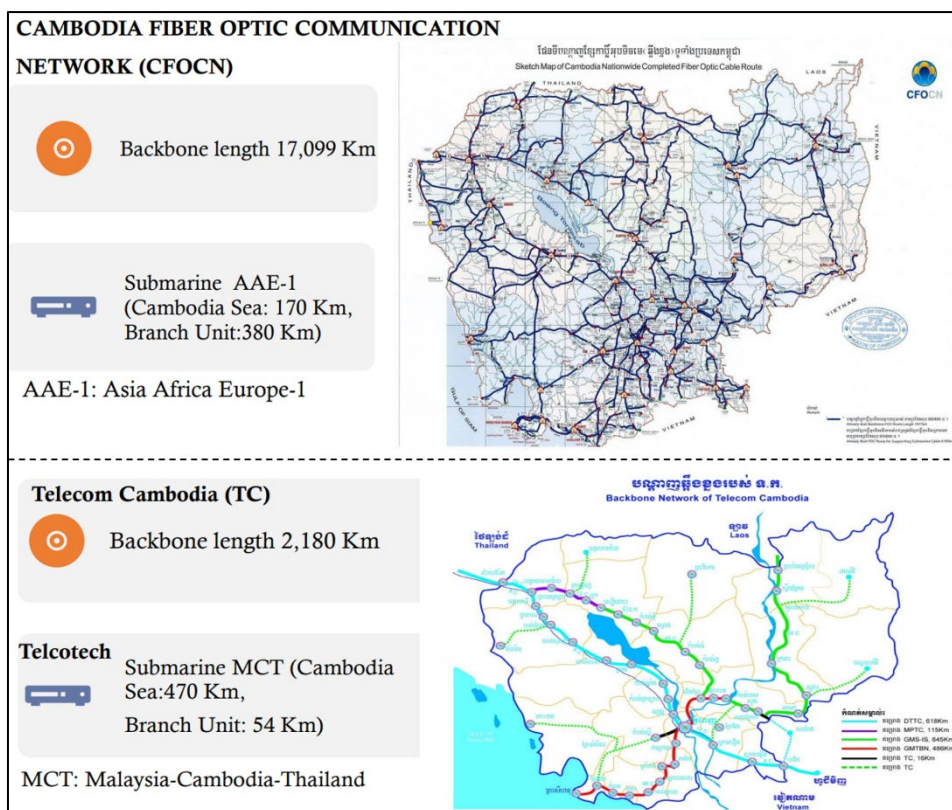


圖 19：柬埔寨光纖通信網路計畫

資料來源：TRC。

(三) 尼泊爾電信主管機關（NTA）提出的最後一哩連網

尼泊爾為一內陸國家，與印度和中國相連，總面積為 147,516 平方公里，人口密度為每平方公里 198 人，最高海拔為珠穆朗瑪峰 8,858 公尺、最低海拔為 59 公尺，地形地形可以分為三個主要區域，分別是山區（約占 15%）、丘陵區（約占 68%）和泰拉伊地區¹（約占 17%）。

根據 2023 年尼泊爾電信主管機關（Nepal Telecommunications Authority, NTA）所發布之 MIS Report 統計，在通訊市場中，固網用戶市占率為 2.75%，使用 PSTN、FTTH Voice、WLL、VAST 等技術；行動用戶市占率為 123.28%，使用 GSM、IMT（3G、4G）。由上可知，尼泊爾的行動通訊滲透率超過 100%，顯見行動通訊相當普及，遠超過國家總人口數。

尼泊爾的光纖到府（FTTH）相當普及，全國所有地區總部的全國所有地方各級、學校和醫院/衛生站皆可連接起來，超過 16,000 個站點已連接到接取網路。

¹ 泰拉伊地區：位於尼泊爾的南部，與印度的恆河平原相連。泰拉伊地區地勢平坦，多為低地和河流平原。這裡的土壤肥沃，氣候溫暖，是尼泊爾的主要農業和工業區域。泰拉伊地區還有許多國家公園和野生動物保護區，是野生動物觀察和自然生態旅遊的熱門地點。

而行動用戶 3G 與 4G 數據用戶約為 30%與 70%，且使用行動網路的 FWA 逐漸增加，全國有超過 8,000 座行動塔臺（towers）

在頻譜方面，已釋出 800 MHz、850 MHz、900 MHz、1800 MHz、2100 MHz、2300 MHz 頻段（如下表）。雖然尼泊爾尚未有 5G 網路，但已將 2600 MHz 的頻譜分配給 5G 試驗，將 700 MHz（n28）與 C 頻段（n77）規劃為行動技術使用，目前尚未進行分配，不過已計畫在不久的將來進行 700 MHz 頻段拍賣，毫米波將 26 GHz 頻段納入，以上頻段皆為技術中立。

表 4：尼泊爾頻譜分配表

Frequency Bands		800 MHz Band	850 MHz Band	900 MHz Band	1800 MHz Band	2100 MHz Band	2300 MHz Band	Total
Allocated Frequency Range		852-862 MHz paired with 811-821 MHz	824-834 MHz paired with 869-879 MHz	880-915 MHz paired with 925-960 MHz	1710-1785 MHz paired with 1805-1880 MHz	1920-1980 MHz paired with 2110-2170 MHz	2300-2400 MHz	
Available System Bandwidth		2×10 MHz (FDD)	2×10 MHz (FDD)	2×35 MHz (FDD)	2×75 MHz (FDD)	2×60 MHz (FDD)	100 MHz (TDD)	2×190 MHz (FDD) 100 MHz (TDD)
Assignments	1. Nepal Doorsanchar Company Ltd. (Nepal Telecom)	2×10	2×1.25	2×9.6	2×20	2×10	10	2×50.85 (FDD) 10 (TDD)
	2. Ncell Axiata Ltd.	-	-	2×9.6	2×20	2×15	-	2×44.6 (FDD)
	3. United Telecom Ltd.	-	2×2.5	2×5	2×12	-	-	2×19.5 (FDD)
	4. Smart Telecom Pvt. Ltd.	-	-	2×5	2×12	-	-	2×17 (FDD)
Total Assigned Frequency (MHz)		2×10	2×3.75	2×29.2	2×64	2×25	10	2×131.95 (FDD) 10 (TDD)
Unassigned Frequency (MHz)		-	2×6.25	2×5.8	2×11	2×35	90	2×58.05 (FDD) 90 (TDD)

資料來源：NTA (2021)。

尼泊爾電信主管機關 NTA 設立和管理「普及服務基金」(Universal Service Obligation Fund, USOF)，布建全國光纖網路，以確保尼泊爾的偏遠和邊遠地區，特別是那些經濟不發達和通信設施較差的地區，仍然能夠獲得基本的通信服務。此連接延伸至地方政府辦公室、學校和醫院，提供寬頻服務的補貼，前 2 年免費，之後提供 50%的補貼。另外，衛星終端執照之頻率費用與微波鏈路頻率使用費皆較為低廉。

七、後傳網路的演變-隨著 5G 生態系統的成熟可能面臨之瓶頸

隨著亞太地區的 5G 生態系統逐漸發展成熟和該地區的行動市場持續成長，主管機關和連網提供商共同努力，確保後傳網路（backhaul）傳輸服務能夠滿足不斷成長的需求。本次會議聚焦討論無線和衛星後傳網路傳輸解決方案與光纖發揮重要作用，以確保 backhaul 傳輸不會成為 5G 成長的瓶頸，並且升級 backhaul 傳輸服務，支持新興的應用案例。

(一) 印尼 2020-2024 年之頻譜藍圖

印尼目前使用的頻譜包含：450 MHz、850 MHz、900 MHz、1800 MHz、2.1 GHz、2.3 GHz、5 GHz，其中 2.3 GHz、2.1 GHz 與 1800 MHz 頻段已用於 5G 商用服務，該等頻段透過利用動態頻譜共享（DSS）和載波聚合（CA）等技術，可優化現有 4G 頻段以動態承載 5G 有效載荷流量（payload traffic）。除現有使用頻段外，印尼電信主管機關印尼資訊與通訊部（Ministry of Communication and Information Technology, Indonesia）規劃釋出新頻段包含：700 MHz、2.6 GHz、3.3 GHz、3.5 GHz 與 26 GHz，預計今天將 700 MHz、3.3 GHz、3.5 GHz 與 26 GHz 等頻段一起釋出。尚在研究和監測其生態系統的其他頻段包含 1427-1518 MHz、4800-4990 MHz (WRC-23)、6425-7125 MHz (WRC-23)與 28 GHz。

現有頻段	新頻段釋出目標			
450/850/900/1800 MHz 2.1/2.3/5 GHz	700 MHz	2.6 GHz	3.3 & 3.5 GHz	26 GHz
2021年開始，部分頻段已用於5G	2022年可使用	2025或2025之前可使用	2023或2023之前可使用	2023或2024年可使用
2.3 GHz、2.1 GHz、1800 MHz頻段已用於5G商用服務 - 透過利用動態頻譜共享(DSS)和載波聚合(CA)等技術，可以優化現有4G頻段以動態承載5G有效載荷流量(payload traffic)	- 當前使用情形：Free-To-Air Analog TV(免費接取模擬電視) - 最晚於2022年11月2日完成全國ASO(全數位化轉換)之後，該頻段於全國範圍內分配執照。	- 當前使用情況：衛星付費電視(BSS) - 該頻段將在衛星廣播服務(BSS)結束後可使用	- 當前使用情況：BWA和FSS - 大部分3.3 GHz頻段將在BWA遷移後可用 3.5 GHz頻段將在特定區域逐步開放	該頻段計畫於2023年與低頻段(700 MHz)和中頻段(3.3/3.5 GHz)一起釋出
目前 2.1 GHz 頻段正在準備頻段內整備(In-Band Refarming)，計畫於2022年12月1日執行並於2023年2月1日完成	還在研究和監測其生態系統的其他頻段包括：1427-1518 MHz、4800-4990 MHz (WRC-23)、6425-7125 MHz (WRC-23)			
	28 GHz頻段仍在研究中，用於有限區域的5G區域網路，以保護衛星服務			

圖 20：印尼 2020-2024 年之頻譜藍圖

資料來源：Ministry of Communication and Information Technology, Indonesia

在頻譜方面，印尼過去已有多次頻譜拍賣、頻譜重新配置之經驗。近期印尼根據「職業創造綜合法」（2020 年 11 號法律），對頻譜規管制度進行改革，其主要目標為頻譜是數位基礎設施的基本要素(oxygen)，因此頻譜管理需要更新和現代化，並提出優化頻譜之五大策略：類別執照頻譜共享、技術中立、頻譜整備、頻譜共享或租賃，以及頻譜轉移或交換。（詳細內容如下表）。

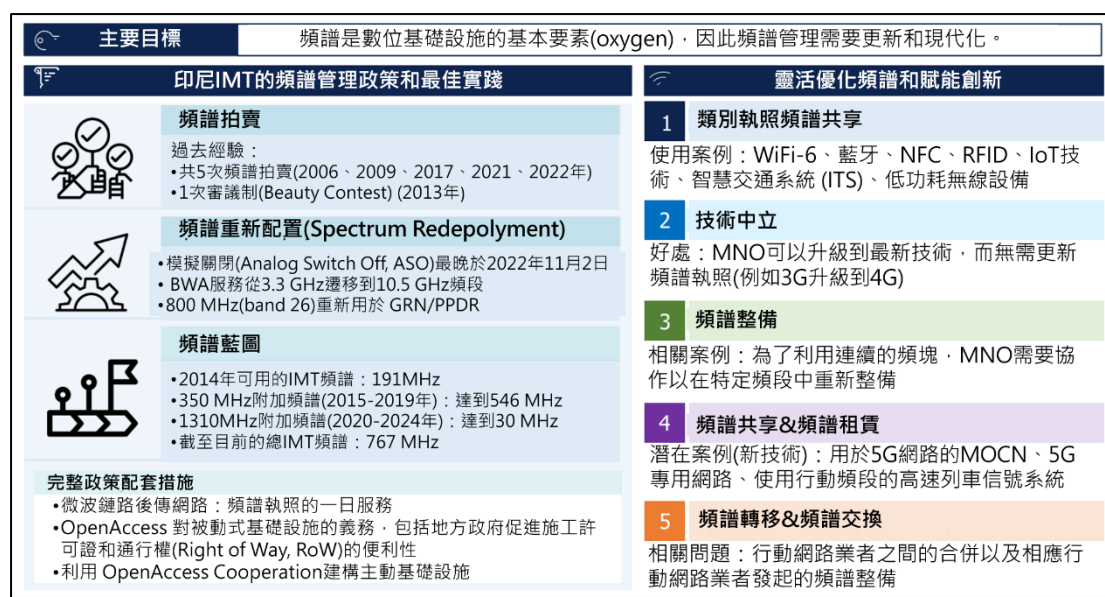


圖 21：印尼頻譜政策

資料來源：Ministry of Communication and Information Technology, Indonesia

(二) 歐洲電信標準協會(ETSI)-用於 5G 無線後傳網路的微波和毫米波頻譜

在行動網路中，日益凸顯無線後傳（wireless backhaul）之重要性。超過 70% 的大型基地臺透過無線後傳連接，預計到 2027 年將超過 55%。尤其是在 E-band、微波與毫米波頻段，E-Band 應用成長最快，年複合成長率超過 50%；微波（MW）和毫米波後傳的革新（Modernization），以符合 5G 布建，透過引進新技術，如：新型天線、干擾減輕和消除技術，以及評估後傳性能的新方法，擬定新 KPI（一流量可用性和端到端 QoE）。

另一方面，依據 GSMA 提出「無線後傳演進-提供下一代連接」，從 2021 至 2027 年，全球大多數大型基地臺和小型基地臺後傳鏈路將繼續使用微波和毫米波，其次是使用光纖。目前全球有超過 400 萬個鏈接運行中。

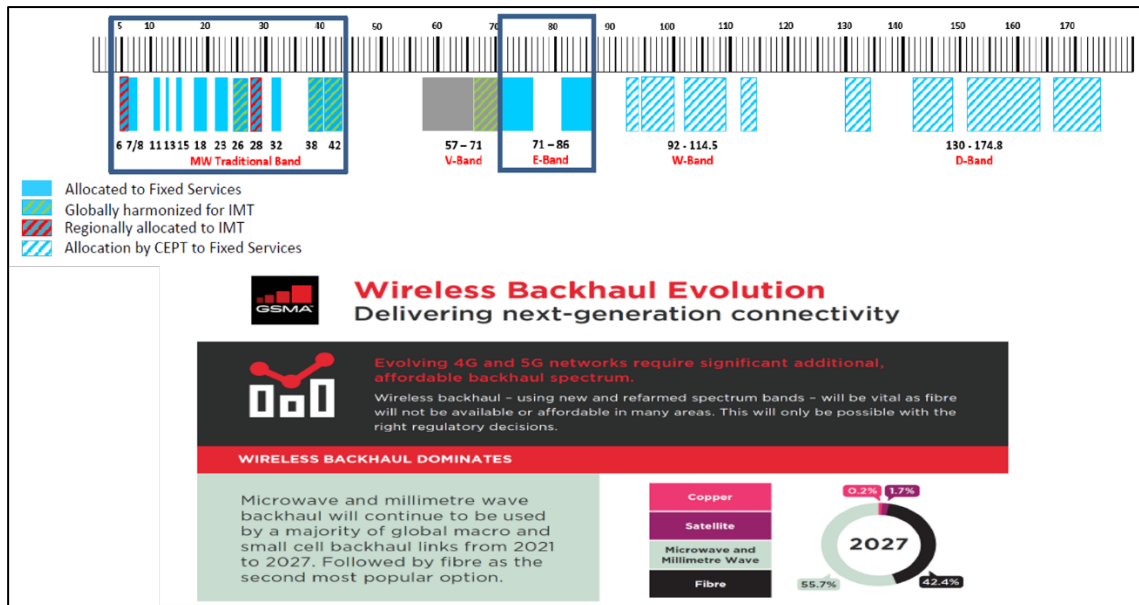


圖 22：無線後傳（wireless backhaul）在行動網路中的作用

資料來源：ETSI (2022) / GSMA (Feb. 2021)

無線後傳演進必須有新的 KPI，考量 5G 的流量模式和需求，以避免過度工程（over-engineering），並透過降低總體成本（TCO）延長跳躍長度兩倍²（extend hop lengths by two times）。新的 KPI 相關內容如下：

1. 使用新的衡量標準「後傳流量可用性」（Backhaul Traffic Availability, BTA）：從「容量」轉移到「流量可用性」，權衡不同模式的中斷機率與實際需要所述模式的機率；
2. 使用 BTA，當無法傳輸 RAN 所需的流量時，鏈路被視為不可用；
3. 根據 RAN 用戶的 E2E 服務品質體驗（Quality of Experienced, QoE）定義 BTA 的目標；
4. 基於 RAN 站點生存能力和超高價值流量的「保證資訊速率」（Committed Information Rate, CIR）的定義；
5. 不再以「峰值資訊速率」（Peak Information Rate, PIR）為可用性目標，轉向基於 3 個檢查點的新規劃方法（非常高優先等級流量的 CIR，具有 >5 dB 的 PIR 衰減餘量³（fade margin），BTA 介於 99.7-99.9%）。

² 在通信網路中，跳躍是指從一個節點到另一個節點的數據傳輸段落。一般情況下，跳躍的長度是有限的，它取決於傳輸介質、信號強度、延遲要求等因素。然而，通過將跳躍的長度延長兩倍，意味著數據可以在更長的距離上進行傳輸，而不會降低性能或可靠性。

³ 衰減餘量(fade margin)指的是為了補償信號波動或干擾而添加的額外信號強度或功率備用。

(三) 菲律賓電信業者 DITO-微波支持網路從 5G 向 5.5G 時代演進

菲律賓發展 5G 微波網路面臨了以下三大挑戰：(1) 超大容量(Ultra Capacity) -如何達到超大容量？如何充分利用高頻？(2) 複雜的架構 (Complex Architecture) -如何簡化配置？如何節省鐵塔 (towers) 的空間和載荷？(3) 頻譜限制 (Spectrum limitation) -如何充分利用頻譜？如何在一個室外單元⁴ (Outdoor Unit, ODU) 上聚合頻譜？如何在一個天線上聚合？針對以上挑戰，菲律賓電信業者 DITO 並提出兩種技術演進建議，並以布建數百個 E-band / SDB 鏈路且運行良好：

1. 在城市地區使用 E-band (60-90 GHz) / 超級雙頻 (Super Dual Band, SDB)：從「一發送天線一接收天線」⁵ (1 Transmit 1 Receive, 1T1R) 提升至「兩發送天線兩接收天線」⁶ (2 Transmit 2 Receive, 2T2R)
2. 在郊區/偏鄉地區使用載波聚合和多頻段天線
 - (1) “4 in 1” 載波聚合室外裝置 (Carrier Aggregation Outdoor Unit)
 - (2) 多頻段天線 (Multi-band Antenna)

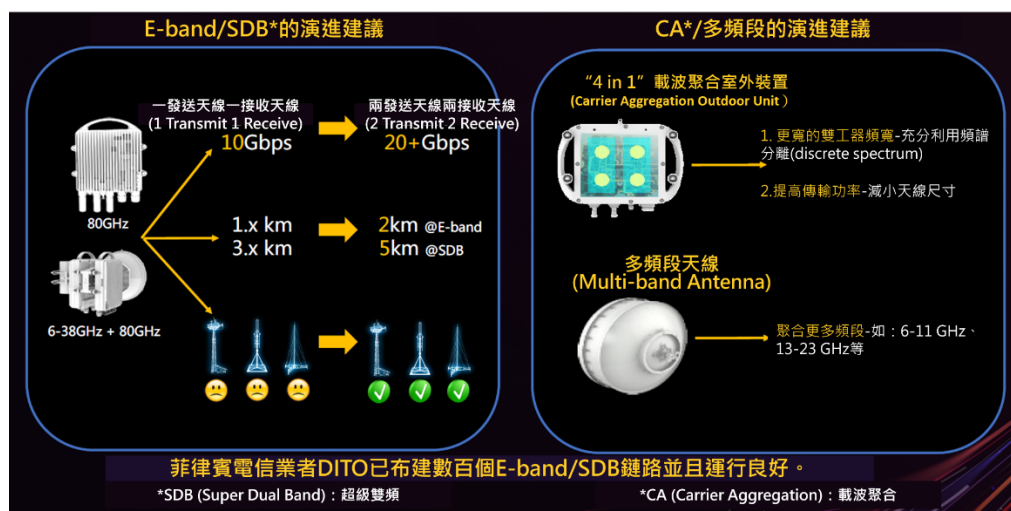


圖 23：菲律賓對於從 5G 邁向 5.5G 微波網路演進之技術建議

資料來源：DITO。

透過實施以上技術演進建議，菲律賓之微波可以滿足 5.5G 後傳網路之要求，如下圖所示。

⁴ 室外單元是一種在通信系統中使用的設備，通常安裝在戶外，用於處理和轉換信號。

⁵ 1T1R 是設備具有一個發送天線和一個接收天線。這種配置常見於低成本或較簡單的無線設備，如某些無線路由器或單通道無線設備。在這種情況下，設備可以同時進行單一數據流的傳送和接收。

⁶ 2T2R 是設備具有兩個發送天線和兩個接收天線。這種配置常見於高級無線設備，如一些雙頻無線路由器或具有多個天線的無線網卡。這種配置可以實現同時傳送和接收多個數據流，提供更好的無線信號涵蓋範圍和性能。

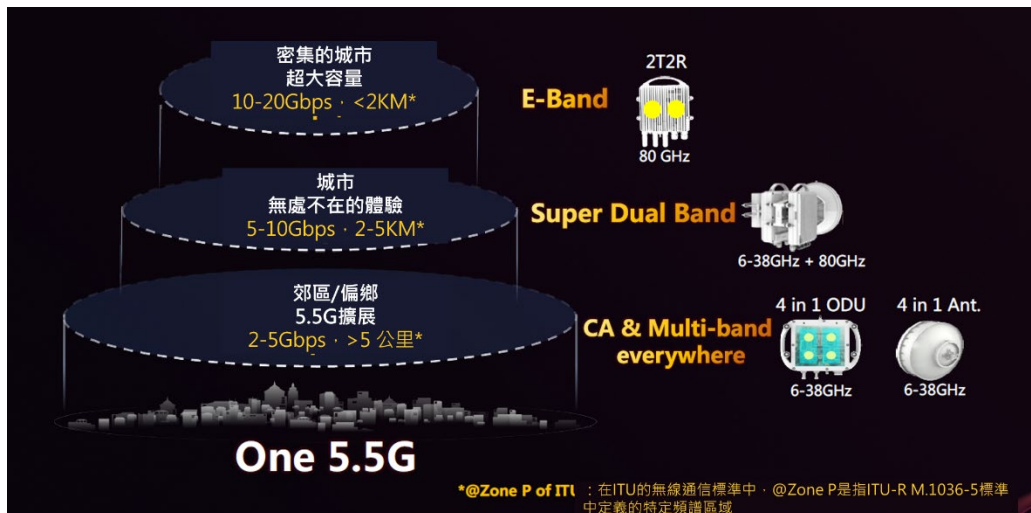


圖 24：菲律賓-微波滿足 5.5G 後傳網路之要求

資料來源：DITO。

八、國家案例研析-各地區或國家的頻譜藍圖

頻率藍圖是一份政策文件，用於規劃頻率分配，一般而言以制定 3 至 5 年的計畫為主。頻率藍圖提供用戶明確的頻率分配規劃與法律明確性，同時也提供相關利害關係人於早期階段交流的機會。另一方面，頻率藍圖也為主管機關提供預測潛在頻率需求的機會，並在未來 3 至 5 年內為不同用戶分配頻率。最後，頻率藍圖也可作為一種承諾機制，確保主管機關能及時將頻率釋出，供市場使用。

(一) 亞太地區 IMT 頻率授權之關鍵見解

根據 ITU 研究，亞太地區分配 IMT 使用頻段前三名為 700 MHz（提供 4G 和 5G 服務）、1800 MHz（提供 4G 服務）和 3.5 GHz（提供 5G 服務，其中 3.5GHz 頻段於 2018 開始釋出。頻率釋出方式多以拍賣為主，其餘的有指配（assignment）、行政分配、審議制（beauty contests）或混合方式（同時包括指配與拍賣）等。此外，部分國家之 IMT 頻率規劃關閉 2G/3G 網路（如越南）；部分國家之 IMT 頻率釋出是為了促進產業競爭，如伊朗。而澳洲則規劃重整低頻段頻率資源為 5G NR，如 2x 5MHz。雖然亞太地區只有很少數的主管機關提出 IMT 頻率藍圖，但仍建議 IMT 頻率藍圖應根據需求，確保亞太地區有更多 5G 頻率、分配更大的連續頻塊、於技術中立分配頻率供行動寬頻或 FWA 服務使用。

(二) 印度

目前印度已分配低頻段、中頻段和毫米波頻段頻率資源供 IMT 使用（參見下圖），在每一次頻率拍賣中，會先規劃頻段再進行公眾諮詢，其後於評估後進行頻率拍賣。頻率拍賣力求達成公開透明、有效使用、促進競爭、促使服務適時推出、最適價格等目標。

Frequency bands opened for IMT Services		
Spectrum Band	Band range (MHz)	Spectrum for IMT
600 MHz	663-703 [612-652]	40 MHz
700 MHz	713-748 [773-803]	30 MHz
800 MHz	824 – 844[869 – 889]	20 MHz
900 MHz	890 – 915 [935 – 960]	25 MHz
1800 MHz	1710-1765[1805-1860]	55 MHz
2100 MHz	1939-1979[2129-2169]	40 MHz
2300 MHz	2300-2380	80 MHz
2500 MHz	2535-2555 & 2635-2655	40 MHz
3300 MHz	3300-3670	370 MHz
26 GHz	24250-27500	3250 MHz

圖 25：印度 IMT 頻率

資料來源：DoT, India(2023), 9th Asia Pacific Spectrum Management Conference Country Case Study

另一方面，為了避免頻率資源過度集中，每一次頻率釋出皆會設定頻率持有上限，如單一得標廠商之 3.3 GHz 頻段頻率持有上限為 40%。目前印度共有 4 家行動通信業者取得頻率資源，分別為 Adani Data Networks、Bharti Airtel、Reliance Jio Infocomm 和 Vodafone Idea。

(三) 萬那杜（Vanuatu）

萬那杜是一個島嶼國家，由 83 座島嶼組成，其 63 座島嶼上有居民。萬那杜人口約 30 萬人，其中 40% 的人口小於 15 歲，而 75% 的人口居住於偏鄉地區。萬那杜 2021 年 GDP 為 9.65 億美元，最大的收入來源為光觀收入。然而，萬那杜目前面臨的挑戰有政府穩定性、經濟發展、天然災害、物流成本高、ICT 普及率，以及偏鄉電網等議題。

目前萬那杜共有 3 家行動通信服務業者，分別為 Vodafone、Digicel 和 Wantok，負責布建重要的微波後傳網路、使用少量的衛星網路，同時使用執照與免執照頻

率。此外，萬那杜有 4 家 ISP，以及一家經營海底電纜之服務商。過去，由於遭受颶風天然災害，造成通信網路中斷，耗費 2 至 3 週時間才完成修復。萬那杜直至 2018 年修法成立獨立的監理機關，名為電信無線通信和廣播監理機關（Telecommunications Radio-communications and Broadcasting Regulator, TRBR），其主要工作在為萬那杜制定電信、無線電通信和廣播之監理架構，並為 IMT 與衛星分配頻率，以促進通信發展。

(四) 孟加拉

孟加拉於 1993 年起開始指配 800 MHz 頻段供 1G 使用，爾後隨著技術進步，陸續分配頻率供 2G、3G 和 4G 使用，截至 2023 年 4 月尚未分配 5G 頻譜。孟加拉頻率分配方式由一開始的指配，演進為行政分配，直至 2013 年釋出 4G 頻率時改以拍賣方式辦理。

目前孟加拉共有 4 家行動通信業者，分別為 Banglalink、Grameenphone、Robi 和 Teletalk，其頻率分配參見下圖。其中，Grameenphone 為市場占有率最大的業者，約 43.8%，其次為 Robi，市場占有率約為 30.2%。近期規劃釋出之頻率有 2.3 GHz 頻段之 30 MHz、2.6 GHz 頻段之 40 MHz，以及 3.3-4.2 GHz 頻段。

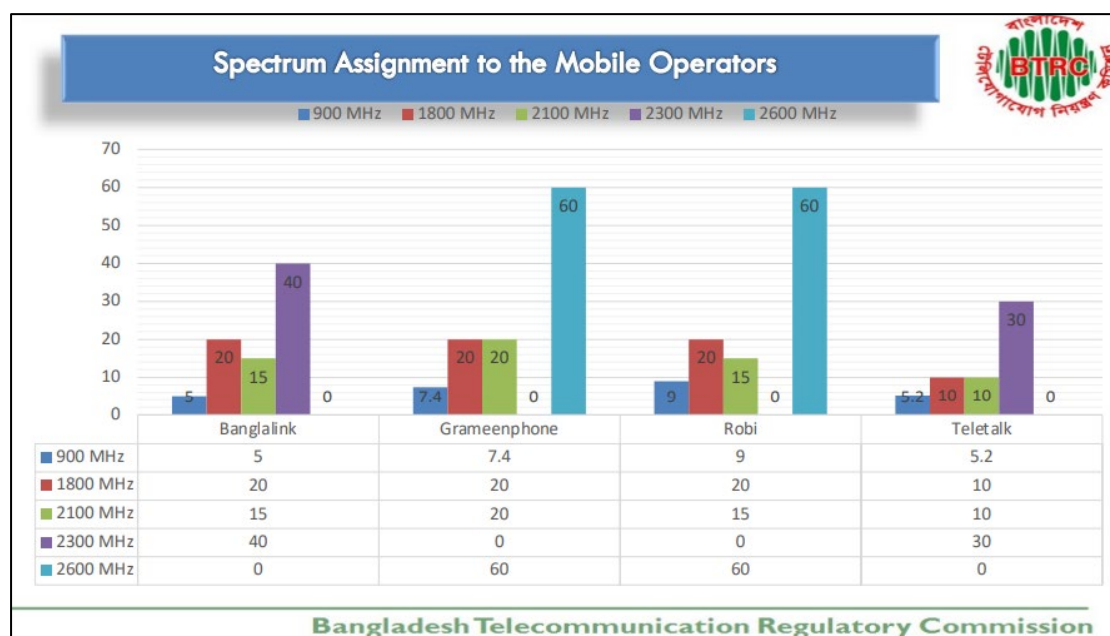


圖 26：孟加拉頻率分配概況

資料來源：BTRC(2023), Spectrum Roadmap: A Case Study on Bangladesh

九、塑造未來連網-5G 持續推出和發展的進展及經驗

目前 5G 網路已在亞太地區的許多國家有良好的建立，但某些國家仍處於早期發展階段。預計未來幾年該地區將推出大量新的網路，至 2025 年亞洲的 5G 連線數量預計將成長到 4 億以上。本次會議聚焦探討在 5G 發展過程的持續進展，無論是首次推出 5G 網路的國家，還是已發展且正朝向 5G Advanced 和下一步發展的國家，將審視不同的 5G 推出方法以及尚未推出網路的國家，同時亦探討 5G 發展的下一步方向。

(一) 韓國-Local 5G 政策

2021 年 12 月韓國電信主管機關韓國科學技術資通信部（Ministry of Science and ICT, MSIT）提出 local 5G（5G 區域網路）政策，為特定地區、特定用途所使用的 5G 網路，例如：某棟建築物內、有範圍的陸地面積，運用於智慧工廠、遠端手術、AR/VR 體驗場景、AR/VR 使用於教學等。韓國將 local 5G 其命名為 e-Um 5G，e-Um 代表 5G 的三大特性（eMBB、URLLC、mMTC），且韓語中的이음（e-Um）也意味著人與物之間的「連結」。

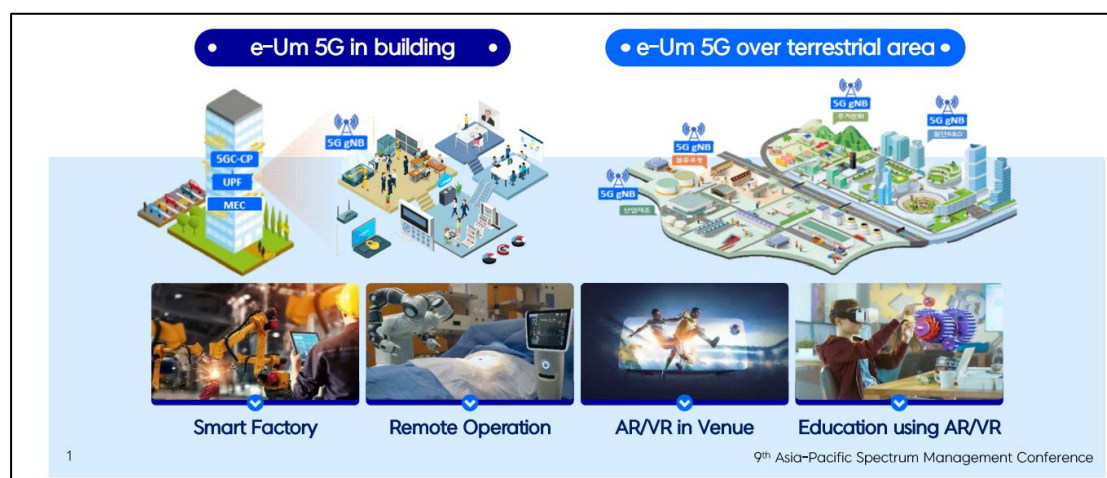


圖 27：韓國 5G 區域網路（local 5G）情景

資料來源：MSIT (2021)。

韓國採用 3 種 5G 區域網路類型，以提供服務者、服務用戶、提供服務之方式與執照類型（如下表）區分不同類型。可使用頻段為 28 GHz（28.9-29.5 GHz，合計 600 MHz）、4.7 GHz（4.72-4.82 GHz，合計 100 MHz）。

表 5：韓國 3 種 5G 區域網路（local 5G）類型

類型	服務提供者	服務用戶	提供服務之方式	執照類型
類型 1	私人組織	私人組織用戶	註冊成為私人網	電臺執照

類型	服務提供者	服務用戶	提供服務之方式	執照類型
			路建設者	(指定頻率)
類型 2	私人組織	私人組織或公共用戶	註冊成為電信業者	頻譜執照 (頻譜分配)
類型 3	第三方營運商	私人組織或公共用戶	註冊成為電信業者	頻譜執照 (頻譜分配)

資料來源：MSIT (2021)。



圖 28：韓國 5G 區域網路（local 5G）可使用頻段

資料來源：MSIT (2021)。

為因應未來 5G 區域網路之發展，MSIT 提出以下法規修訂，包含簡化先前已取得頻率執照的業者申請程序，若申請審查項目已於過往審查完成，則可略過該項目，並縮短於 2 周至 1 個月內審查完成。另一方面，公共用戶（如：地方政府）申請頻率執照流程也進行修訂，其執照年限為 1 年，但可以在公共用戶需要時隨時申請頻率執照。根據頻譜共享指南（Spectrum Sharing Guidance）規定，5G 區域網路不得對同一頻段的既有服務造成有害干擾，且應透過調整協調區（可調整區，參考信號接收功率-115 dBm）來協調干擾者和受干擾用戶，同時維持服務區（優先保護區，參考信號接收功率-105 dBm），將與同一頻段內之既有服務（如：固定服務）進行協調，以及同步採用 TDD 以避免交叉鏈路干擾。

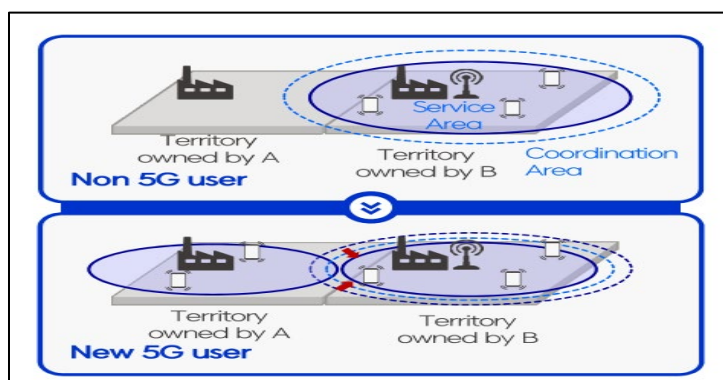


圖 29：韓國 5G 區域網路（local 5G）頻譜共享地理範圍示意圖

資料來源：MSIT (2021)。

2022 年韓國 5G 區域網路（local 5G）啟動涵蓋 8 個服務領域 11 項測試項目，包含物流、醫療、安全、機場、水資源管理、能源、製造、文化，其中高流量應

用將使用毫米波頻段，由於其超寬頻寬，適用於高流量和低延遲應用，如：即時沉浸式內容和自主機器人控制等。

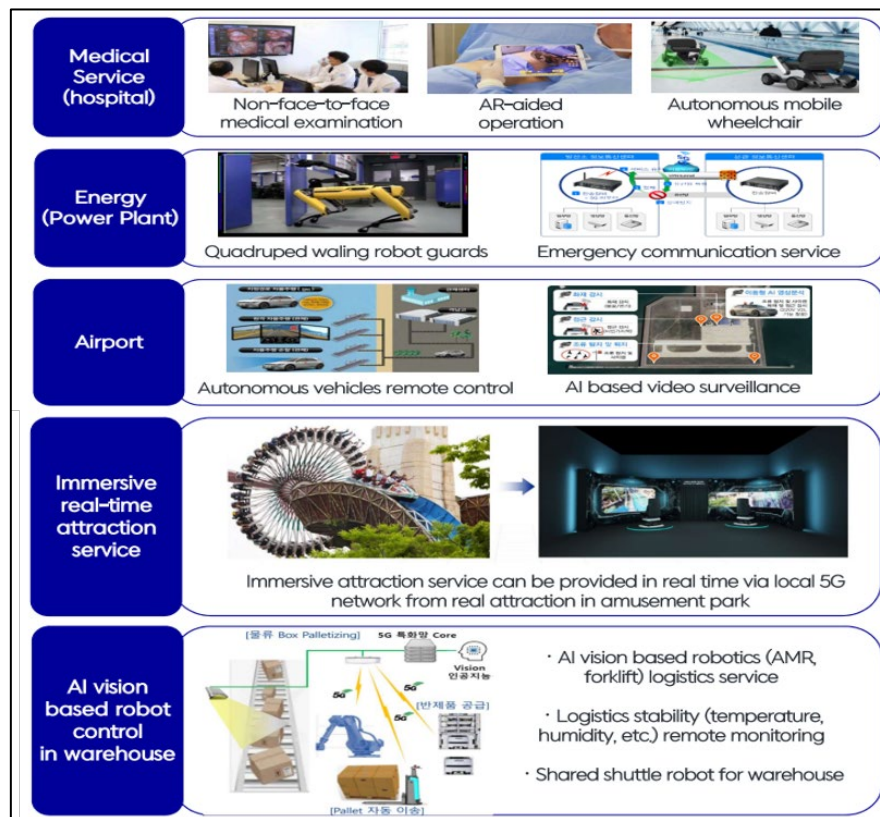


圖 30：韓國 5G 區域網路（local 5G）之應用領域

資料來源：MSIT (2021)。

(二) 中國華為-5G 發展國家戰略政策

至 2023 年綜觀國際 5G 發展相關數據統計，5G 服務已遍及 70 多個國家或地區，有近 240 套 5G 網路、390 萬臺基地臺、10 億用戶連線數、95 套 FWA 網路、超過 700 萬 FWA 使用用戶，以及超過 1,500 種 5G 技術，5G 生產力提升帶來超過 3 倍以上經濟成長量，正加速發展並扮演著數位基礎設施的角色。

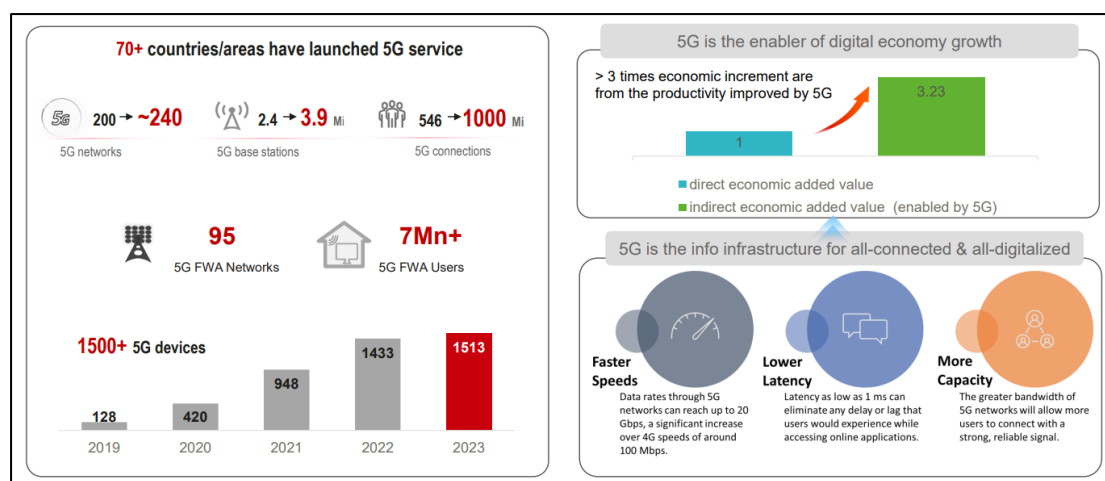


圖 31：國際 5G 發展相關統計數據

資料來源：Huawei (2023)。

中國華為強調政府支持對 5G 全面發展至關重要，5G 為 GDP 創造約 4.23 倍的貢獻，且創造的社會效益與經濟效益(7,500 億美元)遠超過電信業者收入(4,800 億美元)、終端裝置產業(1,400 億美元)等。5G 作為中長期國家戰略政策，應滿足以下事項：

1. 專注於發掘數位基礎設施的價值；
2. 及時提供 5G 頻譜，以提供比 4G 多 10 倍的容量和體驗；
3. 透過擴大電力供應和光纖到站點，為 5G 做好站點準備工作。目標是每個站臺提供 1000 個人口的服務；
4. 與手機產業協同合作，將具備 5G 功能的智慧型手機引入主流市場；
5. 提供資金支持，縮減城鄉之間的 5G 數位落差。

(三) GSMA-塑造未來的連網：專用網路的頻譜管理

根據 GSMA 統計至 2022 年第 4 季全球 5G 網路布建情形，雖仍處於早期發展階段，但多數歐洲、北美洲、南美洲及亞洲地區約 90 多個國家 200 多家電信業者皆如火如荼加速 5G 布建，同時可以發現中頻段（1-7 GHz）為多數國家發展 5G 之首選頻段，尤其是 3500 MHz 頻段。

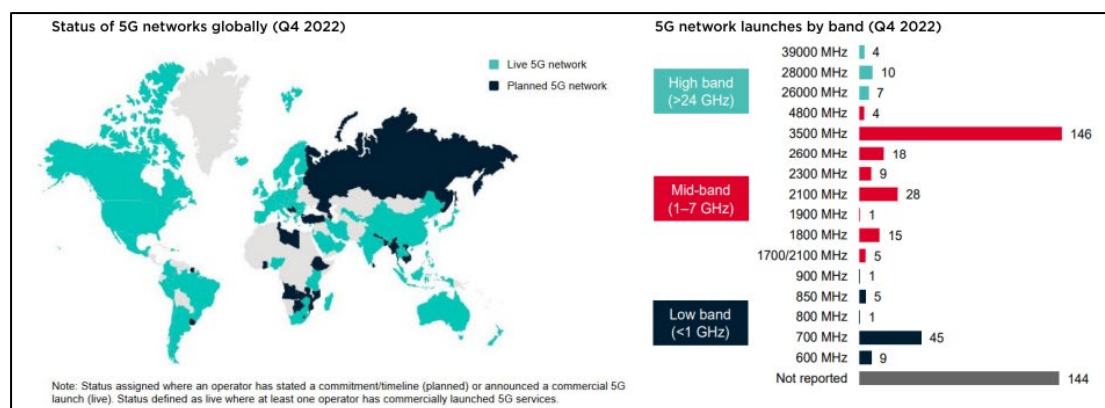


圖 32：GSMA 統計全球 5G 網路布建情形

註：綠色為國家至少一家電信業者提供 5G 商用服務

資料來源：GSMA Intelligence (2023)。

不同領域對於 5G 的各種應用非常感興趣，尤其是電信業者對於工業和企業應用案例，因此專用網路日益突出，專用網路從 4G 時代就已經存在，但隨著 5G 的出現，伴隨著一些關鍵的供給與需求驅動，供給面驅動因素包含 5G 技術的進步、專用網路標準化（3GPP R16 或 R17）等；需求面包含數位化轉型、數據安全等，這將有助於帶來進一步發展新使用案例。

表 6：專用網路發展之供給與需求驅動

供給面驅動	需求面驅動
5G 技術進步 - 專用網路標準化 - 供應商多元化 - 私人「5G in a box」⁷出現	- 數位化轉型 - 網路控制 - 數據安全 - Wi-Fi 限制 - 替代電纜

資料來源：GSMA Intelligence。

GSMA 研究各國為產業用戶提供專用網路 3.5 GHz 頻段，大致可區分為以下三種模式，有些國家同時採用兩種模式：

1. 預留頻譜 (Set aside spectrum)：分配一定範圍的頻譜，獨家授權給產業用戶。
例如：英國、德國。
2. 頻譜共享框架 (Spectrum sharing framework)：使多個用戶能夠同時接取頻譜。
例如：美國、英國。
3. 行動業者執照條件 (Licence condition for public mobile operators)：允許或要求行動業者布建專用網路或租賃頻譜。例如：印度、芬蘭。

⁷ 5G in a box 指的是提供獨立的、自包含的 5G 網路解決方案。

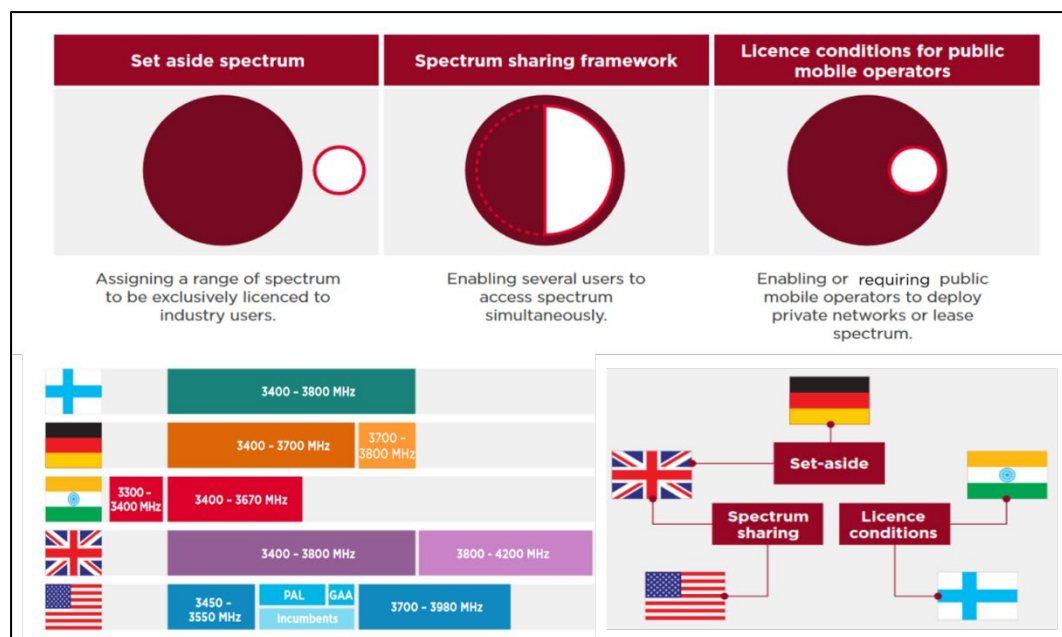


圖 33：專用網路使用頻段的三種模式

資料來源：GSMA Intelligence。

進一步說明上述各國採用不同頻率運用模式提供專用網路之效果與影響，彙整如下表格。

表 7：各國採用不同頻率運用模式提供專用網路之效果與影響

國家	3.5 GHz 頻段專用網路運用採用模式	效果與影響
德國	預留頻譜	- 效率不佳：預留大部分未使用產生閒置，而業者缺乏 3.5 GHz 頻譜 - 高成本：預估經濟成本為 30 億歐元
英國	預留頻譜、頻譜共享	- 效率不佳：留出太多頻譜 - 靈活性高：未來可能重新分配
美國	頻譜共享	- 效率不佳：由於電源與接取限制，可用性有限 - 高成本：估計 150-200 億歐元的經濟成本來自 CBRS 執照
印度	行動業者執照條件	- 效率不佳：提出幾種促進合作的模式 - 初期階段：評估已實施措施的影響為時過早
芬蘭	行動業者執照條件	- 效率較佳：對行動網路沒有影響，同時產業需求增長 - 合作可能性：行動與產業的積極合作

資料來源：GSMA Intelligence。

綜上所述，預留頻譜給專用網路對於電信業者沒有明顯優勢，會產生巨大的經濟成本。其次，頻譜共享框架較為複雜，對使用權和接取的確定性存在風險，因此制定政策時應考量並諮詢利害關係人，設定適合的執照條件，以最少的干擾與促進合作為目標，為頻譜用戶和消費者帶來最佳結果。

十、聚焦 7-24GHz 頻段-尋找「雙贏」的解決方案

先前討論未來 6G 使用頻率範圍大多聚焦於 90 GHz 以上的 THz 頻段，但近幾個月有所改變，關注重點轉向 7-24 GHz 的頻率範圍，且被視為 6G 的關鍵頻段。然而，該頻段已存在既有使用者，包括衛星（用於廣播和 ESIM）、國防、科學和固定服務等。因此本次會議聚焦評估該頻率範圍的使用情況、實現 6G 願景可能提供的潛力，以及採取的任何措施可能對衛星和其他現有用戶的影響。6G 使用頻率範圍將是 WRC-27 會議之重要議題，將探討該頻率範圍是否應納入本次討論，以及尋求滿足所有關鍵用戶需求的「雙贏」解決方案。

（一）Nokia-6G 頻譜之觀點

隨著每一代行動通訊技術之演進，6G 時代為數字世界、實體世界和人類世界三者間緊密融合，在 5G 時代所制訂之三大指標，包含增強型行動寬頻（eMBB）、大規模機器型通訊（mMTC）、超可靠且低延遲通訊（URLLC）仍持續發揮作用並深化，預期將更進一步加入「可持續性」（Sustainability）-與 5G 相比，增加超過 10 倍之容量，功耗降低 50%、「數位包容」（Digital inclusion）-解決服務可及性、可負擔性與可消費性、「安全和隱私」（Security and privacy）-安全和隱私風險日益增加，需要更嚴謹的控制。

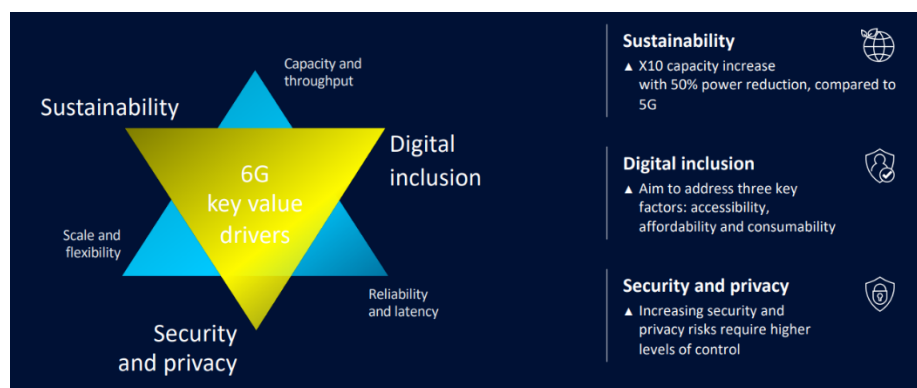


圖 34：6G 未來無線系統之特性

資料來源：NOKIA

從 5G 至 6G 技術將不斷推進，且達成目標所需的技術為革命性的進展，例如：在感官方面由高品質影像演進為全息傳輸、虛擬情境更進一步提升至即時同步狀態、數據通訊與控制演進為具有第 6 感的網路。預期 6G 在傳輸速率、可靠與低延遲性、連線數量等面向將大幅提升（如下圖）。

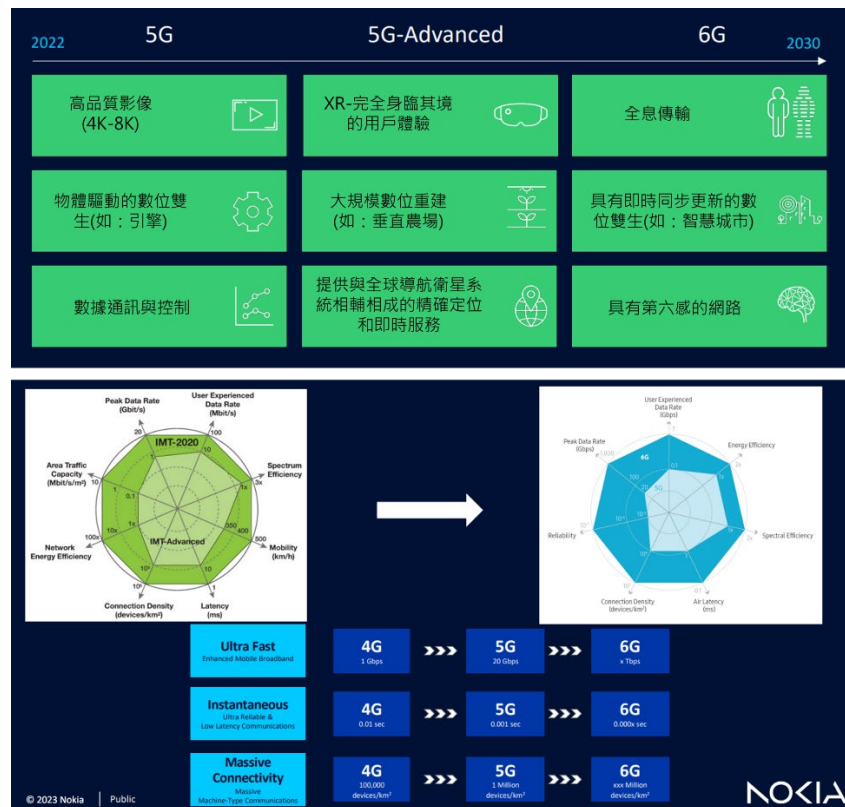


圖 35：從 5G 至 6G 技術演進過程與效能之提升程度

資料來源：Nokia (2023)。

針對頻譜方面，未來 6G 頻譜將從 sub-GHz 到 sub-THz 的頻段，除了利用現有的 5G 頻譜外，還需要額外的頻譜來啟動 6G，7-20 GHz 範圍內的頻譜（7.125-8.5 GHz、10.7-13.25 GHz 與 14-15.35 GHz）作為 6G「先驅頻段」至關重要，可透過使用例如 C 頻段基地臺基礎設施促進大型基地臺布建。此外，大於 90 GHz 的 sub-THz 頻譜可為區域提供超快、低延遲 6G 服務，預計 6G 將在執照和免執照模式下同時運行，且頻譜共享將在 6G 時代扮演越來越重要的角色。

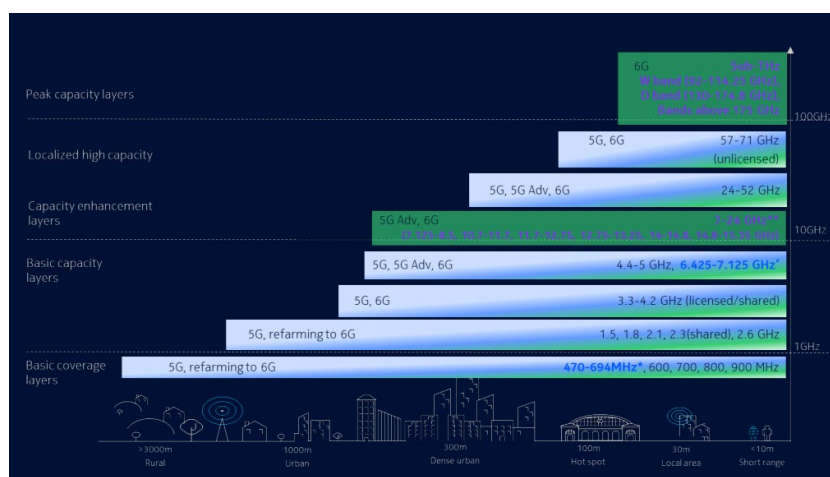


圖 36：未來 5G 與 6G 適用之頻段

資料來源：Nokia

(二) INTELSAT⁸- 7-24 GHz 頻段是否能找到「雙贏」的解決方案

綜觀近 30 年之 IMT 頻譜需求（如下圖），隨者時間移動，頻譜需求由中低頻逐漸往高頻發展，近年更是探討至毫米波頻段（24-71 GHz），其中 24.25-27.5 GHz、37-43.5 GHz、66-71 GHz 頻段更為全球探討之議題。由頻譜的物理特性來說，低於 1 GHz 的頻段適用於提升涵蓋；大於 1 GHz 的頻段適用於城市地區的容量；超過 18 GHz 的頻段已確定用於 IMT 小型基地臺，但目前為止該頻譜大部分未被使用。

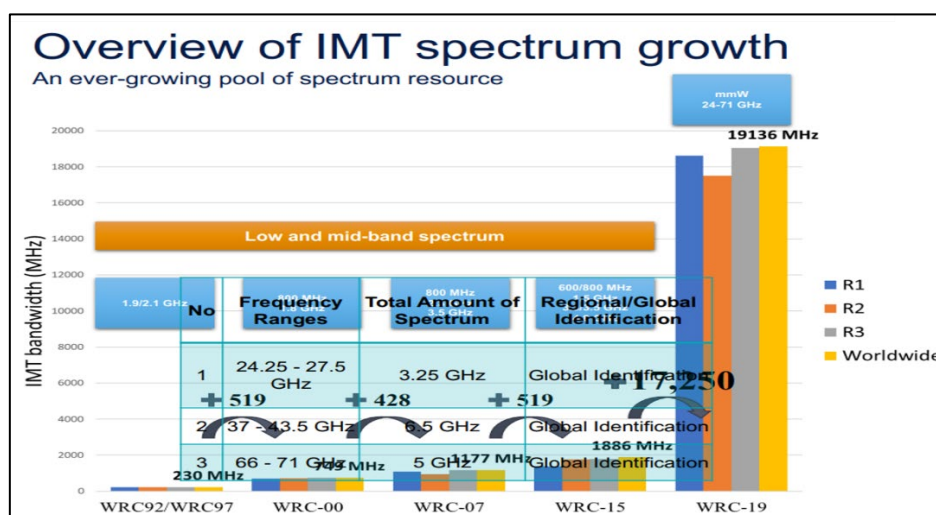


圖 37：IMT 頻譜成長趨勢

資料來源：INTELSAT (2023)。

⁸ INTELSAT 為一家跨國衛星服務提供商。

根據 TS telecom 統計全球可用頻譜（Available spectrum）與執照頻譜（licensed spectrum）之間的關係，下圖數值代表執照頻譜占可用頻譜的比例。全球各區最高，而全球平均只有 50% 的 5 GHz 以下（中低頻段）頻譜獲得執照，表示仍有一半可用之頻譜尚未作為提供服務使用。

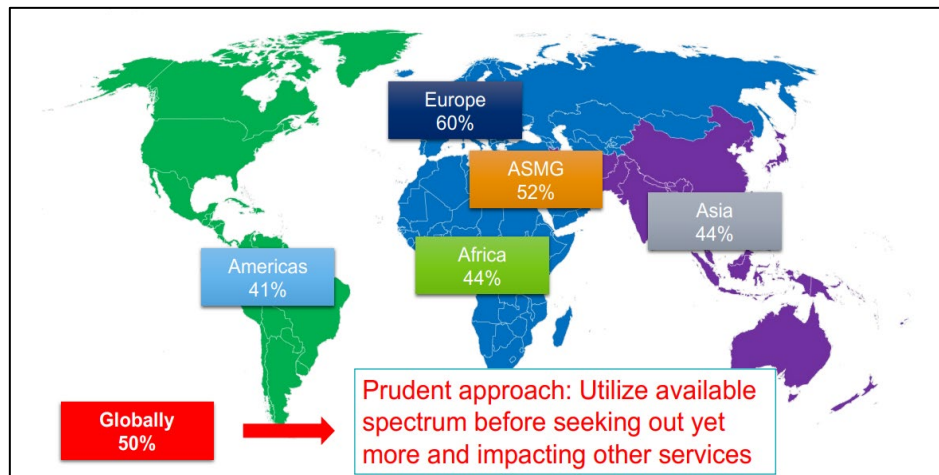


圖 38：全球各區域可用頻譜與執照頻譜之比例
資料來源：TS telecom (2019)。

根據 GSMA 統計 IMT 技術採用（即 2G、3G、4G、5G）率，至 2025 年，拉丁美洲、非洲、中東和北非、亞太地區 5G 採用率低於 17%，且採用 2G、3G 技術比例明顯下降，並將 2G、3G 所使用頻譜重整（re-farming）以用於 4G 或 5G 使用。

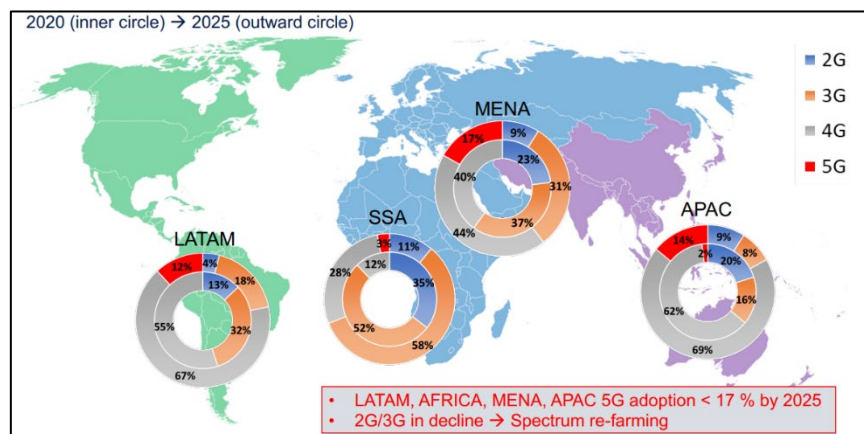


圖 39：比較 2020 年與 2025 年全球各地區域 IMT 技術採用率
資料來源：GSMA (2023)。

盤點全球 7-24 GHz 頻段之使用概況，可以發現該範圍內因存在許多關鍵應用而較為壅塞，包含無線電導航、無線電定位、衛星固定業務（FSS）、衛星行動業務（MSS）、廣播衛星業務（BSS）等，因此多數頻段有多數用途重疊之情形。

以目前市場來說，FSS 產業至少有 107 顆 FSS 同步軌道（GSO）衛星系統在運行，12 顆 FSS GSO 衛星正在開發；而有 582 顆非同步軌道（NGSO）衛星使用該頻段，且在不久的將來還會發射 36 顆。

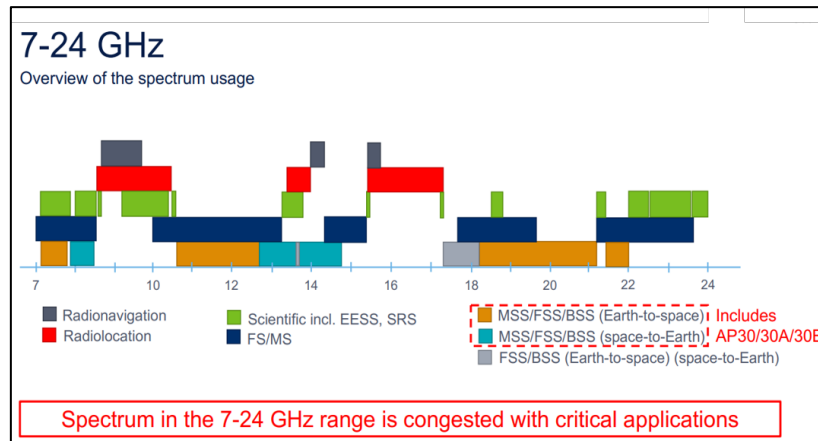


圖 40：全球 7-24 GHz 使用概況

資料來源：INTEKSAT (2023)。

綜上所述，全球各地區仍有許多可用頻譜未被使用，有 50% 中低頻段還可用於低於 5 GHz 頻段，mmWave 頻段使用極為稀少，僅在全球少數幾個國家使用。值得思考的是，IMT 頻譜是否應具有接取排他性，因此需從頻段中移除其他服務，但會對現有生態系統產生破壞。另一個問題是，在某些情況下，該頻譜甚至被保留且未被使用，從而導致頻譜囤積，建議採取更加務實和平衡的方法，在要求更多頻譜之前應使用或重新分配可用的頻譜，並持續關注 WRC-23 討論議題 1.2 與研究 7-24 GHz 內 IMT 系統之間的相互關係。

十一、毫米波使用現況與未來之潛力

毫米波頻段之高數據傳輸量與傳輸速率為實現 5G/6G 效能之重要頻段，然而在許多市場未被採用，或相關基礎設施建置緩慢。本次會議將探討市場對毫米波頻段接受度低之因素，以及未來可能的解決方案。

(一) 日本 5G 政策

日本行動網路發展快速，行動用戶數列居 OECD 國家之首。就 5G 頻率分配而言，已分配低、中、高頻供 5G 使用，但毫米波頻段（28 GHz 頻段）之商業化程度較低。目前日本 5G 網路已涵蓋 90% 的人口，但毫米波頻段之人口涵蓋率相當低，其訊務量占比也只有 0.2%。儘管如此，預期行動訊務量將以每年 20% 的速

度成長，其中，隨著 XR 和自駕車等新興服務的發展，毫米波頻段對於確保交通安全至關重要。

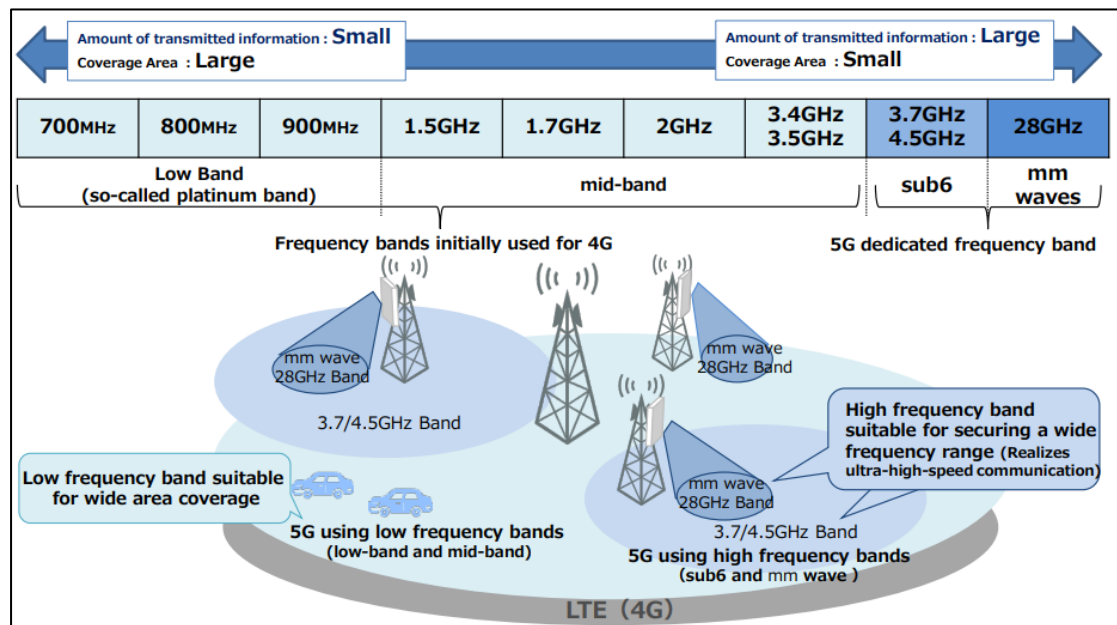


圖 41：日本頻率分配基本架構

資料來源：MIC(2023), 5G Policy for Japan

目前日本總務省已成立由學研、智庫和產業組成的研究小組，共同討論如何擴大網路涵蓋、增加相容設備、發展應用案例，以及毫米波之有條件拍賣 (auction with conditions)，預期將在今年夏天發布支持 5G 服務發展之相關報告。

(二) 愛立信

截至 2022 年底，全球 5G 用戶已達到 10 億戶，成長快速。然而，目前 5G 的滲透率只有 12%，仍處早期發展階段。由頻率資源分配計算，愛立信預期 2027 年 5G 用戶將超越 4G，並占總用戶的 49%。未來當整合低、中、高頻頻率資源，例如室內使用 3.5 GHz 頻段搭配 28 GHz 頻段，其數據傳輸速度可由單獨使用 3.5 GHz 頻段之 0.6 Gbps 大幅提升至 1.2 Gbps。

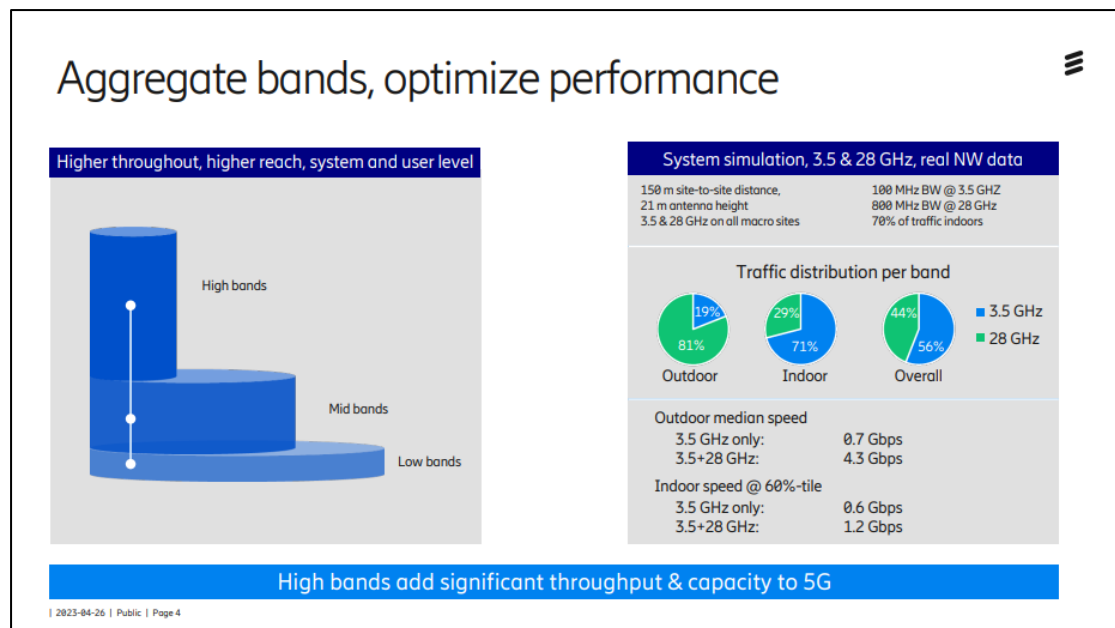


圖 42：頻段整合與最適效能

資料來源：愛立信(2023), mmWave potential

整體而言，毫米波頻可實現完整的 5G 效能，相關生態系統仍在發展當中，透過與中低頻段的搭配使用，可提供卓越的效能與網路涵蓋，建議應分配予 IMT 使用，以確保頻率的可用性。

(三) 馬來西亞

馬來西亞之 5G 網路由單一電信事業布建並提供批發服務，目前使用之頻段包括 700 MHz、2.5 GHz 和 28 GHz 頻段之頻率資源。馬來西亞同時考量公眾電信網路與企業專網需求，並解決網路干擾問題。就毫米波頻段應用而言，已進行遠端教學之試驗，讓相距 1,000 公里的老師與學生，透過虛擬環境進行互動。本項試驗實現 5.6 Gbps 之數據傳輸速率。

十二、衛星和非地面網路的未來形態-在快速發展的產業中改變連網和商業模式

全球太空和衛星產業正發生巨大變化，出現了大量創新的技術和商業模式。快速的發展帶來新機遇，但也面臨許多監理挑戰。本次會議將審視目前管理 GSO 和 NGSO 頻譜接取的監理制度，以確保在技術和服務不斷發展的情況下仍然是合適的規範，包含探討保護頻譜使用權的現有措施，以及管理衛星服務頻譜接取的執照和共享規則。值得注意的是，衛星直接與設備連接（direct satellite-to-device connectivity）的可能性以及該領域其他的創新等，以確保衛星產業在邁向 6G 的過程中能夠繼續蓬勃發展。

（一）沙烏地阿拉伯通訊、太空與技術委員會（CST）提出之非地面網路計畫

自 1990 年代以來，地面網路（Terrestrial networks, TN）一直是連線（connectivity）的主要驅動力。目前全球人口 79 億中，53 億人口為獨立行動寬頻網路用戶，隨著生活、工作和旅行變化涵蓋範圍會有所增減；37 億人口未使用行動寬頻網路（其中 5 億人口為涵蓋缺口、32 億人口為使用缺口）。

隨著無線基礎設施布建到地球表面以外，無線連接和網路也在不斷發展。沙烏地阿拉伯通訊、太空與技術委員會（Communications, Space and Technology Commission, CST）持續評估地面網路以外之可行性，非地面網路（Non-Terrestrial Networks, NTN）技術預期可提升連接性的可及性與可負擔性。由於 TN 著重於將現有的行動技術服務地區提供 5G 服務，但 NTN 可以協助擴大 5G 技術的涵蓋範圍，用於寬頻接取、窄頻物聯網（NB-IoT）應用、提供熱點因應臨時事件、災難恢復與緊急情況之連接等。



圖 43：非地面網路（NTN）類型示意圖

資料來源：CST (2023)。

CST 制定了啟用 NTN 技術並促進 6G 技術藍圖的長期計畫，提出以下四個面向以完善 NTN 系統：

1. 試驗項目：在沙烏地阿拉伯進行 6 項開創性試驗
2. NTN 拍賣與法規：制定監理框架，將 2100 MHz 頻段用於 NTN 頻譜拍賣
3. 國際論壇：舉辦「從天空連接世界」論壇
4. 國際合作：建立國際合作夥伴關係，推動 NTN 技術發展
5. 科學出版物：與科學和工業界進行交流，發表研究成果

以下將簡介目前 NTN 試驗項目的內容與試驗結果。

表 8：CST 之 NTN 試驗項目

項目		內容	試驗結果
5G HAPS 試驗		在紅海項目中展示使用高海拔平臺系統 (5G HAPS)首次成功提供 5G 涵蓋的全球試驗。該試驗提供了高速、低延遲的連接，將提升通信和資訊技術領域的領導地位。	• 涵蓋→+450 平方公里 • 下載速度→90 Mbit/s
低軌道 (LEO) 衛星物聯網衛星		展示低軌道衛星(LEO)用於偏鄉地區物聯網涵蓋的潛力，並支持無網路涵蓋的偏遠位置傳輸數據，試驗表明，LEO 輔助的 5G-IoT 衛星可用於提供涵蓋惡劣環境下的偏鄉地區。	• 測量→每天 10-12 次 • 吞吐量→高達 9.6kbps • 延遲→10 毫秒 (ms)
低軌道 (LEO) 衛	LEO 5G 後傳網	在與 STC、OneWeb 和 Saudi Aramco 合作的情況下，CST 試驗利用	• 8K 視訊通話→流媒體 • 下載速率→80.2 Mbit/s

項目		內容	試驗結果
星寬頻和後傳網路	路	OneWeb 的低軌道(LEO)衛星星座將可靠的 5G 連接性帶到 Saudi Aramco 位於偏鄉地區的鑽井平臺(rigs)上，透過將位於阿布凱克(Abqaiq)的 STC 塔臺與 STC 核心網路進行後傳傳輸。這種創新解決方案在效率和成本方面都比傳統的后傳傳輸基礎設施更具優勢，對 STC、Saudi Aramco 和 OneWeb 都非常有益。	- 上傳速率→26Mbit/s - 網路延遲→高達 22 毫秒
	LEO 寬頻衛星	利用非同步軌道(NGSO)衛星網路的寬頻衛星是一項新興技術，可從無網路涵蓋的偏鄉地區進行數據傳輸。試驗展示了數據傳輸的速度和延遲。同時，搭建了一個會議連接點，並測試了高品質視訊的速率。	- 網路→平均 32 毫秒 - 測試速度→400Mbps 以上
地球同步軌道(GEO)物聯網衛星		利用 GEO 衛星網路為海事應用提供物聯網解決方案，將提供端到端的數據收集、自動化和船舶對岸通信解決方案。	透過利用智慧數據來推動減少碳排放，觀察到一些船舶經營者在特定船舶上達成減少高達 20 %的二氧化碳排放
空對地 (A2G)		在利雅得(Riyadh)和吉達(Jeddah)之間的空域進行，使用一架沙烏地空中客巴士 A321 在其常規航線上飛行。地面布建多個 A2G 基地臺，為這架飛機提供無縫寬頻連接。	- 下載速率→100 Mbit/s - 上傳速率→35Mbit/s
混合非地面網路		地面系統與非地面系統的融合是 6G 的願景。目標是成功將無人機連接到 Omnispace 現有(NGSO)網路和 STC 行動網路。 該無人機由加拿大埃德蒙頓(Edmonton)遠端控制，並在達蘭(Dhahran)使用模擬混合衛星和行動網路進行飛行。	-

資料來源：CST (2023)。

(二) Omnispace-5G 非地面網路：下一代衛星網路

Omnispace 是一家全球性的通信科技公司，致力於打造全球性的衛星通信網路。該公司的目標是通過結合衛星和行動通信技術，提供全球範圍內的可靠、高效的通信解決方案。下表為 Omnispace 的公司概況與里程碑。

表 9：Omnispace 的公司概況與里程碑

項目	內容
衛星與技術	- 收購並營運現有的中軌道（MEO）衛星網路 - 低軌道（LEO）衛星計畫正在進行中，已於 2022 年 4 月和 5 月進行了發射 - 正在進行 5G 非地面網路（NTN）布建的技術開發
市場進入	- 優先使用 2 GHz S 頻段 NGSO ITU 備案投入使用 - ITU 之 GMPCS-MoU 簽署方 - 在不同國家獲得的 2 GHz 衛星行動服務（MSS）和補充地面組件（Complementary Ground Component, CGC）執照 - 使用 2 GHz S 頻段頻譜，與 3GPP 頻段和 ITU-R 對 IMT 衛星組件的規定一致，以實現規模經濟
夥伴關係	- 與 Intelsat 簽訂的衛星網路營運服務協議 - 與 Ligado 合作，在美國提供 L 頻段頻譜 - 與主要市場行動業者的合作協議

資料來源：Omnispace。

Omnispace 提出混合架構結合全球 NGSO（非同步止衛星）涵蓋和行動網路漫遊（MNO network roaming）解決方案，混合架構結合了全球 NGSO 涵蓋和 MNO 網路漫遊，行動網路業者在可涵蓋地面範圍內，將連接到 MNO 的網路；衛星網路業者在 MNO 涵蓋範圍之外或在「家庭網路」（home network）之外漫遊，將通過 Omnispace 網路連接。

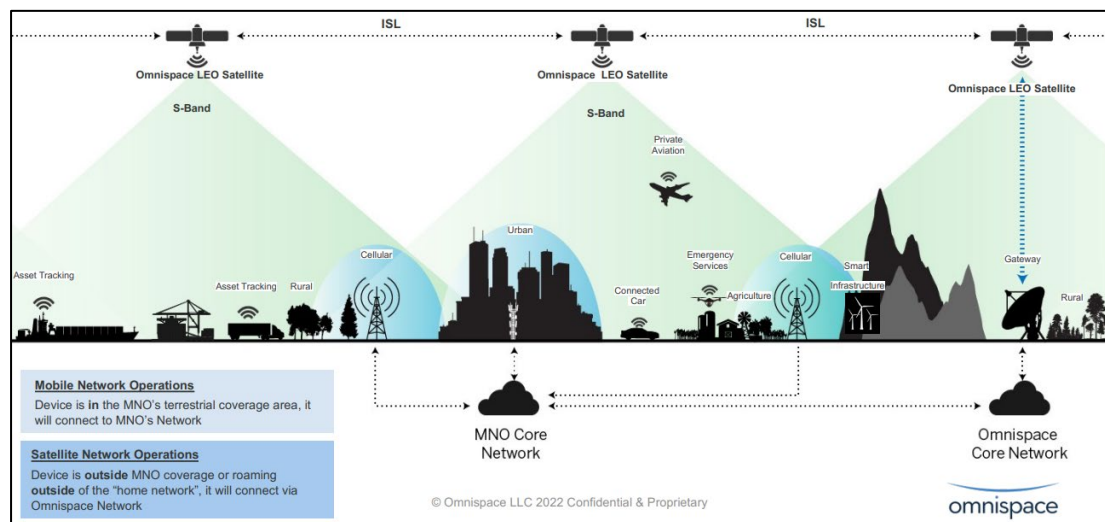


圖 44：Omnispace 混合架構結合全球 NGSO 涵蓋和行動網路漫遊解決方案

資料來源：Omnispace

3GPP 的 5G New Radio (NR) Release 17 版規範納入了 NTN 基礎設施標準，並得到監理機關和產業利益相關者的支持。彙整重點如下：

1. 有助於實現全球規模經濟並實現與地面相互操作能力；

2. 全球統一、可擴展的 NTN 基礎設施將削減技術開發和生產成本並加快創新速度；
3. 全球消費者和企業將受益於利用全球統一的衛星生態系統；
4. 利用專用的 NTN S 頻段和 L 頻段頻譜，允許全球統一的衛星行動服務(MSS)運作；
5. 避免對地面網路造成有害干擾的技術和監管風險。

(三) GSOA-衛星 (NTN) 已經是 3GPP 5G 生態系統的一部分

在鹿特丹舉行的第 99 次 3GPP 全體會議，在 3GPP 的重要突破是 Release 17 中針對非地面網路 (NTN) 在 FR1 頻段 (低於 7GHz) 的技術規範：

1. NTN-NR-衛星 5G 直接接取手持設備規範；
2. NTN-IoT-衛星直接傳輸低數據速率服務 (eMTC/NB-IoT) 規範。

自 NTN 技術規範發布以來，行動與衛星產業已經進行了多項技術展示，對基於 3GPP NTN 標準的衛星服務的發展表現出越來越大的興趣和意圖。在 Release 18 會進一步定義 NTN 的改進措施，包括支持 10 GHz 以上的其他布建場域，以增加新功能改善服務體驗。

未來，預期 6G 將是 NTN 和 TN 的融合，衛星與太空技術是 6G 網路發展的重要資產，在涵蓋範圍、彈性、可擴展性和可持續性方面的獨特優勢。

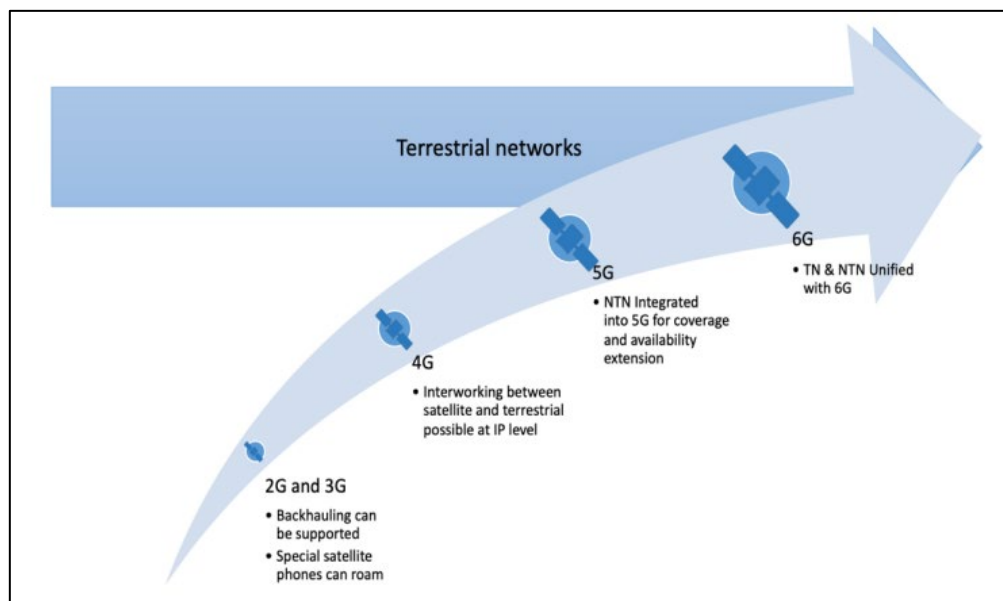


圖 45：2G 至 6G 的地面網路演進

資料來源：GSOA。

(四) Tinking Point：頻率定價的最佳實踐

由於頻率資源的稀缺性，好的價值訂定將有助於提高頻譜使用效率。頻譜價值係由一系列因素決定，包括頻率最高價值的使用、技術變化與頻率可用性、政府頻率分配規劃等，其可用下列公式呈現：

$$V=f\{\text{物理特性、地理涵蓋、執照規範與條件、技術變化、潛在需求、政策明確性等}\}$$

一般而言，頻譜價格的估計方式有二：(1)直接計算法：計算淨現值或成本減少（cost reduction）法；(2)國際標竿法：參考目前或近期市場資訊。然而，綜觀各國頻率拍賣狀況，亞太地區之頻率拍賣底價設的太高，使得底價成為得標價格，並出現頻率未成功售出的案例（如泰國和越南）。IMT 頻率的有效價格區間如下圖所示，建議設在綠色區間，並以拍賣方式由市場決定價格。

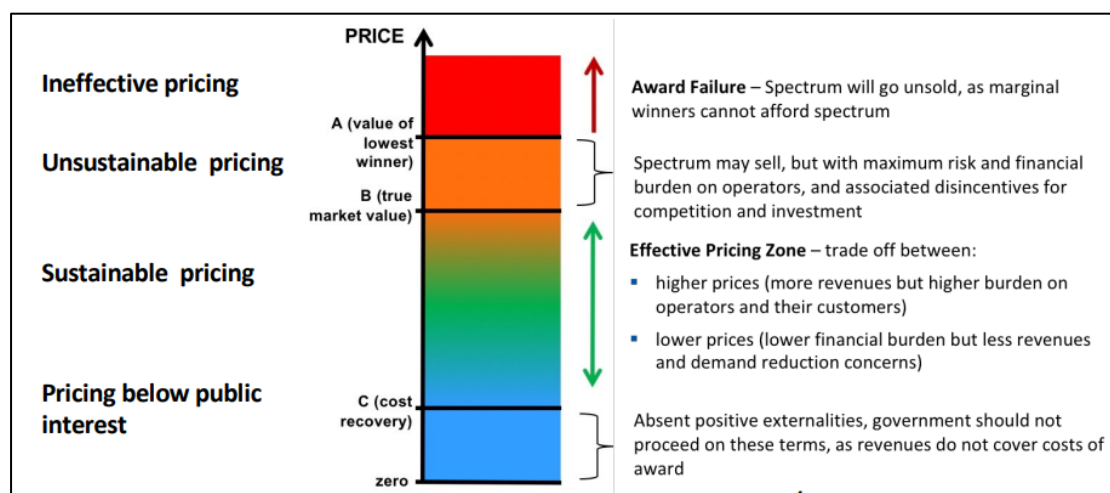


圖 46：IMT 頻率的有效價格區間

資料來源：WPC (2023), Thinking Point: Best Practice in Spectrum Pricing

綜觀亞太地區 IMT 頻率釋出經驗，可歸納出幾個主管機關所面臨的挑戰，包括拍賣機制設計、底價估算、頻塊設計、頻率持有上限、頻率使用或網路涵蓋要求，以及頻率與基礎設置共享要求。為了確保國家行動產業展並實現公共政策目標，應避免新分配予 5G 或未來 6G 使用頻率價格過高。

展望未來，行動網路經營者將需要超過 1 GHz 的頻譜（包括 3.5 GHz 與毫米波頻段），且取得成本需應維持在一定的收入占比，以確保產業的永續經營。最後，5G 仰賴連續的大頻寬，目前單一電信事業取得中頻段之 100 MHz 足以因應 5G 需求，但於 2025 年之後將顯得不足，因此建議釋出更多 C 頻段頻率資源供 IMT 使用（如 6 GHz 頻段）。

肆、心得及建議

本次第 9 屆亞太頻譜管理會議於泰國曼谷舉辦，會議議程為期 2 天、每天召開 8 小時之會議，邀集近 30 位來自國際通訊標準組織、產業組織、國家代表、行動網路營運商、設備商代表等與會人員進行分享與互動式討論。本次會議為 WRC-23 會議前的流程之一，討論議題相當多元，涵蓋 WRC-23 於亞太地區之主要目標、3.5 GHz、6 GHz、7 GHz 與毫米波頻段規劃與運用、衛星與非地面網路未來形態等主題。以下綜整討論度較高之議題及參與本次會議之建議與未來展望。

1、 整體通訊產業是否需要更多的頻譜需求值得討論

根據多數國際發表之行動通訊報告（如：愛立信、GSMA）指出，5G 目前仍處早期發展階段，2022 年底全球 5G 用戶雖已達到 10 億戶，然而，其滲透率只有 12%，尚未達到普及階段。目前，亞太地區分配 IMT 使用頻段前三名為 700 MHz、1800 MHz 和 3.5 GHz，全球各地區仍有許多可用頻譜未被使用，有 50% 中低頻段還可用於低於 5 GHz 頻段，mmWave 頻段使用也極為稀少。值得思考的是，IMT 頻譜是否應具有接取排他性，而必須移除頻段上既有服務，進而可能對現有生態系統產生破壞。另一個問題是，在某些情況下，該頻譜被保留且未被使用，從而導致頻譜囤積。綜上所述，評估頻譜需求建議採取更加務實和平衡的方法，在要求更多頻譜之前應使用或重新分配可用的頻譜，並持續關注 WRC-23 討論議題 1.2 與研究 7-24 GHz 內 IMT 系統之間的相互關係。

2、 亞太地區對於 6 GHz 頻段之用途仍存在不同觀點

目前全球對於 6 GHz 頻段（5925-7125 MHz）之規劃仍有不同的觀點，6 GHz 頻段本身存在既有使用者，包含衛星固定服務與固定服務，因此必須考量干擾與協調問題。本次會議上大致有三方面之觀點：(1) 支持完整 6 GHz 頻段開放予 Wi-Fi 使用 (2) 支持完整 6 GHz 頻段開放予 Wi-Fi 使用 (3) 持續研析 IMT 與無線電區域網路（如 Wi-Fi）共存的潛力。仍有待持續討論取得共識。

3、 預期 6G 時代將會整合地面（TN）與非地面（NTN）網路

全球化發展帶動數位連網需求，惟地面基礎設施可能無法滿足所有需求，而造成連網差距。截至目前為止全球有將近 27 億人口無法連網，但衛星通信可

提供無所不在的連網服務。由於地面網路（TN）著重於將現有的行動技術服務地區提供 5G 服務，但 NTN 可以協助擴大 5G 技術的涵蓋範圍，用於寬頻接取、窄頻物聯網（NB-IoT）應用、提供熱點因應臨時事件、災難恢復與緊急情況之連接等。此外，國際標準組織 3GPP 於 R17 首次將 NTN 納入並提出技術規範，此為一重要里程碑，同時多數衛星產業相關業者或國家監理機關亦積極提出多項試驗與初步成果，以及解決方案。

4、 建議本中心未來應持續參與國際會議與活動（正式或非正式）

近幾年 Covid-19 之影響，以線上方式召開國際會議已成為趨勢，本次會議能以實體與線上並行方式辦理，集結各界專家齊聚一堂，是十分難得之機會。

近年來通訊技術發生了巨大的變化，技術變化多元且快速。5G 至 6G 技術將不斷推進，且達成目標所需的技術為革命性的進展。雖然我國並非 ITU 會員國，仍可透過參與不同形式之會議了解各國或區域組織之最新發展現況與監管制度，且我國行動通訊市場競爭且普及程度相當高，對於新興技術與應用應即時掌握，因此建議未來我國頻率主管機關與本中心應持續參與亞太地區頻譜管理會議或其他相關會議，已掌握國際最新頻率管理制度脈動。

伍、附件：相關照片及資料



圖 47：第 9 屆亞太頻譜管理會議現場（資料來源：現場拍攝）



圖 48：參與人員於開幕典禮合照留影（資料來源：現場拍攝）