

2025 第四季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

次世代通信下高空通訊
平臺（**HAPS**）之國際
觀測與頻譜政策趨勢

委辦單位

moda
數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

10-12月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第四季

目錄

1

專題分析：次世代通信下高空通訊平臺 (HAPS) 之國際觀測與頻譜政策趨勢

一、 前言	1
二、 國際組織標準與頻譜分配趨勢	4
三、 主要國家 HAPS 政策與案例觀測	12
四、 結語	20

2

第四季 15 篇之國內外頻譜新聞及趨勢

- [十月國內外頻譜新聞超連結](#)
- [十一月國內外頻譜新聞超連結](#)
- [十二月國內外頻譜新聞超連結](#)

專題分析：次世代通信下高空通訊平臺（HAPS）之國際觀測與頻譜政策趨勢

一、前言

(一)HAPS 服務簡介與 6G 願景

依據國際電信聯合會（Internation Telecommunication Union, ITU）之無線電規則（Radio Regulation）定義高空通訊平臺（High Altitude Platform Station, HAPS）為運作於平流層、海拔約 20 至 50 公里的通訊站臺，隨著第 6 代行動通信（6G）網路架構下之非地面網路（Non-Terrestrial Network, NTN）興起，HAPS 其介於低軌衛星與地面基地臺間之角色，其重要性日漸提高，扮演關鍵的中介樞紐。

HAPS 具備多項技術優勢。其可長時間停留於固定高度，兼具衛星般的廣域涵蓋能力與較易維護的特性。在通訊效能方面，HAPS 因距離地面更近，傳輸延遲較傳統衛星系統更佳，在理想條件下可低於 10 毫秒。此外，由於與使用者設備的距離僅約 15 公里至數十公里，可提供高傳輸量服務，例如語音通話與視訊串流，避免如衛星直連（Direct to Device, D2D）受限於鏈路距離而僅能支援低頻寬服務（如文字訊息）之情形。一般而言，HAPS 單一波束可提供約 50 至 100 Mbps 的速率，峰值速率更可達 200 Mbps。

在應用層面，HAPS 的廣涵蓋特性使其特別適用於無地面網路建設之地區，有助於解決全球超過 27 億人口仍缺乏穩定網路服務的問題。其在災害救援、國防與軍事領域亦具高度價值，可作為重大災害後恢復通訊的重要彈性基礎設施。各國推動 HAPS 技術的目的，即在面對頻繁且規模龐大的天災時，提供災後重建期間的緊急通訊能力，尤其能滿足山區與離島等高風險地區救災單位的迫切需求。

(二)HAPS 頻譜管理之挑戰

HAPS 系統的特殊性所帶來之頻譜管理與監管挑戰，主要包括以下三點：

1. **頻譜共存與干擾議題：** HAPS 系統在不同頻段（如 IMT 行動頻段或專用頻段）運作時，可能與既有的地面網路及其他服務間存在共存議題。例如，行動基地臺若在靠近 4.0-4.2 GHz 的頻段運作，若濾波器設計不足，可能會干擾航空無線電高度計（Radio Altimeter, RA）於 4.2-4.4 GHz 的運作。
2. **法規與監管的模糊地帶：** HAPS 運行於距地面 20 公里至 50 公里的高空，橫跨領空及太空之間的區域，使得現行法規與監管形成模糊地帶。目前各國普遍缺乏針對 HAPS 設計、製造及營運的專門驗證標準；且國際間的頻譜分配與干擾管理機制亦尚未統一。
3. **商業化關鍵瓶頸：** HAPS 於平流層的長時間飛航與能源技術是商業化關鍵瓶頸。包括如何克服平流層的極端氣候、低氣壓、強烈紫外線及日夜溫差等挑戰，並在夜間或惡劣天氣下維持穩定供電。

第三代合作夥伴計畫（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）已於 2023 年 12 月 4 日正式宣布啟動 6G 標準¹制定工作，象徵全球通訊技術正邁向全新的發展階段。未來的 6G 網路將帶來更高頻寬、更低延遲，並具備更全面的涵蓋能力與更豐富的應用情境。為了實現上述目標，通訊技術正從過往以固定網路與行動網路為主的架構，逐步延伸至非地面網路（NTN）。NTN 強調利用太空載具（Space-

1 3GPP(2023),3GPP Commits to Develop 6G Specifications, <https://s.moda.gov.tw/bStmKzsMPqC4>

Borne) 或高空載具 (Air-Borne) 搭載通訊設備，提供跨地形的通訊服務，其概念如下圖所示。

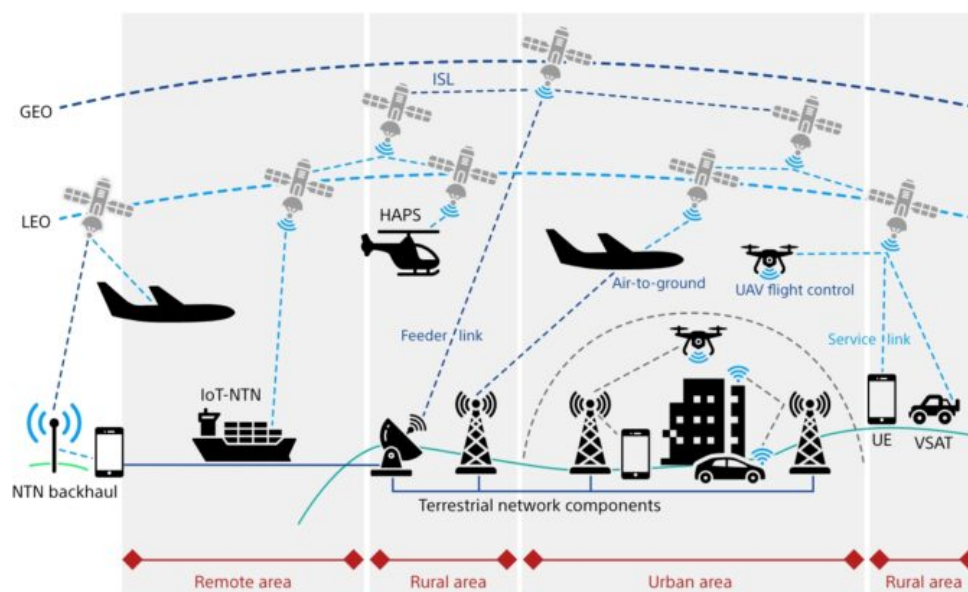


圖 1：地面與非地面網路之網路概念圖

資料來源：Rohde & Schwarz

我國在主管機關政策推動及電信業者的投入下，行動通信服務已幾乎涵蓋所有人口活動範圍。然而，我國位處地緣政治敏感區域，加上多山地形與多災環境，使通訊穩定性面臨許多挑戰，包括離島地區因人為因素造成的海纜中斷、東南部因颱風影響而出現大規模停電與通訊中斷等情形，往往直接危及民眾生命安全與財產。

因此，若能順應全球通訊三維化的發展趨勢，並加速完善地面、高空與衛星整合的立體通訊布建，我國不僅可深化既有的通訊能量，更能開創面向未來的新型通訊應用場景。結合我國在半導體晶片產業中的全球領先地位，更有機會在下世代晶片規格與通訊技術中持續扮演重要的引領角色。

二、國際組織標準與頻譜分配趨勢

(一)3GPP 於 NTN 技術演進

NTN 為利用太空或高空載體搭載無線通訊設備，向地面提供訊號傳輸，建立具立體化特性的通訊架構。太空載體包括地球同步軌道衛星 (Geostationary Earth Orbit, GEO)、中軌衛星 (Medium Earth Orbit, MEO) 及低軌衛星 (Low Earth Orbit, LEO)；高空載體則涵蓋飛船、高空氣球與無人駕駛飛機等平臺。NTN 技術在 3GPP 標準中的演進，是一個逐步深化且跨越多版本的研究過程。

3GPP 在 Release 14 首次探討 NTN 納入行動通信系統的可行性與潛在效益；Release 15，無線電接取網路 (Radio Access Network, RAN) 工作小組啟動與 5G 新無線電 (5G NR) 相關的 NTN 研究項目，並發布 TR 38.811 技術報告，分析建置場景、通訊模型及相關標準。

Release 16 進一步提出 5G NR 應用於 NTN 的空中介面解決方案，並發布 TR 38.821 技術報告，完整說明 NTN 架構要素，包括閘道器 (Gateway)、饋線鏈路 (Feeder link)、服務鏈路 (Service link)、衛星間鏈路 (Inter-Satellite Link, ISL)，以及太空載具可採用的傳輸型態，如透通酬載 (Transparent payload) 與再生酬載 (Regenerative payload) 等。

Release 17 相關研究轉為正式工作項目，進入標準化階段，重點在於太空載具通訊能力的強化，以及在智慧化網路架構下擴展 NR NTN 的可能性，同時也針對 NTN 上的 NR-IoT/eMTC 啟動研究。

Release 18 延續 NTN 標準制定，特別著重於物聯網裝置與 5G 智慧終端在 NTN 上的應用；Release 19 則聚焦於強化 NTN 上的增強型 NR-IoT，並著手進行 6G NTN 的可行性研究與標準化初期規劃。透

過逐步推進的工作，NTN 技術得以與行動通信架構深度整合，為未來開闢更廣泛的應用空間。

NTN 的發展預期將為通訊領域帶來深刻變革，不僅提升技術本身的能力，更改變偏遠地區缺乏涵蓋與災難期間通訊中斷等問題。其應用範圍橫跨交通、醫療、教育、能源等多元領域，既能作為地面網路的延伸，也可在災害時成為可靠的備援系統。透過與 5G 標準相容並結合太空網路，NTN 將提供更高速、無縫且高可靠性的通訊連結，並成為邁向 5G Advanced 及 6G 的關鍵技術基石。

(二)國際電信聯合會 (ITU) HAPS 頻譜規劃

1. 高空通訊平臺定義

高空通訊平臺為布建於高空、主要位處平流層運作的通訊設備。依據國際電信聯合會 (ITU) 無線電規則 (RR) 第 1.66A 條，高空通訊平臺係指位於海拔 20 至 50 公里之間，設置在相對於地球特定位置上之電臺。隨著行動寬頻接取需求不斷攀升，全球通訊系統極需更具彈性之方式，以提升國際行動通信 (International Mobile Telecommunications, IMT) 系統的容量與涵蓋範圍，因此發展出將行動基地臺直接搭載於高空通訊平臺上的「高空行動基地臺」(High Altitude Platform Stations as IMT Base Stations, HIBS)。HIBS 作為行動通信網路之延伸，可使用行動通信頻率進行接取，透過高空布建之優勢，進一步補強既有網路的涵蓋能力。

2. 高空通訊平臺開放頻段

無線電頻譜管理由 ITU 無線電部門 (ITU Radiocommunication Sector, ITU-R) 負責，其中第五研究組 (Study Group 5, SG 5) 專責研析地面系統與網路相關議題，涵蓋固定、行動、無線電測定、業

餘及衛星業餘等用途。高空通訊平臺可作為固定或行動通信系統的一部分，並使用上述系統所適用之頻率。

ITU-R SG 5 在 1997 年世界無線電大會 (World Radiocommunication Conference, WRC) 中，首次為高空通訊平臺接取固定通訊系統分配專屬頻率。其後，ITU 成員國於 2019 年的 WRC-19 就全球高空通訊平臺使用固定用途頻譜達成更具體的共識，在確保頻段能有效利用且不造成干擾的前提下，正式開放可供高空通訊平臺使用的頻率範圍。相關頻段彙整如下表所示：

表 1：WRC-19 HAPS開放頻段

固定通信系統			
頻段	開放區域	鏈路方向	法源依據
6.44-6.52 GHz	第一區(布吉納法索、象牙海岸、馬利共和國、奈及利亞)；第三區(澳大利亞)	下行	ITU RR 5.457 (WRC-12)
6.56-6.64 GHz		上行	
21.4-22 GHz	第二區(美國、格陵蘭、太平洋島嶼)	下行	ITU RR 5.530E (WRC-19)
24.25-27.25 GHz	第二區全區	24.25-25.25 GHz：下行 25.25-27.0 GHz：上行 27.0-27.5 GHz：下行	ITU RR 5.532AA、5.534A (WRC-19)
27.9-28.2 GHz	第三區(不丹王國、喀麥隆共和國、中國、韓國、俄羅斯聯邦、印度、印尼、伊朗、伊拉克、日本、哈薩克、馬來西亞、馬爾地夫、蒙古、緬甸、烏茲別克、巴基斯坦、菲律賓、吉爾吉斯、蘇丹、斯里蘭卡、泰國、越南)	下行	ITU RR 5.537A (WRC-19)
31-31.3 GHz	全球	雙向	ITU RR 5.543B (WRC-19)
38-39.5 GHz	全球	雙向	ITU RR 5.550D (WRC-19)

固定通信系統			
頻段	開放區域	鏈路方向	法源依據
47.2-47.5 GHz	全球	雙向	ITU RR 5.552A (WRC-19)
47.9-48.2 GHz	全球	雙向	ITU RR 5.552A (WRC-19)

資料來源：ITU、本計畫整理

高空行動基地臺（HIBS）使用行動通信頻率的法源基礎最早可追溯至 WRC-07，當時大會即完成 HIBS 可用頻段的初步規劃。然而，隨著全球行動寬頻需求快速攀升，ITU 在 WRC-19 會前籌備文件²中指出，ITU-R 針對高空通訊平臺頻譜需求的研究結果顯示，既有 HIBS 使用頻段恐難以因應新興應用所需之頻寬需求。

基於此點，ITU 於 WRC-19 決議將相關議題納入 WRC-23 的討論範疇，並新增議程 1.4（Agenda Item 1.4），以研析是否可在全球或指定區域內，於 2.7 GHz 以下、已分配供 IMT 行動用途使用的部分頻段，提供 HIBS 進一步使用。

依據 WRC-23 最終決議，除延伸過往已分配給 HIBS 的頻段外，大會亦新增開放 694-960 MHz 與 2500-2690 MHz 兩段頻譜供 HIBS 使用。相關開放頻段彙整如下表所示：

² ITU（2019），ITU Background Paper: Preparing for WRC-19 – Understanding the issues at stake and the impact of decisions to be made, <https://s.moda.gov.tw/EjFkULw6eCrS>

表 2：WRC-23 HIBS開放頻段

行動通信系統				
頻段	開放區域	鏈路方向	法源依據	原有分配
694-960 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 第一區: 694-960 MHz 第二區: 698-960 MHz 第三區: <ul style="list-style-type: none"> (1) 698-960 MHz: 澳大利亞、馬爾地夫、密克羅尼西亞、巴布亞紐幾內亞、東加王國、萬那杜共和國 (2) 703-733 MHz、758-788 MHz、890-915 MHz、935-960 MHz: 中國、印度、印尼、日本、韓國、馬來西亞、菲律賓、泰國 	<ul style="list-style-type: none"> 694-728 MHz: 上行 830-835 MHz: 上行 805.3-806.9 MHz: 上行 	ITU RR 5.14A、5.14B (WRC-23)	本次新增頻段
1710-1980 MHz	第一區、第三區	<ul style="list-style-type: none"> 1710-1785 MHz 第一區上行 	ITU RR 5.388A (WRC-23)	<ul style="list-style-type: none"> 1885-1980 MHz: 第一、第三區雙向
2010-2025 MHz		<ul style="list-style-type: none"> 1710-1815 MHz 第三區上行 		<ul style="list-style-type: none"> 2010-2025 MHz: 第一、第三區雙向
2110-2170 MHz		<ul style="list-style-type: none"> 2110-2170 MHz 第一、第三區下行 		<ul style="list-style-type: none"> 2110-2170 MHz: 第一、第三區下行
				(WRC-12)

行動通信系統				
頻段	開放區域	鏈路方向	法源依據	原有分配
1710-1980 MHz	第二區	<ul style="list-style-type: none"> • 1710-1785 MHz: 上行 • 2110-2160 MHz: 下行 	ITU RR 5.388A (WRC-23)	<ul style="list-style-type: none"> • 1885-1980 MHz: 第二區雙向
2110-2160 MHz				<ul style="list-style-type: none"> • 2110-2160 MHz: 第二區雙向 (WRC-12)
2500-2690 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • 第一、第二區: 2500-2690 MHz • 第三區: 2500-2655 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 2500-2510 MHz 第一、第二區上行 • 2500-2535 MHz 第三區上行 	ITU RR 5.14C (WRC-23)	本次新增頻段

資料來源：ITU、本計畫整理

(三)ICAO 對於 HAPS 之管理框架討論

國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 是聯合國旗下的專門機構，由全球民航 193 個成員國共同組成，負責制定航空安全、營運效率、技術操作及環境保護等所需的標準與法規，以推動全球民用航空系統的永續發展與安全。

ICAO 將 HAPS 歸屬於更高空域操作 (Higher Airspace Operation, HAO)，其指常規商業航空運輸高度之上的空域，定義為超過 60,000 英尺，約 18 公里。由於 HAPS 運行於 20 公里至 50 公里的平流層，其操作模式涵蓋長航時無人系統及其他先進平臺，因此被 ICAO 視為 HAO 的重要組成部分。

隨著 ITU 陸續完成高空通訊平臺相關頻段的分配，ICAO 亦著手展開配套研究。依據第 41 屆 ICAO 大會 A41-9 號決議「新進者 (New entrants)」³ 宣布的內容，ICAO 宣布啟動更高空域操作研究計畫，針對高空載具進入平流層及其以上空域可能引發的各項議題進行盤點與評估。

該研究計畫旨在釐清未來高空運作涉及的風險、管理制度與技術需求，並提出主管機關在面對此新興發展趨勢時應採取的必要措施。此舉不僅確保高空通訊及相關產業的發展能與航空安全並行，也有助於推動全球高空運作的制度化與標準化，實現跨國一致的管理架構。

為此，ICAO 已採取以下具體行動：

³ ICAO (2022), Assembly Resolutions in Force (as of 7 October 2022), <https://s.moda.gov.tw/RgeQXaj1nSE9>

1. **啟動研究與專區成立：** ICAO 於 2024 年 2 月宣布成立 HAO 專區，作為資訊分享平臺，並啟動為期三年期的研究計畫，專注於推動 HAO 政策及相關操作指引。
2. **制定全球共識：** ICAO 於 2025 年發布 HAO 策略框架⁴，旨在建立一個整體性的願景和全球共識，涵蓋監管、協調責任、賠償責任以及風險評估等層面。研究內容同時將包括制定安全、有效通過管制空域之規定，以及更高空域的分離管理、應急計畫與監測方法等。
3. **採取務實分階段方法：**於 2025 年發布之 HAO 策略框架，ICAO 建議對 HAO 採取分階段方法，初期著重於開發不具約束力的全球指南。此種方式有助於在技術快速發展的同時，提供各國和營運商必要的指導，並為未來的正式標準與建議措施（Standards and Recommended Practices, SARPs）建立良好的基礎。

整體而言，ICAO 的工作是因應 HAO 所帶來的監管問題，確保 HAPS 這類新興載具能夠安全、有序地整合到全球飛航系統中，並與傳統民用和軍用飛航保持協調之運作。

⁴ ICAO(2025),A strategic framework for higher airspace operations (HAO),
<https://s.moda.gov.tw/R6ZzKYPmrLGQ>

三、主要國家 HAPS 政策規劃與案例觀測

(一)日本

1. 高空通訊平臺政策規劃

日本總務省近年將非地面網路（NTN）列為無線電政策的重要發展方向，並規劃透過非同步軌道衛星與高空通訊平臺的運用，擴展高空及太空領域的通訊能力，以建構完整的 NTN 架構，如下圖所示。

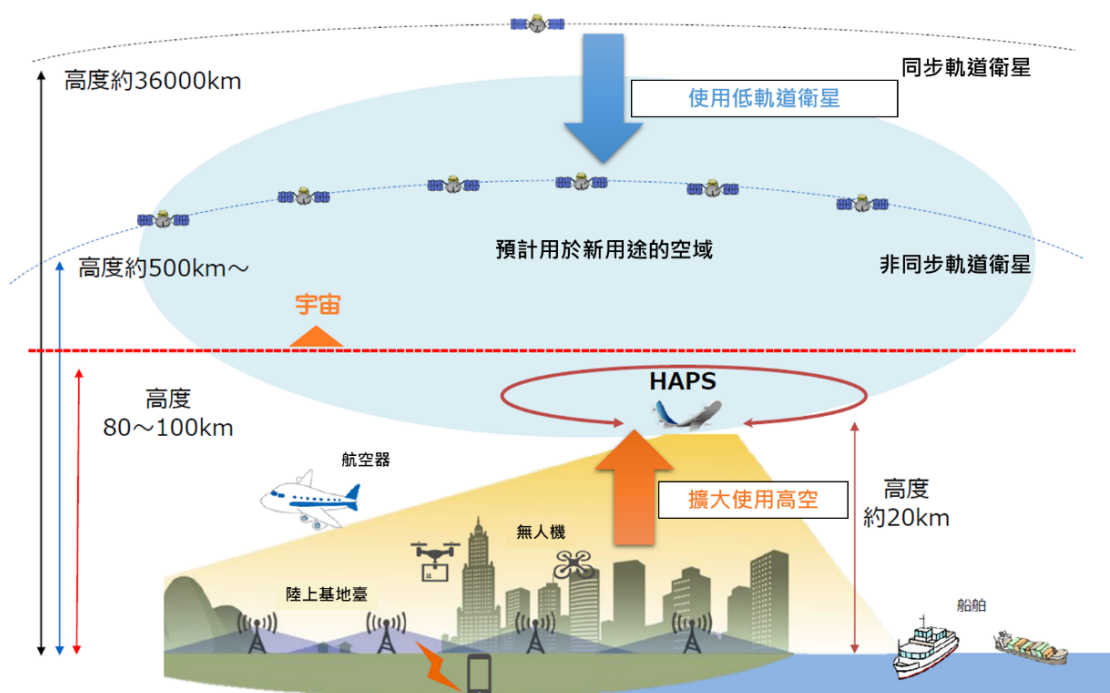


圖 2：日本總務省之NTN示意圖

資料來源：總務省，本計畫整理

根據總務省 2023 年《無線電波政策白皮書》⁵，衛星通訊與高空通訊平臺等 NTN 技術為跨越地面限制、串聯海域、空域與太空的多層次通訊網路，可有效擴大網路涵蓋範圍至偏遠島嶼、海洋、山區等地區，並在地面網路受天災影響時，發揮備援功能，確保關鍵通訊不中斷。

⁵ 總務省（2023），電波政策の動向，<https://s.moda.gov.tw/EPquzcczfrwx>

此外，總務省於 2023 年 4 月 25 日修訂「數位田園都市國家基礎建設整備計畫」⁶，進一步提出推動 NTN 發展的具體策略。針對高空通訊平臺部分，日本在 WRC-23 中主導相關國際規則的制定，包括擴大 HAPS 可用頻段、強化跨國協調機制等。同時，總務省亦規劃推動高空通訊平臺無線系統的技術實證，並建立跨部會及研究機構的合作架構，以加速相關政策與制度的研擬及落實。

2. 高空通訊平臺案例觀測

日本的主要電信業者包括 SoftBank、NTT Docomo、KDDI 與樂天，皆積極推動以非地面網路（NTN）擴大通訊涵蓋範圍的相關計畫。其中 SoftBank 與 NTT Docomo 不僅規劃採用低軌道衛星建設 NTN，也同步投入高空通訊平臺的研發，作為其 NTN 技術布局的一環。因此，本計畫將針對日本主要發展 HAPS 之 SoftBank 與 NTT DOCOMO 進行案例研析。

(1) SoftBank

根據 SoftBank 最新發布資訊⁷，該公司於 2025 年 6 月 26 日宣布，計畫自 2026 年起在日本啟動高空通訊平臺平流層的預商用（pre-commercial）電信服務。為推動相關技術布局，SoftBank 已對位於美國新墨西哥州，專門研發輕於空氣型（lighter-than-air, LTA）HAPS 載具的 Sceye 公司進行股權投資。

此外，SoftBank 並於 2025 年 6 月 20 日與 Sceye 簽署協議，取得使用 Sceye 平臺在日本提供 HAPS 服務的獨家權利。SoftBank 在既有的重於空氣型（heavier-than-air, HTA）HAPS 載具研發計畫之外，新增引進 LTA 型載具，以加速 HAPS 電信服務的商業化進程。

⁶ 總務省（2023），デジタル田園都市国家インフラ整備計画（改訂版），<https://s.moda.gov.tw/w64bn4RUtxv4>

⁷ SoftBank 官方網站(2025), SoftBank Corp. to Launch Pre-commercial HAPS Stratospheric Telecommunications Services in Japan in 2026, <https://s.moda.gov.tw/84VmKCHP9Dif>

SoftBank 表示，未來將透過 HAPS 商業服務打造具三維架構的次世代通訊網路，不僅可於 6G 時代支援無人機（drone）與無人駕駛飛行器（uncrewed aerial vehicles, UAVs）等空中載具，也能在地面網路因重大災害中斷時，提供關鍵的通訊備援能力。



圖 3：Sceye 公司之 HAPS 載具

資料來源：Softbank

(2) NTT DOCOMO

NTT DOCOMO 研究團隊於 2025 年 1 至 2 月於非洲肯亞完成一項示範實驗，將地面 LTE 基地臺發出的訊號透過在約 20 公里高的 HAPS 傳輸到地面的智慧型手機⁸。此項計畫係使用 AALTO HAPS 開發之固定翼飛行載具 Zephyr，並採用非再生式轉發（Non-regenerative relay）由地面閘道器將 4G LTE 基地臺訊號上傳至 HAPS，再由 HAPS 轉發至地面 4G 終端設備，其中，服務鏈路係使用 2 GHz 頻段之 10 MHz 頻寬、饋線鏈路則使用 38-39.5 GHz 頻段之 10 MHz 頻寬。

⁸ NTT DOCOMO (2025), ケニア上空の高度約20kmの成層圏を飛行するHAPSを介したスマートフォンへのデータ通信実証に成功, <https://s.moda.gov.tw/7rdG9dQWBcih>

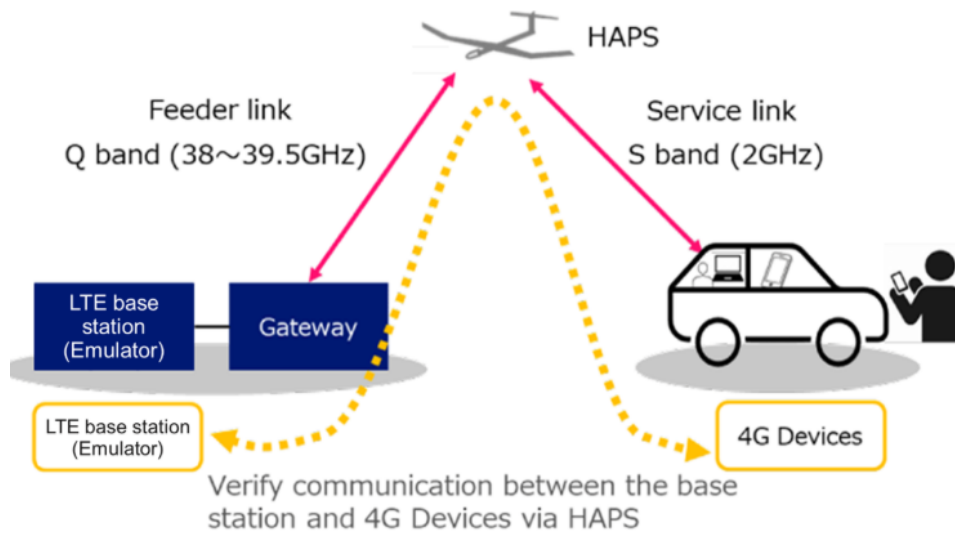


圖 4：NTT DOCOMO HAPS 網路架構圖

資料來源：NTT DOCOMO (2025)⁹

(二) 歐盟

1. 高空通訊平臺政策規劃

歐盟將高空通訊平臺稱為「高空偽衛星」(High-Altitude Pseudo-Satellites, HAPS)，定位為運行於平流層的先進無人駕駛飛行系統。此類平臺可在高空自主運作，提供通訊連續性、環境監控與災害應變等功能，通常運行高度介於海拔 18 至 22 公里（約 59,000 至 72,000 英尺），如下圖所示。

⁹ NTT DOCOMO (2025), Space Compass and NTT DOCOMO Successfully Demonstrate Data Connectivity to 4G Devices via HAPS at 20km Above Kenya, <https://s.moda.gov.tw/JWpCFobyggQs>

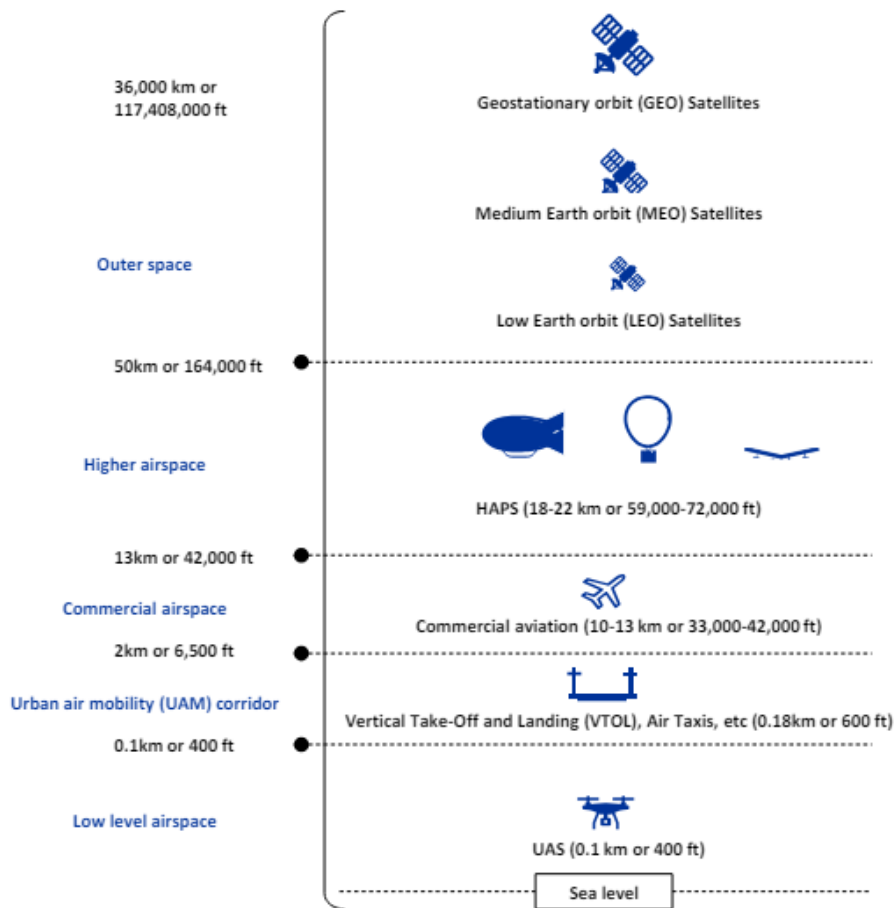


圖 5：歐盟規定HAPS之運行高度

資料來源：FRONTEX¹⁰

歐盟於 2021 年啟動高空平臺系統（EuroHAPS）¹¹ 示範計畫，著手研製三類輕於空氣（Light-Than-Air, LTA）技術演示器，包括戰略飛艇（Strategic Airship）、混合飛艇（Hybrid Airship）與自主平流層氣球系統（Autonomous Stratospheric Balloon System）。此計畫旨在支援情報、監視與偵察（Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, ISR）任務，並涵蓋 3D 光學雷達、通訊情報、紅外線偵測、訊號情報及電信功能等能力。EuroHAPS 由來自法國、義大利、匈牙利及西班牙等國的 15 家機構組成聯盟，目標在於加強歐洲軍隊之 ISR 與

10 FRONTEX(2023), HAPS market report, <https://s.moda.gov.tw/Oku1FD1BJHVF>

11 EuroHAPS (2021) , <https://s.moda.gov.tw/H16z8pxJJ7LF>

通訊能量，並強化歐盟緊急應變能力，也為偏鄉或難以涵蓋之地區提供更可靠的通訊網路。

2024 年 3 月 15 日，歐盟委員會發布《歐洲國防基金 2024 年工作計畫》(EDF Work Programme 2024)¹²，並核定 2,500 萬歐元經費，用於推動國防領域的多維度通訊標準發展。重點包括 5G 技術之系統整合與規劃，藉此確保軍用與公共 5G 網路之無縫接取，以提升高空航空平臺 (High-Altitude Aeronautical Platform Station, HAAPS) 的通訊效能，強化跨系統資訊共享。

整體而言，歐盟正積極布局高空通訊平臺技術，以提升其通訊、監視與安全防衛能力。隨著 HAAPS 被納入歐洲電訊基礎建設與國防安全體系，歐盟在高空通訊平臺的全球市場規模預期將在未來持續擴大，並扮演其關鍵角色。

2. 高空通訊平臺案例觀測

德國太空中心 (GERMAN AEROSPACE CENTER, DLR) 於 2018 年啟動五年期高空平臺 HAP alpha 專案¹³，於 2023 年平流層操作及研究研討會 (Stratospheric Operations & Research Symposium, SOaRS) 發布相關實驗測試消息，其載具示意圖如下圖所示。

¹² 歐洲國防基金 2024 年工作計畫，
<https://s.moda.gov.tw/16hKUqMTPXc9>

¹³ 德國太空中心啟動高空平臺(HAP alpha)專案，<https://s.moda.gov.tw/KK1cPuogKihM>



圖 6：HAP alpha 專案載具示意圖

資料來源：DLR

根據最新資訊¹⁴，德國航空航天中心（DLR）於國家無人機系統測試中心，成功完成高空飛行平台 HAP-alpha 的地面滑行測試，為計畫於 2026 年進行的首次飛行測試奠定基礎。測試涵蓋系統功能檢驗、結構耐震動分析及飛行程序驗證，結果均順利通過。

HAP-alpha 為太陽能驅動的高空偽衛星型無人飛行器，設計目標為長時間高空飛行並執行地球觀測任務。其大型超輕機翼可降低推進功率，使飛行保持低速率以提升續航能力。飛機已完成地面振動測試，並在完全組裝狀態下進行首次滑行，驗證動力與控制系統在類似飛行條件下運作正常。

首次飛行將使用特製拖車起飛，飛行器達到預定仰角後自動升空，著陸採用滑橇方式，初始高度限制為 150 公尺，後續將於偏遠地區進行高空試飛，最終目標飛行高度可達 20 公里。

14 Global people daily news(2025),德國航空航天中心（DLR）正在使用無人高空太陽能飛機 HAP-alpha進行滑行測試，<https://s.moda.gov.tw/xULkp73PdKbv>



圖 7：HAP-alpha於德國無人機系統測試中心，完成地面滑行測試
資料來源：Global people daily news

四、結語

高空通訊平臺作為橋接衛星與地面網路的關鍵中介節點，已成為全球非地面網路戰略中之核心地位。HAPS 憑藉其低延遲、廣覆蓋與高機動性的特質，使其在通訊韌性、災害應變、軍事偵察及未來的 6G NTN 中，展現出無可取代的戰略價值。

國際標準組織正積極推動 HAPS 的相關規範制定。ITU 已於 WRC-19 開放 HAPS 作為固定用途頻段之分配、於 WRC-23 新增 HIBS 所使用之行動頻段，以促進 IMT 系統之布建。同時，國際民航組織正在著手制定更高空域操作（HAO）的運行規則和全球監管框架，以應對 HAPS 運行高度帶來的監管問題。

綜上所述，我國應持續評估 ITU 已開放供 HAPS 及 HIBS 使用之頻段，並進行相關技術研析，以確認於我國使用之可行性。而從國際發展趨勢而言，雖 HAPS 擁有低延遲、廣域涵蓋與布建靈活性等優勢，惟技術仍屬新興階段，國際多數仍處於試驗與探索階段，尤其 HAPS 的商業化進程需克服長航時飛行所需的能源限制、高成本以及監管挑戰。因此，我國應持續關注國際動態，特別是日本等 HAPS 發展較為成熟國家之商業化模式，例如 SoftBank 與 Sceye 預計於 2026 年推出 HAPS 試營運服務，可作為我國未來政策制定與產業推動之重要參據。

參考資料

1. 3GPP(2023),3GPP Commits to Develop 6G Specifications, <https://s.moda.gov.tw/irWxt9iNkXY8>
2. EuroHAPS(2021), <https://s.moda.gov.tw/aApFuUmrLbui>
3. FRONTEX(2023),HAPS market report, <https://s.moda.gov.tw/Qr65QHreJaEk>
4. Global people daily news(2025),德國航空航天中心(DLR)正在使用無人高空太陽能飛機 HAP-alpha 進行滑行測試, <https://s.moda.gov.tw/AsiQUhFg6AVe>
5. ICAO(2022), Assembly Resolutions in Force (as of 7 October 2022), <https://s.moda.gov.tw/KSiwaPkPhS32>
6. ICAO(2025), A strategic framework for higher airspace operations (hao), <https://s.moda.gov.tw/snGNc1w8jDpn>
7. ITU Final Acts WRC-19, <https://s.moda.gov.tw/Cjmvd7QAACeB>
8. ITU Final Acts WRC-23, <https://s.moda.gov.tw/9Yz13r5RCLHC>
9. ITU Radio Regulations, <https://s.moda.gov.tw/NyQHmerzGynr>
10. ITU(2019), ITU Background Paper: Preparing for WRC-19- Understanding the issues at stake and the impact of decisions to be made, <https://s.moda.gov.tw/SCcnht96p4aE>
11. NTT DOCOMO (2025), Space Compass and NTT DOCOMO Successfully Demonstrate Data Connectivity to 4G Devices via HAPS at 20km Above Kenya, <https://s.moda.gov.tw/nmBpVESSxzvz>
12. NTT DOCOMO (2025), ケニア上空の高度約 20km の成層圏を飛行する HAPS を介したスマートフォンへのデータ通信実証に成功, <https://s.moda.gov.tw/yXPN2biJ2HvE>
13. SoftBank 官方網站(2025), SoftBank Corp. to Launch Pre-commercial HAPS Stratospheric Telecommunications Services in Japan in 2026, <https://s.moda.gov.tw/vjUtz27uY8n7>

14. 德國太空中心啟動高空平臺（HAP alpha）專案，
<https://s.moda.gov.tw/VLLbpWCZj8NM>
15. 歐洲國防基金 2024 年工作計畫，
<https://s.moda.gov.tw/UW8mbD69P2Vc>
16. 總務省（2023），デジタル田園都市国家インフラ整備計画（改訂版），<https://s.moda.gov.tw/rgMB2Puc12wL>
17. 總務省（2023），電波政策の動向，
<https://s.moda.gov.tw/AANuQmGMog9j>

2025 第四季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

次世代通信下高空通訊
平臺（**HAPS**）之國際
觀測與頻譜政策趨勢

委辦單位

moda 數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

10-12月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第三季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

國際**3.3-4.2 GHz**中
頻段核配與釋出狀態
趨勢展望

委辦單位

mod^a 數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

07-09月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第三季

目錄

1

專題分析：國際3.3-4.2 GHz中頻段核配 與釋出狀態趨勢展望

一、 前言	I
二、 各國核配措施與頻譜共存策略	I
三、 國際趨勢與政策比較	9
四、 結語	15

2

第三季15篇之國內外頻譜新聞及趨勢

[七月國內外頻譜新聞超連結](#)

[八月國內外頻譜新聞超連結](#)

[九月國內外頻譜新聞超連結](#)

專題分析：國際3.3-4.2 GHz中頻段核配與釋出狀態趨勢展望

一、前言

國際間目前普遍定義中頻段指3.3-4.2 GHz頻率範圍，其中又以3.5 GHz頻段做為全球5G發展的核心頻段。該頻段兼具涵蓋範圍與傳輸容量的優勢，已成為各國電信主管機關與產業界積極投入布建5G網路的核心頻譜資源。相較於低頻段具有廣涵蓋特性、毫米波頻譜可提供較大頻寬，中頻段在網路布建效率與頻譜使用效益之間取得平衡，特別適合應用於高速資料傳輸、低延遲連結與多元垂直應用服務。

目前全球已有超過 122個國家完成核配或規劃核配此頻段，且在近兩年持續擴展，多數集中於3.3-3.8 GHz頻段。歐洲、美國與亞太主要國家推動頻譜重耕（refarming）與共享機制（spectrum sharing），以協調行動通信、固定微波及衛星服務的需求。

整體而言，中頻段的釋出與重整已成為全球頻譜政策的重要趨勢。各國正透過頻譜拍賣、共享及動態管理等方式，持續擴大中頻頻譜資源供應，以支援智慧城市、工業物聯網及未來6G應用場景之發展。基於此國際趨勢，本文觀測3.3-4.2 GHz頻段的全球核配現況與政策演變，作為我國後續頻譜規劃與產業發展策略的重要參考依據與政策研擬指引。

二、各國核配措施與頻譜共存策略

中頻段 3.3-4.2 GHz 在全球 5G 發展中扮演核心角色，但各國在頻譜核配及共享管理上的策略存在顯著差異，以下分別介紹美國、法國與澳洲之核配現況。

（一）國家案例分析

1. 美國 3.3-4.2GHz 頻段之核配現況

美國最初釋出毫米波為 5G 主要使用頻段，近年來因中頻段對 5G 及未來 6G 發展的重要性而逐漸釋出中頻段。

美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission, FCC）於 2020 年 12 月完成拍賣 3.7-3.98 GHz 頻段（280 MHz 頻寬，Auction 107），允許在美國本土地區靈活使用，主要支援 5G 布建。同時，FCC 保留 3.98-4.0 GHz 頻段（20 MHz 頻寬）作為護衛頻帶（guard band），以減少不同用途之間的干擾，並要求此頻段內之既有使用者，包括衛星固定用途（Fixed Satellite Service, FSS）及固定用途（Fixed Service, FS）移至 4.0-4.2 GHz 頻段，以確保此頻段的和諧共存。

同年，美國國會通過《Beat CHINA for 5G Act》，要求釋出 3.45-3.55 GHz 頻段原本屬於國防部（Department of Defense, DoD）等聯邦政府主要用於雷達與軍事用途的頻譜。FCC 隨後於 2021 年完成拍賣（Auction 110），提供行動業者 100 MHz 頻寬作為 5G 布建的頻段。至於 3.3-3.45 GHz 頻段，目前仍由國防及政府系統使用，但國家電信暨資訊管理局（National Telecommunications and Information Administration, NTIA）與 FCC 正持續進行可行性評估與共享研究，探討未來是否能透過動態頻譜接取（Dynamic Spectrum Sharing, DSS）或地理禁制區方式，逐漸釋出更多頻寬。整體而言，美國已在 3.45-3.55 GHz 建立成熟的 5G 商用市場，而 3.3-3.45 GHz 的釋出仍在研議，顯示軍用保護與產業需求之間的平衡仍是關鍵挑戰。

在此之前，美國於 3.55-3.7 GHz 頻段採取「三層式動態頻譜接取共享模式」（Citizens Broadband Radio Service, CBRS），軍事、固定與商業用戶共存。政府透過拍賣方式核配商業頻譜，同時保留部分頻段給現有用戶，以減少干擾。此模式兼顧資源效率與用戶保護，但對干擾管理與頻譜協調提出較高要求。

隨著中頻段需求持續增加，AT&T 於 2024 年 10 月 9 日發布，建議 FCC 將 CBRS 由現行使用 3.55-3.7 GHz 頻段遷移至 3.1-3.3 GHz 頻段，並透過拍賣方式釋出 3.55-3.7 GHz 頻段供行動通信用途。此舉將使得 CBRS 可使用頻寬從 150 MHz 擴增至 200 MHz。同時，中頻段的 3.45-3.55 GHz 與 3.7-3.98 GHz 頻段已用於 5G 行動通信用途。若依 AT&T 之建議，未來中頻段共計有 530 MHz 頻寬（3.1-3.3、3.45-3.55、3.7-3.98 GHz 頻段）供行動通信使用。根據美國研究機構 New Street Research (NSR) 的分析，美國國防部 (DoD) 支持此 AT&T 之建議。然而，截至目前，FCC 尚未正式同意或採納該提案。

最新進展方面，2025 年 2 月 6 日美國聯邦通信委員會 (Federal Communications Commission, FCC) 公告 C-band 上半段頻段意見徵詢通知 (Upper C-band (3.98 GHz to 4.2 GHz) Notice of Inquiry)，主要探討評估如何更有效率使用 C-band 上半段頻段。

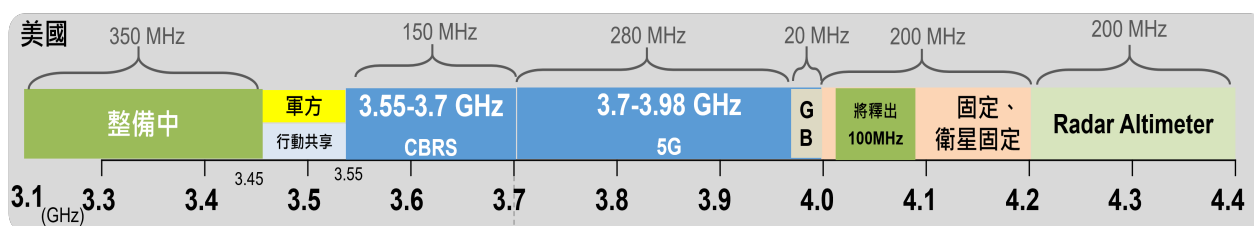


圖 1：美國 3.3-4.2GHz 頻段之核配現況

資料來源：本研究繪製

2. 法國 3.3-4.2GHz 頻段之核配現況

法國主管機關電子通信、郵政及新聞發行管理局 (Autorité de Régulation des Communications Électroniques, des Postes et de la Distribution de la Presse, ARCEP) 於 2019 年 11 月 21 日，發布 3.4-3.8 GHz 頻段的核配程序。此頻段被歐洲視為 5G 的「核心頻段」，由於其物理特性與可用頻寬，提供良好的涵蓋與速率。ARCEP 計畫在法國本土核配 310 MHz 的頻寬，並設定包括技術能力、地區發展與競爭等多項核配目標。在 2020 年，ARCEP 完成拍賣 3.4-3.8 GHz 頻段，

將頻譜核配給四家 MNO：Orange、SFR、Bouygues Telecom 和 Free Mobile。

針對 3.8-4.2 GHz 頻段，ARCEP 於 2022 年核發 3.8-4.0 GHz 頻段的試驗執照，截至 2025 年 6 月已核發製造業、醫療衛生、物流和智慧城市等領域 175 個試驗執照。

隨後，2025 年 6 月針對 3.8-4.2 GHz 頻段規劃作為區域 5G 專網用途進行公開諮詢。本次規劃聚焦於協助製造、醫療、能源與地方政府等垂直產業布建低功率與中功率之 5G 專網，目的在於強化產業數位轉型及網路自主能力。頻段核配規劃與使用條件如下：

- 3.8-4.2 GHz 頻段核配規劃：ARCEP 規劃核配頻寬以 5 MHz 的倍數為單位，最高不超過 100 MHz。申請者需證明在限定地理範圍有實際需求，並確保網路可接取性達 99.9%與網路韌性（即危機復原能力），以支援企業應用需求。
- 3.8-4.2 GHz 頻段使用條件：為確保頻率有效共存，採雙層地理劃分制度，區分為執照授權區（zone of authorization）與協調區（zone of coordination）。執照授權區內持有者享有頻率專用權，並且須遵守電臺發射功率上限 61 dB μ V/m/5MHz 之限制；協調區則作為緩衝地區，電臺發射功率上限為 26 dB μ V/m/5MHz，以防止干擾鄰近系統，包括衛星固定用途（Fixed Satellite Service, FSS）與雷達高度計（Radio Altimeter, RA）等。若不同申請者在相鄰區域有重疊頻率之需求，則由主管機關進行個案審查。

3. 澳洲 3.3-4.2GHz 頻段之核配現況

截至 2025 年，澳洲已完成 3.4-4.0 GHz 頻段的整體規劃，並透過多階段的頻譜核配與技術協調措施，推動 5G 與無線寬頻服務的廣泛布建。

首先，在 2023 年 7 月，澳洲通信與媒體管理局（Australian Communications and Media Authority, ACMA）針對偏遠地區（remote

areas) 開放 3.4-4.0 GHz 頻段的「區域寬頻執照」(Area-Wide Licences, AWLs) 申請窗口，申請期間為 2023 年 7 月 17 日至 7 月 31 日。此舉旨在讓地區性營運商、企業與公部門可靈活運用中頻頻譜，以促進地方 5G 網路與工業應用的發展。

隨後於 2023 年第 4 季，ACMA 在都市與區域地區分別進行 3.7 GHz 與 3.4 GHz 頻段的公開拍賣。3.7 GHz 頻段拍賣於 2023 年 10 月 24 日展開，3.4 GHz 頻段拍賣則於同年 11 月 21 日完成，進一步擴大 5G 可用頻譜資源，並為全國主要電信業者的網路升級奠定基礎。

進入 2024 年初，ACMA 繼續推動中頻段核配作業，開放 3.8 GHz 頻段在都市、區域及偏遠地區的 AWL 申請。該頻段最終共核發 47 張執照，涵蓋 MNOs、地方政府、港口與機場等多元用戶，以支持各領域的專網建置及智慧化應用。

為確保頻譜共存與干擾管理，ACMA 同時針對 3.7 GHz 以上頻段可能影響航空雷達高度計 (Radio Altimeters) 運作的情形，訂定臨時干擾緩解措施，限制在特定區域內之基地臺布建與功率配置。該措施預計持續至 2026 年 3 月，期間將配合航空與電信產業共同進行技術驗證與政策調整。

整體而言，澳洲在 3.4-4.0 GHz 頻段的規劃與核配已進入穩定階段，涵蓋偏遠、區域與都市地區。ACMA 亦持續檢討技術規範與協調機制，確保不同使用者間的有效共存與干擾防護。此一系列措施不僅支援澳洲 5G 網路的全面發展，也為企業專網與地方寬頻應用提供更靈活的頻譜環境。

表 1：澳洲 3.4-4.0 GHz 頻段之核配現況

頻段 (GHz)	可使用範圍	核配和執照類型	釋出時間
3.4-4.0	偏遠地區(remote areas)	行政核配區域寬頻執照(AWL)	2023 年第 3 季
3.4	都會區、區域 (metropolitan and regional areas)	直接核配和拍賣頻譜執照	2023 年 10 月
3.7			2023 年 11 月

頻段 (GHz)	可使用範圍	核配和執照類型	釋出時間
3.8-3.95	都會區、區域 (metropolitan and regional areas)	行政核配區域寬頻執照(AWL)	2024 年第 1 季
3.75-3.95	郊區(rural areas)		
3.95-4.0	都會區、區域 (metropolitan and regional areas)	高度在地化無線寬頻/點對多點系統執照(Highly localised wireless broadband / Point-to-multipoint system licences)	2025 年第 1 季
3.4-3.475	都市課稅區域(urban excise areas)		

資料來源：ACMA

(二) 3.3-4.2 GHz 頻譜管理挑戰與雷達鄰頻影響

1. 3.3-4.2 GHz 中頻段開放挑戰與共存策略

(1) 與既有用途之使用頻率衝突

3.6-4.2 GHz 為傳統 C-band 衛星固定用途下行鏈路頻段，廣泛用於國際衛星電視傳輸、骨幹通信及偏遠地區連線。此頻段的地面接收電臺分布範圍廣，若直接釋出給行動通信使用，可能干擾既有衛星地面電臺。部分國家仍在 3.5-4 GHz 使用固定微波鏈路作為微波骨幹或專網用途，整備成本高且需考慮干擾協調。因此，各國主管機關多採「共享管理」與「分階段整備」策略。

(2) 鄰頻共存與干擾考量

3.3-4.2 GHz 頻段鄰近多種重要無線系統，包括航空高度計雷達、氣象雷達與國防雷達等。這些系統對於信號干擾高度敏感，尤其航空雷達與飛航安全直接相關，主管機關擔心鄰頻干擾影響安全。國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 對航空安全高度敏感，部分國家要求在釋出中頻段前，必須完成跨部門測試與干擾評估，且暫緩釋出中頻段。美國、加拿大與部分中東國家採取暫緩釋出或限制功率上限，並在機場周邊的雷達保護區設置禁制區；歐洲部分國家則推動頻譜協調專案，針對鄰頻干擾設定明確的技術限制以降低風險。

(3) 設備成熟度與生態系統建設

全球 5G 設備主要集中在 3.5 GHz 頻段，對應 3GPP 標準為 n77 與 n78 頻段。中國、韓國、英國及部分歐洲國家已有大量基地臺布建，終端設備成熟且可商用。中國在 2024 年已布建超過 120 萬個 5G 基地臺支援 3.3-4.2 GHz 頻段。設備供應鏈成熟度影響主管機關是否開放相同頻段。相對而言，其他國家若市場上缺乏 3.8-4 GHz 相關設備，主管機關亦可能延後開放時程，待國際標準與供應鏈成熟後再行推進，以確保投資效益與技術穩定度。

(4) 頻譜整備與市場需求

5G 在不同國家普及程度不一，主管機關會優先釋出以涵蓋為主之低頻或提供大頻寬之高頻，中頻段釋出可能延後。多數國家採「分階段釋出」策略，如先開放 3.3-3.8 GHz 進行 5G 布建，觀察市場需求與干擾處理後，再視情況推動 3.8-4.2 GHz 頻段釋出，降低政策風險，同時兼顧技術演進。

(5) 國際協調與標準化進度

目前 3.3-3.8 GHz 已成為 5G 全球主要運作頻段，ITU-R 與 3GPP 等國際標準化組織皆已制定相應技術規格。然而，3.8-4.2 GHz 頻段在不同國家仍屬實驗性或共享階段，缺乏跨國統一標準與協調機制。歐洲郵政和電信管理局（European Conference of Postal and Telecommunications, CEPT）與亞太地區電信組織（Asia-Pacific Telecommunity, APT）正持續研議該頻段的協調計畫，預期未來將朝「共享機制」與「6G 候選頻段」方向發展。

(6) 技術共存策略

為兼顧既有使用者與新興 5G/6G 之行動通信需求，國際間已提出多種共享策略與干擾防制機制：

- 動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS）：允許不同用途在同一頻段依時間、地點或使用需求動態共享頻譜資源。

- 設置保護區 (Guard Zones / Protection Zones)：在衛星地面電臺或敏感設施周圍設置保護距離，限制基地臺功率或使用頻段。
- 干擾管理機制：包括功率控制、濾波器設計、天線方向控制等技術，減少鄰頻干擾。
- 分階段頻譜重耕 (Gradual Re-farming)：先釋出部分頻段，待既有系統完成整備後，再釋出剩餘頻段。

透過上述策略，主管機關可保障既有用途正常運作的前提下，逐步釋出頻譜給 5G 或未來 6G 使用，降低干擾風險並提升頻譜使用效率，為後續技術演進預留空間。

2. 雷達高度計 (Radar Altimeter) 對 3.3-4.2 GHz 開放的影響

(1) 雷達高度計使用頻段

航空雷達高度計 (Radar Altimeter) 是一種使用雷達技術精確測量飛行器與地面垂直距離的航空設備，廣泛應用於自動降落系統、地形避障及飛行安全監控。國際上，雷達高度計主要使用 4.2-4.4 GHz 頻段。雖然此頻段並不直接落在 3.3-4.2 GHz 頻段範圍內，但若行動通信系統使用鄰近 4.0-4.2 GHz 頻段布建，仍可能對雷達高度計造成鄰頻干擾 (Adjacent Channel Interference, ACI)，影響其測量精度及航空安全。因此，對於 5G 頻段規劃，需充分考量航空雷達高度計的頻譜保護與干擾管控措施，以確保飛行操作安全與頻譜資源共享的平衡。

(2) 干擾機制

當行動基地臺靠近 4.0-4.2 GHz 頻段運作，若其濾波器設計或頻寬控制不足，可能會產生帶外發射 (Out-of-Band Emission, OOB)，使雜散訊號落入 4.2-4.4 GHz 頻段，進而干擾航空雷達高度計的運作。此外，航空高度計接收機本身對信號極為敏感，尤其對鄰頻的高功率無線訊號特別脆弱。因此，即使基地臺的帶外發射僅為少量溢出，也可能造成高度計測量誤差，進而對飛行安全產生潛在風險。

為降低干擾風險，行動通信系統在靠近雷達高度計工作頻段時，需要採取嚴格濾波、功率控制及頻譜管理措施，並考慮鄰頻隔離、頻率規劃與國際標準限制，以確保雷達高度計運作不受影響，維護航空安全與無線資源共用的平衡。

(3) 國際經驗

美國於 2022 年開放 3.7-3.98 GHz 頻段供 5G 行動通信使用後，發現該頻段與航空雷達高度計（4.2-4.4 GHz）之間約有 0.22 GHz 的頻譜間隔，可能導致鄰頻干擾。為降低風險，美國聯邦航空管理局（Federal Aviation Administration, FAA）要求在 50 個主要機場周邊設置緩衝區，並對基地臺功率與天線傾角進行限制，以減少對低能見度降落程序的影響。

歐洲航空安全組織（European Organisation for the Safety of Air Navigation, Eurocontrol）指出，歐盟於 3.4-3.8 GHz 頻段布建 5G 網路，與雷達高度計使用 4.2-4.4 GHz 頻段有較大頻譜間隔，干擾風險相對較低。然而，為進一步確保航空安全，CEPT 進行技術研究，評估透過 3.8-4.2 GHz 頻段提供低/中功率無線寬頻（Low/Medium Power Wireless Broadband, LMP WBB）與雷達高度計共存的可能性。

三、國際趨勢與政策比較

（一）全球進展

國際間持續辦理 5G 頻譜核配作業，其中 3.5 GHz 頻段已在全球多數地區與國家取得進展。然而，各地區與國家在頻譜政策與推動進程上仍存在差異。根據 Policy Tracker 對全球 122 個國家與地區中頻段頻譜政策的統計結果顯示，歐洲在核配 3.5 GHz 頻段方面領先全球，已有 46 個國家採取具體行動（即完成核配或規劃核配），占整體追蹤國家的 37.7%；其次為亞洲（23%）和美洲（19%），顯示此二區域亦積極推進相關核配與網路布建。綜上觀察，全球主要地區皆已

將3.5 GHz頻段視為推動5G發展的關鍵資源，其核配進程亦持續加速。茲整理全球各地區3.5 GHz頻段核配現況之分布情形如下圖。

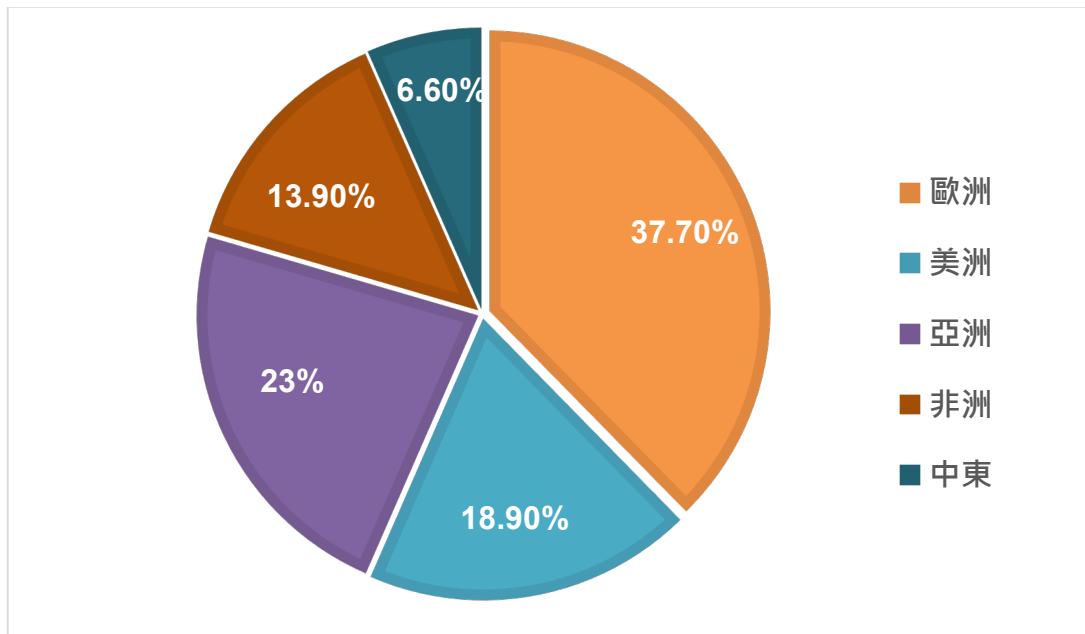


圖 2：全球各地區 3.3-4.2 GHz 頻段已核配或規劃核配比重

資料來源：Policy Tracker；本研究繪製

進一步觀察3.5 GHz頻段之釋出頻寬，全球約有48%的國家正在核配或規劃核配總計300-400 MHz頻寬；21%的國家規劃核配至多200 MHz頻寬；17%的國家規劃核配至少500 MHz以上頻寬，顯示各國對於頻段資源配置上採取不同的策略。整體而言，全球多數國家已意識到中頻段在5G與6G世代中兼具涵蓋範圍與網路容量的平衡優勢，頻譜核配策略也逐漸從初期核心頻段延伸至其他中頻段，以滿足持續成長的行動通信與新興應用需求。

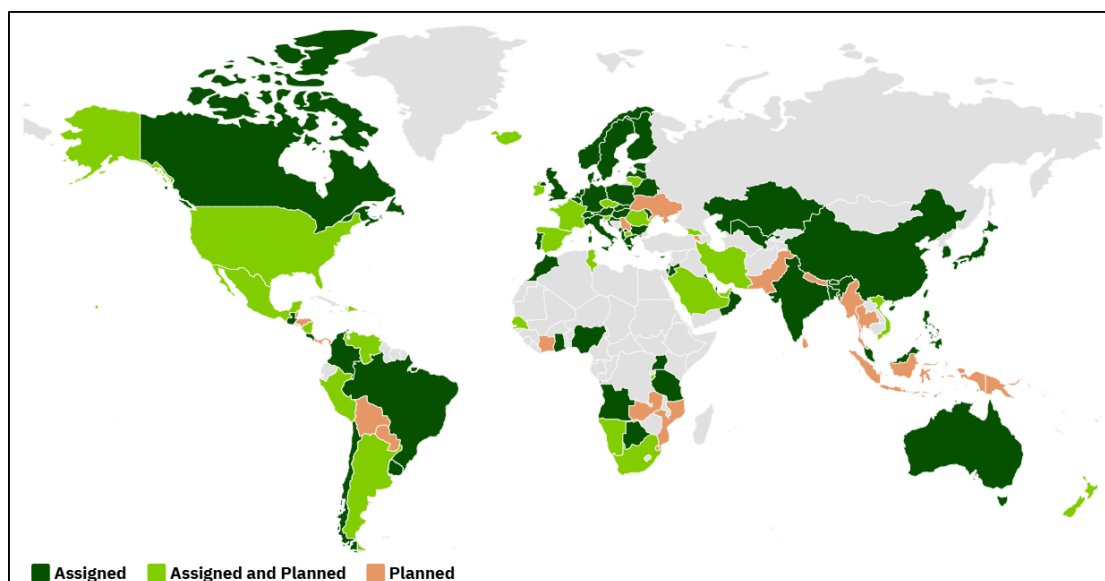


圖 3：全球3.5 GHz頻譜核配概況

資料來源：Policy Tracker

1. 歐洲地區

歐洲地區在3.3-4.2 GHz頻段的發展相較其他地區更為迅速。根據CEPT及歐盟無線電頻率政策小組（The Radio Spectrum Policy Group, RSPG）之規劃，在46個歐洲國家中，已有23個國家完成核配或規劃核配 3.4-3.8 GHz頻段；13個國家僅在3.4-3.8 GHz頻段內核配部分頻段；10個國家進步延伸規劃3.8-4.2 GHz頻段，用於擴展5G布建或作為未來6G 候選頻段。此顯示歐洲多數國家先以3.3-3.8 GHz作為初期5G核心資源，並逐步釋出3.8-4.2 GHz頻段，以滿足後續網路擴充與新興應用需求，同時兼顧既有用戶服務的連續性與頻譜共用需求。

在核配機制方面，歐洲多採用拍賣制，並訂定網路涵蓋與布建義務（coverage and rollout obligations），確保行動網路經營者（Mobile Network Operator, MNO）在取得頻譜後，於指定時限內達成5G網路涵蓋率或速率之目標。此外，德國、法國與芬蘭等國家將3.8-4.2 GHz部分頻段保留供5G專網與產業應用使用，促進產業數位轉型與區域性網路發展。

2. 亞洲地區

亞洲地區各國普遍關注於3.3-3.6 GHz頻段的規劃與核配。目前有17個國家僅核配3.6 GHz以下的頻段，其中7個國家的核配範圍集中在3.4-3.6 GHz頻段；另外10個國家已核配3.6 GHz以下頻段，並規劃延伸至3.6 GHz以上頻段。整體而言，亞洲地區各國主管機關通常於3.5 GHz頻段中核配200-300 MHz頻寬。

在核配機制方面，亞洲地區各國採取的頻譜核配機制相當多元，例如：韓國採拍賣制、日本採審議制、中國則以行政核配方式，推動MNO快速布建5G網路。

3. 美洲地區

美洲地區各國普遍關注於 3.3-3.7 GHz 頻段的規劃與核配。雖然各國主管機關已陸續完成頻譜釋出，總釋出頻寬介於 100-750 MHz，但實際可供業者使用的頻寬約為 200-500 MHz。在核配機制方面，各國通常透過拍賣方式進行核配，每家MNO平均可取得約 80-100 MHz 頻寬。

北美地區國家（美國、加拿大）主管機關多採取較大頻寬整合與共享機制，以推動 5G 發展；而南美地區國家的頻譜核配較為零散，且各家 MNO 取得頻寬存在不對稱之情形，導致部分業者無法獲得連續 100 MHz 頻寬，對 5G 布建造成挑戰。

此外，美洲地區國家主管機關亦普遍採取「分階段釋出」策略，以兼顧既有衛星與固定既有使用者的干擾管理及頻譜需求。

4. 非洲地區

非洲地區在 3.5 GHz 頻段的規劃相對緩慢，多數國家仍處於 5G 前期試驗或監理規範制定階段。非洲地區各國主管機關通常於 3.5 GHz 頻段中釋出 200-300 MHz 頻寬，各家 MNO 獲取的頻寬普遍低於 100 MHz，難以支援大容量行動寬頻用途。迄今為止，該地區尚無核配 3.8 GHz 以上頻段。

在核配機制方面，非洲地區主管機關傾向採用直接核配機制，並多採「漸進式核配」與「頻譜再核配」並行的策略，通常優先釋出 3.4-3.6 GHz 頻段供專網使用，再視基礎設施建設進度逐步擴展至 3.6-3.8 GHz 頻段。南非、奈及利亞、肯亞等國家已嘗試採用拍賣制並訂定涵蓋義務（coverage and rollout obligations），要求業者投資偏遠地區的網路涵蓋，藉此平衡頻譜商業價值與數位普及化政策目標，兼顧產業發展與社會效益。

5. 中東地區

中東地區在 3.3-4.2 GHz 頻段的規劃相對穩定，多數國家已完成核配 3.3-3.8 GHz 頻段的全國性核配，且採取較平均的頻寬核配方式，該地區各國通常核配 300-400 MHz 頻寬，與其他地區相比，每家行動網路業者（MNO）可使用的頻寬多高於 100 MHz，相較其他地區更為充裕。中東地區主管機構通常採用直接核配制，少部分採用拍賣與行政程序方式。

（二）政策與核配機制差異

從國際現況觀察，中頻段的核配與釋出策略呈現多元化趨勢，反映各國在頻譜管理、產業發展及市場需求之差異。以核配機制而言，根據 Policy Tracker 統計，全球約 50% 國家採取拍賣制，由市場競爭決定頻譜歸屬與價格。拍賣制有助於促進各國發展行動通信產業建置基礎設施，例如北美、東亞及中東地區，透過拍賣方式有效激勵 MNO 投資基礎建設，加速網路涵蓋與中頻段使用率。

約 29% 國家採用直接核配方式，由各國主管機關依產業政策或國家發展策略，將頻譜直接核配予特定業者或產業單位。此機制常見於政策導向明確、需支援公共服務或垂直應用之國家，例如：使用於偏鄉通信、智慧電網、工業物聯網等領域。

此外，約 21% 的國家採取審議制，透過多方協商、產業評估及政策審核決定核配對象與頻段範圍。審議制通常兼顧產業發展、公共

利益及技術共用需求，特別適合在鄰近衛星通信、微波專網或航空雷達等頻段進行頻譜整備。

在頻段釋出策略方面，國際間亦呈現不同做法。部分國家優先釋出 3.3-3.8 GHz 供行動通信使用，並針對既有衛星下鏈使用者提供移頻整備或共享方案，以降低用途中斷風險。北美與亞洲部分高需求市場逐步將 3.8-4.2 GHz 頻段納入規劃，作為擴增 5G 頻段使用或未來 6G 候選頻段。整體而言，國際中頻段釋出策略呈現分階段、兼顧既有用戶與新興行動服務的趨勢。

在技術與政策整合方面，各國普遍強調鄰頻干擾管理、共享機制設計與頻譜使用效率提升。例如：鄰近航空雷達、高功率微波及衛星地面電臺的頻段需設置保護區或採行動態頻譜管理技術，以降低互相干擾。茲整理各地區 3.5 GHz 頻段政策如下表。

表 2：全球各地區 3.5 GHz 頻段政策

	非洲	美洲	亞洲	歐洲	中東	非洲
3.5 GHz 頻段核配頻寬（含完成核配與規劃核配）	200-300 MHz	200-300 MHz、400-500 MHz	200-300 MHz	400 MHz 以下、300-400 MHz	300-400 MHz	200-300 MHz
主要核配頻段	3.3-3.6 GHz	3.3-3.7 GHz	3.3-3.6 GHz	3.4/3.41-3.8 GHz	3.3-4.2 GHz	3.3-3.6 GHz
核配機制	直接核配、競價拍賣	競價拍賣、直接核配	競價拍賣、直接核配	競價拍賣、行政核配	直接核配、競價拍賣	直接核配、競價拍賣
核配涵蓋範圍	全國性	全國性、區域性	全國性	全國性、區域性	全國性	全國性
執照期間	10-15 年	15-20 年	10-15 年	15-20 年	約 15 年	10-15 年

資料來源：Policy Tracker；本研究彙整

四、結語

3.3-4.2 GHz 頻段是目前全球 5G 網路布建的核心頻譜資源，已有超過百個國家完成核配或規劃核配，顯示該頻段在推動高速、低延遲行動通信具有關鍵地位。然而，各地區在頻譜政策上存在顯著差異，包括釋出頻寬數量、拍賣機制、以及共享管理方式等，導致設備生態系統一致性與跨國協調仍面臨挑戰。

綜觀全球 3.3-4.2 GHz 頻段的發展，可歸納出三項主要趨勢：

- **頻譜釋出向上延伸化**：多數國家已完成 3.3-3.8 GHz 釋出，並開始規劃 3.8-4.2 GHz 作為 6G 候選頻段，以支援高頻寬與低延遲應用。
- **核配機制多元化**：各國除採用傳統拍賣制外，亦逐漸導入動態機制、共享機制與區域核配等，以提升頻譜使用效率並促進產業多元應用。
- **政策導向產業化**：頻譜政策不僅聚焦商用電信，也逐步轉向支援垂直產業與專網發展，形成「公共服務與企業應用」並行的新格局。

國際趨勢顯示中頻段正朝「靈活釋出、動態共用、產業導向」的方向演進。我國目前已將 3.3-3.57 GHz 頻段用於 5G 行動服務，3.7 GHz 以上頻段則主要供固定及衛星通信使用，而 4.2-4.4 GHz 頻段則保留作為航空雷達高度計用途。未來在推動頻譜擴充時，仍須兼顧既有衛星與固定通信系統的保護與穩定運作。展望後續發展，我國應持續關注國際頻譜趨勢，循序釋出 3.3-4.2 GHz 可用頻譜，並同步強化頻譜共享與干擾管理機制，以在維持既有服務品質的前提下，滿足 5G/6G 網路布建需求。

參考資料

1. ACMA, Allocating the 3.4-4.0 GHz band, <https://s.moda.gov.tw/RKUfZBfTwRgr>
2. ARCEP, Cadre d'attribution des fréquences de la bande 3,8 – 4,2 GHz en métropole (2 juin 2025), <https://s.moda.gov.tw/vzxXe53hsjqS>
3. AT&T Connects, Ten Years Later: A New Vision for the 3 GHz Band, <https://s.moda.gov.tw/vqm4EsboBzXq>
4. Congress, Beat CHINA for 5G Act of 2020, <https://s.moda.gov.tw/6QMgDhRwKE8X>
5. EU, EU Roadmap Brussels, 18 April 2024 For Ensuring Safe Coexistence Between Mobile Networks and Aircraft Radio Altimeters Within the Frequency Range 3.4-4.4 GHz in the Union, <https://s.moda.gov.tw/JMpNivchrg7G>
6. FCC, 3.5 GHz Band Overview, <https://s.moda.gov.tw/Dnumgb79wHpT>
7. FCC, Auction 107: 3.7 GHz Service, <https://s.moda.gov.tw/6gFukJXJGUPN>
8. FCC, Upper C-band (3.98 GHz to 4.2 GHz) Notice of Inquiry, <https://s.moda.gov.tw/oFDjGx6rWDiQ>
9. Federal Aviation Administration, 5G and Aviation Safety, <https://s.moda.gov.tw/rLpE7GtjMgvo>
10. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Developments in the Middle East.
11. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Developments in Asia.
12. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Developments in the Americas.
13. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Developments in Europe.
14. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Developments in Africa.

15. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Global and regional overview.
16. Policy tracker, (2025), 3.3-4.2 GHz benchmarking: Wide variance in policy approaches
17. RCR Wireless News, Arcep expands 5G trial window to the 4.0–4.2 GHz band, https://www.rcrwireless.com/20250715/5g/arcep-5g-trial?utm_source=chatgpt.com

2025 第三季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

國際**3.3-4.2 GHz**中
頻段核配與釋出狀態
趨勢展望

委辦單位

moda
數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

07-09月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第二季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

6G NTN情境下之衛星直
連裝置 (D2D) 頻譜政
策趨勢

委辦單位

mod^a 數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

04-06月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第二季

目錄

1

專題分析：6G NTN情境下之衛星直連 裝置 (D2D) 頻譜政策趨勢

一、 前言	1
二、 國際 D2D 服務發展情形	2
三、 國際組織對於 D2D 頻譜分配規劃與標準制定趨勢	6
四、 主要國家與地區 D2D 頻譜核配趨勢及相關政策措施	8
五、 國際 D2D 頻譜分配趨勢對於我國發展 6G 頻譜政策之啟示	17

2

第二季15篇之國內外頻譜新聞及趨勢

[四月國內外頻譜新聞超連結](#)

[五月國內外頻譜新聞超連結](#)

[六月國內外頻譜新聞超連結](#)

專題分析：6G NTN情境下之衛星直連裝置（D2D） 頻譜政策趨勢

一、前言

6G NTN指將非地面網路（Non-Terrestrial Network, NTN）深度整合至未來的6G行動網路架構中，藉以提供全球無縫涵蓋、極低延遲、高頻寬及高可靠度之通信環境。在此情境下，衛星直連裝置（Direct to Device, D2D）允許終端裝置（如手機與物聯網裝置等）可直接與非地面網路設備如高空通訊平臺（High Altitude Platform Station, HAPS）及衛星等建立通信鏈路，無需仰賴地面基地臺轉送。

根據GSMA於2025年發布之「頻譜政策趨勢報告」（Spectrum Policy Trends 2025），對於行動網路經營者（Mobile Network Operator, MNO）而言，D2D應用情境將包含以下兩種。第一，某些地區（通常是高收入國家/地區）的客戶可能願意為偏遠地區的網路接取支付更多費用，如戶外運動愛好者等；第二，MNO藉由提供D2D服務，可在不經濟地區（布建基地臺成本高於效益之地區）提供基本涵蓋，使其能履行涵蓋率義務，更可提供農業物聯網等新興服務。GSMA報告也指出，目前世界上約4%人口生活在行動網路訊號涵蓋範圍之外，而D2D可望將通信涵蓋拓展至這些地區，減少數位落差。

在技術上，D2D依據所使用的衛星不同，會採取不同的連線模式，涵蓋範圍、延遲及成本亦有差異。目前的應用案例可以歸類出兩種模式，分別為透過同步軌道衛星（Geostationary Satellites, GSO）系統提供D2D服務，以及以非同步軌道衛星（Non-Geostationary Satellites, NGSO）系統提供D2D服務。前者應用案例有Viasat與Inmarsat，係利用衛星行動用途（Mobile Satellite Service, MSS）頻譜直接向終端使用者裝置提供服務，或如Skylo透過將窄頻物聯網（Narrowband Internet of Things, NB-IoT）設備連接到衛星，為地面網路提供補充涵蓋。

以NGSO提供D2D服務的應用案例中，係使用低軌道衛星（Low Earth Orbit, LEO）與中軌道衛星（Medium Earth Orbit, MEO）與MNO合作，提供使用者通信連接，服務內容包含簡訊、語音、資料與物聯網應用等。此類業者包含Starlink、AST SpaceMobile及Lynk Global等。

就頻譜分配角度，D2D服務可使用的頻譜包含MSS與地面行動用途（Land Mobile Service, LMS）兩種類型；其中，後者包含分配為地面國際行動通信（International Mobile Telecommunications, IMT）用途之頻譜。使用MSS與LMS頻譜在頻譜管理上的差異，分述如下：

- 使用MSS頻譜之D2D服務：係使用MSS頻譜（如L頻段與S頻段¹）無縫整合衛星及地面網路。此類D2D已在許多國家及地區提供語音、數據與IoT通信服務，適用原先衛星管理規範而無需建立額外監管架構。相關支援裝置包含智慧型手機、物聯網設備及可穿戴裝置，且由於使用MSS頻譜，因此可確保干擾程度降至最低。
- 使用LMS頻譜之D2D服務：衛星營運商透過與MNO合作共用頻譜，以補充地面行動網路涵蓋之不足。惟由於出現衛星使用地面行動通信頻譜之態樣，故較容易產生頻率干擾問題，需透過建立新的監管架構，管理干擾議題與限制發射功率等。

二、國際 D2D 服務發展情形

國際主要D2D服務業者中，GlobalStar、Iridium、Skylo、Echostar及Omnispace係使用MSS頻率，而AST SpaceMobile、Lynk與Starlink則使用LMS頻率。以下依序簡述各業者之服務內容及發展情形：

¹ 依3GPP標準，S頻段之頻率範圍為上行1980-2010 MHz，下行為2170-2200 MHz；L頻段之頻率範圍為上行1626-1660.5 MHz，下行為1525-1559 MHz。

- GlobalStar

全球衛星營運商GlobalStar與Apple合作，於2022年底為iPhone推出透過衛星傳送的SOS緊急服務，使iPhone使用者於缺乏行動通信訊號涵蓋的環境下，也能透過衛星發送簡訊與緊急服務取得聯繫。此外，Apple裝置的使用者亦可透過衛星使用 iMessage 訊息服務。

- Iridium

Iridium 最初在2023年1月宣布將與高通（Qualcomm）合作進入衛星D2D市場，然而不到一年的時間，高通即以設備製造商缺乏興趣為由，終止與Iridium的合作關係。Iridium 遂在2024年初宣布轉向名為「星塵計畫」（Project Stardust）的衛星D2D與物聯網服務。根據Iridium規劃，此項服務將利用Iridium既有L頻段衛星，預計於2026年推出NB-IoT、5G 訊息傳輸及SOS緊急求救等服務。

- Skylo

Skylo是一家總部位於美國的新創公司，本身不具備任何衛星或頻率執照，透過與既有衛星營運商合作提供D2D的NB-IoT、語音及訊息等服務。其主要合作夥伴包含Inmarsat/Viasat、Ligado Networks及TerreStar。Skylo服務模式的特點是，其使用合作夥伴提供之衛星，將地面裝置之訊號反射回地面基地臺，而不在衛星上處理訊號，此為透通型（transparent）的衛星架構²。2024年1月，Skylo表示已與 Inmarsat/Viasat及Ligado共同在美國與加拿大推出商業服務。同年8月，Skylo宣布Google將成為其第一個主要客戶，使Google Pixel 9系列手機可使用緊急衛星SOS功能。

- Echostar

EchoStar 於2024年2月宣布將打造新的LEO衛星群，預計由28顆衛星組成，並支援長距離物聯網（Long Range Internet

² 透通型為衛星（空中通訊平臺）只轉傳訊號至地面開道器與6G基地臺，以衛星作為訊號傳輸的中繼站，基本上只進行頻率轉換、訊號放大。

of Things, LoRa-IoT) 技術及非地面網路服務。EchoStar 表示將根據3GPP第17版規範進行設計，且將使用S頻段。

- **Omnispace**

Omnispace規劃打造與5G標準整合的全球D2D衛星群，該公司目前已發射Spark-1與Spark-2兩顆衛星，並透過其在各國持有的頻率執照，展開初期測試工作。

- **AST SpaceMobile**

AST SpaceMobile獲得AT&T與樂天等電信業者之投資，於2022年9月發射其第一顆測試衛星BlueWalker 3，接著又於2024年9月發射五顆商業衛星，該公司計畫最終發射95顆衛星。目前AST SpaceMobile已與Verizon及AT&T等多家MNO合作，並向AT&T租賃700 MHz與850 MHz頻段，計畫於2025年針對目標地理區域提供有限且非連續的商業服務。

- **Lynk**

目前Lynk已發射7顆衛星，並聲稱已與全球40多家MNO簽署合作協議。Lynk提供基本的簡訊服務，並計畫在未來進一步提供語音與數據服務。此外，Lynk於2024年4月與美國政府簽署一份合約，為美國國防部、國土安全部及其他政府機構提供服務。

- **Starlink**

Starlink於2022年8月宣布將與美國電信業者T-Mobile合作推出衛星D2D服務，至2025年7月，Starlink宣稱已發射650顆具D2D功能的衛星。Starlink的D2D服務預計使用T-Mobile持有的1850-1990 MHz頻段，作為T-Mobile客戶的加值服務。在其他國家，Starlink也與日本KDDI、紐西蘭One NZ及澳洲Telstra等電信業者合作推出D2D服務。目前提供的服務已包含簡訊、數據與物聯網，未來將進一步推出語音服務。

截至2025年7月，各業者之合作夥伴、D2D服務內容、服務成熟度、衛星數量及使用頻段綜整如下表。

表 1：衛星D2D服務營運商概況

使用頻譜	衛星行動用途(MSS)頻譜					地面行動用途(LMS)頻譜		
D2D 服務業者	GlobalStar	Iridium	Skylo	Echostar	Omnispace	AST SpaceMobile	Lynk	Starlink
合作夥伴	Apple	-	Viasat/Inmarsat、Ligado、TerreStar	-	-	AT&T、Verizon	初步與 40 家 MNOs 合作	T-Mobile、KDDI、One NZ、Telstra
D2D 服務內容	SOS 緊急服務、iMessage 訊息	窄頻物聯網 (NB-IoT)、訊息	窄頻物聯網(NB-IoT)、簡訊、語音	長距離物聯網 (LoRa-IoT)、5G	窄頻物聯網 (NB-IoT)、語音、數據	語音、數據	簡訊搭配語音/數據方案	簡訊、數據、物聯網
服務成熟度	在 30 多國可使用	預計 2026 年開始服務	在美、加地區推出商業服務	仍在起步階段	初期測試階段	2025 年開始服務	初步推出部分服務	2024 年推出簡訊服務
衛星數量	24	66	使用合作夥伴衛星(數量未公布)	2	2	1	7	400 多顆
使用頻段	S 頻段 (1980-2010 GHz / 2170-2200 GHz)	L 頻段 (1626-1660.5 GHz / 1525-1559 GHz)	多個頻段	S 頻段 (1980-2010 GHz / 2170-2200 GHz)	多個頻段	700 MHz、850 MHz	600 MHz	L 頻段 (1626-1660.5 GHz / 1525-1559 GHz)

註：調查時間：2025年7月。

資料來源：Policy Tracker (2025/6/30)、Echostar(2024)、Omnispace、SpaceX；本文整理。

三、國際組織對於 D2D 頻譜分配規劃與標準制定趨勢

(一) 國際電信聯合會

隨著通信技術演進，人類生活與經濟發展日益依賴網路服務。根據國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）於2023年11月發布「IMT於2030年及以後的未來發展架構與整體目標」（Framework and Overall Objectives of The Future Development of IMT for 2030 and Beyond），預期6G時代將提供可負擔的連網服務，並擴大通信網路涵蓋範圍至人煙稀少地區，實現無所不在的连接能力（ubiquitous connectivity）。為達成此目標，6G將整合非地面網路，如衛星通信、以高空通訊平臺為基地臺（High Altitude Platform Stations as IMT Base Stations, HIBS）或其他系統，以實現服務連續性（service continuity），為使用者帶來更大的彈性與便利。

針對衛星系統使用頻段，ITU已將潛在的MSS額外分配頻譜與用於補充行動通信網路頻段等相關議題，納入2027年世界無線電通信大會（World Radiocommunication Conference, WRC-27）之討論議程。針對MSS的討論議程，議程1.12為處理低數據傳輸速率、NGSO且以物聯網為導向的小型衛星系統，探討其頻率需求；議程1.14則是因應整體MSS服務成長之頻率需求進行討論。議程1.13更進一步探討透過衛星系統直連IMT終端設備之MSS頻率需求、技術操作特性與監理問題（參見下表所示）。

表 2：WRC-27討論議題1.12、1.13和1.14

議程編號 (AI)	說明	討論頻段
1.12	因應未來低數據傳輸速率 NGSO MSS 發展需求(衛星物聯網)	1427-1432 MHz (空對地) 1645.5-1646.5 MHz (空對地)(地對空) 1880-1920 MHz (空對地)(地對空) 2010-2025 MHz (空對地)(地對空)
1.13	為實現衛星與 IMT 終端設備直連之 MSS 可能的新頻段分配	694/698 MHz-2.7 GHz
1.14	因應 MSS 服務需求成長，探討可能的新頻段分配	第一區與第三區 2010-2025 MHz (地對空) 2160-2170 MHz (空對地)

議程編號 (AI)	說明	討論頻段
		全區 2120-2160 MHz(空對地)

資料來源：ITU

(二) 第三代合作夥伴計畫

第三代合作夥伴計畫（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）在Release 17（於2022年6月凍結）版本中首度針對NTN制定技術規範，此標準為衛星技術納入3GPP生態系統之關鍵里程碑，確保NTN與地面網路系統間的互通性與相容性。透過設備和網路遵循統一架構，可大幅度降低頻率干擾之風險。在Release 17中，NTN服務供應商可使用FR1頻段中的頻率資源，包括n255及n256頻段，此將有助於降低成本並擴大使用範圍，因為不再需要使用專用之終端設備就可以接取衛星訊號。

此外，3GPP 於2023年12月發布Release 18，該版本旨在加強5G涵蓋之解決方案及NTN之適用性，並新增n254頻段供NTN使用，以及引入高於10 GHz以上頻段如n510、n511和n512頻段。針對支援物聯網的NTN，Release 18則規劃使用4G頻段配置編號第254號和第253號（參見下表）。

表 3：3GPP NTN操作頻段

網路類型	頻段編號	頻率範圍	
		上行鏈路 (SAN 接收/UE 傳輸)	下鏈 (SAN 傳輸/UE 接收)
5G NTN	n256	1980-2010 MHz	2170-2200 MHz
	n255	1626.5-1660.5 MHz	1525-1559 MHz
	n254	1610-1626.5 MHz	2483.5-2500 MHz
	n512	27500-30000 MHz	17300-20200 MHz
	n511	28350-30000 MHz	17300-20200 MHz
	n512	27500-28350 MHz	17300-20200 MHz
4G NTN (物聯網)	254	1610-1626.5 MHz	2483.5 MHz – 2500 MHz
	253	1668-1675 MHz	1518-1525 MHz

資料來源：3GPP

四、主要國家與地區 D2D 頻譜核配趨勢及相關政策措施

經盤點歐盟、英國、美國與加拿大等主要國家與地區D2D頻譜核配趨勢、相關政策措施及產業發展情形，分別說明如下。

(一) 歐盟

1. 推動政策

根據歐洲郵電管理委員會（Confederation of European Posts and Telecommunications, CEPT）於2025年1月對會員國的調查問卷結果顯示，部分歐洲國家（如荷蘭、瑞士等）之既有法規，已允許使用MSS頻譜的D2D終端裝置以免執照方式使用，僅要求相關服務營運商應具備相關執照。然而，大多數歐洲國家皆未針對使用行動通信頻段的D2C服務制定監管架構。

為導入D2D 服務並建構歐盟層級之監管政策，歐盟執行委員會（European Commission，下稱「歐盟執委會」）要求轄下諮詢單位「無線電頻譜政策小組」（Radio Spectrum Policy Group, RSPG）出具評估意見，RSPG遂於2025年6月17日提出意見報告。

此報告指出，由於歐盟會員國已針對協調完成之電子通信服務（Electronic Communication Service, ECS）頻段核發執照，且多數僅限用於地面行動通信使用，加上相關ECS頻段的技術協調決策，亦以地面行動通信為主要考量，進而導致歐盟會員國的ECS頻段難以推動導入D2D服務。因此，針對使用IMT頻段的D2D服務，RSPG提出下列兩項主要建議：

- 歐盟執委會授權CEPT，為ECS協調頻段中的D2D衛星運作訂定協調技術條件，以保護ECS網路及其他無線電服務免受D2D衛星之干擾。此一授權亦包含在WRC-27後，CEPT應在適當的前提下更新技術條件。
- 歐盟執委會應考量CEPT對上述授權的回應，對目前的ECS 協調決定提出修正案，以便在協調的技術條件下導入D2D。

根據修訂後的ECS協調決定，為保護ECS網路免受相關ECS頻段的D2D衛星之干擾，歐盟會員國可透過國內立法修訂或變更ECS執照，以允許使用IMT頻段的D2D服務。

另一方面，歐盟執委會近期亦針對未來1980-2010 MHz與2170-2200 MHz（以下統稱2 GHz頻段）作為MSS用途進行意見徵集。2 GHz頻段由於歐盟境內為協調頻段，且緊鄰2.1 GHz地面行動頻段，因此被認為相當適合用於D2D服務用途。

歐盟在2009年將2 GHz頻段分配予Inmarsat（現為Viasat）及Solaris（現為Echostar），以在歐盟境內提供衛星行動服務，各會員國可允許其使用部分2 GHz MSS頻段為期18年（預計將於2027年5月屆期）。歐盟執委會表示，後續將衡平促進競爭與創新、避免破壞性後果，以及確保現有服務的連續性，進而決定是否給予2 GHz頻段現行使用者完全或部分續照，或舉行新的遴選程序。

2. 產業發展

目前2 GHz MSS頻段中，Viasat的服務是透過合作夥伴T-Mobile的頻譜為飛機提供地對空網路連接，Echostar則提供衛星物聯網連接，此二家業者目前皆希望延長其執照效期。惟Vodafone及Orange等其他電信業者亦有高度興趣取得此一頻段。

2024年，Starlink向CEPT提交的意見指出，歐盟部分國家2 GHz MSS頻段授權僅限使用GSO衛星服務的終端裝置，須調整相關法規才能允許NGSO衛星服務。同時現有2 GHz使用者，也限制D2D服務發展空間。Starlink建議，為避免歐盟各會員國分別制定不協調的國內法規，造成跨境協調解決方案不足，宜在歐盟層級訂定統一的衛星D2D服務監管與技術邊界條件。

2025年3月，Vodafone與AST SpaceMobile宣布合資成立歐洲衛星服務業務公司SatCo，並預計於2025年至2026年期間在歐洲市場推出D2D服務。其商業模式是向歐洲市場的MNO提供一站式（turnkey）

方案，SatCo將建立地面基地臺網路，為歐洲各地的MNO提供至LEO衛星的後傳服務（backhaul service）。

Vodafone與AST SpaceMobile的聯合新聞稿指出，SatCo的商業模式可支持歐洲的數位主權。由於AST SpaceMobile的衛星僅搭載遠端射頻單體（remote radio head），核心網路（core network）仍由MNO提供，再加上SatCo總部設於盧森堡，SatCo將能提供歐洲自主的後傳能力。

（二）英國

1. 推動政策

Ofcom於2024年7月就導入D2D服務之利益與風險展開意見徵集（Call for Input），以蒐集利害關係人之意見。同年11月，Ofcom發布意見回應，並表示將規劃於行動頻段導入D2D服務授權。

2025年3月，Ofcom針對授權衛星D2D服務使用MNO持有的3GHz以下之行動通信頻段（如下表），展開公眾諮詢。在目前Ofcom的規劃中，D2D服務只能由衛星業者與具國內相關頻率執照的MNO合作提供，且衛星業者不得對英國與海外現有頻譜使用者造成有害干擾。

表 4：Ofcom擬開放D2D使用之行動通信頻段

頻段	頻率範圍		雙工模式 (Duplex Mode)
	使用者裝置(手機)發射頻率/行動基地臺接收頻率	行動基地臺發射頻率/使用者裝置(手機)接收頻率	
700 MHz	703 – 733 MHz	758 – 788 MHz	FDD
	-	738 – 758 MHz	SDL
800 MHz	832 – 862 MHz	791 – 821 MHz	FDD
900 MHz	880.1 – 914.9 MHz	925.1 – 959.9 MHz	FDD
1400 MHz	-	1452 – 1492 MHz	SDL
1800 MHz	1710.1 -1785 MHz	1805.1 – 1880 MHz	FDD
2.1 GHz	1920 – 1979.7 MHz	2110.3 – 2169.7 MHz	FDD
2.6 GHz	2500 – 2570 MHz	2620 – 2690 MHz	FDD

註：FDD為分頻雙工（Frequency Division Duplexed）；SDL為補充下行鏈路（Supplementary Downlink）。

資料來源：Ofcom (2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands.

在Ofcom諮詢文件中，Ofcom分析D2D服務的干擾風險分為兩類。第一類為「區域外干擾」(out of area interference)，即D2D服務區域外的地面也接收到來自衛星的訊號，包含對鄰國行動通信網路之干擾；第二類則為「不必要發射」(unwanted emission)，係指衛星發射之頻率與授權頻率不同，又被稱為「帶外干擾」(out of band interference)。為避免此二類有害干擾妨礙其他頻率用途，Ofcom針對行動通信下行鏈路頻率中的D2D衛星發射制定下列功率限制及最小仰角限制。

表 5：Ofcom規劃之D2D衛星發射功率限制

行動通信頻段	功率通量密度(power flux density, PFD)限制 (單位：dBW / MHz / m ²)
700、800、900 MHz	-119
1400 MHz	-113
1800、2100 MHz	-111
2600 MHz	-108

資料來源：Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands.

表 6：Ofcom規劃之D2D衛星發射最小仰角限制

行動通信頻段	傳輸最小仰角限制(minimum elevation angle of transmission) (單位：度(degree))
全部頻段	20

資料來源：Ofcom(2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands.

Ofcom認為其目前規劃的D2D衛星發射功率限制比現行地面網路更為保守，將可杜絕跨境有害干擾發生之可能性。同時英國也與數個鄰國簽訂備忘錄(Memorandum of understanding, MoU)，內容約定地面網路干擾之「協調觸發門檻」(coordination trigger threshold)，當超過門檻時，將要求MNO簽訂協調協議(coordination agreement)。

有關應採取何種方式授權手機使用行動通信頻段與衛星互連，Ofcom在此次諮詢提出三種監管方案，其內容分別為：

- 方案一：對連接D2D服務之手機（須遵循功率限制等技術規範）視情形豁免執照規範。
- 方案二：對連接MNO提供之D2D服務的手機，視情形豁免執照規範。其中，MNO須完成變更其持有執照，以納入提供D2D服務之相關協調條款
- 方案三：針對可使用D2D服務之手機，增設「使用者終端裝置執照」，此執照需由MNO與衛星業者共同向Ofcom提交申請，待審核通過後，MNO與衛星業者將共同持有執照。

考量方案二對MNO造成的負擔相對較小，且允許Ofcom在必要時可實施強制措施，目前Ofcom偏向採用方案二，惟仍將參考公眾諮詢結果，再進一步確定實施方案。

2. 產業發展

儘管D2D服務在全球仍屬初期發展階段，但是已出現衛星業者提供批發服務、MNO為其終端用戶提供零售服務之商業模式。例如，MNO將D2D作為其高資費方案或附加的服務內容，MNO的客戶不一定會知道在某個時間點，其行動服務是由地面行動基地臺提供，或由衛星提供。Ofcom認為此一商業模式也可能是未來英國在短期內會出現的服務模式，惟Ofcom於規劃監管方案時，對於業者之商業模式採取中立態度，僅從主管機關在頻譜管理與促進競爭之職責作為考量。

在Ofcom的推動下，英國有望成為歐洲第一個推出D2D監管政策的國家，並預計透過D2D服務實現讓英國地面涵蓋率達100%之目標，促進農村與偏遠地區之發展。此外，Ofcom也預計D2D服務可應用在英國沿海水域，使船舶及乘客皆能獲得行動服務；或提供停電期間之備援通信涵蓋，改善偏遠地區999服務（緊急求救電話服務）等災害防救用途。

2025年1月，Vodafone在Ofcom核發的創新試驗執照支持下，使用其合作夥伴AST SpaceMobile的BlueBird低軌道衛星，在威爾斯西

部一處完全無訊號的山區，成功以市售 4G/5G 手機完成全球首例衛星視訊通話。同時，Vodafone也藉此次通信實現衛星傳輸4G行動寬頻下載速度超過10 Mbps，並完成首例5G語音通話，展現D2D技術的多重突破。

(三) 美國

1. 推動政策

因應新興衛星應用服務發展，美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission, FCC）於2024年3月15日公布「未來單一網路：從太空補充涵蓋」（Single Network Future: Supplemental Coverage from Space, SCS）監理架構，允許衛星系統商與MNO合作，使用核配予行動通信網路頻段，從而實現未來單一網路環境。

FCC開放供SCS使用頻段包括600 MHz（614-652 MHz和663-698 MHz）、700 MHz（698-769 MHz、775 MHz-799 MHz和805-806 MHz）、800 MHz（824-849 MHz和869-894 MHz）和寬頻個人通信服務（Broadband Personal Communications Service, PCS）頻段（1850-1915 MHz和1930-1995 MHz）和進階無線服務（Advanced Wireless Service, AWS）之H段（1915-1920 MHz和1995-2000 MHz）頻段，並納入急難救助網路管理局（The First Responder Network Authority, FirstNet）之公共安全寬頻頻段700 MHz（758-769/788-799 MHz），以因應公共安全通信需求。

為使衛星系統可使用上述頻段，FCC於頻率分配表新增MSS雙向且次要分配，SCS操作不得對任何主要用途產生有害干擾，且不得要求干擾保護，以確保既有地面網路服務品質與頻譜使用者之權益不會受到影響，並將干擾風險降至最低。對此，FCC訂定帶外功率通量密度上限-120dBW/m²/MHz的規定，以規範衛星下鏈訊號傳輸時之帶外發射功率水準，減輕對地面通信造成有害干擾的潛在風險。

此外，SCS架構規範衛星系統商透過租賃方式向MNO租用頻段，以提供SCS服務，但只能在6個獨立地理區域（Geographically

Independent Area, GIA) , 美國本土 (CONUS) 、阿拉斯加、夏威夷、美屬薩摩亞、波多黎各與美屬維京群島, 以及關島與北馬里亞納群島提供服務。同時, 衛星系統商必須依聯邦法規第47篇電信規章之第25節 (Part 25-Satellite Communications, 簡稱Part 25) 申請執照, 方能提供SCS服務。

2. 產業發展

2024年11月26日, FCC核准第一個SCS申請, 主要核准項目包括:

- 核准 SpaceX 於 340、345、350 和 360 公里的軌道高度布建衛星網路, 並使用 Ku、Ka、E 和 V 頻段進行通信。
- 核准 SpaceX 與 T-Mobile 的租賃協議, 於美國境內使用 1910-1915 MHz (地對空) 和 1990-1995 MHz (空對地) 之 PCS 頻段提供 SCS 服務, 補充無行動通信網路涵蓋地區之通信服務。
- 核准 SpaceX 在美國境外使用 MSS 頻段, 即 1426-2690 MHz 頻率範圍內之特定頻段, 進行衛星直連手機服務, 但前提是取得國外主管機關之授權, 並遵循 ITU 的規定。

然而, 在2024年11月26日的決議文件中, FCC並未審查SpaceX提出豁免帶外功率通量密度上限-120 dBW/m²/MHz的規定, 即SpaceX希望可以放寬SCS服務功率之要求。

針對此一限制, FCC考量到放寬帶外功率通量密度上限規範符合公共利益, 並促進SCS服務發展, 同時也達到保護地面通信之效果, 故於2025年3月7日以有條件的核准SpaceX的申請, 將帶外功率通量密度上限調整為-110.6 dBW/m²/MHz, 但要求不得對地面通信造成有害干擾。倘若發生有害干擾, SpaceX必須及時處理, 否則應停止操作, 直到問題解決。此外, 調整後的帶外功率通量密度上限僅適用於PCS頻段之相鄰5 MHz頻塊 (1985-1990 MHz和1995-2000 MHz), 其他頻段仍須遵守原上限規範。

截至目前，FCC於2025年6月20日公布已受理AST提交之變更衛星執照申請，並徵詢公眾意見。AST提交衛星執照變更項目包括增加衛星數量、新增饋線鏈路和追蹤遙測及控制地球電臺（telemetry, tracking, and control, TT&C）使用頻段、SCS服務使用頻段（含698-716 MHz、728-746 MHz、824-849 MHz及869-894 MHz）、MSS使用頻段。然而，FCC初步審查後，僅受理TT&C使用頻段審查³，並未說明不受理審查其他項目之理由。

(四) 加拿大

1. 推動政策

加拿大創新、科學及經濟發展部（Innovation, Science and Economic Development, ISED）考量到新的衛星系統快速發展，若能利用傳統上分配給行動通信服務之頻段，將可為行動通信服務不足地區（如偏遠地區或原住民族社區）提供衛星直連裝置服務，進而有效擴大網路涵蓋。對此，ISED於2025年2月公布「以衛星補充行動通信涵蓋之政策、授權與技術監理架構」（Policy, Licensing and Technical Framework for Supplemental Mobile Coverage by Satellite, SMCS）⁴決議事項，允許衛星系統商與MNO合作，以擴大加拿大網路涵蓋。

SMCS監理架構係以SMCS協議為核心，具SMCS申請資格者如下所示：

- MNO：與衛星業者簽訂SMCS協議之MNO，可申請持有地球電臺頻率執照，以提供SMCS服務。
- 外國衛星系統商：與MNO簽訂SMCS協議之外國衛星系統商，可申請持有經核准的外國衛星（foreign satellite approval, FSA）。

³ FCC (2025), Space Bureau Accepts for Filing AST & Science, LLC Application, <https://s.moda.gov.tw/TBqoGSeC83oc>

⁴ ISED (2025), Decision on a Policy, Licensing and Technical Framework for Supplemental Mobile Coverage by Satellite, <https://s.moda.gov.tw/BUyFbK3iv9nT>

- 加拿大衛星系統商：與 MNO 簽訂 SMCS 協議之加拿大衛星系統商，可在加拿大提供 SMCS 服務。

目前，ISED 開放 SMCS 可使用頻段包括 600 MHz（617-652 MHz/663-698 MHz）、700 MHz（698-756 MHz和777-787 MHz）、800 MHz（824-849 MHz/869-894 MHz）、PCS（1850-1915 MHz/1930-1995 MHz）、AWS-1（1710-1755 MHz/2110-2155 MHz）和AWS-3（1755-1780 MHz/2155-2180 MHz）頻段。ISED將SMCS歸類為MSS，並修改頻率分配表，於前述頻段中將MSS列為次要分配。SMCS操作須基於無干擾且不保護原則辦理。倘若發生有害干擾時，SMCS地球電臺頻譜執照持有者（即MNO）應透過其與衛星系統商簽訂之SMCS，負責干擾處理。

雖然SMCS可補充地面網路涵蓋，但不得計入行動通信頻率執照之布建義務，理由在於SMCS目前只能提供有限的服務（簡訊、語音和有限的數據訊務量），無法完全取代地面涵蓋。此外，ISED亦不要求SMCS進行漫遊，未來將視技術可行性與市場狀況，滾動式檢討。

2025年5月ISED進一步公布「提供衛星補充行動通信涵蓋之太空電臺技術規範」（Technical Requirements for Space Stations Providing Supplemental Mobile Coverage by Satellite），以確保頻率有效使用以及與其他無線電系統之共存。針對地面通信系統，ISED訂定同頻與鄰頻的功率通量密度（power flux density, PFD）上限要求，如下表所示。但當太空電臺下鏈使用869-870 MHz時，其對鄰頻之866-869 MHz頻率範圍內之功率通量密度不得超過-129 dBW/m²/MHz。

表 7：加拿大SMCS太空電臺功率通量密度限制

頻段	同頻 PFD 限制	鄰頻 FD 限制
600 MHz	-116 dBW/m ² /MHz	-120 dBW/m ² /MHz
700 MHz		
800 MHz		
AWS 1、AWS 3	-106 dBW/m ² /MHz	-113 dBW/m ² /MHz
PCS		

註：1.於地面以上1.5公尺處測量。

2.當太空電臺下鏈使用869-870 MHz時，其對鄰頻之866-869 MHz頻率範圍內之功

率通量密度不得超過-129 dBW/m²/MHz。
資料來源：ISED (2025)

2. 產業發展

加拿大幅員廣大且人口分布廣泛，衛星系統為鄉村、偏遠地區等行動通信網路難以到達地區提供重要的服務，包括通信、廣播和連網服務，除了加拿大衛星系統商（如Telesat、MDA、Kepler等），亦有包括SpaceX、Eutelsat等取得核准之外國衛星系統商提供服務。由於SMCS監理架構與SMCS太空電臺技術分別於2025年2月與5月由ISED公布，截至目前尚無透過SMCS提供服務之案例。

五、國際 D2D 頻譜分配趨勢對於我國發展 6G 頻譜政策之啟示

由於D2D使終端裝置可直接與衛星建立通信鏈路，無需仰賴地面基地臺，對補充地面涵蓋（尤其偏遠地區）、加強通信備援、帶動新型物聯網服務及減少數位落差具有重要應用價值，可預期在未來6G NTN情境下，D2D將成為不容忽視的通信方式。近年，隨低軌道衛星大量發射，D2D服務之商業模式也逐漸浮現，並出現多家業者提供簡訊、數據、語音及物聯網應用等多樣化的服務內容。

如何因應技術發展趨勢，將D2D服務納入監管架構，且於不造成有害干擾的前提下供應充足頻率，以允許相關服務提供及市場創新發展，已成為國際組織及各國主管機關迫切面臨的議題。對此，ITU已將潛在的MSS額外分配與用於補充行動通信網路頻段探討納入WRC-27之討論議程，3GPP則分別於Release 17（於2022年6月凍結）及Release 18皆針對NTN訂定相關技術標準，以促進NTN與地面網路系統間的互通性與相容性。

就各主要國家與地區之政策而言，美國與加拿大分別於2024年及2025年公布D2D之監管架構，是國際上推動領先之國家；英國仍在公眾諮詢階段；歐盟則因需先解決區域整體頻段協調議題，因而相關推動進程較慢。

就美國與加拿大確立的政策作法來看，美、加兩國有多項共同點。第一，兩國均允許衛星系統商與MNO合作提供D2D服務；第二，兩國主管機關皆修改頻率分配表，於相關使用頻段新增MSS用途，並列為次要分配；第三，兩國皆明訂D2D操作不得要求干擾保護，且訂定相關功率限制，以確保既有地面網路服務品質與頻譜使用者之權益不會受到影響。

另由英國諮詢中的草案內容觀察，儘管其尚未確定是否豁免終端裝置之執照要求，但亦有規劃D2D服務僅能由衛星系統商與MNO合作提供，同時也將訂定相關功率限制等規定，以將有害干擾的可能性降至最低。

相較上述國家與地區，儘管我國地狹人稠，整體網路涵蓋率較為完善，但D2D補充偏遠地區涵蓋及作為通信備援方案等功能，對於強化我國通信韌性仍具重要意義。因應未來6G NTN多樣異質網路整合環境，我國市場勢必未來將面臨D2D服務導入需求，故值得持續追蹤觀察各主要國家於相關頻譜分配及監管架構，作為未來政策制定之參考。

參考資料：

1. 3GPP (2024), Non-Terrestrial Networks (NTN), <https://s.moda.gov.tw/Qe39Dhj3kj1K>
2. CEPT (2025), Questionnaire on authorisation of D2C terminals in MSS and IMT – Revision of the results and a summary, FM44(25)006, 24 January 2025, <https://s.moda.gov.tw/HbCHmuNv5uUE>
3. EchoStar (2024), EchoStar Fleet Brochure, <https://s.moda.gov.tw/zprxyfpnpbJL>
4. European Commission, Commission requests input from stakeholders on the use of spectrum bands for mobile satellite systems, 28 May 2025, <https://s.moda.gov.tw/d2FMGGApDNCq>
5. FCC (2024), SpaceX Authorized for SCS and Operations at Lower Altitudes, <https://s.moda.gov.tw/24HhPqgB4ymv>
6. FCC (2025), SB and WTB Grant SpaceX Waiver, <https://s.moda.gov.tw/J16bA2VYR57v>
7. FCC (2025), Single Network Future: Supplemental Coverage from Space, <https://s.moda.gov.tw/6eEJxLHsXyQ5>
8. FCC (2025), Space Bureau Accepts for Filing AST & Science, LLC Application, <https://s.moda.gov.tw/8ghqkYaLutJu>
9. FCC (2024), FCC Advances Supplemental Coverage from Space Framework, <https://s.moda.gov.tw/kKbdDC7WdNRJ>
10. GSMA (2025), D2D and Digital Inclusion, <https://s.moda.gov.tw/iW8WwpTGPjEK>
11. GSMA, Spectrum policy trends 2025, February 2025, <https://s.moda.gov.tw/DHup12rjtNaC>
12. ISED (2025), Decision on a Policy, Licensing and Technical Framework for Supplemental Mobile Coverage by Satellite, <https://s.moda.gov.tw/1oYhRQr5owd4>

13. ISED (2025), Technical Requirements for Space Stations Providing Supplemental Mobile Coverage by Satellite, <https://s.moda.gov.tw/bteiEWtRojnF>
14. ITU (2023), Framework and Overall Objectives of The Future Development of IMT for 2030 and Beyond, <https://s.moda.gov.tw/sEdr6scnFmHX>
15. ITU website, ITU-R Preparatory Studies for WRC-27, <https://s.moda.gov.tw/rsCo8H9oJnB2>
16. ITU (2025), Satellite direct-to-device services, <https://s.moda.gov.tw/gJcHEqhVVC8j>
17. Ofcom (2025), Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands, <https://s.moda.gov.tw/5bE5SP4YEv9v>
18. Ofcom, Standard smartphones to receive signal from space, 25 March 2025, <https://s.moda.gov.tw/RL4MiFM2LQEu>
19. Omnispace, Omnispace, Gatehouse Satcom and Nordic Semiconductor Demonstrate 5G NB-IoT Capability over Non-Geostationary S-band Satellite, press releases, 28 May 2025, <https://s.moda.gov.tw/aUZgQ7KJe1Mn>
20. Policy tracker, Could D2D use 2 GHz MSS spectrum in Europe?, 16 June 2025
21. Policy tracker, Overview of the satellite direct-to-device market, 30 June 2025
22. Policy tracker, SpaceX shares views on D2D in Europe, 11 April 2024
23. Policy tracker, UK regulator consults on satellite direct-to-device rules, 28 March 2025
24. RCR Wireless News, Vodafone, AST SpaceMobile pick Luxembourg for SatCo HQ, 30 June 2025, <https://s.moda.gov.tw/U2wDQboVkbm>

25. RSPG (2025), Opinion on the EU-level policy approach to satellite Direct-to-Device connectivity and related Single Market issues, 17 June 2025, <https://s.moda.gov.tw/TK5Z7xZJZN3C>
26. Starlink, STARLINK DIRECT TO CELL, <https://s.moda.gov.tw/rnh5RfSSWWip>
27. SpaceX, STARLINK DIRECT TO CELL SERVICE NOW AVAILABLE, February 2025, <https://s.moda.gov.tw/r2pHEvtwfhpt>
28. Vodafone, Vodafone and AST SpaceMobile Sign Agreement to Create European Direct-To-Device Satellite Service Provider, 3 Mar 2025, <https://s.moda.gov.tw/YEpjKKyxLjyf>
29. Vodafone, Vodafone makes world's first space video call from an area of no coverage using a standard mobile phone and commercial satellites built to offer a full mobile broadband experience, 29 Jan 2025, <https://s.moda.gov.tw/Rv6y7ZoCER23>

2025 第二季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

6G NTN情境下之衛星直
連裝置 (D2D) 頻譜政
策趨勢

委辦單位

moda 數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

04-06月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第一季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

未來**6G**網路環境下之固定無線
接取(**FWA**)應用情境及頻譜需
求－從產業聯盟 (**NEXT G
ALLIANCE**)觀點

委辦單位

mod^a 數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

01-03月國內外頻
譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見

2025 第一季

目錄

1

專題分析：未來6G網路環境下之固定無線接取（FWA）應用情境及頻譜需求 - 從產業聯盟（Next G Alliance）觀點

一、 前言	2
二、 FWA 應用情境及商業機會	2
三、 FWA 之頻譜需求及關鍵表現指標(KPIs)	12
四、 結論	15

2

第一季15篇之國內外頻譜新聞及趨勢

[一月國內外頻譜新聞超連結](#)

[二月國內外頻譜新聞超連結](#)

[三月國內外頻譜新聞超連結](#)

專題分析：未來6G網路環境下之固定無線接取（FWA）應用情境及頻譜需求－從產業聯盟（Next G Alliance）觀點

一、前言

固定無線接取（Fixed Wireless Access, FWA）目前主要應用於 5G 網路，以提供高速、可靠的網路連接。FWA 已成為光纖和有線寬頻的替代方案，尤其在傳統有線基礎設施難以布建或布建成本過高的偏鄉、郊區及部分都市地區，是消弭數位落差之重要工具。

FWA 的應用範圍廣泛，包括作為家庭和企業的主要網路連接，以及在有線網路中斷時提供備援連線，在零售業、政府部門和公共安全領域尤其重要。FWA 也在智慧工廠中扮演關鍵角色，透過連接物聯網設備、感測器和自動化系統，實現資料驅動的生產決策、提高生產效率和品質控制；其他 FWA 應用則涵蓋教育、遊戲、娛樂、電子醫療（e-health）和公共安全等垂直領域。

二、FWA 應用情境及商業機會

針對 6G 網路環境下的 FWA 應用情境，Next G Alliance 從產業聯盟的角度闡述 FWA 的四個發展面向，分析 FWA 作為寬頻服務、消弭數位落差、提升網路韌性與頻率使用效率及實現工業自動化之貢獻，並指出 FWA 面對的商業機會、潛在需求及課題。四個發展面向如下：

- （一）FWA 作為寬頻服務之使用需求與型態；
- （二）消弭數位落差之潛在改善方式；
- （三）開發未充分使用之頻譜資源（如毫米波頻譜）；
- （四）加速實踐智慧工廠。

（一）FWA 作為寬頻服務之使用需求與型態

目前，FWA主要基於5G 技術，使用包括毫米波（mmWave）在內的多種頻譜提供高速網路連接。FWA不僅提供家庭網路連接，也作為企業的備援方案，確保連線的持續性。在頻寬需求不斷增長的情況下，FWA能滿足用戶對高速、可靠網路的需求，其性能在短距離布建（如5公里內）且速度超過100 Mbps時，可與有線寬頻相媲美。相較於傳統的有線方案，FWA成本更低且布建更快速。

FWA為行動網路經營者（Mobile Network Operators, MNOs）帶來新的營收機會，使用既有或未充分利用的網路容量提供家庭和企業寬頻服務，將FWA與其他行動服務套裝（bundle）銷售在美國市場已證明可提高客戶續約率。此外，以FWA作為備援服務之用途，在商業和政府領域仍有待開發的巨大市場，尤其在零售、政府、公共安全和教育等需要持續連線之環境。對於缺乏光纖基礎設施的地區，FWA是提供高速網路連接的有效途徑，有助於擴大寬頻服務涵蓋範圍，同時，設備製造商也受惠於FWA客戶終端設備需求的增長。

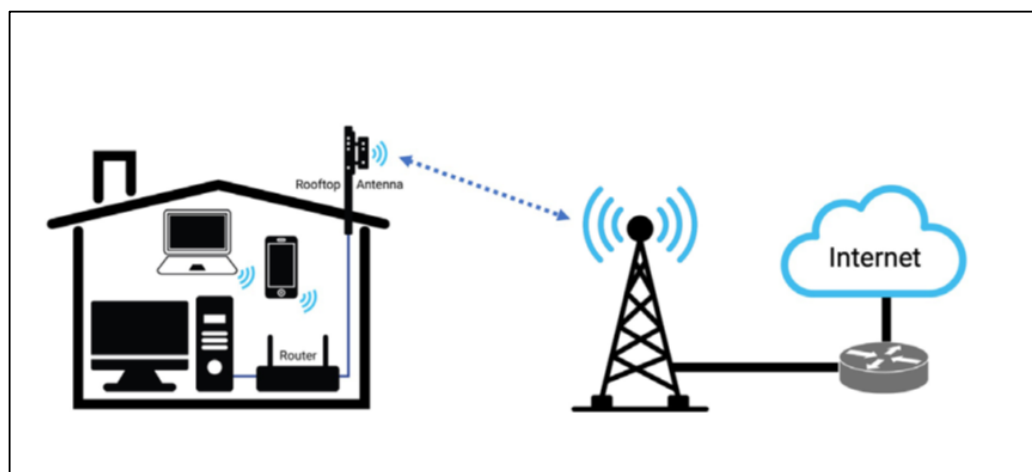


圖 1：設置於室外之用戶終端設備有助於行動服務套裝銷售
資料來源：Next G Alliance

作為寬頻服務，FWA潛在使用需求及型態包括因應各種新興應用的傳輸速率需求、低延遲、更高的可靠性、多樣化的應用場景支援能力、便利使用與安全性，分別敘述如下：

- 持續增長的高數據傳輸速率需求：隨著網路應用日益豐富，例如高畫質影音串流、雲端遊戲、虛擬實境（Virtual Reality, VR）和擴增實境（Augmented Reality, AR）等，使用者對頻寬的需求將持續攀升。FWA作為家庭和企業的主要寬頻連接方式，必須能夠提供足夠的數據傳輸速率來滿足這些需求。
- 更低的網路延遲：除了高頻寬，對於需要即時互動的應用，例如線上遊戲、遠距協作和部分商業應用，更低的延遲十分重要。未來的FWA服務需要進一步降低延遲，以提供更流暢的使用者體驗。
- 更廣泛的涵蓋範圍和更高的可靠性：雖然FWA在布建成本和速率方面具有優勢，但仍需持續擴大其涵蓋範圍，尤其是在郊區和偏遠地區，以消弭數位落差。同時，使用者對網路連接的穩定性和可靠性要求也越來越高，Next G Alliance將6G時代的FWA網路服務可用性（Service Availability）之標準設定為99.999%。
- 多樣化的應用場景支持：未來FWA不僅限於家庭和辦公室的上網需求，還需支持更多樣化的應用場景，例如智慧家庭設備的連接、遠距醫療、線上教育等。這表示FWA網路需要具備足夠的彈性和可擴展性。
- 易於使用和管理：FWA用戶端設備應更加容易安裝和設定，最好能實現自助安裝。同時，簡化的網路管理和故障排除機制也將提升使用者滿意度。
- 安全性：隨著網路應用的普及，網路安全變得越來越重要。未來的FWA服務需要提供更強大的安全功能，保護用戶資料和隱私。

（二）消弭數位落差之潛在改善方式

數位落差是指那些能夠接取網路服務的人與那些無法接取的人之間差距，地理位置和成本是造成數位落差的主要因素。在人口密度低的郊區和偏遠地區，光纖等固定基礎設施的布建成本過高。FWA 提供更經濟且快速布建的解決方案，尤其是在服務不足的地區。美國、加拿大和墨西哥都有相當比例的人口居住在偏遠地區，面臨數位落差的問題，FWA被視為解決最後一哩連線問題的關鍵技術。

在數位落差嚴重的地區，由政府主導的寬頻普及計畫是推動在地發展的重要機會，其最基本的需求是擁有一套可信賴且負擔得起的高速網路連接。美國的「寬頻公平、接取和布建計畫（Broadband Equity, Access and Deployment, BEAD）」為FWA的布建提供重要的資金支持，該計畫是2021年基礎建設投資和就業法案（Infrastructure, Investment and Jobs Act, IIJA）的一部分，由美國國家電信和資訊管理局（National Telecommunications and Information Administration, NTIA）管理。BEAD計畫將提供數十億美元給各州，地方政府需要向NTIA提交五年計畫，說明如何使用資金來幫助消弭各地區的數位落差。其長期目標是在2030年之前，讓所有國人都能連上網路。

BEAD計畫將「光纖到府（Fiber To The Home, FTTH）」列為優先寬頻服務，但同時也認可「固定無線執照（Licensed fixed wireless, LFW）」以及符合特定速率和延遲要求的「替代技術」，包括免執照固定無線（Unlicensed Fixed Wireless, ULFW）和低軌道衛星也有資格獲得BEAD之資金。

FWA服務提供商可以與政府合作，擴展在服務不足地區的FWA涵蓋範圍。此外，在偏遠地區提供可靠的網路連接，可促進智慧農業、遠距醫療和遠距教育等新興服務的發展。同時，提升數位素養

的相關產業，如提供教育如何安全地使用網路獲取資訊、參與線上活動和提升就業技能等商業活動，也將受益於更廣泛的網路普及。

此外，針對特定垂直產業，例如為農業和醫療保健進行客製化 FWA 解決方案也是一個重要的商業需求。Next G Alliance 列出偏遠地區和特定垂直產業之 FWA 解決方案如下：

- 農業：在偏遠地區，FWA 可以利用較高的天線高度和 5G 獨立組網（Standalone, SA）技術，支援精緻農業應用，提供農場先前難以獲得的高數據傳輸速率。這有助於提升農業生產效率和管理水平。
- 遠距醫療：FWA 可以擴大涵蓋範圍，使偏遠地區的醫療中心能夠傳輸超音波或 X 光片等醫療影像，協助遠距醫生進行診斷和治療。
- 教育：FWA 可以為技能發展中心、圖書館和社區中心等教育機構提供網路連接，促進數位素養的提升和終身學習機會。
- 建築工地：在缺乏有線連接的臨時或偏遠建築工地，FWA 可以快速提供寬頻服務。
- 作為現有有線網路的備援方案：FWA 可以作為企業和政府機構有線網路（如光纖或電纜）的備援方案，確保在有線連接中斷時仍能維持網路連線。零售商店可以布建 FWA 作為備援，確保在主要有線網路故障時，仍能繼續進行銷售和使用行動 POS 設備。
- 政府部門和公共安全機構在關鍵場所或美國聯邦緊急事務管理署（Federal Emergency Management Agency, FEMA）¹ 指定的災害回應地點（disaster-response locations），FWA 可以提供備援連線，確保關鍵任務的持續進行。甚至可以將 FWA 路由器安裝在警車或救護車上，建立臨時的行動無線網路。

¹ 美國聯邦緊急事務管理署（Federal Emergency Management Agency, FEMA）是美國政府負責協調國內各類重大災害應變與緊急事務的專責機關。

- 多營運商客戶終端設備/路由器解決方案：採用支援多個MNOs之SIM卡的客戶終端設備/路由器，可以提供更可靠的行動通信備援解決方案。客制化設備可隨時選擇訊號最佳的網路進行連接，提高在不同地理位置的連線穩定性，特別是在網路涵蓋範圍不均的地區。這些設備還支援各種應用，包括遠距工作、零售、政府和教育環境。
- 優化布建位置和天線：透過仔細評估FWA終端的安裝位置，並調整其天線（特別是使用定向自動對準天線陣列），可以最佳化接收訊號的強度和網路效能。美國電信業者Verizon的經驗顯示，在某些情況下，選擇更好的位置甚至使用外部天線，有時FWA甚至能提供比原有有線網路更好的效能。

（三）開發未充分利用之頻譜資源（如毫米波頻譜）

目前，美國的FWA服務主要利用現有的行動通信頻譜，但隨著數位需求的增加，特別是FWA用戶的數據消耗量遠超行動用戶，開發未充分利用的頻譜資源，如毫米波（mmWave）頻譜（約24 GHz或更高）變得越來越重要。毫米波頻譜擁有較大的頻寬，能夠提供極高的數據傳輸速率。儘管毫米波的涵蓋範圍較短，且容易受到阻礙，但在高密度人口區域，例如體育場館和交通樞紐，以及需要光纖般連接的郊區和偏遠地區（在缺乏有線基礎設施的情況下），毫米波FWA具有巨大的潛力。

擁有毫米波頻譜的MNOs可以利用FWA來大幅提升網路容量，滿足用戶不斷增長的數據需求，並支持FWA業務持續擴張。毫米波FWA可在光纖布建成本高昂的地區提供高容量、安全、可靠和低延遲的網路。對於臨時活動場所和災區，FWA具有快速布建能力，結合毫米波的高頻寬可即時提供現場所需大量頻寬需求。隨著FWA用戶數據消耗量的增長，對更高網路容量的需求日益迫切。對於需要極高頻寬的應用，在人口稠密的城市和數據需求高的郊區，例如大

型活動的直播和高畫質影音串流，使用毫米波頻譜的FWA可提供類似光纖的寬頻體驗。

然而，毫米波頻譜的特性對於FWA也帶來了技術挑戰，例如傳輸距離有限和容易受到障礙物阻擋。需開發更先進的天線技術，例如大規模天線陣列（以下簡稱Massive MIMO）和波束成形，以提高訊號涵蓋和穿透能力。FWA的終端設備製造商也正在開發能夠有效利用毫米波頻譜的FWA設備，持續增進天線設計和性能，以有效利用毫米波頻譜。未來，6G FWA預計將在毫米波頻譜上支持極高的數據速率和增強的涵蓋。

（四）加速實踐智慧工廠

FWA作為智慧工廠提供替代傳統光纖布線的高速無線連接方案，幫助智慧工廠連接廠區內的工業物聯網（Industrial Internet of Things, IIoT）設備、感測器和自動化系統，實現即時數據收集和數據驅動的決策。作為專用5G/6G網路的傳輸網路，透過營運資料的無縫傳遞，使自動化系統如自動導引車（Automated Guided Vehicles, AGV）和自主行動機器人（Autonomous Mobile Robots, AMR）等系統順暢運行，即時監控也將使工廠效率升級並大幅提升生產力。此外，FWA亦擴展到工廠車間之外，實現智慧倉儲和物流管理，其無線基礎設施支援倉庫互連，優化庫存管理、訂單履行和供應鏈協調，創建連接生產、倉儲和分銷的整體解決方案。

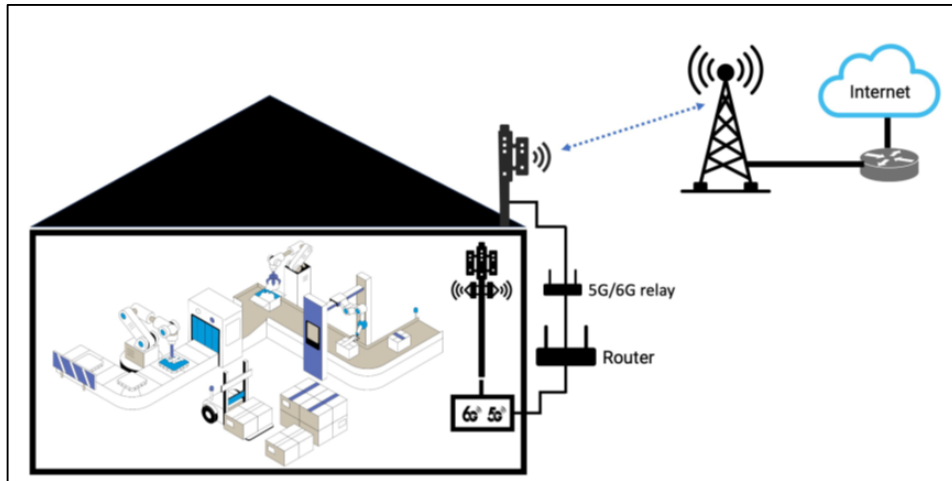


圖 2：透過FWA連網協助智慧工廠廠區內外溝通協調

資料來源: Next G Alliance

FWA為專用網路提供後傳網路連接，為智慧工廠、智慧倉儲和智慧物流等領域帶來一系列商業機會。Next G Alliance分別就以上三個領域進一步分析其商業機會。

在智慧工廠中，FWA將帶來以下商業機會：

- 工業自動化解決方案：FWA 提供可靠的網路基礎設施來支援機器人、自動駕駛汽車和人工智慧機械等自動化技術。開發和整合這些系統的公司可以利用 FWA 提供全自動、數據驅動的製造環境。
- 預測性維護及IIoT平臺之建立：提供IIoT解決方案的企業可以使用FWA來增強即時資料收集和分析。透過FWA進行預測性維護服務，減少停機時間並提高資產壽命。
- 為中小企業客製化網路基礎設施：小型製造商可能缺乏廣泛的有線基礎設施資源。服務提供者可以提供量身定制的 FWA 解決方案，提供高速連接，而無需鋪設光纖的資本支出，使中小企業更容易採用智慧工廠等相關技術。
- 網路安全解決方案：隨著 FWA 在智慧工廠中擴大其連接範圍，對強大、可擴展的網路安全解決方案的需求也在增加。專門

從事安全網路營運、威脅偵測和資料保護的公司可以提供保護工業環境的服務。

FWA在智慧倉儲可能帶來以下商業機會：

- 庫存管理系統：FWA 可以支援智慧倉儲技術的快速布建，例如無線射頻識別（Radio Frequency Identification, RFID）標籤、自動庫存追蹤和即時資產管理。提供倉庫管理系統的企業可透過提供與無線基礎設施無縫整合的解決方案來實現智慧倉儲。
- 倉儲自動機器人：用於挑選、分類和移動庫存等任務的無人機、機器人和其他自動化系統的開發可以受益於FWA的高速、低延遲網路。專注於自動化解決方案的新創科技公司可在需要可擴展無線基礎設施的倉庫中發現持續成長的市場需求。
- 隨選（On demand）倉儲服務：借助FWA的能力，快速布建和擴展智慧倉儲業務成為可能，這使企業可將倉儲作為一種服務出售，為需要短期或可擴展儲存的企業提供靈活、技術驅動的倉儲空間解決方案。

FWA在智慧物流領域可能帶來以下商業機會：

- 即時供應鏈透明化：FWA使物流公司能夠針對轉運中的貨物提供即時追蹤和管理，使供應鏈中的物流、庫存等資訊變得即時且透明。這將增進物流軟體的開發，以提供即時更新的貨運、庫存水準和運輸效率分析資訊。
- 連網車隊和資產管理：物流供應商可透過FWA整合連網車隊解決方案，進行車輛追蹤和監控，並優化路線、燃料消耗和維護計畫。開發車隊管理軟體或設備聯網相關企業可以利用這個機會。

- 最後一哩配送自動化：FWA可以支援自動配送車輛和無人機的布建，特別是針對城市和偏遠地區的最後一哩配送。參與物流自動化的公司可以利用 FWA 網路來提供提高運輸效率、降低勞動力成本和滿足日益增長的電子商務需求。

FWA為工業自動化解決方案提供了可靠的網路基礎設施，支持機器人、自動化車輛和人工智慧驅動的設備及系統。工業物聯網平臺和預測性維護服務提供商可利用 FWA 發展實時數據收集和分析服務。此外，為中小型企業提供客製化網路基礎設施也是一個潛在的市場，FWA 可以以較低的成本提供高速連接。隨著 FWA在智慧工廠的應用，網路安全解決方案的需求也將增加。此外，FWA 也為智慧倉儲和智慧物流帶來提升效率和降低成本的機會。

然而，達成以上各項應用的前提首先是滿足其無線網路的需求，包括高頻寬和吞吐量以處理大量IIoT設備產生的數據。超低延遲對於自主機器人和預測性維護等應用之發展是關鍵性要素。FWA網路需具備高網路可靠性和彈性以確保生產的持續性，需支援邊緣計算，以減少頻寬壓力並降低延遲。同時，FWA網路服務需具備服務品質（Quality of Service, QoS）管理能力，以優先處理關鍵應用程式的流量。為防範網路攻擊，強大的安全和數據保護措施將不可或缺。

在複雜的工業環境中確保FWA的全面涵蓋及穩定連接是一項挑戰，6G時代FWA網路需具備擴展能力，以適應不斷增加的連接設備。未來的研究方向包括：動態頻譜分配技術，以更有效地利用頻譜資源。Massive MIMO 和波束成形等先進天線技術，以改善在密集工業環境中的訊號傳輸。在智慧物流和倉儲中，自動駕駛汽車和無人機經常在廣闊的區域內移動，需進一步研究使基地臺之間的無縫切換，減少延遲與中斷。此外，針對廣

闊的偏遠地區，可研究增強FWA系統的範圍，以擴展偏遠地區的連接並改善具有挑戰性的地形中的訊號傳播。FWA為專用網路布建之重要元素，為降低MNOs頻繁維修及干擾，FWA設備的軟體可升級性和模組化設計，方便遠端維護和管理，也是重要的發展方向。

三、FWA之頻譜需求及關鍵表現指標（KPIs）

針對以上四個面向之商業應用發展，在頻譜需求方面，Next G Alliance指出，為了滿足不斷增長的FWA頻寬需求，未來將需要更多頻譜分配。目前，美國FWA服務使用分配給行動通訊的頻譜，如2.5 GHz（n41）和C-band 3.3-4.2GHz（n77）頻段，預計足以支持FWA服務至2028年左右。美國各行動業者也規劃保留部分行動頻譜於非FWA用途，以免未來6G應用所需的行動通訊頻寬被成長快速的FWA頻寬需求擠壓，Next G Alliance認為，美國業者的頻譜規劃同時也說明未來6G將會產生更多的頻寬需求。儘管毫米波（mmWave）頻譜（24 GHz或更高）也開始被應用於5G FWA，然而毫米波的涵蓋範圍有限，仍需配合低頻段和中頻段頻譜使用。

美國政府在2023年已由NTIA規劃商業頻譜增強法案（Commercial Spectrum Enhancement Act, CSEA），有助於追蹤聯邦機關對於1710-1755 MHz（AWS-1）、1695-1710 MHz（AWS-3）、1755-1780 MHz（AWS-3及3550-3650 MHz（3.5 GHz CBRS）等頻段之搬遷進度及使用情形，聯邦機關之搬遷為以上頻段的商業使用創造條件。透過將頻譜釋出給非聯邦實體（例如透過FCC的拍賣）或允許共用，以使這些中低頻段能被用於提供各種商業無線服務，包括FWA。

Next G Alliance 建議，除了 2023 年頻譜規劃的努力，現在就須開始規劃針對未來更多的頻譜以滿足 FWA 持續增長的需求，提出以下可供考慮之潛在頻段：

- 釐米波（cmWave）頻段：例如 7.125-8.4 GHz、3.1-3.45 GHz 和 13 GHz。這些頻段在涵蓋範圍和頻寬容量之間提供較好的平衡，是未來 FWA 在郊區和偏遠地區的重要頻譜資源，偏遠地區之無線寬頻特別需要釐米波頻譜。
- 毫米波（mmWave）頻段：隨著資料運算需求的持續攀升，毫米波頻譜的應用將會持續增加。在光纖普及的城市，毫米波也能補充 6 GHz 以下（sub-6 GHz）和中頻頻段的容量。在郊區和偏遠地區，如果 FWA 普及率提高，也將需要更多的毫米波頻譜。
- 6G 可能支援的新頻譜：隨著 3GPP 的規格討論，未來 6G FWA 預計將支援頻譜共享以及新的釐米波（cmWave）頻段。

在技術發展層面，Next G Alliance 嘗試評估 FWA 在邁向 6G 技術演進過程中，所需具備的潛在技術能力要求及關鍵表現指標：

1. 6G FWA 潛在技術能力包括：

- 透過增強型 MIMO 等技術實現非常高的數據傳輸速率和涵蓋範圍。
- 釐米波（cmWave）頻段的頻譜共享和新頻譜。
- 增強的用戶終端設備性能。
- 低延遲以支援增強型行動寬頻（eMBB）。

2. 針對不同應用場景之相關技術要求：

- 偏遠無線寬頻：需使用釐米波（cmWave）新頻譜、使用者體驗平均數據速率至少 100+ Mbps 下行及 20+ Mbps 上行、頻譜共享以及 eMBB 的低延遲能力。

- 密集都市區域：應支援中頻段釐米波（cmWave）和毫米波（FR2）頻譜的新頻譜，以及 eMBB 的低延遲。

3. 6G FWA 之關鍵績效指標（Key Performance Indicators, KPIs）如下表。

表 1：6G FWA 關鍵績效指標

KPI	KPI（數值或數值範圍）
上行使用者體驗數據速率（Mbps）	~100 Mbps
上行端到端封包延遲	30-50 ms
下行使用者體驗數據速率（Mbps）	~250 Mbps
下行端到端封包延遲	30-50 ms
服務可用性	99.999%
可靠性	99.999%
存活時間	N/A
位置準確度	N/A
感測範圍	N/A
速度解析度	N/A
移動性	固定位置（Fixed position）

註：N/A 表示不適用或沒有提供具體的數值範圍或值。

資料來源：Next G Alliance

FWA 朝向 6G FWA 的發展進程，需達到極高的數據傳輸速率和更廣泛的涵蓋範圍，6G FWA 將支援頻譜共享以及新的釐米波（cmWave）頻段，並提升用戶終端設備的效能。技術發展重點包括：提升頻譜使用效率、優化 Massive MIMO 和波束成形等先進天線技術，此外，亦將針對 FWA 的固定特性發展簡化的網路架構，降低信令的重複使用。未來的 FWA 用戶終端設備將支援更先進的 Wi-Fi 功能，並結合各種內建的資訊安全標準。

四、結論

Next G Alliance 認為，FWA 將是 6G 關鍵且不可或缺之技術，更是改變商業模式、產業和社群的重要力量。在 5G FWA 的成功基礎上增強容量並擴大涵蓋範圍，將是邁向 6G 發展的重要一步，FWA 在 6G 中的重要性不容低估。FWA 的市場正在快速成長，已成為全球通信服務提供商（Communications Service Providers, CSPs）成長最快的業務之一。根據 ABI Research 之預測，至 2026 年，FWA 市場的用戶數將超過 1.8 億，營收將達到 700 億美元，其中 5G FWA 將占總 FWA 市場的 40%；至 2029 年，FWA 將支援超過 3.3 億個連接，為更先進的 6G FWA 連接和解決方案奠定堅實的基礎。

6G 將進一步強化 FWA 的能力，提供更低的延遲以及更高的速度、容量、可靠性、彈性和更廣泛的涵蓋範圍。FWA 的無線特性簡化家庭和企業設備的安裝，允許用戶自行安裝，無需等待技術人員，節省大量人力成本。FWA 在消弭數位落差和促進北美郊區及偏遠地區的經濟成長方面發揮關鍵作用。未來在 6G 技術驅動下，FWA 將展現更強大的潛能與應用價值，預期將為偏遠地區的精緻農業、遠距醫療、小型企業、公共安全、教育和遠距工作提供所需的連接。這項技術提供全球通信服務龐大的商業機會，在固網寬頻的加值服務上賦予競爭優勢。

綜觀其應用情境及未來發展，在頻譜需求充足的前提下，FWA 將充分整合並運用 5G 與持續演進中 6G 技術，不僅是 6G 網路架構中不可或缺一環，更是推動高速連接和數位發展的關鍵力量，並持續發展和增強對各行各業和社會產生深遠的影響。

參考資料：

1. Next G Alliance (2025), Fixed Wireless Access,
<https://s.moda.gov.tw/NA8UUSP5BU3o>
2. Next G Alliance 6G KPI Database,
<https://s.moda.gov.tw/zZ5opw5NV8tE>
3. E. Feinman (2024), “Choosing the right mix of technologies to achieve Internet for All,” Internet for All Blog,
<https://s.moda.gov.tw/Wbu5kQH5T3fR>
4. NTIA, 2023 Commercial Spectrum Enhancement Act (CSEA) Report, <https://s.moda.gov.tw/JQF6J8Gtb9zF>

2025 第一季

國際頻譜趨勢 研析季報

專題分析

未來**6G**網路環境下之固定無線接取(**FWA**)應用情境及頻譜需求－從產業聯盟(**NEXT G ALLIANCE**)觀點

委辦單位

moda
數位發展部
Ministry of Digital Affairs

執行單位

TTC 財團法人電信技術中心
TELECOM TECHNOLOGY CENTER

頻譜新聞

01-03月國內外頻譜新聞及趨勢

本報告不必然代表數位發展部意見