第五章 既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕（refarming）技術研析

隨著通信技術的進步，通信效率大幅提升，但也導致可用的頻譜空間逐漸顯得稀缺，尤其是在 6 GHz 以下的頻譜。為了兼顧公共利益與經濟發展，近年來各國陸續將免授權頻段擴展至 6 GHz 頻段，這也對現有專用頻譜使用者造成了一定的困擾，特別是那些屬於國家重要基礎通信的電臺。為了在這種情況下取得平衡，各種和諧共存的頻譜管理機制與技術伴隨應運而生。

本章節計劃旨在評估當前可行的無線通信替代技術，並透過實測驗證其可行性。這些替代技術將包括自由空間光通信、其他頻段的微波通信以及 5G 固定無線接取等，其具有高速且長距離的通信能力。同時，計劃也將深入研究頻譜重耕技術，以強化未來通信發展的可行性，確保基礎通信能有更穩定的連結。

第一節 替代技術實測評估

一、 自由空間光通信鏈路評估

(一) 替代鏈路場域規劃方向

經研究團隊蒐集當前市場自由空間光通信設備資訊，與過往 6 GHz 電臺調查之資料，擬定以傳輸速度於 1 Gbps 以內且點到點距離於 2 公里之站臺，作為此通信傳輸技術之規劃布建方向。

礙於該技術之設備受限於須符合國際雷射安全標準 IEC/EN 60825-1，多採以較嚴苛的 Class 1M 可長時間距光源 100 公釐裸視安全，或較大功率 Class 3B 短時間裸視可能暴露危險之風險標準，此標準也因此產品規格之發射功率多以不超過 0.25 W 為主。功率的限制同時限制傳輸距離的可用性，其於天候晴朗之有效傳輸約落在 500 公尺至 3.5 公里左右，為確保傳輸驗證的可執行性，計劃將

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

採點到點 2 公里內為篩選標的。光通信的乘載能力，如實體光纖網路般，傳輸速度能遠高於一般射頻電波通信，其普遍傳輸容量更可達 1 Gbps 至 40 Gbps，因此在後續站臺篩選上，設備之傳輸速度近乎能滿足所有站臺需求，在此也便已 1 Gbps 作為篩選標的。

確立鏈路規劃方向標的後，經篩選後其符合之鏈路約占國內整體 6 GHz 頻段電臺的 7%，並以中華電信股份有限公司與內政部警政署為多數。考量布建的便利與維護性，排除路途遙遠或深山處，經團隊多處會勘後，最終以財團法人中央廣播電臺為架設場域，同時為開發自動化測試軟體與設備操作之可靠度，計劃先期安排於本研究團隊之高雄實驗大樓與台鋼科技大學間，預先設立一套實驗性傳輸鏈路，供開發程式除錯與初步測試驗證。

(二) 傳輸驗證架構與方式

該類 Layer 1 傳輸設備多採以光纖埠作為介面，基本能提供高達於 1 Gbps 以上的傳輸速度，因此可對應用於常見傳輸協議，如乙太網路、開放式基地臺架構倡議（Open Base Station Architecture Initiative, OBSAI）、通用公共射頻介面（Common Public Radio Interface, CPRI）、同步傳送模組（Synchronous Transport Module, STM）、同步光纖網路（Synchronous Optical Networking, SONET）與增強型通用公共射頻介面（enhanced Common Public Radio Interface, eCPRI）等。為後續能以自動化為主，採以乙太網路協議方式來進行傳輸驗證，並以工業電腦搭設常見的網路傳輸測試軟體 iperf3 來進行驗證。為拓展驗證其傳輸協議的可用性，後續亦會進一步採用業界傳輸驗證工具儀器及標準來驗證，如乙太網路 RFC 2544 網路連接設備的基準測試方法、Y.1564 乙太網路服務啟用測試方法、RFC 6349 TCP 吞吐量測試框架。

自動化驗證之搭設架構，以 Ubuntu 作業系統之工業電腦建構

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

以 python 為基礎的自動化程式環境，供人員布建之便利性與增加資料樣本數量的收集。於初始布建啟動後，驗證鏈路之 Slave 端於開機便會自行啟動 iperf3 程序，後續 Master 或 Slave 端電腦亦會先以 ICMP PING 指令確認周邊裝置是否連結及當下設備環境溫度，並以 LINE Notify 發送訊息至手機端供人員確認，如圖 5-1 所示。

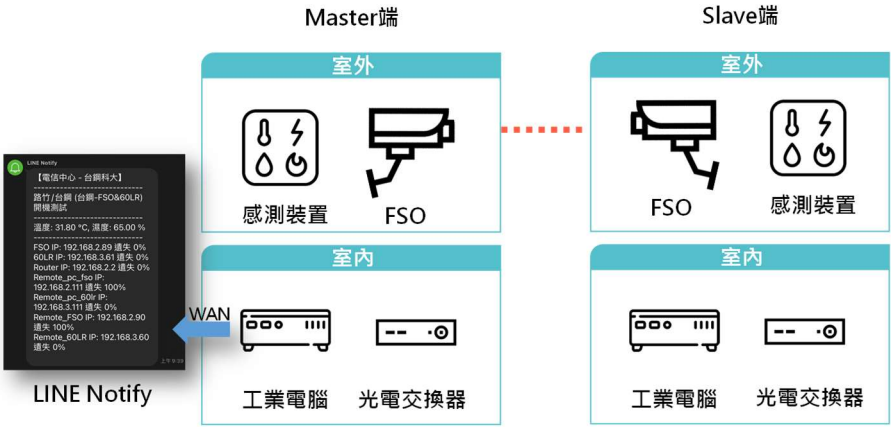


圖 5-1、裝置架構示意圖

資料來源：本研究整理

後續資料的收集主要區分為其他資料收集與驗證資料收集。其他資料的收集如圖 5-2，主要著重於場域氣象資料、遠端裝置監控、設備環境監控等。場域氣象資料可透過中央氣象署開放資料平臺獲取，程式端以每小時進行資料擷取，內容主要包括天氣雲層、風向、風速、溫度、濕度、氣壓、風速與降雨等現象。考量光通信傳輸效能對於氣象能見度有較大的相關性，且當前國內氣象平臺無提供此資訊，因此將於此技術場域上規劃建置能見度儀。遠端裝置監控，將以網際網路控制訊息協定（Internet Control Message Protocol, ICMP） PING 方式每秒持續對遠端電腦監測，紀錄其封包往返之時間。設備環境監控，目的在於考量裝置布建環境可能較為嚴苛，為確保設備運作於可控操作之環境下，以 Arduino 搭配 DHT 溫濕度感測模組進行每十分鐘記錄，並於當環境超過設置限制值即刻發送 LINE Notify 通知人員。設備本身具有震動感測裝置，可對於三

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

軸之變化進行記錄，可評估光傳輸效益低落是否因為震動而影響。

驗證資料收集如圖 5- 3，著重於點到點的雙向傳輸控制協定（Transmission Control Protocol, TCP）與用戶資料元協定（User Datagram Protocol, UDP）測試驗證。於設定的週期時間內啟動測試，Master 端測試前先以 ICMP PING 檢測本地端網路設備與遠端電腦是否連線穩定，若封包遺失超過 25%便停止後續的 TCP 與 UDP 測試，若鏈路傳輸評估穩定便進行連續 5 分鐘以上的雙向 TCP 與 UDP 測試，並匯出其 JSON 檔解析其 TCP 與 UDP 實際傳輸頻寬，以及 UDP 傳輸過程之 Jitter、Loss Rate。此外於每次啟動任務執行時一併將設備資訊以簡單網路管理協定（Simple Network Management Protocol, SNMP）或其他方式將資訊匯出，內容包含光功率接收強度、系統溫度、連線狀態等資訊。最後於每次測試任務完成後，將該任務期間之資料收錄到本地資料庫中，隨後透過行動數據將資料同步回傳到電信中心雲端伺服器供人員解析。

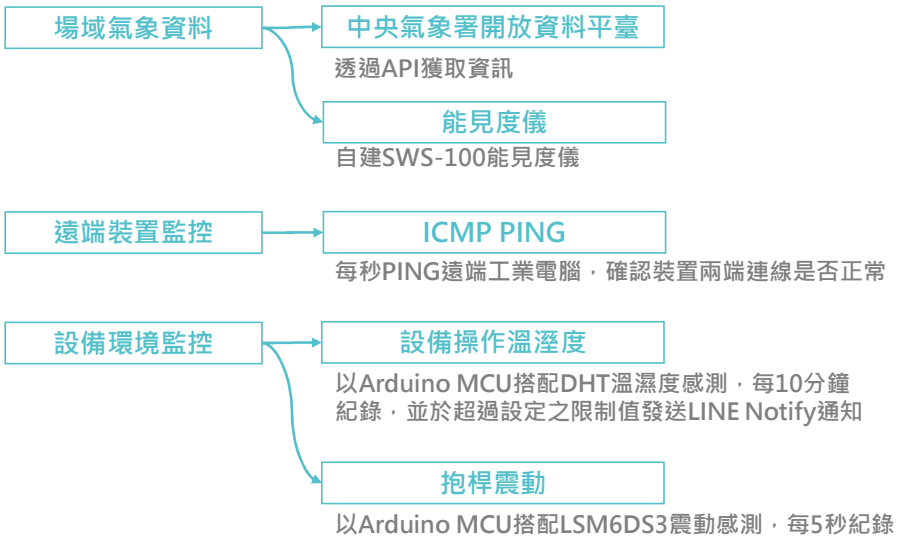


圖 5- 2、其他資料收集範圍

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

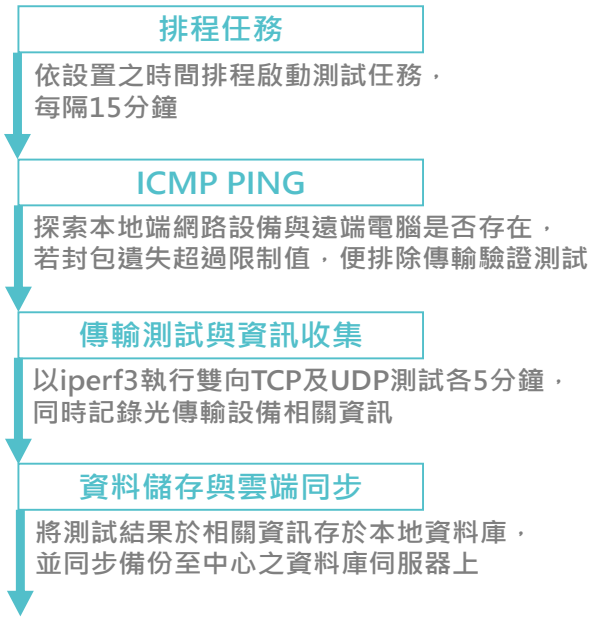


圖 5-3、驗證資料收集

資料來源：本研究整理

最終布署之相關資料監控與處理分析整體架構如圖 5-4，所有替代技術鏈路包含 iPerf3 執行之測試結果、設備狀態、具時間戳記之氣象資料同步回傳架設於電信技術中心之 MySQL 資料庫，並利用 LINE Notify 與開源之 Grafana 資料面板介面進行監控，將採集的資料查詢後做多種視覺化的展示，最後利用 Tableau 將累積三個月之資料數據進行整理分析。

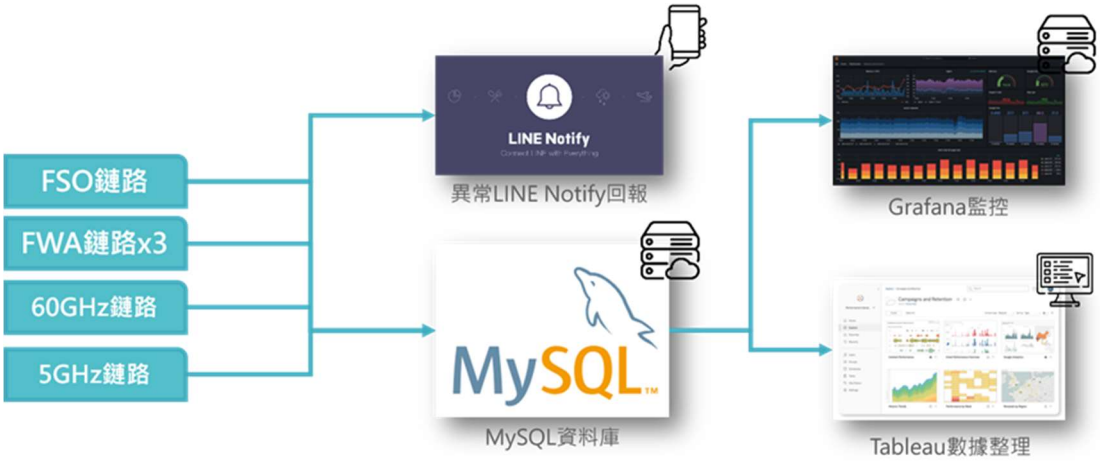


圖 5-4、資料監控與處理分析架構圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三) 建置說明

通信設備使用新加坡 Transcelestial 廠商之設備，型號為 CENTAURI 10G 產品，以 1550 nm 不可見光且光功率最高可達 23 dBm，於晴空 200 公尺至 3 公里天候條件下以近乎 99.999%可靠度，可提供達全雙工 10 Gbps 傳輸速率，詳細規格如表 5- 1。能見度儀器使用 Biral 廠商，型號為 SWS-100 之能見度儀，以前向散射技術做為能見度量測方式，能見度量測範圍可由 10 公尺至 75 公里，更能提供其他資訊以對應世界氣象組織之天氣描述，廣泛應用於國外氣象監測網路、機場跑道、地面或海上交通重要處，其規格如表 5- 2。另外對於雨量之觀測使用 EML 廠商，型號為 ARG-314 傾斗式雨量計，該設備符合世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）標準，並可提供 0.5 mm 解析度符合國內雨量量測場景，並具備自動排水功能可無人看守，其規格如表 5- 3，並使用 Gill 廠商，設備型號為 MetConnect-One 之多參數氣象站，將前述雨量計、能見度儀之訊號輸入，將所有氣象資料進行彙整，多參數氣象站相關規格如表 5- 4 所示，透過氣象觀測設備可精準得到自由光通信鏈路設備所在位置之實際狀況，並藉此取得氣候對於此替代技術之相關影響性。

表 5- 1、Transcelestial CENTAURI 10G 規格

外觀	
最大傳輸速度	全雙工 10 Gbps
典型 3 公里往返延遲時間	< 25 μs
資料傳輸介面	SFP+
波長	1550 nm
自動功率控制	可達 23 dBm
自動追蹤範圍	水平± 2° ,垂直± 2°
尺寸	32 （長） × 18 （寬） × 20 （高）公分

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

裝置淨重	2.7 公斤
消耗功率	< 32W

資料來源：Transcelestial 規格書

表 5- 2、Biral SWS-100 規格

外觀	
能見度範圍	10 m - 30 km
量測誤差	600 公尺≤4.2%、2 公里≤5.1%、 5 公里≤6.8%、10 公里≤9.6%、 15 公里≤12.3%、20 公里≤14.8%、 25 公里≤17.1%、30 公里≤19.4%
尺寸	81 （長） ×34 （寬） ×31 （高）公分

資料來源：Biral 規格書

表 5- 3、EML ARG-314 傾斗式雨量計規格

外觀	
解析度	0.5 mm
降雨強度	0.5 mm +/- 3% up to 1500 mm/hr（含數學校正）
重量	2.5 kg

資料來源：EML 規格書

表 5- 4、Gill MetConnect-One 多參數氣象站規格

外觀	
風速	0-60 m/s
風向	0-359°
氣溫	-35°C-70°C
波長	1550 nm

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

濕度	0-100% RH
氣壓	300-1100 hPa
輸出介面	RS232、RS422、RS485
額外類比訊號輸入	二埠 4-20 mA or 0-5V
重量	3 kg

資料來源：Gill MetConnect-One 規格書

域設置處規劃於財團法人中央廣播電臺。選定臺本部與圓山微波站，其直線鏈路距離約 650 公尺，並將設備布建於其既有微波塔上方如圖 5-5。對於自由空間光通信傳輸驗證自動化測試開發，參考由研究團隊於路竹實驗大樓與台鋼科技大學先行架設之案例如圖 5-6，人員可於資料伺服器上進行該傳輸相關性的資料蒐集與分析，對該傳輸技術取得更深入的認識與了解，並依實際測試資料進而探討此技術對於國家未來通信韌性的可用性。

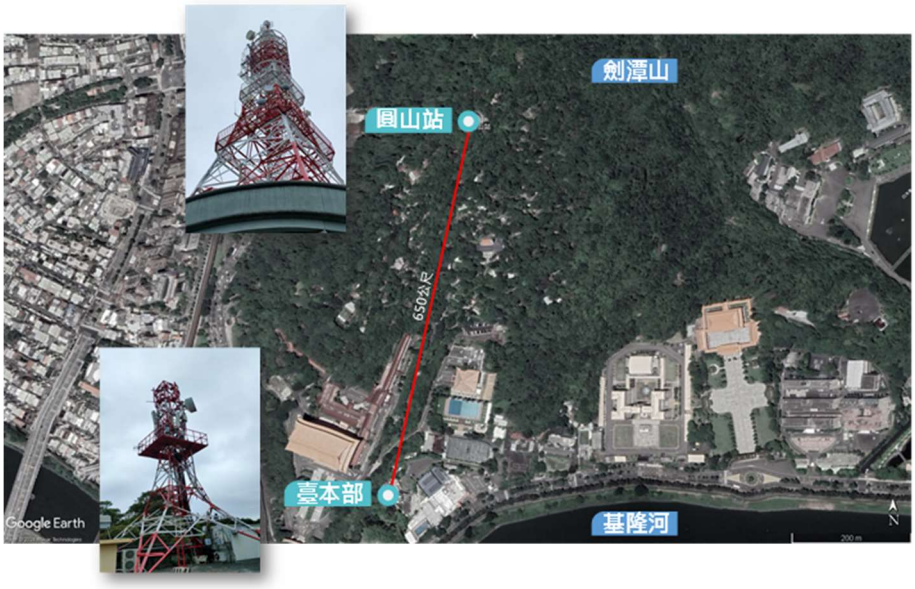


圖 5-5、財團法人中央廣播電臺臺本部與圓山微波站布建

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

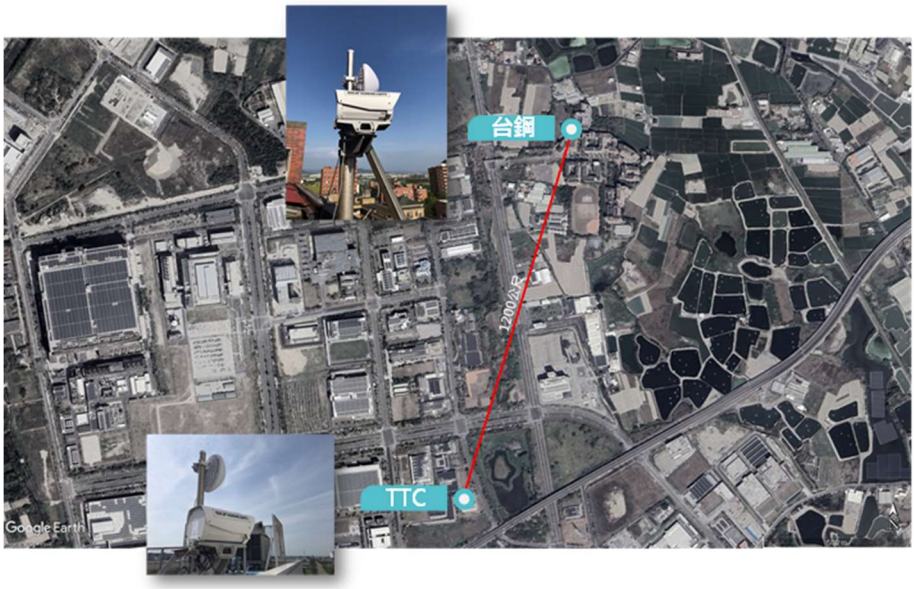


圖 5- 6、財團法人電信技術中心與台鋼科技大學布建

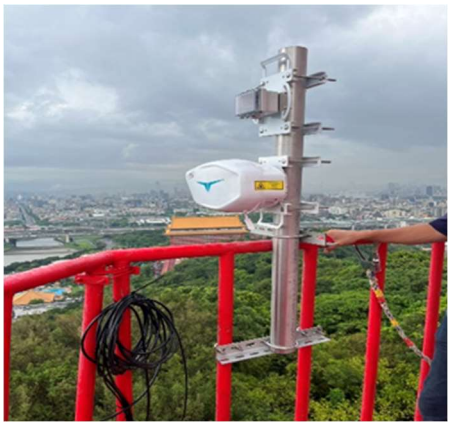
資料來源：本研究整理

央廣自由光通信鏈路安裝於 113 年 7 月 10 日施工完成，相關完成安裝資料可參考表 5- 5，並於安裝完成後進行場域穩定度分析，再將測試資料提供原廠對場域環境進行認證，鏈路兩端均達原廠設備架設場域評分等級 99.99%。

表 5- 5、FSO 架設完成表

Master	Slave
中央廣播電臺	央廣圓山微波站
路徑長度約 670 公尺（考慮海拔）	
安裝位置距地面 8 公尺，附掛於 3 米長鋼管	安裝位置距地面 15 公尺立式鐵塔平台欄桿，附掛於 1.5 米鋼管
天線至機櫃 Cat.6 佈線長度:30 公尺	天線至機櫃 Cat.6 佈線長度:25 公尺

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Master	Slave
	
TRANSCELESTIAL SST Site Report **Client and Installation Partner:** TDC, dBTech **Site Location:** **Image:** CENTAURI Site Score: 99.99% Result: Site suitable, more data needed Date Range: 2024/07/15 - 2024/07/16 Time Range: 13:00 - 07:00 , 20.0 hours of data **Measured Data:** Site stability This report was generated using data sent to Transcelestial Technologies PTE. LTD. CENTAURI Site Score suitable above 99.9%. For more information, please contact sst@transcelestial.com Report Date Generated: 16/07/2024 03:33:04	TRANSCELESTIAL SST Site Report **Client and Installation Partner:** TDC, dBTech **Site Location:** **Image:** CENTAURI Site Score: 99.99% Result: Site suitable Date Range: 2024/07/10 - 2024/07/11 Time Range: 16:00 - 16:00 , 24.0 hours of data **Measured Data:** Site stability This report was generated using data sent to Transcelestial Technologies PTE. LTD. CENTAURI Site Score suitable above 99.9%. For more information, please contact sst@transcelestial.com Report Date Generated: 16/07/2024 01:46:27

資料來源：本研究整理

另外多參數氣象站等環境監測設備安裝作業於 113 年 7 月 11 日架設完成，架設過程利用原牆上之既有孔位鎖附抱桿支架並固

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

定，再將抱桿固定於牆面，並將雨量計平台固定於抱桿一側，並將訊號線配線、配管整併於工業電腦之機櫃內，環境監測站完成之照片可參考圖 5-7，多參數氣象儀與能見度儀和雨量計均經連線測試完成，而整體鏈路架設測試架構如圖 5-8，測試資料由行動寬頻路由器回傳至電信技術中心雲端資料庫。

圖 5-7、環境監測站照片

資料來源：本研究整理

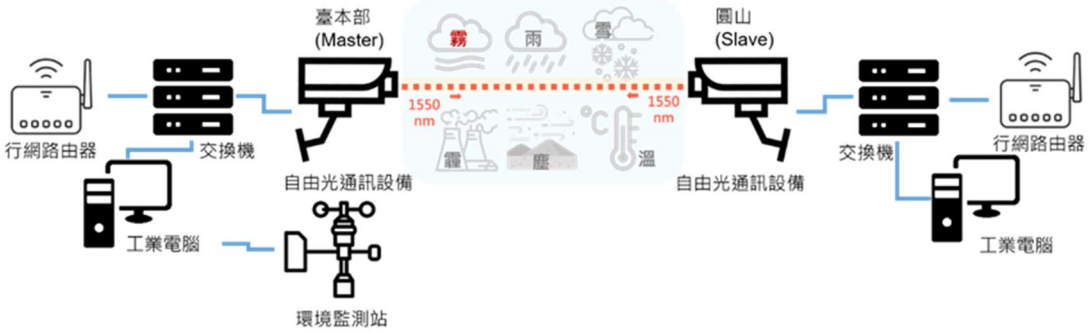


圖 5-8、FSO 鏈路場域測試系統架構

資料來源：本研究整理

二、 微波鏈路評估

(一) 替代鏈路場域規劃方向

根據本計劃 112 年度研究成果，電臺登記資料中顯示國內微波

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

電臺既有使用者約有 61.2%集中在 L6（5925 MHz 至 6425 MHz）與 U6（6425 MHz 至 7125 MHz）頻段。因此在這邊將 L6 與 U6 頻段既有使用者登記資料進行分析，將微波電臺兩站位置進行距離計算得到其微波鏈路通信距離長度，分析數據後可發現此頻段之既有使用者通信距離長度有八成皆在 30 公里以下，同占比最大之既有使用者鏈路傳輸長度為 1 至 10 公里與 10-20 公里此兩區間段內，此兩距離區間段使用者佔總體使用者之五成以上，如表 5-6 所示，同時根據其登記之使用頻寬進行分析可得知約有八成之既有使用者使用頻寬在 30 MHz 以下，且最大占比使用者使用頻寬為 5 MHz 與 10 MHz 這兩種，如表 5-7 所示。

表 5-6、我國 L6/U6 頻段微波鏈路通信距離占比

鏈路傳輸距離（km）	鏈路數量	百分比（%）
0-1	10	3.0
1-10	111	33.8
10-20	94	28.7
20-30	50	15.2
30-40	21	6.4
40-50	16	4.9
50-60	11	3.4
60-70	5	1.5
70-80	3	0.9
大於 80	7	2.1

資料來源：通傳會系統、本研究整理

表 5-7、我國 L6/U6 頻段微波鏈路通信頻寬占比

頻寬	站臺數目	占比%
小於 5 MHz	8	2.4
5 MHz	113	34.5
10 MHz	97	29.6
10.1-20 MHz	17	5.2
20.1-30 MHz	23	7.0
30.1-40 MHz	1	0.3
40.1-50 MHz	0	0.0
50.1-60 MHz	35	10.7
60.1-70 MHz	1	0.3
70.1-80 MHz	0	0.0
80.1-90 MHz	5	1.5
大於 90 MHz	28	8.5

資料來源：通傳會系統、本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

故使用相關設備達到實地量測之需求，以上述分析所得數據來挑選合適的測試場域。同時固定微波鏈路傳輸距離在 2 公里內的短距離通信也可考慮使用免授權執照頻段，如 5.8 GHz 或 60 GHz，此類型免授權執照頻段可使用遠大於需執照頻段的傳輸頻寬，因此理論上傳輸效率可大幅度提升，但是使用免授權執照頻段可能會遭遇其他使用相同頻段之用戶裝置的干擾。另外此類型產品多使用於短距離傳輸情境，相較於長距離微波通信系統，傳輸距離變短使得空間傳遞損失減少，因此可用較小的傳輸功率達成，故可以選擇較小的天線尺寸或者使用輸出功率較低的射頻發射單元（Radio Unit, RU），達到用於架設與營運維護上的成本減少。

(二) 建置說明

在微波系統建置方式中沒有通用的萬能方案，目前既有的微波系統架構都有其優缺點。要確定最適合之架構方案，首先要先從使用頻段、傳輸頻寬、可靠性、操作使用性、成本考量等等方面來確定需求性，然後選擇合適的微波架構類型。本計劃評估既有的微波系統架構方案，依使用頻段、傳輸速率、傳輸距離、成本考量、設置考量、維護考量等等進行評估，認為如果考量免授權執照頻段的短距離傳輸情境可使用全戶外型架構，因全戶外型架構的射頻單元皆在安裝在戶外與微波天線整合為一個單元，但外部安裝之重量和尺寸等限制，設備器材要求降低很多，但使用情境為短距離傳輸，因此較小的功率輸出將不會造成影響；且資料僅需透過電纜線或光纖即可傳輸，因此有降低資本支出和安裝成本等優勢。

本研究實地量測透過兩種不同頻率之免授權執照頻段微波系統進行驗證，其一為 5.8 GHz，此頻段於國內擁有眾多的使用者，使其適合做為通信實驗平臺來驗證該頻段是否適合作為該頻段如做為點對點微波通信使用之干擾情形，通信設備使用美國 Ubiquiti 公司型號為 LTU Long-Range 產品，工作頻率為 5.15 – 5.85 GHz 且

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

發射功率最高可達 22 dBm 並且天線增益為 26 dBi，可提供達 900 Mbps 以上的傳輸吞吐量，詳細規格如表 5- 8。其二為 60 GHz，此頻段可使用的傳輸頻寬較寬，但因頻率較高造成通信傳輸的衰減較大，因此適合做為大容量傳輸且短距離通信之實驗平臺，通信設備選定同為美國 Ubiquiti 公司型號為 airFiber 60 Long-Range 產品，工作頻率為 57 – 71 GHz 且發射功率最高可達 22 dBm 並且天線增益為 38 dBi，可提供最大約 2 Gbps 的傳輸吞吐量，其規格如表 5- 9 。兩款微波通信設備在通信架構上並無太大之差異，大致皆為固定微波發射單元、網路路由設備等設備構成，個設備間由網路線串聯，架設示意圖如圖 5- 9 所示。

表 5- 8、LTU Long-Range 規格

外觀	
最大傳輸速度	900+ Mbps
資料傳輸介面	1 GigE RJ45
工作頻段	5.15 – 5.85 GHz
自動功率控制	可達 48 dBm
風載	在 200 公里/小時時為 550 牛頓
尺寸	51 （長） × 38 （寬） × 25 （高）公分
裝置淨重	1.7 公斤
消耗功率	< 8.5W

資料來源：Ubiquiti 規格書

表 5- 9、airFiber 60 Long-Range 規格

外觀	
最大傳輸速度	1.95 Gbps
資料傳輸介面	1 GigE RJ45
工作頻段	57–71 GHz

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

自動功率控制	可達 60 dBm
風載	在 200 公里/小時時為 420 牛頓
尺寸	41 （長） ×41 （寬） ×32 （高）公分
裝置淨重	2.7 公斤
消耗功率	＜22W

資料來源：Ubiquiti 規格書

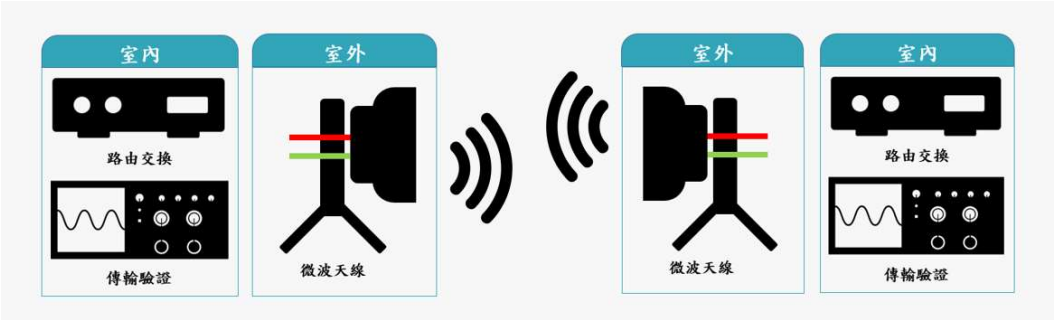


圖 5- 9、微波鏈路系統架設示意圖

資料來源：本研究繪製

本次實驗於今年度在臺灣本島設置 4 座免授權執照頻段固定微波電臺，構建兩條短距離微波鏈路，於上半年度訪談各單位與現場會勘後，選擇出符合場域選址標準且場域單位有意願配合本實驗鏈路設置之地點與設備關係如表 5- 10 所示其地理電子地圖與架設情況呈現如圖 5- 10 與圖 5- 11 所示，並且已於今年度年中完成進行場地租借與設備架設以滿足測試數據收集時長三個月之要求，建置完成時間如表 5- 11 所示，詳細之架設情況呈現如表 5- 12 與表 5- 13 所示。後續將藉由分析微波傳輸資料如接收訊號水平（Received Signal Level, RSL）、接收訊號強度（Received Signal Strength Indication, RSSI）或訊號雜訊比（Siganl-to-Noise Ratio, SNR）等此與傳輸品質相關參數驗證通信傳輸接收與並輔以環境相關參數來得知傳輸系統特性，此資料可做為後續推行之相關輔助資料。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 10、免執照微波頻率架設規劃與射頻設備規格

項次	設備地點	設備名稱	發射頻率（MHz）	接收頻率（MHz）	天線增益（dBi）	有效等向輻射功率（EIRP）	多工模式
1	雲林縣警察局	5.8 GHz 固定微波站 A	5150-5850	5150-5850	26	48 dBm	TDD
2	雲林縣消防局	5.8 GHz 固定微波站 B	5150-5850	5150-5850	26	48 dBm	TDD
3	嘉義縣警局	60 GHz 固定微波站 A	57000-71000	57000-71000	38	64 dBm	TDD
4	嘉義縣消防局	60 GHz 固定微波站 B	57000-71000	57000-71000	38	64 dBm	TDD

資料來源：本研究整理

表 5- 11、免執照微波站臺架設時程

項次	鏈路	設備名稱	鏈路長度	架設完成時間
1	雲林縣警察局-雲林縣消防局	5.8 GHz 固定微波	600 公尺	7 月 3 日
2	嘉義縣警局-嘉義縣消防局	60 GHz 固定微波	240 公尺	7 月 23 日

資料來源：本研究整理

圖 5- 10、雲林縣警察局至雲林縣消防局微波網路區間通信鏈路地圖

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

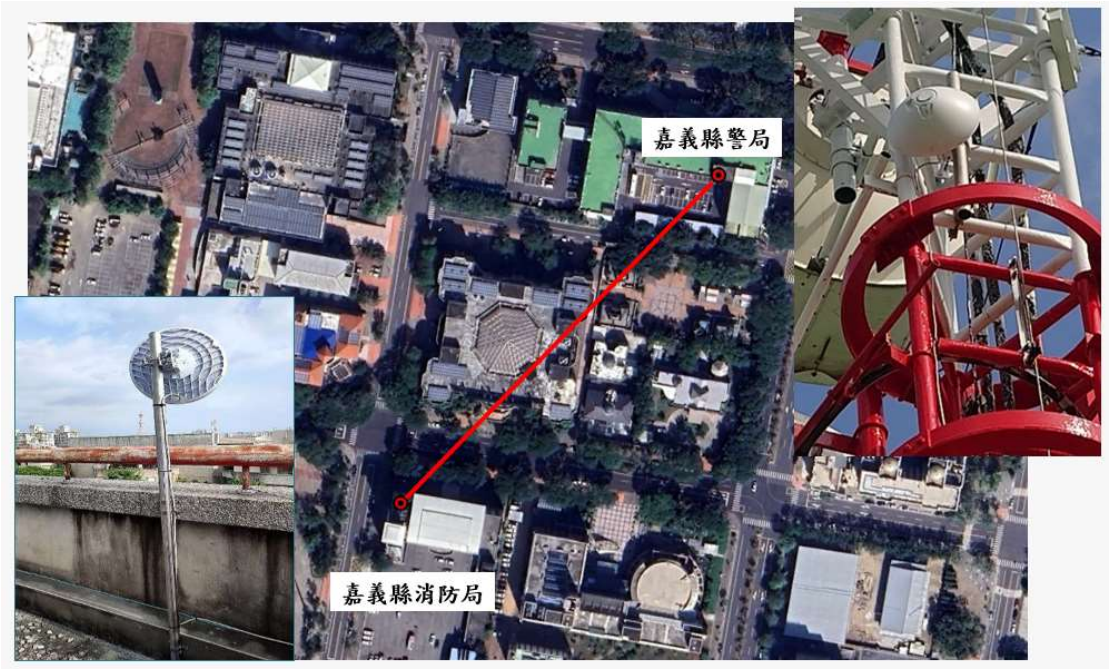
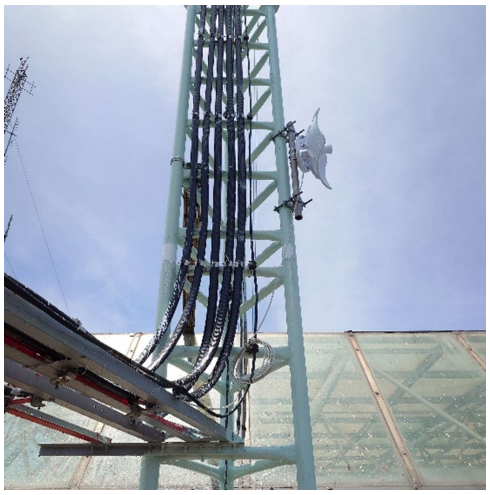
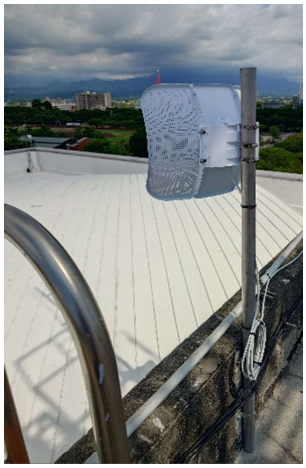


圖 5- 11、嘉義縣警局至嘉義縣消防局微波網路區間通信鏈路地圖

資料來源：本研究繪製

表 5- 12、LTU-LR 架設完成表

Master	Slave
雲林縣警察局	雲林縣消防局
路徑長度約 600 公尺（平面距離）	
安裝位置距地面 18 公尺上之微波鐵塔上，附掛於 0.6 米長鋼管	安裝位置距地面 18 公尺之屋凸上，附掛於 1 米鋼管
天線至機櫃 Cat.6 佈線長度:30 公尺	天線至機櫃 Cat.6 佈線長度:15 公尺
	

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Master	Slave

資料來源：本研究整理

表 5- 13、60-LR 架設完成表

Master	Slave
嘉義縣警局	嘉義縣消防局
路徑長度約 240 公尺（平面距離）	
安裝位置距地面 24 公尺上之微波鐵塔位置，附掛於 0.6 米長鋼管	安裝位置距地面 15 公尺，附掛於 3 米鋼管
天線至機櫃 Cat.6 佈線長度:15 公尺	天線至機櫃 Cat.6 佈線長度:30 公尺

資料來源：本研究整理

(三) 7GHz licensed ptp 後續合作規劃方向

目前將 L6 與 U6 頻段相關業務移頻至 L7(7124.5 MHz 至 7425.5

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

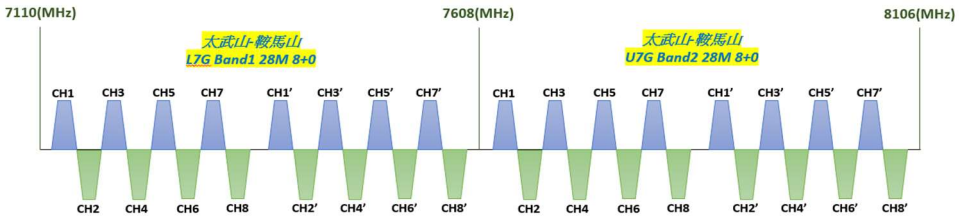
MHz）、U8（8275 MHz 至 8500 MHz）頻段應為較可行之方式，因其微波使用頻段相近且訊號傳播特性相差小。但鑒於因此頻段微波設備於我國有相應之電臺架設與管理法，電臺業者必須滿足相關行政申請、設備採購核准、設備架設完成等相關專案才可運行電臺，經評估後在花費時間上較難滿足本次實驗期程，故此部分實驗當前正在與我國相關從業業者洽談合作相關事宜。

7 GHz 作為 6 GHz 微波替代技術評估的後續內容，希望藉由蒐集相關從業業者現行之既有 6 GHz 與新設 7 GHz 微波站臺設備規格如、天線、導波管、ODU、IDU 等相關硬體資料，以及通信品質數據如發射頻率、發射頻寬、發射功率、天線增益、天線極化、Rx Power、SNR、MSE 或其他可顯示通信品質的參數並結合蒐集天候數據如天氣、溫度、溫溼度、雨量、浪高或其他可取得可能影響微波傳遞特性之參數進行分析，期望得出 6 GHz 與 7 GHz 鏈路於不同條件下，傳輸品質的變化，並預計於明年度開始執行，預定收集數據之鏈路地理電子地圖與頻道規劃情況呈現如**圖 5- 12** 與圖 5- 7。

圖 5- 12、從業業者現行微波網路區間通信鏈路地圖

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw



7G Band1 28M頻道表

n	fn(MHz)	fn′(MHz)
1	7138.5	7383.5
2	7166.5	7411.5
3	7194.5	7439.5
4	7222.5	7467.5
5	7250.5	7495.5
6	7278.5	7523.5
7	7306.5	7551.5
8	7334.5	7579.5

7G Band2 28M頻道表

n	fn(MHz)	fn′(MHz)
1	7636.5	7881.5
2	7664.5	7909.5
3	7692.5	7937.5
4	7720.5	7965.5
5	7748.5	7993.5
6	7776.5	8021.5
7	7804.5	8049.5
8	7832.5	8077.5

圖 5- 13、從業業者微波站臺頻道規劃

資料來源：從業業者資料

三、 5G FWA 鏈路評估

(一) 替代鏈路場域規劃方向

微波傳輸是上傳和下載速度對稱的點對點傳輸應用，使用 5G 行動網路作為微波鏈路替代技術時也希望能和原來的應用情境一致，根據 OPEN SIGNAL 2024 年 6 月的行動網路體驗[107]報告如圖 5- 14 與圖 5- 15 所示，國內 5G 下載速度平均最快是 341.9 Mbps，上傳平均最快是 46.3 Mbps，因此當使用 5G 行動網路做點對點傳輸時，速度會被上傳的速度所限制，所以在選擇微波鏈路時會以傳輸速度低於 46 Mbps 的 L6 鏈路作為實證場域，相當於一條 DS3/E3 鏈路的傳輸速度，雖然選擇的微波鏈路傳輸速度可能會低於 45 Mbps，但是實證時的傳輸速 度還是會以 45 Mbps 雙向傳輸為目標。因為是使用 5G 行動網路作替代技術，5G 的訊號品質會影響到傳輸速度，參考韓國廠商的 FWA 效能測試結果[108]、愛爾蘭通信規範委員會（ComReg）建議的 5G 涵蓋門檻值[109]如表 5- 14 所示及所使用的 infovista 工模手機

[107] Opensignal (2024/6), 行動網路體驗報告, https://www.opensignal.com/reports/2024/06/taiwan/mobile-network-experience

[108] SAMSUNG 5G for Fixed Wireless Access, 2019

[109] Plum Consulting, Coverage thresholds for 5G services,2021

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

上的 5G 訊號強弱判斷標準，場域 5G 訊號的參考訊號接收功率（Reference Signal Received Power, RSRP）要大於-90 dBm，此時工模手機的訊號強度會呈現滿格，表示訊號強度良好，這個 RSRP 值可能會因為不同手機而有所不同，原則上是讓所使用的量測手機訊號滿格，並且在實測上傳和下載的速率時要穩定大於 45 Mbps。5G 涵蓋區域訊號強弱的資訊可以從電信業者所提供的 5G 行動網路涵蓋圖做初步的篩選。此外測試鏈路期望要能涵蓋城市，郊區，鄉村等不同的城市型態。

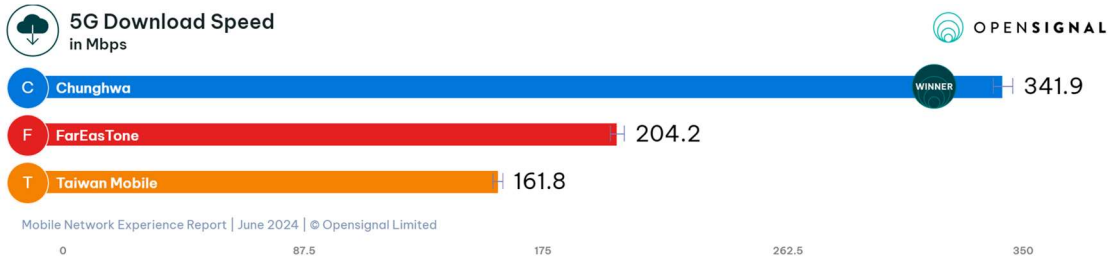


圖 5- 14、國內 2024 年 6 月 5G 平均下載速度

資料來源：OPEN SIGNAL

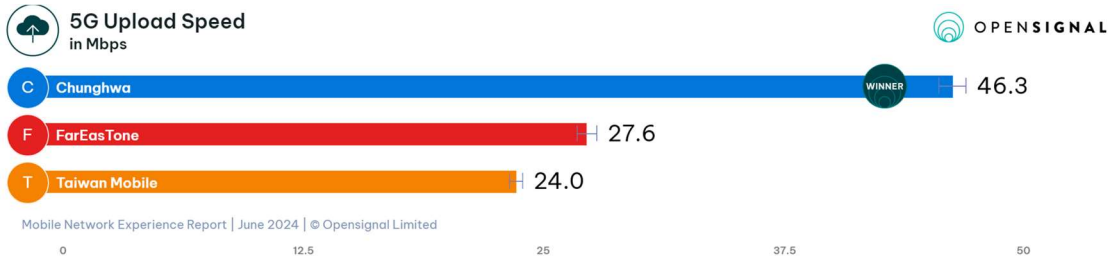


圖 5- 15、國內 2024 年 6 月 5G 平均上傳速度

資料來源：OPEN SIGNAL

表 5- 14、ComReg 建議的 5G 涵蓋門檻值

SS-RSRP（dBm）Coverage Threshold	Description	< 1 GHz	1.8 GHz & 2.1 GHz	2.3 GHz & 2.6 GHz	3.5 GHz
Very good	Strong signal strength with maximum data speeds	≥ -82.8	≥ -91.7	≥ -93.3	≥ -97.4
Good	Strong signal strength with good data speeds	≥ -92.8	≥ -101.7	≥ -103.3	≥ -107.4

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

SS-RSRP（dBm）Coverage Threshold	Description	< 1 GHz	1.8 GHz & 2.1 GHz	2.3 GHz & 2.6 GHz	3.5 GHz
Fair	Fast and reliable data speeds may be attained but marginal data speeds with data dropouts are possible at weaker signal levels.	≥ -102.8	≥ -111.7	≥ -113.3	≥ -117.4
Fringe	Marginal or poor data speeds with data disconnections likely to occur	≥ -112.8	≥ -121.7	≥ -123.3	≥ -127.4
No coverage	Signal strength in which no coverage is available to consumers	< -112.8	< -121.7	< -123.3	< -127.4

資料來源：ComReg

(二) 傳輸驗證架構與方式

5G 固定無線接取（Fixed Wireless Access, FWA）微波替代鏈路技術是利用電信業者的 5G 行動網路形成點對點的傳輸架構，傳輸驗證架構如圖 5- 16 所示，傳輸的資料利用 5G 行動網路在微波站 A 和微波站 B 之間傳輸，替代原本的微波傳輸方式。

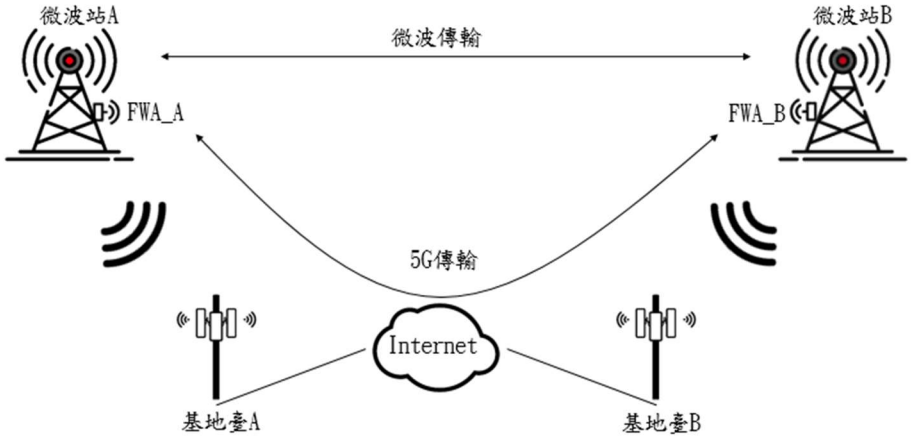


圖 5- 16、5G 替代鏈路傳輸架構

資料來源：本研究整理

和微波傳輸路徑相比 5G 的傳輸路徑會經過公眾網際網路，因此必須考量網路安全的防護，所以在 5G 傳輸的路徑上必須建立虛擬私人網路（Virtual Private Network, VPN）的通道，所有的資料都需要加

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

密才能做傳輸。

在場域端的設備架構如圖 5- 17 所示，FWA 傳輸設備會架設在戶外微波鐵塔附近，設備接上網路線，網路線再沿著建築物拉到機房或是單獨拉到附近的室內空間，FWA 傳輸設備的資料傳輸和電源供應都只需要一條網路線就可以達成，室內的設備有乙太網路供電（Powe over Ethernet, PoE）設備、VPN 路由器、測試電腦和溫溼度感測器。網路線從戶外拉進室內之後先經過 PoE 設備供電給 FWA 傳輸設備，再接到 VPN 路由器，VPN 路由器接到測試電腦，溫溼度感測器也接到測試電腦上。VPN 路由器用來建立 IP sec VPN 通道和網路傳輸路由的設定，讓資料可以安全的傳送到指定的目地，遠端的管理者也可以透過 VPN 路由器接取此地的網路做設備的維護和管理。測試電腦主要的任務是定期執行傳輸速度測試程式，執行 ICMP PING 監測 FWA 和 VPN 路由器是否正常工作，監測 VPN 通道連線是否正常，收集場域的氣象資料及機箱的溫溼度資料，收集 5G 和 4G 基地臺的連線資訊，並將以上所收集到的資訊利用 5G 行網回傳至電信中心的雲端伺服器以利後續資料分析和場域設備狀態的監控。

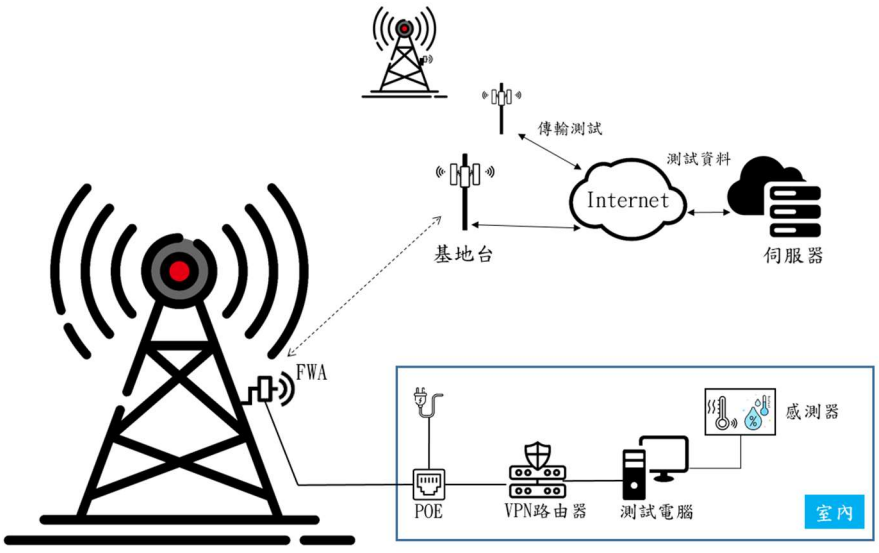


圖 5- 17、5G FWA 場域測試設備架構

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在傳輸驗證資料的收集上，規劃使用測試軟體 iPerf3 測試傳輸控制協定（Transmission Control Protocol, TCP）和使用者資料包協定（User Datagram Protocol, UDP）這兩種封包資料，TCP 和 UDP 封包測試是評估網路性能和可靠性的重要工具，其差異如表 5- 15 所示。

表 5- 15、TCP 和 UDP 封包差異

特性	TCP	UDP
可靠性	提供可靠的數據傳輸，封包有順序，重發機制，得到接收方的確認信號後，才會發送下一個封包。	不保證數據傳輸的可靠性和順序性，不會等待接收方的確認訊號，也不在乎封包是否遺失，只是持續不斷發送封包。
速度	較慢，因為確保了可靠性和有順序性。	較快，因為不需要建立連接和重發。
應用場景	文件及檔案傳輸、網頁瀏覽、電子郵件等。	音訊/影音串流、線上遊戲、網路廣播等。
用途	重要的應用場景中常用（需要可靠傳輸）。	即時性要求較高、可以容忍少量丟失的應用。

資料來源：本研究整理

傳輸驗證收集的資料包括 TCP 雙向傳輸的資料傳輸速度，UDP 資料以固定的傳輸速度傳輸時的封包遺失率，UDP 傳輸速度，UDP 傳輸的 Jitter。此外也會收集場域環境的氣象資料，使用中央氣象署的氣象資料開放平臺，選擇最靠近驗證場域的氣象站做為場域的氣象資訊，紀錄的資訊有風向，風速，氣溫，濕度，氣壓，雨量等氣象資料變化，在設備機箱中也安裝 Arduino 溫溼度感測器以監控機箱中的溫濕度變化，確保設備在正確的環境中運行。另外也將 5G FWA 設備上的使用者介面上所連接的 5G 和 4G 基地臺相關資訊做收集，如 5G 基地臺實體層 ID（Physical Identity, PCI）、5G RSRP、5G 參考信號接收品質（Reference Signal Received Quality,RSRQ）、5G 信號對干擾雜訊比（Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR）、5G 頻段、NR 絕對無線頻率通道編號（NR Absolute Radio Frequency Channel Number, NRARFCN）、4G PCI、4G RSRP、4G RSRQ、4G SINR、4G 頻段、4G E-UTRA 絕對無線電頻率信道編號（E-UTRA Absolute

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Radio Frequency Channel Number, EARFCN）、4G 接收信號強度指標（Received Signal Strength Indicator, RSSI）、4G 通道品質指標（Channel Quality Indicator, CQI）。5G FWA 設備上的資訊除了可以提供作資料分析之外，也是在架設和監測 FWA 時很重要的參考數據，除了確保所選的站點符合選點條件，也可以了解後續在做測試時設備的狀況，畢竟 FWA 設備是架設在戶外，維護管理也必須考慮進去。

為拓展驗證其傳輸協議的可用性，除了 iPerf3 TCP 及 UDP 傳輸速度的測試外，後續亦會進一步採用業界傳輸驗證工具儀器及標準來驗證，測試標準包括 Y.1564 和 RFC6349。因為微波鏈路仍有在使用 PDH/SDH 的資料格式傳輸，因此在鏈路的兩端需要增加 TDM over IP 設備來做為 PDH/SDH 資料和乙太網路資料之間的轉換，並使用 TDM 網路測試儀來測試 TDM 網路的穩定性和可用性。

(三) 建置說明

實證場域規劃為 3 條微波鏈路，6 個站點，審視我國現有微波既有使用者之後，臺電和警政署的部分微波鏈路可以符合需求，經過實地勘查之後，警政署的微波場域比較適合需求。經協調警政署及願意提供站點的縣市警察局後，借用三條微波鏈路站點做為 5G FWA 替代鏈路技術的實證場域如表 5- 16 所示。FWA 因為設備體積不大及重量輕，所以設備布建相對容易，在這幾個場域是固定在現有的抱桿或鐵架上，並不需要額外的施工，因為 FWA 要和 5G 基地臺連線，因此要確認連接的 5G 基地臺信號強度符合預期及所使用的 5G 頻段和頻寬正確，就可以將 5G FWA 設備的方向固定，三條鏈路的場域地理位置及架設如圖 5- 18、圖 5- 19 圖 5- 20 所示，FWA 所連接的 5G 基地臺和微波站點的距離如表 5- 17 所示。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 16、5G FWA 實證場域-警政署微波鏈路

微波鏈路	所在縣市	鏈路距離	鏈路所在區域型態
新竹⇄竹光	新竹市	1.38 km	城市
臺西⇄斗六	雲林縣	34.3 km	鄉村，城市
楠梓⇄保五岡山	高雄市	8.32 km	城市，郊區

資料來源：本研究整理

圖 5- 18、警政署新竹與竹光微波站布建

資料來源：本研究整理

圖 5- 19、警政署臺西與斗六微波站布建

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 20、警政署保五岡山與楠梓微波站布建

資料來源：本研究整理

表 5- 17、FWA 連接 5G 基地臺和微波站點距離

鏈路名稱	竹光 ~ 新竹		斗六 ~ 臺西		保五岡山 ~ 楠梓	
站點	新竹市警察局第一分局	新竹市警察局	雲林縣警察局	雲林縣警察局臺西分局	內政部警政署保安警察第五總隊	高雄市政府警察局楠梓分局
5G 基地臺和站點的距離	50 公尺	100 公尺	200 公尺	30 公尺	230 公尺	130 公尺

資料來源：本研究整理

場域架設的 5G FWA 為亞旭廠商之型號 NUQ3000M 的設備，支援 5G SA 和 NSA 模式，支援 N78 和 N257 頻段詳細規格如表 5- 18 所示。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 18、NUQ3000M 規格

外觀	
最大傳輸速度	5Gbps
資料傳輸介面	RJ45（5Gbps）
LTE 支援頻段	B1, B2, B3, B4, B5 , B7, B8, B12, B13, B14, B17, B18, B19, B20 , B25, B26, B28, B29 , B30, B32, B34, B38,B39, B40, B41, B42, B43, B46, B48, B66, B71
NR 支援頻段	N1, N2, N3, N5 , N7, N8, N12, N20 ,N25, N28, N66, N71, N38, N40, N41, N48, N77, N78, N79, N257, N258, N260, N261
尺寸	17 （長） × 10 （寬） × 3.695 （高）公分
裝置淨重	0.8 公斤
消耗功率	< 30W

資料來源：NUQ3000M 規格書

VPN 路由器使用 Fortinet 廠商之設備，型號為 FG40F，詳細規格如表 5- 19 所示，支援 IP sec VPN 和 SSL VPN，此次場域驗證使用 IPsec 通道模式建立 VPN，對整個 IP 資料封包進行加密並封裝成新的資料封包。

表 5- 19、Fortinet FG40F 規格

外觀	
最大傳輸速度	1 Gbps

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

資料傳輸介面	5 個 RJ45, 10/1001000
閘道到閘道 IPsec VPN 數量	200
客戶端到閘道 IPsec VPN 數量	250
IPsec VPN （512 byte）吞吐量	4.4Gbps
尺寸	21.6 （長） ×16 （寬） ×3.85 （高）公分
裝置淨重	1 公斤
消耗功率	＜15.4W

資料來源：Fortigate 40F 規格書

場域架設的設備除了 FWA 之外都會放置在機箱之內，如圖 5-21 所示，除了防止水滴和灰塵之外，也可以保護設備不被其他外力所影響。完成架設之後的系統架構可簡化成如圖 5-22 所示，兩套一樣的設備分別放在微波鏈路兩端的站點，設備架設好連線完成之後，VPN 路由器使用 IPsec 通道模式建立 VPN 連線來建立兩端的點對點通信，此時電腦 A 和電腦 B 就如同在同一個區域網路內，電腦 A 和電腦 B 定期執行測試程式，將所收集的資料透過 5G 行網送到伺服器儲存。

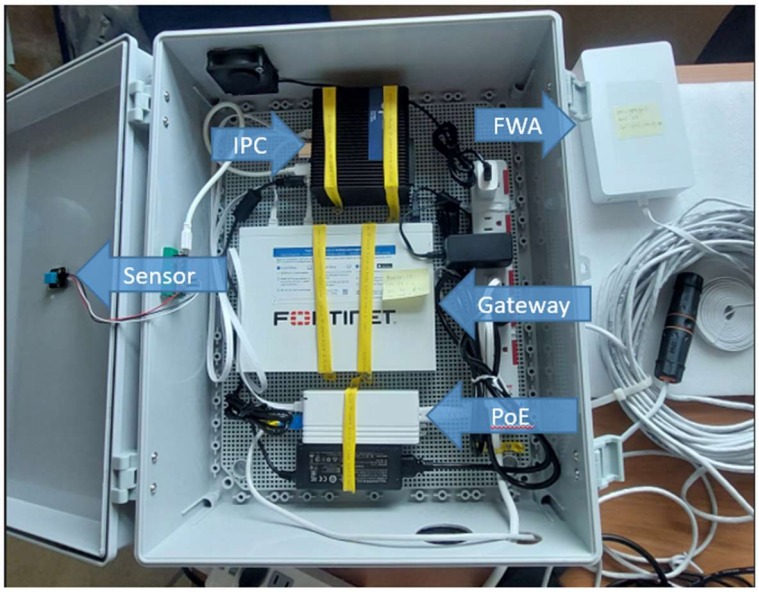


圖 5-21、5G FWA 場域設備機箱

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

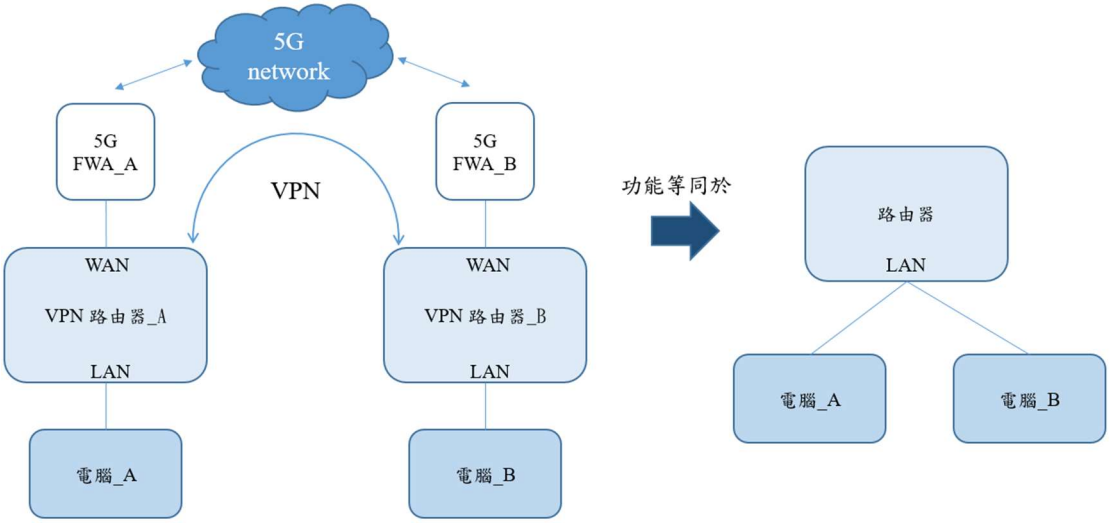


圖 5- 22、場域架設系統架構

資料來源：本研究整理

四、 實測數據分析

(一) 自由光通信

自由光通信的傳輸主要依賴雷射光進行傳輸，光傳輸時波長會受大氣條件影響，也會影響傳輸距離，可能影響的因子[110]如下

1. 大氣吸收與頻率選擇性吸收

大氣中的分子（如水蒸氣、氧氣、二氧化碳、氣溶膠等）會與光子相互作用，導致頻率選擇性吸收。這種吸收現象會發生在特定的光學波長，光子與大氣中的分子碰撞，結果是光子被消耗、轉換為熱量或進行輻射發射，從而減弱光信號。

2. 大氣散射

當光子與大氣中的原子和分子發生相互作用時，會導致散射現象。散射會引起光的角度重新分佈，並可能改變光的波長。散射會使光線分散，減弱直接到達接收器的光信號。

[110] ITU-R P.1817-1, Propagation data required for the design of terrestrial free-space optical links,2012/02

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

3. **閃爍**

閃爍效應是由於大氣的熱湍流引起，這些湍流在傳播介質內形成隨機分佈的氣泡或單元。這些單元的大小、溫度和折射率會隨機變化，造成多徑效應、散射以及光波的到達角度變化。結果是接收信號的振幅會在 0.01 Hz 到 200 Hz 之間波動，從而導致光信號的閃爍。閃爍還會造成光束的波前變形，使光束發散和失焦，進一步影響接收信號的能量。

4. **太陽光**

當太陽與自由空間光鏈路的傳輸方向共線時，太陽光會干擾光信號的接收，因為太陽光中的強光可能使接收器的感應能力過載，特別是在白天或高日照環境下。

5. **氣象條件**

下雨，下雪，霧等氣象因子會對光訊號造成衰減，使接收信號能量變小。

此次場域測試所使用的 FSO 光波長為近紅外光 1550 nm，於大氣窗口區如圖 5- 23 所示，受大氣分子散射與吸收影響較小，光通信的閃爍效應和距離有關，也可以透過 FSO 設備的補償技術來改善，此次測試鏈路距離為 650 公尺，因此可以忽略閃爍效應。此次 FSO 設備架設時有將太陽的日出日落角度納入考慮，以避免陽光直射。

另外震動或受風力之位移也會影響其通信時接收訊號之對正，由於經過場域穩定度調查，同時觀測期間歷經颱風之狀況，系統自動追焦之效果均能於場域克服視域問題。而我國是處於容易下雨及有霧氣的環境，因此影響因子考量仍以氣象條件為主。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

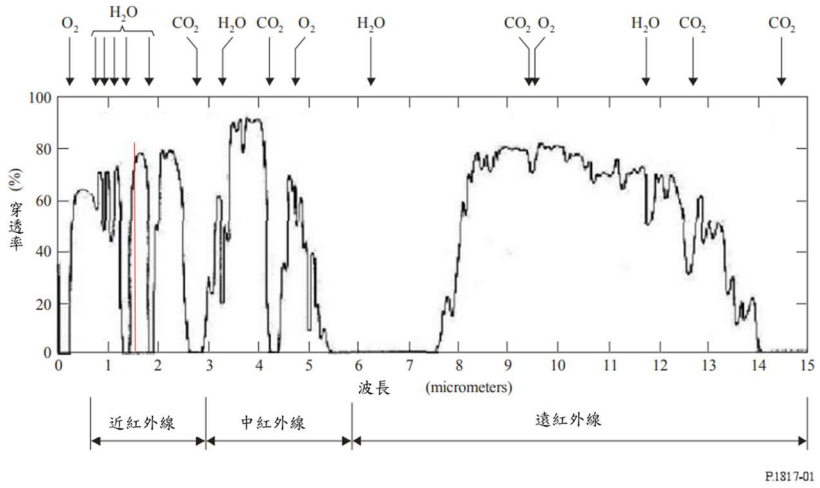


圖 5- 23、大氣穿透率和分子吸收

資料來源：ITU-R P.1817-1

鏈路的 iPerf3 TCP 傳輸測試結果如圖 5- 24 所示，TCP 傳輸速度分布圖是用來顯示測試期間傳輸速度的分布情況，測試方式為雙向同時傳輸，結果顯示 99%以上的時間傳輸速度高於 2330Mbps，傳輸穩定，接近測試電腦的極速。此套 FSO 設備規格可以達到 10Gbps 的速度，目前的測試數據是被測試電腦的網路端口速度所限制。傳輸速度的平均值如表 5- 20 所示。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

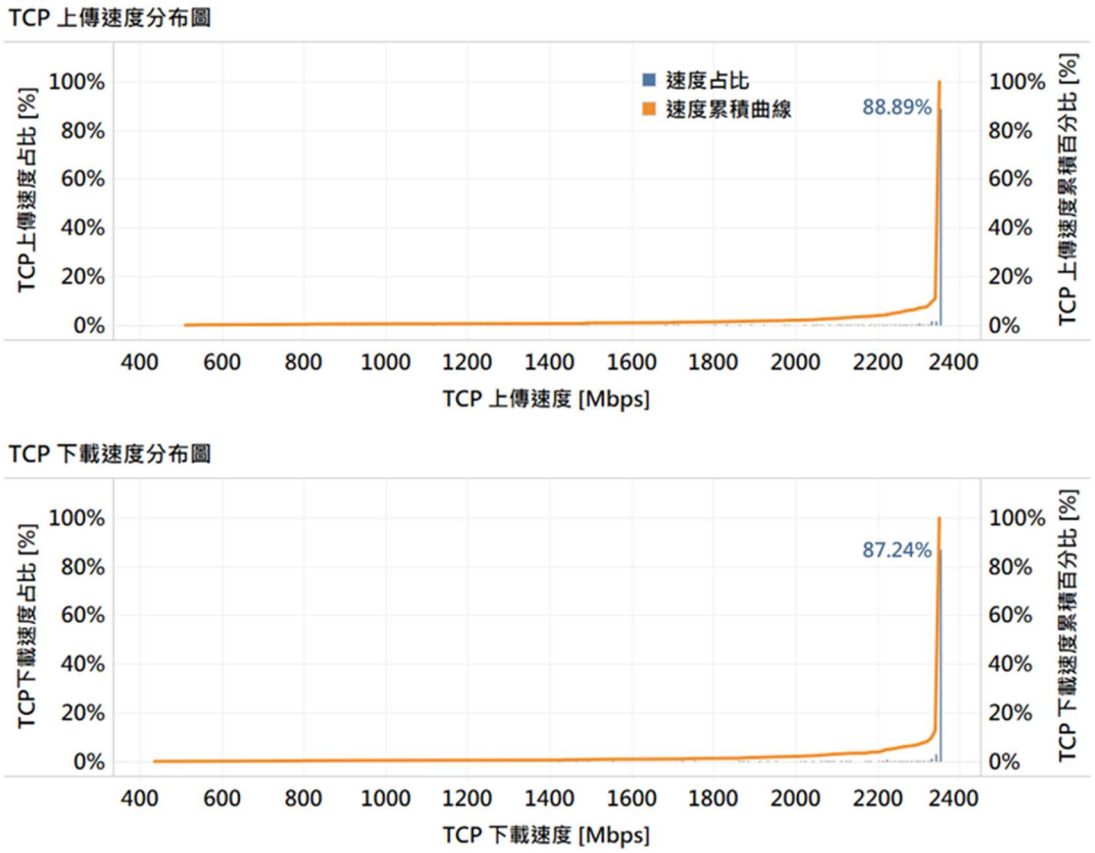


圖 5- 24、FSO TCP 傳輸速度分布圖

資料來源：本研究整理

表 5- 20、FSO TCP/UDP 傳輸速度平均值

測試方式	平均值 （Mbps）	標準差
TCP 上傳	2348.40	40.88
TCP 下載	2348.21	42.68

資料來源：本研究整理

分析 FSO 的 TCP/UDP 傳輸時序圖如圖 5- 25 所示，輔以相關係數矩陣分析，以了解 TCP/UDP 傳輸和場域其他收集數據的關係。顯示瞬時雨量為主要影響因子，瞬時雨量須達到一定的程度才會受影響，其次是霧氣造成的能見度下降。進一步分析露點溫度和氣溫，當露點溫度和氣溫非常接近時，就會產生霧氣，當測試之傳輸速度急遽下降的時候除了有下雨外，也伴隨者高霧氣發生機率如圖 5- 26 所示。因為本次測試期間也經歷了颱風侵襲，所以也觀測到風速也有些微影響，強烈的風速會讓 FSO 設備產生抖動，因而讓 FSO 的對焦飄移，但這些影響都不至於讓 FSO 的傳輸斷線，只是會讓傳輸速度下降。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

UDP 傳輸的測試因為 iPerf3 測試軟體的問題，所以呈現較不穩定的狀況，因此不納入分析，基本上 UDP 傳輸表現都會稍微優於 TCP 傳輸，因此 FSO 的傳輸速度分析以 TCP 傳輸為主。

統計 3 個月測試期間，以鏈路無法做 TCP 傳輸且原因為 FSO 設備斷線的次數和系統計劃完成 TCP 傳輸的次數比例做為可靠度，可靠度為 99.9%。

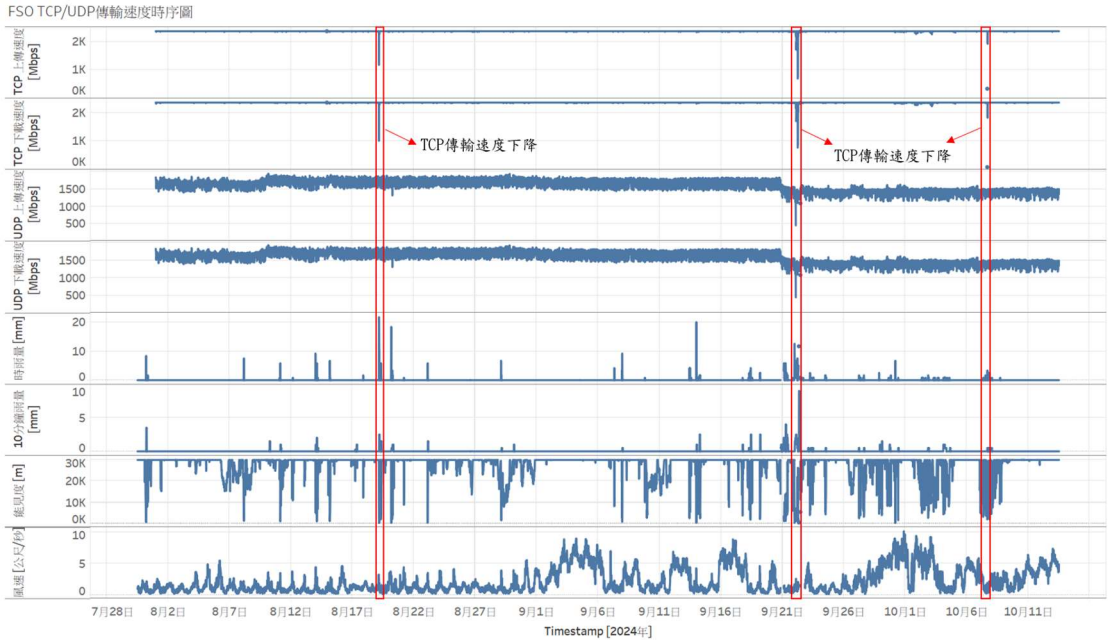


圖 5- 25、FSO TCP/UDP 傳輸速度時序圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

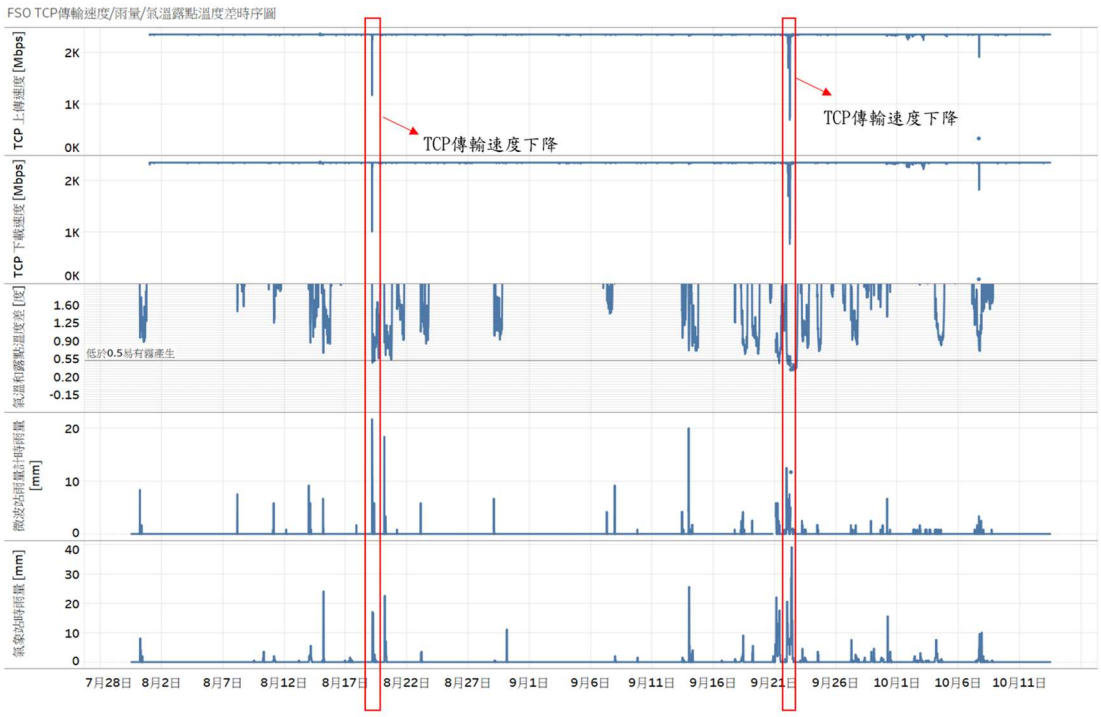


圖 5- 26、FSO TCP 傳輸速度/雨量/氣溫跟露點溫度差時序圖

資料來源：本研究整理

除了用 iPerf3 測試收集數據之外，也使用乙太網路測試儀器測試基於 Y.1564 和 RFC6349 測試標準的網路表現，Y.1564 主要是針對 UDP 傳輸協議做測試，RFC6349 是針對 TCP 傳輸協議做測試，Y.1564 的測試結果如表 5- 21 所示。在沒有封包遺失的標準下 UDP 測試速度是 10 Gbps，傳輸速度穩定。

表 5- 21、FSO 鏈路 Y.1564 測試結果

TX CIR（Mbit/s）	Latency（RTT）（ms）	Frame delay variation（ms）	Frame loss（%）	RX rate（Mbit/s）
10000	0.00556	0.00003	0	10000

資料來源：本研究整理

RFC6349 的測試結果如表 5- 22 所示，TCP 傳輸時速度為 9414.8 Mbps，傳輸速度穩定。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 22、FSO 鏈路 RFC6349 測試結果

MTU（bytes）	Minimum RTT（ms）	Ideal throughtput（Mbit/s）	Actual throughput（Mbit/s）	TCP Efficiency（%）	Buffer Delay（%）
1500	0.014	9414.8	9414.8	100	10.22

資料來源：本研究整理

針對 TDM 網路技術，此鏈路傳輸速度可以達到 SONET/SDH（Synchronous Optical Networking, 同步光纖網路） STS-192 標準的網路速度（9.953 Gbit/s），使用網路測試儀器測試透過基於 STS-192 標準的網路表現，一定測試時間內誤碼率低於 1.0E-12。

(二) 免執照微波鏈路實測數據分析

研析 ITU-R P.530 建議書可知當設計地面視距系統時必須考慮到環境效應對傳播的影響，這些環境效應可歸納為以下幾項，其一是在不利的傳輸條件下，由通信路徑中的障礙物引起的衰減；其二為大氣氣體引起的衰減；其三為大氣異常折射產生的多路徑或訊號的波束擴散引起的衰減；其四為物體表面反射引起的多路徑現象引起的衰減；其五為降雨量或大氣中的固體顆粒引起的衰減；最後是因折射現象造成接收機終訊號之到達角和發射機訊號之發射角的角度變化。

其中對於降雨量或大氣中的固體顆粒引起的衰減主要作用於 10 GHz 以上之頻段，另外當頻率上升至 17 GHz 以上頻段時，影響效應除降雨量、固體顆粒之外大氣氣體引起的衰減亦開始上升。因此對於 10 GHz 以下 L7 與 U8 等低頻段，造成影響傳播的主要環境效應為各種多路徑現象帶來之衰減，尤其當傳輸鏈路長度大於 5 公里以上的長鏈路更需要注意多路徑現象帶來的影響。

本次實驗於今年度在臺灣本島設置兩條免授權執照頻段固定微波電鏈路，當前已收集約 3 個月之數據，後續將針對所收集之數據進行分析歸納出使用該類產品可得性能與需注意事項，此資料可做為後續推行之相關輔助資料。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

當前 5.8 GHz 免執照頻段微波鏈路所由 8 月 1 日開始累積的測試數據時序圖如圖 5- 27 所示，本次測試內容為 TCP 與 UDP 兩種通信協定，並且為雙向同時進行速度測試，TCP 與 UDP 每次測試各分別執行 5 分鐘資料傳輸以求所測得之數據為穩定傳輸速度，當前該鏈路呈現之 TCP 通信協定之上傳與下載速度分別為於 244.61 Mbps 與 242.01 Mbps，而 UDP 通信協定之上傳與下載速度分別為於 248.27 Mbps 與 245.29 Mbps，該微波鏈路傳輸速度表現無論何種通信協定於 99.9%以上時間傳輸速度可高於 162 Mbps，此傳輸速度亦可滿足我國多數微波使用者之傳輸容量要求，且測試期間約 50%以上時間傳輸速度可以保持於本微波鏈路的最高速度，其速度累進之分布圖呈現於圖 5- 28。

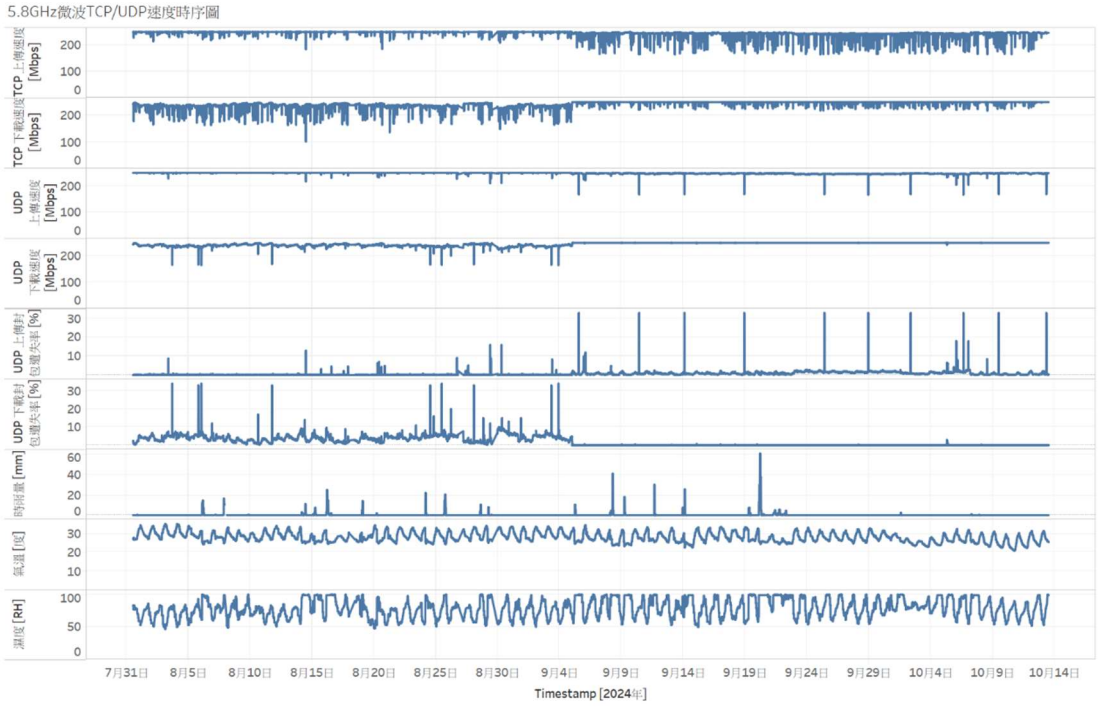


圖 5- 27、雲林縣警察局至雲林縣消防局 5.8 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度時序圖

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

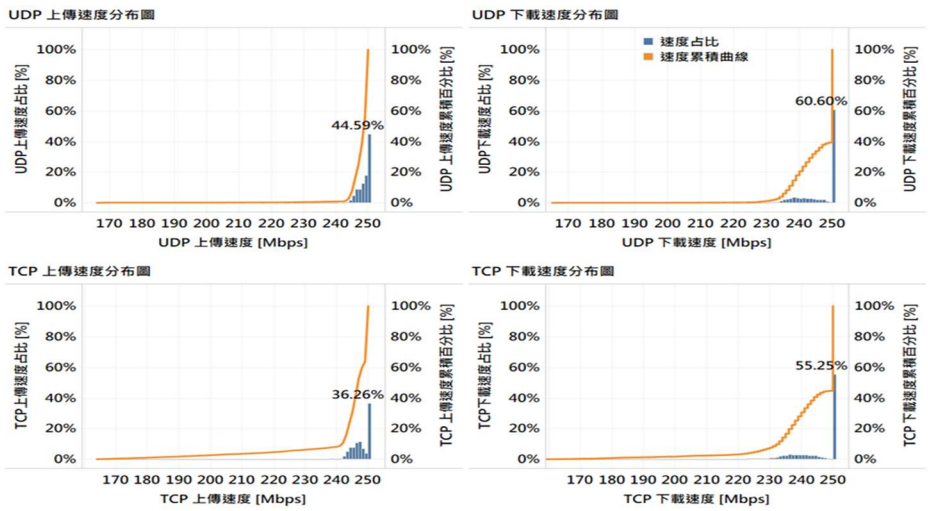


圖 5- 28、雲林縣警察局至雲林縣消防局 5.8 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度分布圖

資料來源：本研究繪製

由時序圖數據約略可知 TCP 通信協定之速度變化較 UDP 通信協定大，將該情況藉由標準差值來呈現，當前 TCP 通信協定之上傳與下載速度標準差各別為 11.83Mbps 與 12.44 Mbps，而 UDP 通信協定之上傳與下載速度標準差則為 4.12 Mbps 與 6.63 Mbps，相關數據整理於表 5- 23。

表 5- 23、5.8 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度平均值

測試方式	平均值（Mbps）	標準差（Mbps）
TCP 上傳	244.61	11.83
TCP 下載	242.01	12.44
UDP 上傳	248.27	4.12
UDP 下載	245.29	6.63

資料來源：本研究整理

將場域所收集之傳輸速度資料變化與可能造成影響傳輸性能之環境效應如雨量、氣溫、濕度等因子進行分析，發現 UDP 傳輸速度下降與溫度上升有相關，其溫度越高速度越會低，可能原因為此微波產品連線方式係將兩端電臺系統分為 AP 端與 CPE 端，由 AP 端做為主端 CPE 端做為副端進行通信連接，目前數據顯示當 AP 端溫度上升時與傳輸表現將隨之下降。當前鏈路之 TCP/UDP 傳輸速度對雨量、

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

濕度這些因子的相關性低影響很小，原因為此鏈路之頻率為 5.8 GHz，降雨或大氣中的固體顆粒引起的衰減主要作用於 10 GHz 以上之頻段，因此這些環境因子對目前鏈路傳輸速度的影響較小，同時因鏈路長度為短距離傳輸，因此對於 10 GHz 以下頻段主要影響傳播的多路徑現象衰減，應該現象主要引響於長距離微波通信傳輸，因此也較難反應在傳輸速度變化上。

本 5.8 GHz 免執照頻段微波鏈路由 8 月 1 日開始收集數據，至今約 3 個月之測試時長，所有期間測試數據中僅有 6 筆數據呈現有微波資料傳遞斷線情況發生，佔總體樣本數量之 0.07%，因此本實驗鏈路可靠度目前約有 99.93%。

另外 60 GHz 免授權執照頻段微波鏈路同樣由 8 月 1 日開始累積的測試數據時序圖如圖 5- 29 所示，當前該鏈路呈現之 TCP 通信協定之上傳與下載速度分別為於 936.95 Mbps 與 936.93 Mbps，而 UDP 通信協定之上傳與下載速度分別為於 955.99 Mbps 與 955.99 Mbps，該微波鏈路傳輸速度表現無論何種通信協定於 99.9%以上時間傳輸速度可高於 935 Mbps，此傳輸速度亦可滿足我國絕大多數微波使用者之傳輸容量要求，且測試期間約 95%以上時間傳輸速度可以保持於本微波鏈路的最高速度，其速度累進之分布圖呈現於圖 5- 30。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

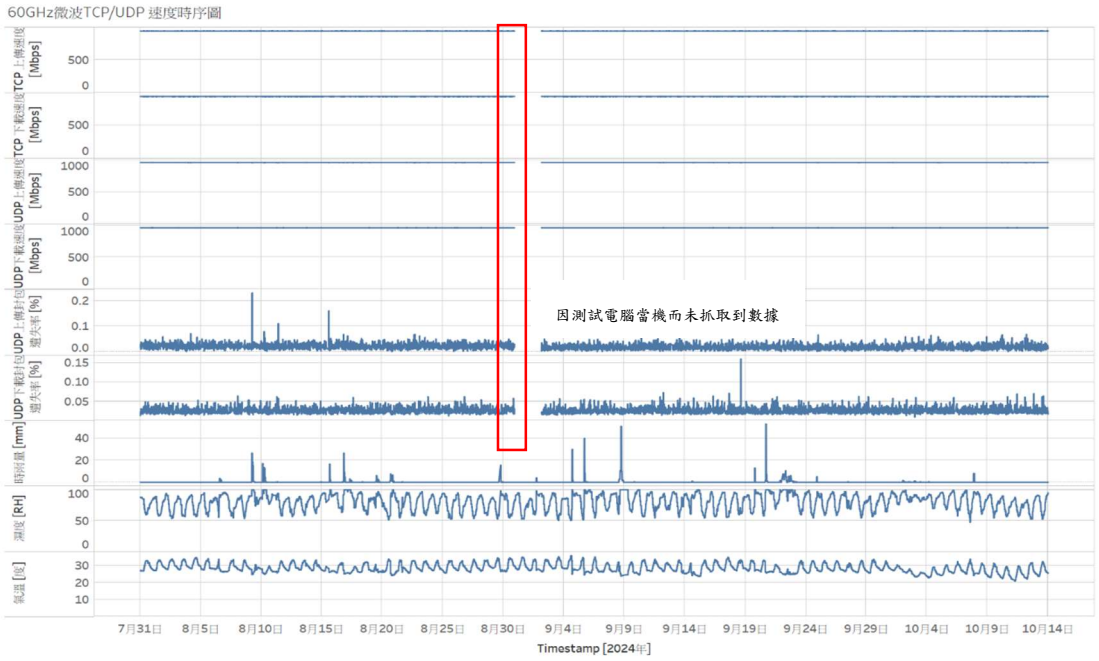


圖 5- 29、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度時序圖

資料來源：本研究繪製

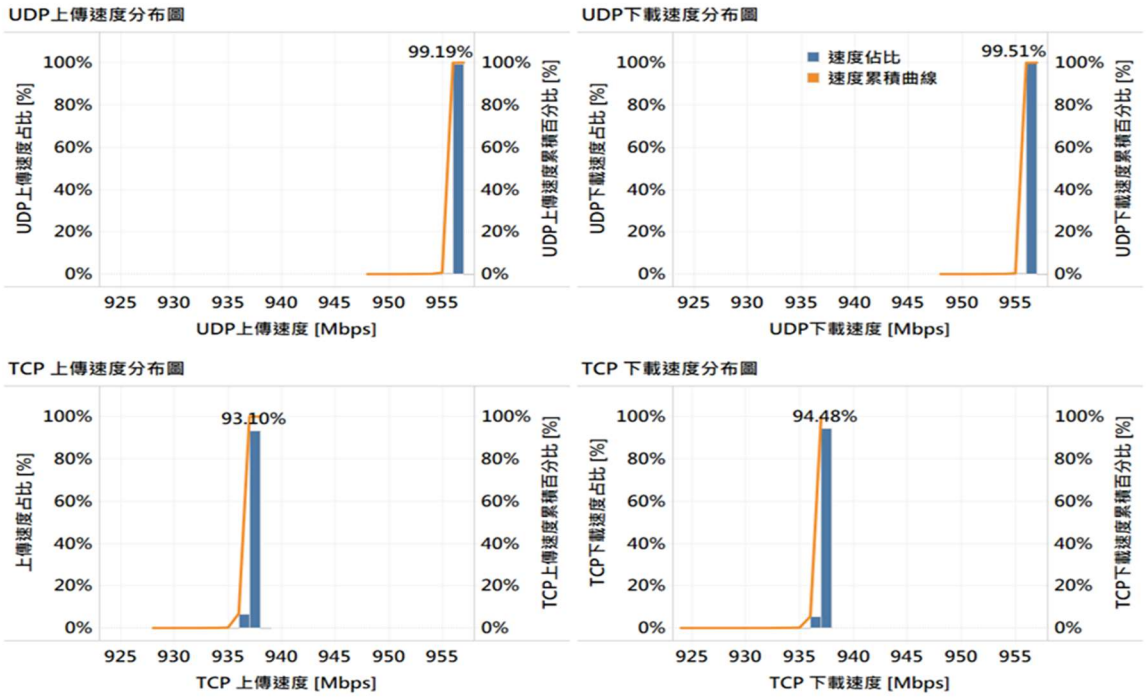


圖 5- 30、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度分布圖

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

由時序圖數據可約略得知本鏈路無論 TCP 或 UDP 通信速度變化較極小，將該情況藉由標準差值來呈現，當前 TCP 通信協定之上傳與下載速度標準差各別為 0.24 Mbps 與 0.26 Mbps，而 UDP 通信協定之上傳與下載速度標準差則為 0.01 Mbps 與 0.01 Mbps，相關數據整理於表 5- 24。

表 5- 24、60 GHz 微波 TCP/UDP 傳輸速度平均值

測試方式	平均值（Mbps）	標準差（Mbps）
TCP 上傳	936.95	0.24
TCP 下載	936.93	0.26
UDP 上傳	955.99	0.01
UDP 下載	955.99	0.01

資料來源：本研究整理

在針對通信協議造成的傳輸速度變化後，將場域所收集之傳輸速度變化和雨量、氣溫、濕度等可能影響微波傳遞之環境效應做相關性分析後，因本鏈路速度變化極小因此與所有環境參數相關性皆低，但細部分析各環境因子後可知 UDP 傳輸速度與降雨量有部分相關性，此處符合 ITU-R 文件所述 10 GHz 以上頻段傳播易受雨衰之影響，但在當前相實驗數據上無法明顯反映，其原因為此鏈路長度較短故雖對傳輸速度有影響但不明顯，可以推斷當微波鏈路長度增長後雨量衰減所造成之影響將更為明顯。同時當前鏈路之 TCP/UDP 傳輸速度受溫度、濕度這些等環境因子的影響很小。

本次實驗除用 iPerf3 測試收集數據之外，針對 60 GHz 此鏈路額外使用網路測試儀器測試基於 Y.1564 和 RFC6349 測試標準的網路表現，Y.1564 主要是針對 UDP 傳輸協議做測試，RFC6349 是針對 TCP 傳輸協議做測試，Y.1564 的測試結果如表 5- 25 所示，在沒有封包遺失的標準下 UDP 測試速度是 480 Mbps。

除了傳輸速度之外，Y.1564 中的封包延遲偏差（Frame delay variation, FDV）也是使用 TDM over Ethernet 設備的重要指標，因為 PDH 傳輸需要兩端設備同步，從屬設備會由乙太網路上封包到達的

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

時間來計算同步時間，倘若 FDV 太大，同步時鐘就無法建立並造成資料傳送會錯誤。當前實驗條鏈路於兩端架設 TDM over Ethernet 設備 Loop G7860A 後，兩端可成功建立 E1 偽線，當前情況下傳輸封包無問題。

表 5- 25、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 Y.1564 測試結果

Direction	TX CIR（Mbit/s）	Latency（RTT）（ms）	Frame delay variation（ms）	Frame loss（%）	RX rate（Mbit/s）
L>R	480	13.46	4.43	0	479.92
R>L	480		9.99	0	479.97

資料來源：本研究整理

RFC6349 的測試結果如表 5- 26 所示，顯示 TCP 傳輸時速度與變異大，傳輸速度不穩定，但此傳輸速度亦可滿足我國多數微波使用者之傳輸容量要求。

表 5- 26、嘉義縣警局至嘉義縣消防局 60 GHz 微波 RFC6349 測試結果

MTU（bytes）	Minimum RTT（ms）	Direction	Ideal throughtput（Mbit/s）	Actual throughput（Mbit/s）	TCP Efficiency（%）	Buffer Delay（%）
1500	0.461	L>R	84.7	92.6	100	99.68
		R>L	84.7	90.5	100	111.94

資料來源：本研究整理

本 60 GHz 免執照頻段微波鏈路由 8 月 1 日開始收集數據，至今約 3 個月之測試時長，所有期間測試數據中僅有 3 筆數據呈現有微波資料傳遞斷線情況發生，佔總體樣本數量之 0.04%，因此本實驗鏈路可靠度目前約有 99.96%。

(三) 5G FWA

5G FWA 的傳輸穩定性會受到許多因素[111]影響，有些影響因素可

[111] 3GPP TR 38.901, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz(2022-03)

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

以在布建場域時透過設備和地點的選擇排除，強化整個系統的穩定性和可靠性，並可以為實測數據分析提供參考依據。針對會影響 5G FWA 傳輸穩定性的因素條列如下:

1. **頻譜資源與頻段選擇**

5G 使用多種頻譜。高頻段（毫米波）提供更高的數據速率，但其穿透能力差，容易受到建築物和其他障礙物的阻擋，導致信號衰減和不穩定。而低頻段（700MHz）信號傳播距離更遠，穿透力強，但數據傳輸速率較低。中頻段（3.5GHz）平衡了速度和涵蓋範圍，比高頻段有更好的穿透能力，但頻寬較低，傳輸速度相對中等。

2. **信號強度與障礙物**

信號越強，傳輸越穩定，在都市或室內環境中，建築物、牆壁等會阻擋信號，導致信號減弱或出現死角，影響穩定性。樹木、葉子等植被也會反射或吸收無線信號，降低傳輸效率。此外，毫米波信號對環境條件（如降雨、霧氣等）敏感，這些天氣因素會導致信號衰減，進而影響 FWA 傳輸的穩定性。

3. **干擾，多路徑效應**

由於無線信號在傳播過程中可能會遇到反射、折射或繞射，導致同一信號經由不同路徑到達接收端，導致多路徑效應，這會引起信號干擾和衰減，尤其是在密集的都市或室內環境中。此外來自其他無線設備或相鄰基地臺的信號干擾可能會影響 FWA 的傳輸穩定性。

4. **天線位置與定向**

FWA 的天線通常具有指向性，以確保設備能夠接收到最強的信號。如果天線安裝位置不佳，或天線的指向和基地臺方位差異太大，接收到的信號強度會大幅下降，導致無線網路連接的穩定性下降。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

天線的安裝高度對於信號的接收強度也有影響，將天線安裝在較高的位置，能夠減少周圍障礙物的影響，接收到更強的信號。

5. **MIMO 技術**

5G 中的多輸入多輸出技術能夠提高頻譜效率，透過同時利用多條信號路徑來增強傳輸速率和穩定性。MIMO 技術對抗多路徑效應的能力也有助於提高傳輸的穩定性。

6. **用戶密度與網路擁塞**

當同一區域內的用戶過多時，基地臺的網路資源如頻寬和時槽將被大量用戶共享，可能會導致網路擁塞，降低每個用戶的傳輸速率和穩定性。在用戶使用 5G 的尖峰期，特別是在城市密集住宅區，FWA 用戶的彼此網路資源競爭會增強，可能會導致速率下降或延遲增大。

7. **基地臺密度與涵蓋率**

在密集的基地臺網路中，用戶設備可以與最近的基地臺進行連接，減少信號衰減和多路徑干擾。因此，基地臺密度會直接影響 5G FWA 的涵蓋範圍和傳輸穩定性。

5G FWA 的傳輸穩定性受到頻譜資源、信號衰減、干擾、天氣、用戶密度、天線位置等多種因素的影響。雖然 5G 提供了更高的頻寬和低延遲，但其穩定性很大程度上取決於布建條件和環境因素。透過正確選擇頻段、優化天線設置以及採用 MIMO 等先進技術，可以提高 FWA 的傳輸穩定性並減少環境的影響。因此在場域布建的過程中，站點的選擇、頻譜的選擇和 FWA 設備的架設地點盡量排除不利的因素，以強化數據的可靠性和穩定性。

整合 3 條鏈路的測試結果如圖 5- 31、圖 5- 32 和圖 5- 33 所示，TCP/UDP 傳輸速度分布圖是用來顯示測試期間傳輸速度的分布情

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

況，UDP 傳輸 99%的時間傳輸速度可以達到 46Mbps 以上，且速度分布集中。TCP 傳輸速度變異大，上下行速度在 120Mbps 和 10Mbps 之間變化，速度分布分散。傳輸速度平均值和標準差如表 5-27 所示。

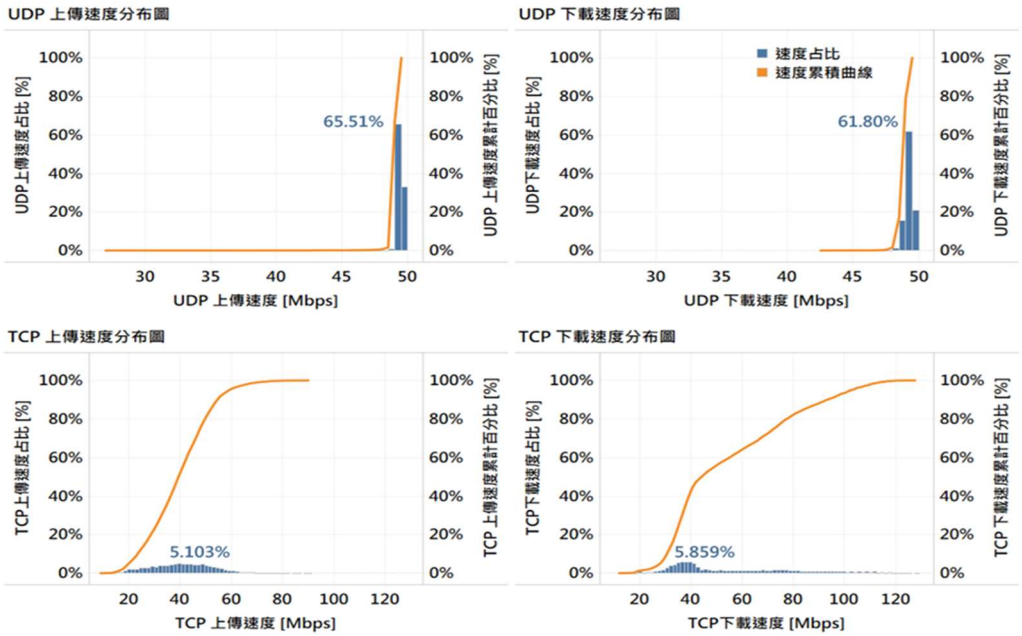


圖 5-31、新竹-竹光鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度分布圖

資料來源：本研究整理

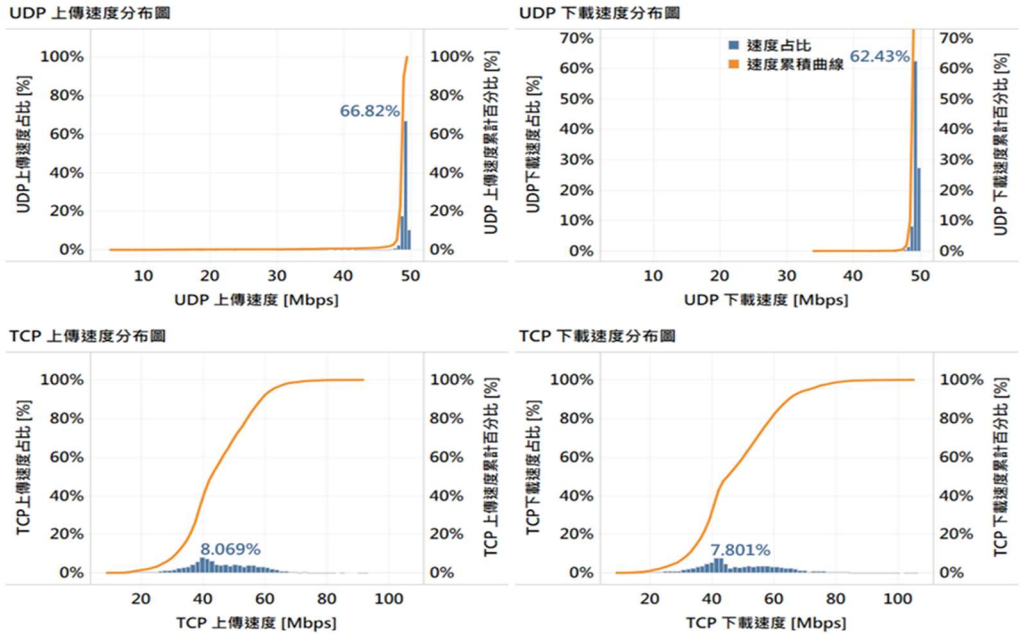


圖 5-32、臺西-斗六鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度分布圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

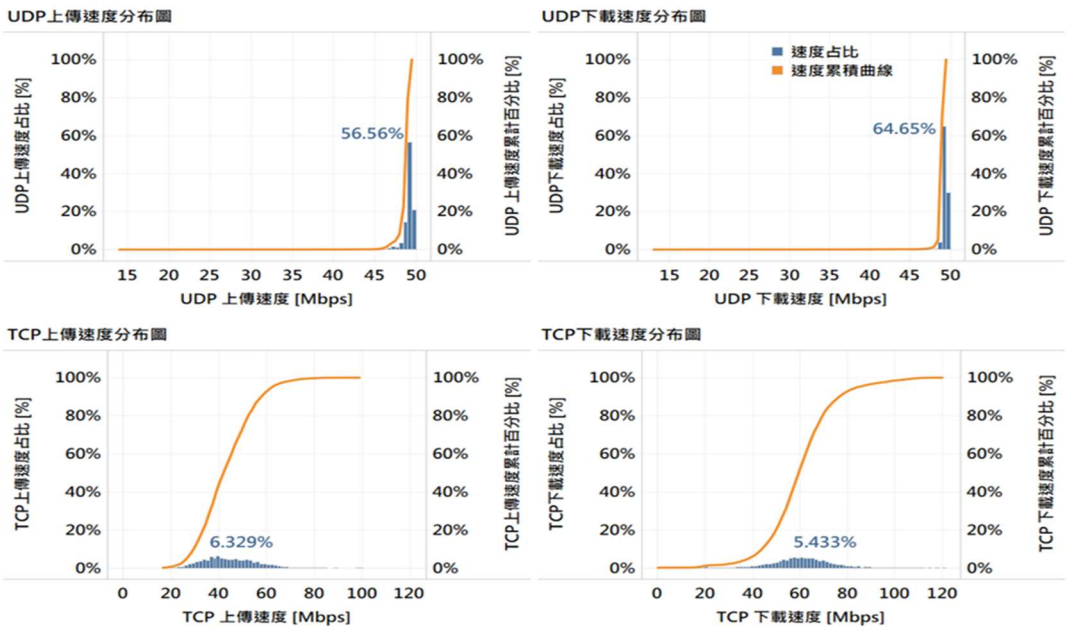


圖 5- 33、楠梓-保五岡山鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度分布圖

資料來源：本研究整理

表 5- 27、5G FWA 三條鏈路 TCP/UDP 傳輸速度平均值

鏈路	測試方式	平均值（Mbps）	標準差
竹光/新竹	TCP 上傳	38.79	12.14
	TCP 下載	61.97	24.95
	UDP 上傳	49.37	0.39
	UDP 下載	49.30	0.45
斗六/臺西	TCP 上傳	47.14	11.14
	TCP 下載	49.98	14.03
	UDP 上傳	49.16	0.56
	UDP 下載	49.32	0.31
保五岡山/楠梓	TCP 上傳	45.33	10.99
	TCP 下載	61.15	14.52
	UDP 上傳	49.16	0.92
	UDP 下載	49.29	0.79

資料來源：本研究整理

分析三條鏈路的 TCP/UDP 傳輸時序圖如圖 5- 34、圖 5- 35 和圖 5- 36 所示，輔以相關係數矩陣分析，以了解 TCP/UDP 傳輸和場域其他收集數據的關係。TCP 傳輸速度是上下行傳輸速度相關性高，呈現

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

中度負相關，場域 TCP 傳輸速度測試是設定為雙向同時傳輸，結果呈現 TCP 上下行傳輸的速度變化變異大，因為是負相關，所以上下行速度會彼此影響，呈現上行快下行慢或是上行慢下行快的狀況，速度無法平均分配，上下行不會對稱傳輸。

UDP 傳輸是上下行傳輸速度相關性高，呈現中度正相關，UDP 上下行傳輸的速度表現相對穩定，上下行的速度同時增減，可以達到上下行對稱的傳輸，場域 UDP 傳輸速度測試是設定為雙向同時 50Mbps，大部分時間的封包遺失率是 2%以下。

TCP/UDP 傳輸速度對雨量、氣溫、濕度、4G 訊號強度和 5G 訊號強度這些因子的相關性低，呈現低度相關，影響很小。資料收集期間也經歷颱風侵襲，從測試數據看來有受到些微影響，也發現系統有斷線的情況，但短時間內就恢復服務。如圖 5- 36 所示。

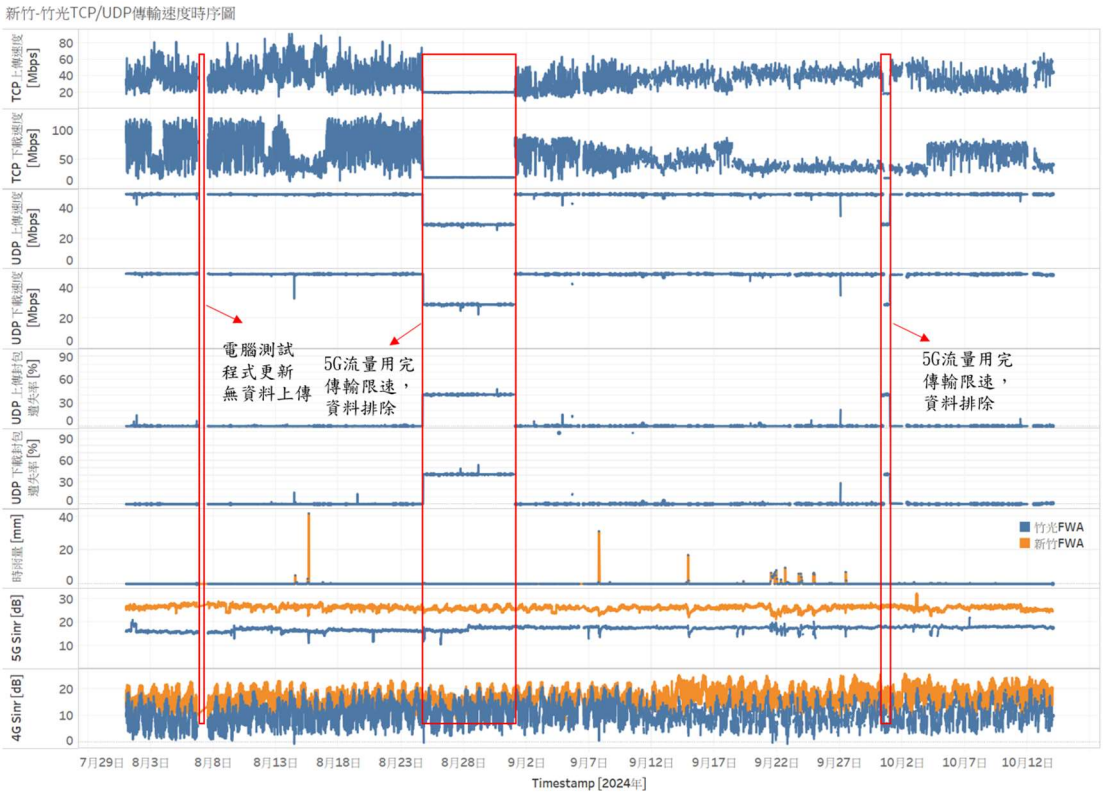


圖 5- 34、新竹-竹光鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度時序圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

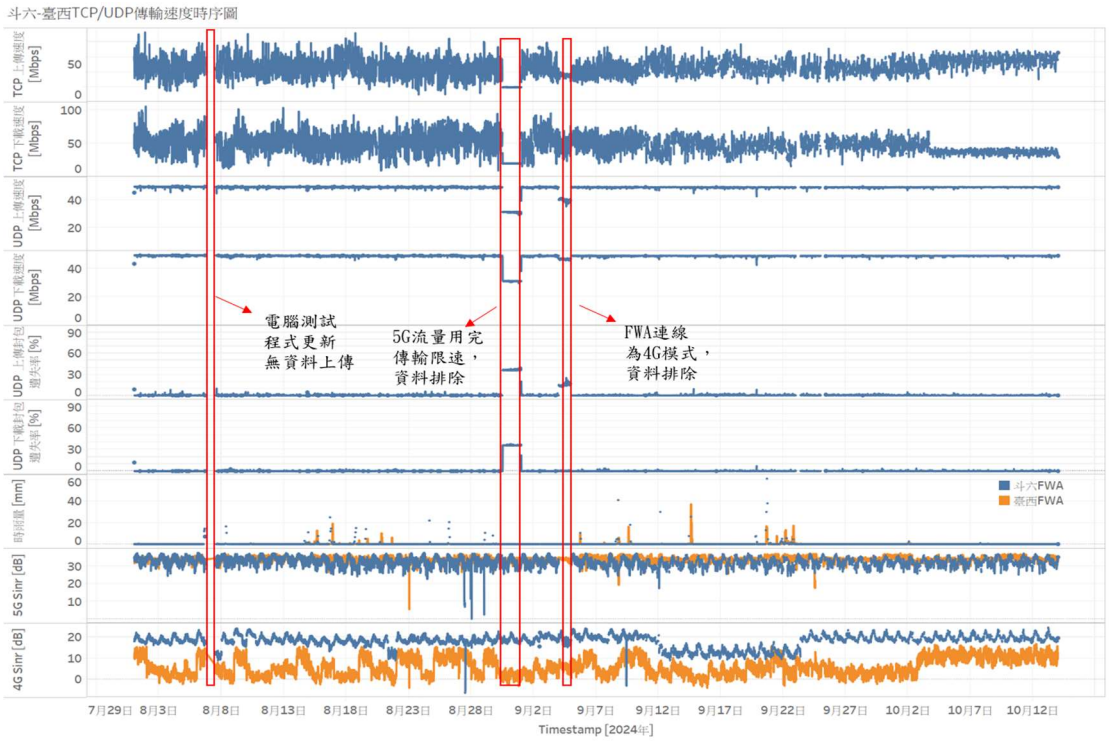


圖 5- 35、斗六-臺西鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度時序圖

資料來源：本研究整理

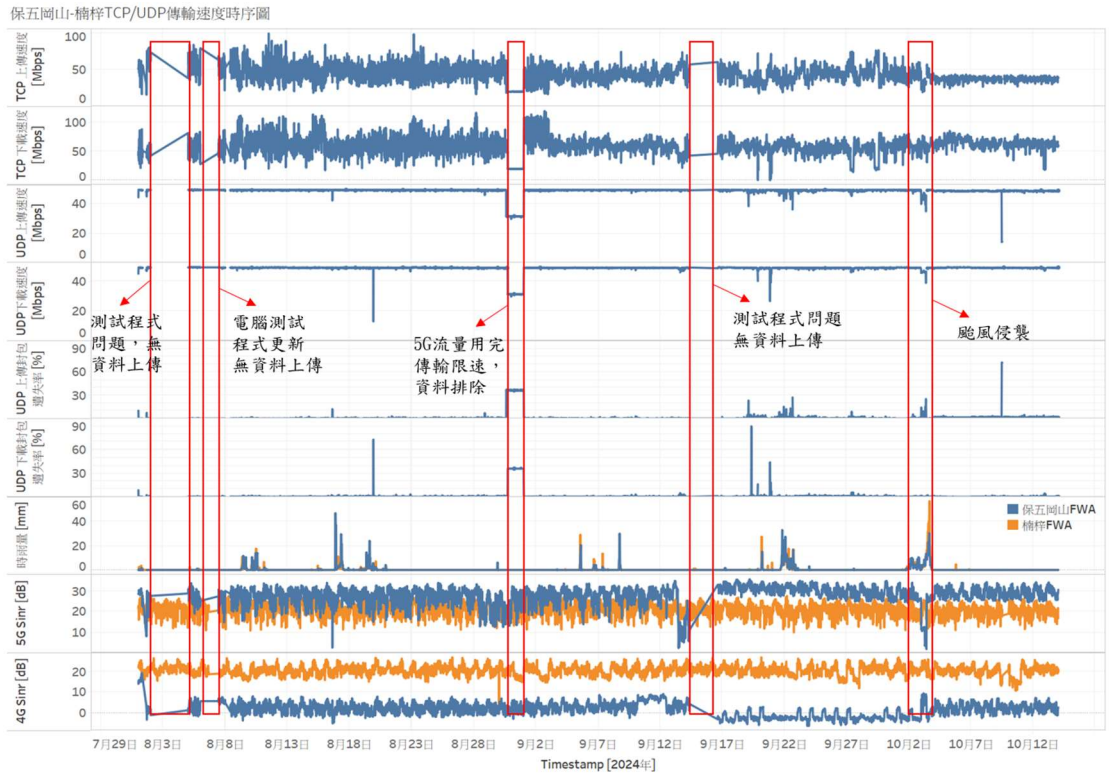


圖 5- 36、保五岡山-楠梓鏈路 FWA TCP/UDP 傳輸速度時序圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

分析 TCP 傳輸不穩定的原因，TCP 傳輸是一種須建立連線的協議，要求封包的每一部分在接收到後都必須確認（ACK），因此傳送 TCP 封包需要上下行傳輸的資源如圖 5-37 所示。TCP 傳輸在行動網路的延遲會比有線網路高，較高的延遲會導致確認封包來回的時間增加，進而降低整體傳輸速度，此外 TCP 為了確保在各種網路環境下都能提供效率高及可靠的傳輸，採用滑動窗口做流量控制如圖 5-38 所示，慢啟動[112]做壅塞控制，但因為行動網路是共享資源的無線網路系統，所以發生封包遺失和網路壅塞是合理的狀況，因此會造成 TCP 傳輸速度會變化較大。此外因為上下傳輸是共享相同的頻譜資源，所以會造成上下行傳輸速度會交互影響的情形。

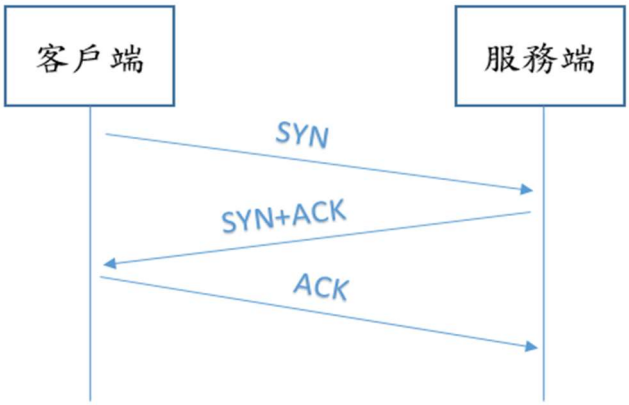


圖 5-37、TCP 建立連線方式

資料來源：本研究整理

圖 5-38、TCP 滑動窗口機制

資料來源：本研究整理

[112] 慢啟動機制是傳輸開始時以指數增長的速度增加傳輸速度，過了訂定的閥值之後改以線性增長的速度增加傳輸速度，但遇到封包遺失，速度會立刻下降為初始值且閥值會減少為原來的一半。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

UDP 傳輸協議無須建立連結，無須傳送確認封包，無須流量控制和壅塞控制，傳輸效率比 TCP 傳輸高，5G 行網上下行傳輸資源是依固定比例共享，因為沒有 TCP 傳輸協議的傳輸控制，所以就無需互搶網路資源的情形，因此可以穩定的傳輸，但缺點是不可靠，所以會有封包遺失的情形發生。

從三條鏈路的 5G 訊號時序圖如圖 5- 39、圖 5- 40 和圖 5- 41 顯示 6 個站點的 5G 訊號強度穩定，大部分時間都會固定連接到訊號最強的基地臺，但也會有連到訊號較弱的基地臺的時候，對於系統的穩定性和可靠度而言，這是優勢，因為這表示 5G 系統會有其他的基地臺當備援，使服務不會中斷，讓 FWA 系統的可用時間達到 100%。因為業者在 B1 頻段也有使用 5G，所以有可能會連接到 B1 頻段的基地臺，此頻段的頻寬較小，傳輸速度較慢，若需要較快速度的服務需要將頻段鎖在 N78。

統計 3 個月測試期間，以測試電腦沒有成功回傳站點資訊次數和系統計劃的資料回傳次數比例做為可靠度，三條鏈路的可靠度如表 5- 28 所示。

表 5- 28、5G FWA 三條鏈路可靠度

鏈路	可靠度(%)
竹光/新竹	100.00
斗六/臺西	99.99
保五岡山/楠梓	99.92

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

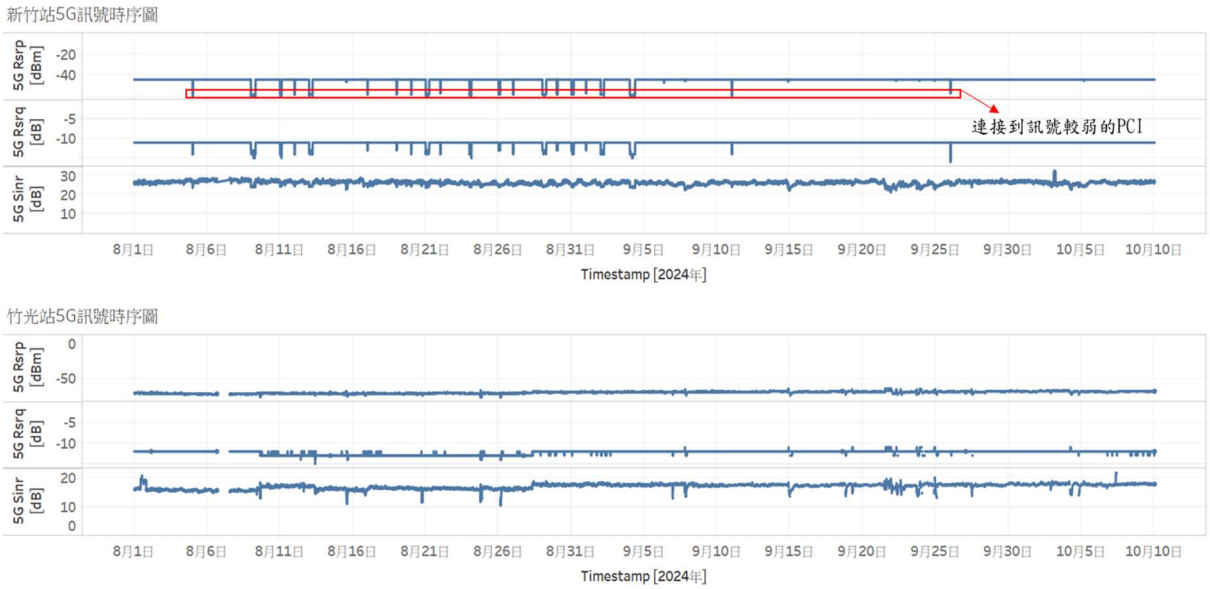


圖 5- 39、新竹/竹光站 FWA 5G 訊號時序圖

資料來源：本研究整理

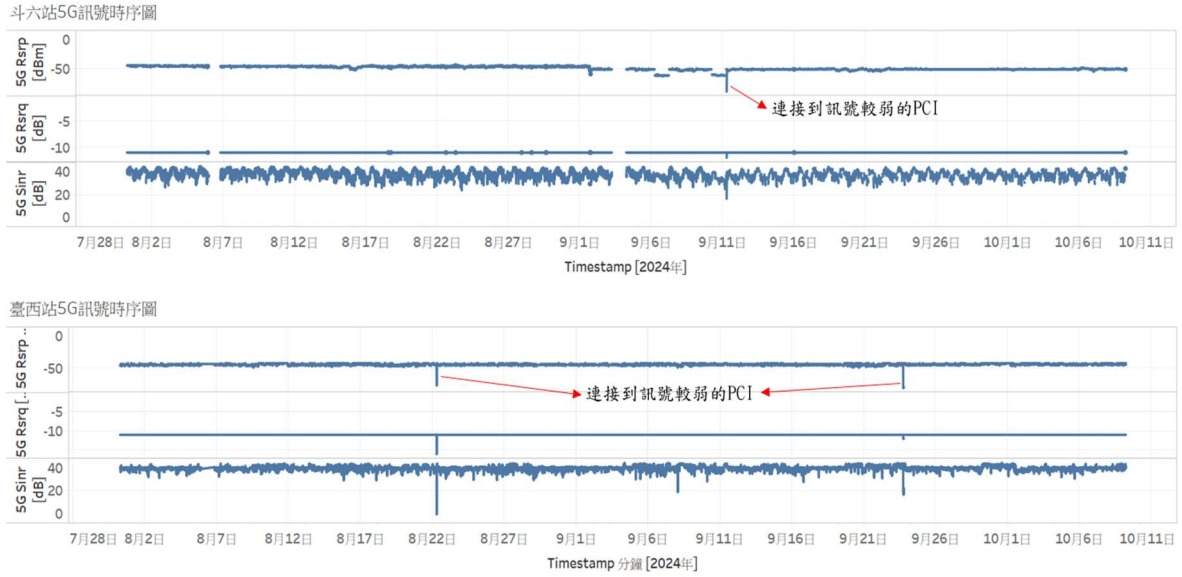


圖 5- 40、臺西/斗六站 FWA 5G 訊號時序圖

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

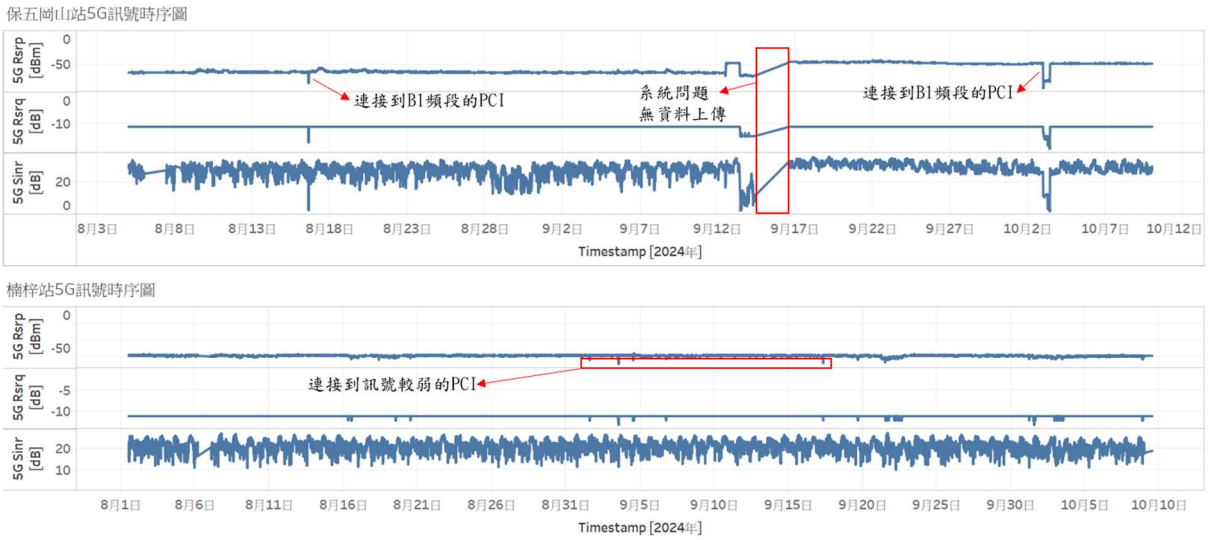


圖 5- 41、保五岡山/楠梓站 FWA 5G 訊號時序圖

資料來源：本研究整理

除了用 iPerf3 測試收集數據之外，針對保五岡山-楠梓鏈路使用網路測試儀器測試基於 Y.1564 和 RFC6349 測試標準的網路表現，Y.1564 主要是針對 UDP 傳輸協議做測試，RFC6349 是針對 TCP 傳輸協議做測試，Y.1564 的測試結果如表 5- 29 所示。在沒有封包遺失的標準下 UDP 測試速度是 20Mbps。

表 5- 29、保五岡山-楠梓 FWA 鏈路 Y.1564 測試結果

TX CIR（Mbit/s）	Latency（RTT）（ms）	Frame delay variation（ms）	Frame loss（%）	RX rate（Mbit/s）
20	102.84	24.14	0	20

資料來源：本研究整理

RFC6349 的測試結果如表 5- 30 所示，顯示 TCP 傳輸時速度為 4.5 Mbps

表 5- 30、保五岡山-楠梓 FWA 鏈路 RFC6349 測試結果

MTU（bytes）	Minimum RTT（ms）	Ideal throughtput（Mbit/s）	Actual throughput（Mbit/s）	TCP Efficiency（%）	Buffer Delay（%）
1500	44.405	4.7	4.5	99.98	81.61

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

針對分時多工（Time-Division Multiplexing，TDM）網路技術，參考 Y.1564 的測試結果，此鏈路傳輸速度只適合使用 PDH 的 E1 標準，除了傳輸速度之外，Y.1564 中的訊框延遲變異（Frame delay variation, FDV）也是使用 TDM over Ethernet 設備的重要指標，因為 PDH 傳輸需要兩端設備同步，從屬設備會由乙太網路上封包到達的時間來計算同步時間，若 FDV 太大，同步時鐘就無法建立，資料傳送會錯誤，此外因為 5G 是 TDD 系統，會影響到資料傳輸的穩定性，乙太網路通常使用同步時鐘而與 PDH 設備中的時鐘不同步，而這種不同步性可能導致封包在傳輸過程中出現延遲和錯誤，特別是在需要高精度時序的 TDD 系統中。目前測試採用星通公司，設備型號為 G7860A 於此鏈路兩端架設 TDM over Ethernet 設備，兩端可以建立 E1 介接乙太網路，但因為兩端設備時鐘源同步問題，導致目前測試無法傳送 E1 資料。，若。以無線電視台的資料傳輸來說，目前是採用 PDH 的 DS3 介面做傳輸，若使用 FWA 的方式傳輸的話，需要先將影像擷取編碼為適合乙太網路傳輸的格式（例如 H.264），再透過 IPTV 設備將把編碼後的影像資料串流透過乙太網路傳送至 FWA，再透過行動網路傳輸至另一端的 FWA，就可以從另一端的 FWA 收到已編碼的影像資料。如果是已錄製好的影像檔案，則需要透過串流軟體將影像做成串流資料送到乙太網路。

第二節 替代技術建置導入之額外分析

一、 布建架設

(一) 自由空間光通信

該設備技術雖具有體積小傳輸速快，但在架設方面不同於傳統無線微波通信設備，可透過繞射或反射方式也可達成通信，其光通信設備之光波束極小，因此於設備端之光點對焦能力上特別顯著重要。為確保點對點光通信對焦穩定，在架設上應選擇穩固的金屬抱桿作為掛

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

設方式，也應避免裝設於過長的抱桿導致晃動，以及評估 2 公尺內有無震動源設備，同時於架設前先以震動感測裝置先進行評估抱桿之穩定度如圖 5- 42、震動感測裝置評估結果與架設方式。考量裝置多布建於通信裝置附近，也因考量裝置的電磁相容性（Electro-Magnetic Compatibility, EMC）問題，避免設備之電路受其他通信發射機的干擾，常見建議之規劃架設方式如圖 5- 43。

由於其輕巧的重量帶給人員布建的便利性，但如同上述所提及其對焦的重要性，長距離的對焦更仰賴設備提供的技術與工具，除了以裸視作為粗調對準外，更可以長焦段相機或望遠鏡作為輔助，本計劃使用之設備能提供內建類光學攝影機般的功能，使用者可透過與應用程式的連動來達成縮減對焦時間如圖 5- 44 所示，以此提高架設之便利性。為監控網通設備的可用性及遠端控制，多採以基本的 SNMP 協議服務，讓網路管理者可以遠端獲取資訊或建立告警系統，而本計劃採購之設備更提供原廠的雲端網路管理系統如圖 5- 45，讓用戶可透過網際網路來觀察設備狀態與歷史紀錄，這將有助於後續研究團隊資料分析上的便利性。對於資料傳輸與供電方式，則分別採光纖與 PoE 方式，其供電更可採一般 48V DC 以適應常見網通機房用電方式，對與其他通信設備之布建更具整合上的便利性。

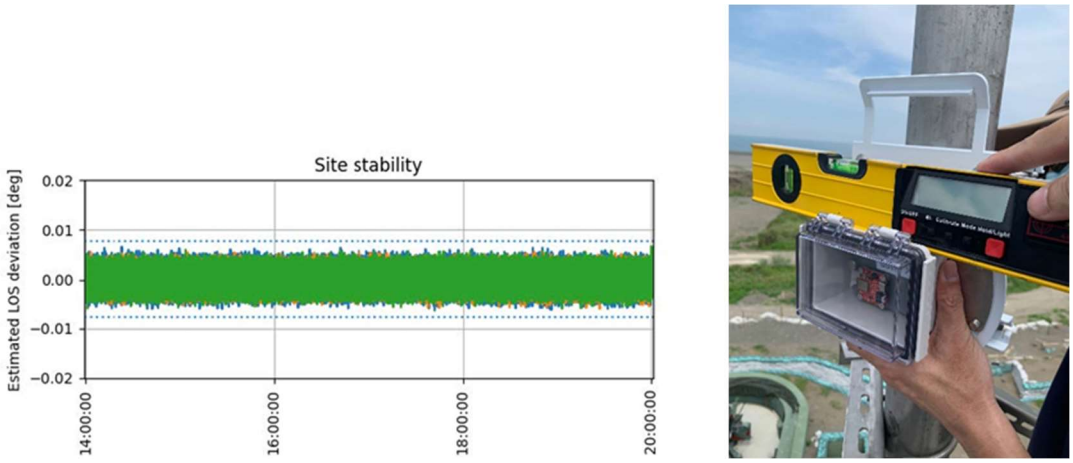


圖 5- 42、震動感測裝置評估結果與架設方式

資料來源：Transcelestial 技術文件

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 43、架設示範圖

資料來源：Transcelestial 技術文件

圖 5- 44、程式對焦互動介面

資料來源：Transcelestial 技術文件

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 45、雲端之資訊儀表板

資料來源：Transcelestial 技術文件

(二) 微波通信

微波通信是一種可視（Line of Sight, LoS）無線通信技術，可以提供發送和接收語音、視訊和數據訊息的高速無線傳輸。但微波傳輸具有可視傳播特性，即電磁波沿直線傳播，因此將在本小節整理針對本次實驗在架設時所得經驗與所碰到之難點，此經驗將有利於後續推行：

微波電臺的設備包括天線、波導管、收發訊號機、調變器、多工器以及電源設備、自動控制設備等各式設備，如架構圖 5- 46 所示。於架設前需確認場地是否有足夠的空間安裝相關硬體設備，尤其以外部的天線安裝空間是否足夠尤為重要；如 7 GHz 需執照頻段的長距離微波通信系統所用天線尺寸較大，此頻段所使用天線尺寸在 4 呎到 12 呎之間，因此在會勘場域時架設環境是否有足夠的空間為一重點考慮因素。

7 GHz 需執照頻段微波通信系統因其系統龐大、架設費用高、需額外支付頻率使用費等性質，造成此種類設備於我國國內市場客群較小，故國內廠商常駐備貨亦較少；同時此種產品製造商多為國外廠商，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

因此在國內要取得相關產品皆仰賴國外進口。但自疫情後國際海運情況一直十分緊張，商品之交貨期較疫情前有不小的延長。根據本年度訪談各微波廠商後蒐集到資訊得知目前微波系統通常交期為 6-8 個月，而此交期與疫情前之約 4 個月的交期有不少的落差，因此如有規劃建置此系統也需將本項情況列入考量。

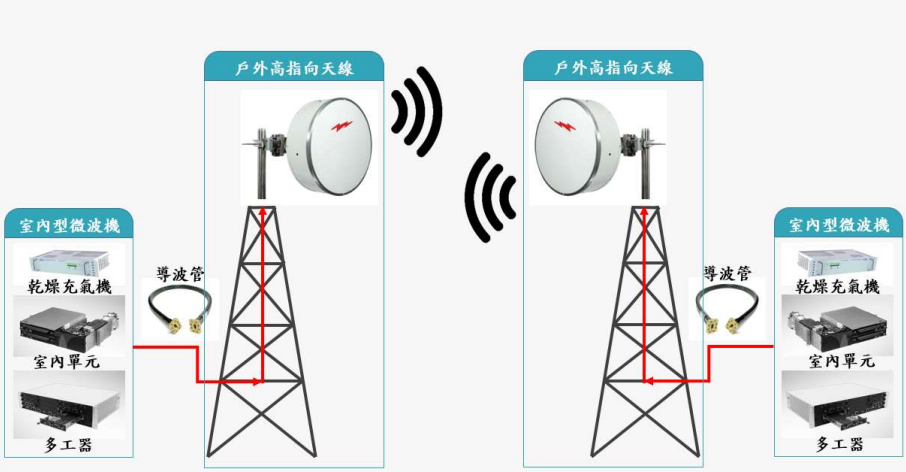


圖 5- 46、微波設備架構圖

資料來源：Aviat Networks、本研究整理

與需執照頻段微波通信系統相比，免授權執照頻段微波通信系統通常具有較高的設備整合度與較小的發射功率，故其設備基本上已經將天線、收發訊號機、調變器等設備整合至僅有一天線結合收發射單元與一 POE 供電部件，且在線路布建上亦僅需一網路線即可達成訊號傳輸與供電，因此在微波系統與架設等硬體花費會相對較低，且無需額外支付頻率使用費；雖然此類產品有以上優點，但其通信頻段並非專用，因此在使用時需要注意該頻段是否有其他使用者，如有其他使用者的情況可選擇尚未被使用頻道做為通信頻率以避免互相干擾的情況產生，尤其是 5.8 GHz 此類使用者較多的免授權執照頻段；一般此類產品通常可以提供檢視該頻段使用情況相關功能讓使用者可以使用較無干擾之頻道做為通信傳輸，如圖 5-47 所示；另外因使用免授權執照頻段，設備輸出功率通常較需執照頻段微波通信系統低，因此也造成在傳輸距離上相對較短，如有規劃建置此系統也需將傳輸

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

距離列入考量。

圖 5- 47、頻段使用情況掃描圖

資料來源：Ubiquiti 微波系統工具

微波通信是一種可視無線通信技術，架設前需保證微波鏈路中無阻擋之物件，如微波鏈路間有遮蔽物或阻擋物則可能造成傳輸品質下降或無法使用。且由於微波系統所用天線波束寬度較窄，因此架設微波鏈路時需對準兩站天線才能保證通信成功與品質，當兩站微波天線的發射與接收角度偏離過大將造成無線通信傳輸的收發訊問題，此特性影響在短距離傳輸時較明顯，因此建置短距離微波通信系統時需將此部分納入考量。

(三) FWA

雖然目前行動網路的涵蓋率很高，根據業者的 5G 涵蓋查詢系統顯示，在城市地區的涵蓋率都很高，但無線訊號品質愈好其傳輸效能就愈好，此外目前業者有在 B1 頻段使用 5G，但此頻段的頻寬只有 20MHz，因此傳輸速度比 n78 頻段慢，因此若 FWA 附近有 N78 和 B1 頻段的 5G 基地臺，需要將 FWA 鎖頻至 n78 頻段，傳送速度才不

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

會因連接到 B1 頻段基地臺而變慢，因此在選擇 FWA 的架設地點時還是需要先評估地點的 5G 訊號強度、品質和附近 5G 使用的頻段以得到穩定的行動網路。

目前電信商提供的 5G 行動網路是非獨立組網（Non Standalone, NSA）架構，需要 4G 處理控制信令、網路連接及管理，因此也需要有 4G 行動網路的訊號，所以在架設時也須考慮到 4G 的訊號品質，需先評估架設地點 4G 訊號狀況。

FWA 傳輸設備的天線通常都具有方向性，因此如果能正確指向基地臺的方向就會有比較好的訊號品質，但是基地臺位置對於電信業者來說是營業機密資訊，因此實際架設時只能靠接收訊號強度的反饋來確認架設點，有可能不是最適合的架設點，最適合的架設點是可以面相基地臺且中間無障礙物。

FWA 設備是透過 PoE 的方式供電，只需要一條網路線就可以完成電源和資料的傳輸，提供布建的方便性，一般網路線在佈線的時候以不超過 100 公尺為原則，這樣可以確保網路連線實體層的訊號品質，因為實體層的訊號品質不穩定時，連線速率會下降，以本案來說，1Gbps 會降到 100Mbps 或 10Mbps，而且不會再回復成原來的速率。因電源在網路線傳輸時會因為線損而產生壓降，當壓降太大造成到達 FWA 設備的電壓過低時 FWA 工作就會不正常或無法開機，因此需確認用 PoE 供電在網路線長 100 公尺時電壓是否穩定在工作電壓之上以確保 FWA 傳輸設備正常工作。

一個站點的電源功耗主要是 FWA 設備和 VPN 路由器，兩個設備的最大功耗是 45W，比一臺 AC 電風扇還少。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、 建置成本

(一) 自由空間光通信

經研究團隊資料的蒐集，該技術用於地面作為通信回傳的設備商並不多，且國內產學研對此研究領域的投入稀缺，研究團隊認為主要可能是其功率使用受國際標準之限制，與用於地面傳輸容易受霧氣與霾害之影響，以及於光傳輸過程如何及時對焦等關鍵技術受限。目前市場常見設備商有 Moctkom、Fsona、Cablefree 與 Transcelestial 等，其傳輸速度皆為 1 Gbps 以上，且最高可達 40 Gbps，但傳輸距離多不超過 2 公里，若與免授權之微波裝置以 1 Gbps 和 2 公里的設備成本（約莫新臺幣 5 萬）相較之下，該技術之設備近乎貴 20 倍以上，確實凸顯不符效益。但若考量以 10 Gbps 以上的速度作為短距離無線回傳鏈路，就勢必須以自由空間光通信為最佳方案，主要是當前免授權之微波點對點技術無法一次性提供如此高的頻寬速度，除非以多部設備來擴增速度，但此方式又可能會因為頻道間隔過於鄰近而造成干擾問題，而無法乘倍的擴大傳輸，即使使用免授權 60 GHz 裝置需面臨天候上可能嚴重的雨衰問題。本計劃所評估之自由空間光通信市場設備，依設備品牌與功能差異，傳輸速度 10 Gbps 之設備所需經費大約落在新臺幣 100～120 萬區間，額外之網路通信相關設備與架設勞務仍需多保留新臺幣 20 萬的預算。

(二) 微波通信

各種類型的微波站，由於功能不同，相對應配備的設備也不同。微波電臺的設備包括天線、收發訊號機、調變器、多工器以及電源設備、自動控制設備等，多個收發訊號機可以共同使用一個天線而互不干擾。

為完成本年度實驗，由去年開始陸續訪談各微波廠商，根據訪談蒐集到之微波鏈路建置相關資訊；目前市場上 7 GHz 需執照頻段固

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

定微波的情況，一套僅具有基礎通信且無備援系統的 7 GHz 微波鏈路建置成本約莫新臺幣 3 百~4 百萬元，此價格為兩站臺的室內型微波機與天線等相關完整設備，且包含勞務建置費用；但此成本不包含頻率使用費、電臺執照等相關行政規費。同時需要注意本建置價格為建置場域已有可用於架設的微波塔與微波機機房等相關建置環境，因此如建置場域並未有可架設環境則建置成本還需增加。

而對於免授權執照頻段的短距離傳輸微波設備，因其天線尺寸較小故架設較為容易，目前市售之短距離傳輸微波設備架設時僅需確保通信鏈路兩點之間為可直視且無遮擋物，其尺寸與重量僅需於架設地點提供一抱桿即可架設；並且用於短距離傳輸之特性因此射頻發射單元功率也較低，僅需一條 PoE 即可滿足其供電需求，因此在放置機房的選擇上也較為容易；目前市售之此種類免授權執照頻段微波產品建構一條鏈路所需硬體成本約莫新臺幣 4 萬元內，但需注意此價格僅包含微波設備硬體並不包含勞務與架設環境建置等費用。以本次建置的免授權執照頻段微波系統鏈路為例，因其微波設備的體積與重量皆遠小於需執照微波系統設備，多數情況下天線架設環境可簡單於既有的微波鐵塔上搭設或於空曠樓頂增設一抱桿架設，因此本次建置建置的價格會低於需執照微波系統的勞務與建置花費，但因微波通信視距通信之特性，部分狀況如通信鏈路之間有樓房阻擋，此類情況下仍需高空作業設置天線以避免微波傳輸路徑受遮蔽物阻擋，計算成本需視有無高空作業的需求，如表 5-31 所示，相關微波設備費用則依具品牌與功能性差異略有差異，依據此次採購之建置成本可初步估計一條兩個電臺的鏈路建置約莫落於新臺幣 8 ~20 萬元不等。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 31、免授權執照頻段微波設備與建置費用

專案	費用（新臺幣）
5.8 GHz 微波設備	5,000
60 GHz 微波設備	16,000
包含高空作業的建置與材料	105,000
一般作業建置與材料	84,000

資料來源：本研究整理

(三) 5G FWA

5G FWA 用戶端的主要設備為 FWA 傳輸設備和 VPN 路由器，除了硬體設備之外，布建時通常還需要有固定 FWA 傳輸設備的抱桿，網路線，這部分需要看場地的狀況做調整，因為是使用電信業者的 5G 行動網路，所以會用網路月租費用，目前申辦的 5G 固定網際網路協定位址（Internet protocol address, IP address）方案的月租費是新台幣 2,999 元，有 600 GB 的不限速 5G 傳輸量，傳輸量超過 600 GB 後使用 4G 無傳輸量限制方案但是有限速 21 Mbps，此次在警察局的微波站點架設考慮到以不破壞原有場地為原則，所以是使用微波站現有的抱桿或鐵架固定 FWA 設備，再依現場環境拉設網路線，此次布建一條 50Mbps 5G FWA 鏈路設備（FWA+VPN 路由器）費用約 13 萬元，5G 月租費 5,998 元，不含施工安裝費用，實際架設使用之設備價格則依品牌與使用上之功能性差異，略有差異，可初步評估建置一條鏈路成本約莫為新臺幣 15 萬元區間。

三、 其他考量因素

(一) 自由空間光通信

礙於技術並非傳輸之主流，需多考量後續國內代理上的技術支援與維護。作為回傳鏈路的必要條件為可靠性，當前作為無線通信傳輸多以微波為主，容易受天候降雨影響，光通信則尤受霧氣影響為主而衰減傳輸程度如表 5- 32 所示。此外，光束的對焦偏移亦有可能來至於裝置的震動，因此在強風豪雨也可能帶來些影響。光的傳輸經由設

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

備至大氣中之玻璃面，雖有防污塗層的處理，但仍有可能長時間使用下造成鏡面髒汙而降地傳輸效益，這都是未來仍需觀察與多注意的事項。

為確保自由空間光通信系統的正常運作和效能，可以透過多種方法來實現。首先，需要精確計算傳播參數，包括大氣因素、分子吸收、氣溶膠散射和閃爍等。其次，可以考慮應用微波與該技術的混合使用，特別是在可能受到降雨等影響的情況下，這有助於提高系統的穩定性。此外，還需注意環境光線的影響，如太陽或太陽反射光的干擾，以及太陽位置與光鏈路平行的情況、太陽光經水面反射等，對此評估我國所處緯度於各時節的日出日落方位如圖 5- 48，經分析於架設上應避開 54 度至 123 度及 236 度至 305 度的朝向布建，緯度越高則需避開更多方位布建限制。在系統設計中考慮上述這些影響因素，若能充分了解其傳播因素及估算其參數，並在鏈路設計中考慮各種可能的影響因素，將可有效提高系統的穩定性，以確保自由空間光通信系統的正常運作和效能。

表 5- 32、國際能見度表

<table>
<tr><th>天氣條件</th><th colspan="3">降雨量
（mm/hr）</th><th>能見度</th><th>衰減
（dB/km）</th></tr>
<tr><td>重霧
（Dense fog）</td><td rowspan="9"></td><td colspan="2"></td><td>0 公尺</td><td>--</td></tr>
<tr><td rowspan="2">濃霧
（Thick fog）</td><td colspan="2"></td><td>50 公尺</td><td>315</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>200 公尺</td><td>75.3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中等霧
（Moderate fog）</td><td colspan="2"></td><td>500 公尺</td><td>28.9</td></tr>
<tr><td rowspan="5">輕霧
（Light fog）</td><td>暴雨
（Cloudburst
）</td><td>100</td><td>770 公尺</td><td>18.3</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>1 公里</td><td>13.8</td></tr>
<tr><td rowspan="3">薄霧
（Thin fog）</td><td>大雨
（Heavy
rain）</td><td>25</td><td>1.9 公里</td><td>6.9</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>2 公里</td><td>6.6</td></tr>
<tr><td>陰霾</td><td>中雨</td><td>12.5</td><td>2.8 公里</td><td>4.6</td></tr>
<tr><td colspan="4">雪</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

天氣條件	降雨量（mm/hr）		能見度	衰減（dB/km）
（Haze）	（Medium rain）			
			4 公里	3.1
輕霾（Light haze）	小雨（Light rain）	2.5	5.9 公里	2.0
			10 公里	1.1
晴天（Clear）	毛毛雨（Drizzle）	0.25	18.1 公里	0.6
			20 公里	0.54
大晴天（Very clear）			23 公里	0.47
			50 公里	0.19

資料來源：ITU-R P.1817-1[113]

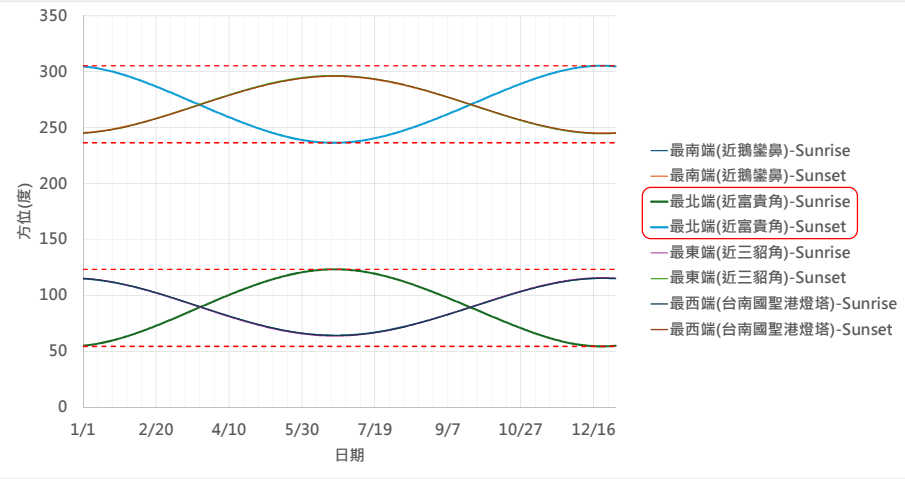


圖 5- 48、臺灣日出日落方位

資料來源：本研究整理

(二) 微波通信

微波傳播透過大氣層，因此從本質上來說微波傳輸暴露於環境中，因此微波站臺取決於所在位置的不同將遭遇不同的天氣變量，如天線就可能會受到不同強度的雨、冰雹、雪、霧等天氣影響，甚至有可能碰到極端溫度和危險強風，更嚴重會有接觸雷擊。環境條件不佳會破壞微波鏈路傳輸，因訊號受環境與天氣影響產生反射或折射可能

[113] ITU-R P.1817-1 Propagation data required for the design of terrestrial free-space optical links

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

極大的降低接收訊號的功率水平。尤其是隨著傳輸頻率的提高，更容易受到天氣影響。因此在這邊整理出根據本次實驗所歸納出本項通信技術所需其他架設考量因素：

以微波站臺建置情形來說，若微波鏈路在兩地直接通信，但天線架設高度有限，當通信距離超過一定距離後，電磁波傳播將因地球表面是曲面從而受到地面的阻擋。並且在規劃架設時也須注意臺灣地小人稠的特性，如規劃的微波站臺地點位於平坦市區或發展快速之地區則須注意未來區域發展規劃，於微波鏈路建置完成後如有新建高樓於微波通信鏈路之間將可能造成微波鏈路的通信問題。

我國為海島地形，於特定季節會有強烈的季風之狀況。但微波鏈路建置時有相當的施工內容需要高空作業，因此將可能造成一年內可建置的時間有限；同時此作業從業人員人數有限，完成工期亦須與施工廠商協調。

以微波系統特性來說，在高於 10 GHz 頻率以上的鏈路，由於降雨發生所產生的衰落會限制鏈路的路徑長度，而在低於 10 GHz 頻率以下的鏈路，雨衰對路徑長度的影響有限。因此低於 10 GHz 的頻率較適合長距離通信網路傳輸，而高於 10 GHz 的頻率較適合應用於短距離通信網路傳輸，相關微波特性資料整理如表 5-33 所示，同時如使用免授權執照頻段作為微波頻段時也應注意當前環境中該頻段使用者數量，選擇乾淨頻道用以通信傳輸，即可避大幅減少免干擾情況發生。，另外由圖 5-49 可得知 0~1000 GHz 電磁波因為大氣的水氣和氧氣造成的衰減特性，亦可作為使用上之參考。

表 5-33、微波傳遞特性與設備建議鏈路長度

頻段名稱	使用頻段	傳播影響因子	微波設備建議鏈路長度（公里）
4	3.6-4-2	多路徑衰減大、雨衰影響很小	24-70
U4	4.4-5	多路徑衰減大、雨衰影響很小	16-60

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

5（unlicensed）	5.3、5.4、5.8	多路徑衰減、部分雨衰影響	~50
L6	5.925-6.425	多路徑衰減、部分雨衰影響	16-50
U6	6.425-7.125	多路徑衰減、部分雨衰影響	16-50
L7	7.125-7.425	多路徑衰減、部分雨衰影響	10-50
U8	8.275-8.5	多路徑衰減、部分雨衰影響	10-50
10	10-10.7	多路徑衰減、部分雨衰影響	10-20
11	10.7-11.7	多路徑衰減、部分雨衰影響	10-20
13	12.7-13.25	多路徑衰減、雨衰影響	6-20
15	14.4-15.35	多路徑衰減、雨衰影響	6-20
18	17.7-19.7	雨衰影響	2-20
23	21.2-23.6	雨衰影響、大氣層影響	2-20
26	24.25-26.5	雨衰影響、大氣層影響	2-20
28	27.5-29.5	雨衰影響、大氣層影響	2-15
32	31-33.4	雨衰影響、大氣層影響	1.5-10
38	37-40	雨衰影響、大氣層影響	1-10
42	40.5-43.5	雨衰影響、大氣層影響	1-10
60（unlicensed）	57-66	雨衰影響、大氣層影響	~1
80	71-76/81-86	雨衰影響、大氣層影響	~5

資料來源：ITU「無線電規則」、COMMSCOPE 技術文件、本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

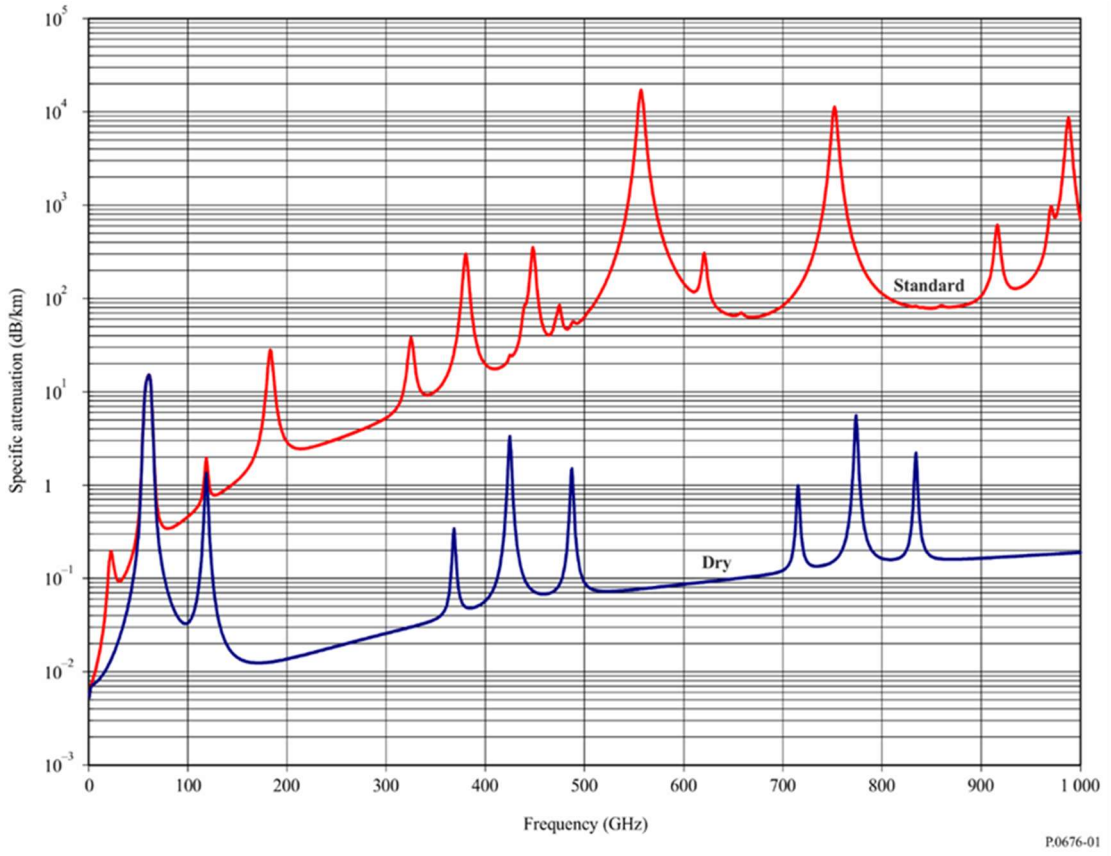


圖 5- 49、0～1000 GHz 每公里大氣衰減

資料來源：ITU-R P.676-13

(三) 5G FWA

因為用 5G 行網架設點對點傳輸時需要建立 VPN 通道以保障資料的安全性，所以須搭配 5G 行動網路固定 IP address 的方案，此方案目前國內電信業者提供，但都有傳輸量限制，一旦超過傳輸量會切換到 4G 傳輸且限速，資料傳輸速率也會受到影響。在傳統微波傳輸的中會使用類同步數位階層（Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH）及同步數位階層（Synchronous Digital Hierarchy, SDH）這兩種資料傳輸網路，有別於乙太網路的封包交換的概念，PDH 及 SDH 通常會和電路交換技術搭配使用，在通信的雙方之間會建立一個持續的物理或邏輯連接，也就是會持續佔住頻寬資源，當 PDH 和 SDH 跟封包交換技術結合，會在通信的雙方之間用偽線技術模擬電路交換服務，使其能夠在乙太網路架構中進行傳輸，偽線會持續占用網路資源，即使沒

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

有實際的資料傳輸需求，因此對於有流量限制的網路而言比較不適合，或者只能使用於業者保證的最小傳輸速率上，因為這種方案通常沒有流量限制，傳輸速度也比較穩定。

5G 使用的頻譜效率以目前國內業者所提供速度最快的下載和上傳平均速度總和約 388MHz，使用 90MHz 頻寬，頻譜效率約 4.3bps/Hz，一座基地臺通常會有 3 個方向，所以這 3 個方向會重複使用同樣的頻譜，因此一座基地臺的頻譜效率會是 12.9bps/Hz，要有完整的 5G 行網涵蓋率基地臺的密度不能太低，根據 3GPP TR38.901 所描述，在一般城市大約每 500 公尺會有一座大型基地臺，每 200 公尺會有一座微型基地臺，在郊區每 1732 公尺會有一座大型基地臺，因此 5G 行網的頻譜密度會再進一步的提昇，而一般微波頻譜效率最高約 10 bps/Hz 左右，涵蓋距離從數公里到數十公里，和微波系統相比，5G 的頻譜使用會比較有效率。

(四) 總體比較

針對三種替代技術此次實證的結果和特性整理如表 5- 34 所示。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 34、替代技術特性比較表

	FSO	5.8 GHz 免授權微波	60 GHz 免授權微波	5G 固定無線接取
波長/頻段	1550 nm	5.15～5.85 GHz	57～71 GHz	3.42～3.51 GHz
設備規格書建議距離	<3 公里	<30 公里	<12 公里	距離不受限
測試鏈路距離	700 公尺	600 公尺	240 公尺	1.4 / 34.3 / 8.3 公里
設備安裝時程	1 日	1 日	1 日	1 日
平均測試傳輸速度	2,340 Mbps	242 Mbps	935 Mbps	47 Mbps
設備成本	約 100 萬	約 1 萬	約 4 萬	約 15 萬(含 IPSec)
傳輸成本	無	無	無	5G 電信資費
注意事項	瞬時降雨和霧氣造成能見度下降會影響傳輸品質，可以傳送 IP 或 TDM 協議的資料，最快速度可以達到 10Gbps	與 WiFi 使用相同頻段，受干擾的機會高，受大氣因素影響小，此次實證的設備適合傳送已 IP 化之資料。	強降雨下可能降低傳輸速度，雨衰較嚴重，此次實證的設備適合傳送已 IP 化之資料。	站點週邊需有行動網路基地臺，受大氣因素影響小，受 5G 行網傳輸效能影響，傳輸速率變化較大，適合傳送已 IP 化之資料。

資料來源：本研究整理

第三節 頻譜重耕（refarming）技術研析

本節將對於頻譜重耕技術進行相關研析，由於頻譜分配屬於嚴格之國家政策，需要有相關法律基礎與管理方式來進行，因此除了對於頻譜重耕策略進行探討外，亦會對國際間相關過去案例進行探討解說，再依相關技術方法分類做深入了解，祈能供未來頻譜規劃路線有所依循。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

一、 頻譜重耕簡介

(一) 背景介紹

過去二十年，從類比系統到數位系統之轉換，行動通信由 2G 轉換為 3G 到 4G 長期演進技術（Long Term Evolution, LTE）和 5G，無線技術經歷了巨大變革。人們對於頻譜之使用、無線通信之依賴性與日俱增，各種與頻譜有關之智慧應用蓬勃發展。

依據頻譜管理角度而言，為應對頻譜資源的稀缺和珍貴性與不斷增長的行動寬頻服務需求，在滿足頻譜分配和相容性的前提下，合理規劃和分配頻譜資源，達到避免頻譜碎片化和干擾發生之可能是每個國家都必須面對的課題。

頻譜重耕即是一種頻譜管理之策略行為，其目的是最大化頻譜的使用效率。通常涉及將頻譜由原先分配之無線系統轉移到另一種無線系統，例如從 4G 轉移到 5G。這需要精確的頻譜分析和規劃，以確保新的系統可以有效地使用頻譜，而不會干擾到其他系統。

以技術性角度視之，頻譜重耕可以實現先進技術的平滑演進，減少網路建設的成本和複雜度，並保證用戶的服務品質不受影響並升級。頻譜重耕規劃得當可以提高網路容量和涵蓋範圍，滿足不同場景和使用者的多樣化需求，支援 5G 的創新應用和服務。在保持原有技術的服務品質和使用者體驗的同時，逐步減少舊有技術頻譜占用，並鼓勵頻率使用者轉移到新的技術與服務上。

在完成頻譜重耕後，對新的技術導入前需進行全面的測試和驗證，除確保既有使用者不受影響外，其電波涵蓋範圍，通信品質和傳輸資料吞吐量也應達到預期的目標，最終提升頻譜使用效率。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 頻譜重耕之定義

依據 ITU 之定義[114]，頻譜重新布建（即頻譜重耕）是行政、財務和技術措施之結合，意旨將現有頻率指配之使用者或設備，完全或部分由特定頻段中移除。然後，頻段可以被重新分配給相同或不同的服務，這些措施於短期、中期或長期實施。而 FCC 則於 PR 案卷編號 92-235[115]中提及，「重耕」是通知和評論頻譜分配規則制定程序的非正式名稱，美國當時之頻譜重耕於 1992 年啟動，為制定一項總體策略，讓使用專用陸地行動無線電（Private Land Mobile Radio, PLMR）更為有效分配於頻譜中，進而滿足未來的通信需求。

(三) 頻譜重耕之重要性

頻譜重耕是一種經濟效率之方法，能增加既有之通信系統容量，而不必依賴競標新頻譜。依據頻率對應場景討論，較低的頻率具備較高的頻率涵蓋能力，穿透損耗更小，從而實現更好的鄉村涵蓋，進而解決城鄉之間的數位落差。同時，低頻段提供的更高的建築物穿透因素也可改善的城市室內之網路涵蓋。低頻段的涵蓋範圍還可以提高服務品質（Quality of Service, QoS），減少移動時基地臺間之轉換，並且無線網路服務提供者（Internet Service Provider, ISP）得以降低基地臺設置密度，以更低的成本提供服務。而在人口密集地區，較高的頻率也會提供更大的頻寬，能容納更多使用者或需要更大資訊傳輸量之應用服務。並且頻譜分配也應配合 ITU 確定之統一頻段，降低邊境地區遇到的跨國干擾風險，促進國際上設備通信漫遊。

綜合上述頻譜重耕帶來之好處如下：

- 降低成本。

[114] RECOMMENDATION ITU-R SM.1603-2

[115] FCC(2016/5/17), Private Land Mobile Radio Services, https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/private-land-mobile-radio-services

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 選擇適合頻譜資源。
- 增加既有系統容量。
- 提高頻譜效率。
- 優化頻譜管理、降低干擾。
- 新技術平滑導入。

由於行動通信的持續發展。從最初僅提供語音服務，迄今使用寬頻分碼多重接取（Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA）、高速封包接取（High Speed Packet Access, HSPA）和 LTE 乃至新無線（New Radio, NR）提供行動寬頻服務。此外 4G、5G 共存需要求額外頻寬，導致頻譜需求提高，再加上 5G 需要更多的傳輸容量推動相關應用，我國亦於 2024 年 6 月 30 日關閉 3G 網路，將頻譜提供給 LTE 或 5G 使用，上網或是語音服務，只能透過 LTE、5G 網路進行，也刺激了頻譜重耕之需求。ITU-R M.2160 描述對於國際行動通信（International Mobile Telecommunication, IMT）的總體框架，對現有 IMT 的增強與互通。

目前我國 5G 發展就涵蓋率而言領先許多國家，即便網路基礎建設接近完成，用戶滲透率相對較低，主因為 5G 相關應用產業發展才剛開始進行。5G 對於頻譜之需求將隨著技術的進步和市場的發展需求逐漸擴增，如圖 5-50 預計未來將會有更多的應用出現，進一步推動 5G 的普及。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

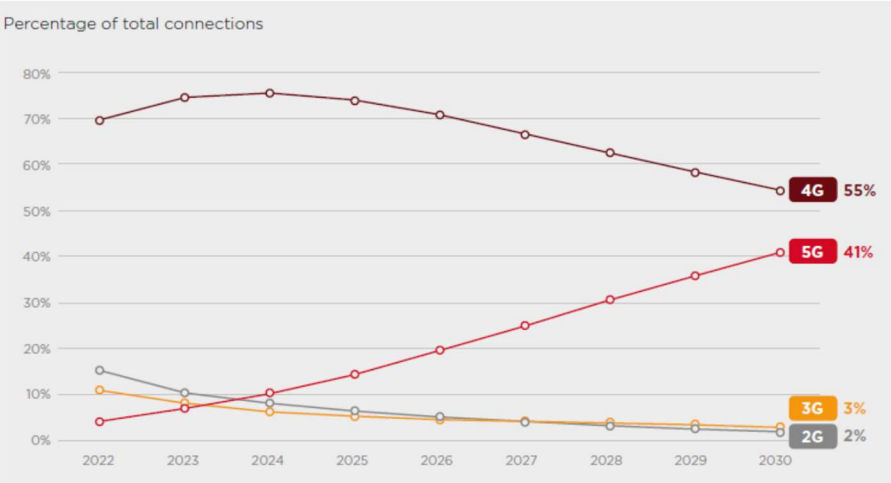


圖 5- 50、亞太地區行動通信技術使用預測

資料來源：GAMA

二、 國際頻譜重耕案例介紹

頻譜重耕涉及重新分配頻譜資源以提高使用效率和滿足新興技術的需求。在國際上，許多國家都曾實施頻譜重耕計劃，提供快速發展的無線通信服務，特別是 5G 行動網路。在國際案例中，可以借鑒不同國家根據自身的需求和挑戰來規劃頻譜重耕，這些案例提供了寶貴的經驗，對於欲實施頻譜重耕前具有參考價值。這些實例能幫助我們理解不同國家在頻譜管理上的策略和做法，了解如何有效地進行頻譜重耕，以及如何克服其中的挑戰，並揭示頻譜重耕對於提升網路品質、促進技術創新和滿足市場需求的成果以及頻譜分配的重要性。

(一) 瑞典

瑞典的 900 MHz 頻段重耕主要分為三個階段[116]。首先，2008 年時，將業者擁有的執照更新，並從 2×30 MHz 擴展到 2×35 MHz，為全球行動系統（Global Mobile System, GSM）服務提供額外的頻寬。

[116] GSMA, 900MHz Band Refarming Case Study — Sweden, https://www.gsma.com/spectrum/resources/900mhz-band-refarming-case-study-sweden/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

瑞典郵政電信管理局（Swedish Post and Telecom Authority, PTS）認為，此舉確保了 GSM 服務之安全並有效利用頻段資源。

第二階段於 2009 年時，將兩個現有行動業者 Tele2、Telenor 之 2×2.5 MHz 的頻譜轉讓給無法使用 900 MHz 頻段的行動業者 HI3G。這一階段的目標是透過頻譜交換，重新配置每個被行動業者的連續頻譜，使其頻段可分割成 7 個 2×5 MHz 的區塊。HI3G 透過二級市場交易成為第五個 900 MHz 頻段的行動業者，獲得了 925-930/880-885 MHz。PTS 認為這筆交易有助於增強市場競爭，因此予以核准。

第三階段於 2011 年在頻段重新配置完成後，取消對 GSM 技術的限制。從 2011 年 5 月 24 日起，技術選擇和實施技術升級的時間成為商業決策，但必須符合與頻譜鄰居協調管理干擾風險的要求。

其相關過程如圖 5- 51。此案例具備了以下特性：

- 技術中立性：允許使用任何技術，允許具備執照者選擇最適合其服務的技術，增加了靈活性。
- 服務中立性：允許提供任何類型的服務，促進了創新，服務中立意味著頻譜使用權不限定於提供特定類型的服務。
- 頻譜部分轉讓：增加了市場的流動性。
- 國際協調：促進頻譜使用一致性。
- 業者自主性：使用自願性方法讓行動業者達成共識，其行動技術選擇和實施技術升級的時間點都是商業決策。
- 技術演進：促進全球行動通信系統（Universal Mobile Telecommunications System, UMTS）和 LTE 於 900 MHz 頻段的技術演進。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

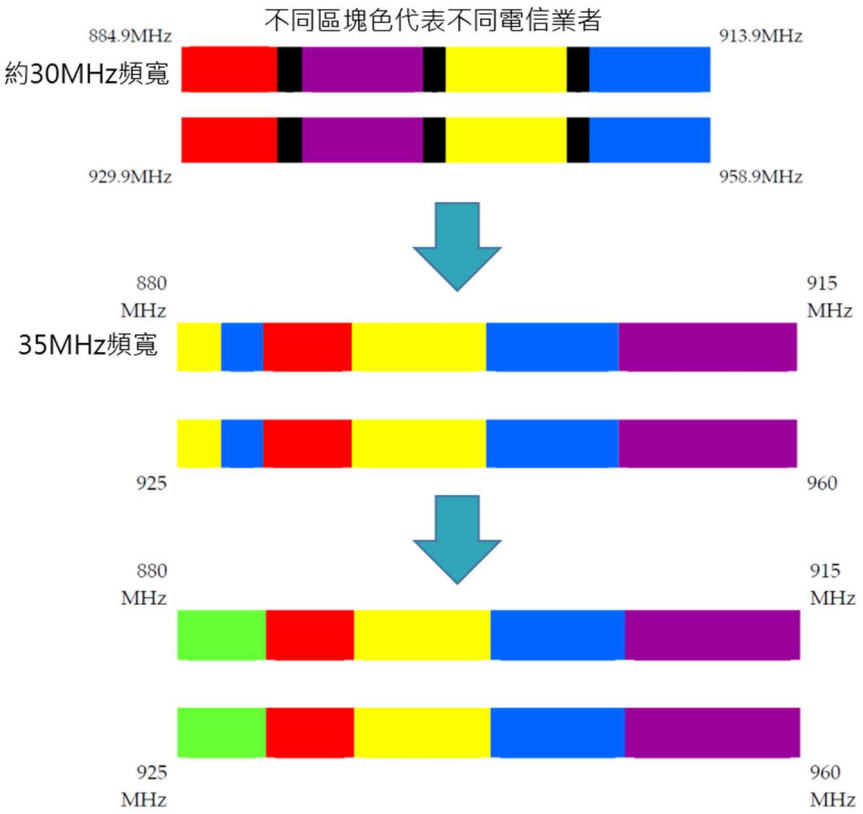


圖 5- 51、瑞典 900 MHz 頻譜重耕過程

資料來源：GSMA Resources、本計劃修改

瑞典的 1800 MHz 頻譜重耕第一階段於 2009 年進行了公眾諮詢，並於 2010 年 PTS 公布了延長現有執照的有效期決定，讓現有行動業者適應這項調整。續期後每個執照持有者之頻寬大約減半，每個執照包含 2×10 MHz 頻寬，由於執照續期導致 2×40 MHz 的 1800 MHz 頻譜於 2013 年 1 月 1 日閒置。第二階段 PTS 決定 2011 年拍賣其中的 2×35 MHz 頻寬，在更新執照的過程中，PTS 事先為即將舉行的 1800 MHz 頻段拍賣諮詢有興趣的執照持有者，並於 2011 年 8 月核准了三名現有執照持有者中之二名於二級市場交易，這為其共同擁有的網路公司成為幾個月後 1800 MHz 頻段拍賣的註冊投標人奠定基礎。第三階段，1800 MHz 頻段頻譜重耕於 2011 年 10 月完成。這項重耕結果

如下，自 2013 年 1 月 1 日起，Net4Mobilty 持有 1745-1780/1840-1875 MHz（2×35 MHz）頻段的使用權，TeliaSonera 持有 1710-

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1745/1805-1840 MHz）頻段的使用權，行動業者得以於此頻段布建2G、3G 技術以及在技術上可以與 GSM/EDGE/GPRS 和 UMTS/HSPA 共存的 LTE，即重耕後行動業者可以根據自己的技術與市場選擇商業和技術策略，並且頻譜使用變得更符合技術中立。

這個重耕過程反映了瑞典在提升行動通信服務方面的努力，並且顯示了技術進步和市場需求如何驅動政策和規範的變化。透過這些過程，瑞典能夠更有效地利用其頻譜資源，為消費者提供更好的服務，同時也為行動業者創造了新的機會。

總結上述，瑞典在 900 MHz 與 1800 MHz 頻段進行的頻譜重組過程不僅反映了技術進步對電信政策的影響，也展示了如何透過市場導向的方法來有效利用頻譜資源。

而其頻譜重耕上同樣仰賴於行動通信共存技術之發展，其中幾項關鍵技術可使行動業者 3G 系統平順轉移至 LTE：

- 頻譜共享：當 2G 網路上的服務負載低於特定值，空閒的 2G 頻譜資源可以與 3G、LTE 網路共用。當 2G 網路上的負載高於特定值時，2G 網路回收共享頻譜資源。高效能系統與舊有技術之間的頻譜共享可以增加網路吞吐量並降低傳輸之成本。
- 多接取技術天線方案：使用多端口、多頻段的天線，更現代化之硬體，使用能夠在混合模式下運作的多標準產品。
- 退回電路交換（Circuit Switch Fallback, CSFB）：當 LTE 終端設備需要進行語音通話時，會從 LTE 網路切換到 3G 或 2G 的電路交換網路。
- 雙模終端設備：使用者的手機需要支援 3G 和 LTE 兩種模式。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 多接取技術頻率分配117：可採邊緣頻率分配或三明治頻率分配，邊緣頻率分配只需要單邊護衛頻段，三明治頻率分配的好處是不需要考慮對其他業者對系統的干擾，但需要兩側之護衛頻段，其配置示意圖可參考圖 5- 52，上圖為邊緣分配，下方為三明治頻率分配。

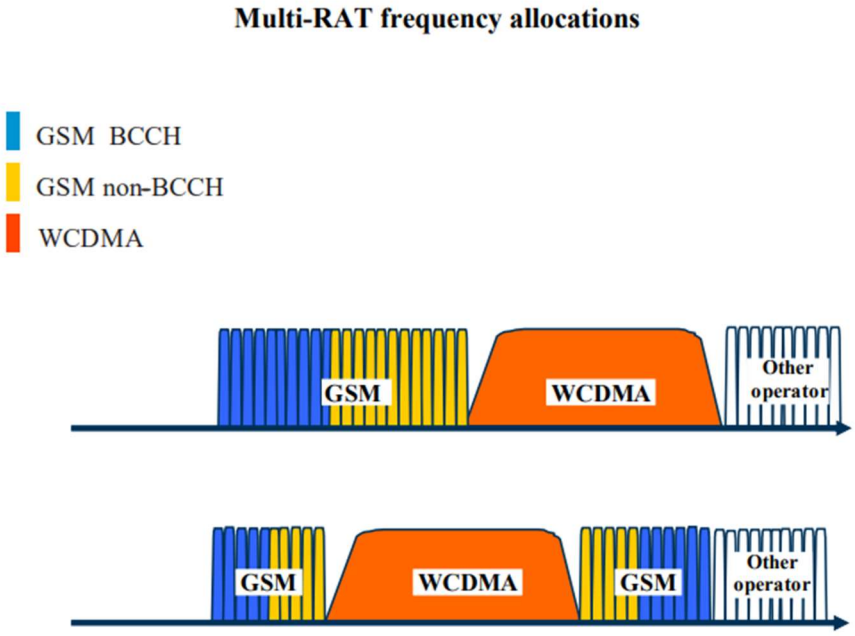


圖 5- 52、多接取技術頻率分配圖

資料來源：ITU IMT Handbook

(二) 澳洲

以澳洲的數位紅利（Digital Dividend）為例[118]，探討 700 MHz 頻譜重耕的過程。這是一項重大的微觀經濟改革，涉及了免付費電視數位化和類比電視的關閉，整個重耕過程分為三個階段：

[117] ITU-R(2015), Handbook on Global Trends in IMT Edition of 2015, https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-62-2015-PDF-E.pdf

[118] TelSoc(2013/2), The 'digital dividend' as a case study in spectrum re-farming, https://telsoc.org/journal/tja-v63-n1/a391

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 階段一，1993-2000 年期間，促進類比電視服務的數位化，藉由電視行業本身需求來驅動，在這階段詳細規劃了類比和數位電視的同播做為最終替代類比的第一步驟。
- 階段二，自 2001-2007 年期間，主要是培養經驗與建置基礎的時期。政府在大多數主要市場開啟數位電視服務，除了審查外，也適當調整監管設置以增加接受度。
- 階段三，從 2007 年開始將重心放在如何關閉類比電視。在這個階段，許多電視頻道回收後可能產生的頻寬才受到詳細關注，並且類比關閉被認為是達到目的其中手段，實際則是頻譜重耕整體之收益。

由圖 5- 53 可見得綠色頻道表示五個電視網路正在使用的頻道;紅色和藍色的頻道表示兩個未分配的頻道，稱為通道 A（紅色）和 B（藍色）。黃色陰影區域顯示釋放出的 126MHz 頻寬位置。頻譜利用率低，這比較凸顯了頻譜規劃面臨的一個更普遍的挑戰，即如果頻譜要遷移到其最具附加值的用途時，不同行業不相容的系統仍有頻譜需求，政府需要能雙邊調和的解決方案或定制特定頻段進行收容。這項頻譜重耕策略將廣播數位電視頻段收攏於 520-694 MHz，並釋出 IMT APT 700 頻段 703-803MHz，共 112 MHz 包含前後護衛頻段，與上下鏈隔離頻段，如圖 5- 54。

此頻譜重耕帶來之結果使得澳洲的 700 MHz 頻譜分配與 APT 700 MHz 計劃同步，為行動寬頻提供了更多的頻譜，甚至比當時比美國（108MHz）或歐洲（72MHz）具備更多頻譜；同時為電視服務提供新的頻道配置規劃，為廣播服務使用最有效的利用，對於觀眾僅需一個 UHF 天線即可接收所有服務，和電臺能有相同的涵蓋區域。又因 APT 700 MHz 頻譜計劃的成功，獲得全球廣泛採用，便於使用者終端國際漫遊。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

隨著行動通信流量的預測持續增長，對於進一步的頻譜分配產生了壓力，此案例提供了對於頻譜重耕過程的深入分析，並對未來可能的政策方向需要長期之前瞻規劃提供了洞見。

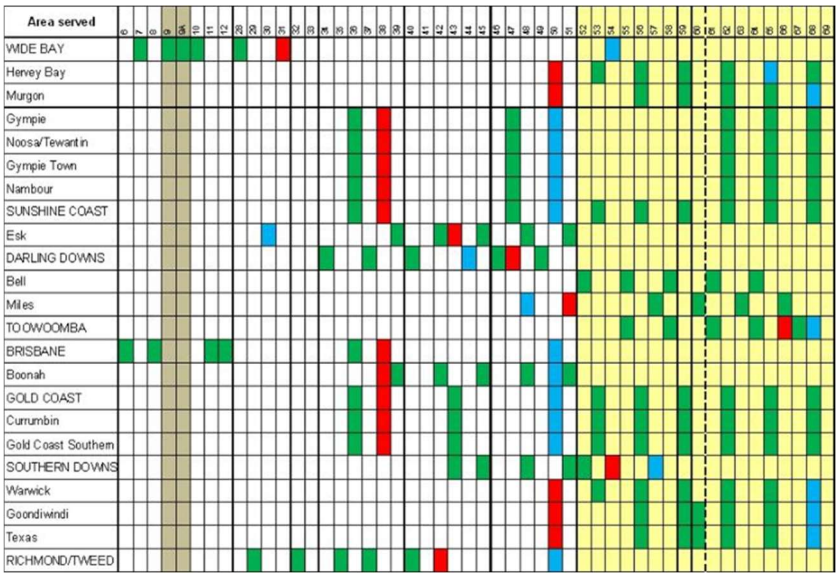


圖 5- 53、澳洲昆士蘭和偏遠地區的計劃電視頻道

資料來源：Telsoc

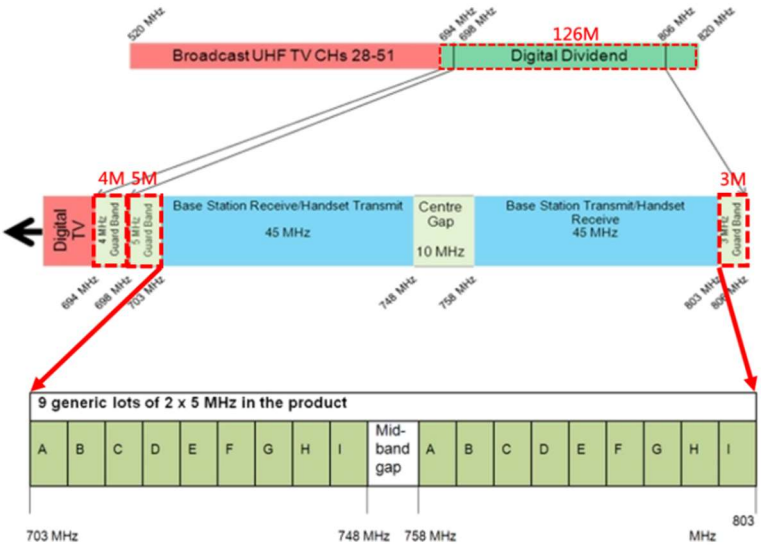


圖 5- 54、澳洲 700 MHz 頻譜重耕對照圖

資料來源：Telsoc、本計劃修改

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

三、 頻譜重耕技術與方法

頻譜重耕涉及到一系列的技術和方法，舉例而言如行動通信系統中之包括載波聚合（Carrier Aggregation, CA）和雙連接（E-UTRAN New Radio Dual Connectivity, EN-DC）。這些技術允許無線網路同時使用多個頻段，從而提高網路的容量和性能。此外，頻譜重耕還需要考慮到頻譜的物理特性，例如頻譜的傳播距離和穿透能力，因此不同頻段之重耕方式或者適合之通信技術並不同。

（1） 依據頻段分配：依據指定的無線電頻率範圍，如 700 MHz、3.5GHz，或進行聚合，一般亦常稱為低頻段，中頻段等。

（2） 無線通信服務技術演進：如 4G LTE、5G NR 等。

（3） 依據實現方法：指頻譜重耕的實現方法，如動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS）、靜態頻譜重耕等。

按照規劃期程：依據 2015 年 ITU 透過之國家頻譜管理手冊 定義頻譜規劃可以依據時間（短期、長期、戰略）進行分類。「長期規劃」是指考慮需要解決的問題或在五到十年內實施的系統的規劃，而「短期規劃」是在三到五年內實施。相較之下，戰略規劃涉及解決數量有限的關鍵事項，需要頻譜管理集中注意，以解決需要十年以上的時間才能實施之頻譜重耕。

(一) 靜態頻譜重耕

靜態頻譜重耕定義：將特定無線通信服務的頻段，重新分配給更高效的技術或新服務的過程。重耕後頻譜的使用為長期固定形式，不依需求即時動態調整。

以行動通信執照頻譜而言，GSMA 建議頻譜重耕應提前（最好在

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

執照到期前至少 3-4 年）[119]明確規定並商定重新分配和續約的方法，以避免基礎建設投資被推遲。在續約的情況下，政府應根據推定進行工作續約和現有執照業者應享有優先購買權;頻譜重耕或不續訂應僅限於市場失靈或嚴重違反頻譜使用條款的情況,透過制定頻譜路線圖提供穩定性、確定性和透明度長期規劃，逐步消除現有行動頻譜使用規範的服務與技術限制，引入更靈活的監管工具，例如頻譜交易和共享，以促進更好的頻譜利用，提升整體頻譜價值，並關注長期社會經濟影響。

技術中立性,為監管單位應對於行動業者能具有自主的技術路線來適應自身之消費者與服務方案。這使得執照行動業者能夠隨著市場的發展而布建對應之技術和提供服務。原始行動通信頻段（和其他頻譜執照）是限於特定技術，例如，歐盟規定只有 GSM 技術才能在 900 頻段布建,然而目前歐盟政策現在是屬於技術中立的。在中立制度下，布建的技術不得對既有使用者造成干擾，例如，既有使用者可能在 1800MHz 頻譜中以分頻雙工（Frequency Division Duplex, FDD）之 LTE 取代 GSM，但不能「改變」或影響分時雙工寬頻接取（Time Division Duplex-Broadband Wireless Access, TDD BWA）技術的使用。

頻譜重耕亦應進行公開書面諮詢,主要是為了確保透明度和公眾參與。能讓相關利益者，包括電信業者、同頻使用者、相關行業代表、專家，可對頻譜的未來規劃提出意見和建議，同時增加決策過程的透明度，確保相關利益者的意見被聽見並獲得反饋，可提升政策的接受度。

另外頻譜重耕也應注意國際協調,除了能夠維持國際必要通信的一致性外，也可以避免跨國干擾，確保各國通信的穩定性。也應遵守 ITU RR 所制定之無線電頻率規則，協助全球實施一致的頻譜政策。

[119] GSMA, How to implement Spectrum Re-Farming, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2017/11/10-Day-2-Session-3-How-to-Implement-Spectrum-Refarming-Shola-Sanni.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 5- 55 為綜合上述所擬之靜態管理框架。

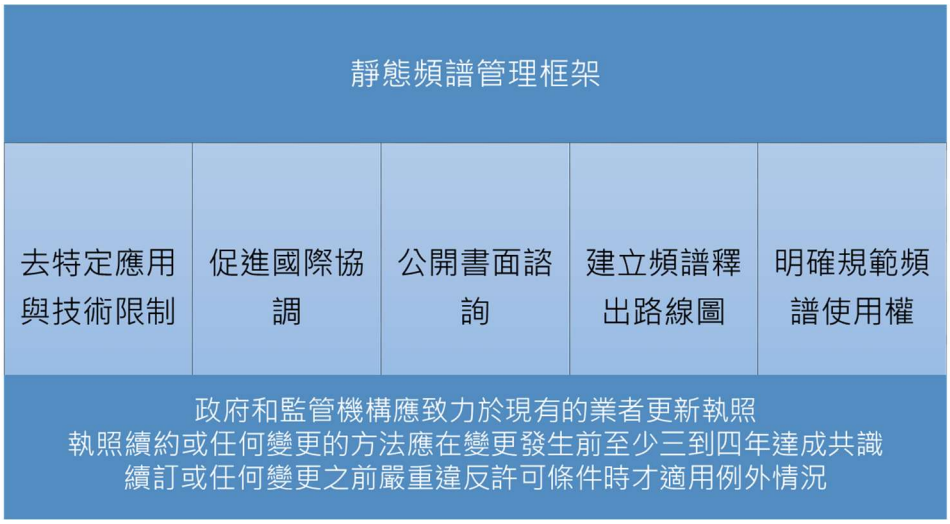


圖 5- 55、執照頻段靜態頻譜管理框架

資料來源：GSMA、本計劃修改

另外對於國家頻譜利用長期戰略方法 ITU-R SM.2015-2[120]提供了許多監管上的流程建議，長期規劃相關流程在文獻中有詳細之討論。整理相關流程如下圖，這個方法適用長期規劃之頻譜重耕，其中包含多準則決策方法（Multi-criteria decision-making, MCDM）報告中提到了層次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP），這是一種多準則決策方法，用於選擇替代方案時的評估。

需求與頻譜可用性評估：評估包括需求面和頻譜可用性的多個標準，如新通信技術的前景、目前現有服務的利用率、以及相關國際標準和主要國家趨勢之一致性。

[120] ITU(2015), Methods for determining national long-term strategies for spectrum utilization, https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2015

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

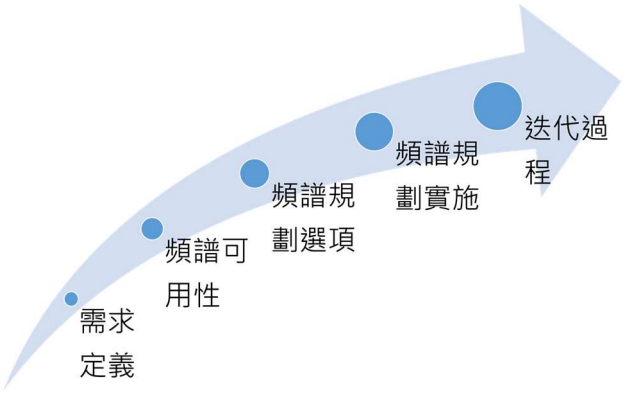


圖 5- 56、長期頻譜規劃流程

資料來源：ITU-R SM.2015-2、本計劃修改

(二) 動態頻譜重耕

動態頻譜重耕定義：靈活調整頻譜管理之策略，允許在同一頻譜帶內同時布建和運行多種無線通信技術，並依據使用者需求和特定條件動態地調整頻譜的使用。

其中動態頻譜共享指根據用戶的需求和網路的狀態，動態地分配頻譜資源給不同的技術，如基於子幀、子載波、符號等級別的分配。動態調整指根據用戶的需求和網路的狀態，動態地調整頻譜資源的分配比例和模式，如基於負載、優先級、策略等因素的調整。另外頻譜共享也是另一種頻譜重耕技術方法，認知無線電（Cognitive Radio, CR）能動態地排序和配置，選擇周邊環境中使用最佳頻道，避免使用者間互相干擾和擁塞。CR 透過自動檢測可用頻道並相應改變其傳輸或接收參數來實現這一點。CR 能夠根據環境資訊和其他具備 CR 的設備進行資料交換，自主地調整設置以提供所需的資料傳輸量。這是實現頻譜共享的關鍵技術，有助於在不干擾已授權傳輸的情況下利用未使用的頻率或時隙。舉例而言 IEEE 802.22 標準就是第一個基於 CR 感知的無線區域網路標準，系統利用地理位置和頻譜感知來辨別可用的頻道，並避免干擾已授權的傳輸通道。這些技術促進了頻譜使用效率，特別是目前許多頻段因固定頻譜分配而降低使用效率。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

對於行動網路而言，DSS 技術亦屬於動態頻譜重耕之範疇，DSS 的作用是在不影響本質的情況下允許將 5G NR 使用者調度到 4G LTE 的頻譜上，這種對現有系統使用者的動態資源分配稱為動態頻譜管理（Dynamic Spectrum Management, DSM）。下列將以不同系統建立模式進行探討。

- 非獨立模式下的 DSS：在非獨立模式（NSA）的 5G 網路布建中，DSS 首次進行試驗。此模式需要 LTE 指定載波用於交換控制與信號資訊。5G 裝置透過雙連接技術，能夠同時連接至 LTE 與 5G 無線接取網路（Radio Access Network, RAN），並在適當配置下，使 5G 載波與 LTE 載波共存於同一頻段。

- 5G 獨立模式下的 DSS：DSS 是一種技術，透過結合 3GPP 的第 15 版中不同的基礎功能，特別為 LTE 基地臺的專用參考信號（Cell Specific Reference Signal, CRS）設計了一種速率匹配演算法。這使得 5G DSS 能夠在 LTE 的基地臺訊號涵蓋範圍內實現與 4G LTE 的頻譜共享。隨著 3GPP 的第 16 版的發布，新增了若干功能，如 PDSCH 映射類型 B 的擴展，以及相較於第 15 版，對多個 LTE CRS 速率匹配模式的支援。這些改進為 5G 獨立模式下的頻譜利用提供了更多的靈活性和效率。

- TDD 與 FDD 間的 DSS：在同一頻段下使用 DSS 時，可能會出現干擾，解決這種問題的一種方法是進行更精確的時間同步。由於 TDD 的上傳和下載是在不同的時隙進行，因此如果能夠精確地控制這些時隙排序，就可以避免與 FDD 傳輸時間重疊，降低干擾。此外，也可以透過改進的干擾管理策略和更有效的頻譜利用來減少干擾，或者採用

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

全雙工干擾消除技術處理，簡而言之，技術上 DSS 亦可適用於 TDD 與 FDD 共存之頻段。

非獨立模式通常將低頻段 LTE FDD 載波透過雙連接與 3.5 GHz TDD 頻段的 5G NR 載波 n77、n78 結合。透過智慧網路配置，上鏈數據可透過低頻段傳送，相較於僅使用 3.5 GHz 的 5G NR 網路布建，這相當於上鏈之涵蓋範圍的增加，因此具有低頻段特性對行動寬頻有利；5G 獨立組網若具有使用 DSS 的低頻段，也非常適合用於 5G 切片服務。

唯 DSS 帶來的主要挑戰是由於 NR 和 LTE 的控制通道產生的消耗而降低了網路容量和單用戶可實現的吞吐量最大值。

最後綜合整理靜態頻譜重耕與動態頻譜重耕之優缺點進行比較如表 5- 35。無論何種重耕方式均有其優點與缺點。但隨著技術的演進，系統間共享頻譜機制的提升，頻譜效率也得以提升。

對於需執照頻段，靜態頻譜重耕將頻譜從低效利用直接轉移到高效率的服務，如從 2G/3G 轉到 4G/5G，可以更有效地利用這些資源。而釋放頻譜給新技術，可以促進技術創新和提供更先進的服務。特別是在低頻段，如 700 MHz 和 900 MHz，可以提供更廣泛的涵蓋和更大的網路容量。

頻譜為珍貴資源應該公平地分配給各個行業，包括行動電信業者以外的其他行業，如廣播、衛星通信等。頻譜管理應該保護國家安全利益，維護國家戰略、避免干擾和確保關鍵通信的可靠性。保證頻譜能夠支援公共服務，如緊急服務和公共廣播。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 35、動態、靜態頻譜重耕優缺點比較

類型	靜態頻譜重耕	動態頻譜重耕
優點	提高頻譜效率 促進技術創新、促進經濟發展 增強網路涵蓋和容量 維持公平競爭 保護國家安全 保障公共服務	頻譜利用率可最佳化 技術平滑演進 可透過軟體定義，成本較低 高度靈活性 具備載波聚合 持續演進、促進共存
缺點	涉及轉換成本 服務中斷、相容性問題 頻譜利用率較難最佳化 技術限制 政策和前期規劃挑戰	同系統共享無線電的淨容量，動態控制占用資源 干擾管理較為困難 場景識別與系統切換較複雜 標準化建立過程需要多系統支援

資料來源：本研究整理

四、 頻譜重耕未來挑戰與發展

頻譜重耕面臨的主要挑戰是如何在確保無線服務品質的同時，最大化頻譜的使用效率並不影響其他既有使用者。這需要創新的頻譜管理策略和技術來保護既有其他系統。未來的發展包括使用更先進的無線技術，以及開發新的頻譜共享和頻譜重耕策略。

綜上所述，頻譜重耕與行動通信需求密不可分，清理頻譜主要有兩種方式，適用於行動寬頻：

A. 清理現有服務：需要時將服務收容到特定頻段。

清理頻譜的可行性需考慮：

i. 服務類型與使用者數量：例如 C 頻段直播到府（Direct to Home, DTH）衛星電視消費者數量。

ii. 對消費者影響：如需更換或升級設備，如何維持服務。

iii. 提供替代方案：透過替代頻率或替代技術維持服務。

iv. 遷移成本：重新建立鏈路所需的成本。

通常，進行成本效益分析以評估清理頻譜是否為最佳方法。共存措

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

施的可行性取決於現有使用的性質和程度。例如，低於 1 GHz 頻段（如 600 MHz、700 MHz）通常用於廣播電視服務，與 5G 共存較不可行。而其他頻段如固定微波和固定衛星的使用屬於高度區域性質，頻段共享的機會則較大。

B. 頻譜共享：建立適當的監管方式與既有使用者共享。

i. 保護現有用戶：例如 FSS 或 FS，藉由設置禁止區、優化接收器或新增濾波器。

ii. IMT 布建限制：包括布建地點限制、天線傾斜角度或指向性調整、降低發射功率等。

iii. 使用者間協調：使用護衛頻段分隔使用頻段。

相關新技術如授權共享接取（Link-state Advertisement, LSA）和物聯網所使用之動態頻譜接取（Dynamic Spectrum Access, DSA）都是潛在解決方案，都利用地理定位資料庫和感知技術主動控制干擾，相關案例如美國於 3500 MHz 頻段的市民寬頻無線電服務（Citizens Broadband Radio Service, CBRS）。

未來若頻譜重耕採用非技術中立方式，特定頻段則會面臨將頻譜的使用限制在特定的領域。而此類限制會降低頻譜使用效率和延遲新技術的導入。若符合技術中立特性，行動業者必須具備足夠的連續頻譜來支援同一頻段下的多種技術運作、足夠的鄰頻抗干擾處理能力。另外混合使用頻段會產生頻寬分配問題。綜上所述應避免服務與流量降級。

在 WRC-23 之後，臺灣與全球各國一樣，面臨著頻譜重耕的挑戰與發展機會。依據 MIC 研究報告 WRC-23 確立國際行動通信頻率之分配，包含低頻頻段 470-690MHz，中頻的 3300-3400MHz、3600-3800MHz、4800-4900MHz，以及備受矚目的 6GHz 上段（6425-7125MHz）頻譜資源。這些決議將對未來 5-10 年全球無線電頻譜資源

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

開發利用的重點方向產生深遠影響。我國的頻譜重耕策略包括頻譜整備、研議未來監理方式、協助促進 5G 系統或終端設備實驗研發等，並同步進行未來 5G 候選頻段的干擾評估及實證量測作業。根據 GSMA 的調查，各國通信監理機關皆陸續釋出更多的頻譜、設法提高頻譜使用效率，以供行動寬頻服務使用。例如，美國 FCC 開放 5150 MHz-5250 MHz 為 UNII-1 作業頻段，並將既有之 UNII-3 頻段擴展為 5725 MHz-5850 MHz。

頻譜重耕需要考慮到許多因素，包括頻譜的共用與共存問題、新舊技術之間的過渡、以及對現有服務的影響。這些技術挑戰需要透過持續的研究與創新來克服。

3GPP 標準的第二階段稱為 5G-Advanced，將於 Release 18 中進一步擴展 5G 的能力和應用場景，包括支援免執照頻段與共享頻譜。

未來的 MIMO 演進，將為頻譜重耕相關規則帶來相關的改進，並且促進頻率共享降低干擾；另外人工智慧（Artificial Intelligence, AI）和機器學習（Machine Learning, ML）在 5G 無線接取網路和 NR 空間接取介面中的應用，以及在實體層和 MAC 層的 AI 原生設計，這些新技術的導入在無線通信中的應用也同時帶來了頻譜管理上的改變。這些技術研究為頻譜重耕的未來發展也提供了一些框架，並讓未來為了實現更高效、更節能的通信網路之規劃面臨了相關挑戰和提升機會。

我國在進行頻譜重耕時，未來的發展亦會隨著技術進步與市場需求的變化而有所不同，應持續關注國際動態，並適時調整策略以應對挑戰。透過與國際經驗的結合與本土實際情況的考量，制定適合國情之規劃。

第四節 盤點 FR3 頻段（7.125-24 GHz）既有使用者

FR3 頻段屬於中高頻，此頻段於 WRC-23 中被確認將於 WRC-27 進行 IMT 識別，經過討論，同意將 7125-8400 MHz 和 14.8-15.35 GHz

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段作為候選頻段，而 FR3 頻段除了可運用在地面行動寬頻外，亦可使用於非地面網路。因此事先對該頻段進行盤點有助於未來頻譜整備與規劃。

於此頻段中國際上討論做為 IMT 使用之相關頻段可切分為以下頻段 7.125-8.4 GHz、10-10.5 GHz、10.7-13.25 GHz、、14.8-15.35 GHz、17.7-19.7 GHz、21.1-23.6 GHz 等六段頻段區間，目前 FR3 頻段對於 14.8-15.35 GHz 多規劃用於未來的衛星上行通道等應用，適合多天線系統和大規模機器類通信（Massive Machine Type Communications, mMTC, mMTC），而 17.7-19.7、21.1-23.6 則規劃用於 NTN 立體網路（如衛星之間鏈路和衛星至地球），可應用於多種應用場景，如整合感知與通信，這些頻段可以結合雷達和通信功能，提供高精度感測和數據傳輸，適用於高精度定位和導航。本節將依此六頻段區域進行盤點各既有使用者頻譜使用之狀況，初步盤點結果，時間資料於 113 年 8 月 20 日止，FR3 頻段內 IMT 候選頻段中無既有使用者之頻段為 21.1-23.6 GHz，而於其他頻段中具有既有使用者之類型則屬於微波、衛星二類。

一、 微波業者

目前盤點各頻段中有四段低於 17 GHz 之頻段具有六家既有業者使用微波系統，其中 7.125~8.4 GHz 頻段中有 34 站微波電臺，其中 16 站屬於電視業者，19 站於飛航航務相關使用；10~10.5 GHz 頻段中有 3 站微波電臺，用於海上風電系統，屬於專用無線電類型；10.7~13.25 GHz 頻段中有 6 站微波電臺，用於電視節目傳遞，屬於節目中繼固定微波類型；14.8~15.35 GHz 頻段中有 2 站微波電臺，亦用於電視節目傳遞，屬於節目中繼固定微波類型，相關資料整理於**表 5- 36**。值得關注的是 10.5-10.68 GHz 具備雷達系統應用，在航空和氣象雷達中有相關應用，能夠提供高解析度和精確的目標檢測，適用於天氣監測和航空導航，未來若考慮此頻段則應注此鄰近頻段之既有使用者之分布、相關行動寬頻應用上的帶外輻射限制值以預防干擾之可能。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 36、6G FR3 頻段微波既有業者

FR3 頻段	A 業者站臺數	E 業者站臺數	I 業者站臺數	P 業者站臺數	Q 業者站臺數	R 業者站臺數
7.125~8.4 GHz	14	2	19			
10~10.5 GHz				3		
10.7~13.25 GHz					6	
14.8-15.35 GHz						2

資料來源：通傳會系統、本研究整理

二、 衛星業者

國內衛星於 FR3 頻段中集中分布於 10.7-13.25 GHz、17.7-19.7 GHz 此二頻段，分別盤點其中之既有使用者如下表 5- 37、表 5- 38。

目前 10.7-13.25 GHz 頻段衛星內具 12 站 SNG 衛星行動車，依 ITU RR 第三區規範 12.5-12.75 GHz 屬於 FSS 下鏈應用（PTP/VSAT/SNG），而 SNG 上鏈頻率範圍則是位於 L14 GHz 頻段。另外專用衛星地面站則有 46 站屬於 VSAT 衛星應用類型，而衛星地球電臺則有 3 站屬於 E 業者使用之行動衛星地球電臺，其餘均為固定業務類型，總數量各業者加總有 26 站。而各執照使用類型於 10.7-13.25 GHz 頻段總計 116 站。

另外 17.7-19.7 GHz 頻段中僅有二家業者具實驗研發使用 站臺，站臺數量各為 2 站，共 4 站臺。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 5- 37、10.7-13.25 GHz 衛星既有使用者

既有衛星業者	專用衛星地面站無線電臺	專用衛星行動無線電臺	衛星地球	衛星節目中繼業務	衛星廣播電視業務
C				1	
E			21		
T	44				
O			4		
H				4	
U			4		
V					9
W					2
Y	2				
A				4	
Z					2
N				1	
M				7	
ZA	1	3			
ZB					7

資料來源：通傳會系統、本研究整理

表 5- 38、17.7-19.7 GHz 衛星既有使用者

既有業者	實驗研發衛星地面 站臺
E	2
ZC	2

資料來源：通傳會系統、本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第五節 小結

自由空間光通信布建於財團法人中央廣播電臺一處、而光通信之頻寬趨近無窮大，系統之傳輸能力與距離有直接相關性，而距離取決於光纖放大器之效能，在成本、安裝便利性、免使用執照和設備功耗與安全性上具有顯著優勢，且沒有無線頻譜干擾之疑慮，從實測數據分析顯示資料 TCP 和 UDP 的資料傳輸穩定、傳輸速度快且可靠性高，可以符合 97%以上的既有微波業者需求，此次安裝的設備建議距離在 3 公里內，目前設定測試之傳輸距離較短。氣象條件是影響傳輸品質之主要因素，以國內的大氣條件來說，主要是短時的強降雨和霧氣會影響到傳輸的速度，特別是在大豪雨等級（24 小時累積雨量達 350 毫米以上，或 3 小時累積雨量達 200 毫米以上之降雨現象）以上的降雨，但不至於導致連線中止，這些特點使 FSO 成為微波鏈路的有力替代技術，特別是在需要高頻寬和安全性的應用中。

免授權執照頻段作為替代技術建置導入之額外分析中，研究團隊發現，使用接近日常應用的通信技術設備在成本和安裝便捷性上具有顯著優勢。本次實驗數據得知如通信距離合適，通信品質受環境影響之效果可以大幅降低，但使用免授權執照頻段時需注意當前頻段使用情形，優先使用乾淨頻道可大幅減少受干擾之情形發生，7 GHz 微波頻段目前屬於較為乾淨之頻段，經場域會勘以及電信業者討論後，將規劃與從業業者採合作方式供研究團隊人員了解業者建置規劃及測試驗證，藉此了解 7 GHz 微波鏈路之特性。

5G FWA（固定無線接取）主要利用 5G 行動網路進行資料傳輸，具有顯著的成本效益、安裝便利性、頻譜效率和設備功耗優勢；由於不受鏈路距離限制，5G FWA 的網路韌性和可靠性可與傳統微波鏈路相媲美。然而，實測數據顯示，TCP 資料傳輸速度受限於行動網路之影響，較為不穩定，主要行動網路容易受到電信業者頻寬分配影響，並且目前亦必須與其他行動設備共享頻譜資源，可能會有網路壅塞和

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

其他無線設備干擾之狀況，另外 UDP 傳輸速度相對穩定但具有較大的訊框延遲變異。此外，目前使用之網路總流量有限制，5G 無線傳輸分工技術使用 TDD，這使得 5G FWA 比較適合傳送乙太網路封包資料，較不適合傳送 PDH 和 SDH 數位傳輸系統之資料，測試結果為當使用 FWA 傳輸乙太網路資料時，可穩定維持傳輸速度至少 20 Mbps 之效能，但無法穩定傳送 E1/PDH 之封包。

微波網路傳輸技術可以分為 IP 或 TDM，本計畫研擬之替代技術 FWA 及免執照頻段微波系統使用 IP 傳輸技術、FSO 支援透明轉發及 IP 傳輸技術，已採用 IP 技術微波鏈路或傳輸資料來源為 IP 格式之既有使用者，無須額外購置轉換設備。研究團隊發現目前大部分的既有微波業者仍使用 TDM 的技術傳輸資料，使用 TDM 傳輸技術的系統，若採用 FSO 作為替代或備援技術，不須額外購置轉換設備，若採用 FWA 及免執照頻段微波系統作為替代或備援技術，則須另外購置 TDM over IP 的設備做轉換。因此使用 PDH/SDH 的方式傳輸就不會有介接的問題，可以直接使用 FSO 的設備做傳輸，如果使用乙太網路的格式做傳輸的話，就會需要 TDM over IP 的設備做轉換，也需要考慮傳輸鏈路網路品質，例如使用 FWA 或免執照微波設備做傳輸。當終端設備的資料格式不是 TDM 時，使用 PDH/SDH 或乙太網路的方式傳輸都會需要介接，例如無線電視台傳輸電視訊號，此時就可以依所使用的資料格式和傳輸方式找到對應的資料轉換設備，也不一定要用 TDM 的方式傳輸。

替代技術建置導入之額外分析中，研究團隊發現，使用接近日常應用的通信技術設備在成本和安裝便捷性上具有顯著優勢。然而，這些技術設備通常需面臨頻寬共用或通信干擾等問題，從而降低了傳輸的可靠性。在依賴公眾網路進行傳輸的情況下，為確保數據安全，必須增設資訊安全設備以防範潛在的安全威脅。此外，還需支付必要性電信費用，增加了營運支出。本研究方向集中於無線技術，所有傳輸

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

均以空氣為介質，因此容易受到各種環境因素的影響。天氣條件如降雨、風速、震動和光照變化等，均可能直接或間接影響傳輸的速度和穩定性。例如，降雨會導致雨衰效應，降低無線訊號的傳輸距離和品質；風速和震動則可能造成天線位置偏移，影響信號接收效果；光照變化則可能影響自由空間光通信的穩定性，導致傳輸速率下降。為深入 7 GHz 微波頻段作為未來傳輸的可行性，經場域會勘以及電信業者深入討論後，將規劃於今年於業者建置電臺期間，採合作方式供研究團隊人員了解建置規劃，及商討明年完工後之測試驗證方式，藉此了解長短距離下的 6 GHz 與 7 GHz 鏈路差異。

頻譜重耕的策略和技術與發展過程，探討其頻譜資源在無線通信中如何被最佳化使用。預期的成果包括提供一個全面的頻譜重耕概述，介紹國際上的頻譜重耕案例，並詳細解釋頻譜重耕之技術和方法，以及探討頻譜重耕未來面臨之挑戰和發展。這將有助於對於頻譜重耕之深入了解，並為未來 6G 前期研究規劃提供相關基礎。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第六章 6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析

全球行動通信產業聚焦於第 6 代（6G）的應用及標準的訂定，目前產業界普遍認為於 2030 年將確定第 6 代行動通信系統的技術標準。6G 技術標準中，至關重要的是頻譜使用範圍及所需頻寬。頻譜的整備，因要考量保障既有合法用戶的權益，因應措施包括移頻、導入共享技術等，相關工作需要足夠的時間進行規劃與準備。

2023 年底，全球電信標準組織 3GPP 宣佈將致力於第六代行動通信系統的技術標準的發展。為了實現這項承諾，3GPP 於 2024 年 3 月在荷蘭馬斯特里赫特（Maastricht, the Netherlands）舉行的會議上決定 6G 標準化的時間表。同時，國際電信聯盟（International Telecommunication Union, ITU）將 6G 命名為 IMT-2030，也擬定了標準建立的時間表。上述 2 個電信組織所規劃的 6G 標準訂定時程表如圖 6- 1 所示。6G 的標準化工作預計會從 3GPP Release 21 於 2027 年正式開始。2029 年完成 Release 22，最終將於 2030 年確定技術標準，即 Release 23。

3GPP Release 18 代表著 5G Advanced 時代的開始[121]。5G 網路已經在全球多數地區進行布建。因此，從這些已經營運的商用網路中，已經初步得到有助於後續調整精進的經驗與學習。5G Advanced 所涵蓋的技術領域，預期將為未來 6G 網路系統打下堅實基礎，從而順利的從 5G 過渡到 6G 系統。

此外，ITU 也積極推進 IMT-2030 的初步標準化工作，並規劃在 2030 年之前完成，目的是為了支持各會員國從 2030 年開始布建 IMT-2030。此工作是基於之前的技術標準如 IMT-2000、IMT-Advanced 以及 IMT-2020。全球電信產業將根據市場需求和技術進展持續進化，

[121] ITU-R M.2160-0, Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2023 and beyond, November 2023.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

進一步增強其現有布建的性能和能力。

因此，本研究主要研析電信產業對 6G 系統之可能的應用與技術發展、掌握相關發展趨勢，並探討對我國頻譜管理制度與釋照機制可能帶來的影響，以利我國及早因應 6G 頻譜整備之工作。

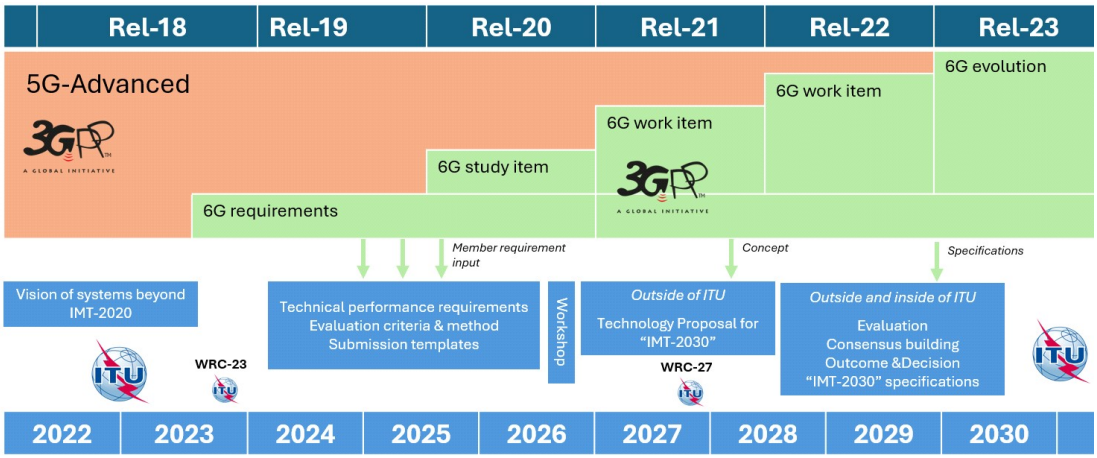


圖 6- 1、6G 標準預計時程

資料來源：ITU-R. （2023）. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2023 and beyond.

下一代行動無線通信系統 6G 已經引起各界相當熱烈的討論，包括電信標準組織、ICT 產業、電信主管部門、學術界等。特別是電信設備製造商（如 Ericsson、Nokia 等）及晶片設計公司（如 MediaTek、Qualcomm 等），都已經啟動相關技術研發計畫。ITU 與 3GPP 也啟動了訂定 6G 技術規範的計畫，且預計於 2030 年完成技術標準的訂定。6G 成功的關鍵因素之一是及時提供足夠的頻譜、適時發放執照，以利電信業者推出服務。針對 6G 新興應用類型將需要更高速的資料傳輸率，導致對頻譜需求大增。若考慮於 2030 年要對 6G 釋照，因頻譜整備需要幾年的時間，電信主管部門有需要盡快啟動導入 6G 相關的整備規劃。

根據以往行動通信系統的發展經驗，每一世代行動通信服務導入市場，通常需要經過 4 個步驟，如圖 6-2 所示。由技術研發、建立技術規範、頻譜整備與釋照，最後由獲得頻譜的電信服務商建置

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

營運。在技術研發階段，主要的參與者為電信設備製造商，如 Ericsson、Nokia 等。建立技術規範主要是由電信聯盟負責，如 ITU、3GPP 等。各國電信主管部門著手進行頻譜整備與釋照，再經由電信業者取得頻譜相關執照、建置系統並提供服務。

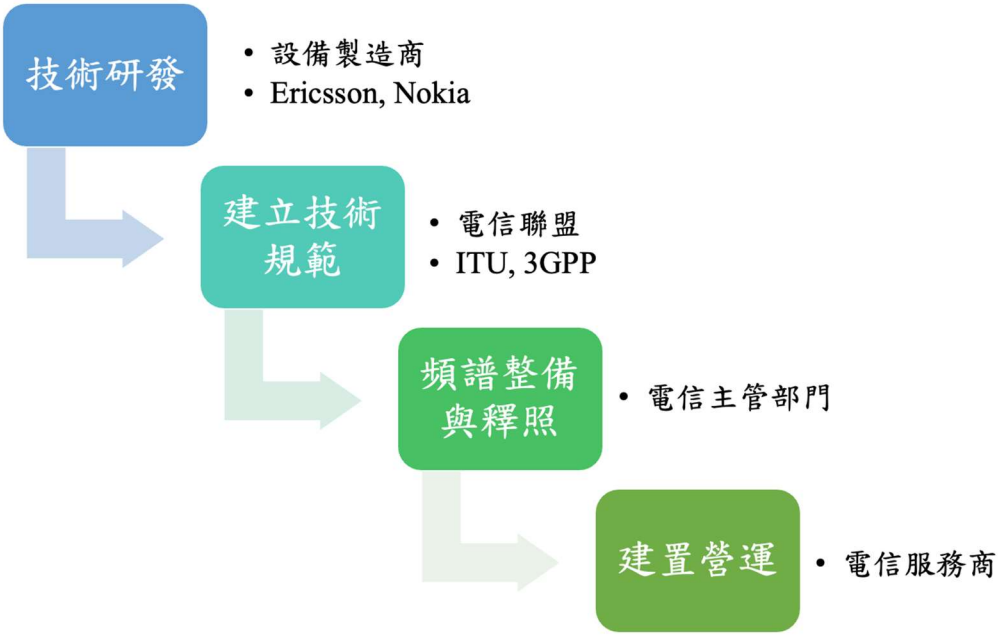


圖 6-2、電信服務導入流程

資料來源：本研究繪製

第一節 6G 跨域網路整合與應用型態對頻譜管理制度影響

目前對於 6G 之研究，大多認為 6G 將可實現跨多個領域，達到跨域連線、異質網路整合的能力。例如 Banafaa 等學者認為 6G 將具備 3D 涵蓋、智慧連結，增強效能，向消費者端提供來自地面與非地面之整合服務，如圖 6-3 所示[122]。

[122] Banafaa, M., et al. (2023). 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities. Alexandria Engineering Journal, 64, 245-274.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

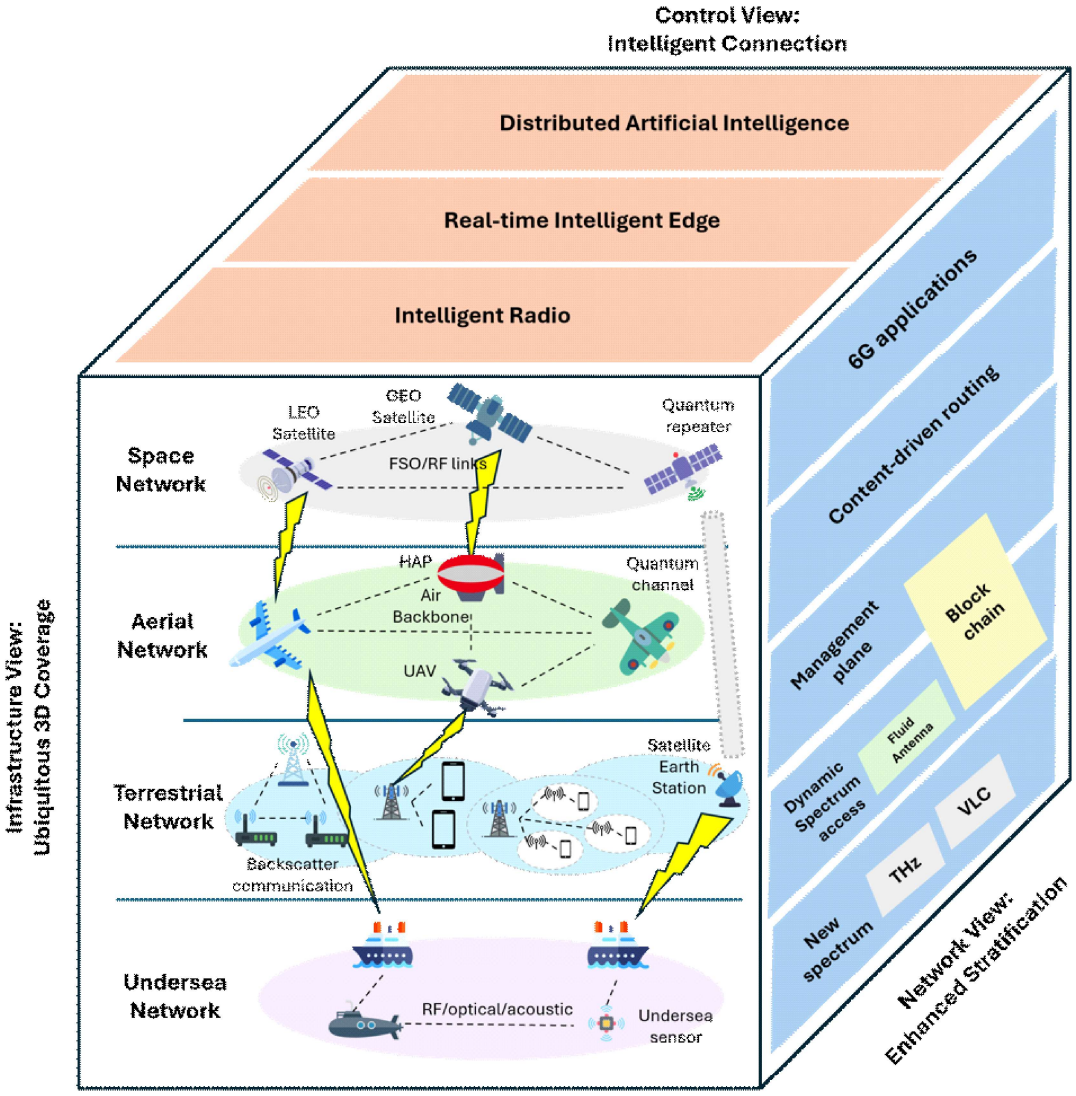


圖 6-3、6G 網路架構

資料來源：Banafaa, M., et al. （2023）. 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities. Alexandria Engineering Journal, 64, 245-274.

從圖 6-3 中可以發現，6G 行動網路未來可能整合多個跨域網路，例如在地面通信網路可能整合車聯網、鐵道網路或一般區域無線網路；在非地面網路則可能與衛星、高空通信平臺、無人機通信、或海上船舶通信等網路之相互連接。

目前的地面網路接取服務，還無法滿足未來 6G 全球涵蓋的需求。因此，需要一個更大範圍及規模的網路、可以配合非地面網路以支援

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

各種應用服務，例如航空和航海等。6G 架構將是大範圍全面性的涵蓋，包括太空、空中、陸地和海洋等 4 層網路。例如，對於地面層，將提供 Tb/s 速度的資料傳輸、利用 THz 頻段，提高 6G 傳輸速率。但是，使用高頻率之頻譜，將導致路徑損耗增加。6G 基地臺的涵蓋範圍將比前幾代系統更小。因此，需要建置更多的基地臺，使 6G 網路變得更加擁擠和密集。頻譜的和諧共用、避免互相干擾，就顯得相當重要。

目前的 5G 網路強調能帶來增強型行動寬頻、超可靠低延遲通信和大規模機器類通信等 3 大特性。未來 6G 可能的應用情境，如圖 6-4 所示。6G 的使用情境預計將在 5G 的基礎上，擴展到新興功能及更廣泛的使用範圍。例如：預計能夠實現由人工智慧和感測等功能產生的新興使用場景，而前幾代通信系統並不支援這些功能。6G 的使用情境包括[123] ：

1. 沉浸式通信（Immersive Communication）
2. 超可靠和低延遲通信（Hyper Reliable and Low-Latency Communication）
3. 巨量通信（Massive Communication）
4. 廣連結（Ubiquitous Connectivity）
5. 人工智慧結合通信（Artificial Intelligence and Communication）
6. 整合感測與通信（Integrated Sensing and Communication）

[123] NGMN Alliance. (2024). ITU-R framework for IMT-2030: Review and future direction. https://www.ngmn.org/highlight/ngmn-publishes-itu-r-framework-for-imt-2030-review-and-future-direction.html

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

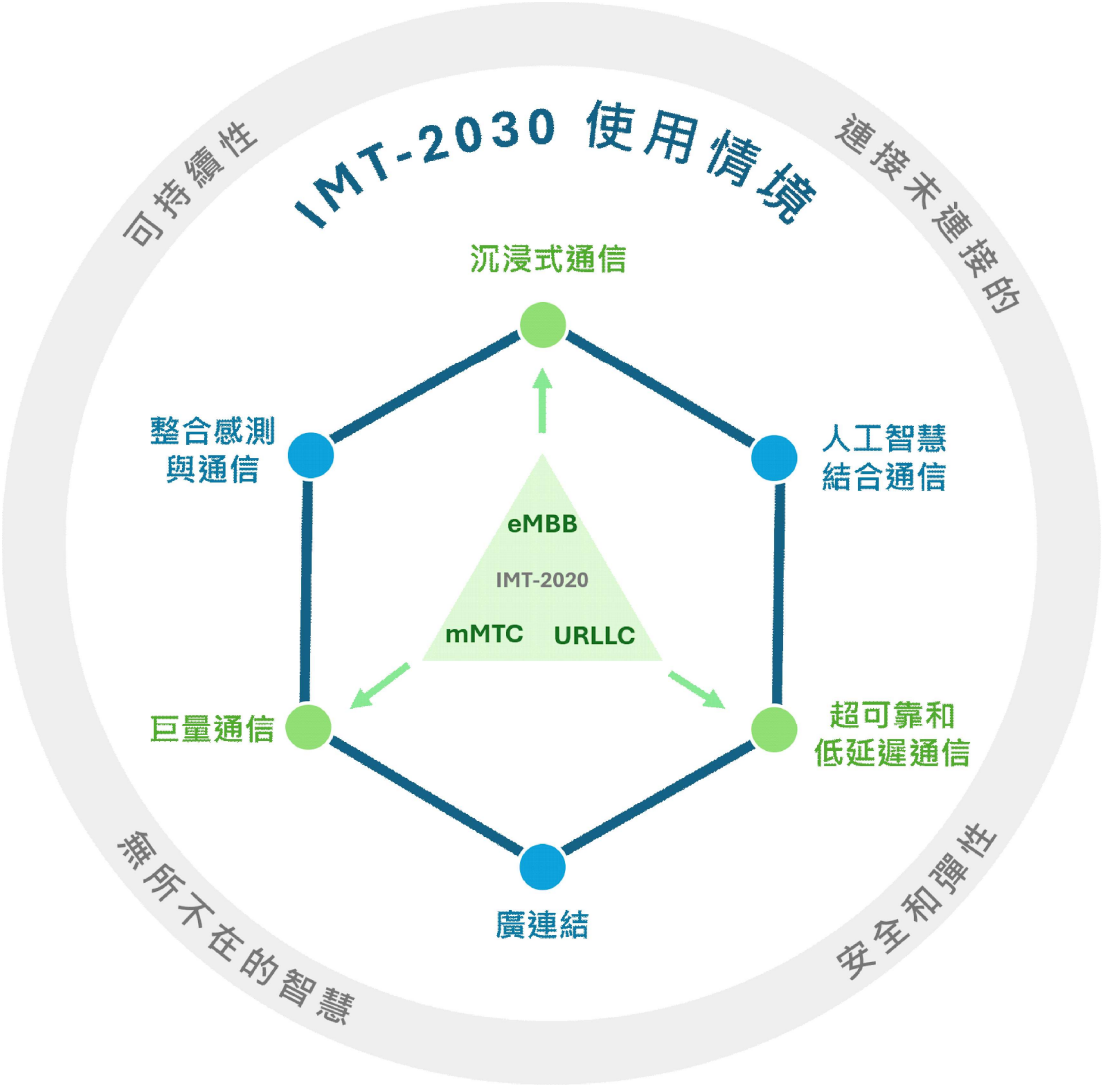


圖 6-4、6G 應用情境

資料來源：NGMN Alliance （2024）, ITU-R framework for IMT-2030: Review and future direction.

我國資通信產業對 6G 的發展也寄予厚望。2022 年 1 月 18 日，聯發科技公司發表「6G 願景白皮書」，表明將透過關鍵技術趨勢、工程可行性、標準化時程三面向以發展 6G 技術[124]。並且基於這些趨勢提出三個關鍵的 6G 系統設計原則，即 Simplexity、Optimization、Convergence，簡稱 S.O.C.，點出 6G 標準的可能發展方向，加速社會的數位轉型與永續發展。聯發科也強調未來 6G 系統將整合 AI、機器學習、雲端等技術，以提供革命性的新興行動服務，

[124] MediaTek. (2022). 6G vision White paper. https://www.mediatek.com/blog/6g-whitepaper

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

如圖 6-5 所示。

從 5G 服務開放的 2020 年到 6G 預計開放的 2030 年，5G 服務對產業和社會的影響將長達 10 年，雖然目前 5G 系統尚未有可觀的獲利應用與模式。但在 10 年間，可獲利的應用和服務將會出現。5G 是一項革命性技術，它使機器能夠相互通信，並提供人機間之通信。從 5G 的經驗及基礎上，預計 6G 將繼續帶來新興應用服務。

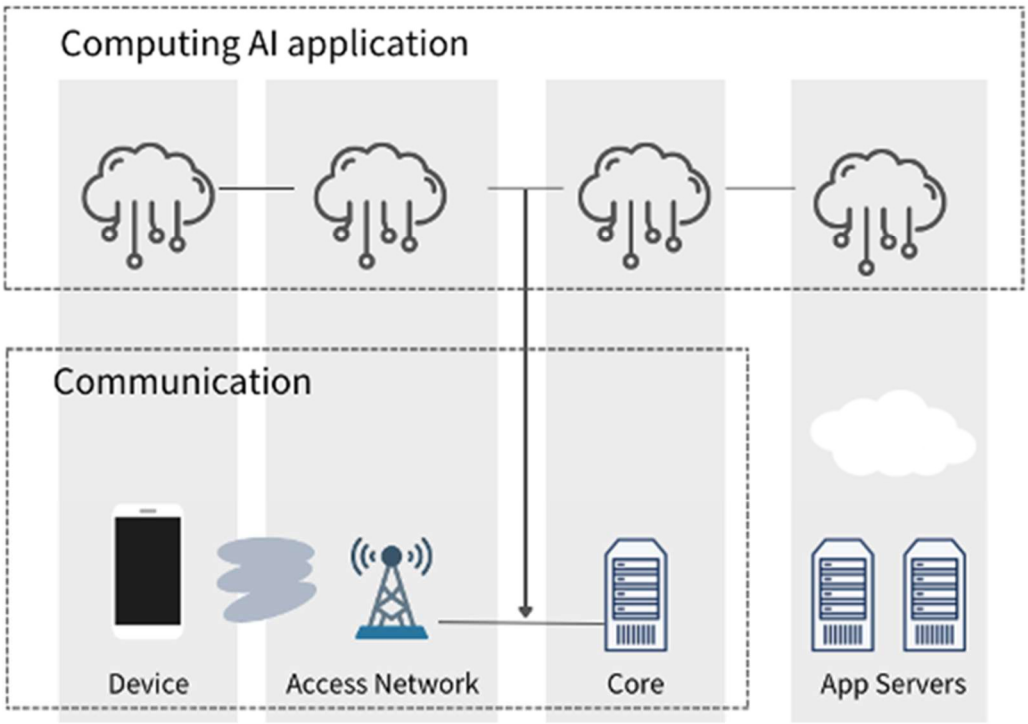


圖 6-5、人工智慧於與 6G 之整合

資料來源：MediaTek. （2022）. 6G vision White paper.

ITU 發展 IMT-2030 之動機與目標，已從資通信應用的範疇，提昇至聯合國永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）的層次。未來行動通信的發展，除了著眼於社會經濟的發展，也要兼顧環境的永續。例如，可以利用 6G 網路，協助環境感測與監控，建立一套快速的決策支援系統，特別是 6G NTN 的特性，可以提供全球規模的感測與通信系統。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

聯合國的 SDGs 包括 17 個目標，如圖 6-6 所示。為能支援上述 SDGs 目標，IMT-2030 也期待能達成下列目標：

1. 包容性（Inclusivity）
2. 廣連結（Ubiquitous connectivity）
3. 永續性（Sustainability）
4. 創新（Innovation）
5. 強化安全與韌性（Enhanced security and resilience）
6. 標準化與互通性（Standardization and interoperability）
7. 網路互聯（Interworking）

圖 6-6、聯合國永續發展目標

資料來源：ITU-R. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2023 and beyond.

一、 6G 應用服務

未來 6G 應用服務的發展趨勢，各界仍在摸索階段。5G 系統從 2020 年推出至今，電信服務業尚未找到一個可長期穩定獲利的應用。5G 服務，除了個人通信服務外，5G 強調垂直產業的應用，需整合資

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

通信的資訊科技（information technology, IT）與垂直應用產業的營運技術（operation technology, OT）。因垂直應用產業有其營運面規範要求，5G 導入垂直應用產業仍需要時間發展，雖然 5G 技術規格皆已大幅進步。

隨著人工智慧的發展，特別是機器學習及半導體製造技術的進步，人工智慧將可應用到 6G 系統的各個部分，更可以支援 SDG 目標 11 之智慧城市和社區的建設。未來的互聯設備將會具備強大的感知能力，以實現人、機器和環境之間更直觀、更有效率的互動。未來的 6G 系統可以作為人工智慧基礎設施，為智慧應用提供平臺。

6G 的應用，是建立在 5G 的基礎上，加上一些新發展的技術與網路，例如人工智慧、太赫茲（Terahertz, THz）、非地面網路等。除了可提升原本 5G 在大頻寬、低延遲以及廣連結三大特性的效能，還增加了全方位的感測（Sensing）功能。透過無線電感測物體的位置、形象、動作等，增加人類與萬物的互動效果。目前國際電信組織與產業，基於未來 6G 的技術特性，紛紛提出一些潛在的應用情境，例如全息影像通信、數位孿生、遠距醫療、全自動駕駛、真實沉浸式 XR、整合通信與感測等。ITU 列出了下列 6G 網路可能的應用趨勢：

1. 無所不在的人工智慧（Ubiquitous intelligence）
2. 無所不在的運算（Ubiquitous computing）
3. 沈浸式多媒體與多重感知互動（Immersive multimedia and multi-sensory interactions）
4. 數位孿生與虛擬世界（Digital twin and virtual world）
5. 智慧工業應用（Smart industrial applications）
6. 數位健康與福祉（Digital health and well-being）
7. 無所不在的連結（Ubiquitous connectivity）
8. 感知與通信整合（Integration of sensing and communication）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

9. 永續性（Sustainability）

上述應用中，不只強調數位經濟的發展，對社會永續及人類福祉，也是 6G 應用的發展趨勢。這些應用也對應到 SDGs，如目標 3 良好健康與社會福利、目標 9 產業創新與基礎設施、目標 11 永續城市與社區等。

在即將到來的 6G 技術及其應用前景，全球主要的電信設備製造商如愛立信（Ericsson）、三星（Samsung）、諾基亞（Nokia）、華為（Huawei）等公司，各自持有多元面向的觀點。

根據上述未來 6G 應用的特性，潛在的應用情境被提出。例如：全息影像通信、全自動駕駛、遠距醫療手術、全球無縫涵蓋、數位孿生、沉浸式 XR、智慧互動、整合通信與感測等。其中，全息影像（Holography）所需的無線電頻譜，必須考慮所需的極高數據傳輸率。普遍估計對於單一用戶上行鏈路和下行鏈路，分別需要支持 100 Mbit/s 和 1 Gbit/s 的數據傳輸率，才能實現高解析度全像通信。不僅對數據速率要求極高，而且在容量方面的挑戰也更大，特別是在眾多用戶同時使用此服務的狀況下。因此，全息影像所需的頻譜，將遠比 5G 系統大。隨著時間的推進，逼真的全息影像將與觸覺、味覺、嗅覺等多感官擴展相輔相成，來提高沉浸式體驗，超越視聽感覺，並實現感官連網的願景。如果應用場景在戶外環境，這將使得未來的全息影像和感官連網，將需要大量適合廣域涵蓋的頻譜。

(一) Ericsson 之觀點

電信設備商愛立信認為，未來的 6G 網路將可為沉浸式、無所不在且感官豐富的數位體驗，開啟新科技的可能性。6G 應用大規模布建後，將顛覆人們的生活方式[125]。例如，感測連網（The Internet

[125] Ericsson. (2023). 6G spectrum - enabling the future mobile life beyond 2030. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/6g-spectrum-enabling-the-future-mobile-life-beyond-2030

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

of Senses）能夠大幅降低人們因工作、休閒、教育或醫療保健所產生的運輸需求。因此有助於減少溫室氣體排放、降低極端氣候事件的衝擊、產生巨大的社會影響。數位感官體驗（Sensory Digital Experiences）可以透過增強服務來減少碳足跡，從而減少能源和資源的消耗。此外，先進的延展實境 XR 和全息影像將在醫療、教育、工業、娛樂等領域實現新的應用典範。未來通信以及感測、成像、顯示和人工智慧等其他技術的進步，將引領 6G 應用服務。這些新服務將透過涉及人類和萬物的廣泛連接來導入，並提供終極的多媒體感官體驗。

Ericsson 在白皮書『6G Connecting a Cyber Physical World』中提及[126]，利用技術推動社會轉型，6G 將是進入『虛擬與現實融合世界』的關鍵，它將現實世界中，基於感知、行動和經驗的元素與可程式設計的數位世界連接起來。相比元宇宙，虛實整合世界與現實世界的聯繫更加緊密，數位物件映射到以數位化方式呈現的物理物件上，使它們可以透過『融合現實』的方式無縫地共存並增強現實世界。

Ericsson 設想未來 2030 年的虛實整合世界，整個社會將圍繞日益先進的技術發生重大變革，網路將成為通信和資訊傳輸的重要元素，實現隨時隨地的通信，虛實整合技術在城市管理、醫療、交通及個人化服務方面的應用如下，

1. **城市互動式 4D 地圖：**

可程式化的數位世界能提供城市互動式地圖（精確地顯示位置和時間），虛實整合的服務平臺可以大規模控制系統發出命令，如：公共交通、垃圾處理及供水暖氣系統，增進資源利用效率和

[126] Ericsson. (2022). 6G connecting a cyber physical world. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

系統韌性。

2. **精準醫療與技術整合：**

微型節點用於監測人體功能，推動精準醫療的發展，藥物建議和物理輔助設備的使用，依賴於持續的線上數據分析，要求設備具備高度的可用性、安全性和數據隱私性。

3. **自動駕駛和交通管理：**

城市地面和空中的自動駕駛汽車和飛機，需要即時高精密地圖來管理密集的交通。網路感測器架構匯集精確測量和全球數據，確保交通運輸的安全、順暢和效率。

4. **AI 輔助的自動化社會：**

AI 輔助功能將幫助提升公民福祉並簡化日常生活，特別是在工業生產和家庭生活中的應用，協作式 AI 能安全高效地完成許多手工操作任務，搭配人類動作，可提高工作或生產效率。虛實整合系統可以順暢地與人群及其它智慧機器進行互動，需要極高的可靠性、韌性、精確定位與感知、低延遲通信、AI 協助和整合。

(二) SAMSUNG 之觀點

韓國三星公司認為，6G 有潛力迎來 XR 時代[127]，以 VR 和 AR 為基礎，XR 將在娛樂、醫學、科學、教育和製造等不同產業中發展。此類技術不僅需要龐大的數據傳輸量、低延遲和精準定位，還需要運算和電池等設備功能，這些功能可以在輕型眼鏡等特定設備中實現。三星公司認為 XR 應用服務需 5-10 年方時間來發展，如圖 6-7 所示，近期發展而言，以無線傳輸取代有線通信。利用無線通信

[127] Samsung. (2020). 6G the next hyper connected experience for all White paper. https://research.samsung.com/next-generation-communications

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的應用正在從連接人類擴展到連接各種事物。無線通信正在成為社會基礎設施和人們日常生活的重要組成部分。

此外，當今人工智慧、機器人技術和自動化等先進技術的快速成長，將為無線通信帶來前所未有的典範。三星公司認為邁向 6G 的四大趨勢：機器互聯、無線通信中人工智慧的使用、行動通信的開放性以及對實現社會目標的貢獻的增加，如表 6-1 所示。首先，因互聯機器之數量將相當龐大，機器將成為 6G 的主要用戶，而不是一般的個人用戶。另外，AI 將扮演至關重要的角色，包括多元的服務及資源分配。

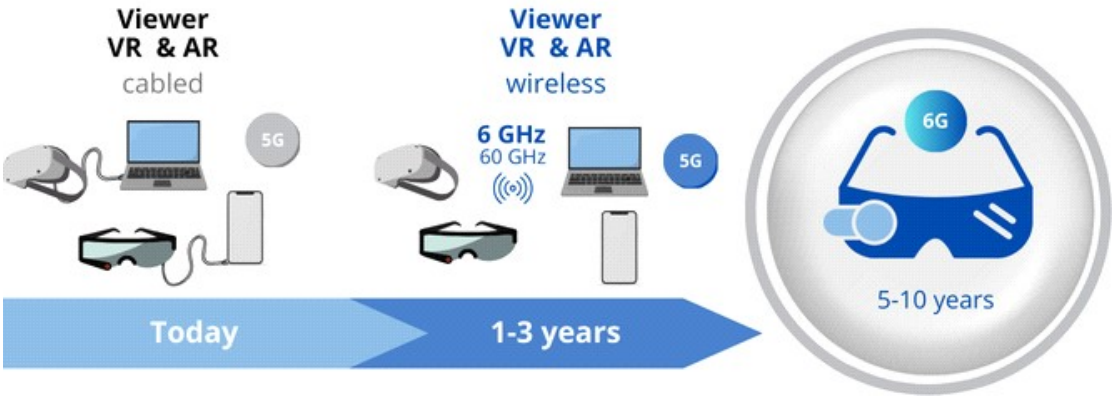


圖 6-7、未來 XR 之發展

資料來源：本研究繪製

表 6-1、6G 應用發展趨勢

6G 發展趨勢	說明
機器成為主要用戶	隨著連網機器數量增長，機器將成為 6G 通信的主要用戶，預期新的 6G 技術將專門開發來連接數以萬計的機器，並考慮到機器所需的特定要求。
AI 無線通信新工具	從 6G 概念和技術開發的初始階段就考慮人工智慧，將使我們有更多機會利用人工智慧來改善整體網路營運的效能、成本和提供各種服務的能力。
行動通信的開放性	CPU 及 GPU 處理器運算能力大幅提高，使得包括核心網路和基地臺網路等硬體，可用軟體方式實現。
社會目標和行動通信	6G 將在聯合國永續發展目標，包括改善教育、減少貧窮、解決健康問題及對抗氣候變化等，扮演改善人類生活品質和機會的關鍵技術。

資料來源：SAMSUNG, 6G The Next Hyper Connected Experience for All.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三) Nokia 之觀點

諾基亞公司（NOKIA）認為 6G 將發揮『人類與數位世界連結』的可能，實現元宇宙的世界。將數位和實體融合在一起，滿足高度互動的三維虛擬空間，預期在 2030 年，這項技術將能在各企業廣泛使用。最主要的三大應用面向如下[128]：

1. 工業的元宇宙（以 OT 為中心）：

OT 系統將開始與元宇宙融合，用於監控、分析以及直接控制工業化的操作，數位孿生就是一個例子。

2. 企業的元宇宙（以 IT 為中心）：

企業的元宇宙能夠幫助企業將總部的 IT 系統與廠區的 OT 系統進行整合，優化工作流程。

3. 消費者的元宇宙：

隨著 VR/XR 的進步，消費者的元宇宙可望被實現在遊戲和虛擬實境社交媒體的應用。

此外，NOKIA 認為為了滿足多樣化使用情境，6G 具有一系列獨特技術的特點，這些技術將塑造新的通信未來。NOKIA 認為 6G 的六大潛在技術如下[129]：

1. **人工智慧與機器學習（AI/ML）：**

AI/ML 將被引入網路的許多部分，使 6G 網路能達到最佳化頻譜資源管理、通道狀態回饋、裝置定位、能源節約、自動化控制。

2. **具有感知能力的網路：**

[128] Nokia News. Metaverse explained, https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/metaverse-explained/

[129] Nokia. (2023). Nokia's vision for the 6G era, https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/nokias-vision-for-the-6g-era/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G 將使網路成為人們的第六感官，網路感知能力能收集各場景中資訊，確定物體的類型與形狀、相對位置、速度，甚至可能是物質的材質。幫助創建出真實世界的「鏡像」，或是數位孿生。

3. **極致連接性：**

6G 將更進一步增強 URLLC 的應用，提供低於毫秒等級的延遲水準，實現廣域網路內含子網路的專業連結要求。

4. **新網路架構：**

網路可布建在多元化的雲環境中，結合人工智慧與機器學習（AI/ML）的進步，使得網路服務能夠達到前所未有的自動化水準，進而有效降低營運成本。

5. **安全與信任：**

6G 網路之資安策略將建立於零信任（Zero Trust）基礎設施上，以防止大規模的網路威脅及新型的網路威脅。例如抵抗關鍵任務中的干擾問題，以及考量虛實整合應用的隱私問題。

隨著 6G 的推出，可以預期產業對進階連接能力的需求將會增長，使組織的生產環境變得更為先進。生產環境的技術進步包括虛實整合，如 XR 以及更全面的數位孿生和元宇宙應用。隨著組織中的使用案例範圍變得更加多樣化，能夠靈活且可靠地整合各項資源是至關重要的。

(四) Huawei 之觀點

華為公司認為 6G 將能夠滿足更多日常生活中需要超高速和超可靠的無線連接需求，根據技術的發展 6G 將有五個主要的使用情境，如圖 6-8 所示[130]。其中 eMBB+、URLLC+和 mMTC+是在原有

[130] Huawei. (2022). 6G: The Next Horizon. https://www.huawei.com/en/huaweitech/future-technologies/6g-white-paper

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的 5G 三大應用情境基礎上進行升級，而感知和 AI 則是兩個在 6G 中將會蓬勃發展的新使用情境，華為公司觀點下的 6G 使用情境描述如下：

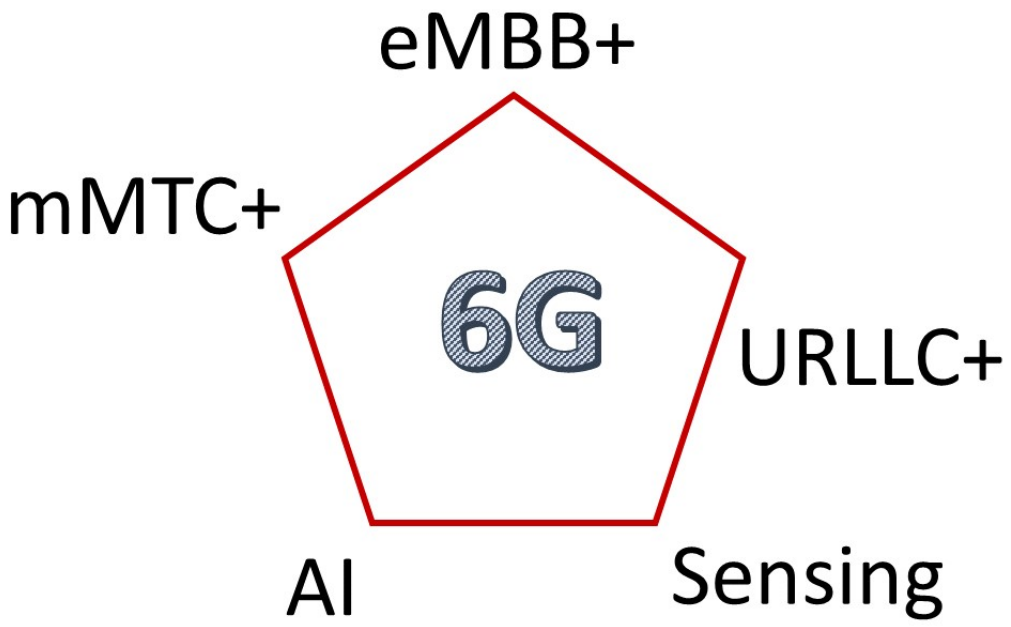


圖 6-8、6G 的 5 大使用情境

資料來源：本研究繪製

1. **eMBB+**

- 沉浸式雲端 VR：進化版的 XR 服務，提供超高解析度和接近人類感知極限的影像幀率（frame rate），並具備極低延遲，帶來最佳的沉浸式體驗。
- 觸覺與多感官通信：即時傳輸觸覺訊息，如表面、振動和力量，與影音同步傳輸。
- 無眼鏡 3D 與全息影像：利用光場和全息技術，讓用戶無需眼鏡即可體驗沉浸式 3D 互動。
- 全球無線接取網路：透過整合地面與非地面網路，提升全

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

球網路涵蓋，尤其在偏遠地區擴大連接能力。

2. **URLLC+**

- 未來工廠：完全自動化並靈活應對大規模客製化需求，透過 6G 無線鏈接，取代傳統有線網路，並結合 AI 和數位孿生技術優化製造過程。
- 動作控制：精確控制機器動作，6G 的高可靠性與低延遲可實現無線的精密控制。
- 協作機器人群組：多機器人協作完成任務，透過 6G 確保同步性、低延遲與高定位精度。
- Level 5 自駕車：完全自動駕駛，6G 提供感知與 AI 支援，確保超低延遲、高可靠性與精確定位。

3. **mMTC+**

- 智慧建築：6G 將連接建築的監控系統、電力和空調等子系統，提升效率與大規模連接。
- 智慧健康：6G 支持遠距醫療服務，從健康監測到遠端手術，特別有助於醫療資源匱乏的地區。
- 無人機智慧服務：無人機可作為行動基地臺或物流配送工具。
- 大範圍物聯網服務：6G 促進全球物聯網應用，如海洋浮標監測和自然災害預警。

4. **感知**

- 高精度定位與追蹤：6G 感知技術可精確提供裝置的位置、速度和方向資訊，實現即時追蹤。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 同步成像、映射與定位：在未知環境中建立三維地圖，應用於自駕車和無人機，確保高精度感測。
- 增強人類感官：例如機器人自動提供服務或檢測設備瑕疵，應用於日常生活和工業場景。
- 手勢與動作識別：透過手勢與動作與設備互動，實現便捷的人機界面應用，如：智慧醫院監控與藝術創作。

5. **AI**

- AI 網路自動化：AI 將自動優化網路營運、管理和資源配置，減少人力與資金投入。
- AIaaS 的數據管理：AI 即服務模式將自動選擇高品質數據，優化數據處理並降低計算複雜性。
- AIaaS 的分散學習與推理：6G 不僅是數據傳輸通道，還將成為整合連接性與計算能力的平臺，支援學習任務的快速完成。

(五) Qualcomm 之觀點

根據 Qualcomm 的白皮書《Vision, Market Drivers, and Research Directions on the Path to 6G》[131]，6G 發展將基於 5G Advanced 技術的演進，同時引入革命性的新技術，旨在實現更加智慧化的無線通信平臺，不僅連接人與物，還將智慧擴展到邊緣網路和設備。Qualcomm 認為 6G 技術的演進方向包括實現地面、海洋、空中以及太空的全面涵蓋，以確保在任何地方都能獲得穩定的連接。6G 將提供比 5G 更高的數據傳輸速率，支持更多的應用場景，如超高解析度影像、虛擬現實（VR）和增強現實（AR）。同時，6G 將進一

[131] Qualcomm. (2022). Vision, market drivers, and research directions on the path to 6G. https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/Qualcomm-Whitepaper-Vision-market-drivers-and-research-directions-on-the-path-to-6G.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

步降低通信延遲，支援需要即時反應的應用，如:自動駕駛、遠距醫療和工業自動化。

在新應用場景方面，6G 將顯著增強物聯網（IoT）設備之間的互聯互通，支持更大規模的設備接取和協同工作。智慧城市建設將在 6G 的推動下實現，包括智慧交通系統、環境監測和能源管理等。工業 4.0 也將因 6G 技術的發展而提升，工廠和生產設施將實現更高水平的自動化和數位化。

晶片供應商 Qualcomm 公司認為，複雜的現實世界可以被數位化，由此產生的數位孿生（Digital Twin）的應用。數位孿生和空間計算將需要更高的數據傳輸率，根據應用的不同，範圍從 100Mbps 到 10 Gbps 不等。整體網路容量需求將是 5G 系統的 100 倍。為了滿足這些需求，6G 將需要原生技術的支持，以實現跨頻段，如太赫茲（THz）、毫米波、低於 7 GHz 等頻段的無縫切換和整合。

數位孿生技術將在 6G 中發揮重要作用，使得對物理系統的監控、設計、模擬、分析、優化和預測成為可能。數位孿生將透過位置、感知和多種 XR 設備、相機和傳感器生成的 3D 地圖不斷演進。這些技術使得共享的、沉浸式的體驗變得可能，例如:全息會議和虛擬協作。

數位孿生和空間計算將推動 XR 技術的發展，這些設備將成為新的運算平臺，提供更高的顯示分辨率和改進的視野。隨著 XR 設備的普及，其對連接密度、容量和涵蓋的要求將超過目前 5G 系統之容量。

(六) MediaTek 之觀點

聯發科技公司對 6G 願景是一個自我調整的、整合並具有超異質性的無線通信系統，旨在以真正無所不在的方式提供全面的行動連接，無論是短距通信、衛星通信還是介於兩者之間的任何通信。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G 系統將具備高度的可擴展性，能以最簡化的方式適應各種布建場景，人工智慧和機器學習的重大進步將在實現 6G 願景中發揮關鍵作用。

聯發科認為需要創新且實用的工具來構建、營運和管理 6G 系統，並能根據當前需求自動、動態地調整系統配置和運行，無需人為干預，同時透過持續學習來提升系統性能。人工智慧和機器學習的革新將在 6G 中發揮核心作用。6G 系統具可擴展性，能夠以最精簡的方式適應各種布建場景。6G 系統的發展趨勢將圍繞多個核心驅動因素，包括：

1. 極高的資料速率和超低延遲，滿足如極致全息和觸覺通信、數位孿生等新型應用的需求。
2. 網路密集化，增強低頻段容量並克服高頻段的傳播衰減問題，實現無處不在的全球連接。

在未來通信技術的演進中，6G 被視為一項革命性的進展，它將顯著擴大無線網路的應用範圍。綜觀全球主要電信設備供應商與晶片設計商對於 6G 未來應用發展趨勢，不僅展示了 6G 技術在加強虛擬現實、擴增實境、機器互聯和數據傳輸速度等方面的潛力，也探討如何透過這些技術改善社會基礎設施和工業操作。電信設備商與晶片設計商如何發展創新技術與應用，在表 6- 2 中說明對 6G 發展趨勢和預期目標。

全息影像、XR（包括擴增實境、虛擬實境及混合實境）以及數位孿生技術，被多家電信設備商視為 6G 未來發展的關鍵趨勢，如圖 6-9 所示，這些技術的結合和應用將在多個領域引發創新變革和新機遇，特別是在醫療、自動駕駛車輛、工業自動化和娛樂行業。不僅將豐富個人用戶的多媒體體驗，還推動醫療、製造業、交通等多個行業的技術進步和轉型，邁向一個更智慧、更互聯的世界。技

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

術的整合和創新應用，預計將大幅提升社會運行的效率和人類生活的品質，展示 6G 時代通信技術的巨大潛力和深遠影響。

表 6- 2、電信設備商與晶片設計商對 6G 多元視角

電信設備商與晶片設計商	對 6G 發展趨勢之見解及策略
ERICSSON	愛立信預測未來網路將成為虛擬化生活、社會和工業各部分的基本組成部分，滿足人類和智慧機器的通信需求。為了實現 6G 帶來的未來網路願景並充分發揮其潛力，需要確保頻譜的及時可用性。
SAMSUNG	三星強調 6G 將開啟 XR 時代，包括 AR 和 VR 在內的技術將在多個產業中發展，如娛樂、醫學、科學、教育和製造等。預計到 2030 年，連網裝置數量將達到 5,000 億臺，機器將成為 6G 通信的主要用戶，對於相關使用場景的效能要求可能非常高。
NOKIA	諾基亞認為 6G 最主要將能發揮將現實世界與數位世界進行虛實整合的作用，實現多種應用情境的原宇宙。強調工業、企業和消費者元宇宙的三大應用面向，將數位和實體世界整合在一起，滿足高度互動的三維虛擬空間需求。
HUAWEI	華為看重 6G 在滿足日常生活中對超高速和超可靠無線連接的需求，特別是在增強的 eMBB、URLLC 和 mMTC 應用場景下，強調感測技術和 AI 的重要性。
MediaTek	聯發科技公司對 6G 願景是一個自我調整的、整合並具有超異質性的無線通信系統，6G 系統將具備高度的可擴展性，能以最簡化的方式適應各種布建場景，人工智慧和機器學習的重大進步，將在實現 6G 願景中發揮關鍵作用。
Qualcomm	高通認為 6G 技術的演進方向包括實現地面、海洋、空中以及太空的全面涵蓋，以確保在任何地方都能獲得穩定的連接。6G 將提供比 5G 更高的數據傳輸速率，支持更多的應用場景。

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

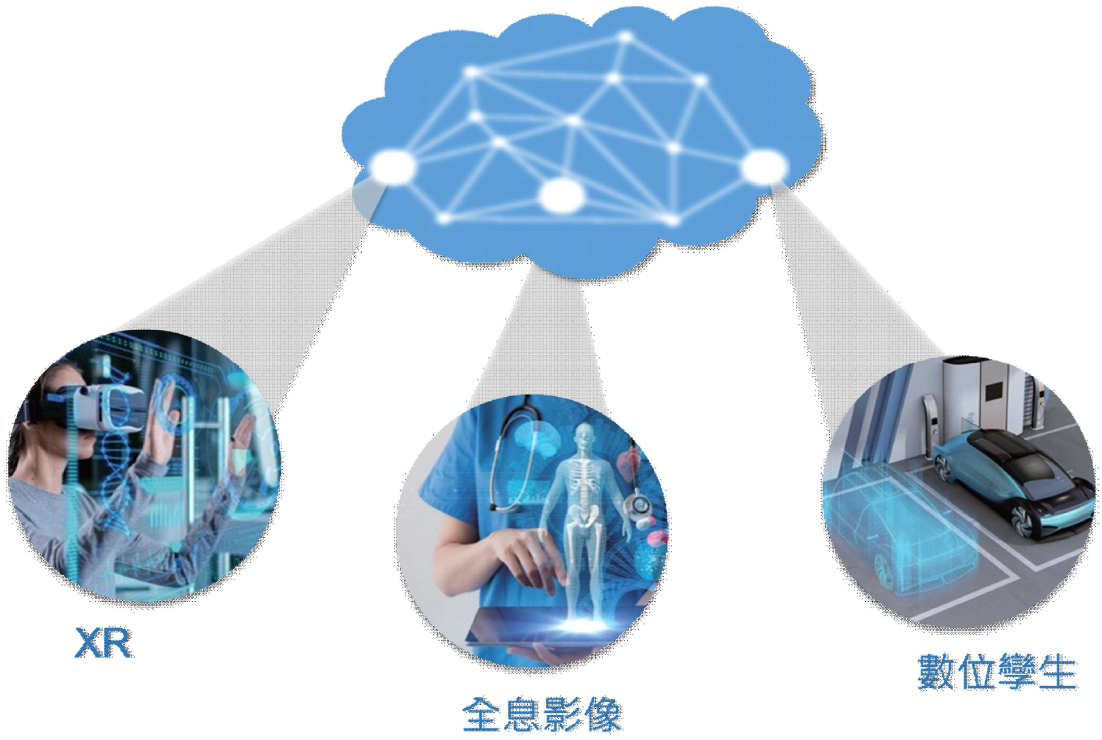


圖 6-9、6G 未來應用趨勢

資料來源：本研究繪製

以 6G 應用趨勢之一，數位孿生為例，其核心概念在於為一個物理實體創造一個對應的虛擬分身，透過該虛擬分身去進行情境模擬以及後續模擬資訊的分析，達到協助未來決策分析的效用。

數位孿生在製造業能夠促成四種效益，首先是能夠協助產品設計，讓設計師能夠快速、輕鬆地預測和驗證產品功能、行為模式或是產品結構，可以在虛擬世界中準確發現設計的缺陷；第二點是協助智慧製造，透過數位孿生的介入，透過監控虛擬與實際的數據，系統可以更好進行最佳化的排程，而模擬各項操作的結果若出現問題，也可以更快速發現問題並提供解決方案；第三點是即時監控產品數據，產品的數位孿生會不斷記錄產品使用狀態數據、環境數據、參數等，使用者可以隨時了解產品的即時狀態，同時也能預測產品的剩餘壽命；第四點類似第三點的補充，藉著對產品健康狀況、剩餘壽命和故障的預測，進行主動維護，避免突然停機，若不幸當發生故障時，透過產品的超高擬真虛擬模型，可以直觀地診斷和分析

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

故障，並且協助制定 MRO（Maintenance, Repair and Operations）策略。

以數位孿生技術應用於監測數據為例，其網路架構如圖 6-10 所示。產品或是產線機器的監測數據會盡可能透過 6G 網路被全部回傳至邊緣運算或雲端中心，進行資料的預處理，建構出一個包含眾多數據資料的數位孿生。在物聯網系統的排程優化或是產品設計的預測分析，都能參照此架構。數位孿生所獲取的資訊可以存放在雲端（私有雲）上，即儲存產品的模型或是設計與製程的模型，再讓管理人員進行資料分析或是決策判斷。

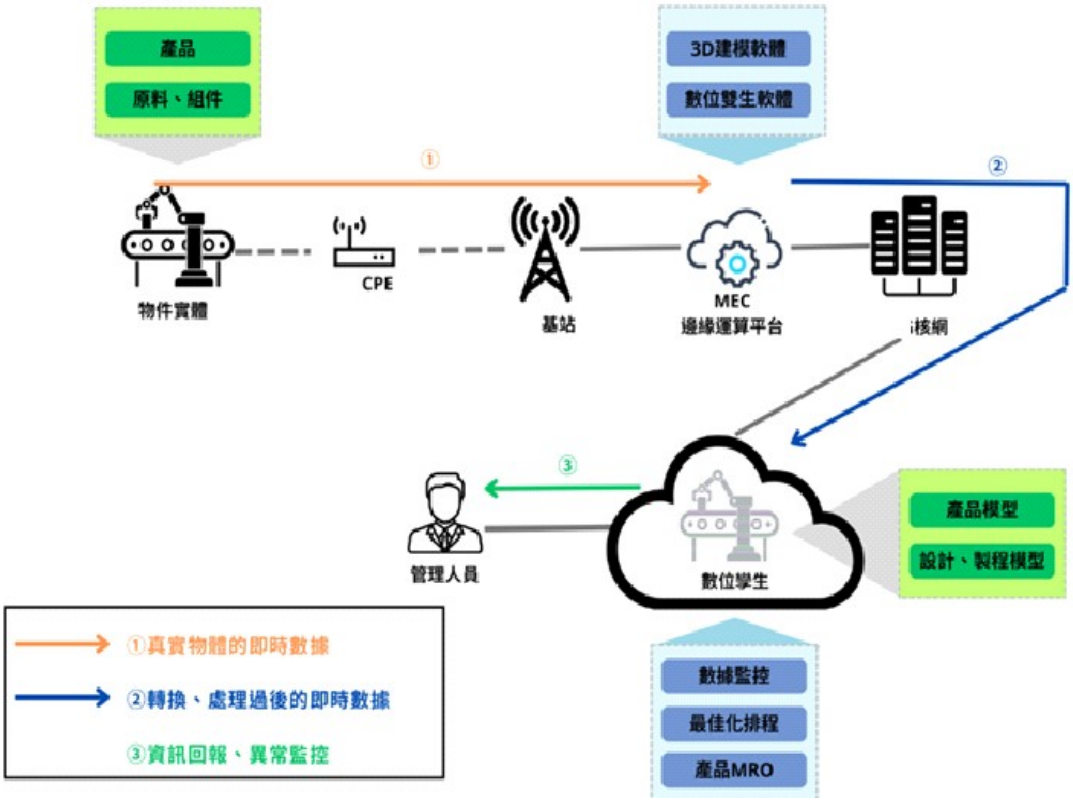


圖 6-10、數位孿生網路架構圖

資料來源：本研究繪製

為了因應未來 AI 結合 6G 技術於製造業，遠端控制管理（Remote Control Management, RCM）的概念愈顯重要。為了降低人員頻繁進出廠區需求，以減少問題排除的時間，遠端控制需要確

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

保遠端工作人員與設備之間的端到端通信。這個使用情境可能涉及電腦或平板的使用，也可以是更複雜的情境，像是使用擴增實境設備來協助建立虛擬後勤團隊，同時利用收集來的資料進行預防性分析。遠端控制之網路架構如圖 6-11 所示。在遠端控制的應用下，極低的延遲與極高的可用性是關鍵，必須確保能夠立即進行緊急維護行動。透過攝影鏡頭監控設備狀況，將影像傳送至控制中心，遠端控制的人員便可透過邊緣伺服器下達控制指令，來遠端控制設施，以達到用最少人處理更多的機臺，省下更多時間。

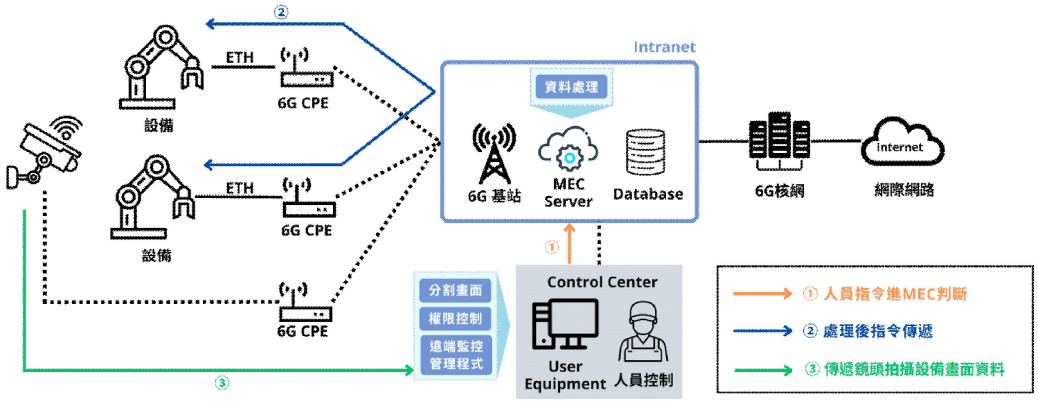


圖 6-11、遠端控制網路架構圖

資料來源：本研究繪製

二、 6G 網路技術

如前揭所示，6G 網路技術，除了強化現有 5G 三大技術特性外，也延伸出一些新發展的網路技術。國際電信產業也正積極研發這類新的技術，當技術標準確定後，便可快速導入市場。ITU 列出了下列 6G 網路技術發展趨勢：

1. 未來科技推手（Emerging technology trends and enablers）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2. 無線電介面技術之提昇（Technologies to enhance the radio interface）
3. 無線網路技術提昇之推手（Technology enablers to enhance the radio network）
4. 智慧工業應用（Smart industrial applications）
5. 數位健康與福祉（Digital health and well-being）
6. 無所不在的連結（Ubiquitous connectivity）
7. 感測與通信整合（Integration of sensing and communication）
8. 永續性（Sustainability）

人工智慧（AI）的應用將在 6G 中扮演重要角色，透過減少人類參與和監督需求來優化流程和改善操作。使用 AI 不僅可以提高社會效率，還可以簡化日常生活。為此，網路架構需要以數據為驅動，利用大數據支持跨系統的 AI 應用，並確保最高水平的安全性和可解釋性。在 5G 的開發過程中，AI 的集成未被充分考慮，這限制了當前電信網路的潛力。然而，在 6G 的概念和技術開發的初期階段就考慮到 AI，將使我們能夠更有效地利用 AI 來提升網路營運的性能、降低成本，並增強多樣化服務的提供能力。

為了在 6G 系統中充分利用人工智慧和機器學習，所需的基礎設施必須是成熟和自動化的，支持廣泛的先進技術。這包括資料架構的管理和模型管理管道的創建，其中自動化機器學習操作將是推動 6G 發展的關鍵因素[132]。6G 系統將以一系列技術、使用案例和服務為特色，這些都是異質硬體基礎設施以及啟用平臺上運行的，需要重新思考系統的架構、設計與佈建方式。

Nokia 於 2022 年發布「Communications in the 6G Era」白皮書。該文件提出一些關鍵技術，包括新的頻譜和共享技術、人工智慧與機

[132] Nokia. (2022). Communications in the 6G era. https://www.bell-labs.com/institute/white-papers/communications-6g-era-white-paper/#gref

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

器學習技術、整合精確位置與感測能力的技術、資料傳輸延遲與可靠度要求極高之技術、整合核心網路與無線接取網路技術、新的安全與隱私方法。Nokia 認為 6G 網路具有 6 個特性 ，包括彈性(flexibility)、專業化（specialization）、穩健性與安全性（robustness and security）、雲端平臺（cloud platform）、可程式化（programmability）、簡化與永續性（simplification and sustainability），其設計目標，如表 6- 3 所示[132]。

表 6- 3、6G 網路特性與目標

特色	6G 網路技術設計目標
彈性	預計 6G 架構將在各個面向展現出更高的彈性。在功能配置上，6G 架構預期能以動態方式滿足延遲需求。
專業化	鑑於使用案例和佈建的多樣性，6G 架構也需要能夠提供專業的的特色功能。
穩健性與安全性	垂直領域中的用戶期待網路服務能以穩健、具有安全性的方式提供，並在適用及需要的情況下實現多重連接性。
雲端平臺	將網路功能託管至雲端平臺的趨勢將持續發展，並將進一步擴大。6G 將為這些分散式雲端提供統一的服務管理編排介面，並針對不同部分提供特定的抽象化。
可程式化	透過開放式和基於服務的介面以及更加模組化的系統設計，將更容易整合來自不同供應商的服務與功能。這將允許使用必要的功能和服務來佈建網路或網路切片。
簡化與永續性	6G 的出現也帶來了重新評估和精簡架構的機會，簡化功能配置，提供更大的靈活性和動態性，也將透過減少訊號傳輸和能源消耗幫助實現永續性目標。對於 6G 來說，承諾實現“為永續性而設計”將是至關重要的。

資料來源：本研究整理

6G 網路中，資料傳輸流量和頻譜需求主要集中在城市地區。傳輸需求往往隨著人們日常生活坐息的變化，而有所差。例如：白天有較高的流量等。鑑於不同營運商網路之間的流量需求在時間和地理上高度相關，當頻譜需求最大時，共享頻譜的機會有限。另一方面，不同營運商的網路，可能在某些狀況下，顯示出非常不均勻的流量模式。為了應對此現象，增加頻譜共享的機會，可以使用動態的頻譜共享方式，而不是依賴傳統的靜態利用頻譜的方法。因此，6G 的網路技術對譜頻使用效率的要求，將強調利用 AI 實作動態頻譜共享之技

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

術，如圖 6-12 所示[127]。

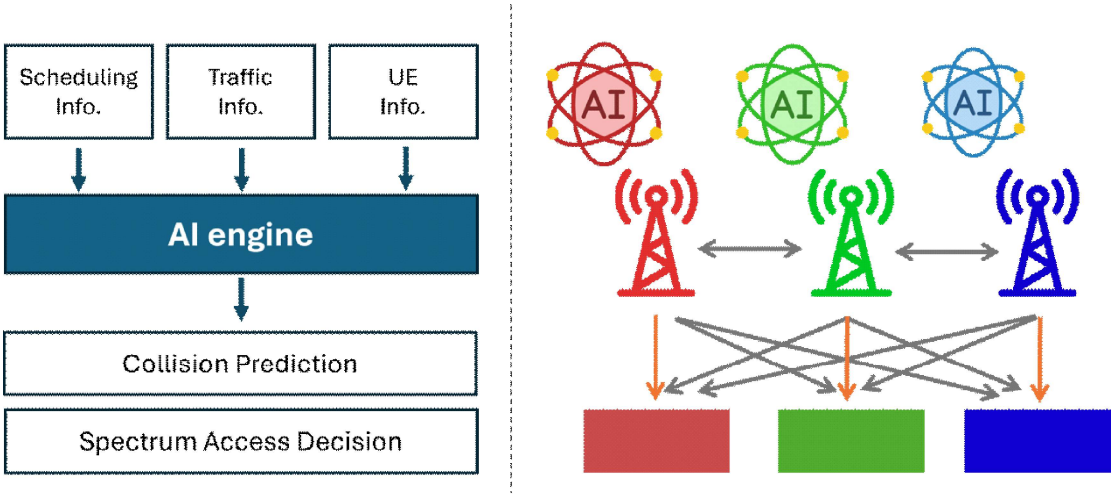


圖 6-12、人工智慧與動態頻譜共享技術

資料來源：SAMSUNG. （2020）. 6G The Next Hyper Connected Experience for All.

動態頻譜共享的主要挑戰是在允許不同業者，以動態方式獲取頻譜的同時，避免或降低頻譜使用之間的衝突。理論上，為了防止干擾，網路營運商可以交換所有相關的頻譜接取資訊。人工智慧與深度學習的技術，可以應用於 6G 網路的動態頻譜共享機制。

在 5G 中，RAN 被分成分散單元（Distributed Unit, DU）、中央單元（Central Unit, CU）與射頻單元（Radio Unit, RU）。這是屬於網路技術的實體層（第 1 層）和資料連結層（第 2 層）。在第 3 層的核心網路（Core Network, CN），扮演網路資源分配和管理的重要任務，RAN 與 CN 間的連結與架構，對網路效能至關重要。

隨著 6G 核心網路的流量將大幅增加，核心網路功能需要更加分散，以提高效率。各種核網功能也正在虛擬化，並儘可能在區域雲端中進行運算，甚至在較低延遲的邊緣雲中實作。因此，未來 6G 網路技術，也特別強調 RAN 與 CN 間的架構與整合。

三、 6G 應用型態對頻譜資源管理制度之影響

隨著新興科技的發展，6G 網路將涵蓋更廣泛的應用場景，從智

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

慧城市和自動駕駛車輛到遠程醫療和工業自動化，如圖 6-13 所示[133]，

- 5G（2019 年）：支持高畫質影音（4K-8K）、物件驅動的數位孿生和數據通信與控制。
- 5G-Advanced（2025 年）：引入沉浸式用戶體驗（XR）、大規模數位重建以及精確的位置和時間服務，補充全球導航衛星系統（GNSS）。
- 6G（2030 年）：實現全息傳輸、基於即時同步更新的廣泛數位孿生（如：智慧城市、智慧工廠）和具備第六感的網路。

6G 應用場景多樣化，根據 2023 年 11 月的「Ericsson Mobility Report」[134]，行動網路數據流量持續攀升，並預計在未來多年將呈指數級增長。因此，頻譜管理與分配對 6G 網路發展至關重要，即使不考慮新的應用場景，也需要額外的頻譜。

針對新興應用場景，例如：全息通信，即便是看似適度的需求會也會顯著增加對頻譜的需求。大多數應用需要在室內外移動，雖然 Wi-Fi 和其他室內解決方案發揮重要作用，但行動網路仍然是實現廣域移動性確保內外低延遲的關鍵。例如：若元宇宙和全息影像應用只能在家中實現，其價值將大幅影響。 因此，提供足夠適合廣域涵蓋的頻譜，是相當關鍵的議題。

Nokia 提出的 6G 頻譜布建策略，強調在低頻段、中頻段及高頻段之間合理分配資源，以滿足不同應用場景的需求。低頻段主要用於廣域涵蓋，中頻段則在容量與涵蓋範圍間取得平衡，而高頻段則支持極高速和低延遲的應用。

[133] Nokia. (2023). Spectrum for 6G explained. https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/spectrum-for-6G-explained/

[134] Ericsson. (2023). Ericsson mobility report. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

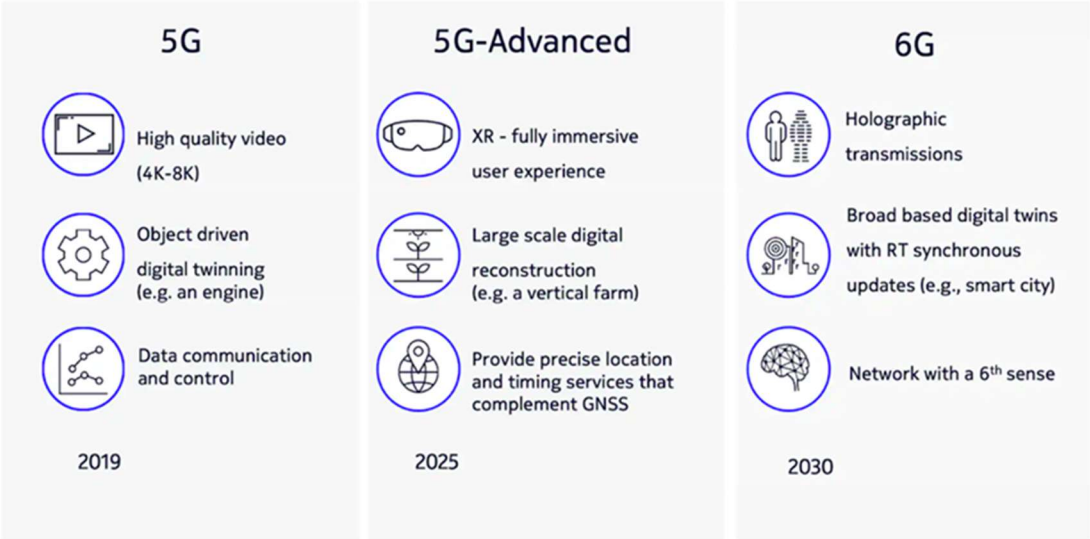


圖 6-13 、6G 技術發展趨勢

資料來源：Nokia. （2023）. "Spectrum for 6G".

根據 Nokia 的研究[135]，6G 將準備在 410 MHz 到 6.425 GHz 的頻率範圍內布建，以及一些新的未確定的頻段，如 6.425-7.125 GHz（即 upper 6 GHz）和 7-15 GHz。這與國際電信聯盟世界無線電通信大會 2023（WRC-23）[136]的協議一致，該協議同意研究和解決在 7.125-8.4 GHz 和 14.8-15.35 GHz 為地面行動通信分配新的頻譜的問題，可為 6G 提供重要的額外頻譜容量。

為了在現有頻段和新頻段之間實現無縫接軌，Nokia 建議利用多重無線接取技術、頻譜共享和載波聚合。頻譜共享的使用指出了 6G 無縫移轉的路徑，同時最大限度地利用現有基礎設施的潛力。圖 6-14 所示為 Nokia 的 6G 頻譜布建觀點[135]，7-15 GHz （New 6G）：廣域容量與數據速率提升、2.6-7 GHz （Re-farmed to 6G）：擴展現有的中頻段、470-690 MHz （New 6G）：低頻段涵蓋。此頻譜佈局和共享策略，將使 6G 能夠在不同的網路環境中靈活應用，從而滿足未來廣泛多樣化的通信需求。

[135] Nokia. (2024). Transforming the 6G vision to action White paper. https://www.bell-labs.com/institute/white-papers/transforming-the-6g-vision-to-action/#gref

[136] Dropmann, U. (2024). The golden bands and the future of 6G Nokia blog post. https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/the-golden-bands-and-the-future-of-6g-0/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

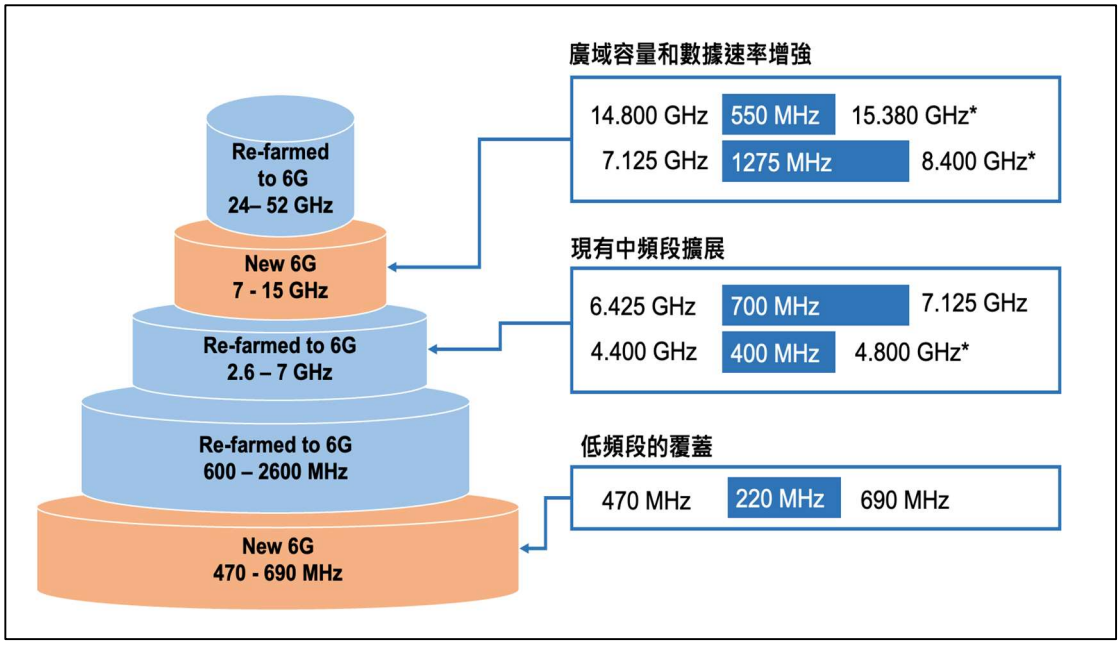


圖 6-14、Nokia 6G 頻譜布建之觀點

資料來源：本研究繪製

本計畫依頻率範圍區分為低頻段 7GHz 以下、中頻段 7-30GHz 與高頻段 30GHz 以上，如圖 6-15 所示[137]，探討未來 6G 應用對於各頻段頻譜管理的影響。根據全球行動設備供應商協會（GSA）的報告[137]，顯示不同頻段在各種應用中的分布和特性，

- 低頻段：傳播效能佳、頻寬容量小，適合大範圍涵蓋，以及偏遠地區和可穿透建築物障礙之涵蓋。
- 中頻段：傳播效能及頻寬容量介於低、高頻段間，整合 TN 與 NTN 網路，提供容量和涵蓋的平衡，適合室外和非地面網路通信。本研究將中頻段定義在 7 到 30 GHz 之間，是因為在此範圍內涵蓋了 Ku 和 Ka 頻段，是未來 NTN 廣泛使用的頻段，是實現地面與非地面網路整合的關鍵頻段。
- 高頻段：傳播效能差，頻寬容量大，適用於室內靜態之應用，例如：VR 和 AR 應用等。

[137] GSA. 5G spectrum. https://gsacom.com/5g-spectrum/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

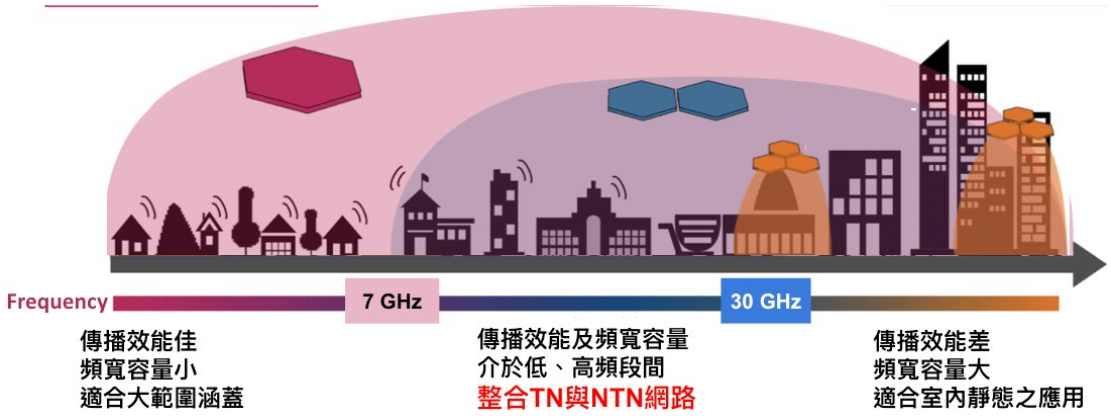


圖 6-15、低中高頻率特性

資料來源：GSA . 5G spectrum. https://gsacom.com/5g-spectrum/

(一) 低頻段 7 GHz 以下

低頻段頻譜，特別是 1 GHz 以下的頻譜，如：700MHz 和 900MHz 頻段，為行動網路提供基本的涵蓋[125]。低頻段因其良好的訊號穿透能力和廣泛的涵蓋範圍，具備傳播損耗與穿透損耗較低的優勢。不僅能有效到大範圍的涵蓋，還可以穿透障礙物，例如：地下室和建築物內部等室內場景。

1. 頻譜資源使用狀況：

低頻段主要用於地面通信服務，適合大範圍涵蓋和基本通信服務。目前此頻段頻譜資源之使用已接近飽和，大多已核配給行動通信業者、廣播電視業者、警消等公部門之應用。此外，6 GHz 頻段存在許多重要固定衛星通信及點對點微波通信系統。因此，低頻段擁塞問題嚴重，幾乎沒有多餘頻譜可以規劃供 6G 使用。

2. 頻譜管理之影響：

但隨著 4G 頻譜執照陸續到期，可將此 4G 系統之頻譜進行重耕和重新拍賣，以供 6G 使用。對於頻譜管理的影響如下：

(1) 低頻段頻譜是否能滿足市場需求

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G 應用趨勢將朝向更高傳輸速率及頻寬之方向前進，而低頻段之特性之一是頻寬及傳輸容量小。因此，在低頻段頻譜重耕後之頻寬是否能滿足未來 6G 應用需求，仍待觀察。

(2) 頻譜拍賣之過度競爭

在未來進行 6G 頻譜拍賣時，我國主要行動電信業者有 3 家。若低頻段頻譜供給不足，各家業者又極欲標得頻譜，這將促使拍賣過程競爭激烈，導致競標金額過高，不利電信市場之經營。

(3) 對既有系統之干擾

頻譜重整後，需考慮與既有系統干擾之議題。主要是鄰頻道之干擾，及系統間之保護頻道寬如何規劃。

(4) 特殊事件下頻譜使用者之義務

低頻段頻譜是災害救援通信系統相當重要的頻譜，若有意將公共保護與災害救援（PPDR）系統導入 6G，則需要在頻譜拍賣時，明定頻譜得標者需要配合之義務，這將有助於在災害發生時維持穩定的通信服務。

(二) 中頻段 7-30 GHz

中頻段頻率範圍，被 Nokia 及 Ericsson 等電信設備商認為是 6G 網路潛在的新興頻段 [125]，可廣泛應用於室外和非地面網路（NTN)通信。非地面網路可以成為地面連接服務的重要互補連接。例如：為地面涵蓋不足的偏遠地區提供服務、為物流和運輸提供全球連接、支援救災以及動員時期之網路。

非地面網路（NTN）將在 6G 中發揮重要作用，可補充地面網路（TN）的涵蓋，根據不同需求進行網路切換或整合，如圖 6-16 所示 [138]。NTN 和 TN 的整合，允許在各種情況下提供穩定的網路

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

連接，特別是在偏遠地區或無法依賴傳統地面網路的地方。3GPP Release-17 亦可支援使用 NTN 的 5G NR，因此，6G 系統之 NTN 及 TN 整合，將可提供無處不在的網路涵蓋和設備連接[138]。

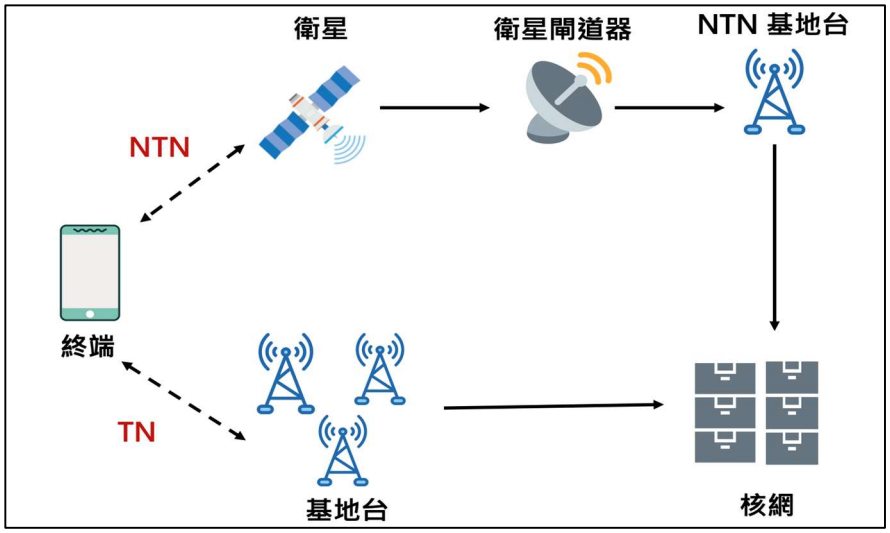


圖 6-16、TN-NTN 融入 6G 網路

資料來源：本研究繪製

3GPP NTN 衛星通信使用頻譜可分為衛星行動用途（Mobile Satellite Services, MSS）及衛星固定用途（Fixed Satellite services, FSS）。MSS 主要使用 L-band 及 S-band，通常作為 service link 使用。而 FSS 主要使用 Ku-band 及 Ka-band，通常作為 feeder link 使用。service link 是連接用戶設備和衛星的關鍵鏈路，負責將用戶端的數據傳輸到衛星，並將來自衛星的數據傳輸回用戶設備。因此，service link 直接影響到用戶體驗，包括數據傳輸速率和延遲。在通透模式下，service link 透過衛星將 feeder link 上的 NR-Uu 無線接口訊號傳送到用戶端。代表 service link 的性能必須足夠強大，以確保數據在不同鏈路之間的高效傳輸，避免數據瓶頸[139]。

如圖 6-17 所示140，service link 負責將 NTN 終端（例如：手

[138] Next G Alliance. (2022). 6G technologies. https://nextgalliance.org/working_group/technology/

[139] Nokia. (2024). Transforming the 6G vision to action White paper. https://www.bell-labs.com/institute/white-papers/transforming-the-6g-vision-to-action/#gref

[140] NGMN. (2019). Non-Terrestrial Networks Position Paper. https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/191209-NGMN-Non-Terrestrial-Networks-Position-Paper-r1-1.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

機和衛星終端機）連接到 NTN 平臺（搭載 NTN 酬載的衛星）。這些鏈路需要高頻寬和低延遲，以支援高數據速率的應用，中頻段頻譜的使用可以滿足這些需求，提供穩定且高效的連接。中頻段在 6G NTN 具關鍵作用，於自由空間之環境下，提供良好的傳播特性和大量可用的頻譜資源。

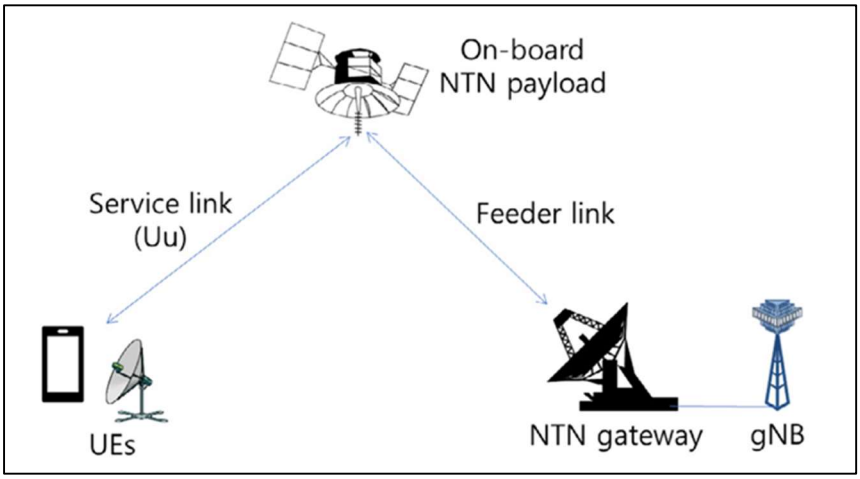


圖 6-17、NTN 架構圖

資料來源：NGMN. （2019）. Non-Terrestrial Networks Position Paper.

1. **頻譜資源使用狀況：**

此頻段的使用主要包括衛星固定、衛星行動、固定微波通信、行動通信、雷達系統等。隨著 6G 的新服務與應用出現，需要更多頻譜來供應 6G 創新應用。為了滿足這些需求，業界視 7-30 GHz 之間頻譜為 6G 潛在新興頻段，並擴展到具有頻寬的較高毫米波段（mmWave）[139]。利用多頻段並透過先進技術提高頻譜效率，對有限頻寬上實現高吞吐量至關重要。但此頻段的既有使用系統也包括重要的點對點微波通信系統，私部門與政府部門皆有廣泛的使用，因此要轉移此頻段的既有用戶，成本相當高，也會面臨極大的困難。

2. **頻譜管理之影響：**

6G 應用使用中頻段頻譜，對頻譜管理的影響如下：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(1) NTN 在我國需求有限

雖然 NTN 相當合適利用中頻段頻譜，但我國並非 ITU 會員國，無法自主發射商用 NTN 衛星系統，且我國地面網路涵蓋已達 95%以上。因此，NTN 網路在我國需求將只限於救災或動員時期之用途。

(2) 非視距通信之衰減

若欲使用中頻段布建地面廣域網路，且在非視距（Non-Line-of-Sight, NLoS）通信之環 境（如有高密度建築物之都會區），此頻段之衰減相當大，將會大幅降低系統的可用性。因此，中頻段頻譜應較適合用於室內短距離或戶外點對點通信。

(3) 國內 TN 業者與國外 NTN 業者之合作

臺灣並非 ITU 會員國，若要導入 NTN 系統，則須我國電信業者和國外衛星業者合作。衛星之下鏈頻率由國外衛星業者提供，地面之衛星之上鏈頻率，則須受我國之監管。頻譜管理上，除了需要考慮和既有系統之干擾外，也需考量國內電信業者和國外衛量業者之合作模式與商業條件。

(三) 高頻段 30GHz 以上

高頻段或毫米波範圍（例如：40 GHz）的傳播特性，可實現企業所需的高容量、低延遲的場景，如超高速數據傳輸和即時應用。由於此頻段之技術與應用尚在發展階段，目前需求較小，且主要在室內短距離環境中使用，因此對頻譜管理的影響相對較小。

此外，關於 sub-THz 頻譜的 6G 研究正在進行中，此段頻譜可用於高精度感測和定位應用。由於 sub-THz 頻率的傳播特性不允許在廣域網路中有效傳播和涵蓋，因此只能補充中頻段之頻譜供應，而不能替代它們[133]。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在 100 GHz 以上的頻段，雖然有可能獲得大量頻譜，但由於這些頻段的傳播條件非常嚴苛，因此這些頻段主要適用於高密度網路布建中需要極高流量、容量和數據速率的特定應用場景[126]。

1. **頻譜資源使用狀況：**

太赫茲提供了大量可分配給 6G 的連續頻譜，由於頻寬高達 20GHz[133]，雖然 Sub-THz 頻段帶來巨大的技術挑戰與困難，仍需考慮其在 6G 中的應用。

晶片供應商 Qualcomm 公司指出[131]，太赫茲（THz）技術可用於 6G 應用之沉浸式雲端 VR、觸覺和多感官通信、無須眼鏡的 3D 和全息影像等。沉浸式的雲端 VR 作為現有 XR 服務的進化，提供更高的解析度和接近人類感知極限的影片幀率，同時具備極低的互動延遲，以提供最佳的沉浸式視覺體驗。這些應用和空間計算需要更高的數據傳輸速率，根據不同應用，範圍從 100 Mbps 到 10 Gbps 不等。整體網路容量需求將是 5G 系統的 100 倍。為了滿足這些需求，6G 將需要原生高頻段技術的支持，以實現跨頻段的無縫切換和聚合。

2. **頻譜管理之影響：**

(1) 使用者較少且衝擊較小

高頻段使用者少，干擾較小，主要用於室內短距離應用，減少了干擾的可能性。

(2) 頻譜整備相對單純

高頻段頻譜，特別是 THz 頻段，既有用途較少，有比較充裕的頻譜供應。

(3) 高頻段之技術與應用仍需時間發展

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

此段頻譜用於商用通信，仍需一段時間發展，太赫茲相關技術仍待突破。目前 6G 是否使用 Sub-THz 頻率仍有待商榷。

四、 頻譜共享技術與趨勢

頻譜分配可分為三個主要發展階段，如圖 6-18 所示，從傳統的人為分配、以資料庫為基礎的頻譜接取系統，到未來的 AI 動態頻譜分配。

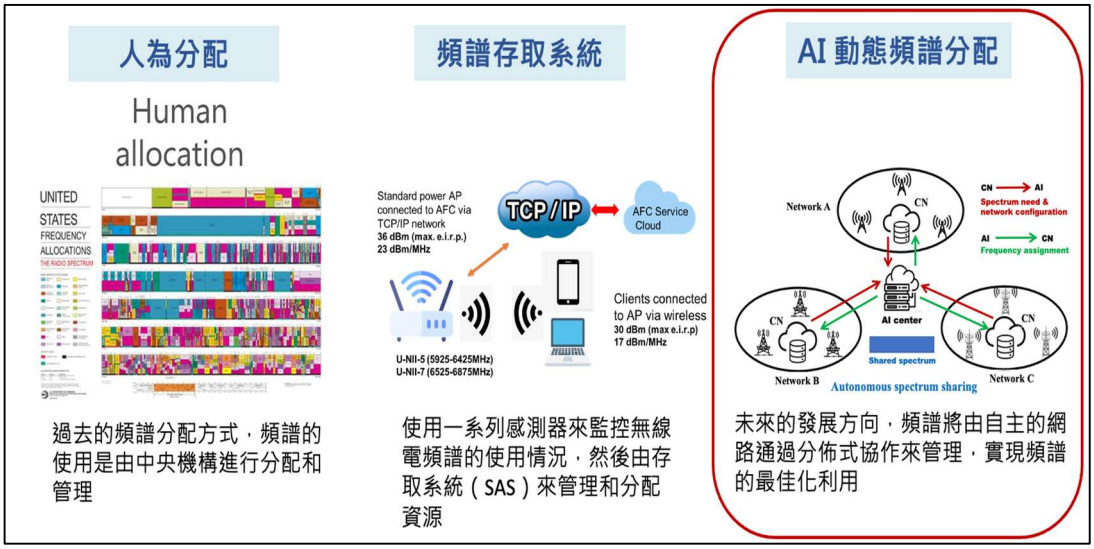


圖 6-18、頻譜分配發展三階段

資料來源：本研究繪製

(一) 人為分配（Human Allocation）：

頻譜的使用由頻譜主管機構進行分配和管理，經由專業技術團隊進行電波干擾分析或協調，分配及核配後，由獲得頻率授權的使用者，在授權有效時間內使用頻譜。這是傳統的頻譜分配方式，一般而言，行動通信頻譜使用年限至少 10 年以上，無法動態機動調整頻譜的使用。因此，此種頻譜分配方式缺乏彈性，容易造成頻譜閒置的情形。

傳統上，頻譜主管機構使用靜態接取模型，將授權頻譜以大區塊的方式長期分配給 MNOs （Mobile Network Operators）。然而，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

這種模式的瓶頸在於，因授予了使用頻譜的專屬權，導致大部分授權頻譜在時間、頻率和空間上存在閒置的情況，頻譜無法充分利用。根據美國聯邦通信委員會的數據，3GHz 以下頻譜的利用率差異顯著，佔用率介於 15%到 85%之間[141]。此種靜態授權的頻譜分配模式，越來越不適合現代通信的彈性與效率需求，因為每個 MNO 只被允許在自己的範圍內營運，並且通常持有長期頻譜執照，導致頻譜資源未能得到充分利用[142]。

(二) 頻譜接取系統（Spectrum Access Systems, SAS）：

頻譜共享的關鍵問題，是如何讓 2 種以上系統或用戶使用相同頻譜，而不會產生妨害性干擾。其核心理念是，利用相關技術，如建立以頻譜資料庫為中心的頻譜接取系統，進行干擾分析，據此指配頻率，確保共享頻段內之用戶不會產生妨害性干擾，進而提高頻譜使用效率。美國的公民寬頻無線電服務（Citizens Broadband Radio Service, CBRS）、自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）等，即是以頻譜資料庫為基礎之頻譜共享技術。

公民寬頻無線服務之頻譜共享技術，主要是源自於美國聯邦通信傳播委員會於 2015 年頒定相關規範，劃定 3550-3700MHz 為共享頻段，同時以三層式架構，讓不同類別使用者共享頻譜。三層式頻譜共享架構，分別為既有使用者（Incumbents）、優先執照使用者（Priority Access Licensees, PAL）、一般許可接取使用者（General Authorized Access, GAA）。Incumbents 擁有不被其他層級使用者干擾的權利，主要用戶為美國海軍（軍艦及岸邊雷達），另尚有固定衛星接收站；PAL 則不得對 Incumbents 產生有害干擾，主要用戶為電信業者，頻譜採拍賣方式釋出；GAA 不得對 Incumbents 及 PAL

[141] Force, S. (2002). Spectrum policy task force report. Federal Communications Commission, ET Docket 02-135. https://www.fcc.gov/document/spectrum-policy-task-force

[142] Saha, R. K. (2022). Dynamic allocation and sharing of millimeter-wave spectrum with indoor small cells in multioperator environments toward 6G. Mobile Information Systems, 2022(1912211), 19 pages.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

產生有害干擾，主要用戶為一般民眾。

自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）之頻譜共享技術，主要是起源於 Wi-Fi 聯盟為了將 6 GHz 頻段作為免申請執照之無線區域網路，與既有的通信系統共用頻譜的機制。此頻段之既有系統包括固定微波鏈路通信、衛星通信固定服務、太空天文臺觀測通信等。AFC 頻譜共享機制，核心部份為 AFC 服務提供者維運之頻譜管理運算資料庫系統。此資料庫系統要定期和主管機關之既有使用者頻譜資料庫同步更新，包括 U-NII-5 和 U-NII-7 頻段中許可微波鏈路的現有官方資料。此外，也要負責審核 Wi-Fi 戶外使用者之頻率使用申請、進行相關干擾分析及計算、決定可用頻道並核准指配給用戶使用。

(三) AI 動態頻譜分配（AI-based Dynamic Spectrum Sharing）：

隨著人工智慧技術的快速發展，其應用範圍持續擴展，例如：自動駕駛、智慧醫療和工業自動化等領域，對網路速率與頻寬的需求將顯著提升。這些新興應用需要即時處理和傳輸大量數據，以確保高效運作。6G 系統預期將結合人工智慧、機器學習和雲端計算等技術，進一步提升行動服務的能力。聯發科也強調，未來的 6G 不僅是速度的提升，更將成為整合各種前沿技術的平臺，為虛擬實境、全息通信等新興應用提供革命性的行動服務。

高度整合的 6G 網路將導致頻譜需求的大幅增加，尤其是在面對這些要求極高的 AI 應用時，特別是在需要及時數據處理和傳輸的場景中，頻譜資源的競爭將愈加激烈。這也將推動更靈活且高效的頻譜管理技術的發展，以應對未來的挑戰。6G 系統之頻譜共享技術即是以 AI 為基礎之共享機制，即頻譜之使用，將由自主運作的網路或實體，透過人工智慧、深度學習及分散式協作來協調和管理不同網路之間的頻譜使用，實現頻譜資源的最佳化分配。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

在未來的 6G 網路中，透過分散式布建人工智慧（AI）引擎於整個網路，包括裝置、無線接取網路及核心網路，將能有效避免不同使用者之間的頻譜使用衝突。這是實現動態頻譜管理系統全面成功的關鍵因素。此外，動態頻譜共享還需要新的監管及許可策略，以適應未來頻譜資源的彈性分配[143]。

6G 頻譜共享的核心在於允許不同的行動網路營運商共用同一頻譜資源，而不會互相干擾。本計畫參考 Saha, R. K. （2022） 的研究 [142]，整理出兩個層級的動態頻譜分配與共享架構，以提升頻譜資源的利用效率。此架構可分為以下兩個頻譜核配層級。

層級 1（Level 1）：

由國家監管機構（National Regulatory Agency, NRA）根據各 MNO 的實際需求（例如：用戶數量、話務量）動態核配頻譜資源。允許在一定的頻譜授權期間內，根據需求調整每個 MNO 的頻譜核配，以達到頻譜資源的最優化利用。如圖 6-19 所示 [141]，4 個 MNO（MNO1、MNO2、MNO3、MNO4），每個業者都分別被核配到各自的頻譜（如 M1、M2、M3、M4）。

層級 2（Level 2）：

當某個 MNO 的特定頻段在某些時間或區域內未被充分利用時，該頻段可動態地與其他 MNO 共享。例如：如果 MNO1、MNO3 的頻譜資源在某些域未被使用，則這些閒置的頻譜可以動態共享給 MNO2 使用，以提高整體頻譜的使用效益。

共享的條件通常是在某個 MNO 頻譜使用率較低、另一 MNO 需求上升時，進行動態調整，促進高需求與低需求區域之間的頻譜資源流動與共享。透過這種動態的頻譜分配與共享機制，可以

[143] Hexa-X. (2021). Expanded 6G vision, use cases and societal values. https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/05/Hexa-X_D1.2.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

大幅提高頻譜資源的使用效率，特別是在面對不同地區的高需求與低需求情境時，靈活地進行資源分配。

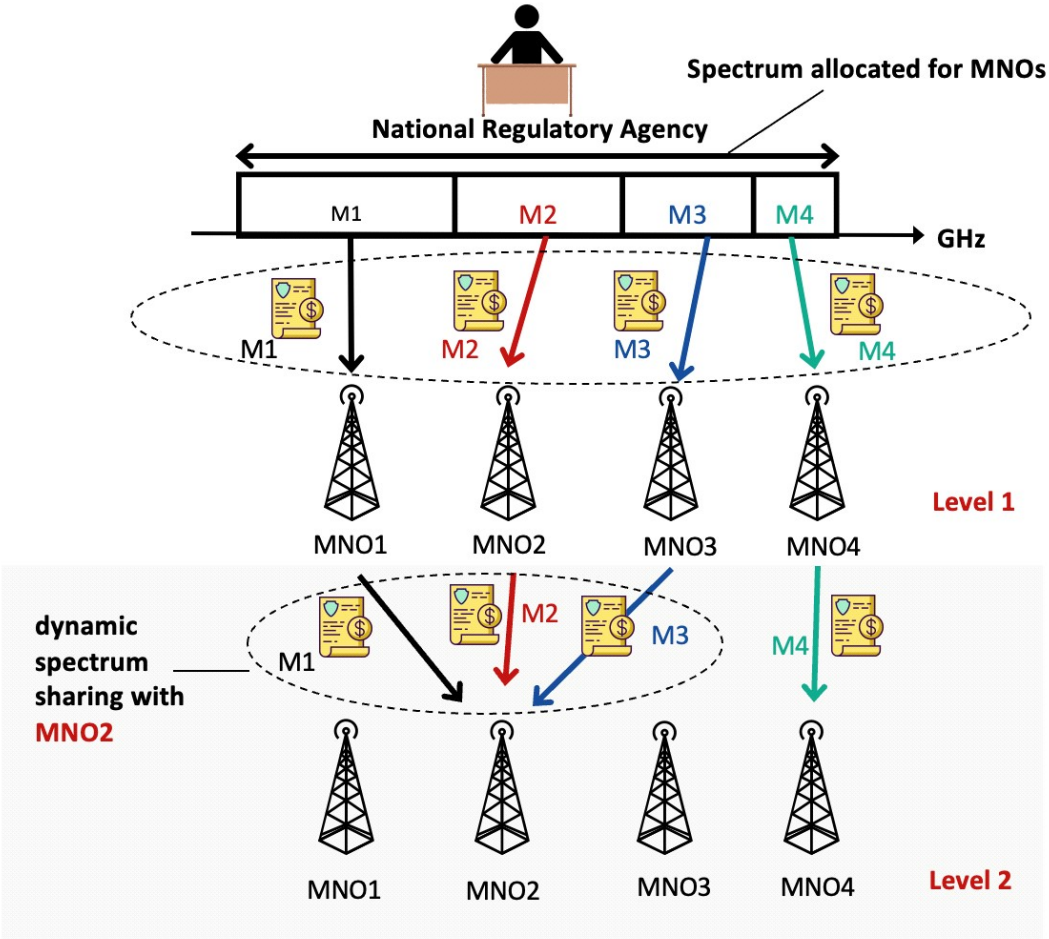


圖 6-19、兩層式動態頻譜架構

資料來源：Dynamic allocation and sharing of millimeter-wave spectrum with indoor small cells in multioperator environments toward 6G. Mobile Information Systems, 2022（1912211）, 19 pages.

而近來快速發展的人工智慧及深度學習技術，可以有效率的實現上述跨不同 MNOs 之頻譜共享機制，本計畫將此稱為基於人工智慧的動態頻譜共享（AI-based Dynamic Spectrum Sharing, ADSS）技術。

將 AI 應用於頻譜共享，最重要的里程碑為美國國防高等研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）於

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2016 年啟動的「頻譜協作挑戰賽」（Spectrum Collaboration Challenge，SC2）[144]。這是一項全球首創的 AI 及機器學習競賽，目的是解決日益擁擠的無線電頻譜使用問題。隨著無線設備的數量快速增加，無論是軍事還是民用設備，都面臨如何在有限的頻譜資源中有效共存的挑戰。SC2 的目標是讓參賽隊伍設計出能夠自主協作並自動調整通信架構的無線電系統，以創造出一種全新的頻譜共享技術與頻譜管理模式。這些系統利用人工智慧（AI）和機器學習技術，自主學習如何在動態環境中、感測電波訊號、分享通信參數、分配通道、避免干擾，以充分利用稀有的頻譜資源[144]。

圖 6-20 所示為多個網路（如 Network A、Network B、Network C）之間的自主頻譜共享架構，該架構依賴於一個 AI 中心來管理頻譜需求與頻率資源的分配。每家業者的網路均包含多個基地臺和一個核心網路（CN），這些網路共同使用一個「共享頻譜」。為了實現頻譜的動態分配，系統設計中央 AI 中心（AI Center）作為頻譜管理的中樞。

1. **AI 中心的角色：**

AI 中心負責接收各網路的頻譜需求和網路布建資料，並依據這些資料，經由深度學習與 AI 運算，進行干擾分析，據此動態分配頻譜資源。圖中紅色箭頭表示網路向 AI 中心傳遞的頻譜需求與網路布建資料，而綠色箭頭則表示 AI 中心，經由 AI 運算後之頻率核配資訊，通知各核心網路的過程。AI 中心透過演算法進行頻譜的動態管理，確保不同網路間能夠高效共用頻譜。這樣的協作機制使得多家業者能夠在共享頻譜的環境中最大化頻譜的使用率，並能隨時根據實際需求進行即時調整。

[144] DARPA. (2019). Spectrum collaboration challenge. https://www.darpa.mil/about-us/timeline/spectrum-collaboration-challenge

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2. **網路間的協作：**

透過 AI 驅動的自主決策，該系統能夠實現頻譜資源的靈活分配，確保在分配頻譜時避免干擾，維持網路服務品質。在頻譜共享過程中，資訊的流動與處理是系統運行的基礎。每個網路（Network A、B、C）會將其頻譜需求和網路配置資訊，如：即時的用戶通信需求、服務品質（QoS）需求、通道環境等，發送至 AI 中心。AI 中心根據接收到的數據，經由 AI 運算、機器學習等，進行頻譜資源的動態分配，並將最優化的頻譜配置給各個 MNO。

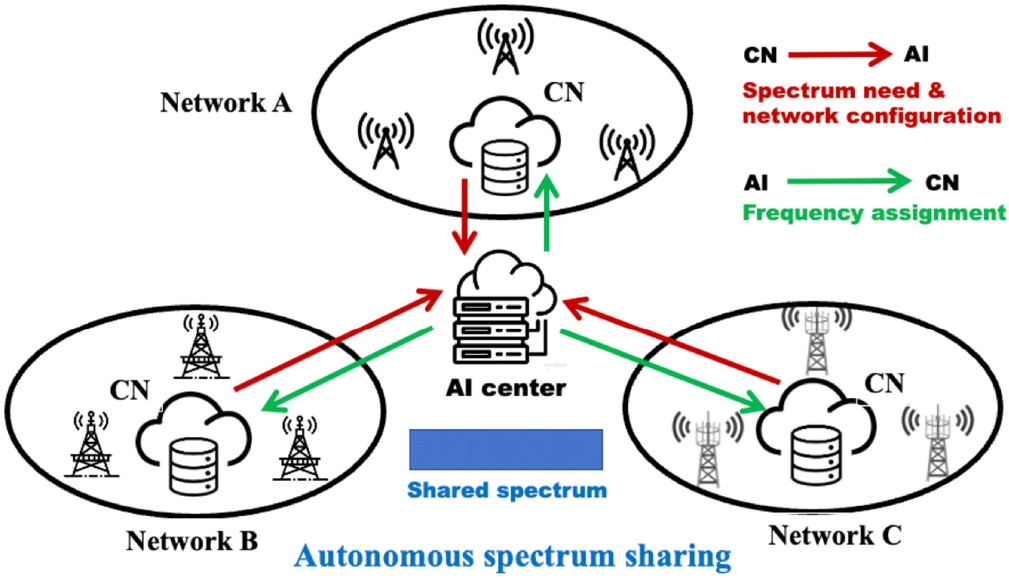


圖 6-20、基於人工智慧的頻譜共享

資料來源：本研究繪製

AI 決策引擎的設計分為三個模組，如圖 6-21 所示[144]，頻譜感測模組、頻道選擇、流量控制與資源分配模組。決策引擎基於各 MNO 的流量要求和可供給的容量，動態分配頻道。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

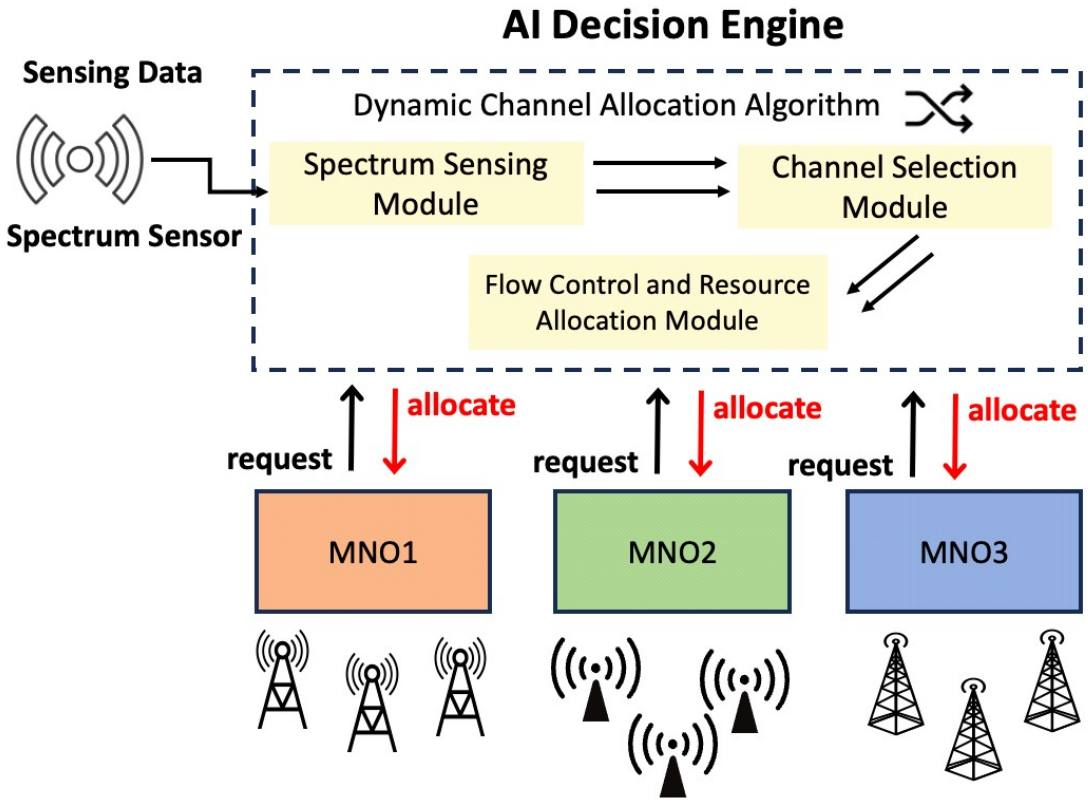


圖 6-21、AI 決策引擎架構

資料來源：本研究繪製

- **頻譜感測模組（Spectrum Sensing Module）**

負責從頻譜感測器收集環境中的無線電頻通道數據，數據包括頻譜的使用情況、訊號衰減情形、干擾訊號強度等。透過這些數據，系統能夠即時了解哪些頻道正在被使用、使用情況，以及是否有潛在的干擾源。這些資訊是後續干擾分析與頻譜分配決策的重要依據。

- **頻道選擇模組（Channel Selection Module）**

根據頻譜感測模組提供的頻譜使用數據，以及每個行動網路營運商當前的需求，動態地選擇最適合的頻道。此模組應用深度學習演算法及 AI 運算，以快速動態進行頻道選擇。因為 AI 之強

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

大學習及運算能力，使得選擇過程能夠適應各種不同快速變化的行動通信情境[145]。

- **流量控制與資源分配模組（Flow Control and Resource Allocation Module）**

此模組負責根據不同 MNO 的流量與頻寬需求、服務的優先等級、系統能提供之頻譜大小，進行頻譜資源的分配，並確保每個 MNO 的通信需求都能夠得到滿足。

第二節 6G 新興應用衍生之頻譜競合議題

根據電信商 Ericsson 的研究顯示，6G 可能的應用可以分成四種型態，如圖 6-22 所示[125]。內容包括：

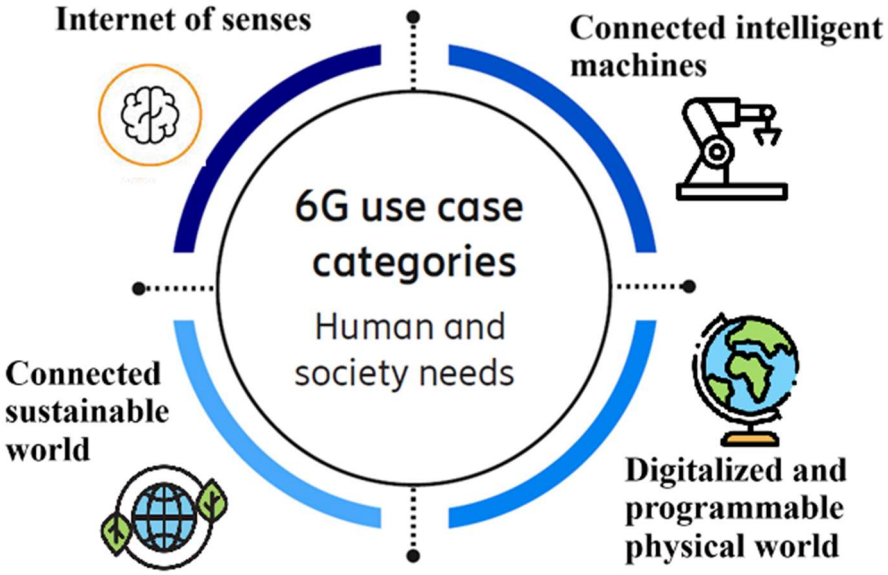


圖 6-22、6G 使用案例分類

資料來源：本研究繪製

[145] Bowyer, C., Greene, D., Ward, T., Menendez, M., Shea, J., & Wong, T. (2019). Reinforcement learning for mixed cooperative/competitive dynamic spectrum access. 2019 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), 1-6.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1. 感測網路（The Internet of senses）：

   在感測網路中，視覺、音訊、觸覺等技術讓人類擁有與現實世界相似的數位感官體驗。

2. 智慧機器連網（Connected intelligent machines）：

   到 2030 年，行動網路將支援新型智慧裝置，例如人工智慧機器人間的相互通信、人與機器人協作之通信，這些將是關鍵的使用案例。

3. 數位化及可規劃的現實世界（Digitalized and programmable physical world）：

   未來，現實世界中的所有實體事物，如建築物、道路、工廠、農田、寵物等，都將在數位世界中透過軟體和人工智慧的支援而高度整合，並衍生出劃時代的應用，如：數位雙生等。

4. 永續世界連網（Connected sustainable world）：

   在發展行動互連網路帶來的正面效益時，也要極力減少 ICT 產業的碳足跡，達到環境永續的目標。

本研究更進一步探究當 6G 跨域應用使用相同或相鄰之頻譜資源時，可能衍生之頻譜競合議題。頻譜一直是無線通信最重要的資源。如果能整備出足夠的頻譜、並有效率地利用現有頻譜、搭配免執照頻譜，對發展 6G 應用至關重要

目前全球頻譜使用的趨勢，較低的 6GHz 頻段大多供 4G/5G 網路使用。在未來的 6G 時代，有些應用需要較高的傳輸速率，導致 6G 需要更多的頻譜供應。因此，7-15 GHz 頻段引起各界的關注，並成為潛在候選頻段。但 7-15 GHz 頻段，目前存在許多既有使用者，例如衛星通信、雷達系統等。未來 6G 行動通信如欲規劃使用 7-15 GHz 頻段頻譜資源時，勢必產生與該頻段既有使用者爭奪頻譜資源之競合議

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

題。當然，也可以採用先進的頻譜分享機制，供 6G 網路使用。

由於 6G 系統主要特性為 TN 與 NTN 之整合。因此，本研究區分地面與非地面通信網路之應用型態，再探討其頻譜需求與競合之情形。

一、 6G 地面通信網路應用之研析

地面通信網路（Terrestrial Networks, TN）是指構建在地球表面上的通信基礎設施，於地面範圍內提供通信服務。這種通信網路通常由一系列地面設施組成，包括基地臺、骨幹網路、光纖電纜等。地面通信網路可以涵蓋城市、鄉村和其他各種地形，為人們提供了可靠的通信連接。地面通信網路是現代通信系統的重要組成部分，支持著人們日常生活中的各種通信需求，包括手機通話、網路連接、數據傳輸等，也是許多先進技術和應用的基礎。6G 地面網路，運行在中頻或低頻段的傳統基地臺，主要用於提供廣域的網路涵蓋；而當需要在特定區域內，特別是室內，進行高速傳送資料時，則會利用更高頻段的毫米波或太赫茲來提供服務。

6G 通信技術的發展將對地面通信網路帶來顯著影響，不僅提升現有應用，如物聯網和智慧交通系統等，更將開創全新的應用領域。此技術的進步將使地面通信網路能夠支持更廣泛和多樣化的應用，進而推動技術創新和經濟增長。6G 在技術層面上引入感測（Sensing）功能，實現了感測與通信的整合。這意味著 6G 不僅僅是一個通信網路，它同時具備了全面的網路化感測能力。透過感測網路，基地臺與各類裝置均被賦予了感測功能。6G 的感測功能能透過無線通信信號感知周圍環境的物理特徵，實現對目標的定位、檢測、成像及識別等多樣化感知功能，精準捕捉周邊環境的詳細訊息，進而確保能夠妥善地分配通信資源並提升網路效能。

感測網路潛在的應用範圍極為廣泛，在智慧交通系統應用情境

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

中，可以利用佈建在道路或交叉路口附近的電信基礎設施來感測附近交通的狀態。也可以結合車輛上裝設的各種汽車雷達來偵測、定位和感測周圍環境，將這些感測到的數據透過無線連接傳輸到網路中，共享這些訊息來實現交通管理的智慧化[146]。

當車輛與電信基礎設施偵測完外部環境資訊後，會將資料傳送至智慧運輸系統（Intelligent Transportation System, ITS），使得車聯網中的車輛、行人和交通基礎設施可以進行訊息交流，可監管測車輛運行狀態並提供綜合服務，如圖 6-23 所示。

6G 技術具備多種關鍵特性，例如更大的頻寬、極高的通信可靠性、數據傳輸速率的提生、低延遲，以及適合 AI 應用的環境。這些特性為 6G 開啟了眾多新的應用領域，使其能夠滿足 5G 技術尚未達成的需求。

在智慧醫療服務方面，6G 的特性將顯著促進遠端醫療監控系統的發展，甚至使遠距手術成為可能。遠距手術需要實時通信，而目前的 5G 技術尚不能完全滿足這一需求。6G 技術將利用太赫茲信號進行數據傳輸，提供超過 1 Tbps 的數據傳輸率和低於 1 毫秒的端到端延遲，進而大幅增強醫療服務的靈活性和可靠性。這種技術進步，尤其是在遠距手術和即時醫療監控方面，提供了前所未有的速度和效率，確保醫生可以即時接收和處理關鍵醫療數據。

此外，6G 的進步還將推動醫療領域的進一步創新，尤其是在全息通信技術的應用方面。透過全息影像，醫生能夠提供更精確的互動指導，並在遠距手術過程中提供遠端協助，彷彿他們親自在場。這種技術不僅增強了遠距手術的可行性和安全性，還提高了整體醫療服務的品質和效率。例如，全息影像可以用於複雜手術中，允許醫生從

[146] Pärssinen, A., Alouini, M., Berg, M., Kuerner, T., Kyösti, P., Leinonen, M. E., Matinmikko-Blue, M., McCune, E., Pfeiffer, U., & Wambacq, P. (Eds.). (2020). White Paper on RF Enabling 6G – Opportunities and Challenges from Technology to Spectrum. 6G Research Visions, No. 13. University of Oulu. http://urn.fi/ urn:isbn:9789526228419

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

不同角度觀察手術區域，並即時調整操作策略，如圖 6-24 所示。這些創新不僅提高了遠距手術的可行性，也顯著提升了醫療服務的品質和效率，最終促進了整個醫療產業的進步，尤其是在遠程醫療和精準醫療領域。透過這些技術的應用，醫療系統能夠更有效地應對全球健康挑戰，提供更好的病患照護和治療解決方案。

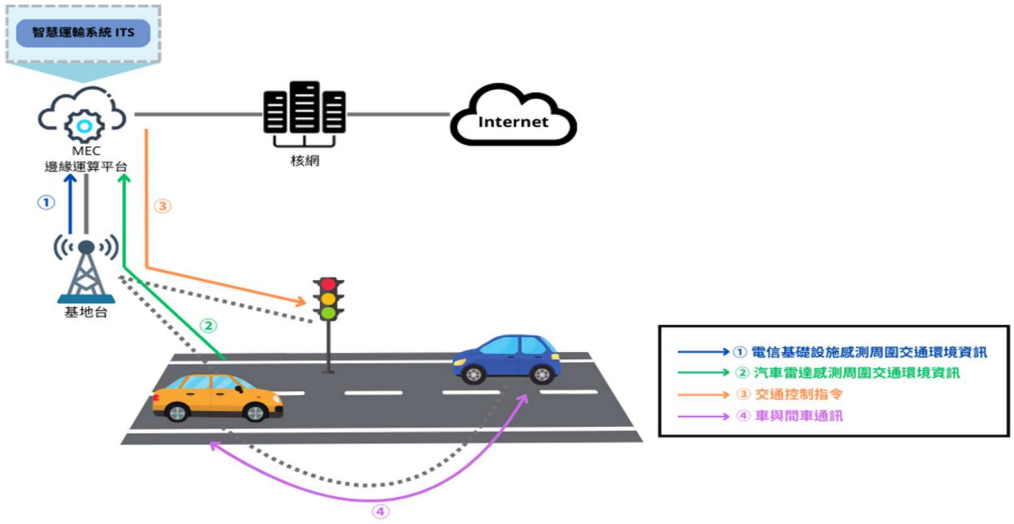


圖 6-23、智慧交通應用情境

資料來源：本研究繪製

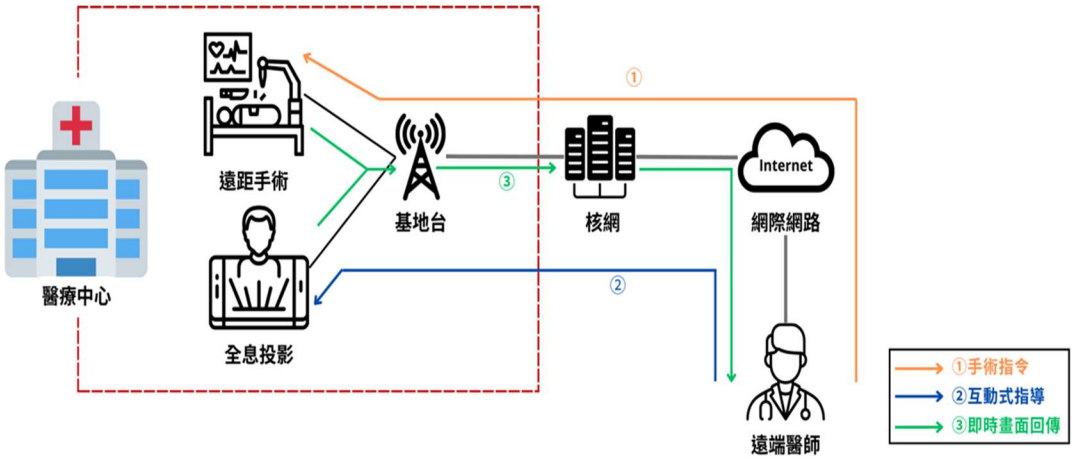


圖 6-24、智慧醫療應用情境

資料來源：本研究繪製

二、 6G 非地面通信網路應用之研析

自俄羅斯於 2022 年 2 月入侵烏克蘭戰爭以來，讓許多國家感受到衛星通信在特殊事件下所展現的韌性及重要性。同時，馬思克的星

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

鏈服務，利用低軌衛星，可以提供地面用戶經由 Wi-Fi 無線區域網路技術連接到網際網路。此外，傳統衛星產業，基於其現有衛星系統，也積極尋找創新應用服務，以開發新的獲利來源。手機晶片設計公司，如高通及我國的聯發科技公司，也樂見能開發新的衛星通信模組，增加公司的盈收。這顯示各界對非地面通信，抱有相當高的期待。

實際上 3GPP 於 Release 17 開始納入 NTN 架構，並試圖將衛星通信整合至 5G 或 6G 行動無線網路。在 2022 年 3 月，3GPP Release 17 發表第一版的非地面通信協定，在最小更動下，先支援 FR1（Frequency Range 1）下的衛星通信[147]。未來，3GPP 也將於後續版本，包含 6G 系統，持續推動 NTN 整合 TN 之解決方案。

根據 3GPP 提出的 NTN 結合 5G NR（new radio）的通信服務解決方案，其網路架構如圖 6-25 所示[147]。於地面的用戶終端設備，經由服務鏈路（service link）連上衛星或無人機等空中通信平臺，再經由饋入鏈路（feeder link）連接地面閘道器（gateway），再連至數據網路或網際網路。上述 NTN，可分為透通型及再生型兩種模式，如圖 6-25 所示：

1. 透通型（Transparent）：空中通信平臺只轉傳訊號至地面閘道器與 5G 基地臺。也就是以衛星作為訊號傳輸的中繼站，基本上只進行頻率轉換、訊號放大而已。

2. 再生型（Regenerative）：空中通信平臺具備 4G/5G 基地臺的功能。也就是要求在衛星上進行訊號解調/解碼、調變/編碼等功能，衛星設計相對複雜。

[147] 3GPP TR 38.821 v16.2.0. (2023). Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN). https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_92e/Inbox/Drafts/%5B92-e-16-NR-NTN-WI%5D/Final/draft%20RP-211557_WID%20NR-NTN_for%20Rel-17%20v5.6.docx

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

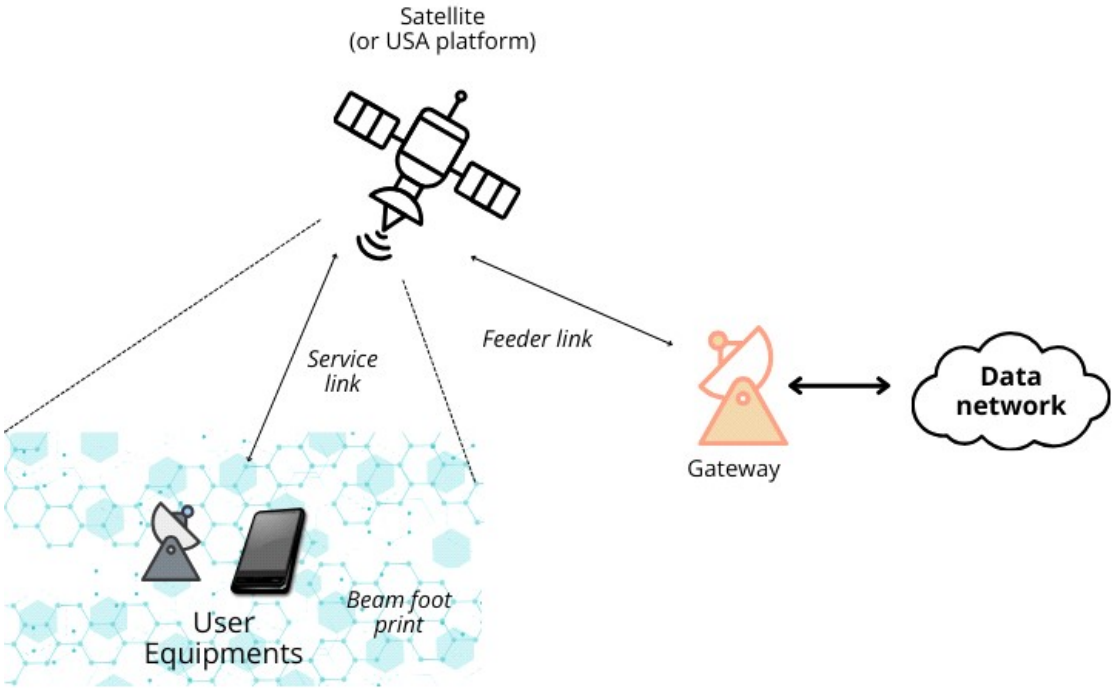


圖 6-25、 NTN 網路架構

資料來源：本研究繪製

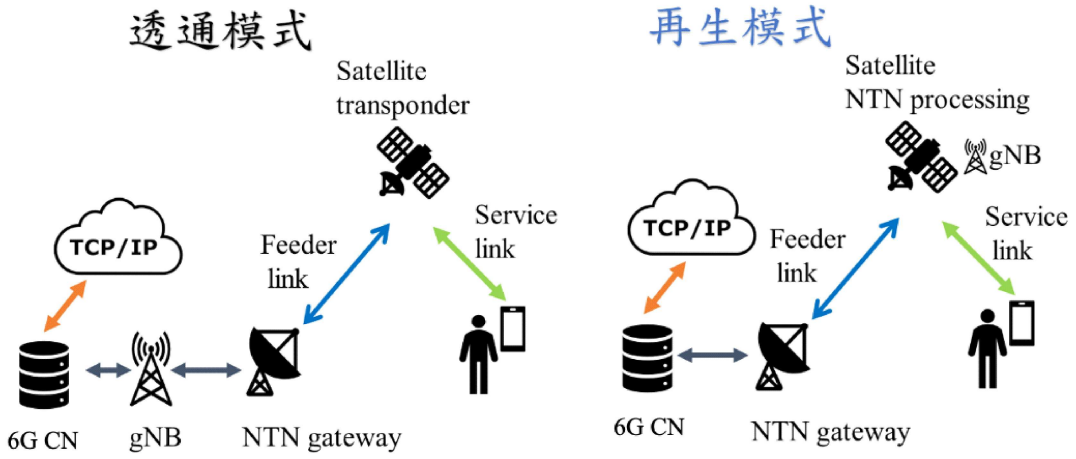


圖 6-26、透通型與再生型 NTN

資料來源：本研究繪製

由於低軌衛星相對於地面，具有飛行速度，且離地面相當遠的距離，約 500 公里左右。因此，NTN 的建置仍面臨相當大的挑戰，例如，頻率飄移的都卜勒效應（Doppler effect）、多重接取時的時間對準（timing）、及上鏈時的功率是否足夠（power link budget）等。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

我國聯發科技公司於 2023 年 5 月 4 日發表最新衛星網路和地面網路整合為題的 6G NTN（Non-Terrestrial Networks）技術白皮書[148]，未來將可透過衛星網路和地面網路的互補特性，打造陸海空全地形、全空間訊號涵蓋範圍，提供使用者無縫的通信服務。而 6G NTN 可以縮小城鄉數位落差，為全球沒有地面網路涵蓋的區域提供基本的簡訊、通話及上網等通信服務。並可能催生更多創新的應用，例如進行緊急災害應變、氣候變遷監控、野火消防救災等服務。

聯發科於白皮書中提到未來 6G NTN 發展趨勢如下：

1. 手機直連衛星，將衛星通信晶片整合於一般商用手機，讓使用者能於偏遠地區仍能接取 6G 網路。
2. 自駕車輛直連衛星，衛星通信的大範圍的涵蓋，特別是平面訊號無法涵蓋的偏遠郊區，對於自駕車的導航，扮演至關重要的角色。
3. 物聯網直連衛星，如自動販賣機之存貨及付款服務、野火偵測與防護等。

在頻譜分配上，以往衛星和地面的頻段通常是採用獨立分配及獨立使用，然而這並不是最佳的頻譜分配方式。對於支援非地面網路（NTN）的手持終端裝置而言，考慮其傳播特性及距離，以相對較低頻的 1.5-2.5 GHz 頻譜較合適。然而該頻段內可用的衛星頻譜資源相對有限，因此需要透過與地面行動通信共享頻譜來解決，以最大化頻譜價值，並進一步增強最終用戶的連接體驗。例如，衛星可以利用 TN 未使用的頻譜區塊在偏遠地區提供更廣泛的無線涵蓋範圍。從長遠來看，這將有助於緩解頻譜稀缺問題，但仍須解決與既有行動通信間之干擾問題。

[148] MediaTek. (2023). Satellite and terrestrial network convergence White paper. https://d86o2zu8ugzlg.cloudfront.net/mediatek-craft/documents/MediaTek_WhitePaper-6G-Satellite_EN0523F.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

此規劃不僅可以使 NTN 以更有效地方式利用 TN 頻段，也使得 NTN 的地面終端裝置可以於智慧型手機增加 NTN 模組即可。從而最大限度地避免了終端裝置支援 NTN 所需的額外成本、體積和複雜度。這種複用不僅能夠提高資源的利用效率，還能夠為終端裝置的規模化生產帶來積極的影響。

NTN 除了傳統使用地球同步軌道衛星、低地球軌道衛星外，也可利用高空通信平臺（High Altitude Platform Station, HAPS），將能夠為山區和偏遠地區、海上、天空提供通信服務。功能如同空中基地臺，HAPS 能夠在大約 20 公里的高度固定位置停留，在約 50 公里或更大半徑的地面涵蓋範圍提供服務。由於 HAPS 的高度低於低軌道衛星，根據電波傳播速度及距離，可以實現大約 0.1 毫秒的傳輸延遲。相較於同步或低軌衛星，HAPS 的傳輸延遲較低。

3GPP 持續研究如何使用衛星和 HAPS 擴展新無線電（NR），在 2019 年世界無線電通信大會（WRC-19）上，38.0 GHz 至 39.5 GHz 頻段被規劃為 HAPS 系統的使用頻段。透過使用此毫米波段的無線電波，可以實現一種高速大容量的固定通信系統。因此，HAPS 被認為是在受災區以及 6G 設想的工業使用場景佈建的有效方式之一。因高空模式的傳播模型為自由空間模式，故訊號衰減情形，相較於 TN 通信，衰減幅度較小。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

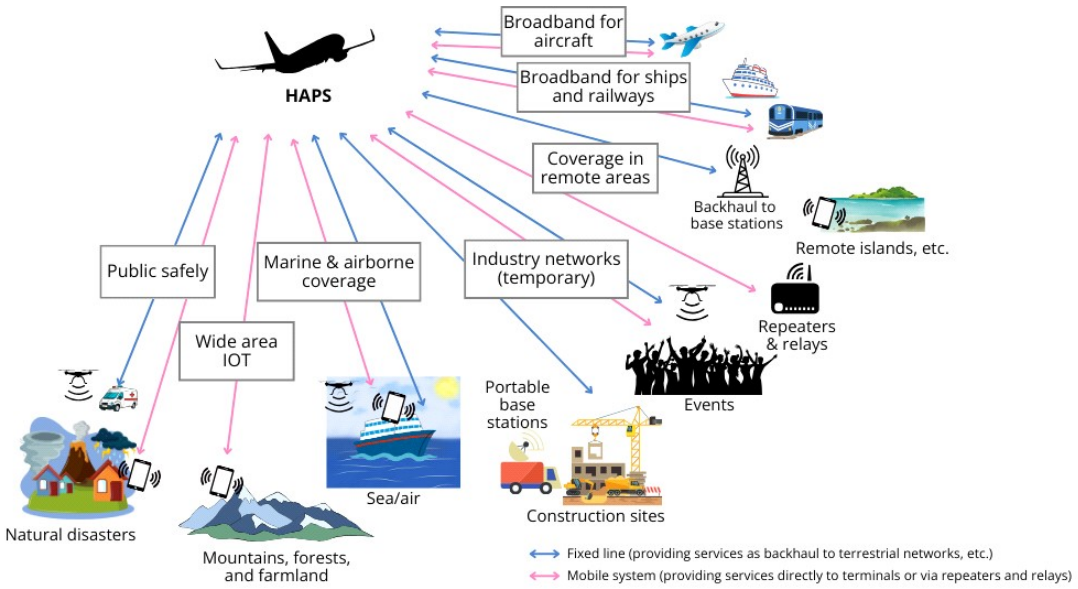


圖 6-27、HAPS 架構

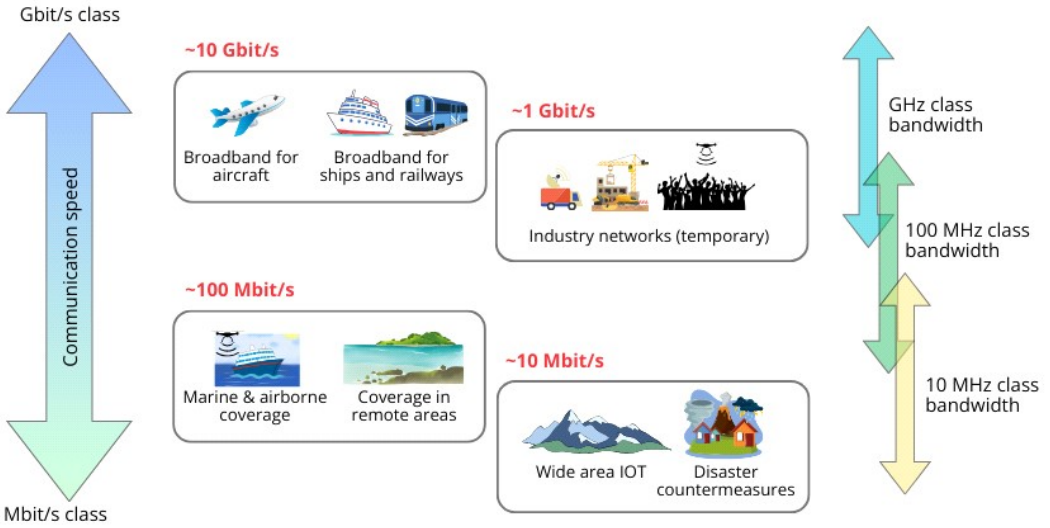


圖 6-28、HAPS 傳輸需求

資料來源：Hokazono, Y., Kohara, H., Kishiyama, Y., & Asai, T. （2022）, Extreme coverage extension in 6G: Cooperative non-terrestrial network architecture integrating terrestrial networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 138-143.

圖 6-27 所示[149]，HAPS 連接到地面的 6G 核心網路，形成了大規模的三維異質網路。 TN 和 HAPS 可以協作，根據位置（包括空中、

[149] Hokazono, Y., Kohara, H., Kishiyama, Y., & Asai, T. (2022). Extreme coverage extension in 6G: Cooperative non-terrestrial network architecture integrating terrestrial networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 138-143.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

海洋和太空）提供無縫通信，以提供服務和所需的通信速度與延遲。HAPS 系統的速率與頻寬要求因使用場域而異，需要不同速率與頻寬。如圖 6-28 所示[149]。因此，需要彈性的方式，來支援固定和行動系統的場域。例如，以 6G 基地臺回傳應用（backhaul applications），每條服務鏈路需至少達到 1 Gbit/s。

三、 6G 對頻寬與頻譜的需求分析

6G 應用，相較於 5G 系統，對傳輸資料的頻寬與無線頻譜的需求，將大幅增加。同時，因為整合了 TN 及 NTN，所需頻譜將包含低（MHz 頻段）、中（GHz 頻段）、高頻段（THz 頻段）。

例如，6G 應用中的全息通信（Holographic communication），此項技術可以提供完全沉浸式的 3D 空間感知，此類應用也導致新頻譜的需求。如果應用場域在室內環境，也許 Wi-Fi 免執照頻譜可以滿足。但如果需要在室外使用，仍需要額外頻譜提供廣域涵蓋。

依據歐盟支持的研究計畫（6G Hexa-X）結果顯示[150] ，為了支援高解析度全息通信，對於單一用戶上行鏈路和下行鏈路，資料傳輸速率分別約為 100 Mbits/s 和 1 Gbits/s。

假設在一個都會區，用戶密度為 5000 人/km^2，即 0.005 人/m^2，用戶下行鏈路資料傳輸之平均速率為 500 Mbits/s，若使用 Wi-Fi 和 6G 網路比例為 1∶3，則可知下鏈傳輸率需求為 500 Mbits/s x 0.005/m^2 x 0.75=1.875 Mbits/s/m^2。圖 6-29 所示[150] 為行動網路涵蓋範圍示意圖，假設基地臺間之距離為 D，則每一基地臺面積約為$S = D^2 \cdot \sqrt{3}/2$。若基地臺間距為 200 m，則基地臺面積 S 為 34641 m^2，所需 6G 傳輸率即為 1.875 Mbits/s/m^2 x 34641 m^2=65 Gbits/s/site。如果 6G 下鏈調變技術允許使用到 256 QAM 即可達 8 bits/s/Hz 的頻譜效益，基於每

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

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

個基地臺可用 3 個 sector，則頻譜需求為 65/8/3=2.7 GHz。

傳輸速率和頻譜的關係可由 Nyquist 定理得知，如圖 6-30 所示。在傳播環境很好的情形下，可以使用較有效率的調變方式，如 256 QAM。此情形下，假設資料傳輸速率為 80 Gbits/s，所需無線頻譜為 10 GHz。雖然使用高階的調變方式，可以獲得較高的頻譜使用效益，但是，仍須付出傳輸錯誤的代價，即位元錯誤率（bit error rate, BER）。圖 6-31 所示為各種調變方式，在不同的訊號雜訊比（signal-to-noise ratio, SNR）所呈現的 BER。

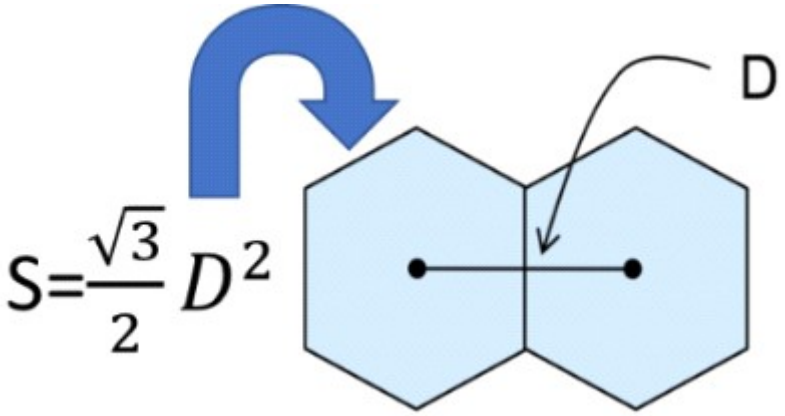


圖 6-29、行動網路涵蓋面積

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

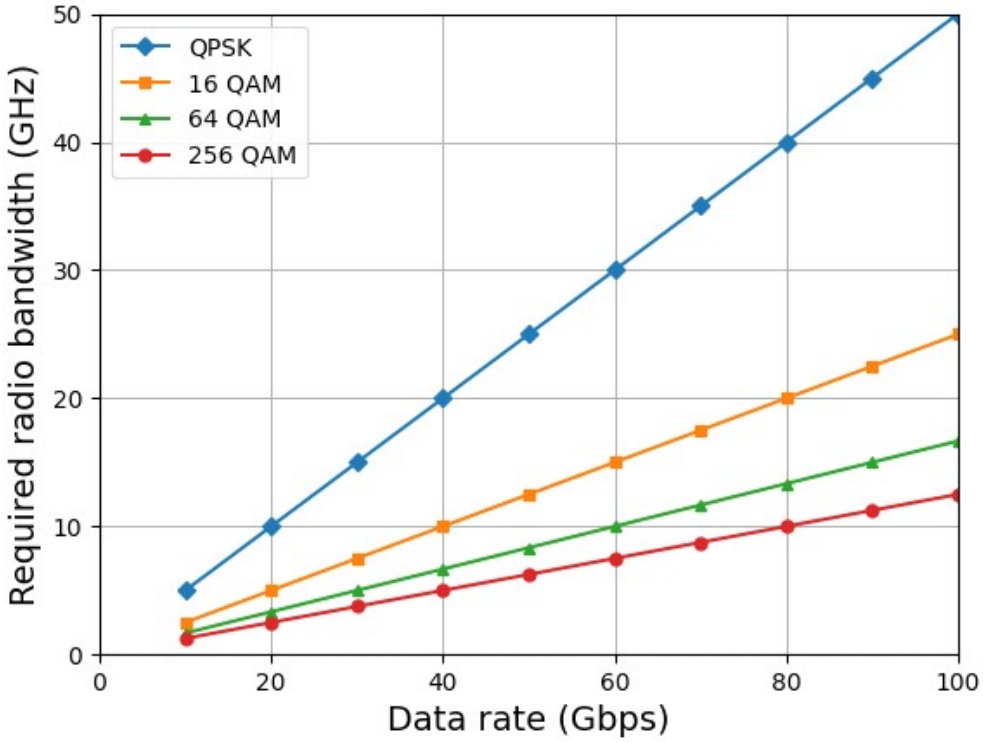


圖 6-30、Nyquist 理論之頻寬與容量

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

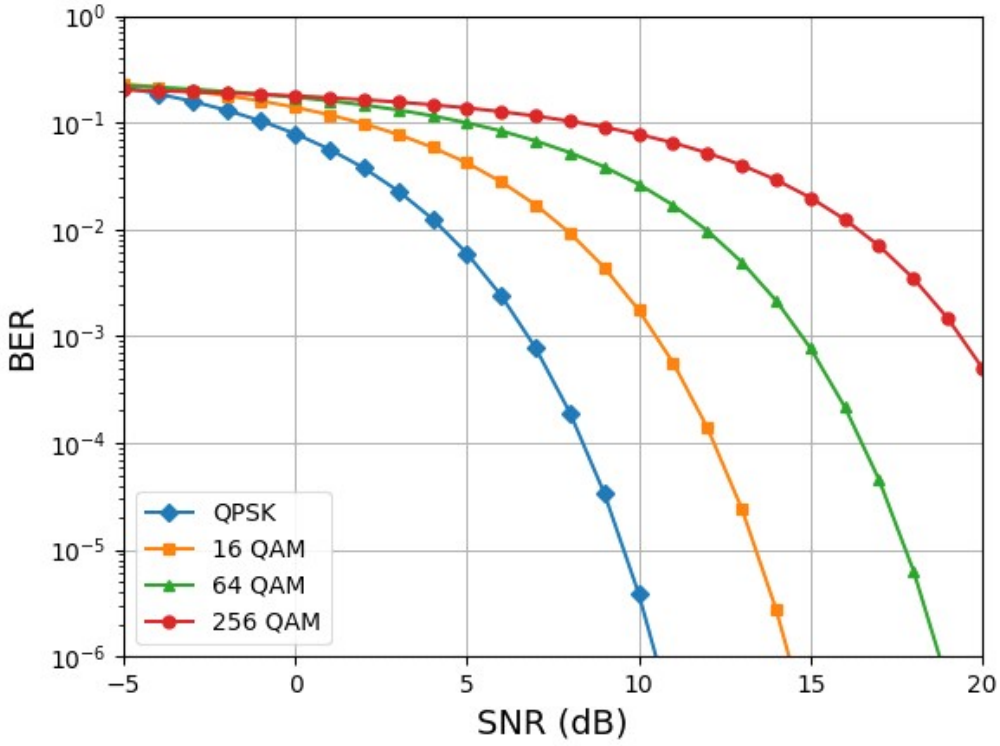


圖 6-31、數位調變之效能

資料來源：本研究繪製

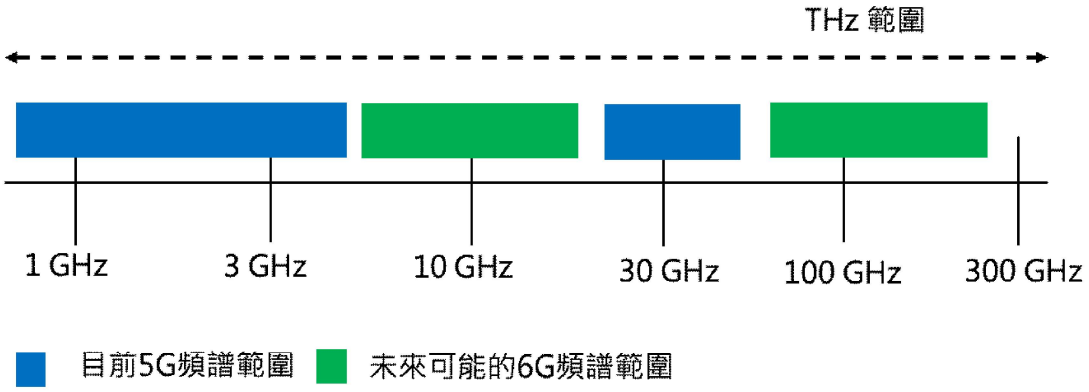


圖 6-32、6G 可能新增之頻譜需求

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

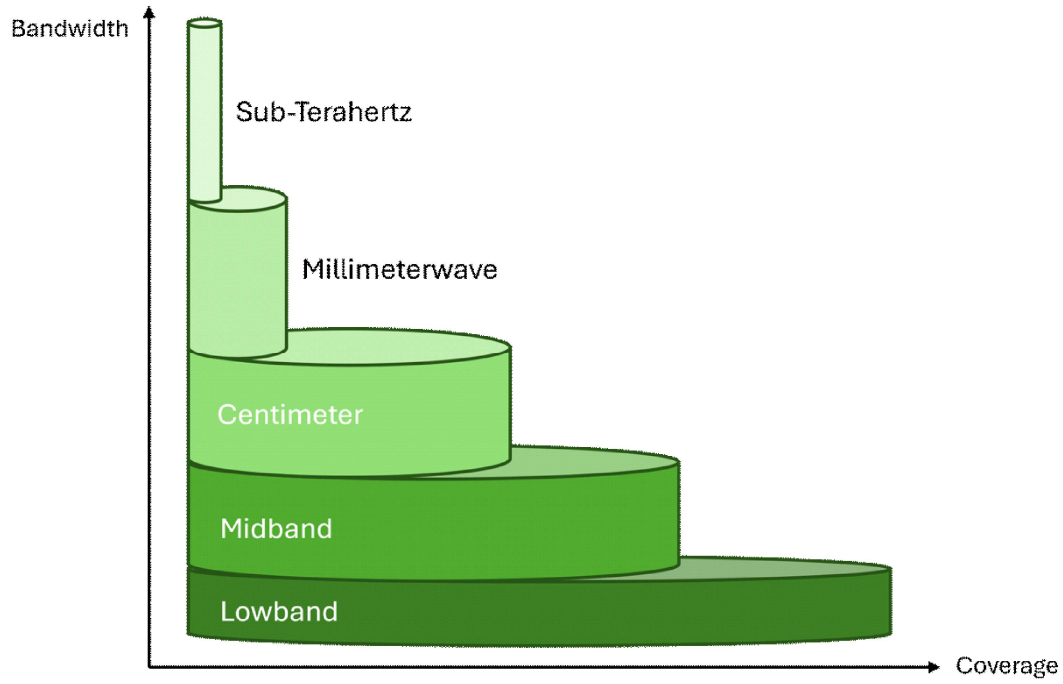


圖 6-33、頻譜特性

資料來源：本研究繪製

未來 6G 將新增龐大頻譜需求，也因其多元化的應用場景，需以不同頻段之頻譜來支援資料傳輸之需求。在各國整備 6G 所需頻譜時，仍需考慮既有合法用戶之權益，如 5G 系統、衛星通信系統、微波鏈路等。圖 6-32 為 6G 未來可能使用的候選頻段[125]，其中，10 GHz 及 100 GHz 頻段，是未可能的新興候選頻譜。在考量這些頻譜時，也要注意電波傳播特性。高頻段的 THz 頻譜，其衰減相當快，只適合用於室內短距離之通信。同時，手持裝置上的射頻電路與天線設計，仍存在一些不易克服的挑戰。使用高頻段的優點是可以實現較高的傳輸速率，但其涵蓋範圍相對較小。反之，使用低頻段的優點是可以涵蓋較大的範圍，但其傳輸速率較小。電波傳播的涵蓋範圍與傳輸速率的關係如圖 6-33 所示[125]。

1. **低頻段 （7 GHz 以下）：**

6G 系統預計將不僅在更高的頻段上運行，也會繼續使用當前 5G 和 4G 系統使用的頻段，包括 4 GHz 以下的低頻段。這些頻段

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

具有較好的傳播特性和涵蓋能力，非常適合廣域網路的布建，低頻段通常在頻譜效率、可靠性、移動性和連接密度方面具有優勢。

根據國際電信聯盟（ITU）的 WRC-23 會議，低頻段頻譜在涵蓋低人口密度的廣泛地區方面具有獨特優勢，這使得它將有助於確保城市和偏遠地區之間的數位平等。透過載波聚合和多無線電雙連接技術拼湊利用未使用的頻譜，這對於非地面通信來說是一個重點領域。這些網路可以透過獲得額外的低頻段頻譜來促進應用，例如透過 NTN 實現直接手機連接。這種方法能夠彌補高頻段頻譜在涵蓋範圍和穿透力方面的不足，使 6G 網路能夠在更廣泛的地域內提供穩定且高效的服務[151]。

尤其是 6 GHz 頻段是目前各界相當關注的頻段。WRC-23 決定在每個 ITU 區域內協調 6 GHz 頻段，已經在考慮在 6.425-7.125GHz 範圍內分配頻譜，以支援未來的 6G 網路布建。這些頻段可以為廣域網路提供穩定且廣泛的涵蓋，同時也能支持高效的頻譜利用技術，如大規模 MIMO（Massive MIMO）和高效率的改錯碼等[152]。

2. **中頻段 （7-30GHz）：**

6G 未來除了在當前 5G 和 4G 系統使用的頻段中運行，也將預期擴展到更多新的頻譜頻段。其中 7-15 GHz 頻段被視為是 6G 中頻段的重點頻段，該部分頻譜被期待能提供高吞吐量和廣域涵蓋。高通期待在未來將能在 7 到 16 GHz 頻譜中至少開放三分之一，約 3GHz 的頻譜，供行動網路業者作為 6G 地面行動通信營運用之授權頻段[131]。Ericsson 認為 6G 在廣域應用上總共約需要 3GHz 的頻譜，以支持像是全息通信和大規模數位孿生等 6G 帶來的新

[151] NTIA. (2023.) Background and question to the Commerce Spectrum Management Advisory (CSMAC), Subcommittee on 6G communications. https://www.ntia.gov/sites/default/files/2023-12/6g_subcommittee_final_report.pdf

[152] ITU. (2023). World radiocommunication conference 2023. https://www.itu.int/wrc-23/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

技術應用。

3. **高頻段 （30GHz 以上）：**

高頻在峰值傳輸速率和延遲方面更具優勢，6G 即將擴展到更高的頻譜。包括毫米波和太赫茲頻率在內的高頻段，這些頻段提供了豐富的頻寬，使每秒兆比特（Tbps）的吞吐量和低於毫秒等級的延遲成為可能。儘管這一頻譜範圍本質上受到嚴重的路徑損耗影響，但其仍可透過窄波束來補償。新的頻段允許在與低頻段相同或可比的外形尺寸中安裝極大量的天線元件。

從應用需求的角度來看，高頻頻段的電波適用於高傳輸率和低延遲需求的應用，這主要由於其能夠支持高達 100 Gbps 的數據傳輸速率和極低的端到端延遲，如擴增實境、虛擬實境、數位孿生技術、全息通信和混合實境這類應用的發展。這些應用通常需要即時處理和傳輸大量數據，如多視角的高解析度影像。該頻段同時具有高網路吞吐量的特性亦能在人口密集的地區提供作用。

四、 6G 系統使用 7-15 GHz 頻段之議題

為了爭取更多的頻譜供 6G 使用，業界將 7-15 GHz 的厘米波（cmWave）頻段視為 6G 發展的關鍵頻段。GSMA 在其《2023 年頻譜政策趨勢報告》中指出[153]，6G 的應用對低、中、高頻譜都有其需求。7-15 GHz 頻段，可以實作通道頻寬高達 300 MHz 以上，搭配高階調變技術如 1024-QAM，即可達到約 3 Gbps 之傳輸頻寬。但若要用於有高密度建築物之都會區、非視距通信環境，其電波傳播之衰減將是一大挑戰。但如果是用於自由空間之點對點傳輸，此頻段是相當合適的選擇。

[153] GSMA. (2023). Spectrum policy trends 2023. https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2023/02/Spectrum-Policy-Trends-2023-1.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一) Ericsson 關注中頻段之原因

Ericsson 認為 7-15 GHz 為 6G 中頻之重點頻段，因其具有以下特點：

1. 優異的涵蓋與頻寬結合

7-15 GHz 頻段，在自由空間之傳播環境下，擁有良好的信號涵蓋能力，還能提供較大的頻寬，這使其在未來的 6G 系統中顯得格外具有吸引力。

2. 頻譜共存潛力

雖然 7-15 GHz 頻段目前已被用於多種用途，其中包括點對點微波及衛星上鏈傳輸，如果採取適當的頻譜共享機制，將能夠釋放出相當多的頻譜資源。

3. 與現有網路基礎設施的相容性

7-15 GHz 頻段可以與現有的典型中頻段（3.5 GHz）網路一起布建，並利用大規模天線陣列實現更高的容量，特別是透過大規模空間重用來增強網路性能。

(二) Nokia 關注中頻段之原因

Nokia 認為 7-15GHz 為 6G 中頻之重點頻段，因其具有以下特點：

1. 平衡容量與涵蓋

Nokia 認為要在容量和涵蓋範圍之間達到平衡，需要新的中頻段頻譜，特別是在 7.125-8.5 GHz、10.7-13.25 GHz 和 14-15.35 GHz 之間的頻段，如圖 6-34[129]。這些頻段能夠提供足夠的頻寬來支持 6G 網路的高容量需求，同時保持良好的涵蓋性能。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

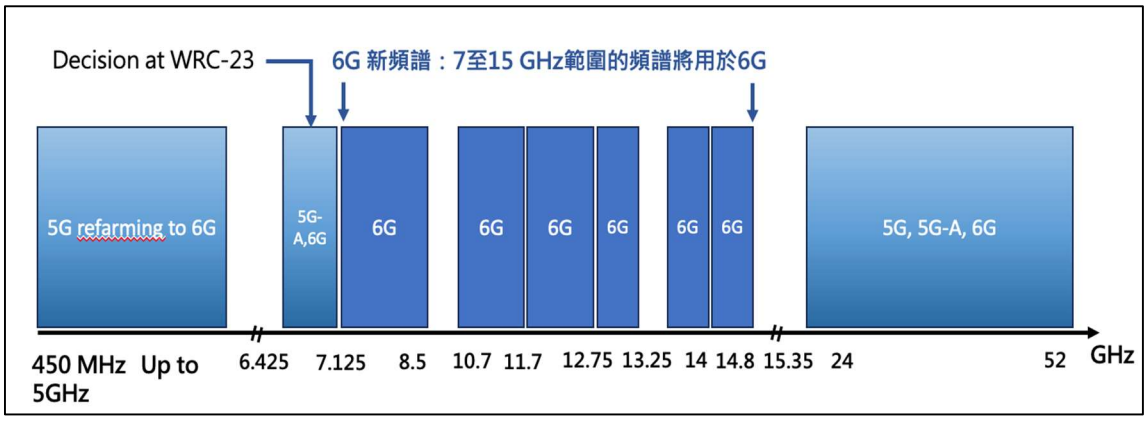


圖 6-34、Nokia 對 6G 頻譜的觀點

資料來源：本研究繪製

2. 滿足多樣化的 6G 應用場景

7-15 GHz 頻段將能夠滿足多樣化的 6G 應用場景，包括 XR 和全息通信等需要大頻寬的應用。Nokia 估計，針對這些數據密集型的 6G 應用，每個行動網路業者至少需要大約 1 GHz 的頻譜資源，以涵蓋其服務區域並滿足廣域範圍內的數據傳輸需求。

(三) MediaTek 關注中頻段之原因

聯發科認為 7-24GHz 為 6G 中頻之重點頻段，因其具有以下特點：

1. 平衡涵蓋與容量

7-24 GHz 頻段位於 FR1（低頻段）和 FR2（毫米波頻段）之間，相較於高頻段頻譜，其傳播特性較好、具有較低的傳播衰減。該頻段能夠提供更大的頻寬，及高容量傳輸服務。

2. 頻譜資源充足

在 7-24 GHz 範圍內，存在潛在的大量頻譜資源。這些頻譜可以為 6G 提供更大的頻寬，支持更多的應用場景和更高的數據傳輸需求。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(四) Qualcomm 關注中頻段之原因

Qualcomm 認為 7-16GHz 為 6G 中頻之重點頻段，因其具有以下特點，

1. 更大頻寬和更好的傳播特性

7-16 GHz 頻段提供了較寬的頻寬，這使得它能夠支持更高的數據速率。相比於更高頻段的毫米波，7-16 GHz 頻段的信號傳播特性更為有利，具有較低的信號衰減和更好的涵蓋能力。

2. 支持 Giga-MIMO 技術

7-16 GHz 頻段的較短波長允許在同一天線面積內集成更多的天線元件，這使得 Giga-MIMO 技術成為可能。Giga-MIMO 是 5G 大規模 MIMO 的進階形式，它能夠透過更大量的天線陣列生成窄波束，有效補償由於較高頻率帶來的衰減，同時提升系統容量。

此外，美國聯邦通信委員會（FCC）認為，在未來十年內，地面和非地面網路（NTN）的頻譜需求約為 2 GHz。FCC 已經拒絕授權 12.2 GHz 頻段（12200-12700 MHz）用於雙向高功率地面行動服務[154]，因為這可能會對該頻段的現有和未來衛星服務構成重大干擾風險。FCC 正在探索開放 12.7 GHz 至 13.25 GHz 頻段，如圖 6-35[154]，以支援包括 6G 服務在內的地面無線通信系統。

[154] FCC. (2023). 6G working group position paper. https://www.fcc.gov/sites/default/files/Consolidated_6G_Paper_FCCTAC23_Final_for_Web.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

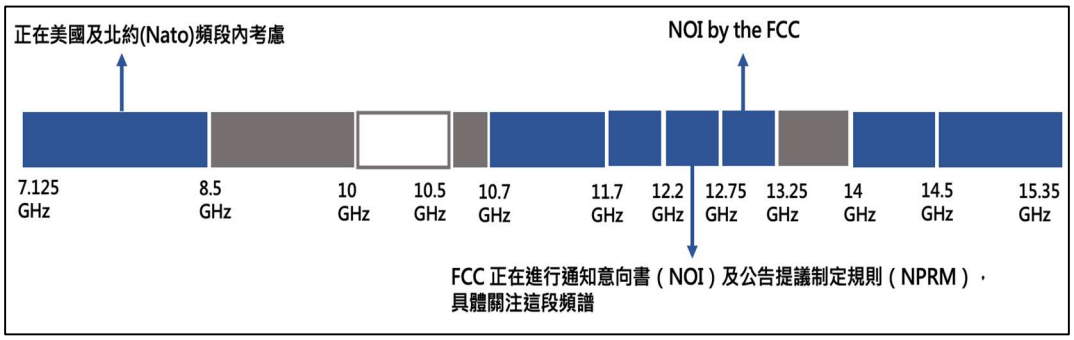


圖 6-35、美國 6G 頻譜規劃預期

資料來源：本研究繪製

未來 6G 網路將面臨如何有效利用頻譜資源的問題。由於頻譜資源日益稀缺，尋找乾淨的頻譜並確保有效利用將成為主要挑戰。這也推動了頻譜共享和共存技術的研究。透過這些技術，不僅可以提高頻譜利用效率，還能確保在引入新技術時不會對現有服務造成干擾。

7-15GHz 頻段對於滿足 6G 更高容量需求的使用場景發揮效果，如圖 6-36[125]。從涵蓋範圍的角度來看，隨著頻率越低，涵蓋範圍越廣。因此，此頻段能夠在廣域環境中提供穩定且高效的網路服務。

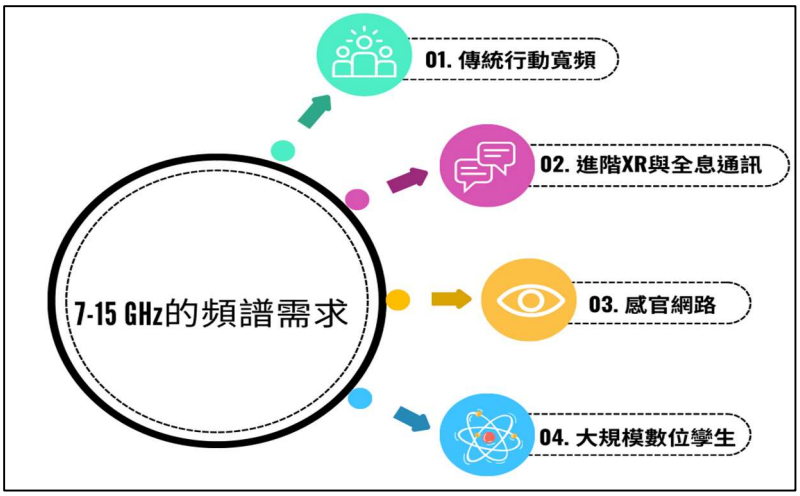


圖 6-36、7-15GHz 的頻譜需求

資料來源： 本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1. 傳統行動寬頻

在行動寬頻應用中，7-15GHz 頻段能夠提供更高的數據流量，滿足日益增長的行動應用需求。這一頻段對於提高傳統行動網路的整體服務品質尤為重要，能夠有效支持數據密集型的應用場景。

2. 進階 XR 與全息通信

隨著 XR（擴增實境）和全息通信技術的發展，這些應用需要大量的頻寬來實現高品質的用戶體驗。7-15GHz 頻段可以提供穩定且高效的頻寬支持，預計這些技術將成為 6G 的核心驅動力，特別是在未來更複雜的沉浸式應用中。

3. 感官網路

此頻段能支持感官網路的發展。感官網路模擬人類的五感（視覺、聽覺、嗅覺、味覺和觸覺），這類技術的進步將進一步增強數據流量需求，促進 6G 技術在智慧城市、醫療保健等領域的應用。

4. 大規模數位孿生

智慧城市、交通運輸、工業 4.0 等應用場景中，大規模數位孿生技術將對網路提出更高的精度與實時數據傳輸需求。7-15 GHz 頻段具備較高的傳輸容量與穩定性，能夠支援這些關鍵應用，從而推動智慧城市和工業的數位化進程。

目前 7-15GHz 頻段已被主要分配給行動和固定服務，如何在這些現有服務中實現頻譜共存，將成為未來幾年的一項重要課題。透過有效的頻譜管理與共存技術，中頻段能夠在不干擾現有服務的情況下，為 6G 系統提供額外的容量和涵蓋支持。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

五、 6G 與既有服務及跨網路類型之頻譜競合

隨著全球無線通信技術的迅速發展，尤其是 6G 技術的逐步推進，無線電頻譜的競爭變得愈加激烈。6G 作為下世代行動通信技術，將提供更高速率、更低延遲和更高容量的網路服務。然而，這些進步也帶來了新的挑戰，尤其是在頻譜資源的分配與管理方面。現有的頻譜分配已經支援多種既有服務，包括行動通信、衛星通信、固定無線服務等，但隨著 6G 技術的引入，這些既有服務與新興技術之間的頻譜競合問題日益突出。

本研究主要探討 6G 技術的頻譜需求，與既有服務及跨網路類型之間的頻譜競合情形。尤其是在地面通信與衛星通信整合的背景下，異質整合網路的發展，如：Apple 與 Globalstar 及 SpaceX 與 T-Mobile 的合作案，如表 6-4 所示，正在嘗試新型態的頻譜使用方式。這些案例顯示，隨著 6G 技術的推廣，非地面網路的使用將逐漸增加，這些新型網路的運作需要與既有的行動通信系統在同一頻譜中共存，這必然引發頻譜資源的競爭與干擾問題。

進一步來說，當 6G 跨域應用使用相同或相鄰頻譜資源時，頻譜競合的問題將更加顯著。頻譜作為無線通信的核心資源，對於 6G 應用的發展至關重要。透過有效利用頻譜，為 6G 應用提供強有力的支持。然而，隨著 6G 網路的發展，尤其是在跨網路類型，如：地面網路與非地面網路之間進行頻譜共享時，頻譜競合的問題變得愈發突出。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 6- 4、國際衛星直連手機應用案例與我國使用頻段對照表

國際衛星直連手機應用案例			
名稱	提供服務	使用頻段	我國無線電頻率分配表
Globalstar 與蘋果公司合作案	衛星緊急呼救服務	2483.5-2495 MHz（MSS 衛星系統頻段）	2483.5-2500 MHz：固定（主）、行動（主）、無線電定位（主）、衛星行動（太空對地球）（主）、衛星無線電測定（太空對地球）（主）
SpaceX 與行動網路業者 T-Mobile 合作案	簡訊、語音、數據通信等	1910-1915 MHz 1990-1995 MHz （IMT 行動通信頻段）	1710-1980 MHz：固定（主）、行動（主） 1980-2010 MHz：固定（主）、行動（主）、衛星行動（地球對太空）（主）

資料來源：本研究彙整

(一) Globalstar 與 Apple 合作

地面通信與衛星通信的整合，正在推動 6G 異質整合網路的發展，實現對陸地、海洋和空中的全方位涵蓋。2023 年 6 月 28 日 Globalstar 公司與 Apple 公司合作，利用其既有的衛星執照，向美國聯邦通信委員會（FCC）申請新增『衛星傳送 SOS 緊急服務』[155]，為衛星行動用途指定的 L 和 S 波段的頻譜。該服務允許使用搭載此功能的 iPhone（如 iPhone 14 系列）用戶在無法接取地面網路的情況下，利用 Globalstar 的低軌衛星進行緊急求救通信。這項功能可以傳送用戶的地理位置和簡短的文字訊息，確保在緊急情況下用戶能夠獲得及時的援助。

此服務使用 MSS（Mobile Satellite Services）系統的頻段如圖 6-37 所示[155]，包括：

- L-Band：1610-1618.725 MHz（空對地）

[155] Federal Communications Commission (FCC). (2023). Globalstar and Apple SOS service, https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-23-22A1.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- S-Band：2483.5-2500 MHz（地對空）

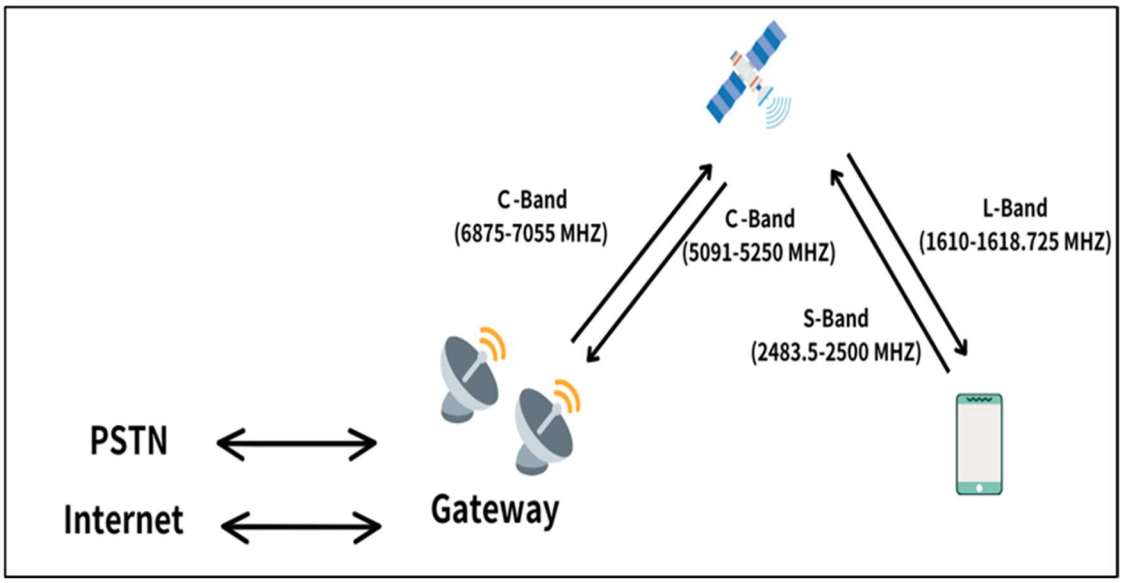


圖 6-37、Apple 手機直連衛星架構

資料來源：本研究繪製

(二) SpaceX 與 T-Mobile 合作

2022 年 8 月 25 日，SpaceX 與 T-Mobile 共同宣布了一項名為《Coverage Above and Beyond》的合作計畫。該計劃旨在結合 SpaceX 的第二代低軌衛星鏈（Starlink Gen2）與 T-Mobile 的行動網路，構建一個新型網路系統，以消除無線網路涵蓋的空白地區，尤其是偏遠的無訊號區（dead zone）。這一系統將提供基本訊息傳輸功能及緊急通信服務，確保在偏遠地區，使用者依然能保持通信暢通[156]。

T-Mobile 已向美國聯邦通信委員會（FCC）申請，將其個人通信服務（Personal Communication Service, PCS）頻段中的 1910-1915 MHz 和 1990-1995 MHz 提供給 SpaceX 的衛星使用。這些頻段將首先以實驗執照的形式申請。

該計劃利用 Starlink 衛星網路與地面網路的結合，當行動裝置

[156] SpaceX. (2022). SpaceX and T-Mobile announce 'Coverage Above and Beyond' plan.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

無法連接到地面基地臺時，將優先尋找衛星訊號來維持通信。這一技術的應用將大幅提升網路的可靠性和涵蓋範圍，確保無論是在偏遠地區還是極端條件下，使用者都能保持穩定的通信服務[157]。

SpaceX 於 2024 年 1 月 2 日發射了第一批 Direct to Cell 能力的 Starlink 衛星，並在 6 天後，於 1 月 8 日成功利用這些衛星和 T-Mobile 的頻段進行簡短訊息的收發測試。證明該系統能夠在不改變用戶設備的情況下，透過 Starlink 衛星鏈提供可靠的 LTE 服務[158]。

(三) NTN 干擾議題

如前小節所說明，3GPP 規劃之 TN 及 NTN 整合型態，可分為透通模式及再生模式，2 種模式之 service link 所使用的頻譜有所差異，透通型的 service link 主要以 MSS （mobile satellite service）頻譜為主；再生型的 service link 主要以 IMT （International Mobile Telecommunications） 頻譜為主。現階段非地面網路技術以透通型為主，因現階段在太空中運行之低軌衛星，尚未具備 4G/5G 基地臺之功能。然而，隨著時間的推移及衛星通信的發展，特別是酬載火箭的可再利用，大幅降低發射衛星之成本。未來發射的衛星將會有再生型模式的系統，即低軌衛星上將有 IMT 的基地臺功能。這兩種 NTN 模式，對既有用戶產生干擾的樣態也有所不同。

3GPP NTN 衛星通信使用頻譜可分為衛星行動用途（Mobile Satellite Services, MSS）及衛星固定用途（Fixed Satellite services, FSS）。MSS 主要使用 L-band 及 S-band，通常作為 service link 使用。而 FSS 主要使用 Ku-band 至 Ka-band，通常作為 feeder link 使用，如圖 6-38 所示。針對手機直連衛星之 service link，透通型適合

[157] FCC. (2024). SpaceX Gen2 MSS application dismissed as unacceptable for filing. Retrieved from https://www.fcc.gov/document/spacex-gen2-mss-application-dismissed-unacceptable-filing

[158] New Atlas. (2024). SpaceX and T-Mobile launch satellites that can contact cell phones. https://newatlas.com/technology/spacex-t-mobile-satellites-cell-phones/

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

使用 MSS 頻譜、再生型需使用 IMT 頻譜。

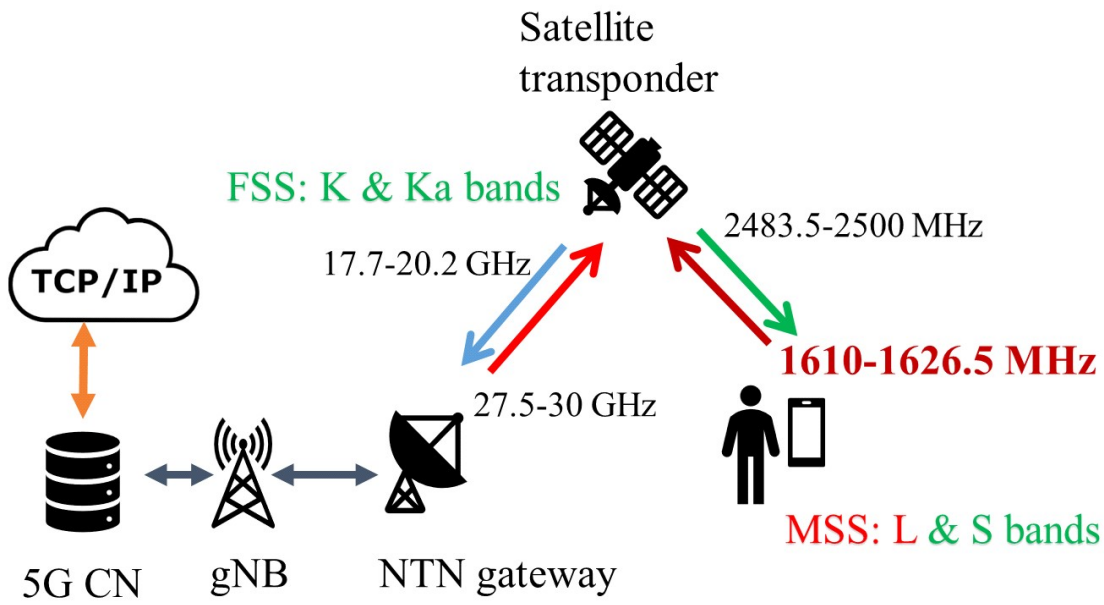


圖 6-38、3GPP 規劃 NTN 頻譜及架構

資料來源：本研究繪製

在 Release 17 版本之 MSS，規劃 1626.5-1660.5 MHz 及 1525-1559 MHz 分別為上鏈及下鏈使用；1980-2010 MHz 及 2170-2200 MHz 分別為上鏈及下鏈使用。上述系統採用分頻多工（Frequency Division Duplex），總共上下鏈各約規劃 64 MHz 頻譜。預計在 Release 18 版本還會再增加 1610-1626.5MHz 及 2483.5-2500 MHz 分別為上鏈及下鏈使用，加上 Release 17 規劃之頻譜，上下鏈各約 80 MHz 之頻寬，如表 6- 5 所示[159]。此外，Release 18 也針對 FSS 規劃 17.7-20.2 GHz （K band）及 27.5-30 GHz （Ka band）分別供下及上鏈使用，頻寬共 2.5 GHz x 2=5 GHz。

表 6- 5、3GPP 規劃之 NTN 頻譜

	上鏈頻段	下鏈頻段	頻寬	雙工模式
Rel. 17	1626.5-1660.5 MHz 1980-2010 MHz	1525-1559 MHz 2170-2200 MHz	64 MHz	FDD
Rel. 18	1610-1626.5 MHz	2483.5-2500 MHz	16.5 MHz	FDD

資料來源:本研究整理

[159] Ericsson. (2023). 3GPP technology for satellite communication. https://www.ericsson.com/4a4fe0/assets/local/reports-papers/ericsson-technology-review/docs/2023/3gpp-satellite-communication.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

本研究針對通透型 NTN 進行干擾情境分析，若我國欲導入 NTN 系統，所需建置的 gateway 最多為 2 座。其所對應 Feeder link 之上鏈頻率為 27.5-30 GHz，下鏈頻率為 17.7-20.2 GHz，如圖 6-39 所示。因上鏈頻率發射機在地面，此為潛在地面通信系統之干擾源。我國頻率分配表於 27.5-30 GHz 頻段，分配給固定、行動、衛星固定（地球對太空），作為主要用途。該頻段之 27.9-29.5 GHz 也於 2020 年 5G 釋照時，以拍賣方式核配給中華電信、遠傳電信及台灣大哥大等業者，如圖 6-40 所示。因此，NTN 之饋線鏈路上鏈，在我國可能使用的頻譜，計有 27.5-27.9 GHz、29.2-29.3 GHz 及 29.5-30 GHz，共 1000 MHz 之頻寬。若饋線鏈路欲使用已核配之 27.9-29.5 GHz 頻段，將會對該頻段內既有之通信系統，造成嚴重妨礙性干擾。

反之，下鏈頻率 17.7-20.2GHz 因為從高度約 500 公里之低軌衛星發射至地面，以頻率 18 GHz 為例，其電波傳播之自由空間損失約為 171dB，且其發射天線場型與地面接收天線場型不匹配損失也很大。因此，NTN 之 Feeder link 下鏈訊號，對地面通信系統產生妨礙性干擾之可能性相當低。此外，若 Gateway 不設在我國境內，Feeder link 之上、下鏈，都不會干擾地面既有通信系統。

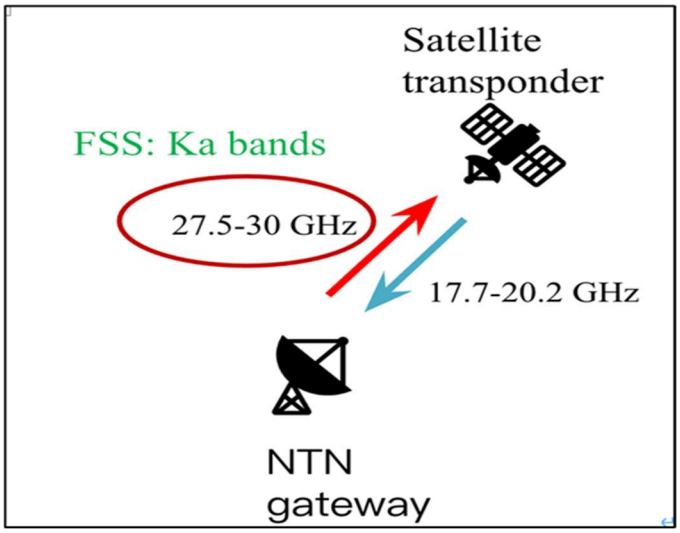


圖 6-39、Feeder Link 之上下鏈路

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

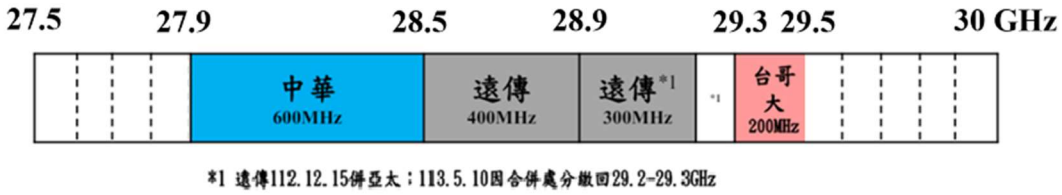


圖 6-40、我國 28 GHz 頻譜拍賣結果

資料來源：本研究繪製

對於 NTN 之 Service link，若採用通透模式，3GPP 建議使用 MSS 頻譜。此使用情境下，地面終端用戶將分佈於全國範圍，且可於行動狀態下進行連網應用。如同 Feeder link 之情形，Service link 之下鏈，對地面通信系統，基本上不會造成干擾。而其上鏈頻率，因其發射裝置位於地面，行動用戶的位置也會相當靠近既有通信系統之接收端，很有可能產生妨礙性干擾。以表 6- 6 中所列之上鏈頻率 1980-2010 MHz 為例，該頻段之頻率分配，在我國係將此頻段分配供固定、行動及行動衛星（地球對太空）等 3 個『主要』用途。

如果該頻段實際有核配固定或行動通信系統，其干擾情形如圖 6-41 及圖 6-42 所示。此種干擾情形，可包括同頻干擾及鄰頻干擾。

表 6- 6、中華民國頻率分配表

1621.35 - 1626.5 MHz 衛星水上行動（太空對地球）（主） 航空無線電助航（主） 衛星行動（地球對太空）（主） 衛星無線電測定（地球對太空）（次） 衛星行動（太空對地球）（次），衛星水上行動（太空對地球）除外
1626.5 – 1660.5 MHz 衛星行動（地球對太空）（主）
1660 - 1660.5 MHz 衛星行動（地球對太空）（主） 無線電天文（主）
1980-2010 MHz： 固定（主） 行動（主） 衛星行動（地球對太空）（主）

資料來源：中華民國頻率分配表

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

以表 6-6 所列之上鏈頻率 1626.5-1660.5 MHz 為例，該頻段之頻率分配，在我國係將此頻段分配供行動衛星（地球對太空）做為『主要』用途。有一小部份頻譜 1660-1660.5 MHz 分配供無線電天文做為『主要』用途使用。我國此頻段之規劃和 3GPP NTN 相同，應不致產生干擾。

此外，對於既有的 IMT 行動通信系統而言，因其頻譜之規劃，和 MSS 有所隔離。因此，通透模式下，NTN 之 service link 對既有 IMT 應不會產生妨礙性干擾。

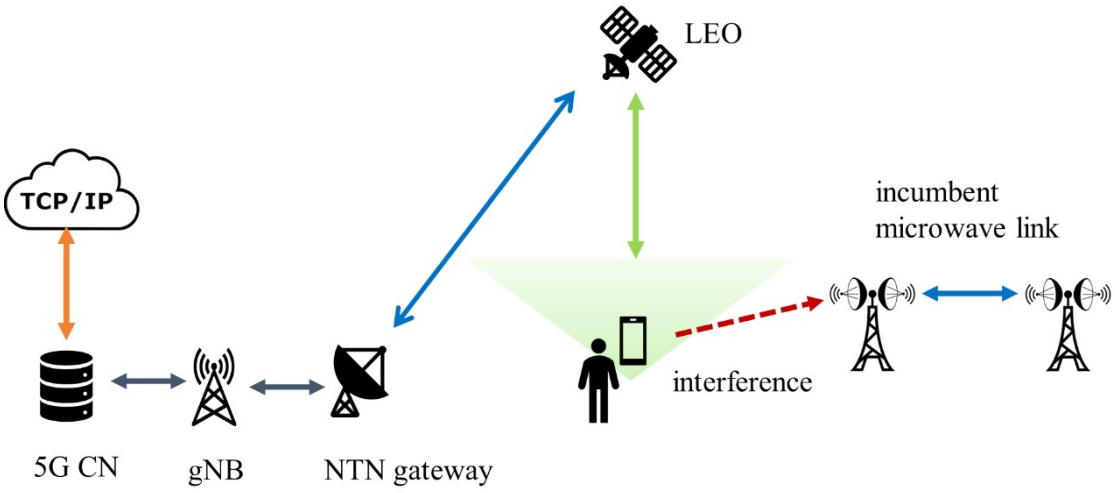


圖 6-41、通透模式 NTN service link 干擾地面固定通信系統

資料來源：本研究繪製

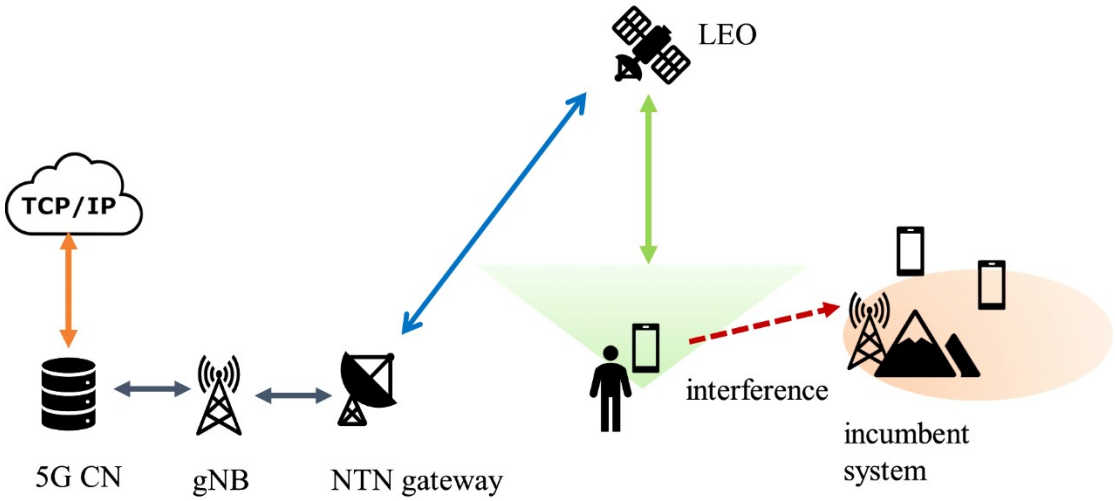


圖 6-42、通透模式 NTN service link 干擾地面行動通信系統

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

資料來源：本研究繪製

對於再生型 NTN 之 service link，以目前 Starlink 和 T-mobile 合作之衛星直連手機技術為例，初期以提供簡訊、物聯網等傳輸量小（或稱窄頻, narrow band）的數據通信為主。此系統係採用 T-mobile 原有之 IMT 頻譜，即美國的 PCS 1900 MHz 頻段。其上鏈頻率為 1910-1915 MHz，下鏈頻率為 1990-1995 MHz，此為 FDD 技術。此系統之鏈路頻寬只有 5 MHz，能提供的傳輸容量有限。以 Starlink 和 T-mobile 合作之 Direct-to-cell，目前尚在測試階段，於 2024 年 1 月 2 日發射 6 顆具 LTE 基地臺功能之低軌衛星，只提供文字簡訊功能，提供約 2-4 Mbps 速率供地面手機共用此頻寬[160]。

以上述上鏈頻率 1910-1915MHz 為例，該頻段之頻率分配，在我國係將此頻段分配供固定及行動 2 個『主要』用途。目前該頻段應無核配給國內行動通信業者供 IMT 使用，但若有核配給『固定』用途之通信系統，就有可能產生同頻干擾及鄰頻干擾，如圖 6-43 所示。而其下鏈頻率 1990-1995 MHz，因此鏈路之發射裝置在衛星上，對地面通信系統應不會產生妨礙性干擾。

此外，再生型 NTN 之 Feeder link 干擾情境，原則上和通透型相同。若以 Starlink 目前所使用的技術而言，主要受影響頻段為 27.5-30 GHz。若其 gateway 不設在臺灣境內，則不致對我國地面通信系統產生妨礙性干擾。

地面通信與衛星通信整合模式，主要可分為透通型及再生型。透通型主要的技術著眼於在手機上，內建一個衛星通信模組，以進行手機直連衛星的任務。因其使用頻譜屬於傳統的衛星行動服務頻段，不用額外規劃頻譜。在頻譜管理上，只要依照既有管理地面網路及衛星通信的機制即可。

[160] Starlink. (2024). SpaceX sends first text messages via its newly launched direct to cell satellites, https://api.starlink.com/public-files/DIRECT_TO_CELL_FIRST_TEXT_UPDATE.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

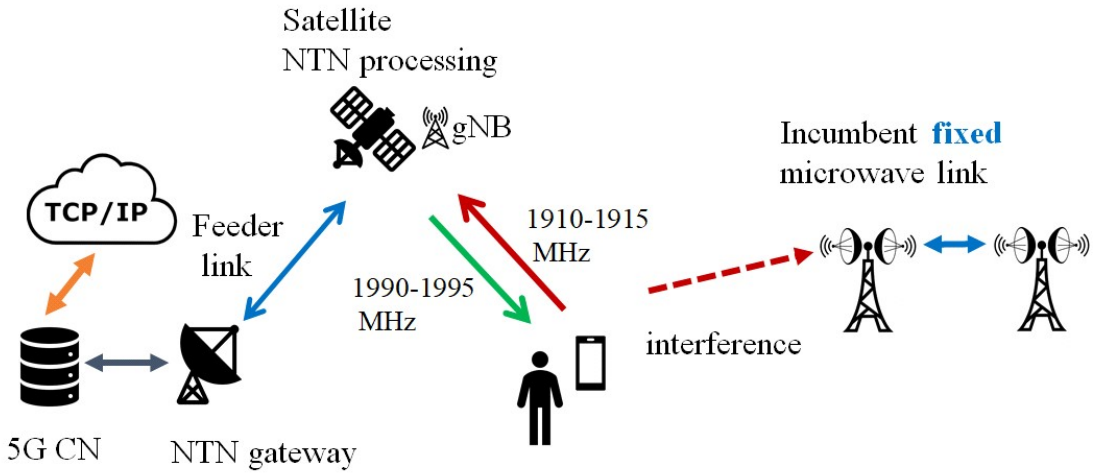


圖 6-43、再生模式 NTN service link 干擾地面固定通信系統

資料來源：本研究繪製

對於再生型模式，需要在衛星上搭載 5G/6G 基地臺，地面上，使用一般手機就可直連衛星上的基地臺。此模式手機使用的頻譜，是屬於 IMT 頻段。在頻譜管理上，需和既有行動通信業者共用頻譜，產生妨害性干擾的機率較大。

第三節 6G 應用之頻譜分配方向及相關頻譜整備策略

一、 6G 頻譜分配方向

對於 6G 應用之頻譜，從頻譜供應的角度而言，可分為低、中、高頻段。本研究將低頻段設定為小於 7 GHz；中頻段設定介於 7 GHz 至 30 GHz 間；高頻段設定為大於 30 GHz。

低頻段之電波傳播特性較佳，其衰減較小，即便是在非視距之環境，仍能保持一定的涵蓋範圍。使用此頻段佈建無線網路，所需基地臺數量較少，建置成本較低，適合大範圍之廣域無線網路應用。但因其頻道寬度較小（相較於中、高頻段），所能提供之傳輸容量較小。

反之，對於大於 30 GHz 之高頻段頻譜（波長小於 1 cm），其電

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

波傳播特性和低頻段剛好相反，即傳播衰減大，傳輸距離短，適合小範圍之區域無線網路應用，或視距（Line-of-Sight, LoS）通信之環境。但因其頻道寬較大（相較於中、低頻段），其可傳輸之容量較大。如此高頻率之頻譜，適合於室內、短距離、或點對點通信，但不適合在地面非視距之環境下使用。

中頻段之電波傳播特性，就介於高、低頻段之間。傳播特性優於高頻段，但比低頻段差；而傳輸容量低於高頻段，但高於低頻段。

1. **低頻段之頻譜分配方向**

表 6- 7、我國電信業者持有 4 GHz 以下之頻寬

頻段	中華電信（MHz）	台灣大哥大（MHz）	遠傳電信（MHz）
700MHz	-	40	50
900MHz	40	10	-
1800MHz	60	30	40
2100MHz	40	50	30
2600MHz	60	40	80
3500MHz	90	100	80
小計	290	270	280
總計 840 MHz			

資料來源：本研究整理

低頻段之頻譜實為電信業者建置地面網路至為重要之頻譜，特別是在 1 GHz 以下之頻譜，具有極佳的傳播特性，是用來布建廣域大範圍涵蓋的重要頻段。表 6- 7 所示為我國電信業者持有 4 GHz 以下之頻段，共核配出 840 MHz 頻譜。面對未來 6G 系統之大量傳輸需求，低頻段頻譜仍有相當大的需求。

在 3 GHz 以下的頻譜，除了 4G 系統執照屆期後，重新釋出外，可分配給 6G 使用的頻譜相當有限。在 3 GHz 至 7 GHz 頻段，可能分配的頻段為 3.57 GHz 至 4.2 GHz 及 6.425GHz 至 7.125 GHz 這 2 段頻譜，共計 1.73 GHz。這也是各界相當關注的頻段。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

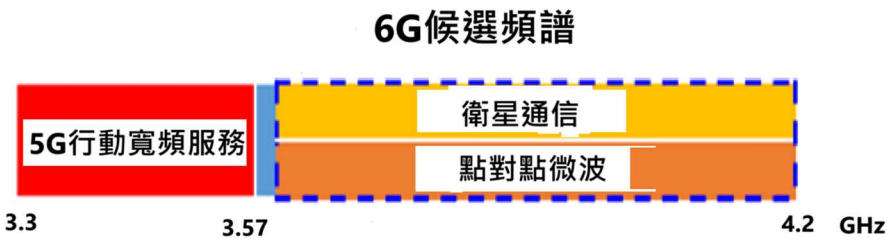


圖 6-44、C-band 6G 候選頻段

資料來源：本研究繪製

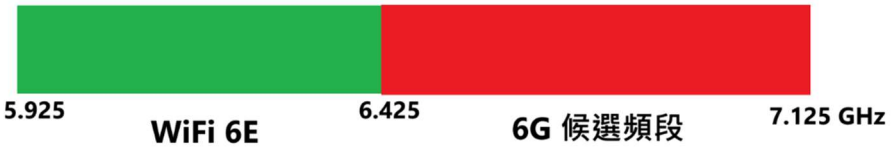


圖 6-45、6 GHz-band 6G 候選頻段

資料來源：本研究繪製

然而，於 3.57 GHz 至 4.2 GHz 頻段，既有用途包括我國之 ST-2 同頻衛星下鏈頻率，及其他租用外國衛星之衛星通信業者之下鏈系統，如圖 6-44 所示。此外，鄰頻之 4.2 GHz 至 4.4 GHz 則已核配給航空器之雷達高度計用途。因此，要將 3.57 GHz 至 4.2 GHz 頻段分配給 6G 系統使用，將面臨相當之挑戰。

至於 6.425GHz 至 7.125 GHz 頻段，如圖 6-45 所示，此頻段之既有用途主要是點對點微波系統及衛星通信系統。若要分配供 6G 系統使用，需要可觀之移頻作業，所面臨的挑戰也不小。不過，此頻段是 WRC 相當關注的 6G IMT 候選頻段。

從電波傳播特性的角度而言，要供地面非視距廣域涵蓋之頻譜，較不適合使用上述 6 GHz 頻段。因為它的衰減大、不易穿透建築物，將增加業者建置基地臺的成本。因此本研究建議頻譜主管機關可持續掌握 3.57 GHz 至 4.2 GHz 頻段之既有用戶使用情形，若能順利與既有用戶溝通以達成移頻或共用共識，此頻段將是 6G 系統重要新興頻譜。對於 6.425GHz 至 7.125 GHz 頻段，可以搭配 AFC 頻譜共享技術，規劃為免執照無線區域網路用途。可

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

讓 5925-7125 MHz 共 1.2 GHz 頻譜作為 Wi-Fi 7 使用。同時在 AFC 機制下，可以保護既有分配的主要用途。此外，XR 全息通信、數位孿生等需要大量傳輸頻寬的應用，也可以利用此頻段之頻譜。

2. **中頻段之頻譜分配方向**

中頻段 7-30 GHz 之頻譜，為 6G 之 NTN 網路應用重要頻段。相較於低頻段，7-30 GHz 之頻譜因傳播衰減快，較不適合應用於地面通信，特別是非視距通信環境。但若應用於衛星通信系統，此情境為視距通信類型，適用自由空間之傳播模型（free space propagation model），在低軌衛星的高度（約 500 至 600 公里），中頻段頻譜，在適當之功率安排下，具有良好的通信品質。

我國的頻率分配表在此頻段和 ITU 之規劃一致，該頻段已涵蓋衛星通信所需之頻譜。不需特別針對 6G 應用進行頻率之分配，但是在面對業者申請頻率使用時，仍需要有一套明確的頻譜核配規範。

在 113 年 8 月 21 日舉行的「6G 跨域應用與頻譜管理探討」座談會中，產業界對我國 NTN 需求的看法集中於以下幾個重點：國家安全需求、災後重建以及偏遠地區的通信支援，尤其在天災或戰時的緊急通信基礎設施建設中，NTN 顯得格外重要。電信業者指出，NTN 的應用場景與 TN 有所不同，主要側重於強化網路韌性、急難救助、緊急通信，甚至於戰時的國際聯繫。此外，針對 NTN 的執照年限，業者建議適當延長，以確保 NTN 服務的穩定運行。因為要導入 NTN 服務，我國電信業者通常需要和國外衛星業者租用衛星頻道，考量租金因素，這類租約基本上為多年期合約。

從 6G NTN 應用需求的角度而言，此應用被定位為 TN 網路之補充涵蓋系統。然而，依據國家通信傳播委員會之統計資料，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

我國行動通信網路涵蓋率已超過 95%，所需補充涵蓋之區域只剩極為偏遠之處，屬於不經濟之區域。即便業者投入建置網路提供服務，也很難獲利。因此，NTN 在我國較不具經濟利益，對頻譜的需求相對較小。此外，我國並非 ITU 會員國，無法自主發射衛星以建構商用 NTN 網路，只能透過租用外國之衛星系統，這將增加建置系統之成本。

但若因應救災或區域衝突情形，NTN 可發揮網路韌性作用，提供關鍵或緊急通信服務。考量國家安全之因素，頻譜之使用，不能只考慮經濟利益。對於此類突發、暫時性非常態之頻譜需求，建議將來訂定特別規範方式來因應。

此外，此頻段之 7-15 GHz 頻段，雖然業界相當關注，並期待能用此頻段提高傳輸速率、支持需大量頻寬應用，如數位孿生、XR 與全息通信等。此應用若要用於地面非視距之行動通信環境，特別是在建築物密高之都會區域，會因不易穿透障礙物，導致衰減過大，無法進行有效通信。實務上，7-15 GHz 頻段有許多點對點微波通信系統，這是屬於視距通信之類型。藉由發射及接收端之高增益天線，通常是拋物面天線，進行中繼（trunk）或後端（backhaul）鏈路傳輸。

數位孿生、XR 與全息通信等應用，從電波傳播特性的角度而言，適合在室內 LoS 環境使用，可以規劃 Wi-Fi 7 之免執照頻譜（5.925-7.125 GHz）來滿足需求，如前揭低頻段頻譜分配方向內容所提。

3. 高頻段之頻譜分配方向

高於 30 GHz 之頻譜，其電波傳播衰減大、穿透障礙物之損失大、也受空氣分子之吸收而衰減，故此類頻譜較適合視距通信之環境使用，如室內短距離通信、點對點固定微波通信、衛星通信

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

等。目前，此頻段主要用途為衛星通信及太空研究。針對 6G 新興應用，如沈浸式感知通信、數位雙生等，要利用高頻段頻譜建構系統，仍存有一些挑戰要克服。且其服務獲利模式乃待摸索，頻譜需求並不明確，建議維持目前頻率分配現況。

二、 6G 頻譜整備策略

綜觀 6G 應用與技術發展趨勢，從頻譜供應的角度，我國 6G 之頻譜整備策略，重點宜放在低頻段（7 GHz 以下）地面通信用之頻譜。因 4G 系統之頻譜（3 GHz 以下）執照即將陸續屆期，經由適度重耕後，建議分期、分段釋出。例如分 2 期（間隔 3-5 年）及 2 頻段（2 GHz 以下、2-7 GHz）方式釋出頻譜。因此頻段之需求相當大，而此段之頻譜資源有限，建議採拍賣方式釋出，以利經由市場機制，反應出頻譜之經濟價值。此外，如前揭所示，3.57-4.2 GHz 及 6.425GHz 至 7.125 GHz 之頻譜，建議主管機關持續掌握頻譜使用狀況及頻譜共享技術之成熟度，將之列為 6G 候選頻譜，以利未來規劃使用。

此外，針對 6.425GHz 至 7.125 GHz 頻段，在 AFC 驗證可行後，也可以規劃為免執照之 Wi-Fi 7 使用，讓 TN 網路有足夠的免執照頻譜可以和 IMT 網路互補。

對於適合發展 NTN 網路之中頻段頻譜（7-30 GHz），因較無商業用途之需求，但在考量災防或國家安全之暫時需求，在既有的頻率分配規劃下，可訂定特別規範以核配頻率。頻譜釋出方式建議採評審制，執照年限可依衛星系統之租約年限而定。但在整備頻譜時，如何防止對既有通信系統（如地面之點對點微波）產生妨害性干擾，仍是重要議題。

對於高頻段之頻譜（30 GHz 以上），因 6G 應用在此頻段之需求尚未明確。而且，30 GHz 以上射頻系統之設計、如功率放大器、接收機、基頻電路之類比轉數位、數位轉類比電路等，仍有一些挑戰

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

要克服。目前，高頻段頻譜有較充裕之頻譜供應，建議可規劃一段免執照頻譜供 6G 室內增強型行動寬頻使用，但仍須遵循 ITU 無線電規則之規範。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第七章 公部門連結小組會議

公部門連結小組設立為國家科學及技術委員會科技辦公室指導，為聯繫 6G 產業發展先期研發計畫下，各工作組進行跨部會協商及意見整合。

公部門連結小組包含雛型系統與國際布局、國際連結暨產業應用、頻譜整備及跨領域發展及部會合作與協調推進共 4 工作組，共有經濟部產業技術司、經濟部產業發展署、數位發展部資源管理司及國家科學及技術委員會工程技術研究發展處共 4 部會參與，其架構與分工如圖 7-1。在本研究推動下已於 111 年完成籌組，並於 112 年持續維運，113 年本研究將包含以下方式賡續公部門連結小組之推動：

圖 7-1、公部門連結小組架構與分工

資料來源：本研究整理

第一節 公部門連結小組會議辦理情形

公部門連結小組設立為聯繫「6G 產業發展先期研發計畫」，在本計畫推動下，每季至少辦理 1 場公部門連結小組會議，並搭配產研諮詢小組會議召開，以掌握產業議題並進行公私部門資訊共享及協調作業。依據 112 年度公部門連結小組第 4 次會議決議，113 年每季會

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議內容主要為專題分享，並視各工作組計畫成果、參與國際會議進行提案分享。113 年度公部門連結小組會議預計每季辦理 1 場，現已辦理計 3 場次，會議辦理情形說明如下：

一、 公部門連結小組第 1 次會議

於 13 年 3 月 29 日舉辦，本次會議專題分享邀請工業技術研究院林博士咨銘以《WRC-23 世界無線電大會參會》為題分享 112 年 ITU 於阿拉伯聯合大公國所舉辦之 WRC-23 會議。就 WRC 會議之架構及進行方式，及是次會議中所討論有關行動通信之重要議題及管點進行分享，包含已透過的 IMT 新頻譜決議及高空基地臺發展；另也介紹未來 WRC-27 及 WRC-31 新的無線通信議題。

二、 公部門連結小組第 2 次會議

於 113 年 6 月 19 日舉辦，本次專題分享共 2 項，邀請除原先專家學者分享外，新增 6G 產業發展先期研發計畫中分項四執行單位財團法人電信技術中心，就其計畫執行之國際頻譜趨勢觀察進行分享。重要議題包含大韓民國收回並重新釋出 28GHz 頻譜、各國 6GHz 釋出規劃及部分國家修正衛星頻譜管理制度。

本次專題分享邀請專家學者為中華電信研究所顏博士志恆，就創新全光和無線網路國際論壇（Innovative Optical Wireless Network Global Forum, IOWN GF）進行分享。IOWN GF 由日本電信電話（Nippon Telegraph and Telephone Corporation, NTT）主導，以全光網路（All-Photonics Network, APN）搭配 AI 及 ML 技術使用，提升網路路容量速度、降傳遞延遲為發展目標，並期望能成為 6G 通信技術標準之一。中華電信現為 IOWN 董事會成員，NTT 與中華電信於 APN 通信技術上亦有多項合作，是為 6G 產業發展先期研發計畫重要參考資訊。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

三、 公部門連結小組第 3 次會議

於 113 年 9 月 9 日舉辦，本次專題分享共 2 項，第 1 項賡續前次會議由電信技術中心持續分享國際頻譜趨勢觀察分享。重要議題包含墨西哥、瑞典、越南、立陶宛、澳洲及印度等多國持續規劃釋出多個中頻段頻譜；加拿大、德國、歐盟及美國等調整通信法規。

第 2 項專題分享邀請由國立臺灣大學電信工程學研究所周教授錫增就目前團隊研究進行《邁向通信任信產業之技術發展》專題，包含無人機及低軌衛星雛型平臺，及參與立方衛星通信酬載的驗測場域建構。

四、 公部門連結小組第 4 次會議

於 113 年 11 月 29 日舉辦，本次專題分享共 2 項，第 1 項賡續前次會議由電信技術中心持續分享國際頻譜趨勢觀察分享。重要議題包含香港、波蘭、法國釋出及拍賣低、中頻段頻譜；美國、愛爾蘭、英國、澳洲、韓國及日本等的 5/6G 發展規劃及調整相關通信法規；先進國家如韓國、日本、歐盟、美國等行動通信頻譜政策觀測與未來趨勢，及 WRC-23 對 6GHz 決議所產生之影響。

第 2 項專題分享邀請由工業技術研究院宋博士庭禎以《6G 國際研發合作案例分享 - 6G SANDBOX： RISFORCE 計畫》專題，6G-SANDBOX 為歐盟智慧網路和聯合服務(EU Smart Networks and Services, EuSNS)之計畫之一，以沙盒形式建立 6G 環境。工業技術研究院以研發之可重構智慧表面(Reflective Intelligent Surfaces, RIS)技術參與 SNS 的 Open Call 徵集會，成為我國首個獲得歐盟 6G 雛型實驗場域合作夥伴，將於西班牙馬拉加(Malaga, Spain)進行展示。宋博士介紹 RIS Force 參與 6G-SANDBOX，可強化我國在 RIS 相關國際標準議題及產品之影響力，深化與歐盟在 6G 合作，並有機會拓展至歐洲產業鏈。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 公部門連結電子報

為促進公部門連結小組資料共享及交流，透過觀測國際應用服務發展趨勢，進行國內產業能量盤點，為此建立《公部門連結小組電子報──6G 標準應用及觀測》，共享國內外 6G 相關活動、會議及資訊。

一、 填報內容

由 6G 產業發展公部門連結小組各工作組填報可完全公開之資訊，共分類為：

（一）國內活動：蒐整國內相關領域之講座、會議、工作坊等資訊。

（二）國際活動：蒐整國際相關大型商展、國際會議資訊。

（三）共享資訊：包含國內外各組織、公司所發布之白皮書、產業報告相關領域重要報告。

（四）重要成果摘要：由 6G 產業發展公部門連結小組各工作組項下執行之計畫，並於報告完成後提供可供開之報告資料。

又 6G 行動通信發展與 5G/B5G 有密切關聯，內容不侷限於純 6G，相關聯產業發展皆可提供。

二、 填報方式

由本案設置電子報提供共筆格式，各工作組於每月 15 日前填報電子公開資訊，並負責彙整及簽辦發報作業，其中國內外活動揭露資訊以該期電子報未來 2 個月相關活動為主，如圖 7- 2 所示。每月底至隔月初於完成電子報發報，並放置於數位發展部官網，發報格式如圖 7- 3。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 7- 2、電子報填報及發刊規則

資料來源：本研究整理

圖 7- 3、公部門連結小組電子報發報格式

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

三、 填報概況

113 年 1 月至 12 月公部門連結小組電子報填報概況如附表

表 7- 1、113 年度電子報填報概況

月份 / 類別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	總計
國內活動	0	2	2	2	1	3	2	2	2	4	2	1	23
國際活動	1	1	4	5	8	2	0	6	7	2	3	2	41
資料分享	5	5	2	2	5	2	4	2	3	2	3	3	38
成果報告	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
總計	7	10	8	9	14	7	6	10	12	8	8	6	105

資料來源：本研究整理

第三節 MWC 行前交流會之執行成果

MWC 2024 由 GSMA 於 113 年 2 月 26 日至 2 月 29 日在西班牙巴塞隆納舉行，邀請全球手機廠商、軟體商、電信業者及無線通信產業專家學者等參與，除展示新產品、服務和共同討論行動通信產業相關之趨勢與技術，更提供企業、投資者及解決方案／技術提供商之間進行 B2B 媒合會議，為現今世界最具指標性的行動通信相關會展。

MWC 2024 會展如我國包含經濟部技術司、經濟部產業發展署、數位發展部及國家通信傳播委員等各部會皆有派員參加，了解資通信趨勢及未來展望。同時經濟部產發署率包含中華電信、工業技術研究院及友訊科技等共計 16 家廠商，籌組臺灣館，展示相關技術並舉辦周邊活動；另數發部數位產業署領軍於 4 Years From Now 展區設置臺灣創新館， 並舉辦 Taiwan InnoDay 分享活動，展示臺灣新創事業及社會企業責任成果。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

如此大規模之盛事難以獨立觀覽，整合國內公私部門能量，讓各與會單位分享及串連相關資訊，共同參與國際盛會。由本計畫於 113 年 2 月 19 日辦理《MWC in Tawan-回顧 2023、展望 2024──MWC 行前交流會》，期望能於活動前使各部門瞭解本次活動概況，交換觀展重點。

本行前交流會邀請 MWC 2024 參展部門及廠商，彙整展覽各項重點議題、展區等重要資訊。並由經濟部產業署介紹 MWC 2024 臺灣館的規劃重點、展出廠商類別及會場上舉行之記者會、交流酒會資訊；此外也邀請在場內有大型展區的諾基亞及愛立信公司，分享 MWC 2024 各公司展示的重點及趨勢。活動辦理詳細情形如下，視覺海報如圖：

圖 7- 4、MWC 行前交流會主視覺海報

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

除數位發展部、國科會科技辦公室、國家通信傳播委員會等部門外，現場還包含中華電信、遠傳電信、資策會、台灣經濟研究院單位代表參加。本活動提供 MWC 參展資訊外，亦提供參與 MWC 時於巴塞隆納應注意相關事項，另也交流部分設有私展區廠商之報名方式予參展夥伴，活動概況如下圖。

圖 7- 5、MWC 行前交流會概況

資料來源：會議現場拍攝

第四節 「6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會」之辦理成果

依 112 年舉辦之公部門連結小組第 3 次會議決議，規劃舉辦 1 場次國際研討或座談會議，擬邀請國際專家學者來臺分享 6G 發展經驗，以加強我國與國際專業學研單位之合作與鏈結。113 年由本計畫項下執行辦理。國際座談會參照 6G 產業發展先期研發計畫項下包含經濟部產業技術司、經濟部產業發展署、國家科學及技術委員會工程技術研究發展處及數位發展部資源管理司等各分項工作，盤點其項下計劃

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

所關注之議題及建議邀請之專家學者，來臺分享經驗及最新趨勢。

一、 會議籌辦

本國際座談會為緊扣 6G 產業發展先期研發計畫各項計畫，並賡續 112 年跨領域應用規劃計畫中跨域應用及資訊安全研析，規劃於 113 年 8 月 30 日上午，以「PREVISION OF FUTURE 6G 應用趨勢技術進展政策推動座談」為主題，包含「6G 跨域應用情境」、「6G 跨域應用與頻譜趨勢」、「6G 資訊案全與隱私」及「6G 應用演進趨勢為主題」，邀請相關領域國際專家進行座談會，並辦理交流論壇。活動規劃及講者資訊如下表：

表 7- 2、6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會活動規劃

PREVISION OF FUTURE 6G 應用趨勢技術進展政策推動座談		
日期	113 年 8 月 30 日	
活動地點	政大公企中心 A646 平面會議教室	
時間	議程	邀請專家/學者
09：00-09：30	報到入場	
09：30-09：40	開場致詞	數位發展部曾副司長文方
09：40-10：10	6G Technology Evolution Trends	Dr. Yosuke Aragane
10：10-10：40	6G Cross-Domain Applications and Spectrum Trends	Mr. Shiro Fukumoto
10：40-10：50	中場休息	
10：50-11：20	6G Information Security and Privacy	Prof. J. Morris Chang
11：20-12：00	Panel Discussion、Q&A 6G Application Evolution Trends	Dr. Wei-Chung Hwang Prof. Wei-Chung Teng Dr. Yosuke Aragane Mr. Shiro Fukumoto Prof. J. Morris Chang

資料來源：本研究製作

表 7- 3、6G 應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會講者資訊

講者	單位	領域
Dr. Yosuke Aragane	日本電信電話	光通信跨域情境應用
Mr. Shiro Fukumoto	日本軟體銀行	頻譜標準政策、HAPS 發展
Prof. J. Morris Chang	南佛羅里達州大學電機系	資訊安全及隱私
Dr. Wei-Chung Hwang	工業技術研究院	資訊安全及隱私、網路通信應用
Prof. Wei-Chung Teng	國立臺灣科技大學資訊工程學系	網路規劃與管理、科技政策

資料來源：本研究製作

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、 會議執行

本國際座談會委託由商周編輯顧問股份有限公司執行，綜理國際座談會之活動規劃、執行、國際學者接待、視覺設計及宣傳。

(一) 規劃與執行

活動規劃依既有籌辦流程規劃，自 113 年 5 月起至 9 月止，活動規劃時程如下表。

表 7- 4、座談會活動籌備規劃期程

年度	113 年							
月份	5 月	6 月	7 月	8 月				9 月
				W1	W2	W3	W4	
活動規劃定稿	■							
國際學者名單確認	■	■						
國際學者邀約及行程安排		■	■					
主視覺設計確認			■					
確認網站、文宣、報名機制			■					
開放報名			■	■	■	■	■	
報名管理/行前通知			■	■	■	■	■	
完成保險及餐點預定					■			
設計、發製場佈物					■	■		
撰寫、交付相關文稿					■	■		
場佈、活動彩排							■	
活動執行							■	
活動結案								■

資料來源：本研究製作

正式活動期間自 8 月 29 日廠商進場起佈置至 8 月 30 日活動結束止，執行流程如下表：

表 7- 5、座談會活動安排流程

日期	時間	流程
8 月 29 日	18：00-21：00	廠商進場佈置
8 月 30 日	07：30-08：10	開場前整備
	08：10-09：00	活動總彩排
	09：00-09：30	報到入場
	09：30-12：00	正式活動
	12：00-17：00	活動撤場

資料來源：本研究製作

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 視覺設計

活動主視覺設計以淺蔥色為主要視覺色調，並具波紋意象之森色為文字色調，呈現未來感及科技感，如下圖：

圖 7- 6、座談會主視覺

資料來源：本研究製作

並以此視覺設計相關輸出物品，包含 EDM、場地佈置、手冊及識別牌等物品，輸出物品清單及現場示意如下表及下圖：

表 7- 6、場地布置物清單

項次	設計專案	尺寸
1	舞臺背板	左：寬 382*高 278（cm） 右：寬 388*高 278（cm）
	舞臺背板左右側（拉門）	左：寬 340*高 300（cm） 右：寬 340*高 300（cm）
2	合成版講臺	寬 55*高 100（cm）
3	麥克風牌	寬 42*高 6（cm）
4	拍照牆	寬 360*高 240（cm）
5	議程表	寬 60*高 90（cm）
6	電子看板	寬 1080*高 1920（px）
7	識別證	寬 9*高 13（cm）
8	手冊	寬 21*高 29.7（cm）

資料來源：本研究製作

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 7- 7、活動布置現場概況

資料來源：本研究製作

(三) 行銷宣傳

本國際座談行銷宣傳主要以網路媒體管道為主，包含 EDM 特設網頁、商業週刊 Line 社群、Facebook 粉專等頁面曝光，並引流至專屬報名頁面如下圖。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 7- 8、EDM 部分頁面宣傳示意

資料來源：本研究製作

三、 會議議題

本座談會共分為 3 場演說及 1 座談會，各場次探討議題如下：

(一) 6G 技術演進趨勢展望

Dr. Yosuke Aragane，為 NTT 副總經理暨 NTT R&D IOWN 開發辦公室負責人，研究領域為網路安全，以電腦資安事件應變小組運作為主，同時擔任 IEEE、IEICE、IPSJ 會員及 IOWN GF 候補董事。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Dr. Aragane 的演說主題為關於創新全光和無線網路（Innovative Optical Wireless Network Global Forum, IOWN ），如何為下一代的通信及運算提供更高效、低能耗的解決方案。透過全光子系統，不僅能夠加速資料的傳輸速度，還能將這些技術應用到各個行業，包括醫療、虛擬實境以及雲端運算等。創造更多的應用可能性，還能解決當前通信系統中的耗能問題。

不僅把光子運用於傳輸資料，在資料處理的過程當中也使用光子。光學系統跟電氣系統相比，耗電量比較低，實際上有些時候可將電氣系統跟光學系統結合起來，特別是進一步減少產生的熱量、降低耗電量，可以做為晶片與晶片，甚至裸晶與裸晶之間連線，運用於通信網路當中同時，亦可用於運算系統中。

Dr. Aragane 以遠距醫療為例，利用 IOWN 的技術，醫生和病人在不同的城市之間進行遠距手術操作，其低延遲特性確保了手術操作的準確性與安全性。這正是我們所追求的高效能低延遲通信網路應用的完美示範。

未來，隨著 IOWN 技術的普及與進一步發展，更多企業和產業都將受益於它的高效能和低耗能特點。期待 IOWN 技術為全球的通信網路帶來革命性的變革。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 7- 9、Dr. Yosuke Aragane 分享 IOWN 發展目標與願景

資料來源：本研究製作

(二) 6G 跨域應用與頻譜趨勢

Mr. Shiro Fukumoto 為軟銀集團法規發展部門總監暨 HAPS 聯盟電信工作組副主席，於 ITU 以及 APT 中，領導關於 HAPS 的重要討論和決策，並擔任 APT 協調員，負責 WRC 議程專案關於額外識別 HAPS 頻段的工作。

Mr. Fukumoto 介紹軟銀集團在 NTN 和高空平臺基地臺 HAPS 的最新進展，及國際發展狀況。NTN 是彌補地面網路不足的重要技術。例如在災害發生時，地面網路可能癱瘓，此時 NTN 可發揮關鍵作用，並已以 113 年 1 月 2 日本能登半島地震為例，利用衛星通信和行動基地臺成功恢復了部分通信。

5G 的主要特性是高頻寬、大涵蓋範圍和高度可靠性。6G 在此基礎上進一步提升，提供更短的延遲、更高的安全性和廣泛的設備連結能力。設備間直接連結可提高通信能力。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

NTN 的關鍵組成部分包括 HAPS、LEO 和 GSO。技術各有優勢，例如 LEO 涵蓋範圍廣，適合語音通話與簡訊，而 HAPS 介於地面系統和低軌衛星之間，具有靈活性和較大的涵蓋範圍。HAPS 尤其適用於偏遠地區和災區。並以軟銀集團的 Sunglider 太陽能無人機作為 HAPS 技術技術的例子，能夠提供廣泛的網路服務。

國際標準方面， WRC-23 會議討論了未來 HAPS 頻譜的使用，計畫進一步推動在全球範圍內的應用。WRC-27 將繼續討論 HAPS 與行動服務的結合，預計 HAPS 將成為關鍵的全球通信解決方案。

圖 7- 10、Mr. Shiro Fukumoto 分享 NTN 應用及 HAPS 前景
資料來源：本研究製作

(三) 6G 資訊安全與隱私

Prof. J. Morris Chang，於美國南佛羅里達大學電機學系任教，研究包含網路安全、無線網路、能量感知計算和物件導向系統。

Prof. Chang 談及在人工智慧時代有關安全跟隱私的挑戰，應如

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

何確保人工智慧跟機器學習系統的安全跟隱私。

6G 傳輸速度已經到 Tbps 的水準，也有許多的應用。而資料的敏感性跟隱私權的問題，仍然是有待克服的挑戰。對於使用者有免費的服務與程式，但使用時所提供的資訊可能會被應用於廣告或其他服務，但同時這些資料可能會被另作他用或竊取。

保護隱私的方法包含幾項，第一類為壓縮隱私，重點為如何減少資料量，保留對機器學習有幫助的資料；第二類方法為合成資料或生成合成資料，把原始的資料加以處理，生成合成的資料，目標是保存這些統計資料，藉由真實的資料生成合成資料的話，這個合成資料就可以用在別的用途上，但資料的隱私受到保障。

關於聯合學習，因為客戶端的不同，這個資料無法直接共享，會先於設備訓練，再彙整至雲端系統。聯合學習有可能用資料下毒或者針對模型下毒，竊取個人資料。針對差分隱私的技術，就涉及同態加密，將梯度切為多個部分，因此無法使資料拼湊回原始資料。

6G 對於 AI 還有 ML 系統會帶來很大的影響，聯合學習就是一個很好的例子，進行資料分享的時候要確保安全性，惟有確保資料的安全，各方才願意彼此進行合作。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 7- 11、Prof. J. Morris Chang 分享 6G 時代資料加密及隱私保護觀點

資料來源：本研究製作

(四) 焦點座談：6G 應用演進趨勢

焦點座談由工業技術研究院資通所黃副所長主持維中，除三場演說講者擔任與談人外，亦邀請國立臺灣科技大學資訊工程學系鄧系主任惟中擔任與談人，黃副所長向各位與談人提問問題主要聚焦於次世代通信的應用、隱私及對政府的建議，以下摘錄各與談人回復與建議：

1. Prof. Wei-Chung Teng

要進一步的推動 6G 網路，通信系統需要具有更高的智能結合更好的邊緣運算系統，不論是 6G 或者透過 6G 落實人工智慧的相關服務。除了我們要確保資料的安全、維護隱私之外，需要同步提升運算能力，一旦克服這些問題，可能開發出新的市場，傳遞資料量跟運算力之間能夠達到最好的平衡。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

政府出資研究，探討如何在 6G 的時代中維持我們領先的地位。產業界對現在討論 6G、維護隱私、確保網路安全，不一定感興趣。把重點著重於次世代的科技的好處，也必須要探討有什麼樣可能的應用

從 5G 時代開始，與過去著重於速度更快、延遲更低、效能更好的通信系統不同，5G 開始的重點是放在應用。即使到 6G 時代，新的使用案例、新的應用會變得越來越重要，6G 會出現更多的企業專網，且網路的規模會越來越大，因此對電信產業來說就必須做一些調整，不能再故步自封，延續過去的做法，需要超前布建。

2. **Dr. Yosuke Aragane**

6G 的世代，因為端對端的體驗是非常重要的，不僅是在無線、固網或者是應用面等等，這裡的重點就是消費者、業界可以接受這個資料中心、固網或者是光纖的連線跟無線之間的連結。此外，6G 會使用更高的頻率，但高頻率沒辦法傳輸比較遠的距離，需要更多的硬體架設，高頻率如何傳輸至建築物內。

6G 加上 AI 是非常重要的，是帶動下一代的應用非常重要的推手， 6G 藉由更多的偵測感應器，就可以蒐集到很多的資料，客製化針對特定的產業，或者針對任何的應用最佳化，是未來趨勢。寬頻跟低延遲就變得非常重要，期望能夠有即時資料的反應，因此延遲越短越好，讓 AI 即時的偵測、即時做一些推斷，幫使用者做出一些決策或者提供使用者需要的解決方案。

3. **Shiro Fukumoto**

NTN 目前的涵蓋率還是問題，尤其是有天災的時候，因此在未來必須要考慮如何配合非陸地網路提升涵蓋率。從 6G 的角度我們會考慮到涵蓋率、連結的速度，難以想像未來所有應用的需求，是使用陸地網路是可以滿足，因此考量兩種網路的結合可能

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

是一個未來的趨勢。

軟銀集團宣布成立「人工智慧聯盟」，期望能夠進一步推廣人工智慧的相關技術跟應用，讓產業界可以因為這個新的應用而建立新的商業模式。未來的通信系統可以跟人工智慧系統結合，如在邊緣運算系統當中，我們也可以推出一些跟 AI 有關的服務，帶來一些新的突破。

4. **Prof. Morris Chang**

6G 可以帶動更多的行動解決方案，包含交通、醫療保健方面，這個資料會散落各處，我們必須要蒐集這些資料，在蒐集的過程就會有隱私洩漏的問題，資料和模型可能中毒。

同態加密這種技術可以保護，當進行聯合學習時，設備端傳遞到雲端的資料可以受到保護。目前資料傳輸速度依然太慢，如果是純文字的模式，進一步加密的話，大小就是原來 15 至 30 倍。當不斷一次又一次對這個模型進行訓練，延遲也許沒有那麼重要，但需要有足夠大的頻寬，才能將這麼多的資料從設備端傳到雲端，因此我們必須要把讓 6G 有足夠大的頻寬，對聯合學習就有很大的幫助。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 7- 12、各與談人暢談 6G 時代下各領域願景

資料來源：本研究製作

四、 會議成果

本座談會於 113 年 8 月 30 日順利完成舉辦，並依籌備規劃邀請繳者進行演說及座談。活動採網路報名，共 172 人報名，並有 114 人出席，參加者多為政府部門與轄下法人單位、電信及資通相關產業領域業者及各學術單位。並蒐集 18 份有效會饋問卷，參與目的較多為「掌握產業實況」，並對本活動執行滿意度為「非常滿意」居多。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第八章 其他執行專案與成果彙整

第一節 座談會執行成果

	類型	主題	完成辦理時間
1	分享會議	MWC行前交流會	113年2月19日
2	座談會	WRC-23之重要議題決議分享與討論	113年4月17日
3	座談會	我國6G潛在候選頻譜研議	113年6月26日
4	分享會議	出席MWC會後分享會議	113年8月7日
5	座談會	6G跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析	113年8月21日
6	國際座談會	未來頻譜整備與和諧共用機制發展之國際座談會	113年8月29日
7	國際座談會	6G應用趨勢之技術進展與政策推動探討座談會	113年8月30日
8	座談會	我國B5G頻譜重耕之挑戰	113年9月24日
9	座談會	我國微波移頻與使用其他替代技術探討	113年10月8日
10	座談會	我國6G未來方展藍圖及頻譜整備規畫方向研議座談會	113年10月16日

一、「WRC-23 之重要議題決議之分享與探討座談會」之辦理成果

(一) 座談會準備概況

本場次座談會自三月初即開始草擬議題與邀請名單，議題設定在 WRC-23 決議對我國現行無線電之影響，除向國內透過分享 WRC-23 決議資訊之外，亦同時規劃透過討論來收集國內各界對未來無線電之看法與考量。邀請單位包含公部門、專家學者、電信業者、產業協會、研究單位、ICT 產業與其他利益相關團體，名單如下表所列。

表 8- 1、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」座談會擬邀出席人員名單

單位類別	單位名稱
公部門	內政部消防署
	內政部警政署
	台灣電力股份有限公司
	國家科學及技術委員會-工程技術研究發展處
	國家通信傳播委員會
	經濟部產業技術司
	經濟部產業發展署
	數位發展部數位產業署
專家學者	國立清華大學

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

單位類別	單位名稱
	國立陽明交通大學
	國立臺北大學
	國立臺灣大學
電信業者	中華電信股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	臺灣數位光訊科技集團 （4.8-4.9 GHz 頻段開放 5G 專頻專網使用，5G 專網角度）
	遠傳電信股份有限公司
	遠傳電信股份有限公司
產業協會	臺灣資通產業標準協會
	臺灣電信產業發展協會
研究單位	台灣經濟研究院
	臺灣野村總研諮詢顧問股份有限公司
	工業技術研究院
	資訊工業策進會
ICT 產業	Wi-Fi ALLIANCE 香港商無線工業協作有限公司臺灣分公司
	日月光半導體製造股份有限公司 （4.8-4.9 GHz 頻段開放 5G 專頻專網使用，5G 專網角度）
	臺灣積體電路製造股份有限公司 （技術產業發展建議-半導體製程角度）
	易達通科技股份有限公司 （技術產業發展建議-射頻天線角度）
	華碩電腦股份有限公司 （技術產業發展建議-設備市場角度）
	華碩電腦股份有限公司 （技術產業發展建議-設備市場角度）
	聯發科技股份有限公司 （技術產業發展建議-標準與晶片角度）
	鴻海精密工業股份有限公司 （技術產業發展建議-標準與設備角度）
	耀登科技股份有限公司 （技術產業發展建議-射頻天線角度）
其他	高雄展覽館 （4.8-4.9 GHz 頻段開放 5G 專頻專網使用，5G 專網角度）

資料來源：本研究整理

(二) 座談會執行成果

本場次之座談會採實體會議形式，在 113 年 4 月 17 日（三）下午 2 點至 5 點期間，於集思交通部會議中心 202 會議室正式召開。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

出席與會人員包含有：（1）公部門代表數位發展部數位產業署、國家通信傳播委員會，（2）專家學者代表呂學錦教授、李佳翰教授、謝欣霖教授，（3）電信業者代表中華電信、台灣大哥大、遠傳電信，（4）研究單位代表資策會、工研院、台經院，以及（5）ICT 產業代表台積電、聯發科、耀登等共約 45 人。

座談會由電信技術中心徐玉珊資深研究員兼副理進行開場主持，並於長官致詞後，由主講人林咨銘博士進行議題分享與討論引導。主講人議題準備如下表所列。

表 8- 2、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」討論議題

議題一： 6G 行動通信頻譜之決議與議題探討

1. 4.9 GHz

- 依據 WRC-23 第 223 號決議之修訂，已更新 4.8-4.99 GHz 之頻率配置以開放 IMT 設備使用，並要求設備使用前必要之 PFD 功率通量密度限制。
- 數位發展部已於 2023 年 6 月 1 日公告 5G 專頻專網管理辦法，並開始受理企業 5G 專網於 4.8-4.9GHz 頻段之使用申請，目前已陸續發給核准使用執照。
- 試問，此 WRC-23 之決議對我國產業或現行規範有無任何影響或需注意之事項?

2. 6 GHz

- 依據 WRC-23 新增之第 COM4/7 號決議，全球已有多個區域與國家開放 6425-7125 MHz 供 IMT 系統配置，而亞太區域之部分國家亦可在 WRC-27 之前登記此頻段供 IMT 系統之配置使用。此外，經由國家協調與允許下，此頻段亦可供包含 Wi-Fi 在內之 WAS/RLANs 系統使用。
- 數位發展部已於 2023 年 8 月修正「中華民國無線電頻率分配表」與「無線電頻率供應計畫」開放 5945-6425 MHz 供低功率射頻器材使用，通傳會亦於 2024 年 1 月透過「低功率射頻器材技術規範」第五點修正草案，增訂 5945-6425 MHz 之相關適用範圍、測試專案及合格標準等規定。
- 試問，此 WRC-23 之決議對我國產業或現行規範有無任何影響或需注意之事項?

議題二：NTN 非地面網路行動通信之決議與議題探討

1. 高空行動基地臺

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 依據 WRC-23 相關決議之新增與修訂，高空行動基地臺（High-altitude platform station as IMT base station, HIBS）已經同意可在 694-960 MHz、1710-1980 MHz、2010-2025 MHz、2110-2170 MHz、與 2500-2690 MHz 等頻段，對地面行動終端提供行動通信服務。
- 數位發展部為強化通信韌性，確保偏鄉通信涵蓋與降低數位落差，已著手推動非地面通信關鍵技術與應用，並規劃透過通信與技術之驗證，同時提升相關領域與產業自主研發能力。
- 試問，關於此決議之未來發展與我國可能之因應措施，有無任何看法或建議?

2. 行動通信衛星直連終端

- 依據 WRC-23 第 253 號決議之修訂，WRC-27 將討論行動通信衛星直連行動終端（Direct-to-Device, D2D）之衛星無線電服務議題，考慮的候選頻段為 700-2700 MHz 之 IMT 行動通信頻段。
- 美國 FCC 聯邦通信委員會已透過決議，將採用「太空增補通信範圍（Supplemental Coverage From Space, SCS）」之架構，來在既有並已經配置之多個陸上行動通信頻譜，來提供做為行動通信衛星直連終端之用途使用。
- 試問，關於此決議之未來發展與我國可能之因應措施，有無任何看法或建議?

議題三：下階段全球無線電關注焦點交流

- 依據 WRC-23 第 COM6/23 號之決議，WRC-27 將規劃討論 IMT 於 7-14 GHz 新頻譜配置、固定與行動通信衛星使用規範，以及其他等多項新興無線電議題等，並已指派 ITU-R 相關研究群組進行討論。
- 依據 WRC-23 第 COM6/25 號之決議，WRC-31 將先期進行多項未來無線電議題之研究與討論，包含 IMT 於 Sub-THz 新頻譜配置、NGSO、WPT、以及其他未來無線電之發展議題。
- 請問，面臨 WRC-27 與 WRC-31 多項新興以及即將於未來開展之無線電議題，有無先期探討或關注研究之必要性?相關議題與重要性為何?

資料來源：本研究整理

(三) 分享及座談重點概要

主講人第一階段，先就 WRC-23 之背景進行簡介，包含國際無線電概述，WRC 背景與發展，與 WRC-23 概觀。接著進一步說明地面行動通信與衛星行動通信之決議，包含議題 1.1、議題 1.2、議題 1.4、以及議題 1.18 之整理資訊。其後針對整體 WRC-23 之所有

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

重點決議進行說明，並最後概要統整 WRC-27 與 WRC-31 之未來研究與發展議題。

在資訊分享完成之後，主講人於第二階段將探討議題切分為三大專案，包含 6G 地面行動通信，NTN 非地面行動通信，以及全球無線電，並引導與會來賓分別座談「現階段可能衝擊與影響」，「下階段可能衝擊影響」，以及「未來建議關注與影響」等議題。

下表為此次分享座談會之議題重點。

表 8- 3、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」分享重點概要

	WRC 議題	WRC-23 決議概述	議題方向
6G 地面行動通信	WRC-23 議題 1.1	4.8-4.99 GHz 頻率配置已經更新，並開放予 IMT 設備使用。	現階段可能衝擊與影響
	WRC-23 議題 1.2	全球多個區域與國家開放 6425-7125 MHz 供 IMT 系統配置，並在國家協調與允許下，此頻段亦可供包含 Wi-Fi 在內之 WAS/RLANs 系統使用。	
NTN 非地面行動通信	WRC-23 議題 1.4	HIBS 高空行動基地臺已經同意可在 700 與 2700 間之 IMT 頻段，對地面行動終端提供行動通信用途	下階段可能衝擊與影響
	WRC-27 議題 1.13	考慮衛星直連行動終端之 D2D 無線電用途，候選頻段為 700-2700 MHz 之 IMT 行動通信頻段。	
全球無線電	WRC-27	IMT 新頻譜（4/8/14 GHz）、GSO 與 NGSO 等超過 10 個衛星通信、以及其他興起中之無線電議題	未來建議關注與影響
	WRC-31	IMT 新頻譜（102-275 GHz）、THz（275-325 GHz）、以及其他待研究之無線電議題	

資料來源：本研究整理

(四) 討論整理

在 6G 地面通信之 4.9 GHz 部分，公部門代表簡單說明現行已經運作之場域與規範，而電信業者則說明此頻率之應用場域多在室內，影響應該有限，並表示將繼續追蹤評估可能影響。此外，專家

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

學者認為 WRC 決議之位階等同於法律，建議我國應多了解國際法與相關國際標準規範。對此議題，座談會多數意見為「初步評估現行場域影響不大，建議繼續觀察運行可能影響。」

在 6G 地面通信之 6 GHz 部分，電信業者表示行動通信有持續發展之需求，而 Wi-Fi 現行資源應已滿足，希望探討此頻段之行動通信，微波，與衛星之共享研究，不過現場業者對共享與共存之頻率範圍與方式有著不同之意見。對此，公部門代表亦理解到此頻率將面臨之共存議題，包含 Wi-Fi 與 ST2 等。在學界意見部分，有專家學者表示須留意 MS 行動用途、FS 固定用途、以及 FSS 衛星固定用途的主要配置優先權與共存議題，且須注意 WRC 發展資訊，並建議以模擬研究來切合實務發展。在產業代表部分，有公司認為由於無線電之保護機制考量不同，可先釐清對象與保護效果，並建議進一步釐清發射限制之差異。因此，對此議題頻率之後續處置可為「優先考慮 IMT 行動通信需求，建議研究評估干擾與共存議題。」

在非地面行動通信之 HIBS 高空地面行動通信基地臺部分，電信業者表示不確定此應用是否適用於我國，而可能之實務議題包含驗證、營運、電力、高度、地形、氣候與空中干擾等折衷議題，但亦認為災區情境應有應用之可能。對此看法，公部門代表則進一步補充除人口涵蓋需求外，地理涵蓋亦有需求，需特別留意商用模式與法遵議題。學者專家則是同步分享標準之動態與資訊，並希望能有更多討論與分享訊息，以多了解實務情況。同時，產業代表亦進一步補充，認為此議題之實務發展應在系統整合，而 O-RAN 是可能之實施方式。經會場討論，此議題之多數看法為：「商業模式仍待確定，但可優先考慮偏鄉及救災，而實務與法遵議題仍須進一步討論交換資訊。」

承接前議題之討論，對於在非地面行動通信之 D2D 衛星直連手機之議題，除電信業者與公部門代表表示與前一議題之類似意見之外，專家學者亦進一步認同商業契機尚未確定，但仍可能適用於

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

救災需求的看法。產業代表則是從其市場發展來確認暫無市場需求之現況，同時肯認偏鄉救災是合理情境。產業代表則是進一步補充實現此此新興無線電用途之天線設計與晶片製造其實並無特殊需求，問題在干擾議題將影響晶片設計複雜度。所以對此議題之座談會結論應為「商業模式仍待確定，但可優先考慮偏鄉及救災，而考量到實務產品影響不一，干擾與法遵議題則須進一步討論交換資訊。」

最後在下階段全球無線電發展之議題上，有專家學者特別提供標準資訊，認為產業實務對自駕車等之 L-ESIM 有標準發展動機，且 WRC 是重要的參考資訊來源。對此議題與發展趨勢，現場意見則是「建議持續追蹤、更新與交換標準與 WRC 大會資訊。」

關於此座談會之會上討論意見資訊，本研究整理如下表。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 8- 4、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」會後整理

議題		公部門	專家學者	電信業者	產研	產業代表	議題結論整理
地面行動通訊	4.9 GHz	已有場景與現行規範，將繼續追蹤評估	應多了解國際法與相關國際標準規範	應用場域多在室內，影響應該有限			初步評估現行場域影響不大，建議繼續觀察運行可能影響
	6 GHz	將面臨共存議題，包含WiFi與ST2	須留意MS/FS/FSS的主要配置優先權與共存，且注意WRC發展資訊，以模擬研究之切合實務發展	行動通訊有持續發展需求，而Wi-Fi現行資源應已滿足，希望探討此頻段之行動通訊，微波,與衛星之共享研究, 但共享方式意見不同		保護機制考量不同，可先釐清對象與保護效果，亦建議進一步釐清發射限制之差異	可優先考慮IMT行動通訊需求，建議研究評估干擾與共存議題
非地面行動通訊	HIBS	除人口涵蓋需求外，地理涵蓋亦有需求，需特別留意商用模式與法遵	標準亦多有討論，希望多討論分享訊息，以多了解實務情況	不確定此應用是否適用於我國，實務議題包含驗證、營運、電力、高度、地形、氣候與空中干擾，須注意Trade-Off議題，但災區應有應用可能		實務發展議題在系統整合，O-RAN是可能之實施方式	商業模式仍待確定，但可優先考慮偏鄉及救災 實務與法遵議題仍須進一步討論交換資訊
	D2D		商機不是很確定，但救災需求較為確定			暫無市場需求，偏鄉救災是合理情境。天線設計與晶片製造無特殊需求，但干擾議題將影響晶片設計複雜度.	商業模式仍待確定，但可優先考慮偏鄉及救災 實務產品影響不一，而干擾與法尊議題須進一步討論交換資訊
下階段全球無線電	WRC-27/31		實務對自駕車等之L-ESIM有標準發展動機，WRC是重要參考資訊來源				持續追蹤、更新與交換標準與WRC資訊
單位意見綜整		已有相關專案在申請、實證與研究中，留意後續發展，並強調商用與法遵議題	不確定實務需求，但多強調交換資訊，以實務與研究之結合，來解決相關議題	已多有場景與案例在發展中， 強調商用模式之確立，與頻譜干擾之研究，但對共享之機制持不同態度	目前已多有研究進行中, 此次先以觀察學習為主	著重商用模式與市場需求，強調系統整合，干擾共存與技術開發等實務議題，並期待交流交換資訊	

資料來源：本研究整理

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

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會之辦理成果

(一) 座談會準備概況

本場次座談會聚焦於我國已釋出頻段屆期規劃、未來行動通信候選頻譜探討，以及 NTN 頻譜資源競合等三個議題，以初步瞭解與會者對於未來 6G 可能採用之頻段、未來釋出頻譜之優先順序，以及其他潛在候選頻段之看法。邀請與會單位包含公部門、專家學者、電信業者、產業協會，名單如下表所列。

表 8- 5、「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會擬邀出席人員名單

單位類別	單位名稱
專家學者	前交通部郵電司司長
	國立成功大學電信管理研究所
	國立臺北大學通信工程學系
	國立臺灣大學電機工程學系
	國立暨南國際大學電機工程學系
電信業者	中華電信股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	遠傳電信股份有限公司
產業協會	臺灣電信產業發展協會

資料來源：本研究整理

(二) 座談會執行成果

本場次座談會採實體會議形式，在 113 年 6 月 26 日（三）下午 2 點至 5 點期間，於集思交通部會議中心 201 會議室正式召開。

出席與會人員包含有：（1） 公部門代表數位發展部、國家通信傳播委員會，（2）專家學者代表張時中教授、陳文字教授、鄧添來前司長、謝欣霖教授、魏學文教授，（3）電信業者代表中華電信、台灣大哥大、遠傳電信，以及（4）產業協會代表台灣電信產業發展協會等共約 31 人。

座談會由電信技術中心巫國豪主任進行開場主持，並於長官致詞後，由主講人呂少琪助理研究員進行議題分享與討論引導。主講

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

人議題準備如下表所列。

表 8- 6、「我國 6G 潛在候選頻譜研議」討論議題

討論議題	
議題一：我國已釋出頻段屆期重耕規劃	1.1：我國行動通信使用頻段（700、900、1800 MHz）將於 2030 年屆期，後續主管機關重新釋出屆期頻段時，相關頻段供 5G 或 6G 使用之可行性為何？有無建議優先供 5G/6G 使用之頻段？ 1.2：因應技術升級，對於該類重新釋出頻段，是否設定相關執照規範（例如網路涵蓋率、基地臺建設數量等），以及執照條件如何設計（例如執照效期應比照過往長度設計或其他）？ 1.3：請教對於我國已釋出之頻段屆期重耕規劃是否有其他建議或看法？
議題二：新興 6G 候選頻譜探討	2.1：目前全球持續發展 5G，多數國家仍以滿足 5G 頻率需求為優先。請問我國目前 5G 頻譜是否足夠使用？若有建議再釋出之候選頻段，應優先關注哪些頻段？ 2.2：參考 5G 發展，國際間對頻譜配置會採用低頻、中頻或毫米波頻段分別規劃之方式，若參考目前部分研究機構提出之 6G 潛在候選頻譜，有無可供我國參採之處？建議納入候選頻段為何？ 2.3：WRC-27 之研究議題將 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz、14.8-15.35 GHz 做為評估是否供 IMT 使用之頻段，請問我國是否應參考此一趨勢，將該類頻段納入研析對象？理由為何？ 2.4：綜合參考 WRC-23 決議事項與主要研究國家，未來可供 B5G/6G 使用之候選頻段預期將包括 6425-7125 MHz、7-15 GHz 等，請問是否有其他可供我國可參考之候選頻段？ 2.5：針對本研究研析之候選頻譜，是否有他候選頻段之建議與看法？

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

討論議題	
議題三：6G NTN 環境下帶來之頻譜資源競合議題	3.1：國際間已有出現衛星與行動通信互相競逐頻譜資源之情事，例如美國之 12 GHz 案例之爭或 3GPP FR3 相關頻段皆有類似情形，請問對於行動通信與衛星通信競合頻譜資源的看法為何？

資料來源：本研究整理

(三) 座談會之重點概要

主講人先就 ITU 與 3GPP 對 6G 發展之時程規劃背景進行說明，包含 ITU 發布之 6G 願景，其以 5G 為基礎並擴展新功能及更廣泛的使用範圍; ITU 確立 IMT 2030 趨勢、使用場景及功能; 3GPP 宣布將於 Rel 20 進行 6G 研究、Rel 21 制定 6 G 基本規範並提交予 IMT 2030，並確保 5G 向 6G 平穩過渡。接著進一步說明 WRC23 IMT 各區頻段之決議與 WRC27 規劃探討之議題。其後針對產業界、國際間主要研究國家對 6G 潛在頻段之規劃整體進行簡介，並統整我國行動通信頻譜核配之現況、盤點我國潛在候選頻段，以及點出我國將面臨 IMT 與衛星使用資源競合之挑戰。

在資訊分享完成之後，主講人進一步探討議題切分為三大專案，包含「我國已釋出頻段屆期重耕規劃」、「新興 6G 候選頻譜探討」，以及「6G NTN 環境下帶來之頻譜資源競合議題」。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 8- 7、我國潛在可供 IMT 使用頻段之盤點總表

頻段		3GPP Band Plan	我國使用現狀與規劃
1GHz 以下	632-652 MHz (20 MHz) 678-698 MHz (20 MHz)	Band 71 (663-698/617-652 MHz)	視國際發展及國內使用需求再作評估規劃
	700MHz 頻段	Band 28 (703-748/758-803 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2030年屆期
	806-816/847-857 MHz (20 MHz) 816-821/857-862 MHz (10 MHz)	Band 5 (824-849/869-894 MHz) Band 20 (832-862/791-821 MHz) Band 26 (814-849/859-894 MHz) Band 27 (807-824/852-869 MHz)	• 806-816/847-857 MHz供公共安全與救難應變專屬無線通信系統實驗網路之用(為PPDR保留)，已閒置多年 • 816-821/857-862 MHz供民生公共物聯網實驗使用
	900MHz 頻段	Band 8 (880-915/925-960 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2030年屆期
中頻 1-6GHz	1800MHz 頻段	Band 3 (1710-1785/1805-1880 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2030年屆期
	2100MHz 頻段	Band 1 (1920-1980/2110-2170 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2033年屆期
	2300MHz 頻段	Band 40 (2300-2400 MHz)	尚未釋出，視國際發展及國內使用需求再作評估規劃
	2500MHz&2600MHz	Band 7 (2500-2570/2620-2690 MHz) Band 38 (2570-2620 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2033年屆期
中頻 1-6GHz	3300-3570MHz	n78 (3300-3800)	目前行動通信使用頻段，將於2040年屆期
	3740-4100 MHz	n77 (3300-4200)	考量保留ST-2使用頻段與規劃護衛頻帶(3700-3740、4100-4200)後，擬規劃3740-4100MHz供IMT使用。
	4700-4800 MHz 4900-5000 MHz	n79 (4400-5000)	與既有使用者進行協商，進行清移頻規劃，可供IMT使用
	6425-7125 MHz	n96 (5925-7125) n104 (6425-7125)	WRC-23開放第1區6425-7125 MHz；第3區7025-7125 MHz供IMT使用
毫米波	24/26GHz	n257 (26500-29500) n258 (24250-27500)	尚未釋出，視國際發展及國內使用需求再作評估規劃
	28GHz	n257 (26500-29500) n261 (27500-28350)	目前行動通信使用頻段，將於2040年屆期
	37-40GHz	n260 (37000-40000)	尚未釋出，視國際發展及國內使用需求再作評估規劃

資料來源：本研究整理

(四) 討論整理

首先，第一個議題「我國頻段屆期重耕規劃」，電信業者建議未來 1 GHz 以下的新頻段如 600 MHz 與 800 MHz，將可能與 119 年屆期的 700 MHz 和 900 MHz 一併釋出，並可評估將 119 年與 122 年屆期之頻段一併釋出之可能性。電信產業協會則提及可整備低、中、高頻段頻譜，並推出合適的拍賣政策與規則。

針對未來釋照之考量事項，在 2600 MHz 頻段，電信業者認為應將 FDD 和 TDD 混合模式，全面改為 TDD 方式釋出，從而提高頻譜效益。同時，亦希望延長執照期限，以便有足夠時間規劃中長

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

期的競爭與佈局。此外，專家學者建議在頻譜競標時，應給予次高出價者優先權，尤其是達到特定重耕涵蓋率之業者。

針對上述業者提出之建議，若 1 GHz 以下頻譜通盤整備並釋出，依本研究盤點，低頻約有 230 MHz 頻寬可供釋出。而關於執照期限是否延長之議題，本研究認為可再研議並參考國際案例，如近期德國決定將 2010 年釋出之 800 MHz、1800 MHz、2600 MHz 頻段，由執照年限 15 年延長至 20 年，調整為 2030 年屆期並與其他頻段一同分配，以同時釋出更多頻譜。

第二個議題聚焦於「新興 6G 候選頻譜探討」，電信業者建議 1 GHz 以下的 600 MHz、800 MHz 頻段與即將屆期的 700 MHz、900 MHz 頻段一起規劃，並全面盤點低頻段的整體佈局。此外，專家學者建議 6425-7125 MHz 頻段建議保留給行動寬頻使用，而 7-15 GHz 需與衛星通信用途共存。關於 6G 的頻段，業者建議優先考量 n78 和 U6 的 n104 頻段，本研究認為可同時規劃行動通信與 Wi-Fi 頻段，綜觀整體頻譜規劃以滿足未來的需求。

第三個議題涉及「6G NTN 環境下的頻譜資源競合」。隨著行動通信與衛星通信之間的頻譜資源競爭逐漸發生，基於資源過度競合及衍生同頻或鄰頻干擾，故需制定有效政策。專家學者與電信業者建議我國應以地面網路通信為重心，同時保留一至兩個重要頻段給衛星使用。倘若我國未來政策方向為租用國際衛星網路，則需發展地面站臺；反之，若為發展衛星或無人機，則需進行更長期的頻譜規劃。我國應與國際業者合作，共同發展衛星通信網路，以應對國內外的資源競合挑戰。

綜上所述，我國未來的頻譜規劃應依循國際標準，並考量技術發展趨勢，針對低頻段之頻譜屆期重耕與 6G 頻譜的規劃積極應對，以確保產業持續發展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

三、「6G 跨域應用與頻譜管理探討」座談會議之辦理成果

(一) 座談會準備概況

本場次座談會聚焦於 6G 技術下 AI 應用的創新、頻譜資源需求與管理挑戰，以及 6G 之非地面網路（NTN）與地面網路（TN）之頻譜資源競合議題兩個議題。邀請與會單位包含電信業者、設備商、電信產業協會以及專家學者，名單如下表所列。

表 8- 8、「6G 跨域應用與頻譜管理探討」座談會出席人員名單

單位類別	單位名稱
專家學者	前交通部郵電司司長
	國立臺灣大學電機工程學系
	國立暨南國際大學電機工程學系
研究單位	財團法人台灣經濟研究院研究四所
	財團法人資訊工業策進會軟體技術研究院
	財團法人工業技術研究院
設備商	聯發科技股份有限公司
電信業者	中華電信股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	遠傳電信股份有限公司
產業協會	臺灣電信產業發展協會

資料來源：本研究整理

(二) 座談會執行成果

本場次之座談會採實體會議形式，在 113 年 8 月 21 日（三）下午 2 點至 5 點期間，於集思交通部會議中心 201 會議室正式召開。

出席與會人員包含有：（1） 公部門代表數位發展部，（2）專家學者代表張時中教授、鄧添來前司長、魏學文教授，（3）研究單位代表財團法人台灣經濟研究院研究四所、財團法人資訊工業策進會軟體技術研究院、財團法人工業技術研究院，（4）設備商代表聯發科技股份有限公司，（5）電信業者代表中華電信、台灣大哥大、遠傳電信，以及（6）產業協會代表台灣電信產業發展協會等共約 32 人。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

座談會由電信技術中心巫國豪主任進行開場主持，並於長官致詞後，由主講人陳文字教授進行議題分享與討論引導。主講人議題準備如下表所列。

表 8- 9、「6G 跨域應用與頻譜管理探討」討論議題

討論議題	
議題一：6G 技術下 AI 應用的創新、頻譜資源需求與管理挑戰	1.1 IMT-2030 定義 6G 技術將整合 AI 與通信使用情境，透過 AI 以有效使用頻譜資源 6G 之 AI 應用發展方向與對頻譜資源需求的影響為何？ 1.2 應用 AI 技術於網路資源管理的挑戰為何？設備供應商之角色與技術發展進程為何 1.3 頻譜資源的管理和分配應如何適應和支持 6G 技術運用 AI
議題二：6G 之非地面網路（NTN）與地面網路（TN）之頻譜資源競合議題	2.1 在 NTN 與 TN 頻譜資源的競合議題上，如何有效管理和分配頻譜資源以確保兩者的和諧共用？NTN service link 在使用 MSS 或 IMT 頻譜時會面臨哪些挑戰和機會？ 2.2 在 NTN feeder link 與 TN 頻譜資源的競合議題上，如何有效管理和分配頻譜資源以確保兩者的和諧共用？NTN FS 應如何與 IMT 共享頻譜資源，以避免干擾並最大化頻譜利用效率？有哪些技術和政策措施可以促進 NTN FS 和 IMT 頻譜共享的實現？ 2.3 2 我國在推動 NTN 應用方面，實際需求是什麼？在滿足這些需求的前提下，需要釋出多少頻譜資源來支持 NTN 的發展？電信產業對我國 NTN 應用前景看法如何？ 2.4 針對 NTN 使用之頻譜，應採用哪種頻譜核配方式？例如，評審制、公開招標制、拍賣制或其他適當方式？執照年限幾年？

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三) 座談會之重點概要

主講人就 6G 發展趨勢、應用場景以及頻譜管理等議題進行說明。首先概述全球行動通信產業聚焦 6G 發展的背景，指出 6G 技術標準預計於 2030 年確立，並強調頻譜資源對於 6G 發展的重要性。接著，介紹產業界對於 6G 發展的展望，包括 ITU 對於 6G 的願景，以及 Ericsson、Nokia、Samsung 與 Huawei 等設備商對 6G 趨勢的分析，其預期 6G 應用場景包含沉浸式通信、超可靠低延遲通信、無處不在的連接、廣連接、AI 結合通信以及多維感測整合等。各家設備商則分別強調 6G 在虛擬生活整合、原宇宙應用、超高速可靠連接以及 XR 時代等方面的發展潛力；晶片設計商如 MediaTek 和 Qualcomm 對於 AI/ML 技術在 6G 系統中扮演重要角色的觀點。

第二部分主要探討 6G 與 AI 技術應用發展，指出 AI 應用需求將大幅提升，AI 與動態頻譜共享技術將成為 6G 網路技術重點，並分析頻譜接取從人為分配到 AI 動態分配的演進趨勢。

第三部分深入說明 6G 地面與非地面通信網路應用，先分配未來 6G 應用之各頻段特性，7 GHz 以下為低頻段；7-30 GHz 為中頻段，可整合 TN 與 NTN 網路；30 GHz 以上為高頻段。接者進一步說明 6G 地面通信網路在智慧交通、醫療和電網等領域的應用。針對非地面通信網路（NTN）應用，著重於其補足通信涵蓋最後一哩路的角色，並分析 NTN 透通型和再生型模式及其在干擾議題上的差異。

最後，主講人提出兩個主要討論議題：「6G 技術下 AI 應用的創新、頻譜資源需求與管理挑戰」，以及「6G 之 NTN 與 TN 之頻譜資源競合議題」與與會者進行討論。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(四) 討論整理

在「6G 技術下 AI 應用的創新、頻譜資源需求與管理挑戰」部分，AI 在 6G 技術中扮演著至關重要的角色，預期將用於提升頻譜使用效率並創造新的服務和應用。然而，AI 應用於網路資源管理面臨諸多挑戰，包括設備供應商的角色和技術發展速度，而頻譜資源的管理和分配需要適應 6G 技術與 AI 結合帶來的挑戰，例如網路中立性、頻譜分配公平性和個資隱私。

與會者普遍認為，現有行動通信頻譜可以沿用至 6G，但需要尋找新的頻譜資源來滿足不斷增長的數據需求。頻譜共享和共用被視為未來的趨勢，特別是在行動通信和其他無線服務之間。然而，需要解決技術和管理上的挑戰，例如如何確保公平分配和避免干擾。

以過去的經驗來說，特別是 5G 的發展，可作為 6G 發展的借鏡。與會者指出，5G 發展至今尚未完全實現當初的願景，部分原因是缺乏殺手級應用。毫米波頻譜的發展也面臨挑戰，包括技術成熟度、成本和設備支援度。

在「6G 之 NTN 與 TN 之頻譜資源競合議題」部分，NTN（非地面網路）被視為 6G 的重要組成部分，預期將用於擴大網路涵蓋範圍、強化網路韌性和提供緊急通信服務。然而，NTN 的發展也面臨與地面網路（TN）頻譜資源競合的挑戰。

NTN service link 在使用 MSS 或 IMT 頻譜時，可能與地面網路產生干擾，特別是低軌衛星的 service link 頻段可能與 5G 毫米波頻段重疊。NTN feeder link 與 TN 的頻譜共享需要技術和政策措施的支持，例如干擾協調和頻譜租用。

我國推動 NTN 應用，主要需求是網路韌性和國安，建議初期以實驗性質逐步開放，頻譜核配方式建議採用評審制，執照年限應較長，以確保維運穩定性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

然而，部分與會者對於 NTN 的發展前景持保留態度，認為低軌衛星發展涉及國際政治和經濟因素，我國應審慎評估發展 NTN 的必要性和可行性。此外，NTN 的高成本也限制了其商業應用。

此外，會議中也討論 NTN 與 Wi-Fi 等技術的融合，以及無人機等新興應用的需求。未來 NTN 可能發展出新的商業模式，例如與行動通信競爭，這將對頻譜管理和產業發展帶來新的挑戰。

四、「未來頻譜整備與和諧共用機制發展」國際座談會之辦理成果

(一) 座談會準備概況

本研究於四月起開始進行國際座談會議相關規劃，計畫執行團隊已於執行過程中充分與數發部商討國際座談會細項，並確認委託機關之需求，包含會議議程、場地資訊、主視覺以及邀請對象等國際座談會議具體執行細節等。國際座談會亦規劃晚宴餐敘，邀集參與本次國際座談會之先進國家與國際組織之專家講者，以及產學研代表探討有助我國發展數位外交與借鏡國際 6G 推動重點，促使我國及早完善 6G 頻譜相關政策。座談會議程規劃如下表所列。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 8- 10、未來頻譜整備與和諧共用機制發展之國際座談議程

時間	議程內容	邀請貴賓 / 專家
13:30-14:00	報到入席	
14:00-14:10	開場、貴賓致詞、合影	**葉寧**｜數位發展部 次長 **洪樂文**｜國科會工程處 處長
14:10-14:35	**專題演講一｜6G技術演進趨勢展望** 分析6G技術發展趨勢與演進時程，以及目前國際開發重 點，提供產業挖掘可切入之技術，掌握發展6G產業領導 地位之先機。	**Ashwani Kumar** ｜Head of Spectrum & 6G Engagement, Standards, Nokia India
14:35-15:00	**專題演講二｜全球6G頻譜趨勢觀測** 在WRC-27中討論未來IMT頻譜並實施6G技術，展望不 同地區的潛在頻譜頻段。	**Dr. Kyu-Jin WEE** ｜ITU-R Study Group 5 Chair
15:00-15:20	自由交流	
15:20-15:45	**專題演講三｜先進國家6G頻譜發展及政策** 分享先進國家推動6G頻譜發展相關政策措施，掌握6G頻譜政策發展核心。	**Kari Hicks** ｜Deputy Bureau Chief, Wireless Telecommunications Bureau Federal Communications Commission
15:45-16:10	**專題演講四｜亞太區域先進國家 6G 發展與政策推動措施** 為觀察亞太地區6G發展目標與推動政策，掌握先進國家發展動態。	**Dr. Jihyun Park** ｜Department of Spectrum and Network Strategy Research, KISDI
16:10-17:00	**焦點座談｜6G頻譜和諧有效使用機制以及Q&A**	主持人： **巫國豪**｜財團法人電信技術中心 研究企劃組 主任 與談人： **張時中**｜國立台灣大學電機工程學系 教授 **Ashwani Kumar** ｜Head of Spectrum & 6G Engagement, Standards, Nokia India **Dr. Kyu-Jin WEE** ｜ITU-R Study Group 5 Chair **Dr. Jihyun Park** ｜Department of Spectrum and Network Strategy Research,KISDI
17:00-17:10	會後交流	
18:00 -	晚宴餐敘	

資料來源：本研究繪製

(二) 座談會執行成果

為確保我國行動通信技術演進符合先進國家發展趨勢，數位發展部委託電信技術中心於 2024 年 8 月 29 日在政大公企中心 4 樓 A431 會議室辦理 1 場次 6G 頻譜發展相關議題觀測之國際座談會議，透過邀請 Nokia 公司技術主管 Ashwani Kumar 、韓國電信技術協會(Telecommunications Technology Association，TTA)副總裁 Kyu-Jin Wee、韓國資訊社會發展研究院（Korea Information Society

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

Development Institute，KISDI）研究員 Jihyun Park 來臺，以及美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission，FCC）無線通信局副局長 Kari Hicks 線上參與，聚焦於國際頻譜趨勢觀測與政策推動、技術演進探討與頻率和諧使用機制等議題進行交流討論，一同探究 6G 頻譜整備與共用之發展未來。

本次國際座談會辦理由合作之商周編輯顧問股份有限公司（商周）團隊協助統籌規劃與執行國際座談會議，針對 6G 相關研究成果，使與會來賓了解國際間 6G 候選頻段發展趨勢、我國目前對於候選頻段既有使用者之整備態勢、中頻段頻譜和諧有效使用機制、既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術等議題之發展。本次會議匯集我國相關之產官學研機構與專家，線上線下共計超過 300 位代表參與，以大眾交流、共享形式探討國際無線電頻率應用最新趨勢與研究成果，強化我國與國際專業學研單位之合作與連結。

(三) 座談會之重點概要

首先，Nokia 公司技術主管 Ashwani Kumar 的專題演講聚焦於 6G 技術的演進趨勢。他預測臺灣 5G 將在 2028 年達到 100%的普及率，並且到 2030 年的網路流量將增至 52 個 Exabyte（EB）。而未來 6G 發展之重點將包括更高頻寬、安全性、永續性以及人工智慧原生的網路系統，AI 技術將結合 B5G 和 6G 網路，顯著提升網路流量管理和能源效率，實現通信與感測一體化的 6G 網路。若後續 6G 發展使網路容量增至時，能達到耗電量減少一半。並計畫實現陸地與非陸地網路的融合，並將於 R19 之後進一步實現此目標。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 8- 1、Nokia 公司技術主管 Ashwani Kumar 分享 6G 之演進趨勢

資料來源：本研究製作

接著，韓國電信技術協會副總裁 Kyu-Jin Wee 的演講指出，6G 之頻譜使用面臨挑戰，沒有單一頻段能滿足 IMT-2030 的需求。全球頻譜規劃自 1992 年以來愈加複雜，舉例說明 WRC-23 中附註 5.441 b（4.82-4.99 GHz） 被認為是技術不成熟的例子，至今未解決，導致許多國家放棄了此頻段計畫 。WRC 大會頻段之調整也未能完全解決技術問題。未來 6G 頻段將重點討論 4.4-15.35 GHz 頻段之使用，以及如何在陸地頻段與衛星頻段之間達成和諧共存。該演講強調，未來的 WRC-27 會議必須做出更務實的決策，以避免過去的錯誤。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 8- 2、韓國電信技術協會副總裁 Kyu-Jin Wee 分享 6G 頻譜使用之情形

資料來源：本研究製作

美國 FCC 無線通信局副局長 Kari Hicks 則探討了 6G 技術的應用前景。6G 將提升網路的可靠性、速度與降低延遲，並引入雲端與虛擬化技術。亦將廣泛應用於智慧交通、農業自動化等多個領域。FCC 正在推動頻譜共享，尤其在毫米波和中頻段領域，成功的例子如 CBRS 系統，展示了 3.5 GHz 頻段的有效應用，透過不同層級的接取模式來協調使用者需求。未來 FCC 將推動動態協調技術，確保地面與空中系統能夠和平共存，推動 6G 網路的廣泛涵蓋。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 8- 3、美國 FCC 無線通信局副局長 Kari Hicks 線上分享 6G 之頻譜發展

資料來源：本研究製作

最後，韓國 KISDI 研究員 Jihyun Park 的演講介紹了韓國的 6G 發展戰略與頻譜管理現況。韓國 5G 用戶已占行動通信用戶的 60%，三大電信業者截至 2024 Q2 共享 338 萬座基地臺。5G 頻譜主要使用 3.5 GHz，現有頻譜，如 800、900 MHz 等將在 2026 年到期; 3.5 GHz 頻段之執照則在 2028 年到期。韓國 6G 研發分為兩個階段進行，首先於 2021-2025 年聚焦 100-300 GHz 之頻段使用，接著於 2024-2028 年著力推進 6G 的商業化。同時，韓國計畫推動頻譜共享，提升頻譜使用效率，並提出 4.4GHz-15.35GHz 等頻段作為候選，為 6G 未來發展做好準備。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 8- 4、韓國 KISDI 研究員 Jihyun Par 分享韓國 6G 之發展戰略與頻譜管理現況

資料來源：本研究製作

(四) 討論整理

四場專題演講結束後，進入焦點論壇談由張時中教授先行分享我國 6G 頻譜共用與管理的挑戰。後續由主持人巫國豪主任引導 5 位專家學者分別從各自的角度提出建議，涵蓋了頻譜使用現狀、技術挑戰及國際合作的未來方向。

首先，巫國豪主任指出，6G 發展需要更多的頻譜，但目前許多頻譜已被使用，且既有者眾多，使 6G 之推動帶面臨挑戰。如何建立更有效的頻譜共用機制，解決頻段使用和干擾問題，是未來成功推動 6G 的關鍵，並強調國際合作對於推動頻譜共用至關重要，臺灣應借鑑美國 FCC 與韓國的相關計畫，並尋求亞太區域內的合作夥伴。

Nokia 公司技術主管 Ashwani Kumar 則聚焦於具體的技術挑戰與管理提出相關建議，並指出 7-8.4 GHz 頻段涉及國防用途，需進行動態重新分配。同時，若可發展更廣泛之頻譜涵蓋範圍並降低基

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

地臺密度，是減少干擾的重要策略，應平衡國防用途與商業用途，動態管理頻段以適應未來需求。

韓國電信技術協會的 Dr. Kyu Jin WEE 強調，亞太地區頻譜共用面臨複雜的區域特性，由於各國的軍事頻段使用不同，全球和諧使用頻譜的目標難以達成。他認為，區域性或次區域性之合作更為可行，例如島嶼或島國，這些國家在新頻譜分享機制上具有更大的靈活性，不必完全依賴過去的案例規範。

韓國資訊社會發展研究院的 Dr. Jihyun Park 指出，韓國目前的頻譜使用現狀已涉及私有、公共、軍方和 Wi-Fi 用途，頻譜分配變得困難。韓國正在觀察其他國家的頻譜共用做法，並參與國際委員會和研究計畫，特別關注 Wi-Fi 與行動通信頻譜的共用，以期找到解決方案。

最後，臺灣張時中教授提到，臺灣作為 ICT 出口依賴型經濟體，儘管積極參與國際標準的制定，但由於並非國際正式會員，臺灣在頻譜標準制定上扮演追隨者的角色。我國應更加積極提出創新想法及建議，以提升國際地位並加強在 6G 頻譜標準中的影響力。

五、「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」座談會之辦理成果

(一) 座談會準備概況

本座談會自 8 月 30 日盤點完成 6G 候選頻段內既有使用者後開始草擬議題與邀請名單，觀望國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）於 2023 年底舉辦世界無線通信大會之頻譜政策決議，凸顯出未來頻譜資源勢必將面臨更多頻譜共享問題，在當前情境下，行動網路亦需優先考慮各世代之間的頻譜共享才能實現平穩遷移。研究內容著重於闡述國際頻譜重耕發展趨勢，展望未來 6G 頻譜重耕的策略方向，提出可能的面臨的挑戰，探討可使用之技術進行有效規劃頻譜資源、提升頻譜效率以因應未來之

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

需求。邀請單位包含固定微波服務使用單位、固定衛星既有使用單位、專家學者以及學研單位等，名單如下表所列。在後議程與名單後，計畫團隊於9月9日經數位發展部確認後向外正式發函邀請。

表 8- 11、「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」座談會擬邀出席人員名單

類別	單位名稱
專家學者	國立成功大學
	國立清華大學
	國立臺灣大學
	前交通部郵電司司長
	清華大學通信所）
	國立臺灣大學
固定微波服務使用單位	中國電視事業股份有限公司
	中國廣播公司
	中華電信股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	台灣電力股份有限公司
	民間全民電視股份有限公司
	民間全民電視股份有限公司
	交通部民用航空局飛航服務總臺
	屏南有線電視股份有限公司
	財團法人中央廣播電臺
	財團法人公共電視文化事業基金會
	經濟部水利署第十河川局
	經濟部水利署第五河川局
	臺灣電視事業股份有限公司
	遠傳電信股份有限公司
	澎湖有線電視股份有限公司
衛星相關既有使用單位	中華電信股份有限公司
	台亞衛星通信股份有限公司
	東森電視事業股份有限公司
	飛凡傳播股份有限公司

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

類別	單位名稱
	財團法人公共電視文化事業基金會
	財團法人慈濟傳播人文志業基金會
	漢聲廣播電臺
	臺灣電視事業股份有限公司
	聯利媒體股份有限公司
實驗網路業者	大屯有線電視股份有限公司
	華電聯網股份有限公司
	廣達電腦股份有限公司
	中華電信研究院
雷達使用單位	交通部航港局-劉珮芬-艦艇駕駛員

資料來源：本研究整理

(二) 座談會執行成果

此場次之座談會採實體會議形式，在 113 年 09 月 24 日（二）下午 2 點至 5 點期間，於集思台大會議中心亞歷山大廳（台北市大安區羅斯福路四段 85 號 B1 正式召開。

實際出席與會人員包含有：（1）公部門代表數位發展部，（2）專家學者代表鄧添來 前司長、張時中 教授，（3）固定微波使用單位代表民航局飛航服務總臺、台灣電力公司、財團法人公共電視文化事業基金會、中國電視事業股份有限公司、民間全民電視股份有限公司等電視業者，(4)電信業者代表代表中華電信股份有限公司、遠傳電信股份有限公司、台灣大哥大股份有限公司，（5）實驗網路業者代表大屯有線電視股份有限公司、中華電信研究院以及（6）雷達使用單位代表交通部航港局等共約 39 人。

座談會由電信技術中心郭作麟主任進行開場主持，並於長官致詞後，由主講人楊騰毅工程師進行引言分享與議題討論。主講人議題準備如下表所列。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 8- 12、「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」討論議題

討論議題
議題一：頻譜重耕對現有服務的影響與技術上之考量 1. 在行動通信新技術不斷演進下，如何有效應用頻譜重耕技術，以確保網路涵蓋及服務品質？ 2. 在實務運作上，如應用動態頻譜共享與載波聚合等頻譜重耕等技術，以多種不同技術在相同頻段上運行，造成既有系統之頻寬縮減或交互干擾的風險，建議如何來因應？ **議題二：未來 6G 候選頻段對於頻譜重耕應用的看法** 1. 未來我國進行頻譜重耕，如 U6 頻段，是否採以開放共享或特定技術專用？。 2. 對於其他 6G 候選頻段，如 WRC-23 已確定 7025-7125 MHz（第三區）和 10.0-10.5 GHz（第二區）可用於國際行動通信（International Mobile Telecommunications, IMT），未來我國在頻段整備規劃上有何策略建議？ 3. 若 6G 必須與其他類型無線應用如 Wi-Fi 共存的情況下，頻譜重耕技術將面臨哪些具體的技術和營運挑戰？

(三) 分享及座談重點概要

主講人引言簡報時，先就未來趨勢、國際頻譜規劃發展背景進行介紹，再對重耕之定義進行簡介，包含靜態頻譜重耕與動態頻譜重耕之差異，與當前 5G 相關技術介紹。引述過去國際上知名頻譜重耕之案例，著重之原則。接著對於我國目前頻譜使用現況與分配、未來需求進行說明，並對於 6G 可能發展之頻段做一詳細的說明最後介紹 6G 相關頻譜重耕與頻率共享之前瞻技術。

在引言簡報分享之後，主講人於第二階段將探討議題切分為二大專案，討論未來可能發生頻譜重耕之情況，主持人引導既有使用者關注可能產生之頻譜重耕挑戰，第一項為頻譜重耕技術如何降低對於現有服務的影響進行相關討論，第二項邀請與會嘉賓提出對於未來 6G 候選頻段進行頻譜重耕時有何應用與策略上之看法。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(四) 討論整理

對於降低既有服務影響議題而言，中華電信強調頻譜共享的重要性，建議保留必要的頻段以確保網路韌性和國安；遠傳電信說明需要強化動態頻譜共享技術，確保用戶涵蓋和網路品質；台灣大哥大建議增加重耕頻段的使用規劃，確保新技術與既有技術的和諧共存；鄧添來 前司長建議提升網路韌性，利用備用網路應對干擾；張時中 教授強調經濟誘因的重要性，建議細緻區隔頻譜使用。

在實務運作上，台灣大哥大建議根據用戶流量進行頻譜規劃，確保服務品質；中華電信則強調技術中立，建議透過優化技術提升頻寬速度；遠傳電信認為需要導入管理優化演算法，解決不同技術共享的干擾問題；鄧添來 前司長建議調查既有使用區域，U6 可考慮優先開放市區頻段，因為市區為行動通信頻繁使用之區域；張時中 教授建議可以建立產官學研共同研究與實驗機制，深入掌握共存和干擾管理議題，將頻譜效率進行提升。

對於未來 6G 候選頻段對於頻譜重耕應用的看法，於 U6 頻段上中華電信建議保持現狀或部分專用部分共享；台灣大哥大建議等候 WRC-27 決議後再行確定頻譜分配；遠傳電信建議優先考量提供給行動通信技術使用；張時中 教授建議持續觀察國際規劃，增加實驗環境；華視認為需有相關配套措施，避免影響電視訊號傳輸；台灣電力公司希望以保護區方式維持微波系統運作；民視希望政府提供適當補助；交通部民航局服務總台希望建立保護區，確保通信不受影響；鄧添來 前司長建議確認訊號涵蓋區域，既有使用者增強訊號遮蔽。

若行動通信與 Wi-Fi 共存，使用頻譜重耕技術上業界看法普遍認為只依賴 AFC 系統無法滿足不干擾行動通信系統的需求，建議有相關實驗需求時亦應使用專網之方式避免干擾。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

綜合以上各方討論結果，頻譜是一種珍稀資源，未來專用頻譜將越來越少，因此頻譜重耕需要考慮與其他技術的共存問題，頻譜共享技術如 DSS 和 CA 等技術仍需進一步優化，確保網路涵蓋和服務品質，頻譜重耕時需考量網路韌性和國家安全，確保在受到干擾時能夠維持服務品質，可考慮建立產官學研合作機制，更深入研究和實驗頻譜共享和干擾管理技術。同時，頻譜重耕時也應重視經濟誘因，確保頻譜使用的效益最大化。

頻譜重耕進行時需要有完善的技術和政策配套措施，確保不同技術之間的和諧共存並應符合國際趨勢。

六、「我國微波移頻與使用其他替代技術探討」座談會之辦理成果

(一) 座談會準備概況

此次座談會於 7 月初即開始草擬議題與邀請名單，議題設定在我國既有微波使用者的移頻或使用其他替代技術之探討，除向國內既有微波使用者分享 WRC-23 決議資訊之外，亦同時藉由分享本年度 POC 實驗所取得之實驗數據，作為規劃使用不同之通信技術做為移頻或提升通信韌性之方案，並收集當前微波鏈路使用者之看法與考量。邀請單位包含公部門、專家學者、電信業者、電視業者與其他利益相關團體，名單如下表所列。在後議程與名單後，計畫團隊於 9 月 23 日經數位發展部確認後向外正式發函邀請。

表 8- 13、「WRC-23 重要議題決議之分享與探討」座談會擬邀出席人員名單

單位類別	單位名稱
公部門	經濟部水利署第十河川分署
	經濟部水利署第五河川分署
	交通部民用航空局飛航服務總臺
	內政部消防署
	台灣電力股份有限公司
	內政部警政署
	數位發展部數位產業署

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

單位類別	單位名稱
專家學者	國立臺北科技大學 呂海涵 教授
	國立臺灣大學 張時中 教授
	國立中央大學 張起維 教授
	國立成功大學 陳文字 教授
	前交通部郵電司司長 鄧添來 顧問
	國立暨南國際大學 魏學文 教授
電信業者	中華電信股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	遠傳電信股份有限公司
電視業者	臺灣電視事業股份有限公司
	中國電視事業股份有限公司
	中華電視股份有限公司
	民間全民電視股份有限公司
	財團法人公共電視文化事業基金會
廣播業者	中國廣播股份有限公司
	財團法人中央廣播電臺

資料來源：本研究整理

(二) 座談會執行成果

此場次之座談會採實體會議形式，在 113 年 10 月 8 日（二）下午 2 點至 4 點 25 分期間，於集思交通部會議中心 201 會議室正式召開。

出席與會人員包含有：（1）公部門代表數位發展部數位產業署，（2）專家學者代表鄧添來前司長、張時中教授、陳文字教授，（3）電信業者代表中華電信、台灣大哥大、遠傳電信，（4）既有使用者單位代表台灣電力股份有限公司、內政部警政署、內政部消防署等共約 40 人。

座談會由電信技術中心郭作麟主任進行開場主持，並於長官致詞後，由主講人朱繹中工程師進行議題分享與討論引導。主講人議題準備如下表所列。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 8- 14、「我國微波移頻與使用其他替代技術探討」討論議題

議題一：我國 U6 頻段使用情況與用途規劃

- 我國 U6 頻段既有使用者主要用於固定點對點微波通信，對於該頻段未來規劃是否有其他更佳的建議用途？

議題二：替代 U6 頻段微波之合適頻段探討

- 我國已開放 L6 頻段（5945-6425 MHz）供免執照設備使用，WRC-23 大會後部分國家亦將 U6 頻段（6425-7125 GHz）用於國際行動通信（IMT）或做為免執照設備使用，對於將 L6/U6 頻段既有使用者移至其他頻段如 L7（7124.5-7425.5 MHz）、U8（8275-8500 MHz）等更高頻段是否有相關建議？

議題三：使用其他技術作為微波備援或替代技術探討

- 本計畫研析之自由空間光通信、5G FWA 與免執照頻段微波等無線傳輸技術是否足以替代 6 GHz 頻段既有使用者之通信需求？
- 承上題，針對備援或替代技術有無其他建議，或者對於既有使用情境之特定鏈路存在不可替代性？

(三) 分享及座談重點概要

主講人第一階段，先就我國既有微波使用現況進行簡介，包含當前微波既有使用者使用情境與相關數據分析。接著進一步說明 WRC 之相關決議，與主流國家發展趨勢概觀。其後各 POC 替代技術之相關技術重點進行說明，並最後概本次 POC 實驗各系統之通信性能與實驗總結做為未來移頻與增加通信韌性之建議。

在資訊分享完成之後，主講人於第二階段將探討議題切分為三大專案，包含既有使用者對當前 6 GHz 頻段使用之看法，未來替代當前 6 GHz 頻段服務之移頻頻段意見，以及使用其他通信技術作為微波備援或替代技術之可行性等議題。

(四) 討論整理

針對我國 U6 頻段使用情況與用途規劃部分，公部門代表認為

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

當前使用該頻段業務在任務需求上有必要性，如影響國安、離島通聯等特殊應用，因此對該頻段有較高的不可替代性，而電信業者則說明對當前同頻共存兼容問題仍有待進一步驗證和測試，對此應朝多元備援機制之方式發產。此外，專家學者認為該頻段使用未來會趨向開放共存之形式，當前既有使用者應盡早尋找備援提升通信韌性或替代通信方案。對此議題頻率，座談會意見可分為「為特殊鏈路使用因保留該頻段用途」與「為後續共存兼容應提升當前通信韌性」兩種

在替代 U6 頻段微波之合適頻段探討部分，公部門代表認因設備多為國家關鍵基礎設施，其特殊需求建議以設保護區的方式執行，電視業者表示過往以配合過政府之移頻相關政策，因移頻相關建置耗時極長且花費龐大，對後續如需再行移頻希望有關單位可以提供補助予以協助，而電信業者則表示對當前特殊應用或不易移頻之微波鏈路設立保護區以維持服務品質。對此議題頻率，座談會多數意見為「對特殊服務之微波系統，建議設立保護區。」

在使用其他技術作為微波備援或替代技術探討部分，學者專家表示可藉由分配使用區域之方式整合當前微波系統與替代技術，在減少干擾之前提下不影響當前微波服務品質，同時隨著替代技術發展其建置困難度和經濟價值也將改變，而電信業者則表示對當替代技術使用場景有限或有使用上之困難，如需移頻之希望國家可提供一可長期使用之頻段。經會場討論，此議題之多數看法為：「當前替代技術仍需收集更多數據以說服既有使用者將其做為替代通信系統或備援系統。」

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

七、「我國 6G 未來方展藍圖及頻譜整備規劃方向研議」座談會之辦理成果

(一) 座談會準備概況

本場次座談會延伸「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會中與會專家與電信業者提出之意見，持續針對我國頻譜整備規劃方向進行討論，尤其是對於我國已核配頻率屆期後規劃，如：屆期後釋出時程、頻譜配置方式、附加義務條件等，以及就教本研究研擬之我國 6G 未來發展藍圖可精進之處，完備我國頻譜資源長遠規劃，以利產業發展。邀請與會單位包含電信業者、設備商、電信產業協會以及專家學者，名單如下表所列。

表 8- 15、「我國 6G 未來方展藍圖及頻譜整備規劃方向研議」座談會出席人員名單

單位類別	單位名稱
專家學者	前交通部郵電司司長
	國立臺灣大學電機工程學系
	國立成功大學電信管理研究所
設備商	聯發科技股份有限公司
	高通股份有限公司
	愛立信股份有限公司
	諾基亞股份有限公司
電信業者	中華電信股份有限公司
	台灣大哥大股份有限公司
	遠傳電信股份有限公司
產業協會	臺灣電信產業發展協會

資料來源：本研究整理

(二) 座談會執行成果

本場次之座談會採實體會議形式，在 113 年 10 月 16 日（三）下午 2 點至 5 點期間，於集思交通部會議中心 201 會議室正式召開。

出席與會人員包含有：（1）公部門代表數位發展部，（2）專

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

家學者代表張時中教授、鄧添來前司長、陳文字教授，（3）設備商代表聯發科技股份有限公司、高通股份有限公司、愛立信股份有限公司、諾基亞股份有限公司，（4）電信業者代表中華電信、台灣大哥大、遠傳電信，以及（5）產業協會代表台灣電信產業發展協會等共約 27 人。

座談會由電信技術中心巫國豪主任進行開場主持，並於長官致詞後，由主講人王資寧副研究員進行議題分享與討論引導。主講人議題準備如下表所列。

表 8- 16、「我國 6G 未來方展藍圖及頻譜整備規劃方向研議」討論議題

討論議題	
議題一： 探討 6G 未來發展藍圖規劃	1.1 本研究研擬之 6G 未來發展藍圖規劃，時程與執行內容是否妥適？或有其他應考量事項？ 1.2 藍圖中所列未來兩年應優先推動事項為何？
議題二： 探討頻譜整備規劃方向	2.1 本中心於今年 6 月 26 日召開「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會，盤點我國行動通信潛在候選頻段，會中與會各界建議將 119 年屆期頻段（包含 700、900、1800 MHz、潛在頻段 600 MHz、800 MHz 以及 122 年屆期頻段(包含 2100、2500、2600 MHz 同時於下一次釋照釋出，對此建議為何？ 2.2 目前國際間 6G 主流頻段以 7-15 GHz 為主，請問對此頻段有無整備建議？ 2.3 目前我國 2600 MHz 頻段採 2x70 MHz FDD Band 7 加上 50 MHz TDD Band 38 釋出，其中 TDD 頻塊保留 10 MHz 的護衛頻段 Guard Band。隨著行動技術演進，是否建議將此頻段全部採 TDD 頻塊 Band 41 釋出建議釋出之最小頻寬為何？ 2.4 承上題 700、900、1800 MHz 三個頻段配置規劃

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

討論議題	
	band plan）是否需要修改？同樣由 FDD 改為 TDD？ 2.5 3GPP 對 800 MHz 有 4 種配置規分配別為 Band 5 824-849/869-894 MHz）、 Band 20 832-862/791-821 MHz、Band 26 814-849/859-894 MHz、Band 27807-824/852-869 MHz），建議採用哪種配置規劃釋出 800 MHz 頻段時建議可附加之執照條件為何？ 2.6 考量通信技術演進約 10 年為一個世代，隨著 技術進步或新興應用崛起， 產業對於不同資 源有立即性需求，有無建議定期釋出頻譜，建議周期長度為何？ 2.7 其他頻譜整備規劃方向之看法？

資料來源：本研究整理

(三) 座談會之重點概要

主講人首先概述國際組織對於 6G 之發展與時程規劃，ITU 於 2023 年 11 月提出 6G 願景（IMT-2030）；3GPP 將於 Rel-20 進行 6G 研究，並於 Rel-21 制定 6G 基本規範。

WRC-23 最終決議將部分頻段開放給 IMT 使用，例如第 1 區的 6425-7125 MHz 頻段、第 3 區的 7025-7125 MHz 頻段；WRC-27 則規劃探討 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz 和 14.8-15.35 GHz 等頻段供 IMT 使用的可能性。

接者說明產業界對於 6G 潛在頻譜之看法，普遍認為 6G 將結合新頻段和重耕已核配予 IMT 使用之頻段，透過多層次頻譜整合，涵蓋目前現有的低頻、中頻和毫米波頻段。韓國亦提出類似之規劃，將 6G 頻譜分為低頻（1 GHz 以下）、中低頻（1-3 GHz）、中高頻（3-7 GHz 和 7-24 GHz）和 24 GHz 以上等多層次頻譜整合，以滿

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

足不同人口密度和數據需求，同時提出行動通信頻率釋出作業運作流程，預計於 2025 年開始實施；英國發布 6G 發展藍圖，預計於 2024 年選擇 6G 先期頻段，並於 2028 年釋出 6G 頻段。

最後，本研究盤點我國行動通信總釋出頻寬為 2,340 MHz，中低頻寬總釋出頻寬為 840 MHz，其中 119 年屆期的頻段可作為 5G/6G 使用頻段，我國未來釋照頻譜範圍可能包含 700、900、1800、2100、2600 MHz 以及潛在頻譜 600 和 800 MHz 等頻段。本研究提出不同釋出頻段組合，預計釋出頻寬約介於 300 至 670 MHz，以及評估此等頻段之終端設備之成熟度。其他潛在候選頻段包含 2300 MHz、3740-4100 MHz、4700-5000 MHz、U6、24/26 GHz、37-40 GHz 等。綜上所述，本研究初擬我國 6G 未來頻譜發展藍圖，如圖 8- 5。

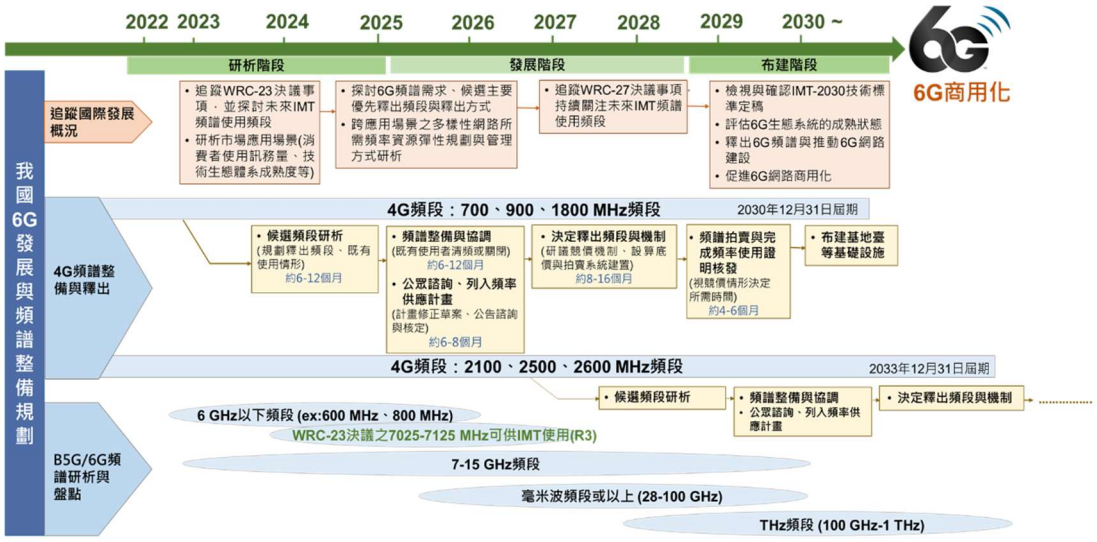


圖 8- 5、我國 6G 未來頻譜發展藍圖

資料來源：本研究繪製

(四) 討論整理

本次會議主要針對我國 6G 未來發展藍圖規劃進行討論，與會者涵蓋政府單位、學界、電信業者、設備商以及晶片業者，針對「探討 6G 未來發展藍圖規劃」議題，各方觀點與意見如下：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1. **頻譜資源整備**

由於我國行動通信訊務量快速成長,現有頻譜資源不足以滿足未來需求,與會者一致認為需盡快盤點 5G/6G 潛在頻段,包含 119 年和 122 年屆期的 700、900、1800、2100、2600 MHz 以及潛在頻段 600、800 MHz 頻段,並研擬釋照規劃。此外,有專家學者認為未來到期之頻譜重耕,優先取得延用頻譜,並保留技術延用。

2. **頻譜共享技術**

為提升頻譜使用效率,6G 頻譜共享技術為重要發展方向,國際間已有 CBRS、AFC 等應用案例可供參考,我國應積極研究並導入相關技術。此外,有專家學者建議 U6 未來考慮予 Wi-Fi 7 使用,而目前該頻段之主要既有用途仍保留。

3. **新興技術應用**

除了行動通信,多數與會者認為 Wi-Fi、低軌衛星、NTN 等新興技術也將在 6G 時代扮演重要角色,應探討如何將其納入我國頻譜發展藍圖,並與行動通信技術協同發展。

4. **國際趨勢與國內需求**

與會者強調需密切關注 WRC 議題研究和 3GPP 標準制定等國際發展趨勢,同時也要考量我國自身市場需求和國安議題,制定合適的頻譜政策和發展策略。

5. **產業合作與共識**

6G 發展需要政府、電信業者、設備商、晶片業者等多方合作,並與利害關係人充分溝通,凝聚發展共識,共同推動 6G 發展。

針對「探討頻譜整備規劃方向」,各方觀點與意見以及異同處如下表:

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 8- 17、頻譜整備規劃方向之意見彙整

• 議題	意見	相同/相異之處
119 年和 122 年 4G 屆期頻段釋出方式	• 中華電信、台灣大哥大建議分開釋出 • 遠傳電信建議合併釋出	電信業者對於是否合併釋出屆期頻段意見不一，考量點包含標金、頻譜需求、行政成本等因素。
頻譜釋出週期	• 中華電信、台灣大哥大建議每五年釋出一次 • 遠傳電信建議每十年釋出一次	電信業者對於釋照週期意見不一，考量點包含技術發展速度、頻譜需求變化、行政成本等因素。
Sub 1GHz 頻段釋出方式	• 中華電信建議先釋出 600 MHz 與 800 MHz，再釋出 700 MHz 和 900 MHz • 台灣大哥大建議建議將 Sub 1GHz 至 3GHz 以下的頻段一併進行研究與規劃，以決定釋出的方式。 • 遠傳電信建議 112 年與 119 年 4G 屆期頻段一起釋照，600 MHz 與 800 MHz 也一起合併釋出	電信業者對於 Sub 1GHz 頻段釋出方式意見不一，考量點包含頻段特性、網路建置策略、設備支援情況等因素。
2600 MHz 頻段配置方式	• 台灣大哥大建議全改為 TDD • 遠傳電信建議審慎評估全改為 TDD 的影響 • 中華電信反對全改為 TDD	電信業者對於是否將 2600 MHz 頻段全改為 TDD 意見不一，考量點包含 TDD 技術優勢、現有設備投資、衛星干擾等因素。
700、900、1800 MHz 頻段配置方式	• 台灣大哥大建議僅修改 2600 MHz 頻段配置，其他維持現狀 • 遠傳電信建議維持現有 FDD 配置 • NOKIA 建議保留 FDD • 目前我國 1800 MHz 頻段配置是 65 MHz x 2 頻寬，尚有 10 MHz x 2 頻寬閒置未釋出，建議從中劃出至少 5 MHz，將頻寬整併為 70 MHz 的頻段，並以 10 MHz 為單位頻寬標售	多數意見建議維持 700、900、1800 MHz 頻段現有 FDD 配置，考量點包含現有設備支援情況、FDD 技術在低頻段的效益等因素。
800 MHz 頻段配置方式	• 中華電信建議考量 AMI 使用頻段，並比較歐規和美規配置的優缺點 • 台灣大哥大建議採用 Band 26 釋出 • NOKIA 建議考量終端設備發展情況	電信業者和設備商對於 800 MHz 頻段配置方式提出不同建議，考量點包含 AMI 使用頻段、歐規和美規配置的差異、終端設備支援情況等因素。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

• 議題	意見	相同/相異之處
800 MHz 頻段釋出條件	• 遠傳電信建議諮詢 PPDR 需求單位，並探討 MOCN 解決方案的可行性	800 MHz 頻段釋出時，應考量 PPDR 需求，並與相關需求單位協商釋出條件，例如是否採用 MOCN 模式、是否設置專用頻段等。
設備商針對 PPDR 功能的販售方式	• Ericsson 表示可透過購買額外的 MNC CODE 或使用 5G 切片技術實現 PPDR 功能 • NOKIA 表示 PPDR 功能透過授權控制，並可透過切片技術滿足特定需求	設備商可透過不同方式提供 PPDR 功能，包含額外授權、切片技術等，可根據 PPDR 的具體需求選擇合適的方案。

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 國內外頻譜資訊定期蒐集與研析

一、 每月定期公開發布國內外頻譜新聞、趨勢及初步研析

本計畫針對每月國內外之頻譜趨勢及發展蒐集相關資料，並撰寫 5 則與頻譜相關之新聞。其交付時程於當月第三周以電子檔形式交付數發部，以利審核及公布資訊。另外，考量本案期末報告初稿於 11 月 1 日交付，待期末審查會議後交付第四季度之研析報告，故每月定期公開發布國內外頻譜資訊內容需觀測至 12 月初。

每月定期公開發布國內外頻譜新聞、趨勢及初步研析交付之內容將包含封面、目錄、每月初步研析內容，截至 2024 年 12 月本團隊已交付 12 份每月定期公開發布國內外頻譜新聞。數發部官網[161]已上傳 1 至 12 月之定期公開發布國內外頻譜新聞、趨勢及研析。

圖 8- 6、每月定期公開發布國內外頻譜新聞之格式

資料來源：本團隊製作

二、 發表頻譜效能提升相關主題論文

本研究以產學研究方式產出 2 篇論文，其論文題目與頻譜相關

[161] 數位發展部，6G 產業發展先期規劃/研發計畫，https://moda.gov.tw/digital-affairs/resource-management/programs/3787

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議題為觀測國際頻率共享或頻譜使用效益相關案例，以及 6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統之布建探討。產出內容、投遞論文單位，以及發表時程，彙整如下表所示：

表 8- 18、規劃與產業及學研單位合作發表

	論文一	論文二
論文題目	6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統於臺灣之布建探討	Research on mobile communication spectrum planning and application strategies.
產出內容	隨著無線通信技術和 Wi-Fi 需求的增長，傳統的 2 GHz 和 5 GHz 頻段已趨於飽和。為應對這一挑戰，美國聯邦通信委員會（FCC）於 2020 年開放了 6 GHz 頻段供標準功率 Access Point （AP）設備使用。然而，為了避免對現有授權用戶的干擾，需要一個頻譜管理機制。本研究聚焦於自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）系統，這是一種為 Wi-Fi 6E/7 設計的動態頻譜管理技術。使 Wi-Fi AP 能夠動態選擇可用頻道並調整傳輸功率，從而實現 6 GHz 頻段的高效利用。 本文以 Telecom Infra Project（TIP）Open AFC 為例，實現一個適用於臺灣 Wi-Fi 6E/7 的 AFC 系統。我們提出了一個轉換流程，將臺灣圖資由 GRD 格式轉換為 3DEP 格式，以便在 AFC 系統中使用。實驗結果顯示，經過轉換的地形數據能夠被 AFC 系統正確讀取，並能夠回應 Virtual AP 的請求。	After 5G communications emerged and flourished in early 2020, the world has recently focused on developing next-generation mobile communications technology, candidate frequency bands, and application scenarios. 5G mobile communication technology has begun to increase the use of mmwave spectrum resources above 24GHz. With 6G mobile communication technology, higher transmission rates, more emerging and diversified application scenarios, service forms, transmission contents, etc., have brought about increased demand for spectrum resources. New ideas and needs, such as 6G, which places greater emphasis on the integration of terrestrial network （TN） communications and non-terrestrial networks （NTN） communications, will also change the demand for spectrum resources. To more effectively prepare for future 6G spectrum usage, this study proposes three strategies to handle the existing spectrum bands: harmonized sharing measures, frequency migration measures, and cessation measures. Through the comprehensive application of these three measures, spectrum utilization efficiency can be significantly enhanced, providing ample spectrum resources for B5G/6G

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	論文一	論文二
		development. This approach not only addresses the issue of spectrum resource scarcity but also promotes the rapid development and application of next-generation communication technologies.
投遞論文單位	臺灣網際網路研討會（Taiwan Academic Network Conference, TANET）	2024 International Conference on Intelligent Technology and Sustainable Environment
投遞與發表時程	已於 2024 年 8 月投稿，並於 2024 年 10 月 25 日陽明交通大學「TANET 臺灣網際網路研討會」，在「TANet-25 行動運算與通信二」場次，進行發表。	已於 2024 年 9 月 30 日完成投稿，並於 10/30 至弘光科技大學出席「2024 International Conference on Intelligent Technology and Sustainable Environment」國際研討會，進行發表。

資料來源：本研究整理

上述兩篇論文已如期發表，投稿審核透過與發表成果如下圖。

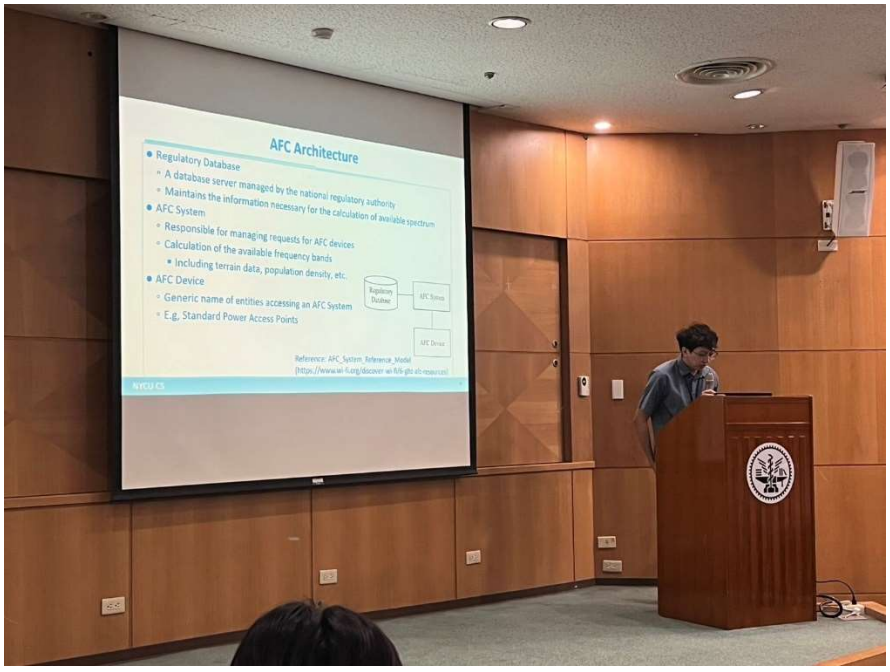


圖 8- 7、《6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統於臺灣之布建探討》論文發表

資料來源：現場攝影

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

場次：TANet-25 行動運算與通訊二

日期： 10/25(五)
時間： 11:00-12:00
地點： 教室 2
座長： 陽明交通大學 嚴力行教授

論文編號	標題 / 作者
S0188	From SSDs to AI: Evolving Data Center Architectures for the Next Generation August Chao, Yi-Lun Tseng
S0115	應用 YOLO 物件辨識於路面瑕疵偵測 孫竹妘、俎佑樺、唐玫遠、楊朝棟
S0147	適用於低軌衛星網路之基於深度強化學習飛機換手策略 祝宇軒、潘孟鉉
S0027	6 GHz Wi-Fi 自動頻率協調系統於臺灣之佈署探討 何秉育、李霖、曾建超、黃琴雅、陳譽明、林杰龍、吳政翰
S0176	使用強化式學習增強協調式空間複用以提高 IEEE 802.11bt 石貴平、楊耀鈞、王三元、陳彥達

圖 8- 8、TANET 台灣網際網路研討會議程

資料來源：投稿網站截圖

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

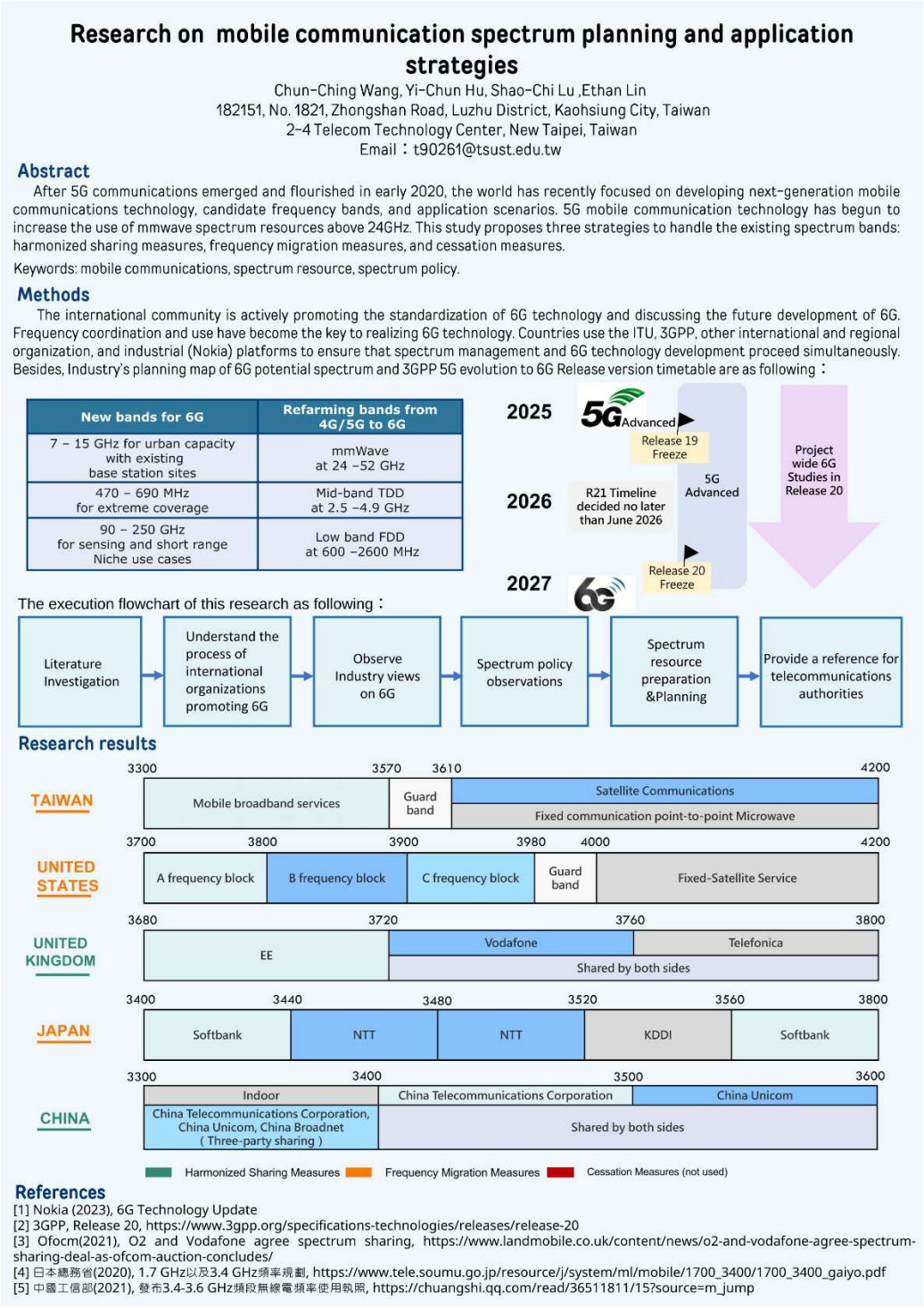


圖 8- 9、2024 International Conference on Intelligent Technology and Sustainable Environment 投稿海報

資料來源：本研究團隊繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 8- 10、2024 International Conference on Intelligent Technology and Sustainable Environment 國際研討會海報發表

資料來源：現場攝影

三、 每季公告國際頻譜趨勢研析報告

本研究規劃每季研析報告之研析內容以專題研析之形式撰寫。季度研析報告為專題研析加每月定期公開資訊，故每季研析報告 1 份包含國際頻譜趨勢專題研析 1 篇以及 15 則每月定期公開發布國內外頻譜新聞、趨勢。交付期程為下個季度之第一個月的月中交後，由數發部發布。另外，考量本案期末報告初稿於 11 月 1 日交付，待期末審查會議後交付第四季度之研析報告。

每季公告國際頻譜趨勢研析報告交付之內容將包含封面、目錄、季度專題研析、每月定期公開資訊 15 則，截至 2024 年 11 月本團隊已交付第四季度定期公開資訊。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

圖 8- 11、每季公告國際頻譜趨勢研析報告之格式

資料來源：本團隊製作

第三節 派駐人力說明

為使本研究順利執行及協助日常業務支援工作之推動，本研究已安排 2 名常駐履約人員派駐數發部資源管理司，相關派駐事項說明如下：

一、 常駐履約人員資格

1. 學歷為大學以上且具中華民國國籍。
2. 熟悉電信頻譜政策或6G 產業先期發展相關知識學能。

二、 常駐履約人員出勤規定

本研究之常駐履約人員依行政院人事行政總處公告之政府行政機關辦公日曆表配合鈞部辦公時間出勤，並派駐於鈞部資源管理司辦公室（預計派駐期間如契約第 7 條第 1 款所訂履約期間）。出勤規定原則如下：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1. 工作時間：星期一至星期五，每日工作時間服務滿8小時（上午8時30分至17時30分，其中12時30分至13時30分為休息時間）；常駐履約人員得以簽到、打卡（乙方須自備打卡鐘）或其他有效之管理方式辦理。
2. 常駐履約人員每日工作時間設有彈性時間(即上午8時至9時，下午5時至6時為彈性時間；每日休息時間為1小時，且應符合勞基法每工作4小時休息30分鐘規定)。
3. 上午常駐履約人員實際到勤時間逾9時者，無彈性時間之適用，即實際到勤時間為9時1分~30分者，到勤時間自9時30分起計（即8時30分至9時30分屬未到勤）；實際到勤時間為9時31分~10時30分者，到勤時間自10時30分起計（即8時30分至10時30分屬未到勤）；餘依此類推。
4. 常駐履約人員之出勤管理應由廠商負責，其請假事宜應依勞動基準法等相關法令規定（惟不得影響履約品質及目的），並應於簽到表註記以利鈞部備查。
5. 廠商應於鈞部指定履約起始日派駐人員。派駐前應檢具常駐履約人員名冊及常駐履約人員資格之相關證明文件送交鈞部審核透過，請廠商自行評估送審、退審往返作業時間，並及早送審。
6. 常駐履約人員請（休）假期間，廠商應補派代理人員支援，該代理人員應為經鈞部書面審核同意之常駐履約人員名冊中所列人員。
7. 常駐履約人員應支援鈞部人員出席參加與本案相關之會議（含出國），支援期間廠商得免除補派代理人員之責任。
8. 常駐履約人員因突發狀況（如：生病、事故等）無法到勤且無代理人員出勤情形者，應於該突發狀況日次工作日起7日內檢附相關證明文件提送鈞部，經鈞部審核同意後，該突發狀況期間（不得超過1日）得免除出勤及補派代理人員之責任。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

9. 常駐履約人員因前開突發狀況外之情事，未到勤且無法補派代理人員者，每日給予1小時彈性，每月累計不得超過3小時，並於當日補回未到勤之1小時。如：到勤時間8時30分，於9時45分至10時45分因私人因素未到勤，原簽退時間為下午5時30分，需延長至下午6時30分。
10. 常駐履約人員未到勤且無代理人員出勤且未經鈞部同意，按逾期時數，每小時扣除價金新臺幣250元。
11. 常駐履約人員若執行履約標的相關事項致逾每日工作時間時，該人員依照勞動基準法等規定所衍生所需相關費用（如延長工作時間之工資或補休）均已包含於廠商報價範疇內，與鈞部無涉。
12. 常駐履約人員若有不適任(如未依規定簽到打卡、經常遲到、配合度不佳）情形，鈞部得要求廠商異動更換履約人員。
13. 常駐履約人員之出勤，若有遇傳染性疾病防治、紓困振興特別條例等所列之各種情況時，仍應配合鈞部相關出勤規定辦理。

三、 常駐履約人員主要工作

1. 應為本案主要聯絡窗口之一，規劃本委託案各工作專案執行期程管理、相關會議或行程(如：工作會議)之聯繫安排、會議簡報等資料整理、會場佈置、會議紀錄等工作。
2. 配合鈞部出席跨領域應用及資安防護等相關會議（如：公部門連結小組會議、座談會等)，並於會後提供會議摘要予鈞部。
3. 協助撰擬本案相關電話及電子郵件諮詢答覆、檢查本案相關會議文件之完整性及資料建檔等事項。
4. 其他與履約事項相關臨時交辦事項。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

四、 常駐履約人員出勤紀錄

本研究之常駐履約人員出勤應每月向數位發展部提交常駐履約員出勤紀錄。常駐履約人員應依行政院人事行政總處公告之政機關辦公日曆表配合數位發展部辦公時間出勤，並派駐於數位發展部資源管理司辦公室。

本研究原由張O陽與王O宇派駐，過往皆具備於鈞部提供幕僚作業等各項支援工作之經驗，熟稔鈞部交辦事務，能充分協助鈞部辦理各項政務工作。執行本案中，有辦理派駐人員之人力變更，故由李O綺接替張O陽。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第九章 結論與建議

第一節 結論

本研究於期末報告階段均已按照招標文件需求說明書以及契約規範，完成各工作專案期末階段交付成果。此外，本研究於履約期間，亦協助委託機關就研究範圍內完成相關臨時交辦之業務諮詢及相關資料。

一、 ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測「本研析案例資料不公開」

本章節研析案例資料不公開。

二、 國際間對 6G 候選頻段研析及國內既有使用者盤點

本研究為掌握國際 6G 最新發展趨勢，蒐研 ITU、APT、3GPP、GSMA、次世代行動網路聯盟、Next G 聯盟等國際通信領域組織之研究報告與白皮書資訊；以及歐盟、英國、美國、日本、韓國與中國等地區與國家最新 B5G/6G 發展與頻譜政策。以下提出本研究觀測國際之現況與建議：

(一) 國際 6G 頻譜發展趨勢與挑戰

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

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

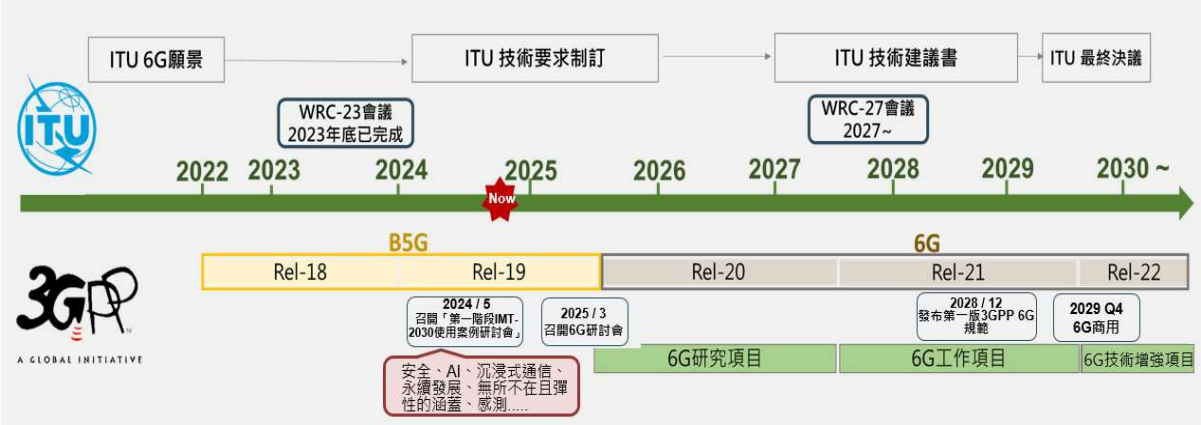


圖 9- 1、ITU 與 3GPP 標準制訂時程

資料來源：本研究彙整

本研究研析 ITU、3GPP、APT、GSMA、Next G 聯盟及 NGMN 等組織，各大國際組織均提出了重要見解，在頻譜規劃方面提出了不同的觀點，強調 6G 將需要新的頻段資源，尤其是針對低頻、中頻及高頻段的合理組合，重點整理如下表。

表 9- 1、國際組織之頻譜規劃

國際組織	性質	未來 6G 頻譜觀點
ITU	屬聯合國之機構，負責全球無線電頻譜管理，協調頻譜使用	重點關注 IMT 在 3 GHz、6 GHz、10 GHz 的頻譜需求，及 4-15 GHz 和 100-275 GHz 的潛在頻段，並研究 HIBS 與 D2D 服務
3GPP	制定無線通信技術標準，負責 5G 及 6G 頻譜和技術規範	研究 6G 頻段，如 7-24 GHz 和 5150-7125 MHz 免執照頻段，並應 ITU 要求研究 4.4-15.35 GHz 的 IMT 參數
APT	協調亞太地區頻譜使用，為 WRC 籌備 IMT 頻段需求	建議釋出與搭配低、中、高頻段之組合，以滿足未來 5G 和 6G 的發展，並評估亞太區域頻譜現狀
GSMA	行動通信業界代表，推動頻譜政策	建議將 6 GHz 頻段中 700 至 1200 MHz 的頻寬分配給 5G 使用，以滿足中頻段需求並支持 5G 網路發展。同時倡導技術中立執照和投資承諾機制以提升頻譜使用效率
NEXT G 聯盟	由 ATIS 領導的北美聯盟，推動 6G 的創新和標準化	建議新的 6G 頻段，考慮涵蓋需求、頻寬及頻譜共享，確保不同傳輸環境的需求
NGMN	全球主要電信營運商聯盟，推動行動網路技術發展	支持 IMT 頻段（<7 GHz）對 6G 的重要性，並探索 6-15 GHz 和 sub-THz 頻段，以滿足 6G 網路性能需求

資料來源：本研究彙整

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

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

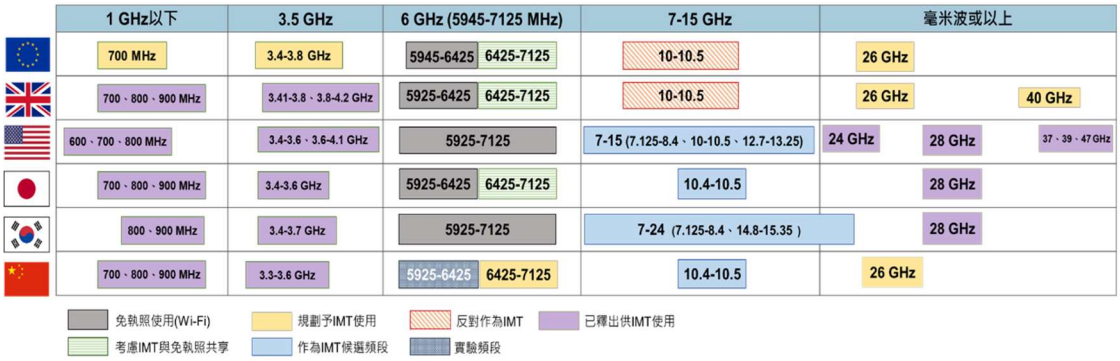


圖 9- 2、主要研究國家 6G 潛在頻譜規劃

資料來源：本研究繪製

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

(二) 國內既有使用者盤點與頻譜規劃建議

由於現有的 6G 候選頻段中，許多已被微波、衛星和行動通信等業者使用。例如，4.4-5 GHz 頻段已有微波和 5G 專網業者使用，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6425-7125 MHz 頻段（U6）則有微波業者使用。為滿足 6G 的頻譜需求，建議參考國際經驗，積極推動頻譜共享機制。例如，可考慮地理共享、時空動態頻譜共享、基礎設施共享等方式，讓 6G 與既有使用者共存。此外，應積極規劃既有頻段的重耕，由於 6G 頻譜規劃涉及多個政府部門和產業，建議建立跨部門協調機制，加強溝通與協調，以制定有效率且符合國家發展目標的 6G 頻譜政策。

(三) 加強國際合作與技術研發

持續關注 3GPP、ITU 等國際組織的 6G 標準制定進展，積極參與國際交流與合作，掌握 6G 技術發展趨勢。鼓勵產學研界投入 6G 關鍵技術研發，例如高頻段通信技術、NTN 技術、AI 與 ML 技術等，以提升我國在 6G 領域的技術競爭力。為推動 6G 應用場景試驗，鼓勵電信業者、設備製造商、垂直產業等合作，進行 6G 應用場景試驗，驗證 6G 技術的可行性和效益，並促進 6G 產業生態系的發展。

三、 Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

本研究以 Mid band 和諧有效使用機制 AFC 為主題，參考 FCC、Wi-Fi Alliance、TIP 等國際組織釋出的規範，建置適用於臺灣的 AFC 使用環境。除了將原先開發之 AFC 系統優化之外，還有開發臺灣 ULS 資料庫、介接 NCC 型式認證資料庫、實體 AP 介接等，完整呈現 Wi-Fi Alliance 在 AFC System Reference Model 文件中提到的 AFC 整體系統參考模型，尤其臺灣 ULS 資料庫和 NCC 型式認證資料庫介接是未來 AFC 系統營運商在臺灣布建的必須要素。

影響 AFC 系統計算精度的其中一個重點是微波站臺資料的準確性，目前 NCC 的微波站臺資料庫還有一些優化空間，建議可以依據 AFC 所需資料欄位，請業者提供已經拆除或沒有發射的站臺資料，以及正在使用站臺之發射頻率、海拔高度、位置、天線數量、天線型

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

號、空間分極等資料，有利於 AFC 系統計算精度之提升。另外一點，內政部警政署的微波站臺資料可能因為機敏性問題，屏蔽天線所在的位置資訊，使得這部分的站臺資料無法為 AFC 系統所用。警政署所用的微波站臺頻段落在 5925MHz 到 6425MHz 之間，依據目前法規該頻段開放給 VLP 和 LPI 設備使用，未來如果要開放給 SP 設備做使用，建議警政署提供完整的微波站臺資料給 AFC 系統以保護其站臺不受干擾。

在 NCC 型式認證資料庫的部分，目前儘管有 Wi-Fi 6E 設備認證資料，但沒有針對 6GHz 頻段的產品設備類型如：標準功率、室內低功率和室外超低功率，制定專屬設備類型代碼，因此建議在清單中加入相關設備的設備種類，以便 Open AFC 能快速過濾資料並且能更精確地識別設備。

觀測國際 AFC 發展的部分，除了美國、加拿大之外，其他國家未有開放 AFC 系統的跡象，原因在於大部分的國家只開放 L6 頻段，使得 Wi-Fi 只剩 3 個 160MHz 和 1 個 320MHz 的非重疊頻道可用，AFC 機制運行在 L6 頻段的效益會不如全頻段，因此 AFC 機制要在 6 GHz 全頻段開放給 Wi-Fi 使用的情況下才有優勢，導致只開放 L6 頻段的國家傾向開放 VLP 和 LPI 設備而不開放 SP 設備，甚至之前開放全頻段的巴西也要將 U6 頻段收回給行動通信使用，這是對 Wi-Fi 陣營的嚴重打擊，原本應該是 AFC 系統落腳的第三個國家，現在變的遙遙無期。南韓為亞洲最早開放 6GHz 全頻段和開發 AFC 系統（KAFC）的國家，但是直到目前為止，南韓政府還未開放 SP 設備，KAFC 仍舊處於實驗階段，KAFC 何時能布建還是個未知數。未來觀測 AFC 發展的重點應還是落在美國和加拿大。

為了驗證 AFC 系統在臺灣之可用性，本計畫規劃使用 Wi-Fi 6E 之頻段（5925 MHz~7125 MHz）進行 AFC 系統功能驗證，透過 AFC 系統給出之參數（頻段與對應功率），設定於 Wi-Fi 6E 裝置，發射

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

微波來進行干擾既有站臺之實驗，本章節針對測試點以該場地信號進行篩選評估，藉此來判定是否可作為干擾測試點，本勘察使用頻譜分析儀器來進行對既有站臺 Tx 訊號接收狀況來反推干擾信號的傳輸路徑，在量測過程中發現，可視站臺的位置信號通常較良好，不可視站臺的位置收訊通常比較差，但是，由於地形因素導致電波反射、繞射等現象，過程中其實也發現不可視站臺點信號有時並不會弱於可視站臺點。

本研究驗證 AFC 系統在臺灣使用之可行性，經過實際場域測試包含城市、郊區以及鄉村三種型態，其中每個型態包含三個測試距離區間，而每個區間又分別量測 LoS 以及 NLoS，最後再以 AFC 系統給出的頻道以及功率來進行干擾測試，其結果在本章第二節第二項的實測結果與分析中有詳細呈現，從結果得知 AFC 系統在臺灣是可以作為使用的，但因 AFC 並沒有針對多重 AP 進行探討，由量測結果可以得知，AFC 系統事實上，在發射功率上是有一定差額的功率保護，若 AFC 運行在城市、郊區與鄉村間，因人口密集度之差異，人口密度高的區域假設同時間多人使用 AP，則以目前的差額 10dB，因發射功率之電波輻射功率的疊加效果，可能很容易功率就會越過可造成干擾的功率值，故未來如果 AFC 系統要在臺灣商用，可能還需要評估多 AP 的發射功率之電波輻射功率的疊加問題，除此之外，若要有效發揮 AFC 系統效能，對於既有站臺（如固定點對點微波服務或天文臺等） 之盤點越詳細其效果越好，亦可以利用 AIoT 裝置對於環境進行感知，在將感知的資訊回饋給 AFC 系統進行優化，則頻譜共享的效益會更為顯著。

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

本計畫執行進度，已完成自由空間光通信、免執照微波、5G 固定無線接取於實際場域鏈路架設，透過布署自動化測試軟體長期測

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

試與分析資料，經歷三個月左右之長期測試，研究團隊分析各技術於布建需注意的事項，舉凡天候問題、行動網路訊號品質、安裝抱桿穩定度、纜線布建、裝置對準、傳輸安全性等，研究團隊同時也羅列各技術於建置經費需求的大概需求，從最低新臺幣四萬多的 5G FWA CPE 至每套一百一十餘萬之自由光通信設備，有助於未來我國對於無線替代技術投入成本有一定的認知基礎。依據我國微波既有使用者使用設備與頻寬評估，僅 20%傳輸量高於 300 Mbps，而其中佔比最大的通信傳輸量在 10～100 Mbps 區間，佔總體的 70%，又 10～100 Mbps 區間的使用者通信傳輸量，約有 98%的使用者通信傳輸量為 50 Mbps 以下，因此可依多數既有使用者之需求進而判斷替代技術能否可做為移頻或提升通信韌性之參考。

自由光通信傳輸設備測試結果而言，鏈路長時間測試下傳輸速度有 99%可達架設硬體之極限，傳輸速度高於 2330 Mbps。從測試過程經歷颱風之情況並沒有斷線，即便天候狀況為超大豪雨等級之降雨量，傳輸速率僅降低約極限速度之一半，三個月測試期間可靠度為 99.9%，具備一般微波傳輸的替代性能，而受限於雷射安全傳輸距離安全標準 IEC/EN 60825-1 Class 3B 之規範，目前商用設備較適合 2 公里內，適合在城市地區的支線使用，未來若有設備商開發更長距離之設備亦可支援長距離之骨幹鏈路使用。

藉由分類與分析既有使用者資料後，測試藉由使用免執照頻段頻譜使用效益較高之 TDD 微波設備測試其特性，探討替代現行專用頻率 FDD 微波鏈路之替代可能。在免授權執照頻段作為替代技術建置導入的額外分析中，研究團隊發現，使用接近日常應用的通信技術設備在成本和安裝便捷性上具有顯著優勢，本次實驗數據顯示，若通信距離合適，通信品質受環境影響的效果可以大幅降低，使用免授權執照頻段時需注意當前頻段的使用情形，優先使用乾淨頻道可大幅減少干擾情形的發生。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

5.8 GHz 頻段的微波設備在中距離下 TCP 通信協定之上傳與下載速度分別為於 244.61 Mbps 與 242.01 Mbps，而 UDP 通信協定之上傳與下載速度分別為於 248.27 Mbps 與 245.29 Mbps，能夠提供穩定的資料傳輸。然而，該頻段容易受到其他無線設備的干擾，特別是在高密度的城市環境中。60 GHz 頻段的微波設備在短距離內能夠提供 99.9%以上時間高於 935 Mbps 之傳輸速度，同樣能夠提供穩定的資料傳輸；此外，由於評估之測試鏈路較短，雨衰效果並不明顯，因此即便如此高頻之設備仍可應用於特定之鏈路場域，應根據實際應用需求選擇合適的頻段，並強化通信之韌性確保通信品質。

5G FWA 利用行動網路建設來架設傳輸網路，目前國內業者都還是使用 5G 非獨立組網架構，從測試結果來看離 3GPP 規範的傳輸標準還有一段距離，雖然從成本，架設便利性，設備功耗，頻譜效率比傳統微波傳輸更好，可靠度和鏈路距離也和微波傳輸不相上下，但就傳輸性能穩定度表現而言，目前尚無法取代仍使用 PDH、SDH 訊號傳輸技術之微波系統，只適合純乙太網路架構的傳輸系統。當前測試結果為適合替代已 IP 化之微波系統的替代技術，若依據 Y.1564 乙太傳輸標準穩定之傳輸速度上限應設定於 20 Mbps。

前述之替代技術依據三個月測試期間，各別鏈路統計測試次數都約近 8,700 次不等，期間包含歷經颱風與各種氣候因素影響下之測試結果鮮少發生傳輸測試中斷之情況，各替代鏈路測試結果均具 99.9%以上之傳輸可靠度。

對於頻譜重耕技術研析上，已完成對此項策略行為的發展過程與核心概念進行相關探討，包含對於國際上成功案例之分析，再透過靜態頻譜重耕與動態頻譜重耕兩種類型分別討論其差異與適用之相關技術與要求，再深入討論未來頻譜與共享技術之發展與面臨之挑戰。這些研究對於頻譜資源在無線通信中如何被最佳化使用與前期規劃具有前瞻性，並能藉此為未來 5G 應用及邁向 6G 之技術發展上

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

提前做好頻譜供應之準備。目前 FR3 頻段為 6G 通信中之新興焦點，被視為於低於 6 GHz 與毫米波之間新興應用的理想選擇，目前已分析未來可能應用於 FR3 之頻段，並對頻段內之既有使用者之應用進行盤點，祈能對於未來頻譜規劃上事先進行準備。

五、 6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析

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

(一) 6G 應用對頻譜的影響：

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

(二) 6G 頻譜分配方向及整備策略：

我國 6G 之頻譜整備策略，重點宜放在低頻段地面通信用之頻譜，建議分期、分段釋出。例如分 2 期（間隔 3-5 年）及 2 頻段（2 GHz 以下、2-7 GHz）方式釋出頻譜，建議採拍賣方式釋出，以利經由市場機制，反應出頻譜之經濟價值。3.57-4.2 GHz 及 6.425GHz 至 7.125 GHz 之頻譜，建議主管機關持續掌握頻譜使用狀況及頻譜共享技術之成熟度，將之列為 6G 候選頻譜，以利未來規劃使用。此外，針對 6.425GHz 至 7.125 GHz 頻段，在 AFC 驗證可行後，也可以規劃為免執照之 Wi-Fi 7 使用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三) 6G 新興應用衍生之頻譜競合：

6G 應用時，尤其在跨網路類型（TN 與 NTN）使用頻譜時，頻譜競合問題日益重要。TN 通信與 NTN 通信整合為未來 6G 技術應用的關鍵，需考慮與既有系統共享頻譜、避免產生妨害性干擾。NTN 頻譜管理重點在於 service link 干擾議題，其中又以再生模式下，上鏈頻率對既有系統之干擾，最需要關注。NTN 應用，在我國主要需求為防救災或防衛動員，商業用途需求不高。因此頻譜需求有限，建議主管機關持續掌握市場現況，於 WRC-27 有明確決議後，再考量我國現況進行頻譜整備及規劃。

六、本案計畫未來 2 年執行架構建議

因應未來 6G 使用技術及場景之差異，新增頻譜資源為發展之共識，並延續 5G 立場，搭配使用低、中、高頻段。由於 WRC-23 已決議 IMT 頻率之分配，在各區可使用頻段包含低頻頻段 470-690MHz，中頻的 3300-3400MHz、3600-3800MHz、4800-4900MHz，以及備受矚目的 6 GHz(6425-7125 MHz)頻譜資源，其中在整個第 3 區開放 7025-7125 MHz 頻段可供 IMT 使用。該決議將對未來 5 至 10 年全球無線電頻譜資源開發之重點方向產生深遠影響。

目前我國行動通信總釋出頻寬為 2,340 MHz，行動通信中低頻寬總釋出頻寬為 840 MHz。其中 700、900、1800 MHz 頻段執照將於 119 年屆期；2100、2500、2600 MHz 頻段將於 122 年屆期，3.5、28 GHz 將於 129 年屆期。除考量 119 年與 122 年將屆期之頻段可作為 5G/6G 使用頻段，本研究亦盤點我國之潛在頻段，包含三個部分：

- 閒置頻譜：600 MHz （632-652/678-698 MHz）、800 MHz（806-816/847-857；816-821/857-862 MHz）、2300 MHz（2300-2390 MHz）

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

- 既有使用者頻譜：3740-4100 MHz、4.7-5 GHz、U6、7-15 GHz
- 毫米波：24/26GHz、37-40GHz

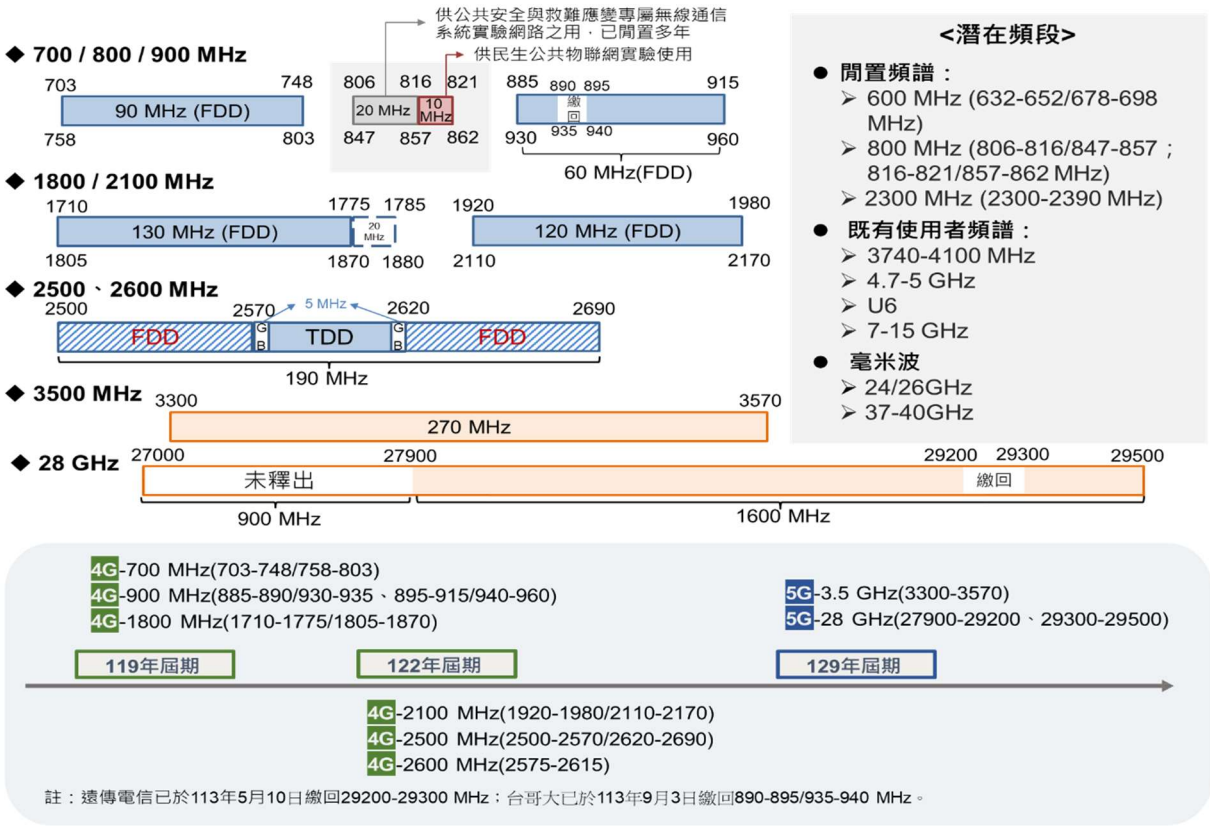


圖 9- 3、我國行動通信頻譜之現況

資料來源：本研究繪製

進一步彙整我國潛在可供 IMT 使用頻段，對照 3GPP 所公告之頻譜配置（Band Plan）進行對照，並逐一列出我國於各頻段現行使用情況與建議規劃（如圖 9- 4）。同時，提出我國 6G 頻譜整備之時程表，首先於 2026 年以前考量 4G 屆期頻段與閒置之低頻段，2026-2030 年考量 WRC-23 決議之頻段、WRC-27 規劃探討之頻段、毫米波頻段以及其他屆期或閒置頻段等，2030 年以後考量 Sub THz 頻段（如圖 9- 5）。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻段		3GPP Band Plan	我國使用現狀與規劃
1GHz 以下	632-652 MHz (20 MHz) 678-698 MHz (20 MHz)	Band 71 (663-698/617-652 MHz)	視國際發展及國內使用需求再作評估規劃
	700MHz 頻段	Band 28 (703-748/758-803 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2030年屆期
	806-816/847-857 MHz (20 MHz) 816-821/857-862 MHz (10 MHz)	Band 5 (824-849/869-894 MHz) Band 20 (832-862/791-821 MHz) Band 26 (814-849/859-894 MHz) Band 27 (807-824/852-869 MHz)	• 806-816/847-857 MHz供公共安全與救難應變專屬無線通信系統實驗網路之用(為PPDR保留)，已閒置多年 • 816-821/857-862 MHz供民生公共物聯網實驗使用
	900MHz 頻段	Band 8 (880-915/925-960 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2030年屆期
中頻 1-6GHz	1800MHz 頻段	Band 3 (1710-1785/1805-1880 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2030年屆期
	2100MHz 頻段	Band 1 (1920-1980/2110-2170 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2033年屆期
	2300MHz 頻段	Band 40 (2300-2400 MHz)	尚未釋出，視國際發展及國內使用需求再作評估規劃
	2500MHz&2600MHz	Band 7 (2500-2570/2620-2690 MHz) Band 38 (2570-2620 MHz)	目前行動通信使用頻段，將於2033年屆期
中頻 1-6GHz	3300-3570MHz	n78 (3300-3800)	目前行動通信使用頻段，將於2040年屆期
	3740-4100 MHz	n77 (3300-4200)	考量保留ST-2使用頻段與規劃護衛頻帶(3700-3740、4100-4200)後，擬規劃3740-4100MHz供IMT使用。
	4700-4800 MHz 4900-5000 MHz	n79 (4400-5000)	與既有使用者進行協商，進行清移頻規劃，可供IMT使用
	6425-7125 MHz	n96 (5925-7125) n104 (6425-7125)	WRC-23開放第1區6425-7125 MHz；第3區7025-7125 MHz供IMT使用
毫米波	24/26GHz	n257 (26500-29500) n258 (24250-27500)	尚未釋出，視國際發展及國內使用需求再作評估規劃
	28GHz	n257 (26500-29500) n261 (27500-28350)	目前行動通信使用頻段，將於2040年屆期
	37-40GHz	n260 (37000-40000)	尚未釋出，視國際發展及國內使用需求再作評估規劃

圖 9- 4、我國潛在可供 IMT 使用頻段之盤點總表

資料來源：本研究整理

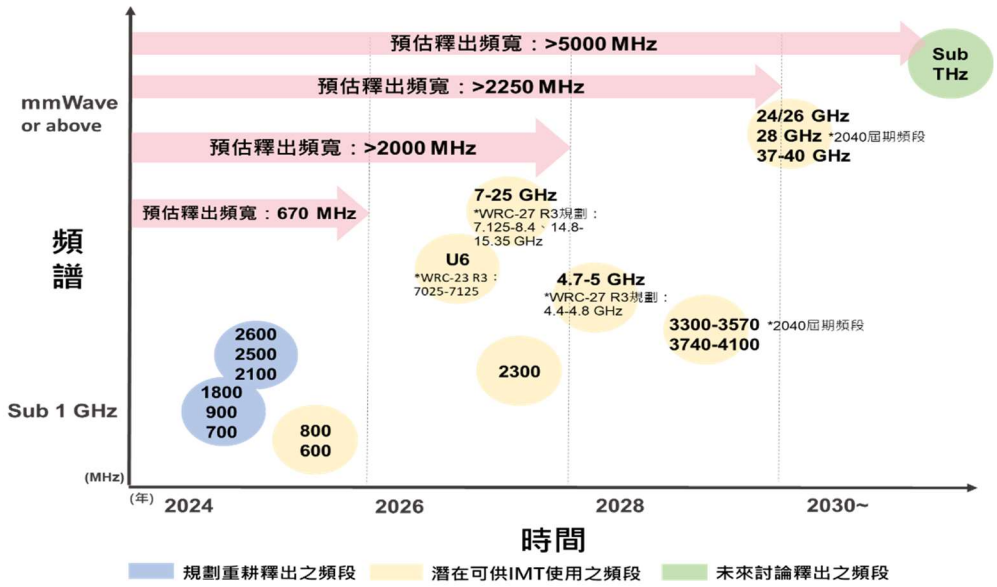


圖 9- 5、本研究提出之我國 6G 頻譜整備時程表

資料來源：本研究整理

本研究參考重要國際組織 ITU、3GPP 之 6G 標準制訂時程，以及英國提出未來十年（至 2030 年）之 6G 發展藍圖、韓國 MSIT 於

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2024 年 9 月 2 日發布「2024-2027 年頻譜計畫」，提出行動通信頻率釋出作業運作流程等，研議我國未來 6G 發展藍圖規劃，從 2023 年至 2030 年推動 6G 發展之政策規劃建議，包括針對 4G 頻段屆期再釋出、5G/B5G/6G 其他潛在候選頻段之評估、分析與建議釋出方式等。

為全面瞭解我國通信產業之現況及未來頻譜規劃需求，本研究 2024 年 10 月 16 日邀集電信業者、設備商與專家學者召開座談會，就本研究提出之我國 6G 發展藍圖建議，討論接下來幾年我國頻譜規劃方向與時程。本次座談會各界意見仍存在差異，可分為幾個面向提出頻譜規劃之各種可能性：

(一) 頻譜優先釋出順序

1. **119 年與 122 年 4G 屆期頻譜之釋出時程**

- **採取分次釋照：**在頻譜釋照的當下，或許無法完全掌握市場的需求，但為了達成全面性規劃，應考量整體頻譜配置。因此 Sub 1GHz 至 3GHz 以下的頻段一併進行研究與規劃，以決定釋出的方式。此外，應避免獲取頻譜後閒置未使用或有頻譜需求卻未有足夠頻譜可使用。
- **採取同時釋照：**119 年與 122 年 4G 屆期頻譜同時釋照，兩者屆期時間僅相差三年，應避免耗費太多人力與時間。
- **優先取得延用頻譜：**未來到期之頻譜重耕，維持既有之專屬頻段現狀，或是提出誘因（incentive），業者若有持續有效使用頻段，得以優先延用既有的頻段，並保留技術延用，則可減少設備更換。

2. **閒置頻段之釋出時程**

- **盡早釋出：**考量優先並盡快釋出幾乎是閒置的頻段，如：600 MHz、800 MHz 頻段，表示在釋出 119 年與 122 年 4G 屆期

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻譜之前，以增補我國 5G 僅有中頻段涵蓋相對不足。

- **與 119 年、112 年 4G 屆期頻譜同時釋出：**若 119 年、112 年 4G 屆期頻譜同時釋出，一併將 600 MHz、800 MHz 同時釋出

3. **7-15 GHz 頻段之釋出時程**

7-15 GHz 頻段為 6G 重點頻段之一，就 WRC-27 規劃將探討 4.4-4.8、7.125-8.4、14.8-15.35 GHz 頻段。然而，7-15 GHz 頻段存在一些問題，包含：(1)該頻段較既有 4G、5G 之頻譜高，需布建較多基地臺來滿足涵蓋，存在成本較高之問題；(2)可能使用新的陣列天線，存在電費較高問題；(3)該頻段目前有不同既有使用者，如衛星、軍用、廣播、超寬頻（Ultra Wideband, UWB）等。綜上，應持續追蹤 ITU 與 3GPP 之討論及主要國家之發展，同時及早檢視我國既有使用者使用情形。

此外，針對較高之頻段，如 60 GHz 部分，因標準化發展較慢且無設備支援，可暫不考慮研究；THz 技術部分，因不會出現在 6G 技術的 Release-20 中，可考量 2030 年後再行研究。

4. **U6 頻段之釋出用途**

- **持續掌握國際發展趨勢：**在 WRC-23 決議後，國際上目前有幾種情形，如：英國提出 IMT 與 Wi-Fi 混合共用制度；香港將採行拍賣制度供 IMT 使用；澳洲考量是否將部分或全部頻段供無線區域網路（Radio local area network, RLAN）或廣域無線寬頻（Wide-Area Wireless Broadband, WA WBB）使用等不同頻譜規劃。預期明年（2025 年）將有較明確之頻譜規劃。
- **考量供免執照使用：**考量未來開放供 Wi-Fi 7 使用，而目前該頻段之主要既有用途仍保留。若 Wi-Fi 7 為次要用途，與衛星通信上鏈、地面點對點微波共用是可行的，美國就是如此。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

5. **頻譜共享（sharing）**

由於目前難以找到完全閒置的頻譜專供 6G 使用，新開放頻段（特別是 U6 頻段）中考慮頻譜共享，包含行動通信和 Wi-Fi 間的頻譜共享機制。此外，頻譜釋出是否共享應從法規層面來探討。若政府鼓勵頻譜得標者進行頻譜共享，可透過政策獎勵措施誘使業者，並在法規上給予彈性，使頻譜共享具有市場效率、商業價值。

(二) 頻譜配置與釋出頻寬

1. **700、900、1800 MHz 頻段**

- **維持頻譜配置：**目前我國 700、900、1800 MHz 頻段採用 FDD 模式。依 3GPP 之頻譜配置，Band 44 為 700 MHz 頻段，其頻譜配置為 TDD 模式，但目前沒有網路正在使用，而 900 MHz、1800 MHz 似乎也沒有 TDD 的頻譜配置。因此，以維持現狀為佳。

- **1800 MHz 頻段之釋出頻寬調整：**目前我國 1800 MHz 頻段配置是 65 MHz x 2 頻寬，尚有 10 MHz x 2 頻寬閒置未釋出，建議從中劃出至少 5 MHz，將頻寬整併為 70 MHz 的頻段，並以 10 MHz 為單位頻寬標售。

2. **2600 MHz 頻段**

- **維持現狀：**我國 2600 MHz 頻段目前是採用 FDD 加 TDD，並設有 FDD 與 TDD 之間護衛頻段（Guard Band）。在綜合考量 FDD 之技術優勢、現有設備投資之價值、衛星干擾等因素。因此，維持現狀。

- **採取 TDD 模式：**隨著 TDD 技術日益成熟，TDD 已成為 NR 的主流技術，未來 2600 MHz 頻段預期將更廣泛地應用 TDD，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

尤其是 TDD 搭配 Active Antenna 或 Massive MIMO 技術，將提升系統容量。應注意的是，全面改為 TDD 模式，應盡早告知電信業者，有助於業者及早規劃設備投資。

(三) 頻譜釋出之週期性

- **釋出周期以 5 年為單位：**目前我國執照年限為 20 年，而每個通信世代約為 10 年。在此期間，技術發展可能有產生額外的頻譜需求，且未必能及時獲得補充。因此，以每 5 年為一周期進行頻譜補充，以更適應技術與市場的需求變化。

- **釋出周期以 10 年為單位：**過於頻繁的釋照會消耗過多的人力、精力和財力。通信世代每十年演進一次，但其實際存活時間約為 20 年。在這段期間，技術會發生變化，目前採用技術中立的方式，使得頻段之間可以靈活切換，例如 700、900、1800 MHz 頻段，可以使用這些頻段來布建 4G，未來若有需求，也能轉向 5G。隨著未來 6G 技術的制定，中低頻段在技術上也有潛力支援 6G。因此，以為 10 年為釋照間隔，執照期限為 20 年。

(四) 其他考量因素

隨著非地面網路（NTN）的迅速發展，包括低軌道衛星和高空平臺系統（HAPS）在內的技術，逐漸成為全球矚目的焦點。NTN 被視為 6G 時代實現全球無縫涵蓋的關鍵技術，能補足地面網路之涵蓋範圍。因此，除行動通信技術外，Wi-Fi、NTN 等新興技術在 6G 時代也將扮演不可或缺的重要角色，未來 WRC-27 多半探討衛星相關議題。為實現此一願景，應將這些技術納入我國頻譜發展藍圖，並推動其與行動通信技術的協同發展，以達成更全面、更高效的網路服務。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

綜合目前頻譜整備規劃的各項考量，各界對此仍有不同觀點。因此，未來兩年內應加強與國內各相關利害關係人進行充分的意見交流與議題討論，並透過公開徵求公眾意見來收集廣泛的回饋，進一步凝聚共識，逐步確立頻譜整備的方向。隨著技術的持續演進和國內電信市場情勢的快速變化，規劃策略應採取滾動式修正的方式，以確保能適時做出調整，以符合未來需求並有效支持產業發展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

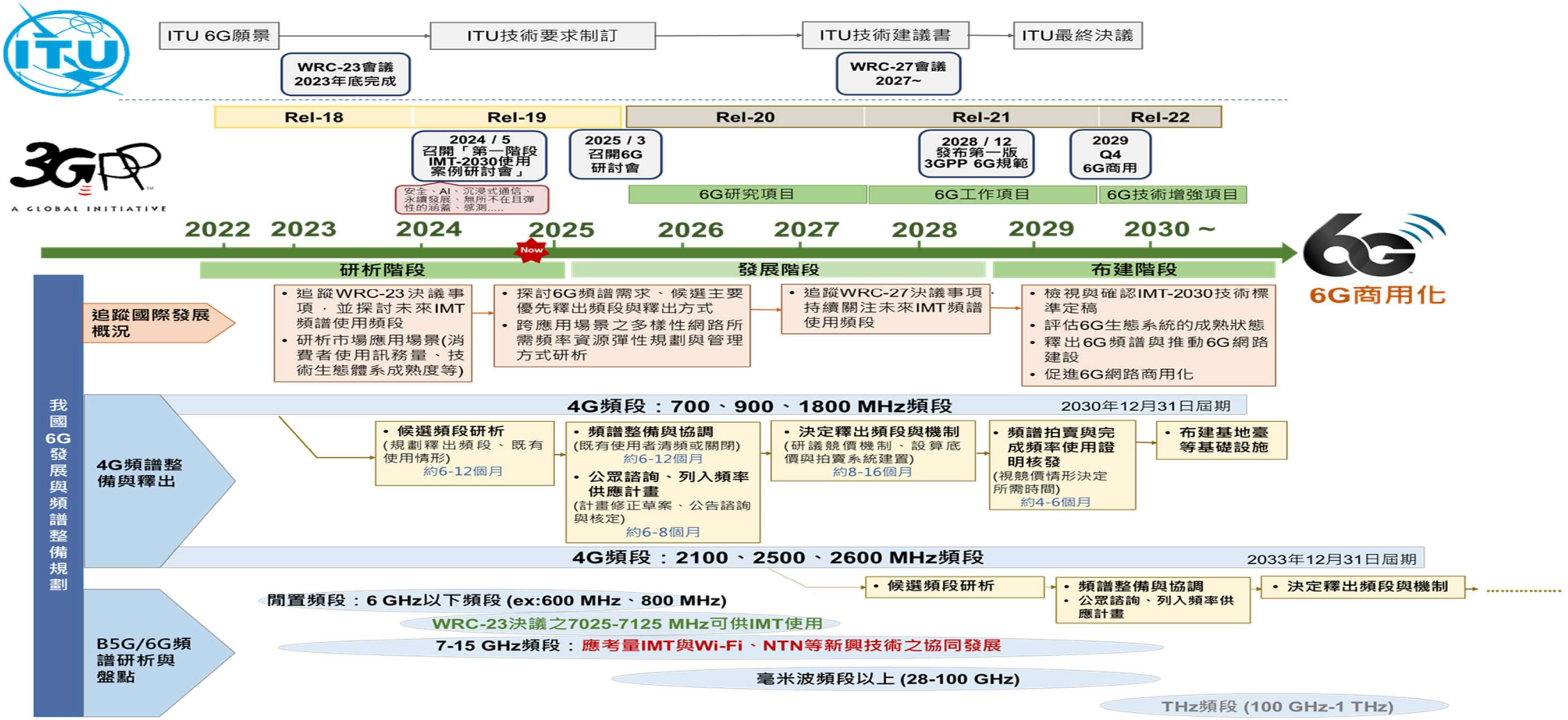


圖 9- 6、本研究提出之我國 6G 發展藍圖建議

資料來源：本研究繪製

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

第二節 政策與技術研析建議

本研究完成前述 ITU 實質參與、國際間 6G 候選頻段研析、國內既有使用者盤點、和諧有效使用機制環境建立、移頻替代技術實測、6G 跨域應用衍生衝擊影響等研究成果後，更進一步提出對於主管機關建議採行之具體政策與技術研析建議，並依照建議實施時間區分為立即可行建議與中長期建議。

一、 立即可行之建議

(一) 持續關注國際 6G 發展趨勢

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

2. 掌握並發展「現行專網場域觀測追蹤」，「Upper 6GHz 影響評估」，「非地面行動通信研究驗證」，與「未來無線電頻譜資訊更新」等關鍵無線電議題。

(二) Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測

1. 建議針對我國既有站臺資料完善盤點，請業者提供已經拆除或沒有發射的站臺資料，以及正在使用站臺之發射頻率、海拔高度、位置、天線數量、天線型號、空間分集等資料，有利於 AFC 系統計算精度之提升。
2. 建議我國 NCC 型式認證資料庫新增針對 6GHz 頻段的產品設備類型如：標準功率、室內低功率和極低功率，制定專屬設備類型代碼，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

加入相關設備的設備種類，以便 Open AFC 能快速過濾資料並且能更精確地識別設備。

(三) 既有使用者移頻替代技術實測評估

1. 自由空間光通信安裝便利，無需頻譜使用執照，低功耗且高安全性。適合 2 公里內的傳輸距離，傳輸速度高於 2330 Mbps，可在城市地區的支線使用，具備高可靠度和高速傳輸能力。固定無線接取適合替代已 IP 化之微波系統，目前測試結果傳輸速度上限應設定於 20 Mbps，應與行動業者協調相關 QoS，並需要建立 VPN 保障資料在傳輸過程中的安全性。免授權微波 5.8 GHz 和 60 GHz 頻段可在短距離內提供穩定的資料傳輸，需注意頻段使用情形以減少干擾情況，無線傳輸使用 TDD 多工技術無法介接 SDH 資料，目前僅能傳遞乙太網路封包化之資料。
2. 根據測試使用之商用設備，5G FWA CPE 成本約新臺幣四萬，VPN 設備約五萬，免授權頻率微波設備約四萬，自由光通信設備成本約一百一十餘萬，提供未來作為無線替代技術或增強韌性投入之成本的參考。

二、 中長期建議

(一) 持續關注國際 6G 發展趨勢

1. 持續關注掌握 ITU 與 WRC 議題發展，持續發展討論關鍵無線電議題與凝聚共識，適時提出解決與執行方式，以促進國家頻譜政策之規劃與實施，實現共創共贏。

2. 透過會議交流與協商，凝聚各界達成共識，並確保我國通訊及各種新興應用之穩定性與永續性。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 多元技術促進頻譜有效使用

1. 建議主管機關頻譜管理方面導入新興 AI 技術，包含 AI 資訊系統、AI 感知技術以及 AI 使用者介面，強化頻譜管理的韌性與即時性，提升整體監管效能。
2. 持續關注各國頻譜共享議題，包含 AFC 機制以及其他可行共享技術的演進。
3. 根據既有使用者的需求，實際導入替代技術評估能否作為移頻或提升通信韌性的參考。
4. 未來若有設備商開發更長距離的自由光通信設備，可用於中繼支援長距離骨幹鏈路使用。
5. 頻譜重耕技術可依據發展持續研析適用技術，並持續關注國際上之成功案例。未來頻譜重耕應提前準備，特別是針對 6G 中 FR3 頻段與即將屆期之 4G 低頻段，應對於既有使用者進行詳細盤點與相關應用系統間之干擾分析。

(三) 我國 6G 頻譜發展藍圖推動建議

1. 針對我國 6G 頻譜整備，本研究已提出我國 6G 頻譜發展藍圖建議，主管機關可參考該整備時程、適用頻段等分年擬定相關推動策略與配套方案。本研究依頻段性質區分為低、中及高頻段，以下分別簡介建議細節。

2. 低頻段地面通信用之頻譜，建議分期、分段釋出。例如分 2 期（間隔 3-5 年）及 2 頻段（2 GHz 以下、2-7 GHz）方式釋出頻譜，建議採拍賣方式釋出。

3. 3.57-4.2 GHz 及 6.425GHz 至 7.125 GHz 之頻譜，建議主管機關持續掌握頻譜使用狀況及頻譜共享技術之成熟度，將之列為 6G 候選

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

頻譜。

4. 6.425GHz 至 7.125 GHz 頻段，在 AFC 驗證可行後，也可以規劃為免執照之 Wi-Fi 7 使用。

5. 因應我國部分行動通信頻段於 119 年、122 年陸續屆期，為充分運用並有效分配稀缺資源以發揮其效益，建議主管機關邀集利害關係人召開專題會議，重點討論頻譜釋出順序、配置方式以及新頻譜釋出之可能性等議題。頻率範圍包含屆期重新釋出頻段（700、900、1800、2100、2500/2600 MHz）、閒置頻段（如：600 MHz）、既有使用者頻段（如：U6、7-15 GHz）、毫米波頻段等。

6. NTN 應用在我國主要需求為用於防救災或防衛動員，商業用途需求不高。建議主管機關持續掌握市場現況，於 WRC-27 有明確決議後，再考量我國現況進行頻譜整備及規劃。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件一 下階段國際無線電頻譜議題意見徵詢 – 補充意見

議題類別	補充意見
固定式衛星無線電	– 頻段越高(e.g., 大於U/V band)，商化量產技術門檻高且目前應用實務並無立即可取代之必要。因此頻段越低建議優先制定相關法規以利布局與活絡市場。 – 使用中低頻（S band) 應移往Ku band,例如 ST2 使用 S band應轉移為IMT 5G/6G 網路使用，改使用Ku band。
地面行動與固定式通訊無線電	– 不論行動與固定式通訊，在相對低頻段對我國產業有實質且立即影響。如能在新頻段之法規有所有合適干擾規範與法規制定，將有助國內業者開發相關產品。 – IMT 在6G使用的無線電需嚴謹看待，包含清頻、可提供6G使用的頻寬，面對各國在6G寬頻網路的競爭與國家形象。
行動式衛星無線電	– 低頻低傳輸率應用於衛星通訊屬於急難救助在補足地面無基站狀態的情境，此為重要且盼盡早能落地實現。新頻譜建立將有助於增加配置彈性。 – 透過衛星在山區緊急救難、國防安全有其需求，但平時應以地面的行動網路為主要服務。
科學與其他行動式衛星無線電	– 太空科研探勘牽涉國家競賽，世界大國無不相極力發展。對於我國發展實屬不易、難以與之競爭。從商務合作面，則樂觀其成，對國內產業將有所助益。 – 需觀注是否與IMT/NTN頻段的干擾。
未來衛星與行動無線電	– GSO與NGSO有助於建構未來3D網路，應及早研究ISL議題並建立相關規範。海事VHF/MF/HF屬於海事AIS1.0 & AIS2.0(包含急難救助)，應及早完善規範。 – 關注與IMT頻段干擾問題。
未來科學與其他無線電	– 越低頻之頻段建議須及早規劃、部屬(相較高頻段之頻譜)。科研與探勘如前幾題之建議，屬於國家競賽。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件二 「6G 候選頻段既有使用者」分類、去識別化資料

表 1、政府機關類型一覽表

水利	實驗	其他
新北市政府水利局	財團法人國家實驗研究院	玉山國家公園管理處
經濟部水利署北區水資源分署	財團法人金屬工業研究發展中心	美國在台協會
經濟部水利署南區水資源局	高雄市政府	財政部關務署高雄關
農業部農田水利署苗栗管理處	國立中正大學	財政部關務署臺北關
交通	國立成功大學	財團法人車輛研究測試中心
交通部民用航空局花蓮航空站	國立臺北大學	財團法人國家實驗研究院
交通部民用航空局金門航空站	國立臺北科技大學	國立臺灣大學
交通部民用航空局飛航服務總臺	**醫療**	國家科學及技術委員會中部科學園區管理局
交通部民用航空局高雄國際航空站	國立臺灣大學醫學院附設醫院	國家科學及技術委員會南部科學園區管理局
交通部民用航空局嘉義航空站	**警消海巡空勤**	農業部林業及自然保育署
交通部民用航空局臺中航空站	內政部空中勤務總隊	臺北市市政大樓公共事務管理中心
交通部民用航空局臺北國際航空站	內政部消防署	臺北市市場處
交通部民用航空局臺東航空站	內政部警政署刑事警察局（電信偵查大隊）	臺北市政府工務局大地工程處
交通部民用航空局臺南航空站	海洋委員會海巡署	臺北翡翠水庫管理局
交通部民用航空局澎湖航空站	**林保署**	臺灣港務股份有限公司（基隆港務分公司）
交通部高速公路局	農業部林業及自然保育署	高雄港務分公司
交通部航港局		中央印製廠
		中央銀行

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

水利	實驗	其他
		交通部中央氣象署

資料來源：通傳會系統、本研究整理

表 2、民營事業單位分類一覽表

交通	電力	其他
中華航空股份有限公司	大彰化東南離岸風力發電股份有限公司	文久股份有限公司
中華航空股份有限公司（高雄分公司）	中能發電股份有限公司	北極星測繪科技有限公司
立榮航空股份有限公司	西島風力發電股份有限公司	台塑石化股份有限公司
安捷飛航訓練中心股份有限公司	彰芳風力發電股份有限公司	台灣科高工程有限公司
安捷航空股份有限公司	**實驗**	台灣國際造船股份有限公司
自強航空有限公司	盟訊實業股份有限公司	台灣微軟營運有限公司
長榮航空股份有限公司	聯發科技股份有限公司	利樂包裝股份有限公司
星宇航空股份有限公司	互動國際數位股份有限公司	佳的星股份有限公司
美商優比速航空股份有限公司（台灣分公司）	台灣佳光電訊股份有限公司	長榮海運股份有限公司
美商聯合航空股份有限公司（台灣分公司）	台灣固網股份有限公司	長榮國際儲運股份有限公司
飛特立航空股份有限公司	台灣松下銷售股份有限公司	信越電子材料股份有限公司
飛聖航空股份有限公司	亞果遊艇開發股份有限公司	桃園國際機場股份有限公司
香港商國泰航空有限公司台灣分公司	佳研智聯股份有限公司	特許投資顧問股份有限公司
桃園航勤股份有限公司	和碩聯合科技股份有限公司	高雄空廚股份有限公司
華信航空股份有限公司	晶碩光學股份有限公司	荷蘭商聯邦快遞國際股份有限公司（台灣分公司）
詮華航空股份有限公司	華電聯網股份有限公司	荷蘭商聯邦快遞國際股份有限公司台灣分公司

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

交通	電力	其他
臺灣航勤股份有限公司	資拓宏宇國際股份有限公司	貿聯企業股份有限公司
德安航空股份有限公司	廣達電腦股份有限公司	遠東資源開發股份有限公司
澳門商澳門航空股份有限公司（台灣分公司）	**鋼鐵**	**電視**
	中龍鋼鐵股份有限公司	大屯有線電視股份有限公司

資料來源：通傳會系統、本研究整理

表 3、電信公司、國營事業

電信	電力	鋼鐵
台灣大哥大股份有限公司	台灣電力股份有限公司	中國鋼鐵股份有限公司
中華電信股份有限公司	台灣電力股份有限公司綜合研究所	**石化**
遠傳電信股份有限公司		台灣中油股份有限公司

資料來源：通傳會系統、本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表 4、去識別化對照表

既有業者代碼	既有使用者名稱	既有業者代碼	既有使用者名稱
A	財團法人公共電視文化事業基金會	O	台亞衛星通信股份有限公司
B	警政署	P	大彰化東南離岸風力發電股份有限公司
C	中國電視事業股份有限公司	Q	屏南有線電視股份有限公司
D	中國廣播股份有限公司	R	澎湖有線電視股份有限公司
E	中華電信股份有限公司	S	國家太空中心
F	中華電視股份有限公司	T	內政部消防署
G	台灣電力股份有限公司	U	侑瑋衛星通信股份有限公司
H	民間全民電視股份有限公司	V	東森電視事業股份有限公司
I	交通部民用航空局飛航服務總臺	W	飛凡傳播股份有限公司
J	財團法人中央廣播電臺	Y	海洋委員會海巡署艦隊分署
K	經濟部水利署第十河川局	Z	財團法人慈濟傳播人文志業基金會
L	經濟部水利署第五河川分署	ZA	環境部
M	臺灣電視事業股份有限公司	ZB	聯利媒體股份有限公司
N	漢聲廣播電臺	ZC	財團法人電信技術中心

資料來源：本研究整理

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件三 6G 頻譜整備之專家學者意見彙整與研析建議

我國行動通信頻譜規劃意見(1/2)

- 為全面瞭解我國通信產業之現況及未來頻譜規劃需求，本研究邀集電信業者、設備商與專家學者召開座談會，探討我國未來幾年頻譜規劃方向與時程。各界意見仍存在差異，以下彙整頻譜規劃之各種可能性。

屆期頻譜優先釋出順序、新頻譜釋出用途

【119年與122年4G屆期頻譜之釋出時程】
- 採取分次釋照：全面性考量頻譜配置(Sub 1GHz至3 GHz)，但應避免獲取頻譜後閒置未用或有頻譜需求卻未有足夠頻譜可用
- 採取同時釋照：避免耗費太多人力與時間
- 優先取得延用頻譜：未來到期之頻譜重耕，業者若有持續有效使用頻段，得以優先延用既有的頻段

【閒置頻段之釋出時程 (600、800 MHz)】
- 盡早釋出：在釋出119年與122年4G屆期頻譜之前，以增補我國5G僅有中頻段涵蓋相對不足
- 與119年、112年4G屆期頻譜同時釋出：若119年、112年4G屆期頻譜同時釋出，一併將600 MHz、800 MHz同時釋出

【7-15 GHz頻段之釋出時程】

該頻段為6G重點頻段之一，就WRC-27規劃將探討4.4-4.8、7.125-8.4、14.8-15.35 GHz頻段。然而，該頻段存在一些問題，應持續追蹤ITU與3GPP之討論及主要國家之發展，同時及早檢視我國既有使用者使用情形

【U6頻段之釋出用途】
- 持續掌握國際發展趨勢：在WRC-23決議後，國際上目前有幾種情形，如：英國提出IMT與Wi-Fi混合共用制度；香港已決定於113年11月進行拍賣供IMT使用。預期明年(2025年)將有較明確之頻譜規劃
- 考量供免執照使用：考量未來開放供Wi-Fi 7使用，而目前該頻段之主要既有用途仍保留

【頻譜共享】
- 由於目前難以找到完全閒置的頻譜專供6G使用，新開放頻段(特別是U6頻段)中考慮頻譜共享(行動通信和Wi-Fi共享)。
- 若政府鼓勵頻譜得標者進行共享，可透過政策獎勵措施誘使業者，並在法規上給予彈性，使頻譜共享具市場效率、商業價值

*上述意見來自本研究於113年6月26日舉辦「我國6G潛在候選頻譜研議座談會」、113年10月16日舉辦「我國6G未來發展藍圖及頻譜整備規劃方向座談會」。

22

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

我國行動通信頻譜規劃意見(2/2)

- 為全面瞭解我國通信產業之現況及未來頻譜規劃需求，本研究邀集電信業者、設備商與專家學者召開座談會，探討我國未來幾年頻譜規劃方向與時程。各界意見仍存在差異，以下彙整頻譜規劃之各種可能性。

頻譜配置與釋出頻寬

【700、900、1800 MHz頻段】
- 取得共識維持頻譜配置：目前我國採用FDD模式
- 1800 MHz頻段之釋出頻寬調整：目前我國該頻段配置是65 MHz x 2頻寬，尚有10 MHz x 2頻寬閒置未釋出，建議從中劃出至少5 MHz，將頻寬整併為70 MHz，並以10 MHz為單位頻寬標售。

【2600 MHz頻段】
- 維持現狀：我國目前採用FDD加TDD，並設有FDD與TDD之間護衛頻段。在綜合考量FDD之技術優勢、現有設備投資之價值、衛星干擾等因素，建議維持現狀
- 採取TDD模式：隨著TDD技術日益成熟，TDD已成為NR的主流技術，未來預期將更廣泛地應用TDD，尤其是TDD搭配Active Antenna或Massive MIMO技術，將提升系統容量。

*應注意的是，若全面改為TDD模式，應盡早告知電信業者，有助於業者及早規劃設備投資。

頻譜釋出之週期性
- 以5年為單位：目前我國執照年限為20年，而每個通信世代約為10年。在此期間技術發展可能有額外的頻譜需求，因此以每5年為單位進行頻譜補充，以適應技術與市場的變化。
- 以10年為單位：通信世代每10年演進一次，但其實際存活時間約為20年。目前採用技術中立的方式，使得頻段之間可以靈活切換。隨著未來6G技術的制定，中低頻段在技術上也有潛力支援6G。因此以為10年為釋照間隔，執照期限為20年。

其他考量因素

隨著非地面網路(NTN)的迅速發展，包括低軌道衛星和高空平臺系統(HAPS)在內的技術，逐漸成為全球矚目的焦點。NTN被視為6G時代實現全球無縫涵蓋的關鍵技術，能補足地面網路之涵蓋範圍。因此，除行動通信技術外，Wi-Fi、NTN等新興技術在6G時代也將扮演不可或缺的重要角色。

23

*上述意見來自本研究於113年6月26日舉辦「我國6G潛在候選頻譜研議座談會」、113年10月16日舉辦「我國6G未來發展藍圖及頻譜整備規劃方向座談會」。

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

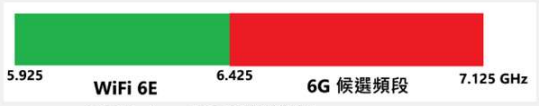
低、中、高頻段特性

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

6G頻譜分配方向 –低頻段

1 GHz 以下	• 具有極佳的傳播特性，是用來布建廣域大範圍涵蓋的重要頻段 • 現有應用已相當擁擠，較無法新增6G應用頻譜。可用既有頻譜分配現況，供IMT使用
3~7 GHz	• **3.57 GHz~4.2 GHz 建議可持續掌握既有用戶使用情形 ，是6G系統重要新興頻譜** • **6.425GHz~7.125 GHz**：為WRC討論之6G候選頻段，可提供高速率的傳輸應用

C-band 6G候選頻段



6 GHz-band 6G候選頻段

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G頻譜分配方向 –中 & 高頻段

7~30 GHz	• 6G 之 NTN網路應用重要頻段 • 我國NTN需求的看法集中於：國家安全需求、災後重建以及偏遠地區的通信支援，市場經濟規模有限。 • 7-15 GHz：雖然業界相當關注，但此若要用於地面非視距之行動通信環境，特別是在建築物密高之都會區域，不易穿透障礙物，導致衰減過大，無法有效通信。但可**適用於NTN應用**。 • **15-30 GHz：適用於NTN環境，屬於視距條件之通信。**
高於30 GHz	• 適合視距通信環境使用，如室內短距離通信、點對點固定微波通信、衛星通信等 • 其服務獲利模式乃待摸索，頻譜需求並不明確，建議維持目前頻率分配現況 • 關鍵技術仍待突破。

TTC 40

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

6G頻譜整備策略-低頻段

低頻段（7 GHz以下）地面通信用之頻譜

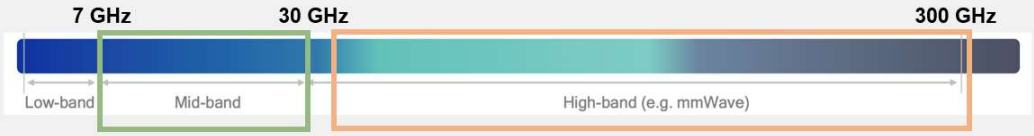
- 因4G系統之頻譜（3 GHz以下）執照即將陸續屆期，**經由適度重耕後，建議分期、分段釋出**
  如：分2期（間隔3-5年）及2頻段（2 GHz以下、2-7 GHz）方式釋出頻譜
- 因低頻段之需求相當大，而此段之頻譜資源有限，仍以**拍賣方式釋出為宜。**
- 3.57-4.2 GHz 及 6.425GHz至7.125 GHz 之頻譜，建議主管機關持續掌握頻譜使用狀況及頻譜共享技術之成熟度，**將之列為6G候選頻譜，以利未來規劃使用**
- 針對 6.425GHz至7.125 GHz 頻段，在**AFC驗證可行**後，也可以規劃為免執照之WiFi 7使用，讓TN網路有足夠的免執照頻譜可以和IMT網路互補，也可**保障既有固定微波之使用**。

TTC 41

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6G頻譜整備策略-中&高頻段



中頻段頻譜（7-30 GHz）

- 因較無商業用途之需求，但在**考量災防或國家安全之暫時需求**，在既有的頻率分配規劃下，可訂定特別規範來核配頻率，以利業者配合災防或國家安全之任務。
- **建議採評審制，執照年限可將衛星系統之租約年限列入考慮**。但在整備頻譜時，如何防止對既有通信系統（如地面之點對點微波）產生妨害性干擾，仍是重要議題。

高頻段頻譜（30 GHz以上）

- 因6G應用在**此頻段之需求尚未明確，且30 GHz以上**射頻系統之設計、如功率放大器、接收機、基頻電路之類比轉數位、數位轉類比電路等，仍有挑戰需要克服
- 高頻段頻譜有較充裕之頻譜供應，**建議可採用免執照方式來規劃**

TTC 42

2024 財團法人電信技術中心 Telecom Technology Center. | All rights reserved.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件四 「WRC-23 之重要議題決議分享與討論」經驗分享會議紀錄

壹、 時間：民國 113 年 4 月 17 日（星期三）下午 2 時整

貳、 地點：集思交通部會議中心 202 會議室（臺北市中正區杭州南路一段 24 號 2 樓）

參、 主持人：財團法人電信技術中心徐資深研究員兼副理玉珊

肆、 主講人：工業技術研究院林博士咨銘

紀錄：呂助理研究員少琪

伍、 出席單位：（詳如會議紀錄）

陸、 長官致詞：（略）

柒、 綜合討論摘要：

議題一： 6 G 行動通信頻譜之決議與議題探討

1-1：IMT 與其他行動通信無線電於 4.9 GHz 之共存

議題交流：此 WRC-23 之決議對我國產業或現行規範有無任何影響或需注意之事項？

一、呂學錦教授：

(一)建議在簡報中，將 WRC-23 討論之頻段與我國頻率分配表於該頻段所分配的用途及備註欄所載明之要求進行對照，通常備註欄會提及在什麼情況下是次要用途。WRC-23 決議 4.8-4.9 GHz 頻段供行動使用為主要用途，而我國供專頻專網使用，若萬一有干擾時要能承受。

(二)無線電規則（Radio Regulations, RR）是國際法，對其會員國具有法律的效用。RR 的起源係因鐵達尼號失事造成重大命案，為了救難、避險而建立國際共同規範，其為 ITU 的前身。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

過去我國電信法將 RR 的中文翻譯與頻率分配表放在附件（appendix）中，現行電信管理法則否。過去擔任郵電司司長時，將頻率分配表做了修訂後發行單行本。

(三)我國專頻專網使用 4.8-4.9 GHz 頻段，而 WRC-23 討論議題 1-1 的頻率範圍是 4.8-4.99 GHz，兩者相差 90 MHz 的頻寬，探討此議題時應與本次會議討論議題 1-2 併同考慮，也就是 6424-7125 MHz。因為目前仍在討論 6G 未來的頻寬，最少要多少比較才可能足夠，與使用情境有關。目前大家提出的共識至少在 6 GHz 這個頻段應有 700 MHz 的頻寬供 6G 使用。由於我國 5945-6425 MHz 於 2023 年已開放供低功率設備使用，且通信傳播委員會亦於 2024 年透過「低功率射頻器材技術規範」修正草案，目前應考量在兩個頻段之間（即 6425 MHz）是否需要有護衛頻段（Guard band）。

二、中華電信：此頻段之通量密度限制（Power Flux Density, PFD）的規範中，是否有別於一般頻段要求，發布更嚴謹的限制條件？

三、數位發展部資源管理司：ITU 所設之 PFD 與我國專頻專網 4.8-4.9 GHz 之標準一致。

四、遠傳電信：

(一)目前 4.8- 4.9 GHz 頻段用於垂直場域，使用功率都不至於太大，在岸邊的場域有限，所以干擾程度也較低。

(二)本議題討論頻段為 4.8-4.99 GHz，而 N79 為 4.7-5.0 GHz，請教主管機關後續規劃方向。

五、數位發展部產業署：目前申請此頻段之場域多為室內使用（如：智慧工廠），比較少申請在離岸使用。截至目前為止，沒有相關的干擾問題。

1-2：IMT 與包含 Wi-Fi 在內之行動通信無線電於 6 GHz 之共存

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議題交流：此 WRC-23 之決議對我國產業或現行規範有無任何影響或需注意之事項？

一、中華電信：

(一)6 GHz 除了 Wi-Fi 與 IMT 共存議題外，此頻段亦為微波用途的重點頻段，建議可以針對 IMT 與微波的共存議題，啟動相關研究工作。

(二)主管機關跟隨 WRC-23 決議開放 5945-6425 MHz 頻段，是恰當且安全的做法。以目前國內 Wi-Fi 使用來看，國內 2.4 GHz、5 GHz 加上 L6 頻寬，符合使用需求。

二、呂學錦教授：

(一)從 WRC 的角度，期望分配 700 MHz（6425-7125 MHz）供 IMT 使用，但在頻率分配表裡，此頻率範圍內共分做三段，其中固定與行動都是主要用途。是故，規劃頻率時應注意非僅供行動網路使用，因為要構成行動網路需要有後送網路（Backhual）與 Trunk。微波鏈路亦使用此頻段，不同用途可能會造成干擾，應考慮共用、適用等共適性（compatibility）。

(二)WRC-23 的最終決議報告（Final report）有 600 多頁，有詳細紀錄討論的過程。若有最終決議報告之翻譯版，對於 RR 會有更深入的認識。

三、遠傳電信：

(一)針對 6 GHz 頻段，我國已開放 L6 供 Wi-Fi 使用，本公司建議 U6 按照 WRC-23 決議，供 IMT 來使用。

(二)至於 Wi-Fi 的頻譜是否足夠，目前已有 2.4 GHz、5 GHz 與 L6 可使用，相對於電信業者競標行動通信頻譜（各家業者幾 10 MHz 頻寬），Wi-Fi 可使用的頻寬相對足夠。在行動通信方面，建議仍需要較多的頻譜，且未來 6G 也可使用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三)針對共享的議題，就電信業者的立場來說，會希望盡量不要共享，以避免與解決干擾的問題，對於行動通信的用戶較有保障。

四、台灣大哥大：在 WRC-23 的 6-7 GHz 頻段之間大概有 700 MHz 頻寬，本公司認為可以適度地提供電信業者供 IMT 使用，其 700 MHz 的頻寬，足夠讓電信事業使用且符合公眾利益的情況，然而仍有部分頻譜需進行整備。

五、耀登科技：此議題和上一個議題在 WRC-23 的決議定義不同，前者以 PFD 功率通量密度限制作為規範，後者則是以傳送端參數等效全向輻射功率（Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP），兩者定義不相同。請問兩者定義不同的理由是？或在會場交流中有特別之處可分享。

六、主講人：此兩議題在 WRC-23 決議所設定之保護機制並不同，一是從接收端（船舶、飛機）來看，確保其不受發射端干擾訊號影響；一為從發射端的角度限制其發射功率，以保護接收端之設備。

七、聯發科：這次提出 EIRP 的更新與 5G 發射功率相比，是否可就相異處進行說明？

八、耀登科技：以個人淺見，一般室外發射功率為至少 24 dBm，最高不超過 27 dBm，代表 6 GHz 頻段內限定 IMT 或 Wi-Fi 之發射功率。

九、台積電：WRC-23 在 6 GHz 頻段中有許多爭論，在歐洲曾經有提到如果要討論 6 GHz 頻段，就不談論 FR3 頻段，不知當時會議中是否有提到此議題？

十、主講人：WRC-23 討論 6425-7125 MHz 頻段原僅針對 Region 1，但因全球有很多產業希望可以開放此頻段使用，尤其是中國希望開於予 IMT 使用。有多個國家提出會議提案（proposal），如中

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

國就提出該頻段應於 Region 3 使用，討論到最後把議題都合在一起，變成討論是否開放供全球使用。因此，歐盟在 WRC-23 前的協調會議提出 5 個條件，其中主要包含：若該頻段要用於 IMT 話，必須確保 8 GHz 和未來的地球探測衛星之相關議題確定納入討論議題；其它供 IMT 的頻段必須被擱置，不進行討論；WRC-23 至 WRC-31 之前，該頻率不能使用，直到 WRC-31 之後才可以給 IMT 使用等條件。最終，於 WRC-23 決議前一晚，歐盟放棄其中幾項條件，故 WRC-23 決議將該頻段開放供 IMT 使用。

十一、 **李佳翰教授**：補充有關頻譜分享（共享），因我國地形、地貌比較複雜，在做系統模擬時，必須考慮到地形所造成的影響。特別是頻譜分享時，會不會造成一些影響，尚需把各種資訊整合。

議題二：NTN 非地面網路行動通信之決議與議題探討

2-1：HIBS 高空行動基地臺之頻段與發展因應

議題交流：關於此決議之未來發展與我國可能之因應措施，有無任何看法或建議？

一、謝欣霖教授：

(一)3GPP 標準已有類似的超前布建，包含前述 WRC-27 準備討論的三個頻段。WRC-23 於 2023 年底才剛開完，且於 2024 年 3 月 3GPP 已透過提案，其中的 4400-4800 MHz，預期可再下次會議中確認，完成相關研究。

(二)有關 HIBS 跟 HAPS 相關議題，從標準或技術角度，最關心的是干擾議題，因為其由二十公里的高空一次干擾大範圍，雖學術界包含 3GPP 已有相關研究，但仍需要實際做測試，確認測驗干擾是否可控。

二、李佳翰教授：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一)模擬系統根據資訊會回饋到系統進行調整。模擬系統可反應真實的狀況，亦可預期後續事件，事前預測哪些地方涵蓋不夠，或需額外補充。此為 digital twin，與過往單純做模擬（simulation）不一樣的地方。

(二)量測對布建模擬（simulation）而言是重要的。不管是在衛星系統、HAPS 系統上都沒有量測結果。在衛星系統也是一樣，現階段大氣對通信造成的影響，並沒有非常好的頻道模式。有賴於之後業者有實際上布建的話也許可以做一些實際上的量測。

三、遠傳電信

(一)我國不適合讓飛機在平流層或是在其他地方飛行，若以氣球的方式，在某個高度之下（如 800 公尺以下），可能還有機會使用高空氣球去執行。

(二)若用高空氣球到某個高度進行行動通信的發射，應考量基地臺乘載跟重量。謝教授提到干擾問題，理論上應用場景在地面，還需要有試驗的場域，驗證干擾的程度與效益。我國山區多，災害如果在山區發生，釋放氣球尚需考量風力、地形與地面的問題。另外，並未考慮衛星的部分。

四、台灣大哥大：目前國際上已有一些行動通信的業者與衛星業者合作，將行動頻率利用衛星進行發射。其概念為將基地臺放置在太空上，連結至用戶手機。這概念跟 HIBS 的差異為，載具與高度並不相同。在花蓮災難發生時，可提供用戶做臨時使用。此概念在法令上，尚有需修正調整之處。

五、中華電信：

(一)主要問題仍然存在於空中與地面間的干擾問題。然而，在此次 WRC 決議中新增高空通信平臺的分配頻段，且可以看到國際電信領導企業 NTT Docomo 等都對這個領域的發展非

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

常關注且投入，期待先進國家能夠提出解決技術問題的辦法，以及商用化結構。

(二)對我國而言，高空通信平臺不會受到向 ITU 提出申請的限制條件。如果這項技術真的能夠實踐，我相信對臺灣的網路韌性將會有很大的幫助。

六、呂學錦教授：

(一)行動通信要同時解決涵蓋跟容量之問題，僅架設一個基地臺，若功率夠大可以涵蓋整個臺灣，但沒有容量，高空通信平臺則存在容量問題，無法成為普及行動通信的解決方案，但可做為救災、緊急應變，或為偏遠地區提供網路涵蓋。

(二)依個人在中華電信的經驗，行動基地臺是好的解決方案。即使陸纜都中斷，也可使用衛星，以 ST-2 當作後送網路（Backhual），基地臺就可以操作。

(三)災害發生時，訊息溝通尤其重要。只要成功將油料送災區，使基地臺得以運作，便不會發生因缺電而無法運作之情形。請數位發展部長官爭取，必要時優先指派直昇機或船舶協助運送油料至基地臺所在地，俾能啟動發電機供電。此服務會比使用 HIBS 更有效。

2-2：D2D 行動通信衛星直連終端之頻段與發展因應

議題交流：關於此決議之未來發展與我國可能之因應措施，有無任何看法或建議？

一、謝欣霖教授：

(一)手機直連衛星為目前熱門議題，然而除了救災、救難以外，目前想不到在臺灣會有需要使用手機直連衛星的商機。

(二)目前已知 3GPP 努力的讓下一個 Release 可提供語音通話。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、聯發科：

(一)本公司希望可以盡快商用這項技術。然而，目前尚未收到任何訂單，因而導致此計畫稍微延遲。希望透過參加國際會議或多向其他合作公司洽談，加速這項計畫。

(二)目前本公司的規劃也是以救災作為可能之應用場景；在商業模式上，手機在緊急情況下會提供額外的保障。然而，本公司最關注的議題是干擾問題，須先解決共存問題。

(三)在晶片設計方面，不同的設計還是會有差異，包括演算法和追蹤功能等。儘管如此，這並不代表在通信技術上擁有重大改革，只是在既有算法的基礎上進行優化。經濟上的韌性，需去評估不同的通信型態，較講求服務可用性。電視臺的微波電路，若是備援承受風險稍嫌高，用此方式評估會牽扯到風險評估。

三、耀登科技：

(一)D2D（手機直連），手持裝置（例如：手機）本身設計其實沒有太多的改變，本公司沒有收到客戶端額外的設計需求，使用既有的手機之天線設計就能使用。

(二)D2D 可涵蓋於偏鄉或基地臺無法涵蓋的地方，簡報提及一些使用案利，在無形的價值上面可提升公司品牌的附加價值。

(三)不論是基地臺搬到 HIBS，或是搬到 LEO，衛星業者或相關業者在變現方面有一定困難度，因此若有 Open RAN 的架構，不管是 HIBS 還是 LEO 或可降低衛星業者或相關業者的營運成本。那基於這樣的想法，未來 6G 下的衛星與 HIBS 之間的競合，是否在 WRC-23 有進行討論？抑或在下次 WRC-27 討論？

四、主講人：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一)當新應用出現會面臨標準化技術，這是 O-RAN 的契機。根據 Ericsson 的內部報告，他們的 Open RAN 業務，收入增加 40%，代表像是非地面網路也可能透過 Open RAN 來實現。目前全球前幾大獲利業者包含 Nokia、 Ericsson、華為與 Samsung 等。O-RAN 目前有逐漸在賺錢的趨勢。

(二)當 HIBS 與地表進行訊號傳輸，可視為地面網路的一部份，若是將 HIBS 當作飛機與衛星作連接，該用途稱作航空（aeronautical）ESIM，在法規上為天空上行動式的地球電臺，目前已有設定一些規範和頻譜可以連到衛星（GSO、NGSO）。

五、台積電：目前有來跟本公司接觸的客戶大部分都是商規使用，沒有技術上的需求。就 D2D 而言因為使用相同頻段，故沒有特殊的晶片的需求。

議題三：下階段全球無線電關注焦點交流

議題交流：面臨 WRC-27 與 WRC-31 多項新興以及即將於未來開展之無線電議題，有無先期探討或關注研究之必要性？相關議題與重要性為何？

一、謝欣霖教授：

(一)2024 年 3 月 3GPP 已召開一次會議，談論議題包含 ESIM、NGSO、電動車，以及低軌衛星的應用等。

(二)上次聽主講人報告 WRC 進度，最訝異的是電動車議題被推遲至 WRC-31 討論。因此議題在 3GPP 中，許多公司感興趣。所以個人建議是趁 3 月 3GPP 討論議題熱度尚未消失時，進行測試驗證。至 WRC-31 時也許會開放整個頻譜。

(三)此外，Ka Band 中 ESIM 對 NGSO 是可行的嗎？若被推遲至 WRC-31 是使用 12 GHz 頻段嗎？此部分不太確定。

二、主講人：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一)ESIM 有三種，分為 L-ESIM、A-ESIM、與 M-ESIM。L-ESIM 的開放已經在 WRC-19 討論，但因為考量到陸上干擾的問題，所以最終只開放 A-ESIM 與 M-ESIM。雖然 3GPP 持續從實務方面來推動 L-ESIM 技術與市場，但最終仍然需要等待 WRC 的決議。

陸、臨時動議：無。

柒、散會：下午 17 時 00 分。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件五 「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會會議紀錄

壹、時間：民國 113 年 6 月 26 日（星期三）下午 1 時 30 分

貳、地點：集思交通部會議中心 201 會議室（臺北市中正區杭州南路一段 24 號 2 樓）

參、主持人：財團法人電信技術中心 巫主任國豪

肆、出席單位：（詳如會議簽到表）

伍、長官致詞：（略）

陸、綜合討論摘要：

議題一：我國已釋出頻段屆期重耕規劃

1-1：我國行動通信使用頻段 700、900、1800MHz）將於 2030 年屆期，後續主管機關重新釋出屆期頻段時，相關頻段供 5G 或 6G 使用之可行性為何？有無建議優先供 5G/6G 使用之頻段？

1-2：因應技術升級，對於該類重新釋出頻段，是否設定相關執照規範（例如網路涵蓋率、基地臺建設數量等），以及執照條件如何設計（例如執照效期應比照過往長度設計或其他）？

1-3：請教對於我國已釋出之頻段屆期重耕規劃是否有其他建議或看法？

一、 鄧添來前司長：

(一)政府可透過補助業者之方式，提升頻譜重耕之意願。

(二)建議未來競標頻譜時，當標金差距在 1%以內，應該讓次高出價者且其為達到一定程度重耕涵蓋率的業者，可以獲得提高出價之優先權。

二、 魏學文教授：

(一)由於 6 GHz 以下是黃金頻段，可兼顧訊號滲透率與資料傳輸率（data rate），建議將 6 GHz 以下頻段盡可能保留予地面的廣域行動通信使用。

(二)關於頻譜規劃，建議保持技術中立，由業者依市場需求進行

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

彈性布建。

(三)建議延長執照效期，使業者具足夠利潤進行競爭，並能著手規劃中長期之佈局。

三、 陳文字教授：

(一)建議先釐清無線電頻率使用管理辦法第 12 條有關單一電信事業持有頻寬之限制，其歸屬數發部或通傳會之職責，並於釋照前處理頻寬上限之問題。

(二)建議重耕 4.1 GHz 以下之頻譜，釋出足夠之頻寬供行動通信業者使用。

(三)關於未來 6G（第 6 代）頻譜釋照之議題，建議促進業者間達成漫遊協議。

四、 劉莉秋副祕書長：

(一)根據去年第三季統計資料，我國行動寬頻市場消費者有 86%採用吃到飽方案，平均每月使用約 31 GB 數據量，其中 90.7%用於上網，且透過手機上網比率為 95%，顯示使用者高度依賴頻譜資源。目前技術成熟的頻段在中低頻段，我國共釋出約 830-860 MHz，然而國際上成熟的行動寬頻普及的市場，釋出頻寬約 1000-1200 MHz 左右，由此來看我國行動寬頻確實仍需要額外的頻譜。

(二)建議下次釋照時，能將低、中、高頻之頻譜整備完整（含清頻以避免干擾），並推出適當之頻譜拍賣價值及規則等配套政策。尤其發展到 B5G 或 6G，低、中、高頻因頻譜特性不一樣，有不同的定位，例如低頻的特性就是廣連結；毫米波則勢必要走向頻譜共享，如與衛星和諧共用，尤其未來 6G 應會與衛星有高度連結。

(三)建議檢討頻率使用費以頻寬計價之政策思維，降低頻率使用費之負擔。

(四)關於頻譜規劃，亦建議保持技術中立，由業者依市場需求進行布建。

五、 中華電信：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一)建議在 2030 年 6G 商用前，可以考慮釋出特定頻段，以因應 5G 頻寬之需求。

(二)釋照原則建議採技術中立之模式，對於新釋出之頻段課予適度建設義務則有其必要。

(三)建議以區塊方式釋出頻譜，或採兩階段釋照方式，以確保頻率之連續性。

六、 台灣大哥大：

(一)建議頻譜重耕後仍採技術中立，由業者依據消費者需求決定網路之使用技術。

(二)建議延長執照效期，以利業者妥善評估投資效益。

(三)課予適度建設義務有其必要，惟目前態勢尚未明朗，建議後續再持續關注研議。

(四)建議 119 年與 122 年屆期頻譜在這次頻譜整備一併規劃並揭露頻段以及何時釋出之資訊，給業者一個更完整資訊做完整的評估。

(五)目前 2600 MHz 頻段以 FDD Band 7 加上 TDD Band 38 釋出，並保留 10 MHz 的護衛頻段（Guard Band），其為閒置資源，建議將此頻段以 TDD Band 41 方式釋出。

(六)600、700、800、900 MHz 之 1 GHz 以下頻段可進行整體規劃，以釋出更大頻寬。再者，在網路建置成本越來越高情況下，頻譜效期應延長。

七、 遠傳電信：

(一)2030 年執照屆期應為 4G、5G、6G 三個世代的技術同時並存，故建議執照到期後重新釋出仍應採技術中立。

(二)針對 1 GHz 以下新頻段 600 MHz 與 800MHz 可與 119 年屆期之 700 MHz、900MHz 一併釋出，讓業者在低頻規劃能有通盤一次性的考量；不建議以分階段且比較零碎或破碎的小頻寬分次釋出。

(三)建議評估 119 年與 122 年屆期之頻段一併釋出之可能性，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

並支持延長執照之效期。

(四)建議 2600 MHz 執照到期後，評估全改為 TDD 方式釋出，以提升頻譜使用效益。

八、 數位發展部：

(一)數位發展部在釋照時保持技術中立，目前沒有計畫要進行變革。

(二)從上述與會者之討論過程，雖然對於頻率釋出時間尚未有共識，但是基本上皆同意 700、800、900、1800 MHz 頻段要重新釋出。在此請教各位業者，就目前 700、900、1800 MHz 三個頻段頻率使用規範（band plan）是否需要修改？再者，如同遠傳電信與台哥大建議將 2600 MHz 頻段由 TDD + FDD 全面改為 TDD 方式釋出；2100 MHz 頻段由 FDD 改為 TDD 方式釋出將進一步研析可行性。

議題二：新興 6G 候選頻譜探討

2.1：目前全球持續發展 5G，多數國家仍以滿足 5G 頻率需求為優先。請問我國目前 5G 頻譜是否足夠使用？若有建議再釋出之候選頻段，應優先關注哪些頻段？

2.2：參考 5G 發展，國際間對頻譜配置會採用低頻、中頻或毫米波頻段分別規劃之方式，若參考目前部分研究機構提出之 6G 潛在候選頻譜，有無可供我國參採之處？建議納入候選頻段為何？

2.3：WRC-27 之研究議題將 4400-4800 MHz、7125-8400 MHz、14.8-15.35 GHz 做為評估是否供 IMT 使用之頻段，請問我國是否應參考此一趨勢，將該類頻段納入研析對象？理由為何？

2.4：綜合參考 WRC-23 決議事項與主要研究國家，未來可供 B5G/6G 使用之候選頻段預期將包括 6425-7125 MHz、7-15 GHz 等，請問是否有其他可供我國可參考之候選頻段？

2.5：針對本研究研析之候選頻譜，是否其有他候選頻段之建議與看法？

一、 鄧添來前司長：

(一)1 GHz 以下是已被高度使用的熱門頻譜，唯一可用頻段僅

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

剩 600-700 MHz，若未來有製造商提供相關設備，便可以再討論業者是否願意使用 600 MHz 頻段，以及政府是否應發相關執照。另一個可能頻段是 800 MHz，然而近期推動 PPDR 時，這一段就因很多單位使用而難以釋出。

(二)建議政府部門推廣或補助相關垂直應用，以協助電信業者建立新業務之營運模式。

二、 張時中教授：

(一)整體頻譜規劃，不能只看行動通信頻段，另外亦需考量 Wi-Fi 的頻段，搭配來使用。

(二)建議建立三家業者皆有參與之 PPDR 共同平臺，課予參進者責任，在建置 PPDR 網路時，必須具備漫遊的功能，並且確保在真正需要使用或緊急情況時可以使用。

三、 魏學文教授：

(一)建議評估推廣毫米波頻譜使用效率之可行性。

(二)贊同議題 2.3 將所列頻段納入研析，惟需留意低軌衛星之議題。

(三)6425-7125 MHz 建議保留予行動寬頻通信，7-15 GHz 則需設法與固定衛星通信及其他衛星通信用途和諧共存。

四、 陳文字教授：中低頻段已非常壅擠，應審慎評估頻譜釋出之影響。另外，關於漫遊協定可能影響業者經營建立消費者對自家品牌的忠誠度，建議強調漫遊費機制，並公布電波涵蓋率、服務品質、QoS 等資訊於網頁上，以利用戶得知各業者的服務品質。

五、 劉莉秋副祕書長：業者都希望建立消費者對自家品牌的忠誠度，如果使用漫遊將涉及競爭議題。

六、 中華電信：建議全面盤點低頻段（600、700、800、900 MHz）之整體規劃。

七、 台灣大哥大

(一)低頻（1 GHz 以下頻段）：建議 600 MHz、800 MHz 與即將

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

屆期的 700 MHz、900 MHz 一起規劃，做最大頻寬一併釋出。

(二)中頻段：建議 n78 尚未釋出的頻段以及 U6 的 n104 的頻段可以優先列入考量。

(三)毫米波：參考國外業者經驗，以毫米波建置行動通信網路可能會影響消費者的體驗，導致業者無法再持續投入，故建議對於毫米波的頻譜釋出再審慎考量。

八、 **遠傳電信：**建議可優先考量 WRC-23 決議作為 IMT 使用之頻段，如 4.8 GHz 及 U6（6425-7125 MHz）頻段。另可關注後續 WRC-27 將討論的頻段，如 4.4-4.8 GHz、7.125-8.4 GHz、14.8-15.35 GHz 等，依循國際標準之生態系（ecosystem）的成熟度較高，可加速商轉時程。

九、 **數位發展部：以下探討可供 IMT 使用之潛在頻段**

(一)600 MHz 頻段（632-652 MHz / 678-698 MHz ）：基本上可為 IMT 使用之潛在頻段；

(二)530-608 MHz 頻段：為無線電視使用，其為廣播電視法所規管，故不太可能更動；

(三)530 MHz 以下頻段：為警察使用。若業者可以提供 PPDR 功能，或許就有可能釋出 480-530 MHz 頻段，將既有警用進行移頻；同樣的若業者可提供專網服務，那可以往下延伸至 440 MHz 左右的地面中繼式無線電（TErrestrial Trunked Radio, TETRA）系統；

(四)C 頻段部分：

(1)4.2-4.5 GHz 頻段：同樣為警察使用，狀況與上述相同；

(2)4.6-4.8 GHz 頻段：若業者有興趣，也可以討論；

(3)4.8-5.0 GHz 頻段：以 ITU 規範，離海岸 12 公里以外訊號強度需低於-125 dbm。目前即使是供專網使用，也只能用於工廠內使用；

(4)以 5G 釋出之 3.3-3.57 GHz 頻段，原本認為室內穿透力

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

差，涵蓋範圍有限，但台哥大提供一個很好的經驗，可作為下鏈(downlink)使用，作為補充頻段(supplement)。此方式是否也適用於 U6 頻段？是否從 10x10 的 MIMO 提升至 25x25 的 MIMO 或是 100x100 的 MIMO？

(5) U6 頻段可與 20 GHz 以上頻段一併討論，包括是否採用拍賣釋出？執照範圍適用全區，或是限定區域？這將關係到既有使用遷移的問題，也是評估成本的重要考量。

議題三：6G NTN 環境下帶來之頻譜資源競合議題

3.1：國際間已有出現衛星與行動通信互相競逐頻譜資源之情事例如美國之 12GHz 案例之爭或 3GPP FR3 相關頻段皆有類似情形，請問對於行動通信與衛星通信競合頻譜資源的看法為何

一、 **魏學文教授**：建議配合國家政策思考，倘若我國政策為租用國際衛星網路，則僅需發展地面站臺即可；若我國政策目標是發展衛星或無人機，相關頻譜規劃則需有更長期之規劃。

二、 **陳文字教授**：6G 行動若與非地面網路(Non- Terrestrial network, NTN）產生競合，建議重心放在地面網路通信。

三、 **中華電信**：基於必要性與韌性，建議保留一、兩重要頻段給衛星使用。

四、 **台灣大哥大**：我國業者難以自主擁有一個衛星通信網路，須與國際業者合作，建議持續再觀察。

五、 **遠傳電信**：建議持續關注並跟隨 ITU 及 3GPP 等國際組織所制定的標準規範。

議題四：其他

一、 **張時中教授**：

(一)頻譜共享係頻譜管理之重要方式，包含如何共享及干擾管理等，在頻譜規劃及釋出政策上，應融入這方面之思考。

(二)建議由業者或社會需求角度出發，評估是否規劃更多實驗頻段供各界利用。

(三)頻譜政策能提供特定誘因，促進頻段創新使用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

二、 **陳文字教授**：未來技術如成熟，或可期待透過人工智慧（artificial intelligence, AI）或機械學習（Machine Learning）進行頻譜之分配。

柒、臨時動議：無。

捌、散會：下午 5 時 10 分

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件六 「6G 跨域應用與頻譜管理探討」座談會會議紀錄

壹、 時間：民國 113 年 8 月 21 日（星期三）下午 2 時整

貳、地點：集思交通部會議中心 201 會議室（臺北市中正區杭州南路一段 24 號 2 樓）

參、主持人：財團法人電信技術中心巫主任國豪

肆、引言人：陳文字 教授　　**紀錄：** 呂助理研究員少琪

伍、出席單位：（詳如會議紀錄）

陸、長官致詞：（略）

柒、綜合討論摘要：

議題一：

6 G 技術下 AI 應用的創新、頻譜資源需求與管理挑戰：

1. IMT 2030 定義 6G 技術將整合 AI 與通信使用情境，透過 AI 以有效使用頻譜資源，6G 之 AI 應用發展方向與對頻譜資源需求的影響為何？
2. 應用 AI 技術於網路資源管理的挑戰為何？設備供應商之角色與技術發展進程為何？
3. 頻譜資源的管理和分配應如何適應和支持 6G 技術運用 AI 的發展與挑戰？

一、 林咨銘 博士：

(一) 6G AI 系統將著重於終端與網路間之協調，包含偕同學習和模組交換。

(二) 系統技術需求包含傳送延遲、可靠度、服務範圍、安全性與永續性。

(三) 網路資源監控與管理可考慮量化指標與質化指標，包含服務之精準度、延遲與密度。

二、 張時中 教授：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一) 在 5G 時代時，中頻段使用狀況算是相當不錯，然而部分當時所提出之應用與願景不如預期，如車聯網之應用。

(二) 建議透過盤點過往座談會討論議題或整合 5G 時代下學習到之經驗與收穫，以幫助未來 6G 時代之洞見。從 5G 過渡到 6G 可由哪些方面獲得資訊？

(三) 以行動通信來說，有兩個關鍵，一個是涵蓋；另一個是容量（capacity）。6G 時代中隨著非地面網路（Non-Terrestrial Network, NTN）技術與異質網路之使用，延伸出另一個議題為相較於地面上使用各樣系統支持，使用成本較為昂貴，但卻可達成高涵蓋。以經濟考量來說，最大的用途為國防或是急難救助，故以涵蓋率而言，6G 可提升整體垂直涵蓋。

(四) 以 5G 概念延伸之廣連結，與容量（capacity）相關。5G 使用到現在最大的不足是無法與人類需求結合，若要與人類需求結合，可透過與廣連結與 AI 結合，達成需求為下世代做足準備。

(五) 隨著生成式 AI 之爆發，6G 與 AI 之結合，若能滿足情感、情緒，以及喜好，則可以預先釐清新服務需要怎樣的頻譜需求。

(六) 從 5G mmWave 學習到什麼？

三、 **鄧添來 前司長：**

(一) 所謂 6G，用口語化來說明，即為「全域超高速廣連結的智慧網路」，才能達成 6G 之目標，5G 就沒有全域（沒有 Ubiquitous），因此 6G 改進得非常好，但也不是最好，技術仍會持續進步。

(二) 至於未來的應用來說，4G 時代以「人」用為主（dominate），5G 以後以「物」用為導向。舉一個情境案例，業者或許可以開發，近期我國有颱風，果農以人工方式採摘的話速度要很快，耗人力是很辛苦的事情，若以機器人連接，並拿一個柚子成熟的樣子給他看（學習），以 AI 的方式，把成熟柚子的摘下來，不成熟的留在樹上冒險。要有此應用必須有以下：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

果園要能與 AI 連接；機器人要有多接取邊緣運算（Multi-access Edge Computing, MEC）。

(三) 另一個應用為，國際海事組織（International Maritime Organization, IMO）正在研究，將來船舶就是一個基地臺，基地臺對外連結，鏈接 feeder link 利用衛星網路，船的控制、所有設備的控制都是行動專網，如此可以把連線減到很少，載重的容量就大，將來若改用電力其效率更高，因為牽涉海上人命安全，IMO 的研究短期可能還不會出現，因為必須非常謹慎，像是全球海上遇險和安全系統（Global Maritime Distress and Safety System , GMDSS），不能出任何安全問題。

(四) 未來頻譜使用方面，以我個人從事頻譜管理之經驗，過去從 1G 到現在邁向 6G，回過頭看，1G 的頻譜給 2G 使用，2G 的頻譜給 3G 使用，以此類推，將來 6G 的頻譜也是向下涵蓋，可使用前面所有的頻譜。需要涵蓋大可使用 1 GHz 以下頻段，在距離很近的話，智慧工廠裡也可以用 28 GHz 頻段，所以依照使用需求讓業者自己調配頻譜。業者目前遇到問題是執照核發效期為 20 年，但行動通信時代以 10 年為一演變，在 refarming 頻譜時有其風險，若在競標時又沒有取得之情況下，投資的設備就會白浪費，因此在管理上應考量這個問題，牽涉相當多的問題。

(五) 未來頻譜的資源，如何調適支持 6G 之應用，基本上現在的行動通信使用頻譜都可以沿用，所以管理單位最困難的就是如何再找新頻譜來使用。如我國 600 MHz 頻段目前空著，若有設備就可以使用，而 6 GHz 頻段（U6）應該也可以開放，如此可以增加頻譜，但並非 6G 只能用這兩個頻段，這是大家要有共識，若 refarming 的話，在管理者與業者之平衡點，業者運用 6G 的高傳效，再利用 MEC 的近距離處理，包括自駕車都要用 MEC，這是未來要分散作業的問題。

四、 魏學文 教授：

(一) 從早期智慧型手機的發展可以感受到「速率可以創造服務」

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

的發展趨勢。4G 時代大幅提升 throughput（相較於 3G 差距非常大），可稱之為經濟的跳躍，至於 5G 時代則解決 IoT 之問題。至於未來 6G 有六個特性，整體指標皆有所提升。

(二) AI 加上網路加上 IoT，這個平臺到 6G 時應該是算成熟，該平臺只要有辦法想像出來的應用，從技術上應該不用太擔心，現在問題是，我們用這個平臺要做甚麼，從 5G 而言，一直覺得推展不佳，因為一般使用者對 IoT 無感，使用者在乎最高速率（peak rate），4G 的 peak rate 已經足夠用於智慧型手機，那就沒有誘因去追求更高的 peak rate，現在最大的問題仍然是沒有 killer application。通常技術的推動跟演進，有時是需求推動技術，另一是技術帶動，服務創造出來。從通信的發展史來看，後者有其風險，如綜合業務數位網路（Integrated Services Digital Network, ISDN）就是有名的失敗例子，技術走太快，但應用未跟上，因此比較擔心的是 6G、AI 發展速度快，後面有沒有明顯的 service，至少目前看不到，雖然目前有提倡醫療、沉浸式通信應用等，仍需要進一步觀察。

(三) 頻譜資源問題，像是對於 Dynamic spectrum 一直寄予厚望，的確可以讓頻譜使用資源最佳化，從國家角度來說是好事，可是近幾年發展也沒有業界常採用，技術的東西加上人性，可能 AI 就不管用。對於電信業者來說，手上握有頻譜可能是戰略資源，就算自己沒用也不會給對手使用，雖然把頻譜資源租給他人可以收到租金，對雙方公司、消費者都有利，但是當業者將公司競爭度納入考量時，就不見得是如此，因此 AI 或是資源最佳化有時候應加 condition。

(四) 另外，當 6G 網路加上 AI 做垂直式整合，如果整合落在同一家公司，AI 就能下指令以發揮最大效益，將複雜的事情交由機器人來做，可是如果有些網路屬於別公司，如核心網路、網路使用效能、基地臺等，是否會願意給別人知道？6G 有辦法創造單一網路嗎？如果沒有，要將網路升到極致，是需要思考的問題。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

五、 李揚 副主任：

(一) 資策會在通信應用方面有做一些前期研究，希望在前瞻和產業之間做個橋樑。觀察 5G-IA、6G-IA，發現從 RAN 慢慢到核心網路，一路到現在就「如何在整個網路運用 AI」進行討論。針對 RAN，大家都知道無線接取網路智慧控制器（RAN Intelligent Controller, RIC），接近即時（Near Real-Time, RT）無線接取網路智慧控制器（Near-RT RIC）能夠協助接取網路（Access Network）進行換手或節能，目前下一步是著重於討論解決干擾問題。另外針對核心網路，我們也有很多智能 AI 的網元（Network Element），如網路資料分析功能（Network Data Analytics Function, NWDAF）。

(二) 前述所說分析模組（Analytics Module），用於蒐集核心網路的資料，來做 AI 的判斷。此外，目前網路剖析（Network Dissection）也是一個很熱門的主題，尤其 Chat GPT 上市後，很多的業者也在思考操作者（Operation 的人）能否透過提問的方式，就是用文字敘述的方式，得到一個初步的答案，然後來解決網路營運的問題，這大概是網路上的 AI 應用。

(三) 我國去年公告「行動寬頻專用電信網路設置使用管理辦法」，目前大概有 100 多家的正在審查或是已透過，但 4.8-4.9 GHz 頻段現在遇到的問題是終端設備不夠，因為 4.8-4.9 GHz 在全球來說算是比較特殊的頻段，所以在做 5G 專網時有蠻多場域主都覺得終端設備不夠，都是用數據機（Modem）方式來對接他們現在的設備，對他們來說造成一些困擾。未來 6G 是否會有類似行動寬頻專用電信網路的相關管理辦法，可能也是一個值得探討、提早規劃的事情。

六、 陳思豪 副所長：

(一) 網際網路的發展與資通信科技，其實不是說網際網路發展到 6G，所有的生活都會變，而是整個科技需要一直進展去帶動，所以雖然我們對 5G 有一些想像，可是現在科技也還沒發展成熟，如當時 3G、4G 是在 iPhone 問市後發展起來。但不代

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

表因為科技還沒發展，所以網際網路就不用發展，因此建議應提早準備以因應未來的時代，而且尤其現在行動寬頻或是網際網路對整個國家資源頻譜的使用需求相當重要。

(二) 雖然現在 5G 是以物為主題，但是以目前提出的 6G 情境來講，它又會跟人有密切的關係，如感測、感知等應用。當整個環境整合來提供服務時，「人」又會是關鍵的要素，及結合 AI 之後，應如何利用所取得之數據更是關鍵。如日本提出之白皮書中提及虛實整合的環境現場監測，然後隨時回饋到人身上，可能會產生海量的數據以及多樣化的數據類型，再導入 AI 運算與輸出。

(三) 以頻譜來看，5G 是第一代導入毫米波頻譜，就目前來講，如同張老師提到，現在會議上比較少有毫米波頻譜相關之成果討論。日本 6G 白皮書也提及毫米波的發展仍然有待克服。

(四) 在 AI 與電信網路應用上近期可以看到 Ericsson、Nokia 等設備商已經在網路或服務導入 AI，如中華電信與 Ericsson 導入 AI 應用在節能方面之情境。

(五) 針對網路資源管理挑戰部分，第一個直覺想到是網路中立性議題，現在在 slicing 上可能就會有這樣的議題，未來 AI 在網路資源管理、流量管理等也可能有此議題。再來是平埔管理上，導入 AI 進行頻譜干擾處理，到共享、共用，應該是未來一定會發生的事情，那在這樣的情境下，應思考 AI 去調度頻譜是否公平分配？如何分配？如何訂定優先順序？另一方面，AI 的個資隱私之議題也必須考量。

(六) 針對頻譜資源的管理分配上，若能透過 AI 減少一些干擾問題，及透過 AI 增加更多頻譜共享、共用的可能性，如此可以更有效的整合運用頻譜資源。

七、 中華電信：

(一) AI 在行動通信演進時值得關注的議題，特別在行動技術與 AI 結合，其想像空間很大，值得持續關注。在頻譜管理方面，AI 對於 6G 結合的頻譜影響需求，合理判斷需求會變

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

大。AI 之應用，如物聯應用會變得更多元，頻寬需求會更多，還有一些虛擬應用，在 AI 導入之後運算會非常龐大，終端的自主運算以外，且絕大部分數據會在雲端做運算，龐大的資料量需求會導致頻寬需求較大幅成長。

(二) AI 技術會提升效率，但是行動通信之頻譜基本上是排他性，各業者自己在頻寬上自主使用，其瓶頸是彼此間要有保護區（guard zone），就是最大的頻寬需求，現在在技術上已經非常多的方式來處理，幾乎使用到非常極致，這部分要做頻譜使用效率的改善，我們覺得即便是 AI 導入，改善空間比較小，但是頻率需求增大時，但是頻譜資源有限的情況下，未來勢必談論到共享的議題，特別是行動跟其他無線服務的共享，或許在 AI 可能在某些頻段與某些無線服務上面會有幫助，以及行動服務的供給也有幫助。

(三) 不僅許多設備商、組織在倡議提出頻譜需求，全球很多主管機關，如美國 NTIA、英國 OFCOM、澳洲 ACMC、日本總務省、韓國 MSIT 都有發布頻譜策略計畫（Spectrum strategy plan）白皮書，對於未來三、五年至中長期需求進行預測。雖然 6G 還有一段時間，但是整備頻譜不是沒有急迫性，特別在上次會議提到，5G 從頻率上面，108 年釋出 270 MHz 頻寬到現在 113 年 4G+5G 大約為 870 MHz 頻寬，頻譜大概成長三倍左右，然而十年來從 701 **Terabyte**（**TB**）到 11,000 多 **Terabyte** （**TB**），是十幾倍的成長，可以想像至 119 年（頻譜 refarming）前還有四五年的時間，可能有幾十倍的成長，這樣頻譜的供給與使用者需求的情況，可能會產生不匹配的狀況，更何況 6G，我們可以直觀判斷頻寬需求會更大，所以建議加速頻率的整備與盤點。

(四) 另外在管理方面，在 refarming 頻譜時，如果頻段到時候頻譜競標沒有取得會造成投資上面的損失，網路上面都會有不少的影響，建議關鍵頻段應該分批進行拍賣，不要全部集中拍賣。

(五) 對於 5G 來講 mmWave 的使用有很多選擇，包含 26 GHz、

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

24 GHz、28 GHz 頻段，但是對於衛星來講，非常多衛星系統依賴 28 GHz，不只 feeder link，service link 也是，28 GHz 就是一個衛星非常核心的頻譜，在管理上面來說，若 service link 的衛星沒有辦法跟行動共存的話，建議有必要在針對衛星核心頻段上面多一些支持。

八、 **台灣大哥大：**

(一) 以目前觀察現有與潛在廠商或設備商，有提出一些 6G 技術，且希望能夠 reuse 現有正在使用之頻段。先探討頻段方面，5G 時主要使用 FR1（即 6 GHz 以下），6G 時希望從 FR1 再往上推；以技術方面來說，如 Qualcomm、Samsung、Nokia 等，從各家設備商所提出之報告看到的交集是 Multi-rate spectrum sharing，看起來是可能潛在技術之一，但距離 2030 年還有 6 年，未來會如何還不一定。

(二) 6G 頻譜方面，目前看起來目標是延伸至 15 GHz，從 6 GHz 到 15 GHz 頻段，但這一段頻譜目前仍有很多既有使用者，所以並非僅是業者之間互相 share 頻段而已，而是 6G 可以向下涵蓋 5G、4G，像 unlicensed band、CBRS。而有一些軍用、有一些商用，中間有行動使用，或是 Wi-Fi，希望是 6G 不只是自己的頻段可以用，5G 的頻段也可以使用，Wi-Fi 的頻段也能用。

(三) 反過來說，應在頻段 allocate 的時候保留一些彈性，如 6 GHz、7 GHz 已發放給 unlicensed band 使用，那 IMT 想要使用時可能就不能使用，或是像衛星使用頻段（如：10 GHz、12 GHz 15 GHz 等頻段），那 6G 想要使用時是不是可以用，認為在政策上需要保持一些彈性。因此我認為，在頻段這件事情，因為頻譜珍稀以及技術還沒辦法看得到，政策應保持彈性，對於國家競爭力與消費者利益最大化比較有意義。

(四) 以 FR2 來說，從 5G 國際業者的經驗來看不太成功，如美國花了不少錢在建設 mmWave，但並沒有發展起來；韓國業者也因建設不利，主管機關收回業者之執照；我國業者也繳回

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

部分頻段。其實並非業者不想建設，頻段的需求對於行動業者來說是非常重要的（urgent），需求一直持續每年成長，剛剛中華先進有提到，流量一直不斷增加，可是並沒有核配更多頻譜。在 mmWave 頻段方面，除了考量技術進步程度、成本是否達到經濟規模，還需考量發射的功率要能夠穿透，在還是只能作 light of sight，技術問題沒有克服之前，可能還是會失敗。另外，並非發射就好，大家市面上手機的規格有支援 mmWave 的非常少，我國幾乎找不到（新手機）。那對業者來講，就算有頻段的需求，也很難去推動它，並不是業者不想發展，業者花了大筆的資金，單一業者不太能夠挽回，而是技術上難以克服，且成本降不下來（包括頻段、radio 建設、UE 等），這些成本加上去時，消費者不見得買單。所以 FR2，甚至未來 6G 甚至到 THz，可能面臨相同的問題。

九、 遠傳電信：

(一) CBRS 是美國所提出之頻譜共享的機制。近半年有持續觀察到一家公司叫作 Palantir Technologies Inc.（PLTR），其與美國國防資訊系統局合作，把國防部雷達頻段 3450-3550 MHz 透過頻譜管理的系統去做軍事跟商用規劃，這系統在 2023 年 7 月正式上線。因此不管是 CBRS 還是 PLTR，反映頻譜在未來共用是趨勢。

(二) 以 CBRS 概念來說，目前在美國雖然有共享，但是其用在 rural area 的地方比較多（約占 70%），以此概念而言是不是適用於我國人口密集區，仍需思考。目前 PLTR 有導入 AI 功能，AI 不外乎就是要建置一套系統，即時去蒐集專案，目前我們傾向於跟台哥大先進一樣，在頻譜規劃中希望保留一點彈性且甚持續觀察，畢竟如果以 service 去驅動，這對民眾是比較有利的方向。

(三) 針對議題一，各家電信業者應該多少都會運用到動態頻譜調整（Dynamic spectrum sharing, DSS），再來就是 6G 技術未來有可能像大家一直都在考慮 mmWave，雖然如韓國的例子，以及我國電信業者所用的案例，不管說是雨衰或是距離影響，

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

導致我們無法透過 mmWave 大量在戶外進行布建。如果 6G 未來持續朝向高頻化發展，它的頻譜特性會導致設備建設密度應該會比現在更高，藉由 AI 可以透過自主調整功率大小，或是達到干擾管理，但是如同先進所說，干擾並不是透過 AI 可以完全解決，他必須要從頻譜的源頭規劃以及管理來著手。此外，未來頻譜的增進仍是未知數，因此建議站在鼓勵新技術的立場補助業者採用一些相關技術達成節能減碳，促進資源效率的應用，提升更好的給用戶。

十、 **沈信雄 專委：**

(一) 5G 給我的教訓是擠不出來頻譜，已經不可能再像以前一樣，清一塊非常乾淨的頻譜專門提供給行動通信使用，當時 5G 頻譜釋照時，就面臨有線電視、ST2 等既有使用者，或許業者標到乾淨的頻率，但鄰頻不乾淨，故當時政府補助有線電視業者加裝濾波器。

(二) 觀察電腦的發展，從電腦之演進開始，我認為叫數位化，接下來是 internet，叫網路化，今天走到 Cloud（Data Driven），那行動通信會不會如此？行動通信我們都知道單數時代比較屬於概念認證，那偶數時代才是業者能夠賺錢的機會。其實我們可以看到有一點像，所謂 2G（GSM 技術）的時候，其實就是數位化；跑到 4G 的時候變成網路化；如果到 6G 資料驅動（Data Driven）的時候，大家不要認為不可能，因為目前 3GPP 之會員亦包含雲端業者，所以不一定有殺手級應用（Killer application），但是會有 Killer，這些不見得會對電信業者很友善。

(三) 所以從以上來看，我想頻譜共享可能成為必然，此時電信業者就不再會是拿到第一優先使用權，可能是第二優先使用權。綜觀華為、Ericsson 等在頻譜上，未來有沒有可能其實基地臺跟手機就已事先溝通彼此的無線變換器，溝通後再搭配資料庫，能夠知道附近有什麼其他 higher priority 的使用者在使用，然後再來決定你可以用哪裡，也許可以加上 end device 想做什麼應用，然後可能用最低的頻寬，或者是在 QAM 上

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

面能夠到最大的 QAM，然後盡速滿足你的需求用最小頻寬，那這個就是我覺得 AI 在頻譜上的應用。

(四) 在這種狀況下，再看到剛剛陳老師的簡報，業者也有討論到毫米波或是有所謂的 6 GHz 以下涵蓋，6-30 GHz 是地面通信（Terrestrial Network, TN），那再高一個頻率可能做什麼，其實電信業者基地臺模式絕對不適用，如果不適用，那電信業者會不會在每個人家裡做？我覺得也不可能，即使我們只有一家，中華電信光纖到府（Fiber to the Home, FTTH）的教訓，這麼多年，即使我國只有一家行動業者，也很難做到在每個室內都有毫米波基地臺。在這個時候，會不會有民眾自己用的 IMT 頻段，其實就是跟 Wi-Fi 一樣，是不是最終會融合 Wi-Fi，這個我只是純粹發想而已，那在這種很高頻的頻段上面，就已經是 Wi-Fi、IMT 部分，Wi-Fi 不見得變成是可以個人使用的所謂低功率的 IMT。所以如果是這樣子，其實未來 IMT 頻譜的長相會有很多種，一個是現狀，也就是我們說比較低頻的部分會是乾淨的，業者專用分開來，每個業者用多少；中頻段部分可能還會是業者不是 second priority，但還是可能是業者分開來；再更高頻的會不會是業者一起用，也就是說消費者今天在我家隨便買一個，然後我隨便找一家業者簽約，那在我家這邊就是這個業者，但這會涉及到另外一個問題，這是當年微型基地臺（picocell）也有的問題，就是我朋友來我家，他跟我採用不同的業者，難道我簽約的這個人敢收他漫遊（roaming）的錢嗎？你如果這樣，我一定就撤掉你這個業者，那所以事實上就會變成在某些情況下，業者之間必須允許消費者漫遊（roaming），那整個未來就會非常有趣。所以這一段讓大家一起用，到底是我直接給業者，比如說三家共同，或者是說我直接給消費者。

(五) 我看到現在 5G 最新的 R19 強調應用程式介面（Application Programming Interface, API），另外還強調在異質網路上所有功能都持續，也就是說如果是一個類似 Wi-Fi 的應用場景，我還是可以使用到我的 mobile operator 的服務，這會不會變

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

成未來的一種新發展，我覺得還是可以觀察，但是可以確定的就是說，至少在頻譜擁有者上面，未來會有越來越多樣的態樣。

(六) 行政機關看到 AI 最高興的事情就是它可以在不影響既有使用者下讓電信業者使用，但接下來，就會有人說電信業者該怎麼用？各自擁有或者是採合作方式，如：在沒有人的時候你就可以用，那有人用，你就要等他，這個時候你可以占用的時間，一定不是永久，可占用的時間是固定時間，或者是用完再換，那這種持有的方式會變得更複雜，所以解決了一個問題，然後我們又發現，轉過頭來又是另外一堵牆，我們現在就是在各種牆裡面撞來撞去，然後期待技術可以把我們的牆拆掉。

十一、 陳威呈 科長：

(一) 作為頻率主管機關，想像 AI 的加入，應可提升管理頻譜之工具使用。

(二) 頻率管理可透過以下三個工具達成在多個使用者同時使用，且不受干擾的情況。第一個是不同時間使用，第二個是不同地點使用，第三個則是不同頻段使用。

(三) 上述三個情況不變，卻要達成共用之技術延生為免執照頻段所使用之 License Before Talk、DSS、TV White Space、CBRS，以及現在的 AFC 等。其實就是在頻率不夠用變稀有的情況下，添加新技術，AI 議題亦是如此。

(四) 對頻率管理者來說，AI 使用之前提，需掌握現在既有資料，才可透過機器或 AI 控制使其有效分配。

(五) 單一業者可將所使用之效率提升至最大，過往 AFC 免執照頻段與專用電信共用，CBRS 則是讓軍方使用頻段可釋出供大家使用，TV White Space 為廣播頻率共大家使用。若達成頻率最大效率使用可使彼此之間不互相干擾。

(六) 5G 發展 5 年尚未達成當初設立之願景，若要持續發展 6G，關鍵點可能與技術成熟與否相關，而是商業模式之拓展。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(七) 目前 6G 願景為地空整合，以及人口涵蓋率，更遠大的目標為不包含室內空間，在物理涵蓋率達到百分百。以現階段 6G 發展，以及 AI 設定情境，需要可實踐之技術與需求。在上述條件限定下，可考量是否持續發展 6G？

(八) 人口涵蓋其實已在 4G 時代達成，如此一來，是否代表 5G 時代並未達到發展願景之設立，類似發展 3G 時代看 2G 時代的大躍進。故對應專委所提及之單世代僅為概念性發展，是否雙世代才可實踐單世代設立之目標。

議題二：

6G 之 NTN 與 TN 之頻譜資源競合議題：

1. 在 NTN 與 TN 頻譜資源的競合議題上，NTN service link 在使用 MSS 或 IMT 頻譜時會面臨哪些挑戰和機會？
2. NTN feeder link 與 TN 頻譜資源的競合議題上，NTN 之 FS 應如何與 TN 之 IMT 共享頻譜資源？有哪些技術和政策措施可以促進 NTN FS 和 TN IMT 頻譜共享的實現？
3. 我國在推動 NTN 應用方面，實際需求是什麼？在滿足這些需求的前提下，需要釋出多少頻譜資源來支持 NTN 的發展？電信產業對我國 NTN 應用前景看法如何？
4. 針對 NTN 使用之頻譜，應採用哪種頻譜核配方式？例如，評審制、公開招標制、拍賣制或其他適當方式？執照年限幾年？

一、 遠傳電信：

(一) 我國行動通信人口密度已經達到 99%以上，不過如同科長提到，在未來 6G 可能著重以地理涵蓋達 99%，而非人口面積涵蓋達 99%，這個議題蠻值得探討。

(二) 在行動通信之演進過程，衛星是相對少數人會使用，加上我國消費者對於價格較為敏感，若依美國 Starlink 的套餐資費來看，499 元可享有吃到飽服務，但是是以美金計算。因此在行動通信方面，一般民眾通信都是以行動通信為優先，建

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議在頻譜分配上先參考 ITU、WRC 之規範。若未來進行釋照時，還是建議以行動業者為優先進行評估，畢竟民眾不太可能每個人都使用到衛星，除非是比較特定的場域。

(三) 第二個部分是，因為像 NTN 主要用於強化網路韌性跟國安，所以初期會建議以實驗 POC 的性質，視需求擴大採逐步開放方式，以保持彈性，並依 ITU、WRC 規範與決議做滾動式的調整。

二、 台灣大哥大：

(一) 針對議題 2-1 探討 NTN service link 面臨的挑戰與機會，其實 NTN 的 service 法人大部分都是國際上比較大的業者（player），幾乎是少數或集中在幾個國家，我們是希望幫他解決問題，還是說從我國希望能夠發展出什麼樣的服務與產業應用，得到什麼 benefit 的角色，我的發言方向是從後者這個角度出發。

(二) 若國際的 big player 想要在我國直接推行服務，這可能就不是我能說他遇到什麼困難，非我這個立場可以提出。若願意找我國的行動業者合作：

1. 第一個前提是頻段的 owner 是行動業者所擁有的頻段，不然不會找行動業者，這件事情其實很明確。不管是現有頻段，或未來申請獲取之頻段，一定是行動業者擁有的頻段，不然其直接就可提供服務，因為對臺灣任何產業沒有依賴性；
2. 第二個找行動業者合作的好處，其希望可以快速達到所有行動 user，以自己去推一家一家用戶去銷售，相對來說比較困難，他們會期望在短時間內能夠衝刺比較大量的業務；
3. 第三個是成本，這個頻段雖然沒有建設的成本，但需支付租用衛星發射、頻段使用成本非常高。因此以行動業者來看，NTN 相對於 IMT 行動發射成本來講非常高，但反過來說，因為是在天空，其拿到頻段的容量有限，手機的天線測得到的功率有限，不可能像地面這麼大，以

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

歐洲來說希望能有 15 MHz 或 2 家業者能涵蓋 50 km 半徑的人數，但成本相當高，是重大的挑戰。

(三) 議題 2-2：以頻譜共享來說，近期的案例為 Space X 想加大功率，因為發現其已經發射上去的衛星的效能不如預期，因此希望功率能夠加大，馬上就受到 Verizon 和 AT&T 向 FCC 提出反對意見，且直接計算出干擾對於鄰頻還差了幾 MHz，建議降 18%的 throughput，這件事情我們其實很害怕，因為幾乎衛星業者想要用的頻段，因其不在地面，涵蓋範圍非常大，造成的干擾可能目前技術上還沒辦法這麼有效的突破。衛星的碟子最大大約為 6 公尺，至幾 10 公尺，再大就這麼大，因為發射成本非常高，干擾問題是行動業者最大的考量。

(四) 議題 2-4：執照的發放，可能要考慮 LEO 衛星的技術，其轉換期很快，因為幾年就會換下來，不像 GEO 是幾十年，兩者技術上不一樣，所以頻段的使用在年限上要再考量。另外，若在我國要大力推廣或普及，其成本非常昂貴，太貴的成本能夠吸收到的可能會是特殊的應用。

三、 中華電信：

(一) 先破題此議題，不管衛星行動用途（Mobile Satellite Service, MSS）或是 NTN，在我國來說，主要的應用是網路韌性、急難救助、緊急通信，甚至於是戰時的對外聯繫，所以站在應用情境來說，會與 TN 不太一樣。中華電信在這部分承擔更多的責任，有時候是甚至於沒考慮商業價值進行投資與建置，包含中華電信在今日（8/21）與中軌衛星達成合作，作為代理商。

(二) 針對議題 2-1，NTN 使用頻譜之機會與挑戰，機會就是為了國家的國安，主要在挑戰方面，因為低軌衛星主要是四大低軌衛星，對於 Starlink 與 OneWeb 來說，這個問題比較不大，因為其 service link 是使用 Ku band，但是對於另外兩家，Telesat 跟 Kuiper 來說，甚至於 SES，會遇到在 Ka band 可能與 5G mmWave 會有干擾問題，特別因為是 service link，在 Ka band 屬於上行（uplink），如果是開發是在陸地上，在

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

任何地方出現使用的話，那干擾也是不可避免的問題。

(三) 針對議題 2-2，在 feeder link 的部分，大部分都是在 Ka band，相對在 feeder link 主要就是衛星跟 ground station 或 gateway station 的通信，一般設置地點會是挑選過的，會設置在比較偏遠地方，以我們來說，我們會設置在自己的園區、自己的集團裡，所以相對干擾是比較可控制的，我們可以透過一些干擾防護措施建置隔離網，可以避免問題，這種 gateway station 設置點不會太多，所以干擾是可以控制的。

(四) 針對議題 2-3，剛剛提到說在 service link，剛剛提到那幾家可能進到市場，所以說干擾共存的規範上需要提早去考慮，如果說開發是針對非陸地（如海上），那當然問題小一點，可是如果是在陸地上，因為提供 MSS 的服務，干擾就必須考慮。

(五) 針對議題 2-4，回到一開始破題的用途與目的，建議是以評審制，考慮到將來提供這樣服務的業者他的技術能力、經驗、承諾，而且執照年限應該長一點，以確保維運穩定性。

四、 陳思豪 副所長：

(一) 針對議題 2-1，現階段 NTN 主要是補充地面涵蓋範圍，並用於緊急用途，所以現在是補充地面涵蓋，擴大涵蓋範圍，及強化韌性，並呼應剛剛學者所提及的 6G 部分，建構未來 3D 網路發展。同時在這樣的狀態下，衛星的導入可能會出現一些新的商業模式。針對既有地面網路的干擾問題，或是最近熱烈討論的 D2D 干擾問題可能是更嚴重的，這些都是需要去克服的。

(二) 雖然現行 NTN 多用於補充地面涵蓋，惟未來有可能衛星通信技術將足以跟行動通信進行抗衡，屆時我們需重新界定市場，其將影響如執照如何釋出，與執照相關制度等。

(三) 現階段 NTN 之應用情境包含：急難救助、強化網路韌性、網路涵蓋等，隨著國際組織、WRC 之規劃，或許是有一些比較明確的應用可以先定下來，也有地方需要去評估是否要

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

進行干擾處理。主管機關應讓相關業者知悉後續主管機關可能會有相關的規劃，或是若業者有需求，則可主動去向主管機關溝通。

(四) 針對頻率釋出及核配方式，主要還是依我國現行定義的用途進行判斷，如同剛剛中華電信先進所述，MSS 可採評審制。

(五) 針對年限部分，可以有不同的考量，現行 FSS 執照期限是 2 年，當時有設計的考量，若 FSS 與 MSS 的產業發展與應用情境類似，是否應拉其一致的年限較佳。如果再核配不會太困難的話，在考量相關的服務方案上，或許年限上不一定那麼長，並視未來情境用途的可能性與時間來調整。

(六) 不過就目前而言，「D2D 取代行動通信」一事可能不會在短期內發生，或許執照可以長一點，但應持續追蹤發展情形，提早因應未來需要調整。

(七) D2D 現在主要討論的頻段是 MSS 跟 IMT 頻段，以目前 MSS 來講服務是比較單純，可適用既有機制，所以討論哪些頻段釋出去、開放服務，頻率的規劃較為單純，但隨著未來發展，申請資格或是適用範圍等，就必須考慮其應用情境會不會與既有的服務產生有效競爭，若涉及競爭，亦即 D2D 服務與現有的行動通信服務已經不是互補取代而是互相競爭的情況下，可能就不適合用評審制釋出。那以 IMT 來講，現在美國和加拿大採用此方式，在沒有行動網路涵蓋的地方，衛星業者可以跟電信業者租用頻率使用，在 IMT 的體系下，應比較好就干擾部分進行協調。

五、 李揚 副主任：

(一) 剛剛中華電信先進說到的破題，我想大概比較偏向透通型模式，剛剛陳老師有提到，不是透通型模式的話，就會有衛星搭載基地臺，或者像 Starlink 與 T-Mobile 合作案現在提供的 D2D 服務，其 D2D 服務的服務鏈路使用 1990-1995 MHz 頻段，基本上已經干擾到行動網路的使用。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 如同陳思豪副所長提到的，美國係採取頻譜租用之方式，而 Starlink 與 T-Mobile 合作案係使用 T-Mobile 之頻段，但依美國現行規範，其提供好幾個頻段供衛星業者與行動業者商談租用的問題，不知道我國電信管理法是否設有頻率租用之相關規定，這是一種模式；另一種模式為英國的模式，亦即採用頻譜共享之方式來解決這個問題，然後來提前解決干擾相關事宜。

六、 鄧添來 前司長：

(一) NTN 在室外才可使用，在室內室收不到；而 TN 可以穿透建築物，NTN 的好處是 TN 到不了的地方，如偏遠地區、海上等可以提供服務，NTN 的服務未來一定要另外註冊，向 NTN 的業者註冊。

(二) 至於干擾的問，NTN 分為衛星和 HAPS，衛星整個頻譜由 ITU 核配，這部分我國無法管，但若未依我國法規設置地面站，其干擾我們也沒辦法處理，未註冊基本上應該是不能用的；若有在我國註冊，會盡量保護它，如中華電信 up link 會盡量避開干擾，儘量設在盆地或山谷等地。因為我國行動電話比較發達，若地面的訊號強過於它，20 dB 以上雖然有訊號，但不會干擾。而更麻煩的部分，NTN 中的 HAPS，因為成本很高，將來鼓勵參與的業者以合建的方式，對偏遠地區是有需要的。

(三) 以上之應用，不能說用到頻譜就要採用拍賣，建議按照過去的方式設臺，設臺要收頻率使用費也好，按照營收來收費，過去 2G 以前，是按照營收的百分比，這樣的話業者賺多繳多；賺少繳少，較為合理公平，這部分未來數發部要與財政部說明，因為預算法由其掌管。

(四) Wi-Fi 的發展已經要邁入 Wi-Fi 7，Wi-Fi 使用必須忍受干擾，自動去找頻率，目前我們用手機時沒有被干擾，是因為其會自動去找空檔頻率。未來如同陳教授所提的自動動態管理頻譜，所以有干擾就先跳出，若頻譜核配得足夠的話，就可以

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

和平共存且忍受干擾；若核配得不夠多的話，因為沒有地方可以跳，所以未來是不是有可能行動業者也可以跳用 Wi-Fi？如果未來需要緊急救災時，HAPS 還無發發揮作用時，建議用無人機處理災害或山崩等緊急狀況，也可以衛星接到手機轉 Wi-Fi，若訊號轉為三家業者其中一家，其他兩家業者現場沒辦法收到，如果轉成 Wi-Fi 大家都收得到，所有的用戶收到的話，它可以用 Wi-Fi 對外聯繫，Wi-Fi 在山區裡沒有干擾且人又少，所以如果可以的話，用無人機傳訊號給它，再轉成 Wi-Fi，因為時間不會太長。

七、 張時中 教授：

(一) 在國際上，NTN 或 MSS 其成本相較於 TN 使用固網與海續成本較高，目前我國主要應用 NTN 還是軍警消，或是 profit margin 夠高的企業。對於偏鄉的涵蓋是 MSS 或 NTN 的好處。

(二) 由於是軍警消為主要應用，在討論頻譜時，我國目前不管是 NTN 或是 TN，軍方為主要使用者，而警消先前有參與過座談較理解他們的需求，故須了解軍警消未來的需求。

八、 魏學文 教授：

(一) 針對議題 2-1，我個人的淺見是，將 NTN 分為兩個部分：

1. 我國低軌衛星自主性較低，較擔心其頻譜跟地面 IMT 之頻譜重疊部分之干擾問題，建議持續觀察，如果干擾嚴重時應如何處理；
2. 高空平臺部分，因為目前頻譜核發時沒有限定地面使用，沒有想過未來有 3D 的網路，所以平臺層的頻譜執照與地面頻譜執照視為一體，較為單純。另一好處對於電信業者，容易把高空平臺與地面系統變成是完整的單一網路，至於網路當然要處理干擾。另一問題，高空平臺可使用之頻譜，三家業者有無剛好各為三分之一，如果剛好問題很好解決，不是的話，業者就不太願意，我的建議是業者最好同意，這樣最簡單，另外再發照會比較複雜，我國電管法開放頻譜共用，目前高空平臺商業競爭

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

性看起來不高，透過共網共站可能性高，我看好高空平臺的發展，由於我國幅員不大，政府可透過政策補助協助業者，雖然造價高，但是業者的實力應做得到。

(二) 針對議題 2-2，我的意見與中華電信一致。

(三) 針對議題 2-3，雖然 D2D 會做到商業服務，在我國應用情境，其競爭性或傷害性不會太大，其 throughput 沒有地面系統來得高，所以短期內不用擔心商業上的傷害，將來 NTN 的應用回歸急難救助與安全的部分，政府可以做一些補貼，我個人贊成用 IMT 去推動，它的挑戰就是基地臺，不確定無人機是否能克服基地臺的重量，高空基地臺用 IMT 來做的好處是，如我國細胞廣播系統可以建起來，如果高空基地臺採用 IMT mode，當我們有重大危害，用細胞廣播系統廣播，所有人都可以收到。建議高空平臺往急難救助的角度，國內電信業者有無可能採用共網共構的方式，去建立完整急難救助通信平臺。

(四) 針對議題 2-4，我贊成評審制，其實對於低軌衛星應該是兩難心態，一方面害怕干擾地面服務，另一方面害怕不提供服務，因為成本太高，目前傾向評審制。有一初步想法，有沒有可能頻率的使用綁衛星？其優點是在衛星替換時，執照視自動失效。

九、 林咨銘 博士：

(一) NTN 服務應用包含物聯網、手機直連、與其他新興應用，皆可能與 TN 服務發生競合與衝突。

(二) 在行動通信衛星（MSS）方面，WRC-27 著重關注 700-2700 MHz 間之頻段。

(三) 干擾量測與共存研究仍是目前的重點。

(四) 對應魏老師提出之 HIBS 與 HAPS 議題，未來若有相關議題可找台經院一同與會參與。

(五) 由於我國環境與國情特殊，NTN 議題對於我國相當重要議題之一，NTN 組成包括 HIBS、HAPS、固定式衛星、行動

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

式衛星，建議我國可選定一個發展，建議在執照加上義務，讓取得執照者負擔一部分在戰時或災時貢獻或徵收的機制，以確保我國的需求，站在法律衡平的角度來說，如果要在執照中加入該義務，也必須確保得標者其利益能夠獲得滿足，因此建議執執年限應該要足夠長，至少要保證其營運計畫可以實現或營利可以回收。至於選擇哪種方式釋出，並無意見，僅提醒以選擇執照的核配方式會取決於執照發放的力量，採評選制，公部門會作指導，以政策為導向；採公開招標制，必須在政策與廠商之間做媒合；採拍賣方式，由市場機制做決定。因此須審慎考量。

十、 **沈信雄 專委：**

(一) 針對這個議題，首先我還是要先提出我的抱怨，現在大型郵輪、國際航線飛機皆有提供客戶接取網路之服務，惟若其使用 Starlink 之設備，該怎麼辦？以頻率管理的角度來看，只要不在我國領海領空發生，就無須由數位發展部核配頻率，數位發展部執掌頻率之公權力不及於公海與公海上方的領空，但是 NCC 處理射頻器材只有 2 種：管制性射頻器材、非管制性射頻器材，管制性射頻器材必需取得頻率核配，非管制性射頻器材就是大家都可以用。各位思考一下，縱使其於非領海使用 Starlink 之設備，但其會帶著器材進來我國，無論是管制性或非管制性此行為顯然違法，因此郵輪跟航空器應不能裝設 Starlink 之設備。NCC 針對這種射頻器材只有封存、銷毀 2 種處理手段，總不能讓輪船一進來我國就銷毀，所以這是個無解的問題。

(二) 針對挑戰和機會，大家講的都比較偏救災、救難，其實我覺得還有一個，就是未來的無人機可能會用到，空中計程車也會用到，但是我不確定空中計程車會不會成功，這個想法還太先進，所以不把它列入。還有一種，就是領海上面，我國號稱要轉向海洋國家，所以水上活動可能會越來越多，可能是風帆船、潛水之類的活動。對此，給他們網路接取能力之

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

目的其實也是為了救災、救生，然後萬一出事的時候，可以使用。針對救災救難需求，或採核配頻率，或封存銷毀，最終還是回到我原先的抱怨。簡言之，使用者沒有申請核配頻率，該器材就不能落地，不能落地，任何器材都不能用。

(三) 至於與電信業者的競合，我國 5G 通信能夠維持 2000 元以內吃到飽，已經天下無敵，致使如固網、衛星等通信服務難以成為對手。

(四) 針對衛星通信，一方面我國不是 ITU 會員，即使我們是 ITU 會員，我國也支應不起，尤其是低軌衛星。個人認為低軌衛星是全球環境下的三家寡占，且還涉及政治問題，亦即低度開發國家會認為發射衛星之衛星業者應對低度開發國家負有一定照顧義務。所以我也不覺得他們日子很好過，他們想要好好賺錢也很難，如果賺到錢，基本上就要去應付這些低度開發國家的需求。綜上所述，個人不認為我國應該做 NTN，亦不認為我國應有低軌衛星系統，沒有什麼實際效用。

(五) 如果今天是政策推動，我想也是由政策會去支應它，所以實際落地時，也是國家政策，我想電信業者對這個大概也不會有什麼意見。

(六) 目前我國固定衛星之頻率核配方式係採評審制，每一顆衛星都是單獨的頻率，弔詭的是，電信業者拿自己獨有頻率，係採拍賣或公開招標，然而衛星在 ITU 拿自己獨有頻率，落地卻採評審制，個人覺得這不是很公平，惟如同前面所述，目前衛星業者不是行動業者之對手，所以這個就算不公平也不在行動業者考慮範圍，行動業者也不是很介意。

(七) 至於說 MSS 用評審制，我覺得其實沒什麼大關係，倒是干擾問題，若有干擾疑慮，個人偏向就不應該給他過，因為電信業者的頻率是花錢標得的，你不能用 ITU 那個免錢的，除非要扛責任。本人態度就是說，這個時候我們就是低度開發國家，衛星業者如欲申請，即應該給予我們相應福利。

十一、 陳威呈 科長：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一) 現行 NTN 有兩種模式，以再生模式來說，假設業者拿到 IMT 頻段是全區執照包含天空，業者相對沒有意見。數發部有針對 NTN 再生模式進行測試，未來幾年會與業者進行深度合作。如中華先進提到的急難救助，亦是 NTN 再生模式的一種，也許未來可變成魏教授所提及的共頻共網運作模式。至於通透模式，對於 IMT 業者來說會遭受威脅，在未來可能會瓜分掉一定的市場，MSS 有頻率競爭之議題。

(二) 在頻率釋出的當下，假設採審議制，像衛星固定採審議制釋出，會在過程中特別約束兩者之間的權利義務。

(三) 關於干擾議題，無法直接認定誰具有優先權，可排第一使用，而排除後進者的使用權。就目前觀察至 2027 年 MSS 也許會蓬勃發展，特別是針對 direct to cell 的 model。

捌、臨時動議：無。

玖、散會：下午 17 時 30 分。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件七 「我國 6G 未來方展藍圖及頻譜整備規畫方向研議」座談會會議紀錄

壹、 時間：民國 113 年 10 月 16 日（星期三）下午 2 時整

貳、 地點：集思交通部會議中心 201 會議室（臺北市中正區杭州南路一段 24 號 2 樓）

參、 主持人：財團法人電信技術中心巫主任國豪　　**紀錄：**王資寧

肆、 出席單位：（詳如會議紀錄）

伍、 長官致詞：（略）

陸、 綜合討論摘要：

議題一：

探討 6G 未來發展藍圖規劃：

1. 本研究研擬之 6G 未來發展藍圖規劃，時程與執行內容是否妥適？或有其他應考量事項？
2. 藍圖中所列未來兩年應優先推動事項為何？

一、 鄧添來 前司長：

(一) 近期 AI 發展與智慧醫療等，使 5G 應用需求增加。過往 5G 開放時，僅開放 3.5 GHz 與 28 GHz，未開放低頻段。彼時僅顧慮市中心區域，對偏遠地區而言頻寬不夠使用。

(二) 建議 600 MHz 與 800 MHz 等閒置頻段，盡早開放使用。600 MHz 可適用於數位電視用途；700 MHz 在地勢高之區域會受到干擾。故在 600 MHz 開放前，應進行測試，先行評估是否受到干擾。

(三) 未來到期之頻譜重耕，優先取得延用頻譜，並保留技術延用，則可減少設備更換。

(四) Wi-Fi 可做 AFC 使用，故 6 GHz 頻段也許可和諧共用。而更

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

高頻段的範圍，如 60 GHz，可傳送 6.25 gigabyte。將來 Wi-Fi 之室內應用若需要高速率，技術跟進後則不再受限制。免執照應納入未來發展藍圖。

(五) 低軌衛星行駛落地權是值得考慮的，NTN 議題亦建議納入未來發展藍圖。

(六) 在修改頻率供應計畫前，可提出各頻段採用 TDD 或 FDD，可以提出各種方案，由業者投票決定與溝通。

二、 張時中 教授：

(一) 先從頻譜共享開始說起，因應發展迅速且種類繁多之新興應用，不論是先進國家或業界，都在強調頻譜共享技術為未來新發展趨勢，除了動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing）之外，現在還有 Temporary Sharing 等頻譜共享技術。另外當然鼓吹頻譜共享也是認為將來 6G 要叫做「Sharing Native」。

(二) 贊同鄧前司長意見，建議既有之專屬頻段維持現狀，或者是另外提出誘因（incentive），若是做得好就可以優先延用既有的頻段。關於 Sharing 部分，建議蒐研國外之具體案例，最有潛力的大概是 U6 頻段，這也呼應到 Wi-Fi 7，其實它可以有自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）的功能，也有相關的 framework。

(三) 目前我國 Wi-Fi 以低功率、室內應用為主，似乎尚未開放 Wi-Fi 之室外應用。誠如我於之前座談會所提出的意見，建議考慮 Wi-Fi 之室外應用，標準功率為 4W（EIRP），距離比較大，有助於各種創新，尤其是沉浸式環境、智慧城市等，這中間會牽涉到不同的技術與產業之間的競合，因此可能需要再進一步研究。

(四) 建議在新開頻段（特別是 U6 頻段）中考慮頻譜共享，包含行動通信和 Wi-Fi 間的頻譜共享機制。

(五) 第二個部分將針對創新頻率（innovation band）進行討論，英國隨著技術進步開放創新頻率，因此建議本次簡報可新增一

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

討論議題，我國依據 5G 經驗，創新頻率對於我國的必要性。創新頻率（innovation band）係指讓大家能在短期彈性使用以嘗試新的商業模型及技術。

三、 陳文字 教授：

(一) 議題 1-1：TTC 整理得資料相當完整。

(二) 有關 Spectrum sharing 部分，包括公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service, CBRS）、自動頻率協調（Automated Frequency Coordination, AFC）到近期的人工智慧（Artificial Intelligence, AI）等。美國的頻譜管理是屬於水平分工，軍用與民用頻譜爭奪，因此軍方在思考如何與民用共享頻譜，CBRS 就是典型海軍使用，與民用有衝突，AFC 也是如出一轍。

- AFC 在 U6 部分，U6 原先為點對點微波在使用，若導入 AFC 以後，Wi-Fi 7 屬於次要用途，6 GHz 頻段有 1200 MHz，在 1200 MHz 頻寬下，Wi-Fi 7 一個通道是 320 MHz，有 3 個 channel 可以有效運用，如：AR、XR 等，用免執照再搭配 AFC，與既有使用者可以共存。
- 6 GHz 頻段既有使用者（微波、衛星）可否與 IMT 共享？要詢問業者的想法，行動基地臺是否受到影響，若 IMT 使用該頻段應為主要用途，Wi-Fi 7 是次要用途時，次要用途可能無法與 IMT，但次要用途要與衛星通信上鏈、地面點對點微波共用是可行的，美國就是如此。
- 亞洲國家，如韓國也有用 AFC 制度（稱為 KFC），日本仍在觀望。
- 建議 U6 未來考慮予 Wi-Fi 7 使用，而目前該頻段之主要既有用途仍保留。

四、 劉莉秋 副祕書長：

(一) 以過往經驗來說，3G、4G 皆為兩階段釋照，為什麼 5G 一階段釋照之後似乎就直接跳 6G 釋照？其實一個技術要達到成熟是必須在市場歷經培養期之後才會走向成熟期，但是目前

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

5G 還未進到市場成熟期，似乎就已經要準備進入 6G 並設定建設義務，所以如果從市場經營者的角度來講，頻譜的需求，當 5G 的技術成熟之後，它的頻譜使用效率到達一定程度時，自然而然就會有頻譜需求，那如何知道其頻譜需求，就是看目前各業者在 5G、4G（技術中立）之 IMT 頻譜使用情況如何，就可以知道是不是有下一階段的頻譜需求。

(二) 即使有下階段的頻譜需求，若被鎖在 6G 技術，那麼業者可能還是會表達沒有需求，原因是因為越成熟的技術，它投入市場的經營成本會比較低，甚至對於市場訓練的能量會比較容易達到，所以如果問未來兩年要做什麼事情，建議未來兩年與電信業者討論目前的頻譜使用量，尤其在 5G 應用方面是否還有頻譜需求，如果有的話，建議考慮在 6G 釋照之前有第二階段的 5G 頻譜釋出。

(三) 依法規來說，已採行技術中立，因此未來釋出頻譜時是否必須設定業者的建設義務（使用 6G 技術），建議應保留適當的彈性。

(四) 預期未來市場競爭走向跨國境所謂的 3D，頻譜釋出是否共享應從法規層面來探討。若政府鼓勵頻譜得標者進行頻譜共享（sharing），可透過政策獎勵措施誘使業者，並在法規上給予彈性，使頻譜 sharing 具有市場效率、商業價值。在法規上有彈性，配合國際趨勢之市場狀況以及數位長程的概念，因此不見得要在釋照時規範，原因是因為釋照永遠在市場成熟之前，若在釋照的時候，綁了非常多的條件會做死後面因應國際上的趨勢跟需求之後，產生的無法解套的結果。從市場角度來看，釋出頻譜不要鎖在 6G，以及因為 6G 牽涉的競爭者不在國內或有高度機率不在國內，就算是在國內，設備商為了國外市場或設備商連結國外業者去做得，是非常複雜的結構，甚至牽涉到國安議題。所以希望頻譜釋照可以再寬鬆一些，且從業者的頻譜需求去談下一次釋照的時間。

(五) 呼應司長之看法，若是屆期的頻譜，對於電信業者而言，當然希望若還是用於 IMT 用途，可以優先取得。此外，不論是低

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

軌衛星的落地或 HAPS，應視未來技術發展之後，與得標頻譜業者建立合作關係的模式，而不是透過頻譜取得之後做切割的方式，它是很難分離的。同時也認同如果衛星不落地，其實過往的規管都是泡沫，所以衛星落地應是未來要達成的方向。

五、 林咨銘 博士：

(一) 議題 1-1：關於簡報第 20 頁之設備成熟度整理，的確因可呈現產業發展與使用成熟度，而列為釋頻的之考量。

(二) 議題 1-2：考量到 WRC 議題研究與 3GPP 標準對於 6G 系統之發展規劃於未來兩年仍處於初始階段，國內應優先推動國內外資訊整理與發展共識之凝聚，擬定共同議題與發展共識，以因應兩年後之國際發展情勢之確立。

六、 謝穎青 律師：

(一) 議題 1-1：以全球頻譜調諧（Global Spectrum Harmonization）為前提，至少在第三區已觀察到鄰近國家確立的規劃趨勢，我們可以對照而預擬將來的使用情境，特別要仔細分析中高頻段行動寬頻與衛星通信之間共容應用。

(二) 議題 1-2：我國完成 5G 釋照後毫米波頻段的建設和使用迄無進度。6G 是在 5G 基礎上繼續演進，已釋出的毫米波頻段利用經驗絕對有助於下一階段規劃 6G 頻譜分析我國未來需求。

七、 中華電信：

（一）從 NCC 統計的訊務量來看，從 103 年 4G 第一年到去年（112 年），總訊務量的成長了 16 倍多，4G 第一波已釋出 270 MHz，到現在 4G+5G 總共已釋出 800 多 MHz，大概新增 3 倍多，因此以目前的頻譜釋出總量是絕對支撐不到 119 年再來處理。甚至未來 AI 的發展，可能有大幅度的訊務成長趨勢。

（二）以過往經驗來說，通信每一個世代都有 20 年的使用時間，每一代大概 10 年會有新的技術，所以執照期限 20 年，是合理的執照期限，至少每 10 年釋出一次執照，且在 10 年中每 5 年至少要再做一次頻率整備，在技術快速演進以及使用量需求增長下，特別是我國的使用量幾乎是全球第一名。本公司建

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議應盡快盤點適當的 5G 增補頻段。

八、 台灣大哥大：

(一) 本公司贊同劉副秘書長所說「釋照是在市場之前」的觀點。在頻譜釋照的當下，或許無法完全掌握市場的需求，但為了達成全面性規劃，頻譜整體配置應該要整體考量。因此，本公司認為頻譜規劃可以與釋照進行分離，以確保規劃的完整性。

九、 遠傳電信：

(一) 有關 TTC 提出之我國頻譜發展藍圖部分，本公司與多位先進的意見一致。以國際經驗而言，如韓國目前正積極進行頻譜整備需求評估與意見收集，特別是針對利害關係人的意見。近半年來，主辦單位也專注於此類工作，因此我國在評估與整備方面確實與國際接軌。

(二) 有關未來兩年優先推動事項的部分，本公司建議持續關注國際發展趨勢與國內電信市場的動態，特別是電信業者是否有新的應用需求需要額外頻寬。實際上，目前 5G 的頻譜的使用率不高，因此在短期內（一至兩年內）是否會出現新的頻譜需求，本公司持較為保守的態度。

(三) 針對 5G 的布建，無論是在鄉村或是較偏遠的地區，不必限於使用 3.5 GHz 頻段。由於現行採技術中立，也可以選擇使用低頻段來實現 5G 涵蓋。

十、 Qualcomm：

(一) 高通鼓勵各國主管機關所提出之頻譜規劃（planning）作為推動整體產業發展的重要價值與策略，以積極提早布局長遠之規劃，有利技術開發，期待主管機關 follow 國際之發展趨勢，特別是 WRC-23 已提出 WRC-27 Agenda Item1.7 之三個 IMT 頻段：4400-4800 MHz、7125-8400 MHz 和 14.8-15.35 GHz 頻段，建議將 7.125-8.14 MHz 納入未來 6G 頻段進行研究，並了解國際的討論與發展。

(二) 從頻譜調和的角度來說，特別是在亞太地區或全球各地的調和應提早研究，以提升未來業者在發展技術跟產品時，能夠降

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

低設計的複雜度，提升經濟規模與降低成本。

(三) 除 WRC-27 Agenda Item1.7 之新頻段，建議持續關注國際針對 U6 頻段的討論與發展，如 Sharing study。

十一、 Ericsson：

(一) 針對 6G 的頻譜發展，因應未來使用者需要更多頻寬及更大容量，發展方向將往更高頻段邁進，如：4.4 GHz、7 GHz、14 GHz，這些頻段都是 WRC-27 的討論事項。免執照設備朝著更高頻譜去發展，難免會與既有使用者產生干擾，例如：衛星電臺、微波電臺，甚至在歐洲還涉及軍事頻段的使用，增加了釋放高頻譜的挑戰。目前 WRC-27 也將針對干擾如何做防制進行討論。

(二) 剛剛有學者提到 AFC 機制，事實上未來還有很多的可行性或不同選項去做調配以減少干擾。AFC 機制在 Wi-Fi 使用上還不錯，但是對於大型基地臺來講有一些限制，舉例來說，一般基地臺服務範圍大概是 1 公里，服務幾百個用戶；Wi-Fi 服務範圍大概是小於 100 公尺，服務 10-20 個用戶，因此，在不同範圍和應用場景下，AFC 機制難以完全解決頻段間的協調問題，未來 WRC 對干擾的處理機制將需要進一步探討，這並非易解的課題。

(三) 針對未來 6G 頻譜規劃，建議在都會區優先考慮行動通信，將既有使用者之衛星電臺、微波電臺逐步遷移至郊區。這樣的規劃不僅有助於釋出新的 6G 頻譜，還有利於頻譜資源的合理分配與管理

十二、 NOKIA：

(一) 非常同意簡報所規劃之 6G 時程，有按照國際發展趨勢，以及 3GPP 發表時程，NOKIA 認為 2030 年將發展 6G 技術，我國則是取決於業者的反饋。

(二) 議題 1-2：NOKIA 建議未來兩年之推動事向，除了頻譜考量外，網路架構的搭配也是值得注意的。6G 將來的核網會延用 5G 的核網架構作為基礎，故建議我國需考量獨立組網

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

（Standalone, SA）之廣泛使用。

(三) SA 使用之頻段受限，僅兩個頻段可供使用，故建議導入新的頻段。依國外的案例，一般使用 1 個 FDD 與 2-3 個 TDD 的頻段組合使用，以利達成有效之搭配。故未來 SA 使用頻段，建議導入 TDD。

(四) AI 導入是未來應關注的部分，NTT DOCOMO 近期剛發布關於未來 6G 藍圖之「Network for AI」報告，說明網路架構該如何導入 AI 使用。

十三、 聯發科：

(一) 議題 1-1：2030 年前建議著重在 7-15 GHz、6 GHz 以下頻段之整頓和研究，毫米波則著重 28-52.6 GHz 頻段。60 GHz 部分，因標準化發展較慢且無設備支援，建議暫不考慮研究。THz 技術部分，因不會出現在 6G 技術的第一個 release 中，建議 2030 年後再行研究。

(二) 議題 1-2：未來兩年建議聚焦在 WRC-27 規劃之頻譜研究，包含 4.4-4.8、7.125-8.4、14.8-15.35 GHz 頻段，此外 U6 頻段亦可納入研究，因目前國外已有廠商進行實驗，技術相對成熟。

議題二：

探討頻譜整備規劃方向：

1. 本中心於今年 6 月 26 日召開「我國 6G 潛在候選頻譜研議」座談會，盤點我國行動通信潛在候選頻段，會中與會各界建議將 119 年屆期頻段（包含 700、900、1800 MHz）、潛在頻段 600 MHz、800 MHz，以及 122 年屆期頻段（包含 2100、2500、2600 MHz）同時於下一次釋照釋出，對此建議為何？
2. 目前國際間 6G 主流頻段以 7-15 GHz （如 7-8.4 GHz）為主，請問對此頻段有無整備建議？
3. 目前我國 2600 MHz 頻段採 2x70 MHz FDD(Band 7)加上 50 MHz TDD（Band 38）釋出，其中 TDD 頻塊保留 10 MHz 的護衛頻段（Guard Band）。隨著行動技術演進，是否建議將此頻段全部採

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

TDD 頻塊（Band 41）釋出？建議釋出之最小頻寬為何？

4. 承上題，700、900、1800 MHz 三個頻段配置規劃（band plan）是否需要修改？同樣由 FDD 改為 TDD？

5. 3GPP 對 800 MHz 有 4 種配置規分配別為 Band 5（824-849/869-894 MHz）、Band 20 （832-862/791-821 MHz）、Band 26（814-849/859-894 MHz）、Band 27（807-824/852-869 MHz），建議採用哪種配置規劃？釋出 800 MHz 頻段時，建議可附加之執照條件為何？

6. 考量通信技術演進約 10 年為一個世代，隨著技術進步或新興應用崛起，產業對於不同資源有立即性需求，有無建議定期釋出頻譜，建議周期長度為何？

7. 其他頻譜整備規劃方向之看法？

一、 陳文字 教授：

(一) 議題 2，以業者盤點頻譜資源完整性來說，首先考量我國 119 年與 122 年 4G 屆期頻段，以及潛在頻段 600 MHz 與 800 MHz，即 2600 MHz 以下之頻段，建議在制度許可下一起釋出；而 WRC-27 考量之頻段（7-15 GHz）可能是再下一階段釋出。

(二) 我國 800 MHz 頻段（30 MHz 頻寬）原規劃保留給 PPDR，但已閒置一段時間。建議 800 MHz 頻段併同前述 119 年與 122 年 4G 屆期頻段同時釋出予 IMT，至於未來 PPDR 可另行考量。

- 現今各救災單位使用窄頻的通信頻段，若主管機關未來要考慮類似美國的 PPDR，或許將使用 U6 或 7-15 GHz 頻段。未來 PPDR 會朝向寬頻，美國也在考慮 5G 頻譜用於 PPDR，可能不是僅有 10 MHz/channel，而是 20 MHz/channel。由於 800 MHz 是屬於低頻，其頻寬可能不足夠。此外，取得頻譜的人，可採用技術中立以有效利用。
- 若要做到如美國 FirstNet 之國家安全專用網路，仍需進行評估並做長遠規劃，還需成立一些單位進行管理。

二、 林咨銘 博士：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一) 議題 2-1：針對 119 年與 122 年屆期頻段與釋照建議，工研院非利害關係者，建議密切關注 WRC-27 之決議與 WRC-31 之確定議題，持續進行國內業者之意見交換與溝通。

(二) 議題 2-2：7-15 GHz 頻段為 6G 重點頻段之一，目前仍在 3GPP 為首之陸上行動通信陣營中進行討論研究，值得鎖定關注，建議於適當時機開啟整備作業。

(三) 議題 2-3：工研院並未就 2600 MHz 進行相關研究，因此僅建議盡量將整段頻率一併考慮，以提供最大頻率使用效益。

(四) 議題 2-4：針對 700、900、1800 MHz 三個頻段之配置規劃，建議參考簡報第 20 頁之設備支援情形與國際電信業者之現行營運與未來布建規劃來綜整考量，以協助促進電信業者之營運與未來規劃。

(五) 議題 2-5：工研院無特別意見，僅建議應考量頻率整體使用效益。

(六) 議題 2-6：依照我國無線電頻率分配表與無線電頻率供應計畫之宗旨與精神，頻率釋出需考量國際情勢與 ITU 規定，故建議我國頻率釋出須參酌 WRC 發展週期與 ITU 之研究時程來進行。

(七) 議題 2-7：建議頻率整備規劃前，須與國內各界，尤其是利害關係者，進行充足之意見交換與議題討論，以利發展共識並逐步確立整備方向。

三、 謝穎青 律師：

(一) 議題 2-1：我國現行業務執照競標制度並非頻率使用權拍賣，也欠缺頻率次級交易市場可以適時提供調整彈性。記取最近期 5G 釋照後台灣大和遠傳發生糾紛的教訓，下一次釋照同時釋出以上頻段，絕對不是一個好主意，還是要謹慎調查出需求情形，規劃釋出順序。

(二) 議題 2-2：7-15 GHz 頻段可預見將是 6G 應用主力頻段，需要更大連續頻寬，我國宜留意國際發展趨勢及早檢討既有使用者使用情形，規劃廓清以迎接未來應用。

(三) 議題 2-3：贊同貴中心規劃建議。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(四) 議題 2-4：我還沒有看到國際實踐有此種前例，請問如此建議的考量依據為何？

(五) 議題 2-5：意見同議題 1-1 答覆，還是以全球頻譜調諧（Global Spectrum Harmonization）為前提，至少在第三區配合所觀察到鄰近國家確立的規劃趨勢來考量。至於釋出特定頻段需否另外附加執照條件，建議宜先檢討現行釋照制度是否能滿足頻率使用最佳化目的之後，再依檢討結果逐步思考。

(六) 議題 2-6：我們暫且不要將通信科技從大範圍的科技創新分裂出來孤立看待，有關頻率資源活用可以依著客觀環境變化建立 “offer on-demand”原則，更靈活而非一次性的頻率授權（不是業務執照定期釋出）會更有效促進新服務、新應用上市，而有充分的消費市場競爭，緩解市場寡占現象。

(七) 議題 2-7：建請主管機關和貴中心，在繼續進行相關國際研究同時也調查披露相關頻譜既有使用情形，檢討頻率使用效率，仿效智慧財產局作法（在官網每季發布國際專利發展狀況以及我國相應促進專利申請及品質最新統計），公開徵求公眾意見回饋，對於政策規劃正向形成一定會有助益。

四、 中華電信：

（一）議題 2-1：本公司不建議「600 MHz、800 MHz 頻段」與「700 MHz、900 MHz 頻段」一起釋照，應考慮優先並盡快釋出幾乎是閒置的頻段（即 600 MHz、800 MHz），以增補我國 5G 僅有中頻段涵蓋相對不足。

（二）議題 2-3：我國 2600 MHz 頻段目前是採用 FDD 加 TDD，未來是否考慮全部採用 TDD，本公司持反對的意見。理由如下：

- 過去既有的頻率要做重整，很巧的大概也就是 2600 MHz 頻段。過去 WiMAX 曾經也採用 TDD，但是它的配置與現在不一樣，基本上重整成現在 FDD 加 TDD，前提就是 WiMAX 是退場的。目前在 FDD 已經使用非常好的情況下，這些設備未來還有大概將近 8、9 年的使用效期，屆時會再更新或 refram 到新的技術。若突然將執照改成 TDD，業者的投資從既有原本 20 年執照的頻率，它的價值幾乎

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

就減半，認為不是合理的規劃。

- 順帶一提，過去日本 N-STAR 衛星之干擾議題（目前有新一代的衛星有做比較好的防干擾機制），基於 FDD 在頻率分割多工（Orthogonal Division Multiplexing, ODM）的技術，N-STAR 有很多訊務是盡量擠在很窄的頻率，以避開干擾。若未來我國全部改成 TDD 的話，TDD 是一個比較大的頻寬，意思就是說可能跟 N-STAR 完全重疊，就完全沒有窄頻的空間可以去避開訊務的干擾。

（三）議題 2-5：針對 800 MHz 頻段，主要在探討採用歐規或美規。目前我國 700 MHz、900 MHz 是 follow 歐規規範，若 800 MHz 延續使用歐規是很好的配置，可是要考慮的是在 800 MHz 頻段中有一部分頻段是供民生公共物聯網實驗（Advanced Metering Infrastructure, AMI）使用，若不能影響 AMI 用途的話，就會造成歐規的頻段可以用的空間是非常有限，幾乎大概只有 10 MHz，無法達成有效使用整個 800 MHz 之效益；然而若採用美規的話，有 Band 5、Band 26、Band 27 等配置方式，上下鏈各至少有 25 MHz，若中間有一些公用的服務還必須做保留的話，比較可以逐步來做規劃。

五、 台灣大哥大：

(一) 議題 2-1：Sub 1GHz 頻段的規劃涉及 800MHz 頻段如何規劃，可能會影響到 700 MHz 與 900 MHz 頻段的配置，因此， 600 MHz、700 MHz、800 MHz、900 MHz 頻段應通盤進行規劃。建議將 Sub 1GHz 至 3GHz 以下的頻段一併進行研究與規劃，以決定釋出的方式。至於具體的釋出的方式，本公司認為應採分次釋照，因為業者自然希望取得更多的頻譜資源。此外，應避免獲取頻譜後閒置未使用或有頻譜需求卻未有足夠頻譜可使用。

(二) 議題 2-3：有關 2600 MHz 頻段，我國目前採用 FDD+TDD 的頻譜配置，並設有 FDD 與 TDD 之間保護頻段（Guard Band），可能影響頻譜的使用效能。隨著 TDD 技術日益成熟，TDD 已成為 NR 的主流技術，未來 2600 MHz 頻段預期將更廣泛地應

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

用 TDD，尤其是 TDD 搭配 Active Antenna 或 Massive MIMO 技術，將提升系統容量。因此本公司建議將此頻段全部規劃為 Band 41 的 TDD 模式釋出，以提升頻譜使用效率。

(三) 議題 2-4：至於 700 MHz、900 MHz、1800 MHz 頻段是否也要修改頻譜配置。經查詢 3GPP，Band 44 為 700 MHz 頻段，其頻譜配置為 TDD 模式，但目前沒有網路正在使用，而 900 MHz、1800 MHz 似乎也沒有 TDD 的頻譜配置。因此，本公司建議僅修改 2600 MHz 的頻譜配置，700 MHz、900 MHz、1800 MHz 維持現狀。

(四) 議題 2-5：有關 800 MHz 頻段，本公司認同中華先進的意見，應優先考量保留供 AMI 使用的頻段(816-821/857-862 MHz)。本公司建議考慮採用 Band 26 釋出 15x2 MHz 頻寬，雖然 Band 26 之終端設備數量較少，但經查詢在我國銷售 iPhone 之四種型號（指的是不同地區銷售不同序號）、Samsung Galaxy 系列都有支援 Band 26，因此在我國銷售比較普及的終端的型號有支援的話，預期應該有六至七成以上使用者。我國頻譜釋出最快也要再等一兩年，屆時新的終端設備應該會引進這個頻段的終端，支援度會越來越高。

(五) 議題 2-6：有關頻譜釋出的週期，本公司贊同中華先進之觀點，執照年限為 20 年，而每個通信世代約為 10 年。在此期間，技術發展可能有產生額外的頻譜需求，且未必能及時獲得補充。因此，建議以每五年為一周期進行頻譜補充，以更適應技術與市場的需求變化。

(六) 目前我國 1800 MHz 頻段配置是 65 MHz x 2 頻寬，尚有 10 MHz x 2 頻寬閒置未釋出，建議從中劃出至少 5 MHz，將頻寬整併為 70 MHz 的頻段，並以 10 MHz 為單位頻寬標售，這將有助於簡化標售過程並提升操作靈活性。

六、 遠傳電信：

(一) 議題 2-1：本公司認為因為 112 年跟 119 年 4G 頻譜屆期，兩者僅差距三年，應避免在短時間之內一直反覆進行釋照作業，因此本公司建議 122 年跟 119 年的可以合併來做釋照。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(二) 議題 2-2：7-15GHz 的部分建議依循 ITU 跟 WRC 的規劃，包含 WRC-27 規劃探討 4.4-4.8、7.125-8.4、14.8-15.35 GHz 頻段。

(三) 議題 2-3：針對 2600 MHz 頻段，從技術角度來看，TDD 在頻譜使用效率和天線技術方面相對更具靈活性，尤其在運用 4x4 MIMO 技術時。TDD 允許上下鏈有不同的比例，以滿足多樣的用途需求。然而，若全面改為 TDD，目前電信業者使用的 FDD 設備將無法復用，這在投資方面需要謹慎考量。我國 2600 MHz 頻段執照到期還有 10 年，業者是否真的會繼續使用現有設備？設備是否需在未來 20 年內更換？在主管機關做出決策之前，希望能提早讓業者瞭解是維持現狀 FDD+TDD，還是全面改為 TDD，這將有助於業者及早規劃設備投資。若全改為 TDD，現有設備將無法使用，這一點需仔細評估。

(四) 關於 TDD 部分，根據 GSA 於 2024 年 9 月發布的各頻段終端設備支援情況報告，雖然 n41 的支援數量較多，但同樣是 GSA 的報告顯示，網路端仍然以 FDD＋TDD 的配置為主，這與頻譜釋照的時間點有關。許多國家在十幾年前的釋照中多採用 FDD 或 FDD+TDD，當時全面採用 TDD 的情況並不普遍。然而，未來全面改為 TDD 的趨勢可能會逐漸增長。因此，本公司建議持續關注國際間的新釋照動態，特別是是否會有越來越多的國家採用 TDD。TTC 也提到美國最近的一次（於 2022 年）釋照完全採用 TDD。

(五) 議題 2-4：針對 700 MHz 頻段，如前述先進所提，3GPP 目前僅支持 Band 44 的 TDD。然而，3GPP 中並未包含 ENDC（E-UTRA New Radio Dual Connectivity）[162]的組合，因此，本公司建議不應列入考量。此外，1800 MHz、900 MHz 頻段目前也尚未看到 TDD 的頻譜配置，因此建議維持現有的 FDD 配置。

(六) 議題 2-5：針對 800 MHz 頻段，除了 Band 27 外，還可以考量其他頻段。目前 Band 27 似乎尚未有與其他頻段的 ENDC 組

[162] ENDC（E-UTRA New Radio Dual Connectivity）是指 LTE 和 NR 之間的雙連接技術。這種技術允許用戶設備（UE）同時連接到 LTE 和 NR 網路，從而提高數據傳輸速率和網路性能。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

合，而 Band 26 的支援情況也較少。因此，建議持續關注未來終端設備的支援情況。至於該頻段釋出是否要搭配其他的條件，本公司認為主辦單位應該要問的就是 PPDR，主辦單位應該向 PPDR 相關機構進行詢問，如內政部等需求單位的實際需求，是否願意採用目前所謂的「台版 PPDR」，以及各業者是否能提供 MOCN 的解決方案。此外，這是否需要一個單獨的頻段，應該先從政府機關的需求出發，了解具體要求，再討論後續的執照條件。

(七) 議題 2-6：建議將釋照間隔定為 10 年，執照期限為 20 年。過於頻繁的釋照會消耗過多的人力、精力和財力。通信世代每十年演進一次，但其實際存活時間約為 20 年。在這段期間，技術會發生變化，目前採用技術中立的方式，使得頻段之間可以靈活切換，例如 700、900、1800 MHz 頻段，可以使用這些頻段來布建 4G，未來若有需求，也能轉向 5G。隨著未來 6G 技術的制定，中低頻段在技術上也有潛力支援 6G。

(八) 議題 2-7：針對其他頻譜整備規劃的方向，建議持續收集利害關係人的意見。因為技術演進與國內電信市場的狀況不斷變化，應進行滾動式修正，以便及時調整規劃策略。

七、 Qualcomm：

(一) 議題 2-3：針對 2600 MHz 頻段，有 Band 7、Band 41 等不同頻譜配置方式，以 Device Eco-system 來看，目前 Band 41 較能發揮效用。

(二) 議題 2-4：針對 700、900、1800 MHz 頻段是否要由 FDD 改為 TDD，目前不建議進行修改，國際上似乎也沒有調整與修改。

(三) 議題 2-5：針對 3GPP 提出之 800 MHz 頻段頻譜配置，從 Device Eco-system 的成熟度來看，目前 Band 5 是最成熟的，再來是 Band 20，作為未來頻段規劃的考量。

(四) 議題 2-6：從高通的角度來看，沒有具體需要多長時間來進行下一次頻譜釋出。建議公開諮詢瞭解利害關係人之意見，共同完善前瞻的頻譜政策發展，掌握國際趨勢演進。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

八、 NOKIA：

(一) U6 頻段為現在業界多數關注的。以目前國外測試之涵蓋結果，U6 頻段天線與既有的 3.5 GHz 僅差異 2dB 之涵蓋範圍（差異不大）。此 2dB 之差異，可透過 U6 頻段內其餘技術（如：Beamforming、MIMO 等）補足。故對於業者及設備商而言，布建 7 GHz 頻段之網路可使用目前 3.5 GHz 頻段之架構。

(二) 建議 700 MHz、900 MHz、1800 MHz 保留使用 FDD，以技術層面來說，低頻使用 FDD 效益最大。

(三) 800 MHz 頻段，取決於終端設備發展的情況，目前 Band 5 和 Band 20 相對較多。

九、 聯發科：

(一) 議題 2-1：建議頻段組合（Band Combination）不宜出現個別國家之特規情形，避免發生設備商開發成本提高，設備成熟度不足，不利國家發展下一代行動通信技術。

(二) 議題 2-2：6G 頻譜建議高低頻兼備，除 7-15 GHz 頻段外，亦應考慮低頻段。7-15 GHz 頻段存在之問題，包含：

（1）該頻段較既有 4G、5G 之頻譜高，導致未來布建時須購買更多基地臺彌補涵蓋，存在成本較高之問題；

（2）可能使用新的陣列天線，存在電費較高問題；

（3）該頻段目前有不同既有使用者，如衛星、軍用、廣播、超寬頻（Ultra Wideband, UWB）等，歐美已有相關研究，不同陣營仍在拉扯中。

(三) 議題 2-3：採用 TDD 之頻譜使用效率確實較好，建議尊重各電信業者的布建需求。

(四) 議題 2-4：建議尊重各電信業者的布建需求。

(五) 議題 2-5：建議以設備成熟度進行規劃。

(六) 題目 2-6：建議以 20 年為單位進行頻譜規劃，每 5 年重新檢視頻譜需求

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

綜合問答

【數位發展部】

通信技術以 10 年為一周期，釋照時是技術中立，隨時都可能進入下一個通信世代，視技術演進之情形，雖然核發執照使用年限為 20 年，但不太可能一種技術使用 20 年。

【數位發展部提問】

詢問電信業者以下三個議題：

1. 119 年與 122 年 4G 屆期頻譜是否一起釋出？或分開釋出？
2. 頻譜釋出週期？
3. Sub 1GHz 以下 600、700、800、900 MHz 如何搭配釋出?

【中華電信回覆】

1. 即使 119 年與 122 年 4G 屆期頻譜同時釋照，應有兩個不同執照期限。若以業者的標金考量，會希望同時釋照，競爭會較低；但從另一個角度來說，在競標當下可以立即使用的頻率如果在當時是很熱門的話，那會變成即便同時釋照，但是不同頻段可用時間點差了三年，頻段之間的標金會非常不平衡，因此仍建議分開釋照。
2. 建議每五年釋照一次。
3. 低頻段部分，建議分兩次釋出，即先釋出 600 MHz、800 MHz，再釋出 700 MHz、900 MHz。

【台灣大哥大回覆】

1. 即使 119 年與 122 年 4G 屆期頻譜同時釋照，應有兩個不同執照期限，一為 2031-2050 年，另一為 2055 年屆期，建議分開釋照較為恰當。業者對於到底自己需要多少頻寬，可能要分開來看會比較清楚，先讓第一波標到的頻段建設一段時間，運用一段時間之後，也會對於這個技術比較清楚知道自己還要補充多少的頻寬。在同時釋照的情況下，標金當然可能會比較低一點，可是也可能發生標到頻譜結果閒置的狀況，希望避免此情形。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

2. 建議每五年釋照一次。
3. 因為整個 Sub1GHz 頻段有互相競爭的關係，包含頻譜的切割和到底大家要拿多少才足夠，所以本公司建議是一次處理整個 Sub1GHz，也就是說，在 119 年屆期這個時間點是一次處理 700 MHz、900 MHz、1800 MHz 和 600 MHz、800 MHz，在另外一個時間點處理 2100 MHz、2600 MHz，以及當時能否整備 U6、4 GHz 或其他頻段。
4. 設備購置之可能性，如果有可能 600 MHz、700 MHz、800 MHz、900 MHz 一起釋照，假設各業者有順利標得該公司之頻段，不知道是否有可能在 600 MHz、700 MHz 該業者所標得的頻譜用同一個設備，一次提供 600 MHz、700 MHz 的服務，或是用同一款設備，同時提供 800 MHz、900 MHz 的服務，在整個設備購置的彈性上可能會比較高，即買一套設備可同時運作兩個頻段，要視屆時設備商是否可支援這樣的規格。

【遠傳電信回覆】

1. 建議 119 年與 122 年 4G 屆期頻譜同時釋照，因為兩者相差三年時間太近，會耗費太多人力與時間。
2. 建議每十年釋照一次。
3. 若 112 年往前推與 119 年一起釋照的話，則會建議 600 MHz 與 800 MHz 併在同一次一起釋照，考量低頻網路的建置策略與需求容量，亦考量在技術方面，低頻在 CA 的組合比較少，考量 600、700、800、900 MHz 一起釋照，組合選擇也比較多。因此建議 600 MHz、800 MHz 是併到第一次，那下一次釋照就是十年之後 129 年。

【張時中教授提問】

請教關於與 PPDR 使用頻譜之相關議題，請問目前是否有結果？預計採行的模式是？例如：把頻譜提供給業者使用，政府於有需要的時候再透過徵用和付費方式，請業者提供可靠的服務，如 PPDR 的 VPN 等。簡而言之，議題 2-5 所提到的附加之執照條

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

件，與 PPDR 間是否有所關聯？

【數位發展部回覆】

1. 針對 PPDR，目前世界上可分為兩種模式：(1) 美國的 FirstNet 模式以及(2)其他國家所討論的 MOCN 模式，從技術上來看，5G 到現在的 specification(規格)只要符合最新的 specification，應該是要能夠使用 PPDR，但設備商是 by function（功能）在販售 。就我個人的觀點來看，美國 FirstNet 模式不太適用於我國，由於不易認定使用範圍，且是否能提供電信業者於平時進行商用等問題，致使業者投標意願降低，因此 FirstNet 模式於我國可說是困難重重。若要解決前述問題，目前比較偏好採使用者付費模式（如：1999）。
2. 另就實務經驗來看，推行 PPDR 政府機關勢必得進行設備換裝，然而換裝過程耗時費日，恐怕等到頻率執照有效期限屆期時才完成換裝。

【數位發展部回覆】

1. 此一頻段還沒搞定，目前仍維持十幾年前的狀態，只是最近警消各機關討論比較熱烈，但顯然是跟上級長官對他們的期待跟需求，他們自己不必然有這個需求。
2. 其實 800 MHz 只是目前 PPDR 討論的其中一個頻段，還有其他潛在頻段，如：C Band 後段（3.7-4.2 GHz，500 MHz）、4.4-5.0 GHz 皆為討論選項，雖然 WRC-23 已有相關決議，但因涉及警消等既有使用者，在沒有替代方案的情況下，我國推行上有困難。

【數位發展部提問】

想請問設備商，關於設備、基地臺等，針對 PPDR 部分是如何販售？是本來就內建相關功能，還是需另外購買？

【Ericsson 回覆】

1. 以美國 FirstNet 為例，其採用一個頻段發射兩個行動網路識別碼（MNC CODE），一般用戶使用既有的 MNC CODE，FirstNet 則使用另一個 MNC CODE，所以基本上一個頻段可使用 2 種

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

服務，也可用 5G slicing 切分，不一定只有 MNC code，以 FirstNet 來講，是用一顆 Radio 發射 2 個頻譜，所以只要再買第 2 個 MNC CODE 即可發射。另一個問題是 FirstNet 是一個頻段給兩種不同使用者（政府機關與 AT&T），兩種使用者間的資源調配及優先控制，通常依消費者使用需求訂定，是採 Vacant Network 或 Sharing Network 方式處理。

2. 採用 slicing 也有相對功能的配置，用 SIM 卡的網路切片選擇輔助資訊（Network Slice Selection Assistance Information Identifier, NSSAI ID），會跑到兩個不同的邏輯網路（logic network），可以在無線端或傳輸端或核網配置上做區分，中間可以走不同路由區分，對用戶而言在 5G SA 多一個 slicing 選項可以使用。

【NOKIA 回覆】

PPDR 相關功能主要是透過授權進行控制，而剛剛提到的網路架構(MORAN、MOCN)並不是特定針對 PPDR。切片技術(slicing)則是一個值得考慮的功能，例如美國 T-Mobile 已經在為醫療機構提供特定的切片，這與 PPDR 的切片功能相似，並可能規範一些特定的 PPDR 需求，SIM 卡是否需要使用 QI(Quality Indicator)來設定 PPDR 的場景進行配置。

柒、 臨時動議：無。

捌、 散會：下午 17 時 00 分。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件八 「我國 6G 頻譜重耕之挑戰」座談會會議紀錄

壹、時間：民國 113 年 9 月 24 日（星期二）下午 2 時整

貳、地點：集思台大會議中心亞歷山大廳（台北市羅斯福路四段 85 號 B1）

參、主持人：財團法人電信技術中心郭主任作麟

紀錄：朱繹中

肆、出席單位：（詳如會議紀錄）

伍、長官致詞：（略）

陸、綜合討論摘要：

議題一：頻譜重耕對現有服務的影響與技術上之考量

1-1、在行動通信新技術不斷演進下，如何有效應用頻譜重耕技術，以確保網路涵蓋及服務品質？

一、 中華電信：

(三)之前的頻段大概都是專用，但考量頻率是一珍稀資源，故未來專用頻率將越來越少，因此需要考慮與其他使用中技術如 L6、U6 或其他如 IMT 系統之 4、5G 頻段的共存議題。

(四)根據我國此前 5G 頻段開放之作法，開放 3.3 到 3.5GHz 時也考量到跟既有的衛星系統之間的和諧共存，當時採用保留 Guard Band 之方式，使 C-band 的衛星系統也可繼續運作讓該需求服務可以延續，因此對未來大部分頻段可能當將有和諧共存的議題。

(五)中華電信為一綜合電信商不論微波衛星、衛星或行動通信等等皆有相關 站臺或是系統建置，因此希望盡可能維持各個系統之間的和諧共存以維持網路涵蓋與服務品質之確保。故建議頻譜重根除需考量商用外還需考量到網路韌性或是國安等相關議題，目前部分網路仍需使用微波、衛星等技術來滿足鏈路目的，且此部分鏈路具不可替代性，因此如無其他頻段或系統可做替代前建議還需保留。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(六)如未來頻譜重根時還需考量到既有系統之必要性，針對頻譜共存部分希望有較整體性的考量，如新技術或新系統方案與既有系統是否能和諧共存，或是否有相關之評估和配套機制，如監理或產生干擾時之相關管控機制，如此可保障既有使用者使用權利。

二、 遠傳電信：

(一)針對頻譜重耕後動態頻譜上利用上的驗證，包含系統跟終端等部分需要再強化相關內容，同時對於提供用戶涵蓋容量需求、降低用戶的衝擊、確保網路品質等部分也需要納入考量。

(二)針對動態頻譜共享（DSS）技術部分，當前供應商針對此技術已有實務用應用，但就如何降低 overhead 的部分當前優化程度有限，因此如要提供相關服務，就頻譜與效能表現上仍需多加考量，因頻譜使用效率對於電信營運商而言是重要指標。

(三)針對釋照建議，我國內釋照的頻段依循技術中立，電信商可視技術演進與市場的運行狀況來進行頻譜重耕。

三、 台灣大哥大：

(一)建議重耕內容增加將參與頻譜重耕之頻段與當前該頻段所使用之既有技術，同時後續將此重耕頻段給予何種服務專用或共用使用規劃，對於後續取得重耕頻譜所提供之服務是否確實有此需求。如提供給 6G 使用，因未來之無線技術有此需求，故對將頻譜使用移至 6G 服務為理所當然。

(二)如未來將 6 GHz 提供頻譜給 Wi-Fi 使用，則需強調出 Wi-Fi 系統使用需求比現行既有技術更好才符合重耕意義，如無法則只適合和諧共用且優先度比較低，同時針對重耕該頻段轉移給 Wi-Fi，當前我國因應尚不需要一 6GHz 完整頻段供 Wi-Fi 使用，當前我國 Wi-Fi 問題應是低頻或者是中低頻穿透力不夠造成 5GHz 於室內使用場景衰減過大而非容量

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

問題，當前開放更高頻的方式並未解此痛點。當前並無強力論證資料可佐證 Wi-Fi 需要高於現行技術，因此無法說服既有使用者將頻譜繳回重耕或共享給 Wi-Fi 用。

(三)關於共用技術當前並無有效的機制或技術可讓 6G 跟 Wi-Fi 兩系統之間可以和諧共用。當前 6G 跟 5G 這之間的可能共用技術僅能作用於同一業者頻段，如要共用不同業者頻段或 Wi-Fi 頻段已超出當前技術範圍，當前並無有效的技術可達成不同 IMT 營運商間頻譜或與 Wi-Fi 系統的和諧共用。

(四)現時英國之 OFCON 亦苦惱於此問題，當前也僅能用以下兩種方式解決，其一為針對頻段訂出服務的優先度作為共用的機制，其二根據使用情境分類為室內或室外使用，並以使用功率做區分，室內使用功率較小視外使用則反之，我國或許可以參考。

四、 鄧添來 前司長：

(一)頻譜的和諧共用是頻譜管理的最高指導原則當前雖有很多共享技術但在實際運用尚有不少困難點，因此針對現有技術考量建議行動業者提升網路韌性，於受到干擾時可跳轉至備用網路，如此於重耕後的網路使用者受干擾時將不影響電信商服務品質，或考慮利用固網、有線電視網路甚至使用行動業者的 FWA 等方式提升網路韌性。

(二)對於頻譜管理因其內容複雜，對既有業者而言各種不同服務差異過大，不同技術、不同樣態、不同服務有不同的需求特性，多數情況僅能依照評估因地制宜，故難以訂立一套適用於所有業者標準，多數情況僅能依照評估因地事宜。

五、 張時中 教授：

(一)頻頻譜重耕無論採用何種技術並對服務產生何種影響，最終還要回歸是否有足夠的經濟誘因，例如類比電視在使用的頻段數位化以後有數位紅利，或如美國則進行所謂的誘因拍賣已提高經濟誘因。因此在討論重耕之必要性時需重視以下兩點，其一為重耕後能否確保不影響現有的服務與涵蓋範圍並保有現有的服務品質，即未影響既有使用狀況，其二為如將來 6G 有新興的服務需求，重耕之後能夠為參進

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

者帶來何種好處。只著重於服務面和技術面而未考量經濟誘因，該議題較難收斂。

(二)從涵蓋和服務品質的角度，現有將所有區域之涵蓋與服務品質皆訂定相同目標是否合適，能否在空間上做更細緻之區隔，將空閒區域之頻譜作為新興服務頻譜利用。

議題一：頻譜重耕對現有服務的影響與技術上之考量

1-2、在實務運作上，如應用動態頻譜共享與載波聚合等頻譜重耕等技術，以多種不同技術在相同頻段上運行，造成既有系統之頻寬縮減或交互干擾的風險，建議如何來因應？

一、 台灣大哥大：

此題目為業者可自行解決之問題，取得頻譜的使用規畫變更與新技術之導入前提為保證原用戶至少維持相同服務品質，因此通常可根據用戶的使用流量即可得出哪些頻段可做出相應規劃，當前 DSS 技術仍有副作用，因該技術為作用於同一頻段上面，使原先可供 4G 或 5G 系統傳輸使用之頻寬需作為 Control Channel 保留而無法使用。

二、 中華電信：

相關網路技術一直持續發展，中華電信秉持技術中立原則，根據經濟因素、網路品質與不同的網路環境和條件取得一較好的平衡點，做為一最好的網路相關搭配與系統的整合方案，目前 4G 和 5G 還沒有辦法完全達到一致性的，此部分與經濟因素相關，後續仍需透過優化解決，目前可用技術如 CA、ENDC 等方式來提升頻寬速度，如發展未來 6G 將一定要是 SLA 架構，當前 DSS 技術仍有部分問題需要克服，未來可能藉由異質網路的整合提升整體網路效能，如 Wi-Fi 加 5G 加 4G 的整合方式，但仍需有相對應之技術發展搭配。

三、 遠傳電信：

DSS 技術當前仍有應用上的難點需要解決，對於不同技術相同頻段的分配調度的演算法優化，基本上仍在持續的進行中，因此針對不同電信技術的共享當前仍有可能牽涉到干擾問題與後

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

續的管制措施，同時還需要管理面的配套措施，兩邊互相輔佐才有可能達到最好的預防效果。

四、 鄧添來 前司長：

(一)關於 U6 的開放，因應國際趨勢開放為必然，但要如何與既有業者共享則是需要面對的問題，我國當前 U6 頻段通常用於較偏遠地區之通信，而市區則為行動通信重點區域，因此建議調查當前既有使用之區域分佈，後續 6G 頻段開放時優先於市區內部較不會有干擾通信之狀況，並同時建議 U6 之既有使用者更新性能較好的設備。後續 U6 的開放建議從市區等行動通信需求量較大的區域先開放，針對既有使用者則需考慮如國家未來未提供相關補助是否有因應策略，如增加網路韌性等方式來降低頻譜干擾問題。

(二)針對 7GH 或 10GHz 頻段，如未來 WRC 確立後續頻段用途我國也應跟進，但未來低軌衛星或 HAPS 亦可能運用此段頻譜，故應採取和諧共用的應用模式。同時未來通信技術應逐漸改變為依使用情境不同做整合應用，如在室內情況下使用 Wi-Fi 技術室外與移動時則使用行動通信，因此未來 6G 與 Wi-Fi 系統必然需要共存，建議可參考其他的國家的做法或採取更新之技術。

五、 張時中 教授：

當前各界皆有很多相關研究，因此建議可以再建立起產官學研一起之研究與實驗機制，以其能真正在共存和干擾管理議題上去深入的掌握，將頻譜使用之效率提升。

議題二：未來 6G 候選頻段對於頻譜重耕應用的看法

2-1、未來我國進行頻譜重耕，如 U6 頻段，是否採以開放共享或特定技術專用？。

一、 中華電信：

當前的 L6 與 U6 為相當重要的頻段，應該頻段有一夠寬的可用頻寬，且該頻段也因未受行動通信的影響故較乾淨。去年雖開放 L6 頻段供 Wi-Fi 使用，但使用情境多為室內因此對微波系統

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

不造成太大影響，但如後續開放給行動通信則需要注意，因行動通信與微波皆屬主要服務且同為使用執照頻段，因此未來如要和諧共用或使用特定技術達成共享，都需要審慎驗證與通盤考量，尤其我國地形包含許多山區與離島地形或者網路韌性的重點區域，皆需要 6G 微波系統的建置，如果開放 U6 頻段給行動通信使用為國際趨勢，必然對當前離島、國安等重要微波造成影響。雖 WRC23 已有關於 6GHz 頻段的相關決議，但目前各國開放情況尚未達成一致，因此建議先保持現狀，抑或是部分專用部分共享的模式達成頻譜效益最大化。

二、 台灣大哥大：

U6 頻段於在 WRC 決議上不同分區有不同決策，且當前已提供 U6 部分頻段供 IMT 使用，建議等候 WRC27 決議後再行確定頻譜分配，且共享將貶損頻段價值，如以室內外使用模式做切分就並不洽當，因行動通信理應包含室內外場景之應用，此區分方式反易造成雙方干擾，如採用部分頻段分配給不同服務或採服務優先級的方式來應用較能提升頻譜價值。同時 6G 可能頻段亦包含 7GHz 與 8GHz 頻段，且當前設備供應商已投入相關設備生產，故該頻段使用可能也需要處理。

三、 遠傳電信：

台灣行動業務普及率極高，如果 U6 頻段將釋出建議可優先考量提供給行動通信技術來使用，如必須共享頻段，建議針對干擾部分進行驗證跟測試，如室內使用情境需共享頻段則需有相關規管政策，避免產生爭議時無法釐清問題與處理。

四、 張時中 教授：

因現時國際對該頻段使用狀況較分歧，建議可持續觀察主流國家的後續規劃。同時考量到台灣有優秀的 Wi-Fi 相關製造業，建議可增加更多相關實驗環境來具體評估是共存或專屬使用

五、 華視：

當前如要對 U6 頻段進行頻譜重耕電視台將會配合，但需有相關配套措施，以避免電視訊號無法傳輸，並且根據電信法第 61 條相關內容希望可提供相關補助如租賃固網或光纖之經費或購買新設備以取代現有微波設備產生的設備費用

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

六、 台灣電力公司：

如開放 U6 頻段為國際趨勢，此部份將配合國家政策，但台電許多變電站為關鍵基礎設施，且部分電廠未於山上難以使用光纖通信，因此希望以保護區方式維持微波系統運作。

七、 民視：

如 6G 頻譜重耕勢在必行，能在不增加營運成本與兼顧訊號傳輸品質不受干擾情況下將配合國家相關政策，如需移頻勢必增加建置成本，也希望政府能夠有適當補助。

八、 交通部民航局服務總台：

因機場微波架構有部分 站臺位於難以部建光纖區域，重耕後通信傳輸將可能受到影響，希望可建立保護區，如要開放頻段共享需再提供更多驗證資料確保通信不受影響。

九、 鄧添來 前司長：

建議對當前訊號涵蓋區域進行確認，避免涵蓋至不需要之區域，如使用隔離網等方式來增加訊號遮蔽或使用如 FWA 或其他可行技術作為備用鏈路。

議題二：未來 6G 候選頻段對於頻譜重耕應用的看法

2-2、對於其他 6G 候選頻段，如 WRC-23 已確定 7025-7125 MHz（第三區）和 10.0-10.5 GHz（第二區）可用於國際行動通信（International Mobile Telecommunications, IMT），未來我國在頻段整備規劃上有何策略建議？

一、 鄧添來 前司長：此題建議參考司長 1-2 題回覆。

二、 中華電信：此題建議參考中華電信 1-1 題回覆。

議題二：未來 6G 候選頻段對於頻譜重耕應用的看法

2-3、若 6G 必須與其他類型無線應用如 Wi-Fi 共存的情況下，頻譜重耕技術將面臨哪些具體的技術和營運挑戰？

一、 台灣大哥大：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一)目前尚未有足夠資料可以支持 Wi-Fi 需完整的 1.2GHz 之頻寬才能用，亦缺乏足夠證據表明需 Wi-Fi 與 6G 共用。

(二)當前 AFC 雖可控制 Wi-Fi 功率但與 5G 或 6G 系統並無相關資料傳送，對抑制干擾幫助有限，因此認為 AFC 尚不夠解決 Wi-Fi 外其他異質網路的干擾問題，且現時 AFC 系統尚未大量推廣無法保證後續維運的狀況。

二、 中華電信：

(一)當前 AFC 測試主要為配合微波或衛星 站臺，如要配合 5G 或 6G 的基地臺，因其基地臺數量龐大 Wi-Fi 系統功率調整可能無法滿足不造成干擾之情況而無法發射功率，因其周遭皆有相關行動通信系統。

(二)行動通信跟微波都是主要服務，如 Wi-Fi 要室外使用將造成許多需協調情形，也造成各國目前對此頻段使用分歧，目前針對室外的 Wi-Fi 使用與行動通信系統間尚有很大的干擾疑慮同時當前共存或共享技術尚困難需要克服因此對國家經濟效益而言行動通信系統較高，如有無人機或自駕車此類室外通信實驗使用需求，建議可以使用專網之方式。

柒、臨時動議：無。

捌、散會：下午 17 時 00 分。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

附件九「我國微波移頻與使用其他替代技術探討」座談會會議紀錄

壹、 時間：民國 113 年 10 月 08 日（星期二）下午 1 時 30 分

貳、地點：集思交通部會議中心 201 會議室（臺北市中正區杭州南路一段 24 號 2 樓）

參、主持人：財團法人電信技術中心 郭主任作麟

紀錄：楊騰毅

肆、出席單位：（詳如會議簽到表）

伍、長官致詞：（略）

陸、綜合討論摘要：

議題一：我國 U6 頻段使用情況與用途規劃

我國 U6 頻段既有使用者主要用於固定點對點微波通信，對於該頻段未來規劃是否有其他更佳的建議用途？

一、 陳文字 教授：

(一)美國 U6 免執照設備於頻段使用表格屬於次要業務，而微波仍屬主要業務，而衛星於此頻段屬於上鏈，影響性較小。

(二)建議不用太過於擔心使用狀況未受保護，AFC 系統也會進行驗證。

(三)清頻（5925-7125 MHz）恐怕會很嚴重，亦會引起恐慌。

二、 鄧添來 前司長：

(一)未來是行動通信會取代固定通信，U6 不可能再有專用。備用可以用光纖取代。

(二)時代演進是否應考慮其他替代技術，微波為過去當年最省錢的方式，而現今技術是否可成為可替代之備援是值得參

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

考的。建議也可以使用固網和光纖作為備用，特別是中華電信也有對稱型 DSL。

(三)目前開放 L6 多為室內使用，使用者數量是否已經足夠形成干擾仍無法明確，若無法改變國際趨勢，U6 應先考慮相關備援選擇。

三、 呂海涵 教授：

(一)U6 頻段不可能再給固定微波來專用，若 6G 以下仍有微波專用頻段仍有些浪費。

(二)建議 FSO 當主幹線、微波 60 GHz 雙軌並行，而台灣氣候僅雨衰狀況需要考慮。

四、 魏學文 教授：

(一)頻率的稀缺性，使用頻譜由低頻漸漸往高頻發展，8 GHz 也會開始討論地面廣義寬頻無線通信的應用。

(二)開放 Wi-Fi 雖然的壓力大，但也是公共通信的重要部分，應盡量保留頻段供廣義地面寬頻無線通信。

五、 臺灣電視公司：

(一)替代方案是無法單獨替代無線電視的傳輸。

(二)微波並存應參考美國無線電視實際應用狀況。

(三)國家應提供一個穩健的關鍵基礎設施環境，了解業者需求。

(四)微波鏈路使用 50 公里如何處理配套，應值得討論。

(五)可提供試驗場域進行測試。

六、 交通部民航局：

(一)目前離島都是依賴中華電信的微波設備進行傳輸，光纖不能做為主要傳輸。

(二)建議不要看微波數量來參考，許多微波設備僅是替代鏈路，應直接考慮主幹線，依據階層式做法進行探討。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(三)馬祖光纖斷訊問題是否值得考慮保護主要依賴微波特殊鏈路的相關業務。

七、 中華電信：

(一)國際潮流往 6 GHz IMT 發展為主，Wi-Fi 以共存兼容，若 6425-7125 GHz 頻段規劃 IMT 和 Unlicensed 共用，需進一步驗證和測試。

(二)目前較大效益是以 IMT 使用較佳，Wi-Fi 可和行動通信互補來作交替使用。

(三)馬祖微波擴充容量為國安需求，不計成本進行，特殊鏈路需要替代備援，如衛星。

(四)多元備援機制（如 FSO、Unlicensed Band 微波、E-Band、FWA 等）可提升網路可靠性。應推動做為維持韌性的需要，可保護基礎設施，提升網路可靠性，值得進行相關的配套措施。

(五)建議未來規劃可以光化為主，微波為輔，應進行推動

(六)微波具有不可替代性，其他微波頻段應多考慮與測試，衛星替代鏈路也值得多考慮。

(七)建議主管機關以提升關鍵設備網路韌性規劃為主，達到共存的可能性，提高頻譜使用效率。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

議題二：替代 U6 頻段微波之合適頻段探討

我國已開放 L6 頻段（5945-6425 MHz）供免執照設備使用， WRC-23 大會後部分國家亦將 U6 頻段（6425-7125 GHz）用於國際行動通信（IMT）或做為免執照設備使用，請教業者針對將相關業務移至其他頻段如 L7（7124.5-7425.5 MHz）、U8（8275-8500 MHz）等更高頻段是否有相關建議或措施？

一、 中國電視公司：

(一)中視具備移頻經驗，為首個配合 5G 專案，西部微波過去原本要改為光纖固網，礙於費用龐大，使用跳頻技術西部微波幹線從五個頻率減少到兩個頻率。

(二)建議政府部門需要增加補助，因為改頻率涉及大量調教和測試時間。並且驗證，審驗費的補助也請一併提供。

(三)東部設備無法調頻，要走 IP 化或者固網衍生之成本，設備更換成本高且時間長，需要審慎評估。

(四)在民權和南港之間的 Unlicensed 5.8 GHz 微波設備長時間使用效果不佳，建議在市區使用時需考慮，並無法維持穩定不受干擾需求。

二、 遠傳電信：

(一)希望將 U6、L6 等頻段整合考量，未來試照時優先考慮行動用戶權益。

(二)建議持續關注 7215 和 8400 MHz 頻段技術發展，因其與 L7 頻段有重疊。

(三)去年申請 7 GHz 設置於蘭嶼、綠島微波設置，L6 山地微波目前是作為回傳鏈路，請問屆時政策若需要調整是否可以提供相關補助。

(四)建設期間涉及頻率使用費，若中斷會影響審查目標，建議劃定安全區域禁止使用。

三、 交通部民航局：

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(一)詢問 U6 頻率的開放或移頻期程，因其設備剛建好不久。

(二)希望國家政策要求移頻時能有補償機制，考量設備成本和頻率使用權。

(三)建議以設保護區的方式執行，因為關鍵基礎設施需要雙路由和備援。

四、 中華電信：

(一)對於中華電信微波使用傾向為擴充容量，應為擴頻而非移頻，除了 L6、U6，還包括 7 GHz 以因應偏鄉和離島的通信服務。

(二)目前有與數發部和 TTC 合作，申請 L7、U7 頻段，進行中長和超長距離的品質驗證

(三)若無法移頻之鏈路應請主管機關考慮設置保護區，類似陽明山衛星 站臺劃定保護區，確定微波區間在不同距離和傳輸樣態下的保護空間需求。

(四)希望主管機關和單位能協助補助，因為移頻涉及大量成本。

議題三：使用其他技術作為微波替代技術探討

本計畫研析之自由空間光通信、5G FWA 與免執照頻段微波等無線傳輸技術是否足以替代 6 GHz 頻段既有使用者之通信需求？

承上題，針對替代技術有無其他建議，或者對於既有使用情境之特定鏈路存在不可替代性？

一、 呂海涵 教授：

(一)FSO 可延伸 1~2000 公里，越遠的傳輸鏈路，傳輸速率需要下修 Data Rate 隨著距離下降，短距離內可以達到高速傳輸速率。

(二)架設成本是可以下降，頻寬可以逼近無窮大。

(三)FSO 可應用於衛星通信，如馬斯克的星鏈計畫，能夠實現長距離高數據速率傳輸。相關影響因子需要打超過一定距離才會受影響。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

(四)摻鉺光纖放大器（Erbium-doped fiber amplifier, EDFA）只要足夠的效能就可以進行長距離傳輸，系統目前主要影響因素包括光的準確對準和天氣條件，如雨天會影響傳輸效果。

二、 台灣大哥大：

(一)對於 FSO 可以使用於 IMT 無法涵蓋的地方，颱風、地震會影響穩定性。需要視距（Line of sight），建置點有限，需要視距（Line of sight），實際效果並不如宣稱。

(二)對於微波使用上需要移頻，但可申請的頻段有限，移頻過程繁瑣且成本高，希望能早確定可用的地面微波頻段，以便長期使用。

(三)IMT 無法涵蓋的地方就無法使用，實際使用上也不太符合目前使用需求。

三、 呂海涵 教授：

(一)FSO 在地震和颱風中的表現和其他系統都一樣，有些系統宣稱抗風強，但實際上受到強烈的天然災害，就連基地臺一樣掉落在地上。

(二)長距離傳輸需要將發射的光聚焦到非常小的探測器上，使用凸透鏡可以簡化光學對準。

四、 鄧添來 前司長：

(一)在離島等遠距離地區，繼續使用 L6 或 U6 微波，因為在山頂上使用大天線不會受到干擾。

(二)建議在市區使用其他頻率，並研究在中間使用不同的傳輸方式（包括 FSO）進行連接。

(三)需要評估各種方法的困難度和經濟價值，確保在遇到干擾時能夠使用替代技術

五、 台灣電力公司：

測試場域應選擇較長距離較符合實務需求，建議未來研究可考慮 10 公里以上的距離。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

六、　陳文字教授：

期待 U6 不要作為 IMT，微波仍有其必要性，不需要跟著中國的步調進行。

柒、臨時動議：無。

捌、散會：下午 4 時 55 分。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

參考文獻

僅列入文獻來源之註腳，未列入解釋註腳。

[1]	Constitution of the Internaional Telecommunication Union, Article 13, “Radiocommunication Conferences and Radiocommunication Assemblies,” 頁 20-21.
[2]	ITU Press Release, “World Radiocommunication Conference revises the ITU Radio Regulations to support spectrum sharing and technological innovation,” 15th December 2023. Source from https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2023-12-15-WRC23-closing-ceremony.aspx. 最後閱讀日期 2024 年 10 月 10 日.
[3]	WRC Resolution 245 （WRC-19）,” Studies on frequency-related matters for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications identification in the frequency bands 3 300-3 400 MHz, 3 600-3 800 MHz, 6 425-7 025 MHz, 7 025-7 125 MHz and 10.0-10.5 GHz,” Sharm el-Sheikh, 2019.
[10]	WRC Resolution 220 （WRC-23）, ” Terrestrial component of International Mobile Telecommunications （IMT） within the frequency band 6 425-7 125 MHz,” Dubai, 2023.
[11]	ITU Publication, “World Radiocommunication Conference 2023 （WRC-23） Final Acts,” Geneva, Switerland, April, 2024. ISBN : 978-92-61-38561-3. Footnote No. 5.457A, 5.457B, 5.457D, 5.457E, 5.457F.
[13]	WRC Resolution 213 （WRC-23）, ” Use of high-altitude platform stations as International Mobile Telecommunications base stations in the frequency band 694-960 MHz, or portions thereof,” Dubai, 2023.
[14]	WRC Resolution 221 （WRC-23）, ” Use of high altitude platform stations as International Mobile Telecommunications base stations in the frequency bands 1 710-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz and 2 110-2 170 MHz,” Dubai, 2023.
[15]	WRC Resolution 218 （WRC-23）, ”Use of high-altitude platform stations as International Mobile Telecommunications base stations in the frequency band 2 500-2 690 MHz, or portions thereof1” Dubai, 2023.
[19]	Convention of the Internaional Telecommunication Union, Article 7, “World Radiocummunication Conference,” 頁 90-92.
[20]	Convention of the Internaional Telecommunication Union, Article 12, “Radiocommunication Bureau,” 頁 101-105.
[21]	WRC Resolution 133 (WRC-23),” Study of the possible use of the frequency band 12.75-13.25 GHz by aeronautical and maritime earth stations in motion communicating with non-geostationary space stations in the fixed-satellite service (Earth-to-space)” Dubai, 2023.
[22]	WRC Resolution 683 (WRC-23),” Study of technical and operational issues and regulatory provisions to support inter-satellite service transmissions in the frequency bands 3 700-4 200 MHz and 5 925-6 425 MHz for non-geostationary-satellite space stations communicating with geostationary-satellite space stations,” Dubai, 2023.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[23]	WRC Resolution 251 (WRC-23),” Studies to consider a possible primary allocation in the frequency bands [694-960 MHz, or parts thereof, in Region 1], 890-942 MHz, or parts thereof, in Region 2, and [3 400-3 700 MHz, or parts thereof, in Region 3] to the aeronautical mobile service for the use of International Mobile Telecommunications (IMT) user equipment in terrestrial IMT networks by non-safety applications,” Dubai, 2023.
[24]	WRC Resolution 255 (WRC-23),” Studies on frequency-related matters for International Mobile Telecommunications (IMT) identification in the frequency bands [102-109.5 GHz, 151.5-164 GHz, 167-174.8 GHz, 209-226 GHz and 252-275 GHz] for the future development of IMT,” Dubai, 2023.
[25]	WRC Resolution 363 (WRC-23),” Improving the utilization of the VHF maritime mobile band,” Dubai, 2023.
[26]	WRC Resolution 366 (WRC-23),” Improving the utilization and channelization of maritime radiocommunication in the MF and HF bands, including potential revisions to Article 52 and Appendix 17,” Dubai, 2023.
[27]	WRC Resolution 684 (WRC-23),” Studies on possible new allocations to the radionavigation-satellite service (space-to-Earth) in the frequency bands [5 030-5 150 MHz and 5 150-5 250 MHz] or parts thereof,” Dubai, 2023.
[28]	WRC Resolution 664 (WRC-23),” Studies on a possible new primary allocation to the Earth exploration-satellite service (Earth-to-space) in the frequency band 22.55-23.15 GHz,” Dubai, 2023.
[29]	WRC Resolution 685 (WRC-23),” Studies towards frequency allocations for the Earth exploration-satellite service (space-to-Earth) within the frequency range [37.5-52.4 GHz],” Dubai, 2023.
[30]	WRC Resolution 686 (WRC-23),” Possible secondary allocation to the Earth exploration-satellite service (active) in the frequency bands [3 000-3 100 MHz] and [3 300-3 400 MHz],” Dubai, 2023.
[31]	WRC Resolution 722 (WRC-23),” Studies on the coexistence between spaceborne synthetic aperture radars operating in the Earth exploration-satellite service (active) and radiodetermination service in the frequency band [9 200-10 400 MHz]*,” Dubai, 2023.
[32]	WRC Resolution 235 (WRC-23),” Review of the spectrum use of the frequency band 470-694 MHz or parts thereof for some countries in Region 1,” Dubai, 2023.
[33]	Convention of the Internaional Telecommunication Union, Article 7, “World Radiocummunication Conference,” 頁 90-92
[34]	Convention of the Internaional Telecommunication Union, Article 12, “Radiocommunication Bureau,”頁 101-105.
[36]	Convention of The International Telecommunication Unit, Article 4, "The Concil,”頁 77
[37]	Convention of The International Telecommunication Unit, Article 2, "Elections and Related Matters,” 頁 70-73
[40]	IMO, WRC Document C/45 （WRC-23）, ” Note by the Secretary General - IMO Position for the Conference ,” Dubai, 2023.
[41]	Radio Bureau, “NTFA Allignment: RR Allocation & ITU-R Recommandations,” Regional Radiocommunication Seminar 2024 for Americas, July 2024.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[44]	WRC Resolution 256 （WRC-23）," Sharing and compatibility studies and development of technical conditions for the use of International Mobile Telecommunications （IMT） in the frequency bands 4 400-4 800 MHz, 7 125-8 400 MHz （or parts thereof）, and 14.8-15.35 GHz for the terrestrial component of IMT ," Dubai, 2023.
[47]	Convention of The International Telecommunication Unit, Article 12, "Radiocommunication Bureau," 頁 101
[48]	Director of Radiocommunication Bureau, WRC Document C/4 (WRC-23), "Report of the Director on the Acitvities of the Radiocommunication Sector," Dubai, 2023.
[49]	Director of Radiocommunication Bureau, appendix A-1, "PART 1: ACTIVITIES OF THE RADIOCOMMUNICATION SECTOR IN THE PERIOD BETWEEN WRC-19 AND WRC-23,"頁 5-45.
[50]	Director of Radiocommunication Bureau, appendix A-2, "EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF THE RADIO REGULATORY PROCEDURES AND OTHER RELATED MATTERS,"頁 1-119.
[51]	Director of Radiocommunication Bureau, appendix A-3, "ACTIVITIES OF THE RADIO REGULATIONS BOARD,"頁 1-31.
[52]	Director of Radiocommunication Bureau, appendix A-4, "MANAGEMENT OF THE MMSI NUMBERING RESOURCE (ISSUES REFERRED TO IN RESOLUTION 344 (REV.WRC-19) AND OTHER RELATED ISSUES),"頁 1-11.
[53]	Director of Radiocommunication Bureau, appendix A-7, "ICAO PROGRESS ON STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES (SARPS) PREPARATION FOR REMOTELY PILOT AIRCRAFT SYSTEMS,"頁 1-30
[54]	IMO, WRC Document C/45 (WRC-23), " Note by the Secretary General - IMO Position for the Conference ," Dubai, 2023.
[55]	ICAO, WRC Document C/55 (WRC-23), " Note by the Secretary General - ICAO Position for the Conference ," Dubai, 2023.
[56]	Director of Radiocommunication Bureau, appendix A-6, "ANALYSIS OF THE METHODS CONTAINED IN THE CPM REPORT TO SATISFY AGENDA ITEMS OF WRC-23,"頁 1-10.
[57]	5GMF, "Overview of 5GMF IMT-2020 Evaluation Group," ITU-R SG5 WP5D IMT-2020 Workshop, October, 2017.
[58]	WRC Resolution 256 (WRC-23)," Sharing and compatibility studies and development of technical conditions for the use of International Mobile Telecommunications (IMT) in the frequency bands 4 400-4 800 MHz, 7 125-8 400 MHz (or parts thereof), and 14.8-15.35 GHz for the terrestrial component of IMT ," Dubai, 2023.
[59]	ITU-R, CA/270 Addendum 1, "Results of the first session of the Conference Preparatory Meeting for WRC-27 (CPM27-1)," July, 2024.
[60]	WRC Resolution 253 (WRC-23)," Studies on possible new allocations to the mobile-satellite service for direct connectivity between space stations and International Mobile Telecommunications (IMT) user equipment to complement terrestrial IMT network coverage," Dubai, 2023.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[61]	ITU-R WP5D, Temp/093, “Working Document on Characteristics of Terrestrial Component of IMT for Sharing and Compatibility Studies in Preparation for WRC-27,” July, 2024.
[62]	ITU-R WP5D, Temp/0102, “Compilation of The Technical Aspects of The Use and Operation of TDD for Direct Connectivity Between Space Stations and IMT User Equipment,” July, 2024.
[63]	ITU Constitution, Article 1, “Purpose of the Union,” 頁 3-6.
[64]	ITU Constitution, Article 2, “Composition of the Union,” 頁 7.
[67]	ITU Resolution 99（PP-18）,” Status of Palestine in ITU,”Dubai, 2018.
[69]	ITU Constitution, Article 3, “Right and Obilitions of Member States and Sector Members,” 頁 8-9.
[70]	ITU Resolution 145 (Antalya, 2006),”Participation of observers in conferencces, assemblies and meetings of the Union,” Antalya, 2006.
[71]	ITU Resolution 145 (Antalya, 2006), Annex 1
[72]	ITU Resolution 145 (Antalya, 2006), Annex 2.
[73]	ITU Resolution 145 (Antalya, 2006), Annex 3.
[74]	Convention of The International Telecommunication Unit, Article 19, “Participation of Entities and Organizations Other than Administrations in the Union’s Activities,,” 頁 121-125.
[75]	5GMF, “Overview of 5GMF IMT-2020 Evaluation Group,” ITU-R SG5 WP5D IMT-2020 Workshop, October, 2017.
[82]	GSOA, “Global Challenges, Satellite Answers,” November, 2023. 資料來源: https://gsoasatellite.com/WRC23/. 最後閱讀日期 2024 年 10 月 10 日.
[83]	GSMA, “IMT SpectrumSessions,” November, 2023. 資料來源: https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2023/11/WRC-23-IMT-Spectrum-Session.pdf. 最後閱讀日期 2024 年 10 月 10 日.
[85]	MIC 總務省官方網頁. 資料來源: https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/iin_meibo.html . 最後閱讀日期 2024 年 10 月 10 日.
[88]	Rapporteur Region 3, WP5D document C/233, “Update on activities in Region 3,” June, 2024.
[91]	Ken Umeno, “Chaos Theory as the Asnwer to Limited Spectrum?” No. 10, ITU News, December, 2013. 頁 43-46.
[92]	ARIB, “第 179 回電波利用懇話会「2020 年度ワイヤレス利用分野における国際標準化動向調査の調査報告」,” March, 2021. 資料來源: https://www.arib.or.jp/image/top/event/konwakai179.pdf . 最後閱讀日期 2024 年 10 月 10 日.
[97]	ITU, 2024 edition of the Radio Regulations, https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2024/
[98]	APT (2024), The 32nd Meeting of the APT Wireless Group, MAIN WRC-23 RESULTS, https://www.apt.int/sites/default/files/2024/03/AWG-32-INF-02Rev.1_Main_WRC-23_Results.pdf
[99]	APT(2024), TRENDS AND SPECTRUM DEVELOPMENTS FOR IMT USAGE IN 2025 ~ 2030 IN ASIA-PACIFIC REGION, https://apt.int/awg-Reports

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[100]	APT （2024）, The 1st Meeting of the APT Conference Preparatory Group for WRC-27 （APG27-1）, https://www.apt.int/2024-APG27-1
[101]	APT, APG Office Bearers, https://apt.int/OB/APG
[102]	APT, APT Conference Preparatory Group for WRC-27 （APG-27）, https://apt.int/APTAPG
[103]	3GPP（2023）, 3GPP TS 22.261 V19.5.0（2023-12）, Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for the 5G system; Stage 1, Release 19
[104]	3GPP （2024）, Introduction to 3GPP Release 19 and 6G Planning. https://www.3gpp.org/news-events/partner-news/atis-webinar-rel19
[105]	3GPP （2024）, SWS240025, Summary of the Workshp, 3GPP Stage 1 workshop on IMT2030 Use Cases. Rotterdam, NL, 08-10 May, 2024. https://www.3gpp.org/ftp/workshop/2024-05-08_3GPP_Stage1_IMT2030_UC_WS
[109]	ACMA（2024）, Future use of the upper 6 GHz band Options paper. https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2024-06/future_use_of_the_upper_6_ghz_band_options_paper.pdf
[110]	Summary Report from 3GPP plenaries #105 （Melbourne, Australia, 9 - 13 September 2024）. https://sns-trackers.sns-ju.eu/standards-tracker/standardisation-updates/summary-report-3gpp-plenaries-105-melbourne-australia-9
[111]	3GPP （2024）, Rel-18 Status and Rel-19 Progress in TSG RAN. https://www.3gpp.org/technologies/ran-r18-r19
[112]	3GPP（2024）, Next G Alliance looks at channel models in 3GPP TR 38.901. https://www.3gpp.org/news-events/partner-news/channel-measurements
[113]	IEEE Transactions on Vehicular Technology （2024）, Interference Mitigation for Reverse Spectrum Sharing in B5G/6G Satellite-Terrestrial Networks https://ieeexplore.ieee.org/document/10301688 http://wmnlab.ee.ntu.edu.tw/lab/publication/Journal/[J]2023_[TVT]Interference_Mitigation_for_NTN_TN_Spectrum_Sharing_in_B5G_6G_Satellite_Terrestrial_Networks.pdf
[115]	GSMA （2024）, The Mobile Economy 2024, https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-economy/wp-content/uploads/2024/02/260224-The-Mobile-Economy-2024.pdf
[116]	GSMA （2024）, Mobile Policy Handbook – 2024 Edition, https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/mobile-policy-handbook/
[117]	GSMA （2024）, The 6 GHz IMT Ecosystem Demand Drives Scale, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/07/6-GHz-IMT-Ecosystem-Demand-Drives-Scale.pdf
[119]	GSMA （2024）, Spectrum Policy Trends 2024, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/02/Spectrum-Policy-Trends-2024.pdf
[120]	GSMA （2023）, Spectrum management in Latin America, https://www.gsma.com/connectivity-for-

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

	good/spectrum/wpcontent/uploads/2023/10/Spectrum-management-in-Latin-America.pdf
[121]	GSMA （2022）, 5G Drives French Digital Transformation, https://www.gsma.com/get-involved/gsma-membership/gsma_resources/5g-drives-french-digital-transformation/
[122]	Mobileeurope （2023）, German regulator consults on extending spectrum licenses instead of auction, https://www.mobileeurope.co.uk/german-regulator-consults-on-extending-spectrum-licences-instead-of-auction/
[123]	NGMN （2021）, 6G Drivers and Vision, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final_New.pdf
[124]	NGMN （2022）, 6G Use Cases and Analysis, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/220222-NGMN-6G-Use-Cases-and-Analysis-1.pdf
[125]	NGMN （2023）, 6G Requirements and Design Consideration , https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Requirements_and_Design_Considerations.pdf
[127]	NGMN （2023）, 6G Position Statement: An Operator View, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Position_Statement.pdf
[128]	NGMN （2023）, 6G Trustworthiness Considerations, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_6G_Trustworthiness.pdf
[129]	NGMN （2024）, ITU-R Framework for IMT-2030: Review and Future Direction, https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/ITU-R_FRAMEWORK_FOR_IMT-2030.pdf
[130]	ATIS （2023）, EU-US Beyond 5G/6G Roadmap, https://6g-ia.eu/wp-content/uploads/2024/01/eu-us-aligned-6g-roadmap-joint-paper.pdf?x44222
[132]	NextG Alliance（2024）, Next G Alliance Report: North American 6G Roadmap Priorities.
[133]	Next G Alliance （2024）, Distributed Sensing and Communications.
[134]	Next G Alliance, 6G Library, https://www.nextgalliance.org/6g-library/
[135]	RSPG（2023）, Progress Report of the work item on the development of 6G and possible implications for spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/bfc5cedd-a101-4e5c-aa7f-01266f77c1b4_en?filename=RSPG23-039final-Progress_report_6G_development.pdf （last visited 2024.05.13）.
[136]	RSPG(2023), The development of 6G and possible implications for spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks DRAFT RSPG Opinion, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/9cea690e-cc9a-4a14-920a-8c79dfa528e2_en?filename=RSPG23-026final-draft_RSPG_Opinion_on_6G_development_with_Annexes.pdf (last visited 2024.05.13).
[137]	European Commission（2023）, Radio Spectrum Policy Group Consultations, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/consultations-0_en （last visited 2024.05.13）.

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[138]	EUR-Lex, 2022/2481 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 establishing the Digital Decade Policy Programme 2030, https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2022/2481/oj （last visited 2024.05.13）.
[139]	RSPG（2023）, RSPG Opinion on 5G developments and possible implications for 6G spectrum needs and guidance on the rollout of future wireless broadband networks, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/fa8ec4bd-508c-4c8c-93b9-2ced4c7bedc6_en?filename=RSPG23-040final-RSPG_Opinion_on_5G_developments_and_6G_spectrum_needs.pdf （last visited 2024.05.13）.
[141]	RSPG（2024）, Progress report of the Subgroup 6G strategic vision, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/50eff3af-3ccd-4560-909f-e35c642d4cef_en?filename=RSPG24-021final-Progress_report_6G_strategic_vision.pdf （last visited 2024.10.21）.
[142]	RSPG（2022）, Opinion on the ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/system/files/2023-01/RSPG22-040final-RSPG_Final_Opinion_on_WRC23.pdf （last visited 2024.10.21）.
[143]	RSPG（2024）, RSPG Report on the result of the ITU-R World Radiocommunication Conference 2023, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/3d8d393b-2067-48c4-98f9-b95f4d8ed960_en?filename=RSPG24-017final-RSPG_Report_%20WRC23.pdf （last visited 2024.10.21）.
[144]	RSPG（2024）, Work Programme for 2024 and beyond, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/c87dc40a-3221-4842-98af-eb625d3557d2_en?filename=Questionnaire_U6GHz-2024.pdf （last visited 2024.10.21）.
[145]	RSPG(2024), Questionnaire on Long-term vision for the upper 6 GHz band, available at https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/document/download/d4e46670-313b-4bac-8d8d-760d92f4649b_en?filename=RSPG24-008final-RSPG_WP24_and_beyond_0.pdf (last visited 2024.05.13).
[146]	ITU（2024）, World Radiocommunication Conference 2023（WRC-23）Final Acts，available at https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.16-2024-PDF-E.pdf （last visited 2024.05.15）.
[147]	The white house （2024）, Joint Statement Endorsing Principles for 6G: Secure, Open, and Resilient by Design, https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/02/26/joint-statement-endorsing-principles-for-6g-secure-open-and-resilient-by-design/
[148]	White House （2023）, National Spectrum Strategy. https://www.ntia.gov/sites/default/files/publications/national_spectrum_strategy_final.pdf

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[149]	The white house （2024）, Joint Statement Endorsing Principles for 6G: Secure, Open, and Resilient by Design, https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/02/26/joint-statement-endorsing-principles-for-6g-secure-open-and-resilient-by-design/
[150]	NTIA （2024）, National Spectrum Strategy Implementation Plan. https://www.ntia.gov/sites/default/files/publications/national-spectrum-strategy-implementation-plan.pdf
[151]	NTIA（2024）, Advancement of 6G Telecommunications Technology, https://www.ntia.gov/federal-register-notice/2024/advancement-6g-telecommunications-technology
[152]	CSMAC（2023）, Report of Subcommittee on 6G, https://www.ntia.gov/sites/default/files/2023-12/6g_subcommittee_final_report.pdf
[153]	NTIA（2024）, NTIA Receives 43 Comments on 6G Policy, https://www.ntia.gov/other-publication/2024/ntia-receives-43-comments-6g-policy
[155]	FCC Technology Advisory Council （2023）, 6G Working Group Position Paper, https://www.fcc.gov/sites/default/files/Consolidated_6G_Paper_FCCTAC23_Final_for_Web.pdf
[156]	ITU （2023）, Final Acts WRC-23. http://handle.itu.int/11.1002/pub/8225d4fb-en
[160]	Ofcom （2023）, Spectrum management for next generation wireless broadband: a discussion paper, available at https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0036/269784/next-generation-wireless-broadband-oct-23.pdf （last visited 2024.05.16）.
[161]	Ofcom（2019）, Shared access licences, available at https://www.ofcom.org.uk/spectrum/frequencies/shared-access/ （last visited 2024.10.21）.
[162]	Ofcom（2019）, Enabling wireless innovation through local licensing, https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/129951--enabling-opportunities-for-innovation/associated-documents/enabling-wireless-innovation-through-local-licensing.pdf?v=324096
[163]	Ofcom （2023）, Supporting increased use of shared spectrum, available at https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0017/272051/Consultation-Shared-Access-Licence.pdf
[164]	Ofcom（2022）, Shared Access Licence Guidance document, available at https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0035/157886/shared-access-licence-guidance.pdf （last visited 2024.05.17）.
[165]	Ofcom （2023）, Consultation: Supporting increased use of shared spectrum, available athttps://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/consultation-supporting-increased-use-of-shared-spectrum?showall=1?showall=1 （last visited 2024.05.17）.
[166]	Ofcom（2024）, Expanding Access to Shared Spectrum, available at https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/catego

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	ry-1-10-weeks/consultation-supporting-increased-use-of-shared-spectrum/associated-documents/statement-expanding-access-to-shared-spectrum.pdf?v=370918
[167]	Ofcom（2024）, Shared Access Licence Guidance document, available at https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/129951--enabling-opportunities-for-innovation/associated-documents/shared-access-licence-guidance-july-2024.pdf?v=381319
[168]	Ofcom（2024）, Shared Access Licence Guidance document, available at https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/129951--enabling-opportunities-for-innovation/associated-documents/shared-access-licence-guidance-july-2024.pdf?v=381319
[170]	Ofcom （2024）, Ofcom's Plan of Work 2024/25, available athttps://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0020/281630/Statement-Plan-of-Work-2024-25.pdf
[171]	Ofcom （2024）, Mobile and Wi-Fi in Upper 6 GHz, available at https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/263766-hybrid-sharing-enabling-both-licensed-mobile-and-wi-fi-users-to-access-the-upper-6-ghz-band/associated-documents/mobile-and-wi-fi-in-upper-6-ghz.pdf?v=357119
[172]	MIC （2020）, Beyond 5G Promotion Strategy-Roadmap towards 6G-, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond_5G_Promotion_Strategy-Roadmap_towards_6G-.pdf
[173]	總務省（2023）,周波数再編アクションプラン（令和 5 年度版）概要, https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000500.html
[174]	總務省（2024）, 周波数再編アクションプラン（令和 6 年度版）（案）に対する意見募集, https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000526.html
[175]	MSIT （2024）, Press Releases—Completion of the 12 National Strategic Technologies Roadmap and Selection of Key Projects, https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&pageIndex=3&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=974&searchOpt=ALL&searchTxt
[176]	korea.kr news,'6G 시장' 경쟁력 확보…4407 억 원 투입해 관련 기술개발 추진, https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148922093
[177]	MSIT （2024）, Press Releases—6G 연구·개발 및 표준화 진전을 위한 '6G 원칙 공동선언문' 참여, https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=238&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3184119
[178]	MSIT （2024）, The 2nd ROK-EU Digital Partnership Council Sets Stage for Substantial Digital Cooperation, https://www.korea.net/Government/Briefing-Room/Press-Releases/view?articleId=7345&type=O&insttCode=
[179]	MSIT （2023）, Spectrum Bands for 6G Successfully Identified at WRC-23, Paving the Way for a New Era of 6G, https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&pageIndex=&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=953&searchOpt=ALL&searchTxt=

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

[180]	MSIT （2024）, 제 4 차 전파진흥기본계획（안） 발표에 따른 의견수렴, at 86, https://www.kca.kr/boardView.do?pageId=www47&boardId=NOTICE&seq=5255684
[181]	SKT （2023）, SKT Publishes 6G White Paper to Present Blueprint for Future Networks, https://www.sktelecom.com/en/press/press_detail.do?idx=1575
[182]	中國工信新聞網 （2023/12/14），《中國首次公開 6G 核心技術方案前景廣闊但須避免脫離》，https://www.cnii.com.cn/tx/202312/t20231214_529539.html（最後瀏覽日：2024/5/4）。
[183]	IMT-2030（6G）推進組，《2023 全球 6G 發展大會在渝成功開幕》，https://www.imt2030.org.cn/html//default/zhongwen/zhongyaohuodong/huiyihuodong/1732286054993567746.html?index=3（最後瀏覽日：2024/5/5）。
[185]	中國評論新聞網 （2024/4/19），《2024 全球 6G 技術大會舉行》https://hk.crntt.com/doc/1069/2/5/7/106925775.html?coluid=45&kindid=0&docid=106925775&mdate=0419170327 （最後瀏覽日：2024/5/5）。
[186]	IMT-2030（6G）推進組，成果發表，https://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/chengguofabu/yanjiubaogao/index.html?index=2（最後瀏覽日：2024/5/4）。
[187]	TS 38.101-1: NR; User Equipment （UE） radio transmission and reception
[188]	USGS （2024）, 3D Elevation Program, https://www.usgs.gov/3d-elevation-program
[189]	GDAL （2024）, GTiff -- GeoTIFF File Format, https://gdal.org/drivers/raster/gtiff.html
[190]	Fileformat.info （2024）, TIFF: Summary from the Encyclopedia of Graphics File Formats, https://www.fileformat.info/format/tiff/egff.htm
[191]	National Geospatial-Intelligence Agency ,World Geodetic System 1984, https://www1.nga.mil/ProductsServices/GeodesyandGeophysics/WorldGeodeticSystem/Pages/default.aspx
[192]	IEEE Communications Magazine (Volume: 62, Issue: 1, January 2024), https://ieeexplore.ieee.org/document/10401897
[193]	WIRELESS INNOVATION FORUM,Incumbent Fixed Service Data in the U.S. UNII 5 & 7 Bands Document WINNF-TR-1008 v1.0
[194]	Microwave – 47 CFR Parts 74 and 101, and 3650-3700 MHz（NN）, https://www.fcc.gov/uls/transactions/daily-weekly
[195]	Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology , 953436 D01 OET Laboratory Services API v03
[196]	NCC,電信設備審驗合格清單, https://www.ncc.gov.tw/chinese/opendata_item.aspx?menu_function_sn=172
[197]	WI-FI ALLIANCE, AFC System to AFC Device Interface Specification v1.5
[198]	FCC,OET ANNOUNCES CONDITIONAL APPROVAL FOR 6 GHZ BAND AUTOMATED FREQUENCY COORDINATION SYSTEMS, DA 22-1146
[199]	FCC （2024）, OET ANNOUNCES APPROVAL OF SEVEN 6 GHZ BAND AUTOMATED FREQUENCY COORDINATION SYSTEMS FOR

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

	COMMERCIAL OPERATION AND SEEKS COMMENT ON C3 SPECTRA'S PROPOSED AFC SYSTEM
[200]	Wi-Fi Alliance, AFC System to AFC Device Interface Specification v1.5
[202]	Opensignal （2024/6），行動網路體驗報告, https://www.opensignal.com/reports/2024/06/taiwan/mobile-network-experience
[203]	SAMSUNG 5G for Fixed Wireless Access, 2019
[204]	Plum Consulting, Coverage thresholds for 5G services,2021
[205]	ITU-R P.1817-1, Propagation data required for the design of terrestrial free-space optical links,2012/02
[206]	3GPP TR 38.901, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz（2022-03）
[208]	ITU-R P.1817-1 Propagation data required for the design of terrestrial free-space optical links
[209]	RECOMMENDATION ITU-R SM.1603-2
[210]	FCC（2016/5/17）, Private Land Mobile Radio Services, https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/private-land-mobile-radio-services
[211]	GSMA, 900MHz Band Refarming Case Study — Sweden, https://www.gsma.com/spectrum/resources/900mhz-band-refarming-case-study-sweden/
[212]	ITU-R（2015）, Handbook on Global Trends in IMT Edition of 2015, https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-62-2015-PDF-E.pdf
[213]	TelSoc（2013/2）, The 'digital dividend' as a case study in spectrum re-farming, https://telsoc.org/journal/tja-v63-n1/a391
[214]	GSMA, How to implement Spectrum Re-Farming, https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2017/11/10-Day-2-Session-3-How-to-Implement-Spectrum-Refarming-Shola-Sanni.pdf
[215]	ITU（2015）, Methods for determining national long-term strategies for spectrum utilization, https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2015
[216]	ITU-R M.2160-0, Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2023 and beyond, November 2023.
[217]	Banafaa, M., et al. （2023）. 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities. Alexandria Engineering Journal, 64, 245-274.
[218]	NGMN Alliance. （2024）. ITU-R framework for IMT-2030: Review and future direction. https://www.ngmn.org/highlight/ngmn-publishes-itu-r-framework-for-imt-2030-review-and-future-direction.html
[219]	MediaTek. （2022）. 6G vision White paper. https://www.mediatek.com/blog/6g-whitepaper
[220]	Ericsson. （2023）. 6G spectrum - enabling the future mobile life beyond 2030. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/6g-spectrum-enabling-the-future-mobile-life-beyond-2030
[221]	Ericsson. （2022）. 6G connecting a cyber physical world. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g

All rights reserved http://www.ttc.org.tw

[222]	Samsung. （2020）. 6G the next hyper connected experience for all White paper. https://research.samsung.com/next-generation-communications

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

中英文名詞對照（依縮寫字首排序）

縮寫	原文	中文
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作夥伴計劃
5GC	5G Core Network	5G 核心網路
6G	6th Generation Wireless Systems	第六代行動通信系統
6G IA	6G Smart Networks and Services Industry Association	歐洲 6G 智慧網路和服務產業協會
ACK	Acknowledgment	必須確認
ACPs	APT Common Proposals	共同提案
ADSS	AI-based Dynamic Spectrum Sharing	人工智慧的動態頻譜共享
AFC	Automated Frequency Coordination	自動頻率協調
AHGC	Ad Hoc Group Communication	專案通信支持
AHP	Analytic Hierarchy Process	層次分析法
AI	Agenda items	議題
AIaaS	Native Trusted AI	原生可信賴之 AI
AIaaS	AI as a service	人工智慧即服務
AIP	Administrative Incentive Pricing	行政誘因定價法
AMS	Aeronautical Mobile Service	航空行動無線電
AP	Access Point	存取點
APG-23	APT Conference Preparatory Group for WRC-23	WRC-23 籌備組
APG-27	APT Conference Preparatory Group for WRC-27	WRC-27 籌備組
API	Application Programming Interface	應用程式介面
APT	Asia-Pacific Telecommunity	亞洲太平洋電信組織
ARIB	The Association of Radio Industries and Businesses	日本電波發展協會
AS	Amateur Service	業餘無線電
ASMG	Arab Spectrum Management Group	阿拉伯頻譜管理群組
ASS	Amateur Satellite Service	業餘衛星無線電
AT&T Corporation	American Telephone & Telegraph	美國電話與電報公司
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions	電信產業解決方案聯盟
ATU	African Telecommunications Union	非洲電信聯盟
AWG-32	The 32nd Meeting of the APT Wireless Group	第 32 次亞太地區電信組織無線小組會議
B5GPC	Beyond 5G Promotion Consortium	日本 Beyond 5G 推進聯盟

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
BAS	Broadcast Auxiliary Service	廣播輔助用途
BBC	British Broadcasting Corporation	英國國家廣播公司
BIU	Bring Into Use	營運使用後
BR	Radio Bureau	無線電事務局
	Broadcasting Satellite Service	衛星廣播用途
CA	Carrier Aggregation	載波聚合
CAS	Communication-Assisted Sensing	通信輔助感測
CAV	Connected and Autonomous Vehicles	車聯網
CBRS	Citizens Broadband Radio Service	公民寬頻無線電服務
CDF	Cumulative Distribution Function	累積分佈函數
CEPT	Confederation of European Posts and Telecommunications	歐洲郵電管理委員會
CITEL	Inter-American Telecommunication Commission	美洲國家電信委員會
CN	Core Network,	核心網路
CO	Conditionally-Optional	條件可選
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space	外太空委員會
CPM Text	Text for Conference Preparatory Meeting	準備會議文字
CPRI	Common Public Radio Interface	通用公共射頻介面
CPS	Cyber-Physical System	虛實整合系統
CQI	Channel Quality Indicator	通道品質指標
CR	Conditionally-Required	條件要求
CR	Cognitive Radio	認知無線電
CRS	Cell Specific Reference Signal	專用參考信號
CSDP	the Common Security and Defence Policy	歐盟共同安全暨防衛政策
CSDP	Common Security and Defence Policy	歐盟共同安全暨防衛政策
CSMAC	Commerce Spectrum Management Advisory Committee	商業頻譜管理諮詢委員會
CSP	Content Security Policy	內容安全策略
CSV	Comma-Separated Values	逗號分隔值
CT	Core Network and Terminal	核網及終端技術組
D2D	Direct to Device	衛星直連終端
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	國防高等研究計畫署
DDoS	Distributed Denial-Of-Service Attack	分散式拒絕服務攻擊

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
DoS	Denial-of-service attack	拒絕服務攻擊
DSAC	Distributed Sensing and Communication	分散式感測和通信
DSM	Dynamic Spectrum Management	動態頻譜管理
DSS	Dynamic Spectrum Sharing	動態頻譜共享
DTH	Direct to Home	直播到府
DU	Distributed Unit	分散單元
EARFCN	E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number	E-UTRA 絕對無線電頻率信道編號
EAS	Equipment Authorization System	設備授權系統
eCPRI	enhanced Common Public Radio Interface	增強型通用公共射頻介面
EESS	Earth Exploration-Satellite Service	地表探測衛星用途
EEZ	Exclusive Economic Zone	專屬經濟海域
EG ComAD	ITU Expert Group on Communications Technology for Automated Driving	ITU 自動駕駛通信技術專家組
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power	等效全向輻射功率
eMBB	enhanced Mobile Broadband	增強型行動寬頻
EMC	Electro-Magnetic Compatibility	電磁相容性
EMEA	Europe, Middle East, and Africa	歐洲、中東、非洲地區
EN-DC	E-UTRAN New Radio Dual Connectivity	雙連接
EOP	Executive Office of the President	總統行政辦公室
EP	Emergency Preparation	緊急準備
EPC	Evolved Packet Core	4G 演化封包核心網路
EPFD	Equivalent Power Flux Density	等效功率通量密度
EPRI	Electric Power Research Institute	美國電力研究院
ES	Earth Station	地球電臺
ESG	Environmental, social, and governance	環境、社會和公司治理
ESIM	Earth Stations in Motion	行動地球電臺
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute	電子通信研究院
FDV	Frame delay variation	封包延遲偏差
FDV	Frame Delay Variation	延遲變異
FFAPP	Factories of the Future	未來工廠
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System	未來鐵路行動通信系統
FS	Fixed Service	固定用途
FS	Fixed point-to-point microwave	固定點對點微波服務

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
	Services	
FSS	Fixed Satellite Service	衛星固定用途
FTTH	Fiber-To-The-Home	光纖到府
FWA	Fixed Wireless Access	固定無線接取
GAA	General Authorized Access,	一般許可接取使用者
GenAI	Generative AI	人工智慧
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System	全球海事遇險與安全系統
GNU GPL	GNU General Public License	GNU 通用公眾授權條款
GSA	Global Mobile Suppliers Association	全球行動設備供應商協會
GSM	Global System Mobile	全球行動系統
GSMA	Groupe Speciale Mobile Association	全球行動通信系統協會
GSOA	Global Satellite Operators Association	全球衛星運營商協會
GSOA	Groupe Speciale Mobile Association	全球衛星通信組織
GSOA	Global Satellite Operator's Association	全球衛星經營者協會
HAPS	High-Altitude Platform Station	高空通信平臺
HIBS	High-altitude platform stations as International Mobile Telecommunications Base Stations	高空地面行動通訊基地臺
HSPA	High Speed Packet Access	高速封包接取
HSTS	HTTP Strict Transport Security	HTTP 嚴格傳輸安全
HTTPS	HyperTextTransfer Protocol	超文本傳輸安全協定
ICAO	International Civil Aviation Organization	國際民用航空組織
ICMP	Internet Control Message Protocol	網際網路控制訊息協定
IMO	International Maritime Organization	國際海事組織
Information Technology	Information Technology	資訊科技
IoS	The Internet of Senses,	感測互聯網
IoT	Internet of Things	物聯網
IP address	Internet protocol address	網際網路協定位址
ISAC	Integrated Sensing and Communication	整合感知和通信
ISL	Inter-Satellite Link	衛星間鏈結
ISP	Internet Service Provider	無線網路服務提供者
ITM	Irregular Terrain Model	不規則地形模型
ITS	Intelligent Transportation Systems	智慧交通系統
ITU	International Telecommunication Union	國際電信聯盟

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
ITU-AJ	The ITU Association of Japan	日本 ITU 協會
ITU-D	ITU Development Sector	電信發展部門
ITU-R	ITU Radio Sector	國際電信聯合會無線電部門
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector	無線電通訊部門
ITU-T	ITU Telecommunication Sector	電信標準部門
JCAS	Joint Communications and Sensing	聯合通信與感測
JSON	JavaScript Object Notation	程式腳本物件格式
KISDI	Korea Information Society Development Institute	韓國資訊社會發展研究院
LDR	Low Data Rate	低傳輸速率
LE	License-Exempt	免許可
LoS	Line of Sight	可視站臺
LPI	Low Power Indoor	室內低功率
LPWA	Low Power Wide Area	低功率廣域
LSA	Link-state Advertisement	授權共享接取
LTE	Long Term Evolution	長期演進技術
MCDM	Multi-criteria decision-making	多準則決策方法
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	微機電系統
MFCN	Mobile/Fixed Communications Networks	行動/固定通信網路
MIC	Ministry of Internal Affairs and Communications	日本總務省
MIFR	Master International Frequency Register	國際頻率登記總表
MITM	Man-in-the-middle Attack	中間人攻擊
ML	Machine Learning	機器學習
MLO	Multi-link Operation	多重頻段連接模式
mMTC	Massive Machine Type Communications,	大規模機器類通訊
MNO	Mobile Network Operator	行動網路營運商
MPS	Multimedia Priority Service	多媒體優先服務
MRO	Maintenance, Repair and Operations	維護、修理、營運
MRU	Multi-RU	多重資源單元
MSIT	Ministry of Science and ICT	韓國科學技術資通信部
MSS	Mobile Satellite Service	衛星行動用途
MWC	Mobile World Congress	世界行動通信大會
MWC Barcelona	Mobile World Congress Barcelona	巴塞隆納世界行動通信大會
NASCTN	National Advanced Spectrum and	國家先進頻譜與通信測

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
	Communications Test Network	試網路
NATO	North Atlantic Treaty Organization	北大西洋公約組織
NCC	National Communications Commission	國家通信傳播委員會
NGA	Next G Alliance	Next G 聯盟
NGIS	National Geographic Information System	國家地理資訊系統
NGMN Alliance	Next Generation Mobile Networks Alliance	次世代行動網路聯盟
NGSO	Non-Geostationary Orbit	非地球同步衛星軌道
NGWB	Next Generation Wireless Broadband	次世代無線寬頻
NIST	National Institute of Standards and Technology	國家標準與技術研究所
NLCD	National Land Cover Database	國家土地雜波資料庫
NLoS	Non Line of Sight	不可視站臺
NOC	No Change	不改變
NPRM	Notice of Proposed Rulemaking	法規制訂通告
NR	New Radio	無線空中介面
NRA	National Regulatory Authority	國家法規授權機構
NRA	National Regulatory Agency	國家監管機構
NRARFCN	NR Absolute Radio Frequency Channel Number	NR 絕對無線頻率通道編號
NRRA	National Radio Research Agency	國家無線電研究機構
NS	National Security	國家安全
NSA	Non-Standalone	非獨立組網
NSA	Non Standalone	非獨立組網
NSF	National Science Foundation	國家科學基金會
NTFA	National Tables of Frequency Allocation	國家頻率配置表
NTIA	National Telecommunications and Information Administration	國家電信與資訊管理局
NTN	Non Terrestrial Netowrk	非地面網路
O	Optional	可選的
OBSAI	Open Base Station Architecture Initiative	開放式基地臺架構倡議
OET	Office of Engineering and Technology	工程技術辦公室
Ofcom	Office of Communications	英國通信傳播管理局
O-RAN	Open Radio Access Networks	開放式無線接取網路
OSTP	Office of Science and Technology Policy,	白宮科學技術政策辦公室
OT	Operation Technology	營運技術

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
OTA enhancements	Over-The-Air enhancements	空中傳輸強化
PAL	Priority Access Licensees	優先執照使用者
PCI	Physical Identity	實體層 ID
PCS	Personal Communication Service	個人通信服務
PLMN	Public Land Mobile Network	公用陸上行動網路
PLMR	Private Land Mobile Radio	陸地行動專用無線電
PMN	Private Mobile Network	專用行動網路
PoC	Proof of Concept	實驗研究法
PoE	Power over Ethernet	乙太網路供電
ProSe	Proximity Based Services	鄰近服務
PTS	Swedish Post and Telecom Authority	瑞典郵政電信管理局
PW	Pseudowire	偽線
QoE	Quality of Experience	服務體驗品質
QoS	Quality of Service	服務品質
RAN	Radio Access Network	無線接取網路
RAS	Radio Astronomy	無線電天文學
RAS	Radio Astronomy Service	無線電天文學用途
RBW	**Resolution Bandwidth**	解析度頻寬
RCC	Regional commonwealth in the field of communications	區域通信聯邦
RCM	Remote Control Management	遠端控制管理
RF	Radio frequency	射頻
RIS	Reflective Intelligent Surfaces	可重構智慧表面
RLAN	Radio Local Access Network	無線區域網路
RLS	Radiolocation Service	無線電定位用途
RNSS	Radio Navigation Satellite System	無線電導航衛星服務
RoP	Rule of Procedure	程序規則
RR	Radio Regulation	國際無線電規則
RRB	Radio Regulation Bard	無線電規則委員會
RSL	Received Signal Level	接收訊號水平
RSPG	The Radio Spectrum Policy Group	歐盟無線電頻率政策小組
RSRP	Reference Signal Received Power	參考訊號接收功率
RSRQ	Reference Signal Received Quality	參考信號接收品質
RSSI	Received Signal Strength Indication	接收訊號強度
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信號強度指標
RU	Radio Unit	射頻發射單元

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
RU	Radio Unit	射頻單元
SA	Standalone	獨立組網
SA1	Service and System Aspects 1	服務與系統層面第一組
SAC	Sensing-Assisted Communication	感測輔助通信
SAS	Spectrum Access Systems	頻譜存取系統
SCS	Supplemental Coverage From Space	太空增補通信範圍
SDGs	Sustainable Development Goals	永續發展目標
SDGs	Sustainable Development Goals	永續發展目標
SG	Study Group	研究群組
SI	Study item	研究專案
SID	Study Item Discription	研究項目敘述
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio	信號對干擾雜訊比
SIO	Scientific Industrial Organizations	科學企業組織
SNMP	Simple Network Management Protocol	簡單網路管理協定
SNR	Siganl-to-Noise Ratio	訊號雜訊比
SNS JU	the EU Smart Networks and Services Joint Undertaking	歐盟智慧網路和服務聯合組織
SONET	Synchronous Optical Networking	同步光纖網路
SOS	Space Operation Service	太空運行用途
SOV	Sub-Orbital Vehicle	次軌道飛行器
SRN	Shared Rural Network	郊區共享網路
SRS	Space Research Service	太空研究用途
SST	Sea Surface Temperature	海面溫度
STM	Synchronous Transport Module	同步傳送模組
Sub-THz	Sub Terahertz	次太赫茲
SUECR	Seamless UE Context Recovery	無縫 UE 上下文恢復
SWN	Single Wholesale Networks	單一批發網路
TBSS	Television Broadcast and Support Services	電視廣播和支援用途
TCP	Transmission Control Protocol	傳輸控制協定
TCP	Transmission Control Protocol	傳輸控制協定
TDD	Time-Division Duplexing	分時多工
TIP	Telecom Infra Project	電信基礎設施計畫
TLS	Transport Layer Security	傳輸層安全性協定
TN	Terrestrial Network	地面網路
TR	Time Reversal	時序迴轉
TSG	Technical Specification Group	技術規範組

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

縮寫	原文	中文
TT&C	Telemetry, Tracking, and Command	追蹤、控制和通信
TTA	Telecommunications Technology Association	韓國電信技術協會
TTC	Trade and Technology Council	貿易和技術理事會
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人駕駛飛行器
UDP	User Datagram Protocol	用戶資料元協定
UDP	User Datagram Protocol	使用者資料包協定
UE	User Equipment	使用者裝置
UHD	Ultra-High Definition	超高清
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	全球行動通信系統
UN	United Nations	聯合國
UWB	Ultra Wide Band	超寬頻
VPN	Virtual Private Network	虛擬私人網路
WAB	Wireless Access Backhaul	無線接取後傳
WAS	Wireless Access System	無線接取系統
WBB ECS	Wireless Broadband Electronic Communications Services	無線寬頻電子通信服務
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	寬頻分碼多重接取
WI	Work Item	技術規範階段
WMO	World Meteorological Organization	世界氣象組織
WP	Working Party	工作小組
WPT	Wireless Power Transmission	無線電力傳輸
WPT	Wireless Power Transmission	無線電力傳輸
WRC-23	World Radiocommunication Conferences	2023 年世界無線電大會
XR	Multi-Sensory Extended Reality	多感官擴充實境
XR	Extended reality	延展實境
XSS	Cross-Site Scripting	跨站腳本攻擊

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

期末報告審查會議審查委員意見回覆表

曾文方委員(召集人)

項次	委員提問與建議事項	研究單位處理情形及意見
一、委員意見：		
委員一：鄧添來		
1	年度指標及查核事項均依進度如期完成，實測部分有改善空間。	感謝委員指導。 關於實測部分，有關 sidelobe 的影響，由於 AFC 系統資料庫內含天線場型資料，這也意味著 AFC 系統在計算各頻段之最大允許功率時，有考量 sidelobe 因素。
2	現有微波鏈路，要業者一次騰出有實務困難，建議除鼓勵 FWA 等備援外，在市區可用 FSO 及較高頻段，需研究介接方式，STL 可考慮網際網路備援。	感謝委員指導。對於使用 FSO，FWA 或免執照設備等替代技術當備援傳輸資料的介接方式更新於期末報告第466頁。
3	頻譜重耕是各國均需面對的難題，請續搜集各國處理方法，瑞典採縮減頻寬是一方法。	感謝委員指導。研究團隊會持續蒐集各國頻譜重耕之處理方式並參考其重耕方法。
4	頁555，高頻較建議「可採免執照方式來規劃」建議改「ITU 無線電規則研發使用」。	感謝委員指導。已依據審查意見修正文字。
委員二：陳彥宏		
1	本案進度合乎預期，成果豐碩。	感謝委員肯定。
2	針對6G 頻譜整備，建議將投影片 P22, P23, P38~P42，整合成獨立章節，放在報告書 word 檔的附件，作為後續本案延續工作的基礎。	感謝委員指導。已依據審查意見補充於652頁至655頁。
3	本案結案報告，似以需持續釋出頻譜為主軸，如投影片 P18，建議再進一步收集反向的建議，供數位部能全盤了解後續釋照的效應。	感謝委員指導。本研究整理之研究國家中，部分國家針對將頻譜分配給行動通信使用有反面意見，例如歐盟 RSPG 對部分頻段釋出供行動通信使用持保留意見，此種即屬反向意見之一。
4	投影片 P53建議調整文字：將1~7GHz 頻段，分成1~3GHz 為技術中立，供既有行動寬頻服務使用，4~7GHz 待目前用戶使用狀況來評估後續怎麼處理。	感謝委員指導。已依據審查意見修正文字。
5	建議補充文獻各頻段的大氣電波吸收率，y 軸是吸收率，x 軸是頻段。	感謝委員指導。新增「圖5-49」補充電磁波於大氣中的衰減趨勢圖。
委員三：梁明正		

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

1	針對參與 ITU，建議為何？	感謝委員指導。 1. ITU 依其憲章與公約，將會員資格區分為國家會員、非國家會員，與特別會員等類別。在考量國際現實與現況實務需求之下，建議以非國家以及特別會員來優先考慮，一方面可居於國際社群一份子之身分來共同商議國際電信議題，另一方面亦可同時跟上國際潮流並落實國家資源與電信產業保護發展為目標。本研究已於表2-8及相關說明段落，提供參與 ITU 活動之方式整理，應可參酌多種可行參與方式之目標、成本與難度，並進而據以評估預期效益及其相關風險。 2. 本年度計畫執行期間，研究團隊透過2種方式嘗試取得 ITU 相關會議參與機會，惟相關方式尚未順利可行，未來將持續推行多種可行作法，以協助主管機關達成取得 ITU 及時必要資訊之目標。
2	AFC 測試中，情境一之情形，AFC 在那裡，應標明。	感謝委員指導。 情境一測試主要是針對極端干擾環境下所做的測試，而情境二則是使用 WiFi AP 比較趨近使用者模式的測試，AFC 都只是提供設備在該座標位置上可以使用哪些頻段以及該頻段可以使用之最大功率，通常我們會先在 AFC 系統上的 Virtual AP 介面先進行操作取得相關參數，再於現場時將參數設定到干擾設備中進行測試。已按照委員建議將 AFC 系統加入情境一中。
3	依期末審查簡報 P.42，NGSO 的衛星發射是否也受限制？	感謝委員指導，對於 NGSO（非同步軌道衛星）之發射限制，也是要向 ITU 申請軌道及頻率。
4	目前使用 open AFC，是否應發展合適的專用 AFC？	感謝委員指導。 若考量在臺灣實際導入 AFC 機制，建議開發臺灣專用的 AFC 系統。
5	將6G 和 WiFI-7分開關注是個好的策略。	感謝委員肯定。
委員四：沈信雄		
1	頁24，第2段「7025、7125 MHz」應為「7025-7125 MHz」。	感謝委員指導。已依據審查意見修正文字。
2	頁28，第1段，部分逗號應改為頓號。	感謝委員指導。已依據審查意見修正文字。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

3	頁123，第4點，「安全性112」，其中「112」指什麼？	感謝委員指導。段落中「112」是引用之註腳，格式誤植，已修正格式。
4	頁183，第2點，「依功率151」，其中「151」指什麼？	感謝委員指導。段落中「151」是引用之註腳。格式誤植，已修正格式。
5	頁378，未來可以納入我國若採行類 AFC 系統時，其授權及技術轉移之相關配套研究及建議。	感謝委員指導。本計畫採用之 OPEN AFC 軟體屬於 BSD（Berkeley Software Distribution）的三條款授權(3-Clause License)版本，允許使用者重製、散佈、修改和商業化。因此，建議我國若採行類 AFC 系統為開源軟體類型，應以宣告 BSD 三條款授權的版本為優先選擇，也持續研析美國與加拿大的做法做為我國執行的參考意見。相關補充內容呈現於頁372。
6	頁417，最後一段，UDP 傳輸速度下降與溫度上升有相關，此處相關是指大氣溫度或 AP 溫度？	感謝委員指導，此處所指溫度主要為 AP 溫度，但因大氣溫度上升時 AP 溫度亦會同步上升，因此亦會對傳輸速度造成影響。
7	頁421第2段、P422第1段之「表5-29」、「表5-30」與表格編號不同。	感謝委員指導，已修正表格編號，請見更新後之期末報告「表5-25」、「表5-26」。
8	頁433，FWA 的結論，請問若電視台採 FWA 備援鏈路，有訊號運送的建議架構及測試計劃嗎？	感謝委員指導，已將建議電視台使用 FWA 做為備援的傳輸方法補充於426頁。
9	頁447，請將各替代技術之價格/時程、注意事項各列一張表。	感謝委員指導，新增「表5-34」，將相關資訊列入。
10	頁467最後一段，7.125-8.4 GHz 頻段有16站為電視業者，19站與飛航相關，請說明電視業者及飛航使用人？	感謝委員指導，飛航航務相關使用者為交通部民用航空局飛航服務總臺，另外14站為財團法人公共電視文化事業基金會，2站為中華電視股份有限公司。
11	頁505，第一段後續文字消失。	感謝委員指導。已依據審查意見修正文字。
12	頁507，第1點，第一段漏字。	感謝委員指導。已依據審查意見修正文字。
委員五：曾文方		
1	每個議題的重要結論、建議，建議整理成表放在結論。	感謝委員指導。已依據審查意見修正於第九章。
2	頁149「MRSS 一種允許不同類型的無線技術在同一頻段內共存的策略」預計納入哪些無線技術？實現的困難度？「多無線接取技術頻譜共享（MRSS）」與「6G 與其他無線服務之間的共享」的差別？	感謝委員指導。 多無線接取技術頻譜共享（Multi-RAT Spectrum Sharing，MRSS）被 3GPP 命名為動態頻譜共享（Dynamic Spectrum Sharing, DSS），是指在傳輸時間間隔（Transmission Time Interval, TTI）範圍內共享頻譜，多半是在單一電信業者內運作的頻譜共享方式，用於 5G 和 4G 空中

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

		介面之間的跨技術共享，出於對跨代頻譜重用的興趣，MRSS 將在6G 標準化過程中透過案例以試驗和測試方法繼續開發，並盡可能增強 3GPP 的動態頻譜共享。
3	有關參與 ITU 相關組織這部分研析，是否需要公開上網，建議承辦科再行考量。	感謝委員指導。 本研究所提供之參與研析，基本參考自公開資訊，並已提供相關出處以為佐證之參考，而其相關研析內容，亦多基於事證來提供客觀之研析整理。此外，本研究已於適當段落，先行排除敏感法律與政治議題之討論，並於附註補充說明僅就實務議題來進行討論。綜上說明釐清，就本文所提供之整理研析，應可一定程度排除敏感內容以及爭議發生之可能性。 但若委員或承辦長官仍對內容存有風險疑義，團隊亦同意遵造辦理，將相關章節於公開版中移除。
4	頁265， AP 資料認證比對機制部分，NCC 公開的 Wi-Fi 6E 型式資料庫的資料是否已足夠？	感謝委員指導。 NCC 公開的型式認證資料庫，從1991年至現今約9萬6千多筆，涵蓋所有通過認證的射頻器材，其中也包含 Wi-Fi 6E 及 Wi-Fi 7設備，惟臺灣法規尚未開放 Wi-Fi 標準功率設備，因此無法搜尋到相關器材，但 AFC 系統介接功能均已開發完成。為提升資料庫搜索效率與配合技術規範審驗流程，建議未來導入 AFC 機制時，應於 NCC 型式認證資料庫中新增6GHz 標準功率設備類型，便於與其他室內低功率或極低功率器材區分。相關補充內容呈現於頁265。
5	頁325，「未來臺灣 AFC 系統建置也可在圖資部分進行強化」，建議強化的點？	感謝委員指導。 目前開發之 AFC 系統在計算路徑損失時，會採用國際人口密度圖資判定該區域屬城市、郊區或鄉村，並決定使用之無線通道模型，但由於原生軟體使用的圖資精度較差(精度一公里)，故而建議未來可使用國內較高精度之資訊替代(精度30公尺)。另外在地貌與建物圖資部分，若能導入臺灣當地高精度資料，也能提升 AFC 系統計算之精度。已在期末報告頁319調修以及頁629。
6	頁630，ITU RR 2024 edition 已於8月開放下載，建議調整文字。	感謝委員指導。已調整相關文字，並完成適當之修訂，以維持前後文之文意。
7	頁635，有關 upper 6GHz 之分配，建議補充	感謝委員指導。已依據審查意見補充文字

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	巴西跟墨西哥也分配供 IMT 使用。	於第九章。
8	頁637，「請業者提供已經拆除或沒有發射的站臺資料，以及正在使用站臺之發射頻率、海拔高度、位置、天線數量、天線型號、空間分極等資料」，現在的資料庫正確性？空間分極應為空間分集。	感謝委員指導。本計畫依據 NCC 資料進行實測既有站臺選址，經過與負責站臺管理的人員討論後，發現到有的站臺狀態是已拆除或僅當備援沒有在發射，除此之外，使用站臺之發射頻率、海拔高度、位置、天線數量、天線型號、空間分集等資料，部分與 NCC 的資料有所差異。空間分集已在期末報告頁643修正。
9	頁637，「AFC 機制要在6 GHz 全頻段開放給 Wi-Fi 使用的情況下才有優勢」請強化論述。	感謝委員指導。已補充相關論述，呈現於期末報告頁629。
10	中翻英（第一次出現請寫英文全名，出現次數較多的話建議放到中英對照表） - 頁149 MRSS 是什麼的縮寫？ - ULS 資料庫（翻譯請一致，內文有翻既有站臺資料庫、通用授權系統），建議放中英對照表	感謝委員指導。 ● 多無線接取技術頻譜共享（Multi-RAT Spectrum Sharing，MRSS）。 ● ULS 翻譯應為通用授權系統，本計畫建置之臺灣既有站臺資料庫非 ULS 資料庫，已將部分提及「臺灣 ULS 資料庫」改為「臺灣既有站資料庫」，呈現於期末報告頁252、254、257、279。
二、工作小組意見：		
國際趨勢研析及國內既有使用者盤點		
1	表3-4「未來頻譜藍圖規劃」中斯里蘭卡僅列出頻段，無文字說明，請補充。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見補充文字於第三章「表3-4」。
2	頁89文字內容說明3GPP 在「上海」召開「第一階段 IMT-2030使用案例研討會」；惟頁84文字內容說明「第一階段 IMT-2030使用案例研討會」係於「荷蘭鹿特丹」召開，兩場會議有無不同，請確認補充。	謝謝工作小組指導。 期末報告內容已修正。此處所指應為荷蘭鹿特丹，同年六月於上海召開之會議為TSG#104，該上海會議討論內容亦已於後續內容中說明。
3	頁193，日本於2022年6月公布之「Beyond 5G 資通信技術戰略發展方向」階段性成果報告中，「社會實施策略」項目，期中報告就該部分說明「本研究將持續關注」，請確認期末報告是否對此部分有更新內容，若無建議將該段文字刪除。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見刪除「本研究將持續關注」文字。
4	頁221，6425-7125 MHz 頻段既有使用者數量合計13家業者，惟表3-29僅有12家，請查明。	謝謝工作小組指導。，已修正筆誤，正確數量為12家業者，請見期末報告第216頁。
5	● 請於期末報告完整版補充第11期及12期內容。 ● 請於期末報告完整版補充第4期內容。	謝謝工作小組指導。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

6	格式及文字建議： (一)頁72及頁73文字段落跳頁，請修正。 (二)表3-1議題1.1之頻段範圍（4800-4900MHz）有誤，請修正。 (三)頁106倒數第7行，「智慧型手表、手錶數量增加」文字內容請確認修正。 (四)頁118、119、123及183內容之註腳「109」、「110」、「112」及「151」上標請修正。 (五)頁163-165內容重複，請將重複內容刪除。 (六)頁177編號「3~6」請修正為「1~4」。 (七)頁220，倒數第8行「際有使用者」錯字請修正。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字。
ITU 實質參與及頻譜跨域應用議題觀測		
1	第二章第一節第三小節為「WRC-27規劃議題與WRC-31先期研究」，惟段落文字內容無WRC-31相關內容，請補充。	謝謝工作小組指導。 已於該章節完成適當段落文字與相關參考來源之補充，並據以呈現WRC-31先期研究之研析說明，同時亦適當段落提供整理表格以概要呈現相關議題之補充資訊。
2	格式及文字建議： 頁49第4行，「使否」請修正。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字。
6G 跨域應用衍生對頻譜管理制度之衝擊影響分析		
1	頁546，內容說明表6-6所列之上鏈頻率1626.5-1660.5MHz，惟查表6-6未將相關頻段列入，請補充。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字。
2	格式及文字建議： (一)頁516，編號應由「1」開始編列。 (二)頁538，編號格式有誤，請修正。 (三)頁550，倒數第3行「4GHz以下之頻」有漏字，請補充。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字與格式。
Mid band 和諧有效使用機制環境建立與實測		
1	格式及文字建議：頁252倒數第2行「透過」錯別字請修正。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字。
既有使用者移頻替代技術實測評估及頻譜重耕技術研析		
1	頁418第二段，就5.8GHz免執照頻段微波鏈路之測試結論，內容未說明完整，請補充。	謝謝工作小組指導，已修正內容，請見期末報告第412頁。
2	格式及文字建議： (一)頁398最後一行，「如圖5-12與圖5-7」有誤，請修正。 (二)頁399內容之註腳「190」及「191」上標請修正。 (三)頁421、422「如表5-29」「如表5-30」有	謝謝工作小組指導，已依據審查意見修正文字。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw

	誤，請修正。 (四)頁434「圖5-14」有誤，請修正。	
維運公部門連結小組會議		
1	請於期末報告完整版補充113年度公部門連結小組第4次會議及電子報11及12期內容。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字。
其他		
1	頁3倒數第8行，「我國參與合作機」請確認。	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正文字。
2	頁629，本報告後續將公開，爰建議派駐人員名單之學歷工作經驗可不明列，僅需簡要說明即可	謝謝工作小組指導。已依據審查意見修正。
3	應注意完整期末報告須包含中文版本及精簡英文版本（中文摘要3,000字至3,500字，英文摘要1,000字左右）。	謝謝工作小組指導。將依據審查意見交付中文版本及精簡英文版本。

All rights reserved
http://www.ttc.org.tw