

112 年委託研究報告

國內頻率資源創新應用調查及研究委託研究
採購案
期末報告

計畫委託機關：數位發展部

中華民國 112 年 12 月

112 年委託研究報告

PG11203-0124

國內頻率資源創新應用調查及研究委託研究

採購案

期末報告

受委託單位

財團法人資訊工業策進會

計畫主持人

李揚

共同主持人

吳明儒

研究員

李穎芳、王德仁、許志民、黃宇笙、高繼賢、林威志、翁浩耿、莊傳賢

研究期程：中華民國 112 年 3 月至 112 年 12 月

研究經費新台幣 964.8 萬元

本報告不必然代表數位發展部意見

中華民國 112 年 12 月

目次

目次.....	I
表次.....	X
圖次.....	XIV
摘要.....	XXVI
專業詞彙中英對照表.....	XXXVIII
期末審查委員意見回覆.....	LVIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
一、 研究緣起.....	1
二、 研究方法.....	4
三、 研究進度.....	10
第二章 國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析.....	13
第一節 國內頻率資源創新應用.....	13
第二節 創新應用研析案例一：5G AIoT 智慧製造應用計畫.....	18
一、 「5G AIoT 智慧製造應用」計畫簡介.....	18
二、 「5G AIoT 智慧製造應用」網路架構、資料流及主要功能廠商研發重點(企業專網)研析.....	24

三、	「5G AIoT 智慧製造應用」網路架構、資料流及主要功能廠商研發重點(核網雲端化)研析	28
四、	「5G AIoT 智慧製造應用計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析	32
五、	小結	34
第三節	創新應用研析案例二：元宇宙之究極奧義~無限列車	36
一、	「元宇宙之究極奧義~無限列車計畫」簡介	36
二、	「元宇宙之究極奧義~無限列車」網路架構、資料流研析及主要功能廠商研發重點	42
三、	「元宇宙之究極奧義~無限列車計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析	47
四、	小結	49
第四節	創新應用研析案例三：5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用	51
一、	「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」計畫簡介	51
二、	「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」應用架構	54
三、	「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」網路	

架構、資料流研析及主要功能廠商研發重點.....	55
四、 「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用計畫」 全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析.....	59
五、 小結	61
第五節 創新應用研析案例四：5G 車聯網計畫.....	62
一、 「5G 車聯網計畫」簡介	63
二、 「5G 車聯網計畫」網路架構、主要功能廠商研發重點、及 資料流研析	67
三、 「5G 車聯網計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產 值分析	70
四、 小結	72
第六節 創新應用研析案例五：5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫 ...	73
一、 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」簡介	74
二、 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」網路架構、主要功能 廠商研發重點、及資料流研析.....	76
三、 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」全面商用之可能方向 及成功率研究、產值分析.....	80
四、 小結	82
第七節 創新應用研析案例六：5G 智慧影音沉浸式展演計畫	83

一、	「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」簡介	83
二、	「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」網路架構、主要功能廠商 研發重點、及資料流研析	85
三、	「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」全面商用之可能方向及成 功率研究、產值分析	88
四、	小結	90
第八節	電信商企業專網研析案例	91
一、	中鋼 5G AIoT 推動計畫(中華電信、中國鋼鐵)	91
二、	5G 智慧科技實現夢想孕育原點計畫(遠傳電信、東華大學)	96
第九節	計畫間競合關係研究	100
一、	智慧工廠類計畫間競合關係研究	100
二、	智慧展演類計畫間競合關係研究	102
三、	非地面通訊應用類計畫間競合關係研究	103
四、	智慧醫療類計畫間競合關係研究	104
五、	智慧交通類計畫間競合關係研究	105
第十節	總結	106
第三章	國際新應用模式研析	110
第一節	5G 固定無線接取(Fixed Wireless Access, FWA)	110
一、	美國	115

二、	挪威	131
三、	芬蘭	139
四、	日本	148
五、	韓國	153
六、	小結	158
第二節	公共安全與救難應變通訊系統.....	169
一、	背景與綜述	169
二、	芬蘭 Virve 2.0	170
三、	法國 RRF.....	177
四、	英國 ESN.....	189
五、	韓國 Safe-Net.....	209
六、	美國 FirstNet	216
七、	小結	232
第三節	車聯網.....	240
一、	背景與綜述	240
二、	美國	242
三、	日本	259
四、	韓國	282
五、	中國	289

六、	歐盟	295
七、	小結	312
第四節	低軌衛星通訊.....	321
一、	背景與綜述	321
二、	美國	324
三、	加拿大	336
四、	英國	343
五、	歐盟	355
六、	日本	365
七、	小結	374
第四章	產業訪談及座談會辦理.....	382
第一節	5 組之委託機關及受委辦廠商之深度訪談	383
一、	委辦單位深度訪談：國發會「促進 5G 及人工智慧導入智慧 城鄉物聯網創新應用補助計畫」	384
二、	委辦單位深度訪談：經濟部產業發展署「5G+產業生態鏈推 動計畫」	390
三、	委辦單位深度訪談：經濟部產業發展署「高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫」	395
四、	委辦單位深度訪談：數位部產業署 5G+系統暨應用淬鍊計	

畫	406
五、 委辦單位深度訪談：交通部「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」	409
六、 委辦單位深度訪談小結	417
七、 受委辦單位深度訪談：亞旭電腦「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」	419
八、 受委辦單位深度訪談：伸波通訊「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」	431
九、 受委辦單位深度訪談：仁寶電腦「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」	437
十、 受委辦單位深度訪談：智宏網科技「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」	442
十一、 受委辦單位深度訪談：華電聯網「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」	446
十二、 受委辦單位深度訪談小結	453
第二節 電信商之深度訪談	456
一、 中華電信	456
二、 遠傳電信	463
三、 台灣大哥大	469

四、	次世代電視暨智慧應用發展協會	481
五、	電信商訪談小結	487
第三節	座談會辦理	489
一、	座談會(一)：5G 新應用	489
二、	座談會(二)：數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)	519
三、	座談會(三)：國際下世代通訊趨勢	549
四、	座談會(四)：國際 5G 新應用趨勢	571
五、	座談會(五)：頻率資源應用法規修正建議	592
第五章	資源近用建議方案	613
第一節	國際電信資源規劃研析	613
一、	ITU 之 B5G/6G 標準進程與應用規劃	613
二、	3GPP 之 B5G/6G 標準進程與應用規劃	616
三、	國際 B5G/6G 技術先期研究與發展方向	621
四、	PPDR	625
五、	車聯網	629
六、	非地面通訊	633
第二節	國內頻譜資源現況研析	637
第三節	資源近用建議方案及擬提法規修正建議	640
一、	5G 專網	640

二、	非地面通訊(NTN).....	644
三、	車聯網.....	645
四、	公共安全與救難應變寬頻通訊系統(PPDR).....	649
第四節	3年期程之進度規劃表.....	653
一、	國際作法.....	653
二、	我國未來三年期程電信資源政策建議.....	658
第六章	結論.....	663
參考書目	671

表次

表 1-1、產業訪談計畫及標的	7
表 1-2、研究進度規畫表(一).....	11
表 1-3、研究進度規畫表(二).....	12
表 2-1、NSSOL Local5G 專網受理佈署案件統計	33
表 2-2、專頻專網與商頻專網之比較	35
表 2-3、2021~2025 日本國內遠距醫療市場變化及預測.....	81
表 2-4、日本遠距醫療商業模式	81
表 2-5、本地核網與核網雲端化之比較	101
表 2-6、綜整國內頻率資源創新應用案例	107
表 3-1、5G FWA 六大機會	112
表 3-2、美國 5G 執照頻譜拍賣時程	119
表 3-3、美國主要行動業者提供之 FWA 方案資費及速率.....	123
表 3-4、2023 年挪威 Telenor 的固定寬頻資費(單位：挪威克朗).....	137
表 3-5、Telia FWA 資費方案表	147
表 3-6、我國頻率供應計畫之行動通訊頻段中涉及 5G FWA 應用者.....	158
表 3-7、各國寬頻政策比較	159
表 3-8、各國 5G 執照釋出時程表	160
表 3-9、各國 5G FWA 應用案例比較.....	162

表 3-10、「2004 年國民緊急應變法」規範緊急情況下有應變義務的組織	192
表 3-11、ESN 相關合約列表	194
表 3-12、ESN 規劃交付的產品及主要使用者	195
表 3-13、英國國家審計辦公室 2016、2019 及 2023 年三次對 ESN 提出評估報告	205
表 3-14、各國 PPDR 發展比較	234
表 3-15、五國頻段比較及頻譜圖	237
表 3-16、V2X 頻譜規劃現況	247
表 3-17、日本自動、無人駕駛推動年表	263
表 3-18、未來導入和其他措施	272
表 3-19、車聯網主要國家之技術及頻段規劃彙整	315
表 3-20、英國 Ofcom 所列供衛星使用頻段概要	345
表 3-21、Eutelsat OneWeb 低軌衛星服務領域與應用情境	350
表 3-22、法國近期核配之低軌衛星頻率執照	359
表 4-1、深度訪談計畫及對象列表	383
表 4-2、國發會「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」110-111 年度核定通過名單	385
表 4-3、國發會「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」112 年度核定通過名單	386

表 4-4、國發會「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」訪談紀錄表.....	387
表 4-5、經濟部產業發展署「5G+產業生態鏈推動計畫」訪談紀錄表.....	392
表 4-6、經濟部產業發展署「高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫」訪談紀錄表.....	397
表 4-7、數位部產業署「5G+系統暨應用淬鍊計畫」訪談紀錄表.....	407
表 4-8、交通部科技顧問室「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」訪談紀錄表.....	412
表 4-9、亞旭電腦企業訪談紀錄表.....	422
表 4-10、伸波通訊企業訪談紀錄表.....	432
表 4-11、仁寶電腦「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」訪談紀錄表.....	438
表 4-12、智宏網科技「促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫」訪談紀錄表.....	443
表 4-13、華電聯網「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」訪談紀錄表.....	448
表 4-14、中華電信訪談紀錄表.....	456
表 4-15、遠傳電信訪談紀錄表.....	463
表 4-16、台灣大哥大訪談紀錄表.....	469
表 4-17、次世代電視暨智慧應用發展協會訪談紀錄表.....	481

表 4-18、座談會(一)「5G 新應用」議程規劃	490
表 4-19、座談會(一) 5G 新應用之議題討論.....	515
表 4-20、座談會(二)「數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)」議程規劃 .	520
表 4-21、衛星高度與通訊特性	527
表 4-22、衛星服務運營商採用之頻段及服務型態	531
表 4-23、3GPP Study Item on NTN	534
表 4-24、座談會(二)數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)座談會	543
表 4-25、座談會(三)「國際下世代通訊趨勢」議程規劃	550
表 4-26、3GPP Release 18 之研究項目	565
表 4-27、3GPP Release 19 之潛在研究項目	565
表 4-28、座談會(三)「國際下世代通訊趨勢」議題討論紀錄表	567
表 4-29、座談會(四)「國際 5G 新應用趨勢」議程規劃	572
表 4-30、座談會(四)「國際 5G 新應用趨勢」議題討論紀錄表	582
表 4-31、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」出席名單	592
表 4-32、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」議程規劃	594
表 4-33、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」議題討論紀錄表 ...	599
表 5-1、3GPP Release 18 應用規劃.....	619
表 5-2：車聯網技術與發展前景比較.....	629

圖次

圖 1-1、國內頻率資源創新應用調查及研究重點	3
圖 1-2、國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析研究方法	5
圖 1-3、國際新應用模式研析研究方法	6
圖 1-4、產業訪談研究方法	8
圖 1-5、座談會辦理研究方法	9
圖 1-6、資源近用建議方案研究方法	10
圖 2-1、5G/B5G 架構與產業生態鏈.....	14
圖 2-2、B5G-NTN 架構與產業生態鏈.....	15
圖 2-3、國內重大政策推動計畫	17
圖 2-4、5G AIoT 智慧製造應用計畫	19
圖 2-5、智慧製造應用-資產物料追蹤管理.....	20
圖 2-6、智慧製造應用-智慧倉儲物料運送管理.....	21
圖 2-7、智慧製造應用-遠距即時協同作業.....	22
圖 2-8、5G AIoT 智慧製造應用網路架構-企業專網	24
圖 2-9、5G AIoT 智慧製造應用網路企業專網資料流.....	26
圖 2-10、5G AIoT 智慧製造應用計畫研發重點-企業專網.....	27
圖 2-11、5G AIoT 智慧製造應用網路架構-核網雲端化網路.....	28
圖 2-12、5G AIoT 智慧製造應用網路-核網雲端化網路資料流	30

圖 2-13、5G AIoT 智慧製造應用計畫研發重點-核網雲端化.....	31
圖 2-14、5G 元宇宙列車	37
圖 2-15、5G 沉浸式低延遲展演	38
圖 2-16、5G 即時動態捕捉互動導覽	40
圖 2-17、5G 元宇宙互動遊戲	41
圖 2-18、5G 元宇宙列車應用系統服務架構	42
圖 2-19、5G 元宇宙列車網路架構	42
圖 2-20、5G 沉浸式低延遲展演資料流	43
圖 2-21、5G 即時動態捕捉互動導覽應用資料流	44
圖 2-22、5G 元宇宙互動遊戲資料流	45
圖 2-23、元宇宙之究極奧義~無限列車計畫應用計畫主要功能廠商研發重點	46
圖 2-24、5G 元宇宙列車創新應用	49
圖 2-25、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用	52
圖 2-26、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統-災害消防應用架構	54
圖 2-27、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統網路架構.....	56
圖 2-28、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用資料流	57
圖 2-29、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用計畫主要功能廠 商研發重點.....	58

圖 2-30、全球衛星市場與衛星服務市場規模(預估)	59
圖 2-31、淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫	66
圖 2-32、5G 車聯網系統架構	67
圖 2-33、5G 車聯網分項功能與廠商生態系	68
圖 2-34、5G 車聯網系統資料流分析	69
圖 2-35、車聯網相關通訊技術與市場發展趨勢分析	71
圖 2-36、5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫架構	75
圖 2-37、5G 遠距腹部超音波遙控診療網路架構	76
圖 2-38、5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫主要功能廠商研發重點	78
圖 2-39、5G 遠距腹部超音波遙控診療網路資料流分析	79
圖 2-40、5G 智慧影音沉浸式展演	84
圖 2-41、5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路架構	85
圖 2-42、5G 智慧影音沉浸式展演計畫主要功能廠商研發重點	86
圖 2-43、5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路資料流研析	87
圖 2-44、5G 智慧軌道運輸場域照片及建置之商頻專網基站	92
圖 2-45、5G 軋鋼智慧工廠場域照片及建置之專頻專網基站	93
圖 2-46、遠傳電信建置網路切片企業應用場域網路架構	97
圖 2-47、東華大學以 5G 無人機強化校園安全	98
圖 3-1、家用寬頻網路最後一哩技術型態	110

圖 3-2、全球已開通 5G FWA 的國家區域示意.....	114
圖 3-3、US Cellular 之 5G 毫米波試驗可視距離.....	126
圖 3-4、UScellular 之 FWA 服務示意圖.....	127
圖 3-5、Starry 安裝於大樓樓頂的小型毫米波天線.....	128
圖 3-6、挪威 2.6 GHz & 3.6 GHz 頻段拍賣結果.....	135
圖 3-7、2021-2022 歐盟寬頻技術覆蓋率(上)、2021-2022 歐盟農村地區寬頻 技術覆蓋率(下).....	140
圖 3-8、2022 數位經濟與社會指數.....	141
圖 3-9、2022 年芬蘭在各指標的相對表現.....	142
圖 3-10、芬蘭在連結性指標各項目與歐盟平均值的比較.....	143
圖 3-11、AI 驅動網路體驗平臺儀表板展示.....	145
圖 3-12、5G SA FWA 廠商合作圖.....	146
圖 3-13、日本 5G 頻譜分配範圍.....	150
圖 3-14、日本樂天行動之 5G FWA 產品.....	151
圖 3-15、韓國 5G 頻譜分配與規劃.....	155
圖 3-16、韓國三星電子首爾捷運地下鐵 5G FWA 應用.....	156
圖 3-17、各國 5G 發照及 FWA 使用頻譜配置總覽.....	163
圖 3-18、5G FWA 投資及網路啟用之業者數量統計.....	165
圖 3-19、全世界已開通之 4G/5G FWA 服務及已生產設備統計.....	166

圖 3-20、芬蘭 Virve 2.0 網路的採購建置期程	172
圖 3-21、芬蘭 Virve 2.0 網路所採之 MOCN 運作架構	173
圖 3-22、利用 IOPS 臨時建立包含本地核網的關鍵任務網路架構	174
圖 3-23、臨時性關鍵任務網路試驗現場實景與訊號量測數據分析	175
圖 3-24、法國 RRF 網路架構圖	184
圖 3-25、法國行動安全和緊急通信營運代理局 ACMOSS 工作內容示意圖	187
圖 3-26、支持 ESN 運行所需建立的系統架構	191
圖 3-27、ESN 多參與者共享網路模型架構圖	194
圖 3-28、Band 40、Band 3、Band 20、Band 7 與其相鄰之頻譜	198
圖 3-29、車載機動站台，扮演重要角色	200
圖 3-30、A2G 解決方案架構圖	201
圖 3-31、Samsung 提供 ESN 特規智慧型手機	202
圖 3-32、「ESN」供應商 Motorola 參與到離開歷程	204
圖 3-33、2021 年英國內政部計畫更新 ESN 時程表	205
圖 3-34、韓國 PPDR 使用 700MHz 頻段配置方案	211
圖 3-35、韓國 PPDR 整合鐵道 LTE、PSLTE 與海事 LTE	212
圖 3-36、韓國 PPDR 運作時機與內容	214
圖 3-37、韓國 PPDR 運作架構	215
圖 3-38、NPSBN 整體架構圖	219

圖 3-39、FirstNet 的公共安全通信架構	221
圖 3-40、FirstNet 與 NG911 運作機制	223
圖 3-41、FirstNet Roadmap 2023	225
圖 3-42、RoIP 互操作架構	226
圖 3-43、FirstNet PTT 手機圖標功能概述	227
圖 3-44、FirstNet 與 Verizon 之 PPDR 服務頻段範圍	229
圖 3-45、用於 EMS 的 FirstNet-Ready LTE 車載平臺	230
圖 3-46、各國寬頻 PPDR 發展演進	233
圖 3-47、各國 PPDR 主要頻譜配置總覽	238
圖 3-48、美國車聯網頻譜規劃	246
圖 3-49、NR C-V2X 通訊技術示意圖	254
圖 3-50、日本智慧交通發展兩大脈絡	259
圖 3-51、日本車間通訊頻譜應用情況	267
圖 3-52、日本與各國車間通訊頻譜分配	268
圖 3-53、日本技術採用 5.9GHz 頻段引入 V2X	269
圖 3-54、日本 V2X(V2I、V2V)與 V2N 之協作示意圖	270
圖 3-55、5.9GHz 頻段 V2X 通訊分配政策研究方向(草案)	271
圖 3-56、5.9GHz 頻段 V2X 通訊規劃圖之審議方向(草案)	272
圖 3-57、日本茨城縣筑波市(Tsukuba)和城里町(Shirosato)兩個試驗場 ...	275

圖 3-58、C-V2X 測式系統架構圖	276
圖 3-59：日本原創 V2X 技術：ITS Connect.....	279
圖 3-60、韓國 MSIT 發布次世代 C-ITS 頻譜分配計畫	285
圖 3-61、Autotalks 公司之 V2X 服務運作示意圖.....	287
圖 3-62、ERTICO 對歐盟 CCAM 願景之對應發展藍圖	300
圖 3-63、歐盟道路 ITS 核配方式	305
圖 3-64、歐盟都會區鐵道 ITS 核配方式	305
圖 3-65、歐盟 5G 走廊地圖	308
圖 3-66、5G-CARMEN 實驗場域.....	310
圖 3-67、各國車聯網主要頻譜配置總覽	317
圖 3-68、我國車聯網產業生態鏈位置及可能發展架構.....	319
圖 3-69、Starlink 與 OneWeb 的 LEO 衛星部署進度.....	331
圖 3-70、Starlink 寬頻上網服務網路架構	331
圖 3-71、加拿大政府服務網路組成	341
圖 3-72、英國 NGSO 衛星網路架構示意圖	349
圖 3-73、歐盟常用衛星頻段分配	356
圖 3-74、歐盟 IRIS ² 計畫提供政府服務類型.....	362
圖 3-76、歐盟 IRIS ² 布建時程規劃.....	363
圖 3-77、法國 VHR-2020 衛星	363

圖 3-78、日本總務省 2025 年頻譜整備目標頻寬	366
圖 3-79、日本總務省 960MHz-1.7GHz 頻段使用概況	367
圖 3-80、日本總務省 2300MHz-3.4GHz 頻段使用概況	368
圖 3-81、日本總務省 3.4GHz-6.57GHz 頻段使用概況	368
圖 3-82、日本總務省 6.57GHz-10GHz 頻段使用概況	369
圖 3-83、日本總務省 10GHz-15.25GHz 頻段使用概況	369
圖 3-84、日本總務省 15.25GHz-31GHz 頻段使用概況	370
圖 3-85、日本 Space compass 公司整合衛星示意圖	371
圖 3-86、低軌衛星我國產業生態鏈位置及可能發展架構	380
圖 3-87、投入低軌衛星研發之台廠與項目列表	381
圖 4-1、經濟部產業發展署「5G+產業生態鏈推動計畫」計畫架構	391
圖 4-2、經濟部產業發展署「高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫」 計畫架構	396
圖 4-3、淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計目標與目的	411
圖 4-4、亞旭電腦 5G AIoT 智慧製造跨場域應用計畫架構	421
圖 4-5、座談會(一)：5G 新應用座談會活動 eDM	491
圖 4-6、5G 新應用座談會現場活動照片	492
圖 4-7、5G 新應用座談會現場活動照片-2	493
圖 4-8、5G 新應用座談會-線上會議照片	493

圖 4-9、3GPP 5G 通訊標準現況	494
圖 4-10、IEEE Wi-Fi 7 通訊標準現況	495
圖 4-11、MWC 2023-國際趨勢觀測	497
圖 4-12、台北智慧城市展電信商智慧城市解決方案	501
圖 4-13、台北智慧城市展 5G 智慧應用方案	502
圖 4-14、串連電信供應商及聚合新應用開發的機制	507
圖 4-15、GSMA Open Gateway 計畫在第一階段推出 8 個通用網路 API	508
圖 4-16、GSMA Open Gateway 計 8 個通用網路 API	508
圖 4-17、GSMA Open Gateway API 計畫獲得 21 間電信營運商支持	509
圖 4-18、國際大廠於會場展示 Open Gateway 相關應用	510
圖 4-19、電信商對於網路即服務(NPaaS)的挑戰	512
圖 4-20、Open Gateway API 對於電信營運商之 SWOT 分析	514
圖 4-21、Open Gateway API 對於電信路設備商之 SWOT 分析	514
圖 4-22、座談會(二)：數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)座談會 eDM	521
圖 4-23、數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)座談會現場活動照片-1	522
圖 4-24、數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)座談會現場活動照片-2	523
圖 4-25、數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)座談會-線上會議照片	523
圖 4-26、3GPP 中非地面通訊背景簡介	525
圖 4-27、3GPP 中非地面通訊之使用情境	526

圖 4-28、3GPP 中非地面通訊之通訊鏈路.....	528
圖 4-29、衛星頻率配置及對應通訊特性.....	529
圖 4-30、衛星應用依移動性分類.....	530
圖 4-31、5G 結合非地面網路達成韌性網路願景.....	537
圖 4-32、國際主要非同步衛星服務商.....	538
圖 4-33、5G NTN 海上船舶應用.....	539
圖 4-34、5G NTN 偏鄉/無寬頻區域通訊應用.....	540
圖 4-35、5G NTN 物聯網通訊應用.....	541
圖 4-36、5G NTN 台廠發展機會.....	542
圖 4-37、座談會(三)「國際下世代通訊趨勢」eDM.....	551
圖 4-38、座談會(三)「國際下世代通訊趨勢」現場活動照片.....	552
圖 4-39、5G 新應用座談會現場活動照片-2.....	552
圖 4-40、座談會(三)「國際下世代通訊趨勢」線上會議照片.....	553
圖 4-41、ITU 六大 6G 使用場景.....	555
圖 4-42、台灣 6G 發展願.....	556
圖 4-43、智慧城市中「無所不在的連結」.....	558
圖 4-44、「感測與通訊的整合」情境示意圖.....	560
圖 4-45、ITU 對於 6G 頻譜議題.....	562
圖 4-46、3GPP Release Timelines.....	563

圖 4-47、座談會(四)「國際 5G 新應用趨勢」 eDM.....	573
圖 4-48、座談會(四)「國際 5G 新應用趨勢」現場活動照片	574
圖 4-49、座談會(四)「國際 5G 新應用趨勢」現場活動照片-2.....	574
圖 4-50、座談會(四)「國際 5G 新應用趨勢」線上會議照片	575
圖 4-51、固定無線接取 (Fixed Wireless Access) 概述	576
圖 4-52、5G FWA 應用實例: 挪威 Telenor.....	578
圖 4-53、5G FWA 之優勢與發展建議.....	579
圖 4-54、C-V2X 的兩大運作模式	580
圖 4-55、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」 eDM.....	595
圖 4-56、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」照片	596
圖 4-57、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」照片-2.....	597
圖 4-58、座談會(五)「頻率資源應用法規修正建議」照片-3.....	597
圖 5-1、計畫研析標的五大類應用	599
圖 5-2、3GPP Release Timelines.....	616
圖 5-3、ITU WRC-15 建議之 PPDR 頻段.....	650
圖 5-4、Band5、Band 26、Band 27 與 Band 28 既有頻率規劃	651
圖 5-5、澳洲頻譜規劃方案架構	654
圖 5-6、澳洲頻譜管理規劃 4 階段	655
圖 5-7、我國未來中長期頻譜規劃階段建議方法	658

圖 5-8、本研究研提之未來三年電信資源政策建議.....662

圖 6-1、全球專網佈署數量.....665

摘要

關鍵詞：頻率應用、5G 專網、下世代通訊、資源近用方案

一、研究緣起

在數位內容、企業轉型發展下，全球無線數據傳輸需求雖推動相關產業、通訊服務成長，但也造成原本就稀缺的頻率資源更窘迫。在此發展趨勢下，如何有效規劃、分配、管理包含頻率等電信資源為政策上致力解決的重要議題。在頻率管理技術的發展下，已可透過相關技術協助政府監督、授權與動態管控頻率資源，如何強化新興技術在電信資源管理的運用是未來政策上將持續關注的領域。

二、研究方法及過程

本計畫為提早布局國內頻率資源，透過先行盤點過往涉及頻譜資源創新應用之重大政策或計畫之綜整，並據以研析我國第五代行動通訊技術(5th Generation Mobile Networks, 5G)/5G 下世代通訊技術(Beyond 5G, B5G)及低軌衛星等組織架構及其產業生態鏈、篩選具潛力之廠商進行訪談、擬定協助方案及經費需求，以推動前瞻頻率資源規劃及管理，據以有效精進運用頻率資源。計畫工作項目以下列四個分項進行研究：國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析、國際新應用模式研析、產業訪談及座談會辦理、以及資源近用建議方案。

三、 重要發現

觀測近年 5G 專網及各頻率應用場域實證經驗，如何降低導入成本、開發應用場景、說明導入效益，仍是場域業者是否願意佈署專網之重點。而系統整合及網路服務商做為與場域業者密切接觸之服務供應商，如何經營彼此合作關係，預期也將是關鍵之一。是以，本計畫以五大類頻率應用做為研析標的，包含 5G 專網智慧製造、智慧展演、智慧醫療、非地面通訊、及車聯網等；據以研析其頻率資源使用情形及對應網路架構，並藉由訪談各計畫委辦、受委辦廠商，以及三大電信營運商、次世代電視暨智慧應用發展協會等；同時參照國外頻率創新應用案例，包含非地面通訊、固定無線接取(Fixed Wireless Access, FWA)、車聯網、公共安全與救難應變通訊系統(Public Protection and Disaster Relief, PPDR)等方向，對照國內產業生態鏈位置，以期綜整國內外頻率資源使用狀態並擬提相關法規修正建議及三年期之修正規劃建議。

四、 主要建議事項

(一)、 短期立即可行之建議

國內頻率應用部分，5G 專網之「行動寬頻專用電信網路設置使用管理辦法」，相關議題包括連接雲端之特別審查程序及需明定設置區域及使用電波涵蓋區域，因本年度 6 月才開始受理專網申請，故建議可持續觀察業界

意見及實際使用需求後，再行研議是否修正；其中連接雲端部分建議明定特別審查程序之相關流程與相對應之主責機關，以明確申請流程。

「非地面通訊」部分，新增之衛星固定通信用無線電頻與電信商使用 28GHz 頻段提供 5G 服務之干擾疑慮，建議針對頻率干擾議題，除了要求申請使用者與既有業者達成協議外，同頻、鄰頻干擾處理機制都應於協議中明確訂定。

「車聯網」部分，建議可新增車聯網創新實驗頻譜之特定實驗場域範圍，使各單位依電信相關法令向國家通訊傳播委員會提出申請時，申請程序可較為簡化及快速。

「PPDR」部分，目前先進國家對於 PPDR 之佈建型態，多以共用網路做為選項，避免維運單一專用 PPDR 網路所需成本過於龐大。同時依訪談電信業者建議，採用「與商業網路共享模式」，由電信網路營運商提供優先通信及接取保證。除了提供誘因讓行動通信業者協助快速提升服務範圍覆蓋率之外，另一方面也兼顧稀有頻譜資源之使用效率。此外，將 PPDR 網路全權委託給電信網路營運商建置時也須考慮資安信任等管理機制設計。

國際頻率應用趨勢部份，可持續關注國際行動電信(International Mobile Telecommunications, IMT)於各頻段之議題發展、高空行動基地台(High-altitude Platform Stations as IMT Base Stations, HIBS)之議題發展，以及 12 月世界無線電通訊大會 WRC-23(World Radiocommunication Conference)之討

論與決議，以做為後續資源近用建議方案之依據，並供無線電通訊產業發展參考。

(二)、 中期性建議

5G 專網之「行動寬頻專用電信網路設置使用管理辦法」之需明定設置區域及使用電波涵蓋區域議題，可參照電信管理法第 50 條之但書情形，針對特定應用(警消、醫護等公共利益相關領域)研議開放設置區域限制。

「車聯網」部分，車載單元(On Board Unit, OBU)建議參考國際趨勢，未來可研擬是否改用型式審驗制度；路側單元(Road Side Unit, RSU)設置的維護議題則需要跨部會協議，還有待進一步研議以期對安全性兼顧保障及效率；另車聯網屬於專用電信性質，於我國電信管理法架構下有不得連接公網、僅供自己使用等相關規範限制，建議仍先以劃定示範場域方式，從實驗開始，未來再視車聯網發展趨勢持續搭配法規演進。

「PPDR」部分，建議我國相關權責主管機關，應從災防體系整體思考國內 PPDR 之適用場景，建構我國災防政策後，數位發展部再依整體政策或災防運作需求，提供相對應之網路建設規範或整備所需頻譜、號碼等資源，並提供適度誘因鼓勵電信事業參進合作、升級其既有網路基礎設施致使滿足 PPDR 運作需求。

國際頻率應用趨勢部份，國際標準組織展望未來將支援更大頻寬的應

用，開始討論更高頻段如次太赫茲(sub-terahertz, Sub-THz)做為行動通訊頻段之可能性，而產學界包含電信商、設備大廠與國際零組件業者等，為布局下世代無線電技術，也陸續投入 Sub-THz 頻段之技術研發，如 NTT DoCoMo、三星等業者皆認為未來全球第六代行動通訊(6th Generation Mobile Networks, 6G)時代將使用低中高頻段整合支援更豐富的通訊應用；其中 Terahertz 頻段將有機會提供傳輸速度超過 100Gbps 的服務。我國對於 Sub-THz 頻率之供應，建議參考主要國家作法，可先規劃實驗頻段提供產學研界進行技術研發測試，待國際標準規格方向更明確後，後續再依照國內實際需求，進行頻率供應之準備與規劃。

(三)、 長期性建議

「頻譜資源」部分，建議 2024 年可持續觀測國內外發展趨勢，2025 年可評估、調查市場對於釋出其他 5G 中頻段之需求，由於 4G 頻譜(700MHz、900MHz 與 1800MHz) 即將於 2030 年屆期，故有必要自 2026 年啟動相關調查以因應後續頻譜重整、重分配作業。

「非地面通訊」部分，國際間已有陸續釋出 20.2-21.2GHz 頻段之作業，顯見原有低軌衛星頻譜資源已逐漸無法滿足未來蓬勃發展之通訊需求，因此建議我國主管機關可自 2025 年評估 20.2-21.2GHz 頻段相關需求，同時參考其他國家作法，未來更進一步評估 Q 頻段與 V 頻段釋出供衛星通訊使

用之可能性。

「PPDR」部分，考量 PPDR 為強健我國網路韌性重要之一環，故建議主管機關可於 2024 年起評估、諮詢公眾對於釋出 800MHz 頻段供 PPDR 使用之可能性，若市場上的確有業者有意願取得該頻段並配合國家政策布建 PPDR 網路，則可於 2025 年更進一步評估釋出選項。

「車聯網」部分，目前國際間將 5.9GHz 頻段用於蜂巢式車聯網通訊 (Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X) 實驗用途，且加以車聯網技術及相關標準已有初步雛形，然上下游產業鏈與政策配套亦未完整，公部門亦尚未明確定商用化管理辦法且尚無強烈意願大規模投入基礎建設之發展。進一步的在公部門未大規模投入基礎建設下相對亦影響私營部門(如：電信業者、設備業者等)投入發展意願，於此相互影響下，致使車聯網發展大規模商用服務更加推遲，是為廠商共認最需公部門協助且需長期關注的方向。

國際頻率應用趨勢部份，建議長期參考其他國家主管機關評估未來中長期頻譜展望之作法，建議我國主管機關可依據市場需求之不同階段，設計定期觀測發展階段、評估調查需求階段、評估釋出選項階段以及實施階段。

Abstract

Keywords : Frequency Application, 5G Private Networks, Next-Generation Communications, Resource Proximity Solutions

1. Research Background :

Under the digital content and enterprise transformation, the global demand for wireless data transmission has driven the growth of related industries and communication services. However, it has also exacerbated the scarcity of frequency resources. Given this trend, effective planning, allocation, and management of telecom resources, including frequencies, have become important policy issues. With the development of frequency management technology, it is now possible to assist governments in supervising, authorizing, and dynamically controlling frequency resources through relevant technologies. Strengthening the application of emerging technologies in telecom resource management will continue to be a focus of future policy.

2. Research Methods and Process :

This project aims to proactively address domestic frequency resource issues. It involves synthesizing major policies or initiatives related to innovative spectrum resource applications from the past, analyzing the organizational structures and industrial ecosystems of 5G/B5G and low Earth orbit satellites in Taiwan, conducting interviews with potential companies, developing assistance plans, and estimating budget requirements. This will help advance forward-looking frequency resource planning and management and enhance the efficient utilization of frequency resources. The project's research activities are divided into four sub-items: analysis of domestic frequency resource innovation applications and industrial ecosystems, analysis of international new application models, industry interviews and seminars, and recommendations for resource utilization.

3. Key Findings :

Based on recent observations of 5G private networks and various frequency application fields, reducing implementation costs, developing application scenarios, and explaining the benefits of deployment remain crucial for field operators considering the deployment of private networks. System integration and network service providers, as service suppliers closely connected to field operators, also play a key role in how they manage their cooperation relationships. Therefore, this project focuses on analyzing five major categories of frequency applications: 5G private networks for smart manufacturing, smart exhibitions, smart healthcare, non-terrestrial communication, and connected vehicles. The project analyzes their frequency resource usage and corresponding network architectures through interviews with project commissioners, commissioned companies, and the three major telecom operators. It also references international cases of innovative frequency applications, including non-terrestrial communication, FWA, connected vehicles, and PPDR, and compares them with the domestic industry ecosystem to comprehensively assess the usage status of frequency resources domestically and internationally, proposing related regulatory amendments and a three-year revision plan.

4. Key Recommendations :

A. Immediate Feasible Recommendations :

Regarding domestic frequency application, for the "5G Private Network", there are issues related to the "Management Measures for the Establishment and Use of Dedicated Mobile Broadband Telecommunications Networks", which include special review procedures for cloud connectivity and the need to specify the setup area and radio wave coverage area. Since the acceptance of private network applications only began in June of this year, it is recommended to continue observing industry opinions and actual usage needs before considering any amendments. Specifically for cloud connectivity, it is advised to clearly define the special review procedures, related processes, and corresponding responsible authorities to clarify the application process.

In the "NTN" section, there are concerns about interference between newly added satellite fixed communication radio frequencies and the use of the 28GHz band by telecommunications operators to provide 5G services. It is suggested to address frequency interference issues by requiring agreement between applicants and existing operators, and by clearly defining same-frequency and adjacent-frequency interference handling mechanisms in the agreement.

For the "C-V2X" section, it is recommended to add specific experimental field ranges for innovative connected vehicle spectrum experiments. This would allow entities to apply to the National Communications Commission under telecom-related laws with a more simplified and faster application process.

In the "PPDR" section, advanced countries tend to opt for shared networks in the deployment of PPDR to avoid the high costs of maintaining a dedicated PPDR network. Based on interviews with telecommunications operators, it is suggested to adopt a "shared network model" where telecom network operators provide priority communication and access assurance. This approach not only incentivizes mobile operators to assist in rapidly expanding service coverage but also ensures efficient use of scarce spectrum resources. Moreover, when entrusting the construction of PPDR networks entirely to telecom operators, considerations like cybersecurity and trust in management mechanisms must be taken into account.

In the international frequency application trends section, it is important to continuously monitor developments in IMT (International Mobile Telecommunications) issues across various bands, the development of HIBS (High Altitude IMT Base Stations) issues, and the discussions and resolutions at the WRC-23 (World Radiocommunication Conference) in December. These observations will serve as a basis for subsequent recommendations on resource access and as a reference for the development of the wireless telecommunications industry.

B. Medium Term Recommendations :

For the "5G Private Network", the "Management Measures for the Establishment and Use of Dedicated Mobile Broadband Telecommunications Networks" should clearly define the installation area and radio wave coverage area issues. This can

refer to the provisions of Article 50 of the Telecommunications Management Act, discussing the relaxation of installation area restrictions for specific applications (such as public interest-related fields like police, fire, and medical services).

In the "C-V2X" section, it is recommended that On-Board Units (OBUs) in vehicles should consider international trends and contemplate whether to switch to a type-approval system in the future. The maintenance issues of Roadside Units (RSUs) require inter-departmental agreements and further deliberation to ensure both safety and efficiency. Moreover, as connected vehicles are classified under specialized telecommunications in Taiwan's telecommunications management law, there are restrictions like the prohibition of connection to public networks and usage only for personal purposes. It's suggested to start with designated demonstration fields, beginning with experiments and then continuing to adapt regulations in line with the development trends of connected vehicles.

For the "PPDR" section, it is recommended that Taiwan's relevant authorities should consider the domestic PPDR scenarios from a comprehensive disaster prevention system perspective. After constructing the national disaster prevention policy, the Department of Digital Development should provide corresponding network construction standards or necessary resources like spectrum and numbers based on the overall policy or disaster prevention operational needs. Additionally, appropriate incentives should be provided to encourage telecom operators to participate in cooperative efforts and upgrade their existing network infrastructures to meet PPDR operational requirements.

Regarding international frequency application trends, international standard organizations are looking to support applications with larger bandwidths and are starting to discuss the possibility of using higher frequency bands like Sub-THz for mobile communication. The industry and academia, including telecom operators, major equipment manufacturers, and international component businesses, are also progressively investing in the technological development of the Sub-THz band. Companies like NTT DoCoMo and Samsung believe that the future 6G era will use low, mid, and high-frequency bands to support a richer array of communication applications. The Terahertz band may offer transmission speeds exceeding 100Gbps. For the supply of Sub-THz frequencies in Taiwan, it is recommended to refer to the practices of major countries and initially plan experimental bands for industry and academic research and development testing. Once international standard specifications become clearer, subsequent

preparations and planning for frequency supply can be conducted according to domestic needs.

C. Long-term Recommendations

For the "Spectrum Resources" section, it is recommended that in 2024, sustainable observation of domestic and international development trends should be conducted. In 2025, an evaluation and investigation of the market's demand for the release of other 5G mid-band frequencies should be performed. Since the 4G spectrum (700MHz, 900MHz, and 1800MHz) is set to expire in 2030, it is necessary to initiate related surveys from 2026 to prepare for subsequent spectrum reorganization and reallocation tasks.

Regarding the "Non-Terrestrial Communications" section, the international community has already begun to release the 20.2-21.2GHz frequency band for operation, indicating that the existing low-orbit satellite spectrum resources are gradually unable to meet the burgeoning communication demands of the future. Therefore, it is suggested that our country's regulatory authorities should assess the demand for the 20.2-21.2GHz band starting from 2025, while also referring to other countries' practices, and further evaluate the possibility of releasing the Q-band and V-band for satellite communication use.

For the "PPDR" (Public Protection and Disaster Relief) section, considering PPDR as a crucial component in strengthening our country's network resilience, it is recommended that the regulatory authorities start evaluating and consulting the public in 2024 on the feasibility of releasing the 800MHz band for PPDR use. If there is indeed market interest from companies in obtaining this band and collaborating with national policies to build PPDR networks, a further evaluation of the release options should be conducted in 2025.

In the "Connected Vehicles" section, the 5.9GHz band is currently used internationally for C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) experimental purposes. While the technology and related standards for connected vehicles have an initial framework, the upstream and downstream industry chains and policy support are not yet complete. Public sector entities have not yet clearly defined commercialization management methods and lack a strong willingness to invest massively in infrastructure development. This lack of substantial public sector investment in infrastructure consequently affects the private sector's (such as

telecommunications operators, equipment providers, etc.) willingness to invest in development. This mutual influence delays the large-scale commercial service development of connected vehicles, which is recognized by manufacturers as a direction that requires long-term attention and assistance from the public sector.

In the part concerning international frequency application trends, it is recommended to refer long-term to the assessment methods of other countries' regulatory authorities for future medium to long-term spectrum outlooks. It is advised that our country's regulatory authorities should design stages based on different market demand phases, including regular observation of development stages, evaluation and investigation of demand stages, evaluation of release options, and implementation stages.

專業詞彙中英對照表

英文縮寫	英文	中文
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作計劃
5GAA	5G Automotive Association	5G 汽車聯盟
5GC	5G Core Network	5G 核心網路
5G PPP	5G Infrastructure Public Private Partnership	5G 基礎設施公私合作 聯盟
5G NR	5G New Radio	5G 新的無線接入技術
5G	5th Generation Mobile Networks	第五代行動通訊技術
6G	6th Generation Mobile Networks	第六代行動通訊技術
AP	Access Point	無線存取設備
AHS	Advanced Cruise-assisted Highway System	智慧道路
ADAS	Advanced driver-assistance system	先進駕駛輔助系統
ASV	Advanced Safety Vehicle	智慧安全車輛
ATTAIN	Advanced Transportation Technology and Innovation	先進交通技術和創新
ACS	Aircraft Communications System	飛機通訊系統
AMP	AirWave Management Platform	AirWave 網管軟體平台
AIR	Antenna Integrated Radio	天線內置射頻單元

英文縮寫	英文	中文
API	Application Programming Interface	共享開放應用程式介面
AI	Artificial Intelligence	人工智慧
AI/ML	Artificial Intelligence/Machine learning	人工智慧與機器學習
APT	Asia-Pacific Tele- community	亞太區域國家電信社群
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	非對稱數位式用戶線路
AR	Augmented Reality	擴增實境
ACMA	Australian Communications and Media Authority	澳洲通訊與媒體管理局
AGV	Automated Guided Vehicle	無人搬運車
AMI	Automated Metering Infrastructure	智慧型電表基礎建設
AOI	Automated Optical Inspection	自動光學檢查
AECC	Automotive Edge Computing Consortium	汽車邊緣計算聯盟
AD	Autonomous Driving	自動駕駛
AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移動機器人
BBU	BaseBand Unit	基頻模組
BITS	Basic International Telecommunications Services	基本國際電信服務
B5G	Beyond 5G	5G 下世代通訊技術
BCRD	Broadband Cost Reduction Directive	寬頻成本降低指令
BSS	Broadcasting-satellite service	廣播衛星業務

英文縮寫	英文	中文
BIS	BUS Information System	公車資訊系統
BRT	Bus Rapid Transit	公車捷運系統
B2B	Business to Business	企業對企業
B2C	Business to Consumer	企業對消費者
CRTC	Canadian Radio-television and Telecommunications Commission	加拿大廣播電視暨通訊 委員會
CSA	Canadian Space Agency	加拿大太空總署
CTIA	Cellular Telecommunications Industry Association	美國行動業者協會
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything	蜂巢式車聯網通訊
CU	Central Unit	集中式單元
CCTV	Closed-Circuit Television	閉路電視監控
CBTC	Communication based train control	鐵道通訊控制列車系統
CT	Communications Technology	通訊技術
CAGR	Compound Annual Growth Rate	年均複合成長率
CACS	Comprehensive Automobile Traffic Control System	綜合汽車交通控制系統
CAD	Connected and Automated Driving	互聯和自動駕駛
CAM	Connected and Automated Mobility	自動化移動
CEF	Connecting Europe Facility	歐洲連線設施

英文縮寫	英文	中文
CPN	Content Personalization Network	內容個性化網路
C-ITS	Cooperative Intelligent Transportation Systems	協同式智慧運輸系統
CCAM	Cooperative, Connected and Automated Mobility	協同式車聯網與自駕車 移動
CCW2023	Critical Communications World 2023	2023 年世界應急通訊大 會
CPE	Customer-Premises Equipment	用戶終端設備
DDS	Data Distribution Service	資料分佈服務
dBm	decibel-milliwatts	分貝毫瓦特
DSRC	Dedicated short-range communications	專用短距離通訊
D2D	Device to Device	設備對設備通訊
DESI	Digital Economy and Society Index	數位經濟與社會指標
DSL	Digital Subscriber Line	數位用戶迴路
DCSG	Disaggregated Cell Site Gateway	蜂巢基地台回傳路由器
DU	Distributed Unit	分散式單元
ESIM	Earth Stations in Motion	移動式衛星地球電臺
ESA	EFTA Surveillance Authority	歐洲自由貿易區監督管 理局

英文縮寫	英文	中文
ECC	Electronic Communications Committee	歐盟電子通訊委員會
HER	Electronic Health Record	電子健康記錄
Epg	Electronic Program Guide	電子節目選單
ETC	Electronic Toll Collection	電子道路收費系統
ESS	Embedded Software on Smartphone	軟體資通安全
EMS	Emergency Medical Services	緊急醫療服務
ESMCP	Emergency Services Mobile Communications Programme	緊急服務行動計畫
ESN	Emergency Services Network	緊急服務網路
eMTC	Enhanced Machine Type Communication	增強機器型通訊
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增強型行動寬頻
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations	歐洲郵政與電信組織會議
EEA	European Economic Area	歐洲經濟區
EFTA	European Free Trade Association	歐洲自由貿易協會
ERTMS	European Railway Traffic Management System	歐盟鐵道交通管理系統
ERTICO(I TS Europe)	European Road Transportation Telematics Implementation Coordination Organization	歐洲智慧運輸系統協會
ESA	European Space Agency	歐盟太空總署

英文縮寫	英文	中文
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	歐洲電信標準協會
ETSI ITS	European Telecommunications Standards Institute Intelligent Transportation Systems	歐洲車載通訊技術標準
EE	Everything Everywhere	英國行動通訊商
eMBMS	evolved Multimedia Broadcast Multicast Services	多媒體廣播群播服務技術
EPC	Evolved Packet Core	核心網路
EO	Executive order	美國總統行政命令
EAR	Export Administration Regulations	出口管理條例
EAS	Extended Area Service	擴展區域服務
XR	Extended Reality	延展實境
FA	Factory Automation	工廠自動化
FAA	Federal Aviation Administration	美國聯邦航空總署
FCC	Federal Communications Commission	美國聯邦通信委員會
FTTP	Fiber to the premises	光纖到房屋
FPU	Field Pickup Unit	現場收音設備
FSS	Fixed Satellite Service	固定衛星業務
FWA	Fixed Wireless Access	固定無線接取

英文縮寫	英文	中文
FSO	Free Space Optical	自由空間光
FDD	Frequency Division Duplexing	頻分雙工
Full HD	Full High Definition	超高畫質
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System	未來鐵道行動通訊系統
GSO	Geosynchronous orbit	地球同步軌道
GSA	Global Mobile Suppliers Association	全球行動供應商協會
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球衛星導航系統
GNSS Repeaters	Global Navigation Satellite System Repeaters	GNSS 衛星訊號中繼器
GPS	Global Positioning System	全球衛星定位系統
GSM-R	Global System for Mobile Communications-Rail	全球行動通訊鐵路系統
GDP	Gross Domestic Product	國內生產總值
GCSE	Group Call Service Enablers	群組呼叫服務啟用功能
GSMA	Group Special Mobile Association	全球行動通訊系統協會
HAPS	High Altitude Platform Station	高空平台站
HEO	High Earth Orbit	高地球軌道
HIBS	High-altitude Platform Stations as IMT Base Stations	高空行動基地台
HDMI	High-Definition Multimedia Interface	高畫質多媒體介面
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	混合式自動重送請求

英文縮寫	英文	中文
IEK	Industrial Economics & Knowledge Center	工研院產科國際所
IIoT	Industrial Internet of Things	工業物聯網
IT	Information Technology	資訊科技
IaaS	Infrastructure as a Service	基礎設施即服務
IRIS ²	Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite	韌性、互連互通以及安全之衛星基礎設施
I2V	Infrastructure-to-Vehicle	基礎設施到車輛
ISED	Innovation, Science and Economic Development Canada	加拿大創新、科學及經濟發展部
IOPS	Input/Output Operations Per Second	每秒輸入／輸出
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	電機電子工程師協會
ITE	Institute of Transportation Engineers	美國運輸工程師協會
ISAC	Integrated Sensing and Communication	感測與通訊整合
IT IS	Integrated Transport Information System	整合式交通資訊系統
ITS	Intelligent Transportation System	智慧型運輸系統
IVHS	Intelligent Vehicle-Highway Systems	智慧車輛高速公路系統
IMT	International Mobile Telecommunications	國際行動電信
ITU	International Telecommunication Union	國際電信聯盟

英文縮寫	英文	中文
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication Sector	國際電信聯盟無線電通 信部門
ITAR	International Traffic in Arms Regulations	國際武器貿易條例
IoT	Internet of Things	物聯網
ISP	Internet Service Provider	網際網路服務供應商
IP Cam	IP camera	網路監控攝影機
JARI	Japan Automobile Research Institute	日本自動車研究所
KBR	Kellogg Brown & Root Limited	美國工程建築和服務公 司
KDD	Kommunal- og distriktsdepartementet	挪威地方政府和地區部
KCC	Korea Communications Commission	韓國通訊傳播委員會
KT	Korea Telecom	韓國電信
ANFR	L'Agence nationale des fréquences	法國國家頻率管理局
LMR	Land Mobile Radio	地面行動無線電
LED	Light Emitting Diode	發光二極體
LOS	Line of Sight	視距
LDM	Local Dynamic Map	區域動態地圖
LBS	Location-Based Service	基於位置的服務

英文縮寫	英文	中文
LTE	Long Term Evolution	長期演進技術
LEO	Low-Earth Orbit	低地球軌道
LTE-R	LTE-Railway	鐵路長期演進技術通訊 網路
M2M	Machine to Machine	機器對機器
mMTC	Massive Machine Type Communication	大規模機器型通訊
Massive MIMO	Massive Multiple-Input Multiple-Output	大規模陣列天線
MOST	Media Oriented Systems Transport	媒體導向系統傳輸
MEO	Medium Earth Orbit	中地球軌道
MCU	Micro Control Unit	微控制器
mmWave	Millimeter Wave	毫米波
MoLIT	Ministry of Land, Infrastructure, and Transpor	韓國國土基建交通部
MSIT	Ministry of Science and ICT	韓國科學與資通訊部
MC	Mission Critical	關鍵任務
MCS	Mission Critical Services	關鍵任務服務
MCPTT	Mission-Critical Push-to-Talk	關鍵任務一按通服務
MR	Mixed Reality	混合實境
MNO	Mobile Network Operator	行動網路業者

英文縮寫	英文	中文
MSS	Mobile Satellite Service	衛星行動業務
MVNO	Mobile Virtual Network Operator	虛擬行動網路服務經營者
MiFi	Mobile Wi-Fi	攜帶型寬頻無線裝置
MWC	Mobile World Congress	世界行動通訊大會
MaaS	Mobility as a service	交通行動服務
MEC	Multi-access edge computing	行動邊緣運算
MOD	Multimedia on Demand	多媒體內容傳輸平台
MOCN	Multi-Operator Core Network	多電信商核心網路
MORAN	Multi-operator Radio Access Network	多營運商無線接取網路
MU-MIMO	Multi-User Multiple-Input Multiple-Output	多用戶多輸入多輸出
NB-IoT	Narrow Band Internet of Thing	窄頻物聯網
Nkom	Nasjonal kommunikasjonsmyndighet	挪威國家通信管理局
NASA	National Aeronautics & Space Administration	美國國家航空與太空管理局
NCSPA	National and Commercial Space Programs Act	國家和商業太空計畫法
NCC	National Communications Commission	國家通訊傳播委員會

英文縮寫	英文	中文
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	美國國家公路交通安全管理局
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	美國國家海洋和大氣管理局
NPSTC	National Public Safety Telecommunications Council	美國國家公共安全電信委員會
NTIA	National Telecommunications and Information Administration	美國國家電信與資訊管理局
NTSB	National Transportation Safety Board	美國國家運輸安全委員會
NPSBN	Nationwide Public Safety Broadband Network	公共安全寬頻網路
NLP	Natural language processing	自然語言處理
NaaS	Network as a service	網路即服務
NCR	Network Controlled Repeater	網路控制中繼器
NSA	Network Sharing Agreement	網路共享協議
NS	Network Slicing	網路切片
NG911	Next Generation 911	新一代 911 緊急救援系統

英文縮寫	英文	中文
NGA	Next Generation Access	次世代接取
NLOS	Non Line of Sight	非視距
NTN	Non Terrestrial Networks	非地面網路
NFSS	Non-Fixed Satellite Earth Station	非固定衛星地球電臺
NGSO	Non-Geostationary Orbit	非地球同步軌道
NSA	Non-Standalone	非獨立組網
Ofcom	Office of Communications	英國通訊管理局
OSC	Office of Space Commerce	美國商務部太空商務辦公室
OBU	On Board Unit	車載單元
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architectu	開放平台通訊- 統一架構
O-RAN	Open Radio Access Network	開放性無線接取網路
OSS	Open Source Software	開源軟體
Open Vran	Open Virtualized Radio Access Network	開放式虛擬化無線存取網路
OT	Operation technology	操作技術
OWC	Optical Wireless Communication	光無線通訊

英文縮寫	英文	中文
O-CU	O-RAN Central Unit	O-RAN 集中式單元
O-DU	O-RAN Distributed Unit	O-RAN 分散式單元
O-RU	O-RAN Radio Uni	O-RAN 無線電單元
ODM	Original Design Manufacturer	原有設計製造商
OEM	Original Equipment Manufacturer	原有設備製造商
OTT	Over-the-top services	過頂服務
PES	Permanent Earth Station	永久地球電臺
PHR	Personal Health Record	個人健康記錄
PoP	Point of Presence	存取點
PCBA	Printed Cicrcuit Board Assembly	組裝電路板
PMR	Professional Mobile Radio	專用行動無線電
PCG	Project Coordination Group	項目協作組
PoB	Proof of Business	商業化實證
PoC	Proof of concept	概念性驗證
PoS	Proof of Service	服務驗證
PLMN	Public land mobile network	公用陸上行動網路
PPDR	Public Protection and Disaster Relief	公共安全與救難應變通訊系統

英文縮寫	英文	中文
PSTN	Public Switched Telephone Network	公眾交換電話網路
PWS	Public Warning System	災防告警細胞廣播訊息系統
PS-LTE	Public-Safety Long Term Evolution	全國型公共安全 LTE 網路
PTT	push-to-talk	一鍵通
QoS	Quality of Service	服務品質
QPP	Quality of Service, prioritization and pre-emption	服務品質保證、優先等級和預選
QoD	Quality on Demand	需求品質
QEYSSat	Quantum Encryption and Science Satellite	量子加密和科學衛星
QKD	Quantum key distribution	量子密鑰分發
RFID	Radio Frequency Identification	無線射頻識別系統
RLC	Radio Link Control	無線電連結控制
RSPG	Radio Spectrum Policy Group	歐盟無線頻譜政策小組
RU	Radio Unit	無線電單元
RMR	Railway Mobile Radio	鐵道行動無線電通訊
RACH	Random Access Channel	隨機進接頻道

英文縮寫	英文	中文
ROES	Receive-Only Earth Stations	僅接收地球電臺
RV	Recreational Vehicle	自房車
NR-LITE	RedCap	降低能力，精簡化 5G NR 性能
RedCap	Reduced Capability	降低性能
RSSSA	Remote Sensing Space Systems Act	遙感太空系統法
RRF	Réseau Radio du Futur	未來無線電網路建置計 畫
ROI	Return on Investment	投資回報率
RSU	Road Side Unit	路側單元
RDOF	Rural Digital Opportunity Fund	偏鄉數位機會基金
SLA	Service-Level Agreement	服務水準協議
STB	Set_Top Box	視訊轉換器
SSC	Shared Services Canada	加拿大共享服務局
SPaT	Signal Phase and Timing	即時號誌時相應用
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	同時定位與地圖構建

英文縮寫	英文	中文
SIP-adus	SIP-Automated Driving for Universal Service	戰略性創新創造專案自動駕駛系統研究開發計畫
SSSI	Site of Special Scientific Interest	有特殊科學價值的保護區
SKT	SK Telecom	SK 電信
SCSE	Smart City Summit & Expo	智慧城市論壇暨展覽
SAE	Society of Automotive Engineers	自動車工程師學會
SDR	Software Defined Radio	軟體定義無線電
SDN	Software-defined networking	軟體定義網路
SA	Standalone	獨立組網網路
SOP	Standard Operating Procedures	標準作業程序
SIF	Strategic Innovation Fund	戰略創新基金
SIP	Strategic Innovation Promotion Program	戰略性創新創造計劃
SWOT	Strengths、Weaknesses、 Opportunities、Threats Analysis	強弱危機分析
Sub-THz	sub-terahertz	次太赫茲
SCS	Supplemental Coverage from Space	以太空補充地面涵蓋

英文縮寫	英文	中文
SDGs	Sustainable Development Goals	永續發展目標
SoC	System on a Chip	單晶片系統
TCROS	Taiwan C-ITS Roadside Open Standards	臺灣協同智慧運輸車聯 網路側設施資通訊開放 標準
TSGs	Technical Specification Groups	技術標準化組織
TIP	Telecom Infra Project	電信基礎建設計畫
TTC	Telecom Technology Center	財團法人電信技術中心
TTA	Telecommunications Technology Association	韓國電信技術協會
ACMOSS	The Agency for Operational Mobile Security and Emergency Communications	行動安全和緊急通信管 理局
AIoT	The Artificial Intelligence of Things	人工智慧物聯網
CFR	The Code of Federal Regulations	美國聯邦法規
CRS	The Congressional Research Service	美國國會研究服務處
MPSS	The Ministry of Public Safety and Security	韓國國民安全處
TDD	Time-Division Duplexing	分時雙工
TSN	Time-Sensitive Networking	時間敏感型網路
TES	Transportable Earth Station	行動式地球電臺

英文縮寫	英文	中文
2FA	Two-factor authentication	雙重認證
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications	超可靠低延遲通訊
UWB	Ultra-Wideband	超寬頻
UMTRI	U-M's Transportation Research Institute	密西根大學交通研究所
ULA	United Launch Alliance	聯合發射聯盟
USDOT	United States Department of Transportation	美國運輸部
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人飛行載具
UAS	Unmanned Aircraft System	無人飛行器系統
UUV	Unmanned underwater vehicles	水下無人機
UMFUS	Upper Microwave Flexible Use Service	較高頻段微波彈性使用服務
UBI	Usage-Based Insurance	使用率保險
UT	User Terminal	用戶終端裝置
VICS	Vehicle Information and Communication System	道路交通訊息通訊系統
V2X	Vehicle-to-Everything	車聯網
V2I	Vehicle-to-Infrastructure	車輛與基礎設施
V2N	Vehicle-to-Network	汽車對網路
V2P	Vehicle-to-Pedestrian	車輛與其他道路使用者

英文縮寫	英文	中文
V2V	Vehicle-to-Vehicle	車輛與車輛
V&V	Verification and Validation	驗證及確認
VHCN	Very High Capacity Networks	超高頻寬網路
VLEO	Very Low Earth Orbits	更低高度的極低軌道
VSAT	Very Small Aperture Terminal	小型衛星地面站
VPN	Virtual Private Network	虛擬專用網路
VR	Virtual Reality	虛擬實境
VoLTE	Voice over Long Term Evolution	長期演進語音承載
Wi-Fi	Wireless Fidelity	無線相容認證
WP 5D	Working Party 5D	5D 工作組
WRC	World Radiocommunication Conference	世界無線電通訊大會
xDSL	x Digital Subscriber Line	各種類型數字用戶線路

期末審查委員意見回覆

摘要及緒論		
1	摘要之立即可行建議及中長期建議，建請能以短、中、長期敘述	詳見報告摘要四、主要建議事項。(P.XXVII-XXXI)
2	請補充說明高雄捷運未訪談之原因。	高雄捷運因公務繁忙時間無法配合，故未完成訪談，然已將計畫執行之回饋轉由委辦單位「經濟部產業發展署 高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫」辦公室代為轉達。(P.7)
國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析		
1	因期末報告為最終公布版本，故文中提及期中報告之內容仍應完整呈現於期末報告中，不宜以參閱帶過，亦請重新檢視其他部分。	已依據委員建議彙整期中與期末研析報告於期末報告。
2	「日本系統整合商(NSSOL)分析該公司目前結合 Local 5G 專網網路」，請補充參考文獻。	詳見報告第二章第二節之四、「5G AIoT 智慧製造應用計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析。(P.32)

3	「5G AIoT 智慧製造應用計畫」缺乏小結，請補充。	詳見報告第二章第二節之五、小結。(P.34)
4	請補充「5G 車聯網計畫」中所使用之頻段以及國際上車聯網趨勢。	「5G 車聯網計畫」使用頻段為5.895~5.925 GHz。(P.67) 國際車聯網趨勢分析補充於第三章第三節七之(一)、車聯網國際現況。(P.314)
5	「針對富士 Chimera 及資策會產業情報研究(MIC)相關之資料分析」，請補充參考文獻。	詳見報告第二章第五節之三、 「5G 車聯網計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析。(P.71)
6	請補充「中鋼 5G AIoT 推動計畫」中，CT、IT 及 OT 使用之網段。	詳見報告第二章第八節一之(三)、小結。(P.95)
7	在智慧醫療類計畫間競合關係研究中，「一般商頻專網則依據標準頻寬規劃，亦即下行頻寬遠大於上行頻寬，於此情境中無法完全滿足。」請補充頻寬需求(如解析度及fps)。	詳見報告第二章第六節之二、 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」網路架構、主要功能廠商研發重點、及資料流研析。(P.78-79)

8	請補上章節總結，建議做比較表。	詳見報告第二章第十節總結。 (P.106-109)
9	國內目前有許多專網應用在推動，並有應用相關 SIG 在推廣，宜連結本案之成果予上述推動與推廣之運作。	感謝委員肯定及建議。
10	建議針對專網審查流程加以簡化，以利創新應用推廣。	詳見報告第五章第三節一、5G 專網。(P.640-643)
11	創新應用之品質及永續發展之研析可以再加強。	詳見報告第二章第二至七節之「全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析」。
12	本案的研析案例是否為典範應用，若是，可以綜整其應用鋪陳運作程序，供後續推動參考。	詳見報告第二章第九節計畫間競合關係研究，論述個計畫之能競爭分析及合作機會(P.100-105)
13	本案執行成果已提出議題觀測，宜再深入提出建議推動之行動。	詳見報告第五章第三節，依行動寬頻專用電信網路設置使用管理辦法、頻譜資源應用之方向提出推動建議。(P.640-652)
14	建議綜整國內目前申請專網頻譜	依據委員建議補充說明國內目

	<p>之業者及其應用，並將其分類，以利了解目前國內推動現況。</p>	<p>前申請專網頻譜之業者及其應用如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 5G 智慧製造 – 華碩電腦、迎盛、台灣富網纖維、帆宣系統、友達光電、台灣懷霖、漢翔航空、凱柏精密、京揚國際、弘裕企業、華電聯網、信曜科技、亞旭電腦、凌群電腦(共 16 案) ● 5G 智慧展演 – 智宏網、中華電信、中正紀念堂、高雄捷運、高雄展覽館、資策會、滿力國際、台灣固網、台灣電競(共 14 案) ● 5G 智慧交通 – 凌群電腦、中華電信(共 2 案) ● 5G 智慧醫療 – 財團法人永信基金會(共 2 案)
15	Open-RAN 方案目前在系統穩定	依據委員建議補充說明如下：

	<p>性與擴充性方面的表現如何?國內可提供的方案有哪些廠商的組合?請補充。</p>	<p>O-RAN OTIC 驗測目前在系統穩定性與擴充性，依循相關驗測規範測試合格並發合格標章，國內通過之廠商及方案詳述如下，產品組合方案可依場域需求彈性組合。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 鴻海 - O-RU ● 和碩 - O-RU/O-CU/O-DU ● 啟碁 - O-RU/O-CU/O-DU ● 萊昂仕 - O-RU/O-CU/O-DU ● 智宏網 - O-RU/O-CU/O-DU ● 亞旭 - O-RU/O-CU/O-DU ● 光寶科 - O-RU ● 瑋穎 - O-CU/O-DU ● 神通資訊 - O-CU/O-DU ● 智易 - O-CU/O-DU
<p>國際新應用模式研析</p>		
<p>1</p>	<p>FWA 的部分請補充 GSA 的統計數據。</p>	<p>詳見報告第三章第一節六之(五)、近期發展之創新差異重點。</p>

		(P.164-167)
2	針對 PPDR 小結之網路建置維運及頻譜安排比較分析，建議補頻譜圖，以利了解。	詳見報告第三章第二節之七、小結。(P.232-239)
3	針對 PPDR 小結之我國產業生態鏈位置及可能發展架構，請補充有關 PPDR 頻段應採行美規或歐規之研析。	詳見報告第五章第一節四之(二)、法規政策發展及第三章第二節之七、小結。(P.625-628、P232-239)
4	針對 PPDR 小結之各國 PPDR 頻段比較希望能以頻譜圖方式呈現。	詳見報告第三章第二節之七、小結。(P.232-239)
5	相關申請案及 FCC 的核准或否准文件，請補充參考文獻。	詳見報告第三章第三節二之(二)、網路建置維運及頻譜安排(P.246-247)。
6	車聯網主要國家之技術及頻段規劃彙整表中，各國車聯網頻段彙整請以頻譜圖方式呈現。	詳見報告第三章第三節之七、小結。(P.312-320)
7	V2X 我參考美國指配 5.85 至 5.925GHz，今美國改變僅保留 5.895 至 5.925，餘供 WiFi，我國	詳見報告第三章第三節之七、小結。(P.312-320)

	因應政策煩請補充。	
8	「2018年11月，美國國會研究服務處(The Congressional Research Service, CRS)提出1份報告」，請補充參考文獻。	詳見報告第三章第四節二之(一)、發展政策。(P.324)
9	「2021年3月，FCC發佈新規將衛星執照和衛星地面站執照整合為統一執照，允許業者利用新建立的單一申請程序，從而簡化流程並加速地面站的部署」，請補充參考文獻。	詳見報告第三章第四節二之(二)、頻段規劃與執照規管。(P.329)
10	「2023年4月12日，FCC發布擬議通過的「以太空補充地面涵蓋(Supplemental Coverage from Space, SCS)」監理框架草案，用於規範從太空中使用行動頻譜」，請補充參考文獻。	詳見報告第三章第四節二之(二)、頻段規劃與執照規管。(P.329)
11	RP-007、RP-008 政策框架，請補充參考文獻。	詳見報告第三章第四節三之(二)、頻段規劃與執照規管。(P.338)

12	法國近期核配之低軌衛星頻率執照表中，ITU 參照見補上網頁連結。	詳見報告第三章第四節五之(二)、頻段規劃與執照規管。(P.359-360)
13	NTN 與 LEO 的發展方面，應盤點我國目前有哪些新創投入，請補充說明。	詳見報告第三章第四節之七、小結裡面的(三)、我國產業生態鏈位置及可能發展架構。(P.378-381)
14	本研析部分資料與其他計畫或幾年前之研析大致相同，宜說明研析內容之創新差異點，近期資料應特別標示，以利了解全球先進國之發展演進。	詳見報告第三章第三節七之(二)、近期發展之創新差異重點。(P.317)
產業訪談及座談會辦理		
1	建議將組之委託機關及受委辦廠商之深度訪談部分，將共同的問題另外整理表格以利讀者閱讀	詳見報告第四章第一節之六、委辦單位深度訪談小結。(P.417-418)
2	建議將三大業者共同的問題另外彙整表格，以利讀者閱讀。	詳見報告第四章第二節之五、電信商訪談小結。(P.487-488)
3	本份期末報告僅可看到 3 場次座	詳見報告第四章第三節之一、座

	談會辦理情形，另外 2 場座談會辦理情形亦須加入報告內容。	談會(一)：5G 新應用以及二、座談會(二)：數位韌性下的 5G 非地面通訊(NTN)。(P489-548)
4	座談會議題討論宜有後續追蹤規劃，以強化舉辦之價值。	感謝委員意見，今年度本計畫綜整前四場座談會之意見，邀請其中關鍵廠商參與第五場「頻率資源應用法規修正建議」座談會，具體提出資源近用建議方案，並擬提法規修正建議。明年度將持續追蹤相關議題之後續規劃，並藉由座談會持續與產業互動溝通。
資源近用建議方案		
1	三年期程圖不夠具體化，建議更詳細撰寫。	詳見報告第五章第四節之二、我國未來三年期程電信資源政策建議。(P.658-662)

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

透過研析重大政策下各部會通訊相關應用及驗證計畫，訪談頻率使用及創新應用相關產業，盤點國內 5G/B5G/6G 通訊技術、低軌衛星通訊、無線區域網路技術(如：無線相容認證 Wireless Fidelity, Wi-Fi、智慧型運輸系統 Intelligent Transportation System, ITS 等)等發展架構及產業生態鏈，調研創新技術應用種類、特性及成熟度等，蒐整國內創新應用之頻譜資源使用現況並評估短中期使用需求，透過深度訪談篩選出具商用化潛力計畫擬提協助方案，促成整體通傳產業新創發展。

同時綜觀下世代無線通訊全球相關發展趨勢，針對需求頻率進行盤點分析，提出我國因應下世代通訊技術及產業數位轉型所衍生地面與非地面無線通訊使用頻率等資源規劃建議。

一、 研究緣起

本計畫透過針對 5G/B5G/6G 無線通訊技術發展與應用趨勢之資料盤點，以及持續追蹤觀測國際組織、各國產官學研單位對於 5G/B5G/6G 技術和新應用頻譜需求與後續應實施規劃整備相關文件之分析後，掌握全球針對 5G/B5G/6G 先期技術研究、下世代諸如非地面通訊、PPDR、FWA、車聯網等創新應用發展關鍵議題，與頻譜資源運用規劃之態勢。釐清我國接

軌國際 5G/B5G/6G 發展進程中的技術應用發展優先順序，與頻譜資源規劃分配之先期準備。

同時，配合訪談或專家座談交流，切實掌握基於國際趨勢發展態勢下，專家群針對我國 5G/B5G/6G 及下世代通訊技術與應用趨勢，以及對於 5G/B5G/6G 世代的頻譜需求與整備方向之意見。做為我國逐步布局 5G/B5G/6G 新興通訊相關潛在核心技術與應用之參考，同時也提前為我國在 5G/B5G/6G 世代所需頻譜頻率的供應整備、協調共用等相關議題進行深度研析。

藉由縝密資料蒐集研析，進一步提出對我國通訊創新應用頻譜規劃政策之建議，以協助政府主管機關得以形塑完整頻譜規劃政策，助力我國邁入 5G/B5G/6G 世代同時，頻譜資源的分配釋出做好準備，促進我國 5G/B5G/6G 通信市場與相關產業的發展。

依據上述研究範圍與重點方向，為推進我國 5G/B5G/6G 與非地面供通訊等頻率資源相關政策能夠接軌國際，藉以加速國內應用服務落地與產業發展，相關電信資源整備與供應實須以宏觀視野進行完整探討與妥適因應。對此，本計畫擬定以下四個重點方向展開研究，並詳述計畫期研析成果如後續章節。

國內頻率資源創新應用調查及研究

分項一	分項二	分項三	分項四
國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析	國際新應用模式研析	產業訪談及座談會辦理	資源近用建議方案
<ul style="list-style-type: none"> • 調研重大政策中涉及頻率資源創新應用計畫，其目標、使用頻率資源之無線通訊技術、軟硬體整合之方式；目前進程、完成時程、後續應用規劃 • 調研5G/B5G(含O-RAN、NTN及其他創新應用)架構及產業生態鏈，調查國內自主研發之項目及生態鏈位置 • 調研各部會頻率資源創新應用計畫受委辦廠商之研發重點及主要功能之合作廠商 • 創新應用計畫全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析 • 各計畫/技術間競合關係研究 	<ul style="list-style-type: none"> • 蒐集國際新頻率資源創新應用成功案例 • 研析我國產業生態鏈位置及可能發展架構 • 研析並建議我國適合發展之廠商 • 廠商意願及需協助項目研討 • 擬定協助/媒合方案及評估經費、人力需求 	<ul style="list-style-type: none"> • 篩選具商用化潛力之計畫，進行至少5組之委託機關及受委辦廠商之深度訪談，並詢問頻率需求及使用時程 • 整理訪談紀錄，整理技術應用之種類、流程及產出，研析國內廠商之可能參與項目 • 過濾政府可協助方向及廠商間媒合可能性並擬定協助方案及評估經費、人力需求 • 辦理頻譜創新應用相關研習或座談活動5場次，邀請議題之相關利害關係者與會，蒐集國內現況及產官學等意見 	<ul style="list-style-type: none"> • 國際電信資源規劃研析 • 國內頻譜資源現況研析 • 因應新應用模式具體提出資源近用建議方案 • 資源近用建議方案擬提法規修正建議 • 提出至少3年期程之進度規劃表

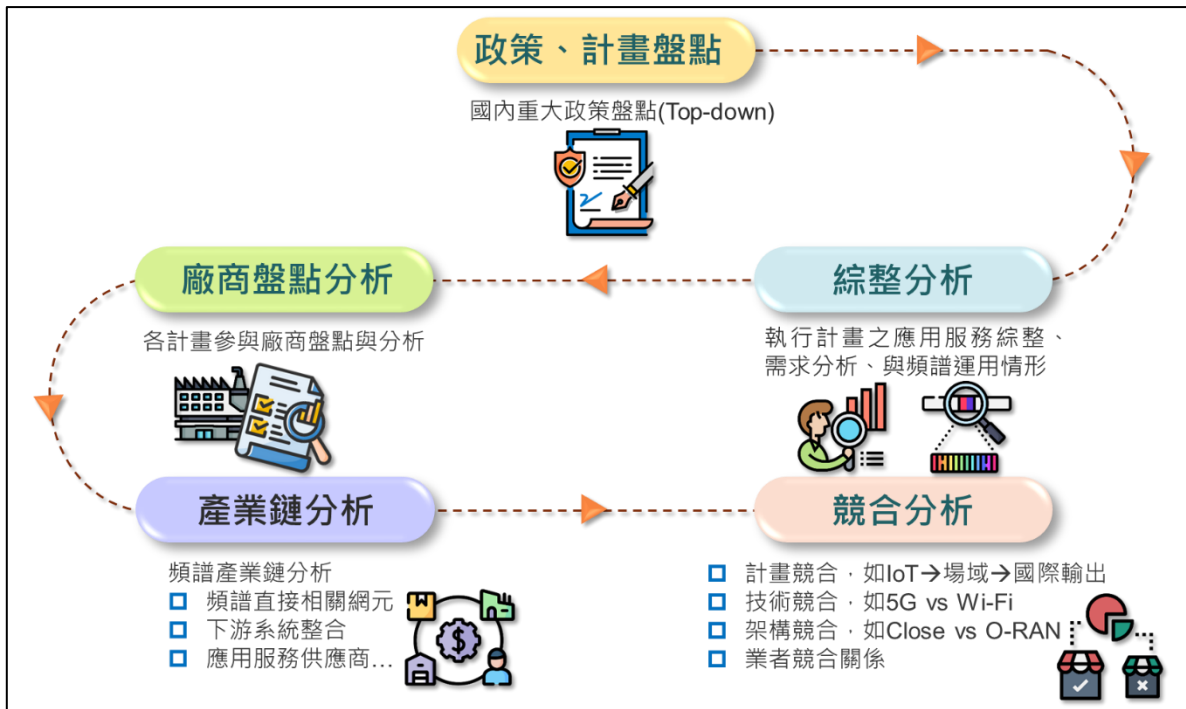
資料來源：本研究整理，2023年1月

圖 1-1、國內頻率資源創新應用調查及研究重點

二、研究方法

(一)、分項一：國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析

本計畫上半年度共完成三個重大政策下通訊相關應用及驗證計畫，包含：5G AIoT(人工智慧物聯網 The Artificial Intelligence of Things)智慧製造跨場域應用計畫(亞旭電腦股份有限公司，國家發展委員會促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫)、元宇宙之究極奧義-無限列車(高雄捷運股份有限公司，經濟部產業發展署高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫)、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統(和碩聯合科技股份有限公司，國家發展委員會促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫)；下半年度亦完成三個重大政策下通訊相關應用及驗證計畫，包含：淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫(華電聯網股份有限公司，交通部)、5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫(仁寶電腦股份有限公司、智宏網股份有限公司，數位發展部數位產業署)、5G 智慧影音沉浸式展演計畫(智宏網股份有限公司，經濟部產業發展署)；針對創新應用需求頻率進行盤點分析，綜觀下世代無線通訊全球相關發展趨勢，提出我國因應下世代通訊技術及產業數位轉型所衍生地地面與非地面無線通訊使用頻率等資源規劃建議。



資料來源：本研究整理，2023 年 3 月

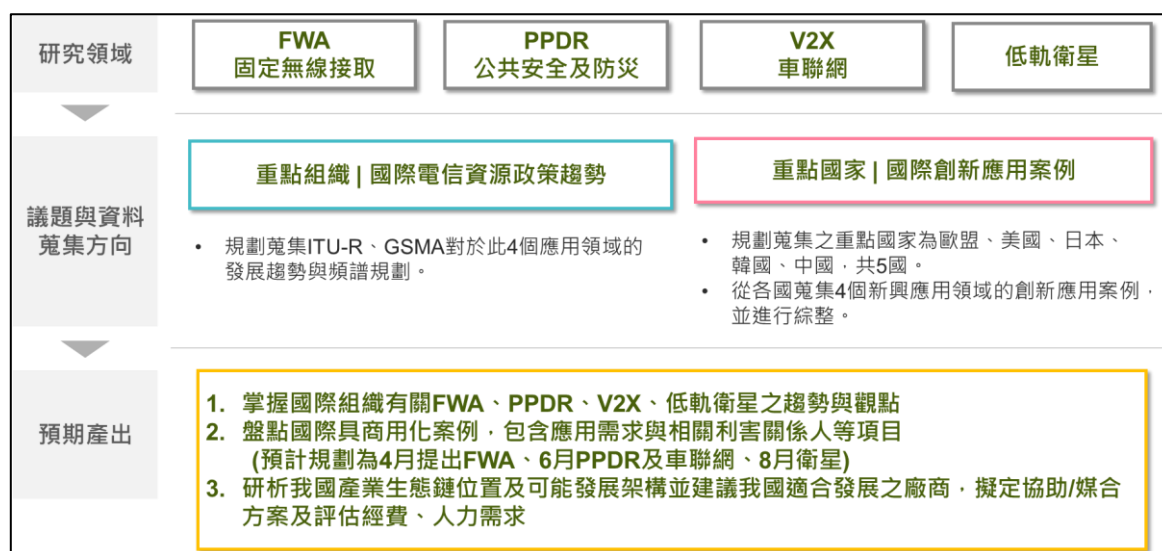
圖 1-2、國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析研究方法

(二)、分項二：國際新應用模式研析

5G 商轉之際，國際主要國家、學研機構、資通訊大廠等已著手 B5G 甚至 6G 技術應用領域之研究，擘劃下個十年 5G/B5G/6G 世代的通訊技術支援多元化創新應用場景。

本研究除追蹤國際標準組織如國際電信聯盟無線電通信部門(International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, ITU-R)、第三代合作計劃(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)之標準制定進展，以及主要國家、學研機構與資通訊產業大廠之 5G/B5G/6G 布局動向外，另聚焦四項頻率資源應用：FWA、PPDR、車聯網、衛星通訊，觀測國際間主

要國家所訂定之規範，就該應用之需使用通訊技術、可能使用頻率範圍、最低需求頻寬等進行盤點分析，以及追蹤主要國家商用化案例及配套管理措施，並觀察發展進程。綜合比較分析各國新頻率資源創新應用成功案例，以及研析我國產業生態鏈位置與可能發展架構，並依所分析出的資料提出電信資源規劃建議。



資料來源：本研究整理，2023年3月

圖 1-3、國際新應用模式研析研究方法

(三)、分項三：產業訪談及座談會辦理

藉由分項一中調研重大政策中涉及頻率資源創新應用計畫之工作，同時調研 5G/B5G/6G 架構及產業生態鏈，含開放性無線存取網路(Open Radio Access Network, O-RAN)、非地面網路(Non Terrestrial Networks, NTN)及其他創新應用，篩選具商用化潛力之計畫，進行至少 5 組之委託機關及受委辦廠商之深度訪談，並詢問頻率需求及使用時程訪談或座談會等方式；同

時綜整訪談紀錄，整理技術應用之種類、流程及產出，研析國內廠商之可能參與項目。

今年度擬完成 6 組計畫之委辦及受委辦廠商訪談如下表，除其中「元宇宙之究極奧義～無限列車！」計畫之受委辦廠商高雄捷運，因公務繁忙時間無法配合，故未完成訪談，然已將計畫執行之回饋轉由委辦單位「經濟部產業發展署 高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫」辦公室代為轉達。

表 1-1、產業訪談計畫及標的

計畫名稱	委辦機關	受委辦廠商
5G AIoT 智慧製造跨場域應用計畫	國發會 促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫(1)	亞旭電腦
5G 車聯網計畫	交通部 5G 車聯網計畫	華電聯網
5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統	國發會 促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫	伸波通訊、和碩聯合
5G 智慧影音沉浸式展演	經濟部產業發展署 5G+產業生態鏈推動計畫	智宏網

計畫名稱	委辦機關	受委辦廠商
5G 遠距腹部超音波遙控診療驗證	數位部產業署 5G+系統暨應用淬鍊計畫	仁寶電腦
元宇宙之究極奧義 ～無限列車！	經濟部產業發展署 高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫	高雄捷運 (未訪談)

資料來源：本研究整理，2023 年 10 月

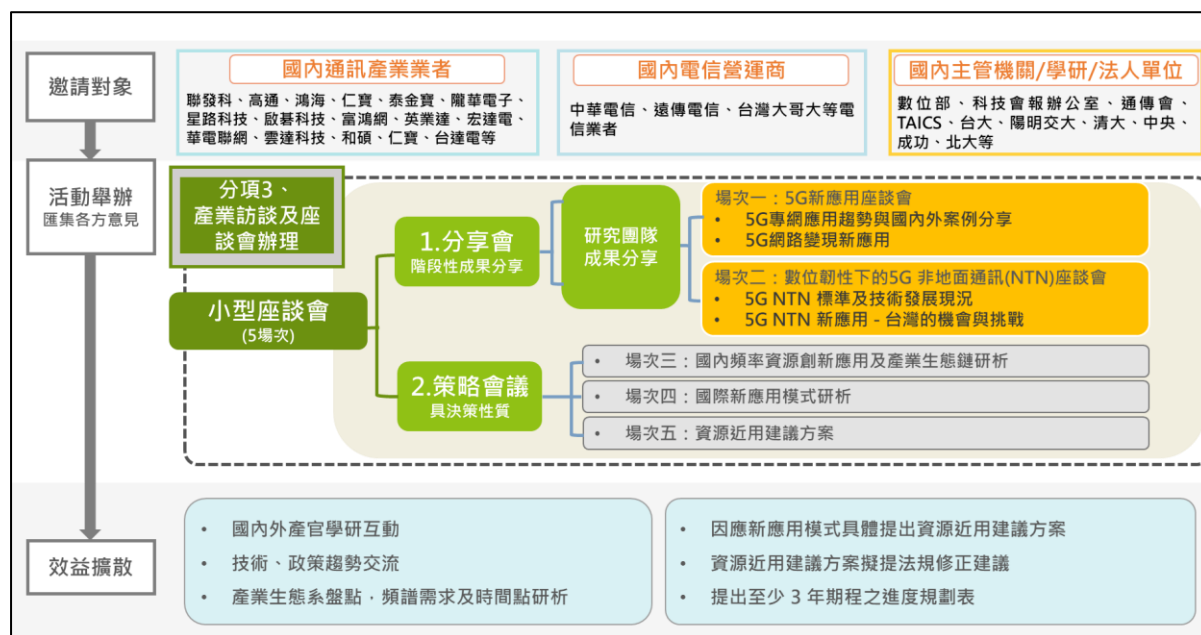


資料來源：本研究整理，2023 年 3 月

圖 1-4、產業訪談研究方法

此外，在座談會辦理部分，今年度共完成 5 場座談會辦理，針對持續研析的關鍵議題，包括國際 5G/B5G/6G 焦點技術(如：世界行動通訊大會 Mobile World Congress, MWC2023 展會技術特點、3GPP 標準進程追蹤等)、新興無線通訊服務與應用項目(如：5G NTN 非地面通訊、車聯網等)等，及

我國發展潛在機會及產業方向；同時從各國新興技術與垂直應用之頻譜需求、創新應用頻譜資源規劃和供應、與頻譜整備作法，進行深度討論與分析。最後，參酌國際經驗與我國情勢，提出我國 5G/B5G/6G 相關頻譜規劃政策建議。



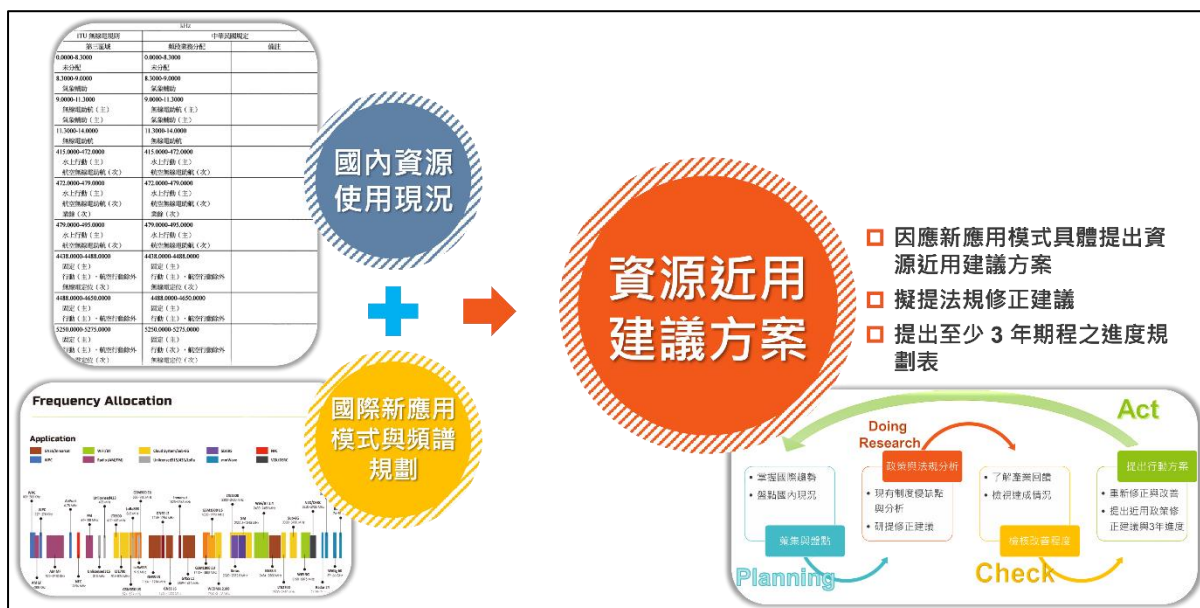
資料來源：本研究整理，2023 年 3 月

圖 1-5、座談會辦理研究方法

(四)、分項四：資源近用建議方案

藉由前揭分項之研究成果，從國內產業鏈生態體系對電信資源之需求，搭配國際間創新應用案例之分析與評估，蒐集與盤點初步成果後，分析現有電信資源近用制度與法規之優缺點及可能對創新應用造成之限制，研提初步解決方案與政策建議。再透過座談會進行意見蒐集，了解各界對於精

進我國資源近用之看法後，完善本計畫提出之近用建議方案修正建議。其後，再透過了解產業回饋等作法，檢視建議方案是否可能達成原先設定目標，再進行重新修正與改善建議，包含資源近用建議方案與法規修正建議，並提出至少 3 年期程之進度規劃表。



資料來源：本研究整理，2023 年 3 月

圖 1-6、資源近用建議方案研究方法

三、研究進度

本計畫報告須完成之工作項目如下，並依研究內容擬定研究進度表如表 1-2 及表 1-3¹。

¹ 112 年度「國內頻率資源創新應用調查及研究」委託研究計畫建議書

表 1-2、研究進度規畫表(一)

分項	分項工作	112年											
		3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月			
分項一 國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析	□ 1.1:調研重大政策中涉及頻率資源創新應用計畫	盤點重大政策下計畫											
	□ 1.2:調研5G/B5G(含 O-RAN、NTN 及其他創新應用架構及產業生態鏈)		頻率應用產業類別分析		5G/B5G架構及產業生態鏈調研	整理國內5G/B5G自主研發項目、生態鏈位置		整理國內O-RAN及其他應用之自主研發項目、生態鏈位置					
	□ 1.3:調研各部會頻率資源創新應用計畫受委辦廠商之研發重點及主要功能之合作廠商		調研部會頻率資源創新應用計畫(1) (國發會亞洲、矽谷5G智慧城鄉產業應用計畫、前瞻2.0等)			調研部會頻率資源創新應用計畫(2) (交通部5G智慧交通、經濟部亞灣AIoT等)		O-RAN、其他創新應用產業調研					
	□ 1.4:創新應用計畫全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析			計畫間競合關係研究			計畫成果商用方向			成功率研究、產值分析			
分項二 國際新應用模式研析	□ 2.1:蒐集國際新頻率資源創新應用成功案例並研析我國產業生態鏈位置及可能發展架構		蒐集ITU-R、GSMA於各應用領域的發展趨勢與頻譜規劃		蒐集國際新頻率資源創新應用成功案例	完成國際新頻率資源規劃研析							
	□ 2.2:研析並建議我國適合發展之廠商			研析與建議(一)			研析與建議(二)						
	□ 2.3:廠商意願及需協助項目研討					廠商意願蒐集(一) (配合深度訪談、蒐集廠商意願)				廠商意願蒐集(二) (配合深度訪談、蒐集廠商意願)			
	□ 2.4:擬定協助媒合方案及評估經費、人力需求					擬定協助(一) (配合深度訪談、蒐集廠商需協助項目)				擬定協助(一) (配合深度訪談、蒐集廠商需協助項目)			

資料來源：本研究整理，2023年3月

表 1-3、研究進度規畫表(二)

分項	分項工作	112年									
		3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
分項三 產業訪談及 座談會辦理	3.1&3.2:篩選具商用化潛力之計畫總計累計至少 5 組之委託機關及受委辦廠商之深度訪談		擬定2組建議名單及訪談大綱	1st深度訪談	2nd深度訪談	3rd深度訪談	4th深度訪談	5th深度訪談			
	3.3:整理訪談紀錄·整理技術應用之種類、流程及產出·研析國內廠商之可能參與項目			整理訪談紀錄1	整理訪談紀錄2	整理訪談紀錄3	整理訪談紀錄4	整理訪談紀錄5	國內廠商之可能參與之應用項目		
	3.4:過濾政府可協助方向及廠商間媒合可能性並擬定協助方案及評估經費、人力需求				協助方案及廠商媒合可能性分析(1) (依訪談結果反饋協助需求)				協助方案及廠商媒合可能性分析(2) (依訪談結果反饋協助需求)		
	3.5&3.6:辦理頻譜創新應用相關研習或座談活動總計累計 5 場次		議題規劃 講者邀請	議題規劃 講者邀請	1st分享會	2nd分享會	議題規劃 與談人邀請	議題規劃 與談人邀請	議題規劃 與談人邀請	議題規劃 與談人邀請	5th策略會議
分項四 資源近用 建議方案	4.1:國際電信資源規劃研析		主要國家頻譜應用趨勢蒐集、國際主要通訊大會趨勢觀測	現況研析							
	4.2:國內頻譜資源現況研析		現況研析		國內新應用之研析(PPDR, FWA等)						
	4.3:因應新應用模式具體提出資源近用建議方案		WRC23 議題觀測(1)		WRC23 議題觀測(2)			WRC23 議題觀測(3) WRC27先期研究議題	資源近用建議方案		
	4.4:資源近用建議方案擬提法規修正建議							法規修正建議			
	4.5:提出至少 3 年期程之進度規劃表								3年期程規畫建議		

資料來源：本研究整理，2023 年 3 月

第二章 國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析

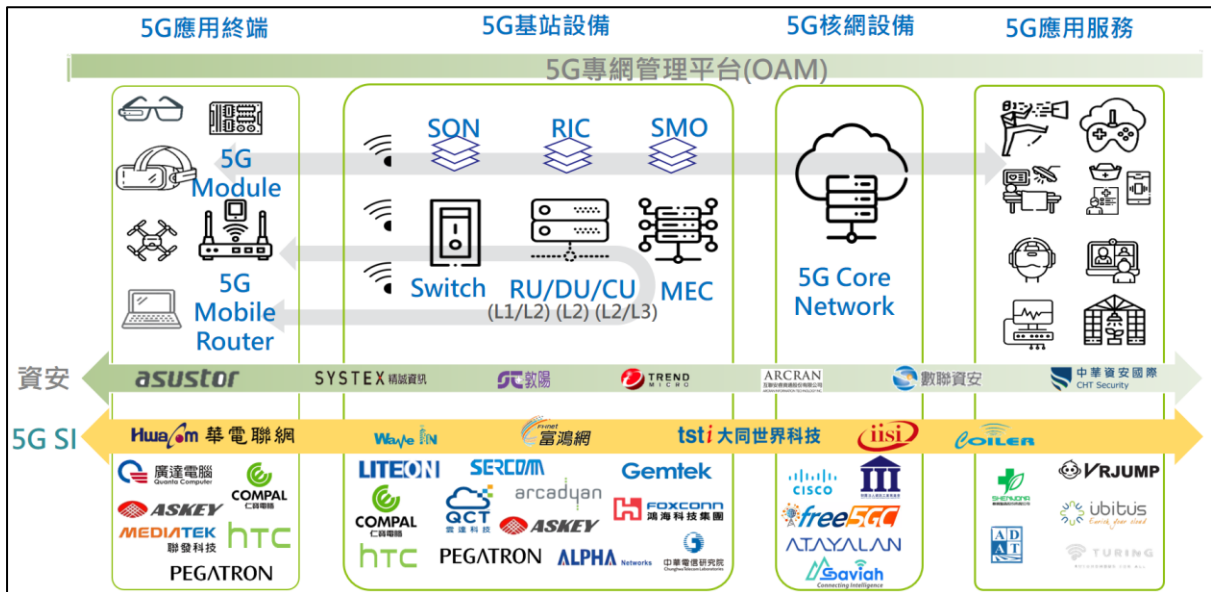
第一節 國內頻率資源創新應用

在當今萬物互聯的世界，無縫通訊和可靠的網路連接對於個人、企業和政府至關重要，可靠的網路連接，則需要在有線、與無線通訊之媒介中無縫連網；無線通訊中最重要的為頻率資源管理，且頻率資源的管理良窳，有著關鍵作用。無線電頻譜或頻率是現代無線通訊技術的命脈，無線電技術讓使用者在各種設備和網路上傳輸語音、數據和多媒體內容；從廣播型態的電視廣播，到移動通訊以及 5G 等新興技術，頻率資源已成為稀缺且有價值的商品；由於頻譜資源一旦安排分配後，極難收回再重新安排，且此稀有資源，在現今創新應用層出不窮下，如何有效研析創新應用與安排新頻譜以符合使用，即為非常重要之工作。

首先針對 5G/B5G 產業上、中、下游生態鏈研析，包含以下幾個主要 5G 網路單元，並研析各網路單元國內產業廠商在 5G/B5G 生態鏈中之位置(如圖 2-1)：

- 應用終端：為連結 5G/B5G 行動網路之應用終端裝置
- 基站設備：為連結 5G/B5G 應用終端與核網設備之裝置
- 核網設備：為管理 5G/B5G 行動網路數據流量、連接不同基站和設備，以及提供各種高階應用管理服務之設備
- 應用服務：針對不同應用情境設計之應用服務程式軟體

- 網路管理平台：針對 5G/B5G 行動網路各裝置之狀態、與裝置健康狀態之資料蒐集與管理
- 資安解決方案/與資安檢測：針對 5G/B5G 行動網路各裝置、及裝置與裝置間之資安防護與資安檢測
- 系統整合商：整合上述所有軟、硬體及場域實施之廠商



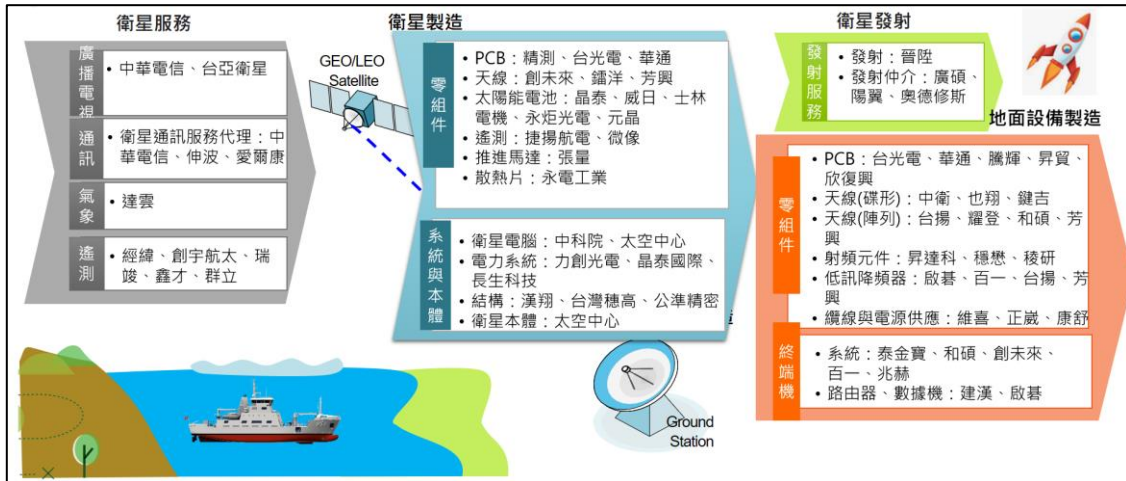
資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-1、5G/B5G 架構與產業生態鏈

而 B5G NTN 產業上、中、下游生態鏈研析其各廠商於生態鏈中位置，可分為以下幾個主要面向(如圖 2-2)：

- 衛星服務：提供不同垂直應用衛星服務之廠商，包含：廣播電視、通訊、氣象、遙測等
- 衛星製造：衛星製造含衛星零組件與衛星系統本體

- 衛星發射：提供衛星發射服務之廠商
- 地面設備製造：地面設備製造含衛星地面設備零組件與衛星地面設備終端機等



資料來源：本研究整理，2023年6月

圖 2-2、B5G-NTN 架構與產業生態鏈

本研析計畫為探討創新應用對頻譜資源需求及網路連結架構之影響，因此研析計畫架構從針對本國國家重大政策之計畫中，挑選具代表性之計畫，分析創新應用之應用方法與架構、分析創新應用對頻譜之需求；調研方法依據挑選之代表性計畫，研析計畫之研發創新應用重點及主要功能，因創新應用涉及頻率資源之運用，研析頻譜資源之運用狀況，分析並調整其目標，並以無線通訊技術軟硬體整合之方式，研析如何有效率規劃頻率資源。

針對本國國家重大政策之計畫項目，盤點國內重大政策推動計畫(如圖

2-3)，各計畫間競合關係依其所屬重大政策及主管部會之性質而有所不同，條列說明如下：

- 台灣 5G 行動計畫(108 年-111 年)：計畫重點為厚研發、推方案、鏈新創；全力發展各式 5G 電信增值服務及垂直應用服務，打造台灣為適合 5G 創新運用發展的環境，藉以提升數位競爭力、深化產業創新，實現智慧生活²；
- 前瞻計畫 2.0(111 年-114 年)：計畫推動重點為建設與應用並行、加速 5G 落地、平衡城鄉發展³；
- 亞洲矽谷 2.0 計畫(110 年-113 年)：計畫重點為推動 5G 開放網路為核心之智慧城鄉應用，亞洲矽谷 2.0 計畫之推動策略為擴大 AIoT 科技應用，重點如加速 AIoT 關鍵技術研發、推動國產化 5G 開放網路、強化 5G/AI 數位科技應用、促成智慧城鄉跨域合作⁴；
- 高雄亞灣 5G AIoT 產業聚落創新應用落地實證計畫：此計畫重點應用含高雄港碼頭智慧化、高雄流行音樂中心智慧化、高雄電競館智慧化、高雄港水域場域智慧化、高雄展覽館智慧化、以及各科技園區智慧化等⁵。

² 行政院-重要政策-台灣 5G 行動計畫，臺灣 5G 行動計畫_DIGIWeb.pdf, 2020/5

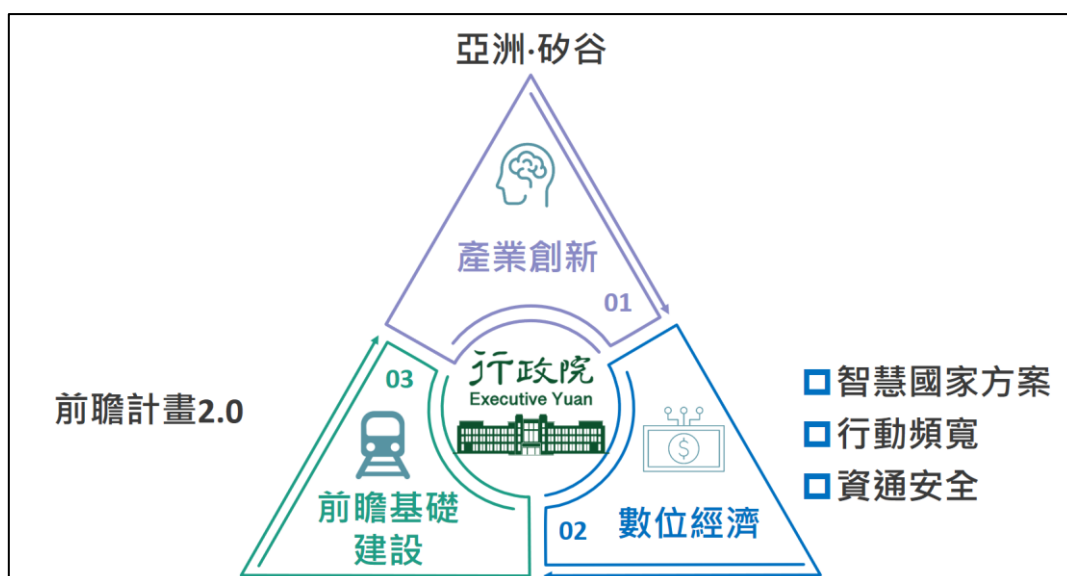
³ 行政院-國家發展委員會-前瞻基礎建設計畫 2.0,

https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=608FE9340FE6990D&upn=60F66A08939511F4, 2020/9/8

⁴ 行政院-國家發展委員會-亞洲·矽谷 2.0 推動方案,

https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=809B3C5533BE83A2, 2016/9

⁵ 經濟部-工業局-高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫，高雄亞洲新灣區 5G AIoT 創新應用補助計畫.pdf, 2022/5



資料來源：行政院/本研究整理，2023年6月

圖 2-3、國內重大政策推動計畫

本計畫上半年度綜合上述國內重大政策推動計畫中，從大分類盤點並選定各個具代表性計畫；歸納選定之研析應用分類大項：如智慧製造應用、智慧影音應用、智慧交通應用、韌性網路建設應用等四大應用類，再從四大應用類選定 5 個專案做深入研析。本計畫期中報告選定以下之四大應用類中之三類應用類型：智慧製造應用、智慧影音應用、與韌性網路建設應用等專案，作案例深入研析，並逐步研析出頻率資源之需求；再依此創新應用之頻譜資源需求及無線網路連網架構之深入剖析，以供未來頻譜規劃與網路架構規劃之政策參考；下半年度針對智慧影音應用、智慧交通應用、智慧醫療應用等三大類中，選定淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫、5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫、5G 智慧影音沉浸式展演計畫等三項計畫研析，並補充委員於期中審查後，提供意見針對 2 例 5G 商頻專網案例做深入研析，相關研析詳列如後章節。

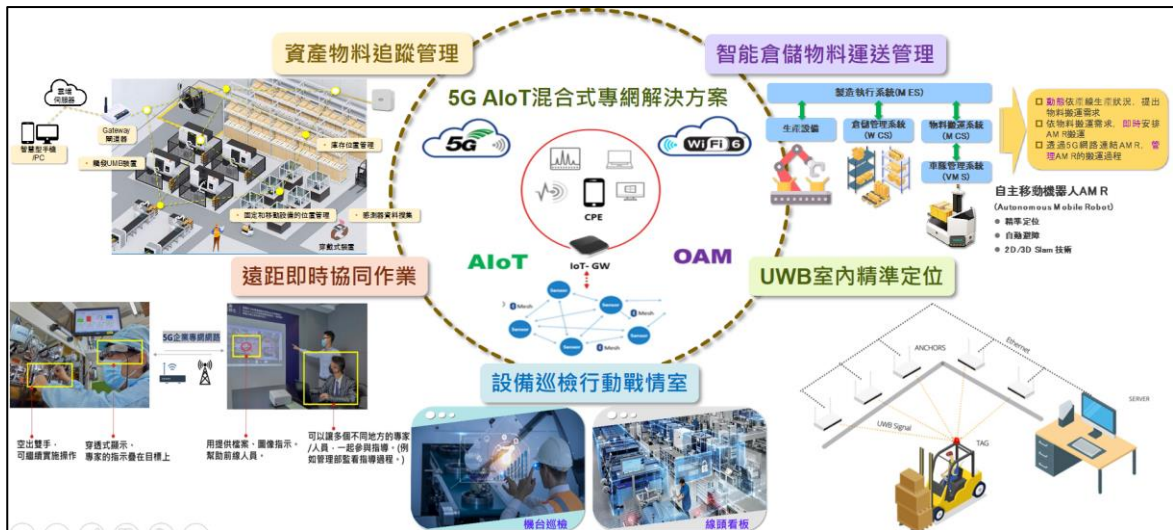
第二節 創新應用研析案例一：5G AIoT 智慧製造應用計畫

一、「5G AIoT 智慧製造應用」計畫簡介

案例一為亞旭電腦主導「5G AIoT 智慧製造應用計畫」(如圖 2-4)，為國家發展委員會通過之促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫，計畫期程自 2023 年 6 月至 2024 年 9 月。

在工業 4.0 風潮的帶動下，各國陸續響應推出智慧製造所需之相關發展策略，如：5G 行動通訊、物聯網、大數據、人工智慧技術等，已成製造業進行數位轉型的必然之路，也是全球製造業智慧化最受注目的議題之一。隨著現代工廠各式自動化生產、檢測、搬運設備推陳出新，工廠數位化所需之網通系統需求隨之提高。目前工廠的通訊主要是工業級乙太有線網路(如 Sercos、PROFINET、EtherCAT)或 Fieldbuses(如 PROFIBUS、MODBUS、CC-Link、CAN 等)。有線傳輸固然具備穩定、快速的優勢，但無法支持移動機具，佈線與維護成本高，機動性差，只適用於工廠之固定流程。隨著工業 4.0 發展，少量多樣成為未來生產模式，工廠生產線的機動性、彈性變的重要，各式移動機具如移動機器人、無人搬運車(Automated Guided Vehicle, AGV)、人機協作都變得更重要，以無線取代有線的工業聯網需求非常殷切。

本案例之應用主要為資產物料追蹤管理應用、智能倉儲物料運送應用、遠距即時協同作業應用等，下述章節分別詳述應用之內容及特性。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-4、5G AIoT 智慧製造應用計畫

◆ 資產物料追蹤管理

資產物料追蹤(Asset Material Tracking)管理是指在企業或組織中，對於各種資產和物料進行追蹤和管理的過程，這些資產和物料可以包括原材料、成品、設備、工具、零件、庫存等(如圖 2-5)；資產物料追蹤的目的是確保企業能夠有效地追蹤和管理其資產，以達到以下幾個方面的目標：

- 1) 庫存管理：追蹤和掌握企業的庫存狀況，確保庫存水平符合需求，同時避免庫存過剩或不足的問題。
- 2) 資產追蹤：對企業的固定資產、設備和工具進行追蹤，確保它們的位置、狀態和歷史記錄的可追溯性，以便有效利用和維護。
- 3) 供應鏈管理：追蹤物料的供應鏈流程，包括原材料的採購、生產過程中的轉化、成品的配送等，以提高供應鏈的可見性和效率。

4) 資產追溯性：在產品生命週期中，追蹤和記錄資產和物料的流向和使用情況，以滿足法規要求、品質控制或產品召回等方面的需要。

通常，資產物料追蹤使用自動識別技術，如條碼、無線射頻識別系統(Radio Frequency Identification, RFID)、超寬頻(Ultra-Wideband, UWB)等，和相關的軟體系統來實現，使企業能夠即時追蹤和監控資產的位置、數量、狀態和移動紀錄。這樣可以提高企業的效率、降低成本、防止損失、改善庫存管理和供應鏈可見性，並確保企業符合法規和品質標準。



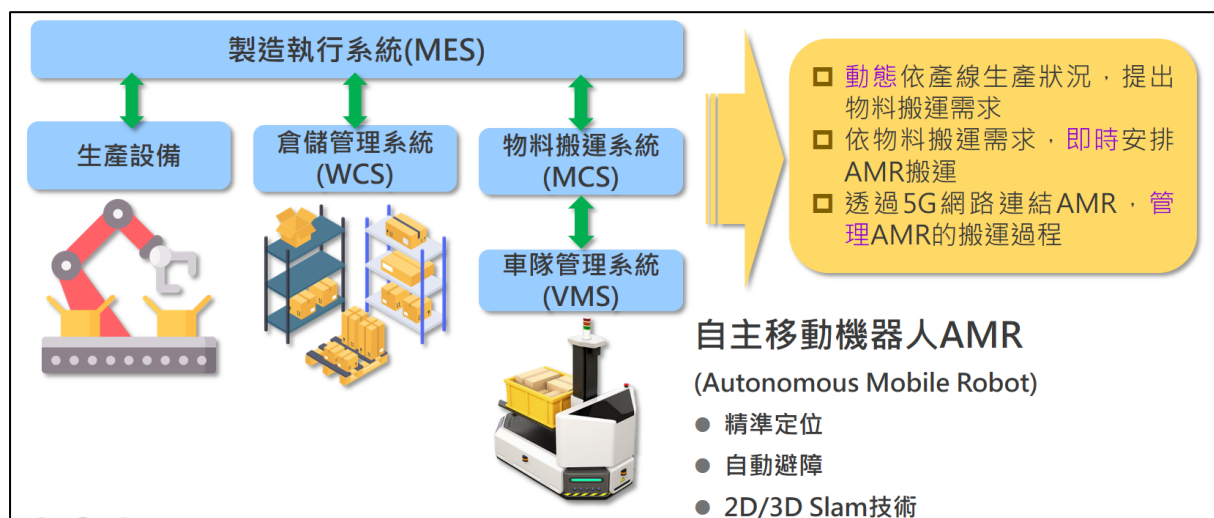
資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-5、智慧製造應用-資產物料追蹤管理

◆ 智慧倉儲物料運送管理

智慧倉儲物料運送(Smart Warehouse Material Transportation)是指利用智慧化技術和系統，對倉儲內的物料進行自動化運送和處理的過程。這種應用技術包括倉儲自動化管理系統、自主移動機器人(Autonomous Mobile

Robot, AMR)、自動導航車 AGV、機器人、或無人機等(如圖 2-6)。智慧倉儲物料運送的目的是提高倉儲運作的效率、準確性和安全性，同時減少人工操作和人為錯誤。透過智慧倉儲物料運送系統，可以實現以下功能：



資料來源：本研究整理，2023年6月

圖 2-6、智慧製造應用-智慧倉儲物料運送管理

- 1) 自動運送：倉儲內的物料可以被自動運送車輛或機器人系統自動識別、抓取和運送到指定位置，這可以節省人力資源，提高運送速度和準確性。
- 2) 路徑規劃：智慧倉儲物料運送系統可以根據倉儲內的佈局和目標位置，通過智慧演算法規劃最佳的運送路徑，以減少行駛時間和路徑交錯。
- 3) 障礙物迴避：系統可以檢測和迴避運送路徑上的障礙物，避免碰撞和損壞，同時保護倉儲內的物料和設備的安全。
- 4) 整合控制：智慧倉儲物料運送系統可以與倉儲管理系統或其他相關

系統進行整合，實現自動化的庫存管理、訂單處理和監控。

- 5) 即時監控：系統可以即時監控運送過程中的數據和狀態，例如物料位置、運送速度、運送量等，以便進行即時調整和管理。

◆ 遠距即時協同作業

遠距即時協同作業(Remote Real-time Collaboration)是指在不同地點的人員通過科技工具和平台，在即時的線上環境下協同工作和合作的方式。這種工作模式使得不同地點的團隊成員能夠彼此溝通、共享資訊、協作完成任務，彷彿彼此身處同一個地點，此案例透過 AR 智慧眼鏡(如圖 2-7)新科技技術，演示如何完成遠距即時協作之功能。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-7、智慧製造應用-遠距即時協同作業

遠距即時協同作業有助於打破地域限制，提供更彈性的工作方式，並

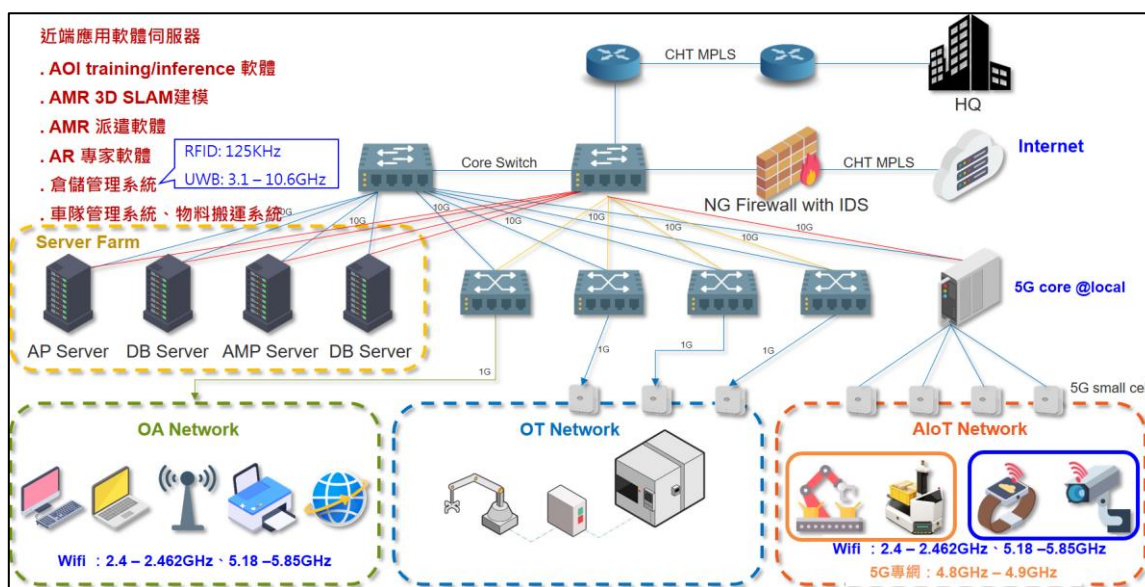
促進團隊成員之間的合作和溝通。它在現代的商業環境中越來越常見，尤其是在全球化團隊、遠距工作和跨國合作的情境下，透過適當的科技工具和良好的溝通協調，遠距即時協同作業能夠提高工作效率、降低成本，並促進團隊協作的成功。

二、「5G AIoT 智慧製造應用」網路架構、資料流及主要功能

廠商研發重點(企業專網)研析

透過以上智慧製造不同應用分類，本計畫研析智慧製造應用軟體與網路架構，並依照 5G AIoT 智慧製造企業專網架構分析(如圖 2-8)。

◆ 5G AIoT 智慧製造應用網路架構-企業專網



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-8、5G AIoT 智慧製造應用網路架構-企業專網

依據 5G AIoT 智慧製造應用網路企業專網架構，從上述應用研析，此架構在近端伺服器之應用軟體含：

- 自動光學檢查(Automated Optical Inspection, AOI) Training/Inference 軟體

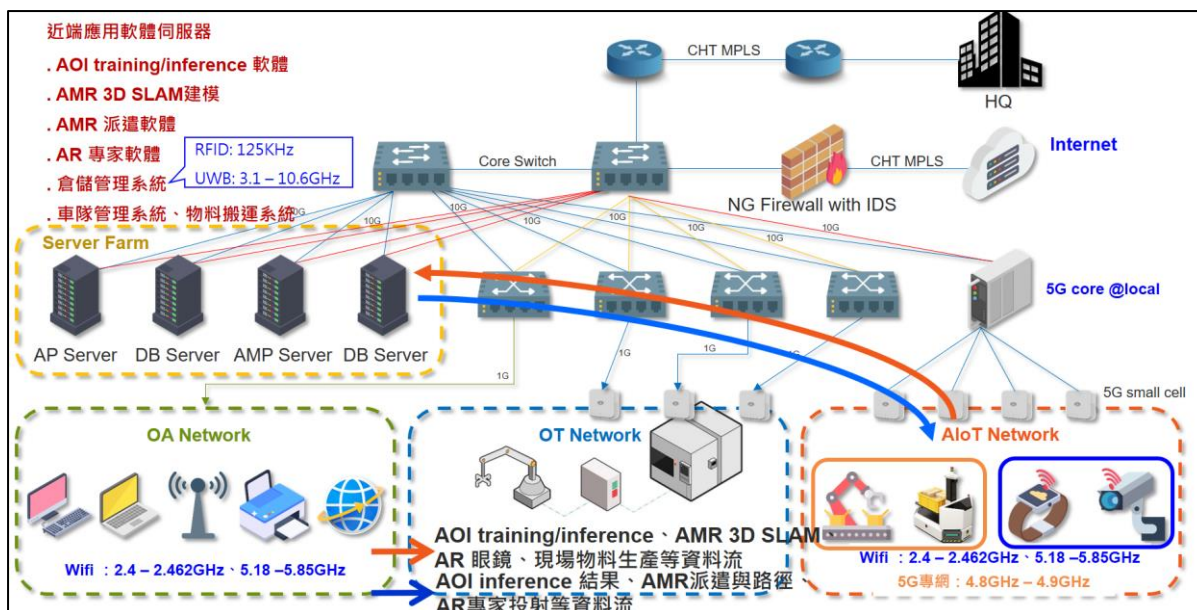
- AMR 3D 同時定位與地圖構建 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 建模軟體
- AMR 派遣軟體
- 擴增實境 (Augmented Reality, AR) 專家軟體
- 倉儲管理系統軟體
- 車隊管理系統軟體、物料搬運系統軟體

5G AIoT 智慧製造應用網路企業專網之應用及應用軟體分析，其應用無線元件及使用頻率如下：

- 5G 專網：4.8~4.9GHz
- Wi-Fi 網路：2.4~2.462GHz、5.18~5.85GHz
- UWB：3.1GHz~10.6GHz
- RFID：125KHz

◆ 5G AIoT 智慧製造應用網路資料流研析-企業專網

根據 5G AIoT 智慧製造應用網路企業專網之應用及應用軟體研析，其應用之資料流分為上行資料流與下行資料流；上行資料流為 AOI Training 資料、AOI Inference 資料、AMR 3D SLAM 建模資料、AR 智慧眼鏡拍攝資訊、現場物料生產資訊等之資訊流；下行資料流為 AOI Inference 結果資訊、AMR 派遣與路徑資訊、AR 專家投射資訊等之資料流(如圖 2-9)。

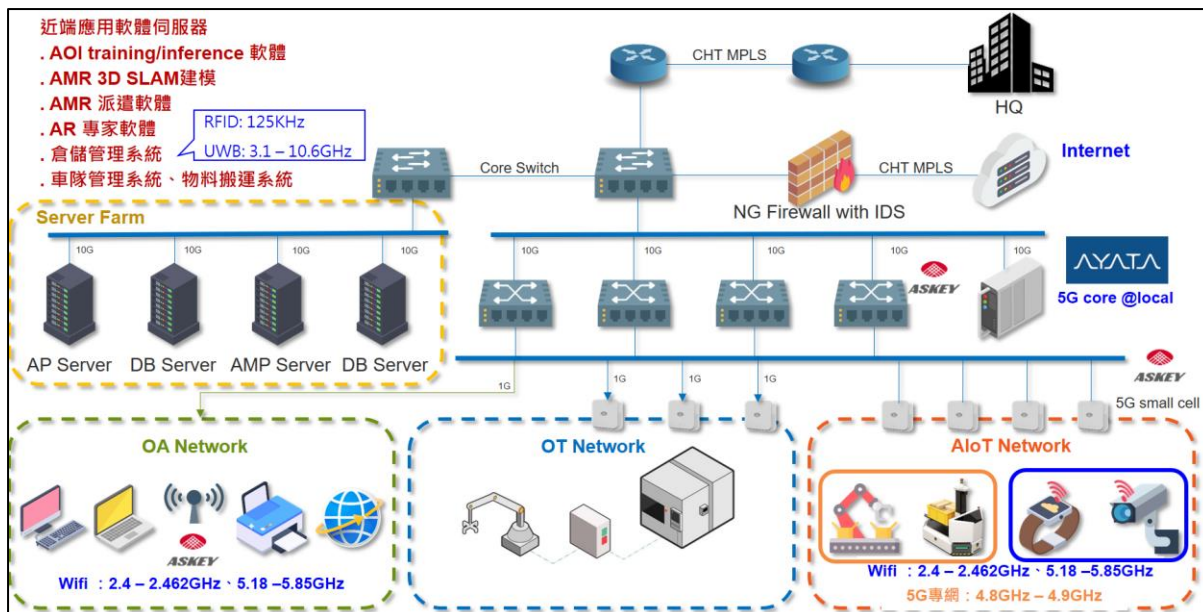


資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-9、5G AIoT 智慧製造應用網路企業專網資料流

◆ 5G AIoT 智慧製造應用計畫主要功能廠商研發重點-企業專網

透過「國內頻率資源創新應用調查及研究委託研究計畫」期中報告中，針對智慧製造不同應用分類，本計畫研析依照 5G AIoT 智慧製造企業專網架構(如圖 2-10)，分析其主要功能有：Wi-Fi 無線存取設備(Access Point)、有線交換器、5G 小基站、與 5G 核心網路；Wi-Fi 無線存取設備(Access Point)研發廠商為亞旭電腦、有線交換器研發廠商為亞旭電腦、5G 小基站為亞旭電腦最近新研發之產品、與 5G 核心網路研發廠商為從財團法人資訊工業策進會獨立之公司-泰雅科技。



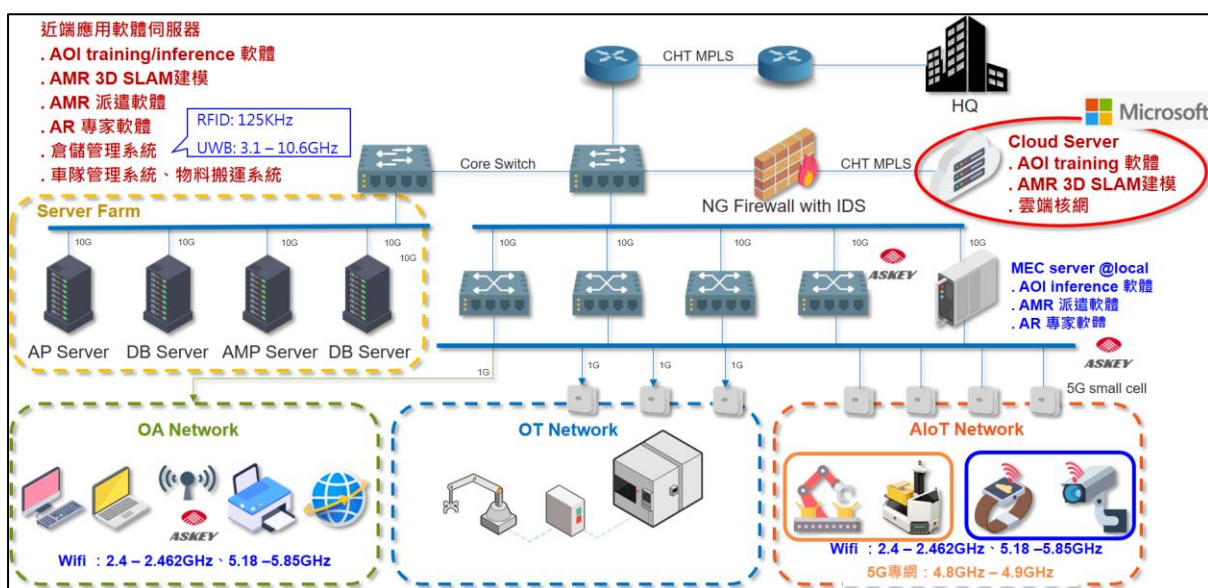
資料來源：本計畫整理，2023 年 10 月
圖 2-10、5G AIoT 智慧製造應用計畫研發重點-企業專網

三、「5G AIoT 智慧製造應用」網路架構、資料流及主要功能

廠商研發重點(核網雲端化)研析

◆ 5G AIoT 智慧製造應用網路架構-核網雲端化

透過以上智慧製造不同應用分類，本計畫研析智慧製造應用軟體與網路架構，並依照 5G AIoT 智慧製造(核網雲端化)網路架構分析(如圖 2-11)。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-11、5G AIoT 智慧製造應用網路架構-核網雲端化網路

依據 5G AIoT 智慧製造應用核網雲端化網路架構，從上述應用研析，此架構在近端伺服器之應用軟體含：

- AOI Inference 軟體
- AMR 派遣軟體
- AR 專家軟體
- 倉儲管理系統軟體

- 車隊管理系統軟體、物料搬運系統軟體

在雲端之應用軟體含：

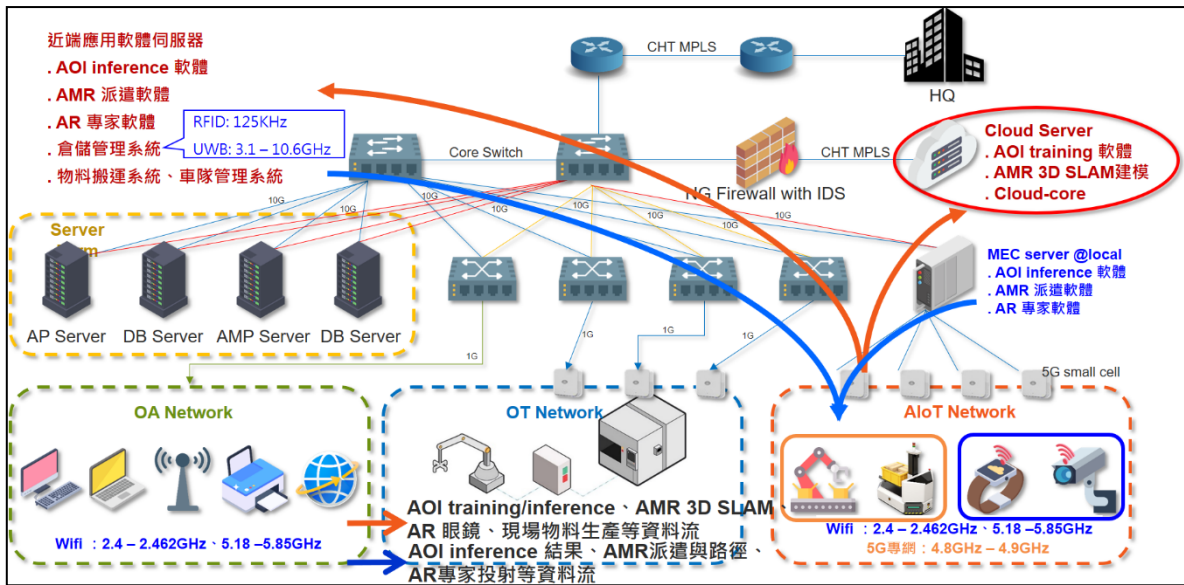
- AOI Training 軟體
- AMR 3D SLAM 建模軟體
- 雲端 5G 核網軟體

5G AIoT 智慧製造應用核網雲端化網路之應用及應用軟體研析，其應用無線元件及使用頻率如下：

- 5G 專網：4.8~4.9GHz
- Wi-Fi 網路：2.4~2.462GHz、5.18~5.85GHz
- UWB：3.1GHz~10.6GHz
- RFID：125KHz

◆ 5G AIoT 智慧製造應用網路資料流研析-核網雲端化

根據 5G AIoT 智慧製造應用核網雲端化網路之應用及應用軟體研析，其應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流；上行資料流為 AOI Training 資料、AOI Inference 資料、AMR 3D SLAM 建模資料、AR 眼鏡拍攝資訊、現場物料生產資訊等之資訊流；下行資料流為 AOI Inference 結果資訊、AMR 派遣與路徑資訊、AR 專家投射資訊等之資料流(如圖 2-12)。

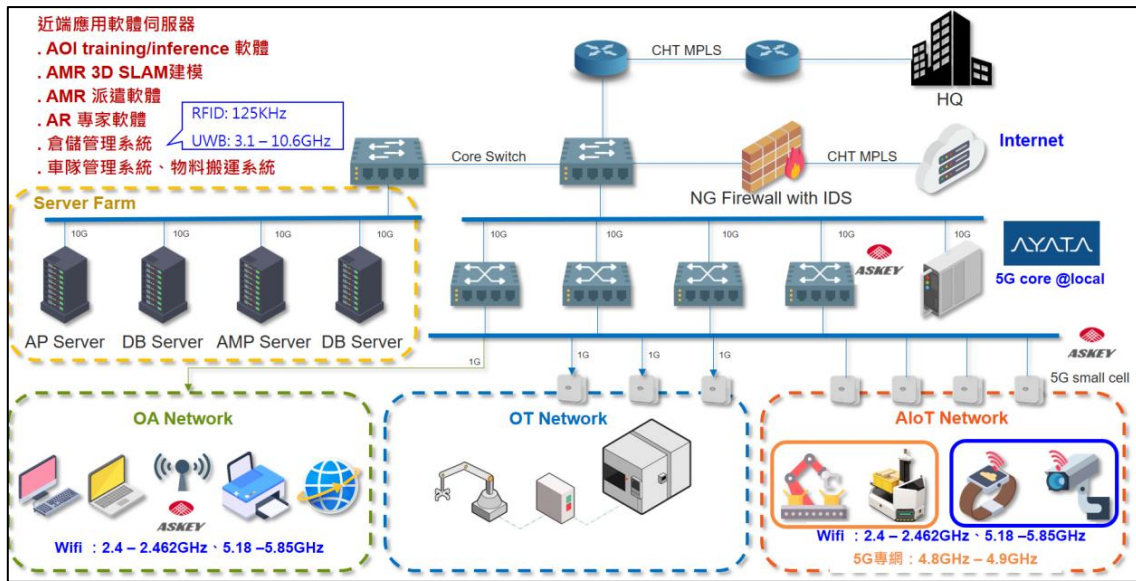


資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-12、5G AIoT 智慧製造應用網路-核網雲端化網路資料流

◆ 5G AIoT 智慧製造應用計畫主要功能廠商研發重點-核網雲端化

透過「國內頻率資源創新應用調查及研究委託研究計畫」期中報告中，針對智慧製造不同應用分類，本計畫研析依照 5G AIoT 智慧製造-核網雲端化(如圖 2-13)，分析其主要功能有：Wi-Fi 無線存取設備、有線交換器、5G 小基站、與 5G 核心網路；Wi-Fi 無線存取設備研發廠商為亞旭電腦、有線交換器研發廠商為亞旭電腦、5G 小基站為亞旭電腦最近新研發之產品、與 5G 核心網路研發廠商為微軟電腦。



資料來源：本計畫整理，2023 年 10 月

圖 2-13、5G AIoT 智慧製造應用計畫研發重點—核網雲端化

四、 「5G AIoT 智慧製造應用計畫」全面商用之可能方向及成 功率研究、產值分析

依據市場調查情報單位(Light Reading、Omdia)統計⁶，5G 專網在智慧製造垂直應用、及能源公共事業垂直應用將佔據整體 5G 專網垂直應用 48.4%市場，整體 5G 專網垂直應用金額在 2030 年將達到 50 億美元；根據鄰近國家同為 5G 專網導入垂直應用領域之日本為例，日本系統整合商(NSSOL)分析該公司目前結合 Local 5G 專網網路，並提供全面的應用程式與設備以支援客戶的數位轉型案，統計自 2017 年起開始相關案例申請，總洽談案件截至 2023 年 8 月共 150 件，已經開始規劃及佈建之案例為 15 例(如表 2-1)⁷，這些案件垂直應用領域主要分布於電力、能源、量產化製造、石油化學、組裝式製造、工業設備製造商、港灣、建築、及電信業者等。分析目前 5G 專網在智慧製造之應用為剛性需求，然而由於目前大多數客戶需求 5G 專網訊號覆蓋範圍較廣，因此 5G 專網 Sub6G 頻段較為適合，但因日本地區 5G 專網 Sub6G 頻段申請起始於 2020 年 12 月，且支援 5G 專網終端設備價格仍然昂貴，因此連接終端數有限，未來只要 Sub6G 相關議題解決，將有助於加速普及 5G 專網智慧製造垂直應用。

⁶ Omdia, the \$5bn ‘ripple effect’ of private LTE and 5G networks, <https://omdia.tech.informa.com/pr>, 2021/02

⁷ MIC, 日本 Local 5G 專網實證案例觀察產業研究報告.pdf, 2023/8

表 2-1、NSSOL Local5G 專網受理佈署案件統計

產業別	佈署案例	受理案例	主要活用案例
電力、能源、流程 化製造、石油化學	<ul style="list-style-type: none"> ● 加強現場作業員安全守護 ● 影像遠端維護設備 ● 物料搬運車遠端操控 	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器人無人看守設備管理 ● 高架起重機遠端操控 	<ul style="list-style-type: none"> ● 物聯網感測器 ● 高畫質攝影機 ● 港岸起重機遠端操控
組裝製造	生產線數位孿生與優化模擬		<ul style="list-style-type: none"> ● 透過無線化製造設備實現靈活的生產產線佈局
工業設備製造商		<ul style="list-style-type: none"> ● 內部製造工廠自動化 (Factory Automation, FA) 設備 ● 智慧製造室內 AGV 應用 	
港灣、建築	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築現場重型設備遠端操控、影像傳輸 	<ul style="list-style-type: none"> ● 港岸起重機、跨堤搬運車遠端操控 	
電信業者		<ul style="list-style-type: none"> ● 電信公司內部發展 5G 專網示範實驗 ● 電信公司內部專網導入 Nokia 5G 基站 	

資料來源：NSSOL/RIC/MIC/資策會整理，2023 年 8 月

五、 小結

此案例與其他智慧製造案例之差異及突破點，茲分別說明如下：

- 異質網路之整合：智慧製造在演進的過程中，早期建設的智慧工廠，在安裝相關通訊連網功能，往往存在原先建置的通訊技術，例如 Wi-Fi、藍芽、Zigbee 等，因創新應用導入 5G 通訊技術在智慧製造領域，如何將異質網路不同之資訊連接，整合在同一後台管理系統，則為此一專案非常重要之工程。異質網路資料整合，涉及以下之困難點：
 - 通訊應用層協定之整合
 - 與不同資料庫格式結構之整合
 - 需與即時資訊之時間同步

- 5G 雲端核網架構：傳統 5G 智慧製造案例為本地 5G 核網架構，此案​​例除連接本地 5G 核網架構、其中一場域連接 5G 雲端核網架構，目前法規定義 5G 專網頻段為 4.8~4.9GHz，並定義此 5G 專網不能連接公眾網路(如表 2-2)；在此案例中，5G 專網為連接 5G 雲端核網，且不經由公眾網路，藉由虛擬專用網路(Virtual Private Network, VPN)之連接，以達到 5G 基站與 5G 核心網路連網架構之需求。

表 2-2、專頻專網與商頻專網之比較

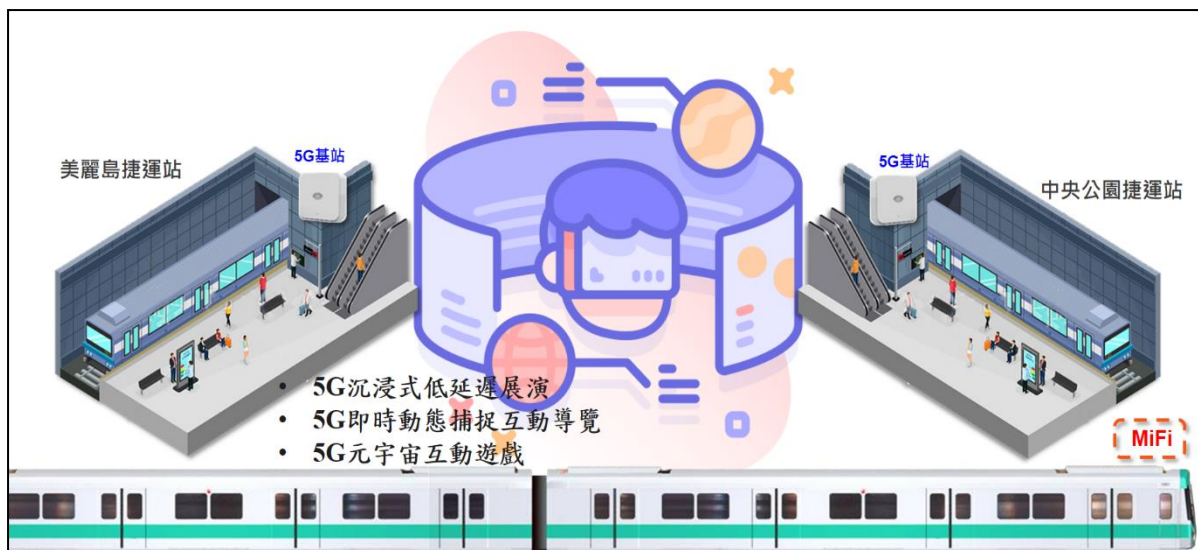
	專頻專網	商頻專網
頻段範圍(GHz)	4.8~4.9	3.5 或 28
頻譜費用(新台幣/Hz)	較低	高
專網連接公眾電信網路	不可連接	可以
網路覆蓋率(台灣)	核可熱點區域	高
企業專網網路控制權	高	低
網路傳輸低延遲特性	佳	不易控制

資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

第三節 創新應用研析案例二：元宇宙之究極奧義~無限列車

一、「元宇宙之究極奧義~無限列車計畫」簡介

案例二為高雄捷運公司主導之「元宇宙之究極奧義~無限列車」(以下簡稱：5G 元宇宙列車)，為高雄亞灣新區 5G AIoT 創新應用主題式研發補助計畫，計畫期程從 2022 年 9 月至 2024 年 2 月。此案例為發展 5G 科技多元化應用，發展具地域特色之 5G AR 垂直領域應用，結合車站、商場等人流聚集地開發藍海市場。此案例以全球首創沉浸式車廂展演為主軸，將輕軌車廂打造成為智慧移動式展演場地，結合 5G 技術應用，達到 5G 高頻寬、低延遲的體驗效果為本案例之目標。其創新應用整合型服務方案含：5G 沉浸式低延遲展演、5G 即時動態捕捉互動導覽、5G 元宇宙互動遊戲等相關應用(如圖 2-14)。此案例預計可帶動高雄亞洲灣區商業人潮、增加高雄捷運運量、及 5G 元宇宙體驗人次，並創造智慧消費經驗，導入 5G 專網、車聯網及創新應用提升製造效率，帶動產值提升。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月
圖 2-14、5G 元宇宙列車

◆ 5G 沉浸式低延遲展演

沉浸式展演(Immersive Exhibition)是指一種以創造全方位、身歷其境的參與體驗為目的的展示活動形式。它旨在通過結合藝術、科技和互動元素，將觀眾從傳統的被動觀看轉變為主動參與的角色，使他們能夠深度融入展示的主題或場景之中。

5G 沉浸式低延遲展演的特點是創造一個全景式的環境，讓觀眾感受到身處其中，結合 5G 低延遲通訊技術與展示內容遠距互動。本案例 5G 沉浸式低延遲展演利用先進的科技、多媒體投影、虛擬實境(Virtual Reality, VR)、擴增實境(AR)等技術手段，將現實和虛擬元素相結合，打造出身臨其境的感受。

5G 沉浸式低延遲展演涵蓋各種主題和領域，包括藝術展覽、文化展示、車廂互動藝術等，運用 5G 定位技術來偵測車體行徑、速度及軌跡，以及透

過顯示融合技術將多變且不規則之投影畫面無縫拼接，5G 沉浸式低延遲展演的目的在激發觀眾的情感、想像力和互動參與，讓觀眾更好地理解 and 體驗展示的內容，同時也為他們提供一種全新的、豐富的參觀體驗(如圖 2-15)。



資料來源：高雄捷運公司/本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-15、5G 沉浸式低延遲展演

◆ 5G 時動態捕捉互動導覽

5G 即時動態捕捉互動導覽(Real-time Motion Capture Interactive Guided Tour)是一種結合即時動態捕捉技術和互動導覽系統的參觀體驗形式。它通常應用於博物館、展覽館或其他文化場所，本案例 5G 即時動態捕捉互動導覽應用於車廂與到站之導覽，旨在為參觀者提供一種豐富、互動且具有個人化的導覽體驗。

在即時動態捕捉互動導覽中，參觀者會佩戴或使用一些裝置，例如照

相機、感應器、遙控器等，以捕捉他們的動作和位置訊息。這些數據會透過 5G 網路即時傳輸到後台應用軟體運算和處理，將參觀者的動作回傳並映射到一個虛擬環境中展示。

5G 即時動態捕捉互動導覽系統通常具有互動性，參觀者可以通過自己的動作和行為，與虛擬環境或展示進行互動；導入 5G 高速、低延遲的無線傳輸技術、動態捕捉技術與投影科技，達到異地共演的真人導覽與實境秀效果，此案例為首創將列車作為展演載體，打造獨一無二兼具導覽與展演功能的 5G 智慧車廂，實現與乘客零時差的互動。例如，觸發虛擬對象的動作或特效，與虛擬角色互動，或進行虛擬實驗等。同時，系統也可以根據參觀者的位置和動作，提供即時的車站導覽訊息、車站附近環境解說或互動提示，使參觀者能夠更全面地獲悉本站鄰近地區相關地理、或商家資訊。

5G 即時動態捕捉互動導覽的目的是提供一種身臨其境、互動性強且個人化的導覽體驗，它利用先進的技術，將現實和虛擬元素相結合，使參觀者能夠更深入地參與和理解展示的內容，同時也為參觀者提供一種創新的、娛樂性的參觀體驗(如圖 2-16)。

- 導入5G無線傳輸技術、動態捕捉技術與投影科技，達到即時真人導覽與實境秀效果，實現零時差的互動
- 以真人扮演虛擬角色，藉著同步表情、語音與肢體動作，與觀眾互動



資料來源：高雄捷運公司/本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-16、5G 即時動態捕捉互動導覽

◆ 5G 元宇宙互動遊戲

元宇宙是一個基於虛擬實境、擴增實境和其他相關技術的全新虛擬世界，它擁有自己的經濟、社交結構和生態系統；在 5G 元宇宙互動遊戲中，玩家可以創建和設計自己的虛擬角色，並與其他玩家進行互動、交流，甚至合作完成遊戲任務或創造新的虛擬內容。

5G 元宇宙互動遊戲指的是一種虛擬世界的遊戲形式，其特點是在一個廣闊、5G 互連的虛擬宇宙中，玩家可以以自己的虛擬角色進行互動、探索、創造和參與各種活動；它結合了元宇宙的虛擬世界和 5G 技術的高速、低延遲通訊特性，為玩家提供更加流暢、即時的互動體驗(如圖 2-17)。

這種遊戲形式通常具有高度的自由度和開放性，玩家可以在虛擬宇宙中自由探索、進行交易、建立虛擬業務、參與虛擬社區活動等。此外，5G

元宇宙互動遊戲也可以與現實世界相互聯繫，例如通過擴增實境技術將虛擬物件或角色融入現實環境中，或者通過虛擬實境技術提供身臨其境的遊戲體驗。

5G 元宇宙互動遊戲的目的是為玩家提供一種身處於虛擬世界中的全新遊戲體驗。它超越了傳統遊戲的局限性，營造了一個更加開放、互聯和社交的遊戲環境，使玩家能夠以全新的方式與遊戲世界和其他玩家互動，並在虛擬世界中建立自己的存在和成就。

- ▣ 將內容情境投影於車廂內，讓乘客彷彿置身於[元宇宙世界](#)，並結合列車主題，不僅為乘客帶來嶄新的搭乘體驗，也帶來滿滿的視聽饗宴
- ▣ 透過5G定位結合高速低延遲之特性，[偵測車體位置觸發啟動展演](#)，以達到即時展演之效果，車廂內影像畫面會隨著車體位置與速度變化來同步，畫面中環境也會隨著真實晝夜的變化，呈現出不同的氛圍感受



資料來源：高雄捷運公司/本研究整理，2023 年 6 月

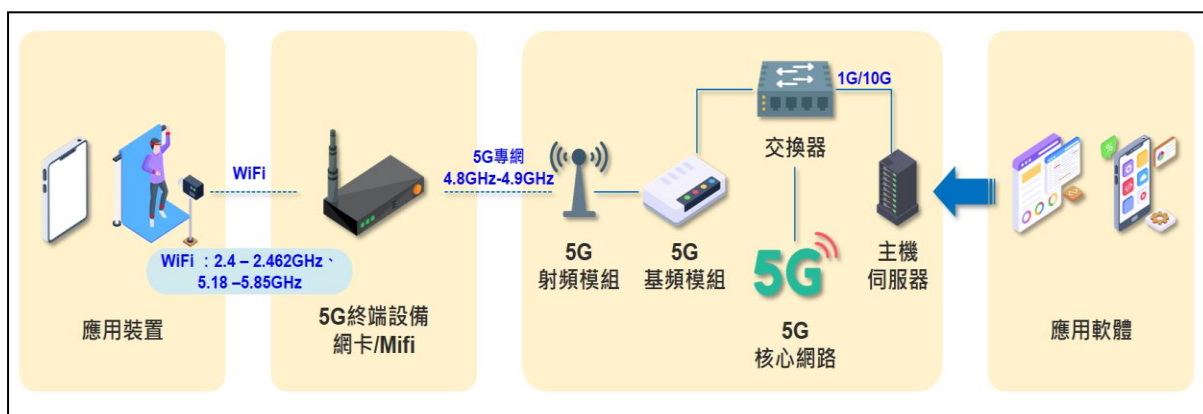
圖 2-17、5G 元宇宙互動遊戲

二、「元宇宙之究極奧義~無限列車」網路架構、資料流研析及主要功能廠商研發重點

◆ 5G 元宇宙列車應用網路架構

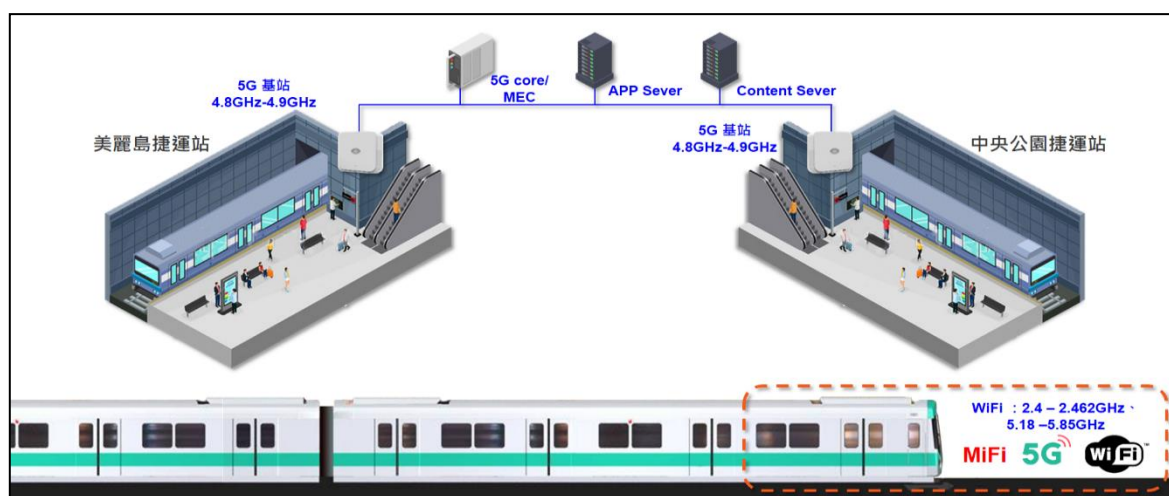
依據 5G 元宇宙列車應用架構，茲論述其架構(如圖 2-18)、依據 5G 元宇宙列車應用研析，其應用無線元件及使用頻率分析(如圖 2-19)：

- 5G 專網：4.8~4.9GHz
- Wi-Fi 網路：2.4~2.462GHz、5.18~5.85GHz



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-18、5G 元宇宙列車應用系統服務架構

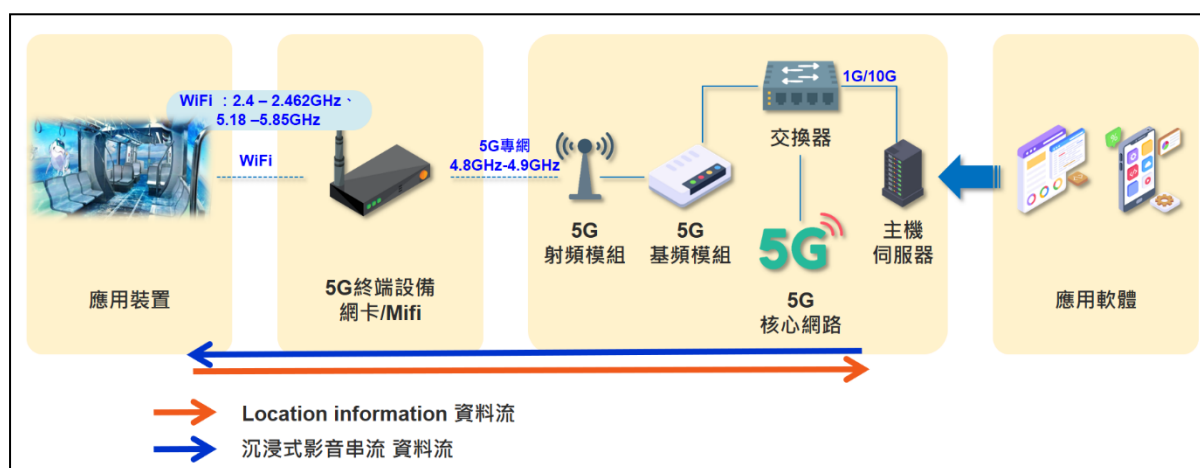


資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-19、5G 元宇宙列車網路架構

◆ 5G 沉浸式低延遲展演應用網路資料流研析

依據 5G 沉浸式低延遲展演應用軟體及網路架構研析，其應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流；上行資料流為捷運車體與速度之精準位置，主機伺服器中的應用軟體，偵測到捷運車體位置後，觸發相對應之展演內容；下行資料流為主機伺服器中的應用軟體在觸發相對應之沉浸式影音串流資料(如圖 2-20)。



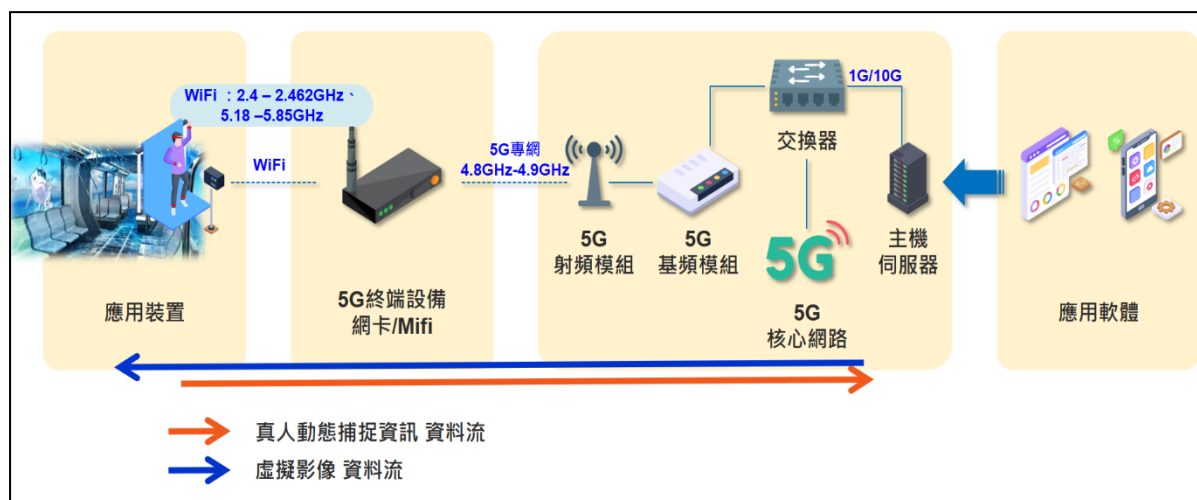
資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-20、5G 沉浸式低延遲展演資料流

◆ 5G 即時動態捕捉互動導覽應用網路資料流研析

依據 5G 即時動態捕捉互動導覽應用軟體及網路架構研析，其應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流；上行資料流為捷運車體之精準位置與速度與網路監控攝影機(IP camera, IP Cam)捕捉到真人即時動態之資訊；下行資料流為主機伺服器中的應用軟體，偵測到捷運車體位置與攝影機(IP Cam)捕捉到真人即時動態之資訊後，觸發相對應之虛擬

IP 影像資料互動展演資料流(如圖 2-21)。

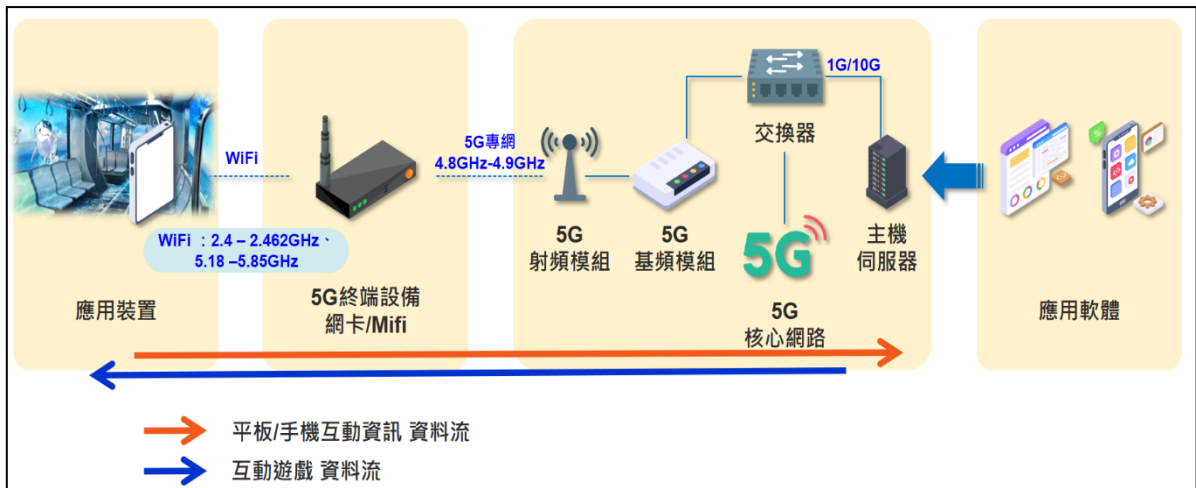


資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-21、5G 即時動態捕捉互動導覽應用資料流

◆ 5G 元宇宙互動應用網路資料流研析

依 5G 元宇宙互動遊戲，其應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流；上行資料流為使用者手持裝置(如平板、或車廂內提供之互動裝置等)之點選資訊，主機伺服器中的應用軟體，偵測到使用者手持裝置之點選資訊後，觸發相對應之元宇宙伺服器資料庫資料；下行(Downlink)資料流為主機伺服器應用軟體在觸發相對應之元宇宙互動遊戲串流資料(如圖 2-22)。

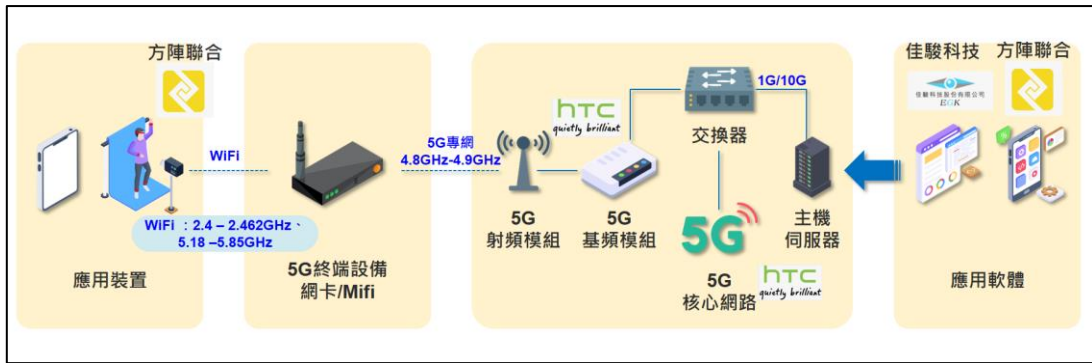


資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-22、5G 元宇宙互動遊戲資料流

◆ 「元宇宙之究極奧義~無限列車」主要功能廠商研發重點

參照元宇宙之究極奧義~無限列車架構(如圖 2-23),分析其主要功能有: 5G 專網網路、體感科技相關應用、商用運輸車輛車載裝置數據集成與混差運算應用等; 5G 專網網路透過宏達國際電子(HTC)公司領先業界的 5G 獨立組網網路(Standalone, SA)技術, 及先進且完整的端對端企業專網解決方案, 並結合 HTC 遠端串流軟體平台管理服務、邊緣運算技術、及符合開放式標準架構的 5G 網路軟體; 體感科技相關應用則是由方陣聯合公司研發之方案; 捷運車輛車載裝置數據匯總與混差運算應用軟體由佳駿科技公司研發。



資料來源：本計畫整理，2023 年 10 月

圖 2-23、元宇宙之究極奧義~無限列車計畫應用計畫主要功能廠商研發重

點

三、「元宇宙之究極奧義~無限列車計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析

本研析案例「元宇宙之究極奧義~無限列車」以高雄輕軌為應用實證導入場域，多方首次聯盟以輕軌車廂做為 5G 設備結合應用實證，發揮近年累積成熟的實力在輕軌車廂局限環境內，呈現大面積高亮度、高解析度畫面，展現 5G 技術與藝術互動導覽直播以及電玩娛樂的完美整合；因高雄捷運路線串連高雄市的各個角落的特性，未來可與影視音內容、展演活動節目等多種產業合作，結合更多內容廠商加入移動式展演平台，將交通運輸納入藝術文化、大型活動的展演、宣傳媒介之一，如大港開唱、DigiWave、城市博覽會，與輕軌站點外周邊的店家合作規劃系列活動等；未來整體方案商機，可將相關技術擴散至捷運、火車、公車、觀光巴士、遊艇、郵輪及其他自駕載具等交通工具，建構完整車載娛樂系統，全面推動智慧交通相關整體方案輸出。

元宇宙之究極奧義~無限列車的整體方案產值，其虛實整合、即時互動之應用模式，改變傳統觀展者僅能待在電腦前遠端連線至實體會展，現在觀眾能在任何地方，搭配穿戴式裝置與元宇宙科技互動，所得到的沉浸式展品體驗，是近年更受到關注的會展科技應用項目，依據工研院產科國際所(Industrial Economics & Knowledge Center, IEK)預估其全球市場規將從 2024 年 113 億美元，預估 2030 年成長至 1,056 億美元；年均複合成長率

(Compound Annual Growth Rate, CAGR) 為 45.2%⁸。

⁸ 工研院產科國際所(IEK), 從 MWC 2023 看沉浸式會展科技與虛實整合會展商機.pdf, 2023/5

四、 小結

此案例在 5G 元宇宙列車應用特色，分別說明如下(如圖 2-24)：

- 支持多人即時共玩，發展多人體驗數位娛樂場域，促進 5G 互動娛樂解決方案發展；
- 結合沉浸式投影，融合數位動態特效，打造動 5G 影音虛實互動廣告解決方案；
- 結合 HTC 5G 獨立組網(SA)方案，傳送即時串流高畫質影像，打造全球首創沉浸式全車投影車廂。



5G技術突破點、5G供應鏈發展帶動說明

- ✓ 使用HTC 5G SA獨立組網方案，即時串流高畫質影像，打造全球首創沉浸式全車投影車廂
- ✓ 支持多人即時共玩，發展多人體驗數位娛樂場域，促進5G互動娛樂解決方案發展
- ✓ 結合沉浸式投影，融合數位動態特效，打造動5G影音虛實互動廣告解決方案

產業群聚與應用服務突破、改變說明

- ✓ 藉由沉浸式全車投影車廂，打造亞灣觀光旅運熱點，群聚發展以亞灣為中心之新興觀光產業
- ✓ 透過5G創新智慧育樂應用，吸引國際賽事及廣告投放，催生5G創新智慧廣告產業群聚

頻率使用

- ✓ 5G專網：4.8GHz-4.9GHz
- ✓ Wi-Fi：2.4-2.462GHz、5.18-5.85GHz

資料來源：高雄捷運公司/本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-24、5G 元宇宙列車創新應用

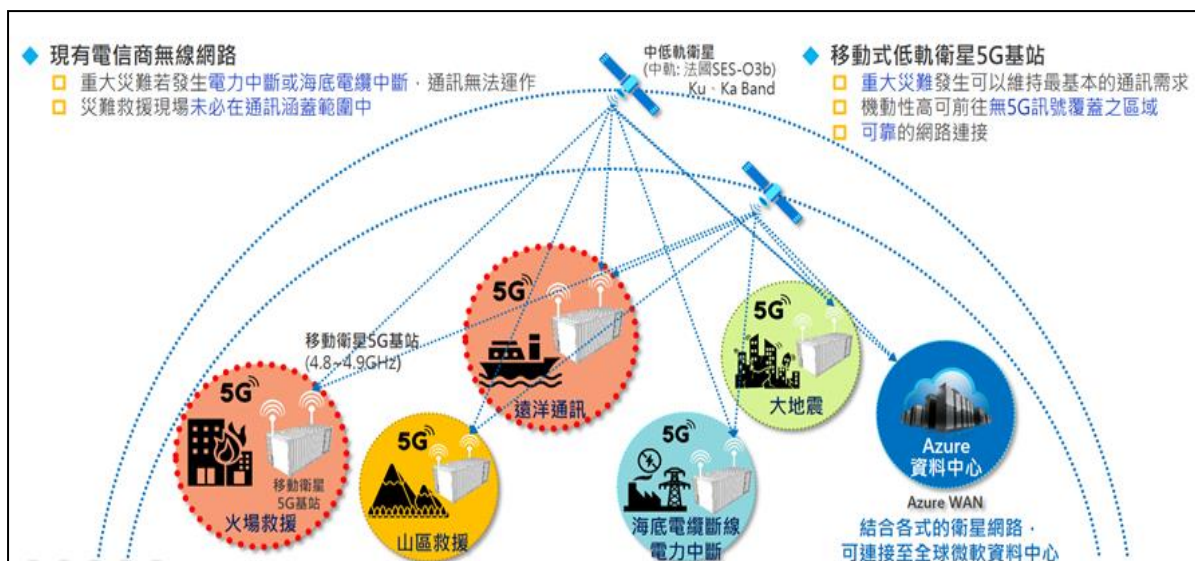
5G 元宇宙列車透過 5G 創新智慧育樂應用，吸引國際賽事及廣告投放，催生 5G 創新智慧廣告產業群聚，此案例在應用服務、與網路架構突破點分別說明如下：

- 沉浸式全車投影車廂：運用沉浸式全車投影車廂，打造亞灣觀光旅遊熱點，群聚發展以亞灣為中心之新興觀光產業；沉浸式全車投影車廂，車廂車窗的部分採用軟性透明發光二極體(Light Emitting Diode, LED)薄膜顯示技術，地板則採用多投影機同步投影技術；運用 5G 定位技術來偵測捷運車體行經路徑、速度及軌跡，以及透過多屏融合技術，將多變且不規則之投影畫面無縫拼接。
- 5G 即時動態捕捉互動導覽、5G 元宇宙互動遊戲資訊流與公眾網路獨立之設計架構：
 - 目前本案例中，5G 元宇宙的設計架構為乘客於車廂內互動裝置(如平板)連上網頁之 QRcode 創建/登入後，由後台伺服器產生元宇宙虛擬替身影像，並融入於車廂沉浸式影像之中，回傳車廂內立即投影元宇宙互動遊戲資訊；所有擷取互動資訊之資訊流與後台影音串流之投射，皆在專網內執行。
 - 5G 即時動態捕捉互動導覽應用：應用為結合真人即時互動的虛擬列車長(位在遠端虛擬攝影棚，並於車廂內投影出虛擬列車長)，透過車廂中攝錄影機觀察民眾與現場狀況並與其互動，可同步交談及做出相對應的動作或表情；所有動態捕捉之資訊流與後台虛擬車長影像融合影音串流之投射，皆在專網內執行。

第四節 創新應用研析案例三：5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用

一、「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」計畫簡介

此案例由和碩聯合科技及伸波通訊所主導，為行政院國家發展委員會-促進 5G 及人工智慧導入智慧城鄉物聯網創新應用補助計畫，計畫名稱為「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」，計畫期程從 2021 年 10 月至 2022 年 9 月。本案例著重於以 5G 專網結合多軌衛星(中軌衛星、及低軌衛星)作為回程備援網路，在現有電信商無線網路遇到重大災難發生電力中斷或有線電纜中斷，通訊無法運作、或災難救援現場未必在通訊涵蓋範圍中時，提供可靠的網路連接，以維持最基本的通訊需求，此重大災難場域例如大型火場救援、山區偏遠無訊號地區救援、有線電纜斷線、大型地震災害現場等。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-25、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用

韌性網路(Resilient Network)指的是一種具有強大彈性、和適應能力的網路系統，韌性網路的目標是能夠有效地應對各種意外事件、故障、攻擊和自然災害等不可預見的情況，並保持高度運作效能。傳統的網路架構容易受到單一點故障的影響，一旦出現故障，整個網路系統可能會癱瘓或無法正常運作；韌性網路的設計目標是確保在故障發生時，即使其中某些網路元件或網路節點受到損壞或遭到攻擊，網路系統可以迅速恢復並保持運作。韌性網路的實現方式包括以下幾個方面：

- 分散式架構：韌性網路通常使用分散式架構，其中網路資源和功能被分散到多個節點和伺服器上，這樣可以降低單一節點故障對整個系統的影響；
- 冗餘和備份：韌性網路通常使用冗餘和備份機制，使得即使某些節

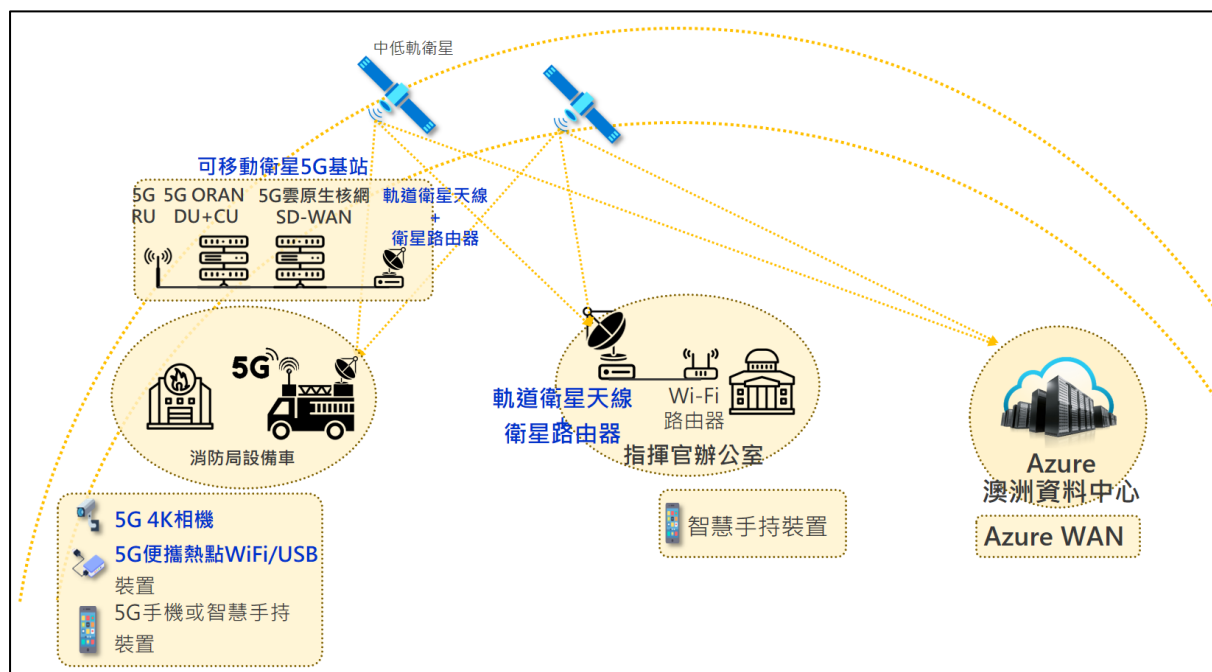
點或連接出現故障，系統仍能繼續運作，這可以通過複製和備份數據、使用多個連接和路徑等方式實現；

- 自我修復和自動化：韌性網路具有自我修復和自動化的能力，可以自動檢測和回復故障，它可以通過監測系統狀態、自動切換到替代路徑或節點、重試失敗的操作等方式，實現快速恢復和持續運作；
- 安全和防禦：韌性網路強調安全和防禦機制，以保護網路系統免受攻擊和不當使用，這可以通過使用防火牆、入侵檢測系統、身份驗證機制等方式實現。

本案例針對大區域災害消防應用，在現有電信商無線網路遇到重大災難若發生電力中斷或有線電纜中斷，通訊無法運作、或災難救援現場未必在通訊涵蓋範圍時，研析本案例各式應用在 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用網路架構、應用資料流研析、及本案例與其他架構之差異及突破點。

二、 「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」應用架構

依據 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用網路架構(如圖 2-26)，其前端以 5G 專網提供 5G 專網訊號覆蓋、並利用 5G 便攜熱點轉成 Wi-Fi 訊號，前端(現場)以移動式 4K 相機，拍攝現場災害影像後，以 5G 訊號回傳現場指揮車；或以 5G 便攜式轉 Wi-Fi 設備，提供其他裝置網路連線(例如消防 Wi-Fi 設備、智慧 Wi-Fi 裝置、民眾 Wi-Fi 裝置等)，以蒐集多面向災害現場資訊；現場指揮官或人員，以 5G 手機或智慧手持裝置(Wi-Fi 連線)，透過數位語音、或傳送數位視訊，與遠端指揮官保持連線。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-26、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統-災害消防應用架構

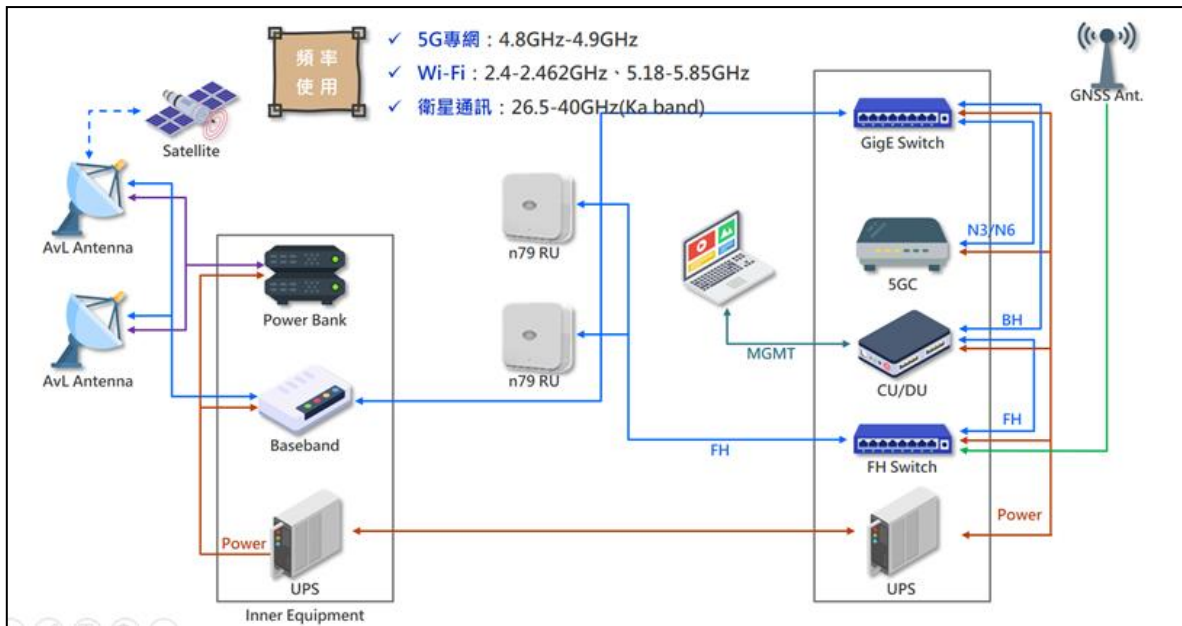
三、 「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」網路架構、資料流研析及主要功能廠商研發重點

依據 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統研析，其應用無線元件有 5G 專網、Wi-Fi 網路、及衛星通訊網路(如圖 2-27)；其中 5G 專網、Wi-Fi 網路、及衛星通訊網路(地面接收站)等設備皆集中於移動車輛，可以迅速整裝移動至災難發生地區，形成臨時通訊網路。

◆ 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用網路架構

5G 專網設備分為：集中式單元(Central Unit, CU)、分散式單元(Distributed Unit, DU)及無線電單元(Radio Unit, RU)等設備，其中 DU 與 RU 設備經由交換器(Fronthaul Switch)連結；衛星地面接收站，從衛星天線接收訊號到衛星基頻網元後，與 5G 核心網路及 5G CU/DU 網元，以交換器連接(Giga Ethernet Switch)。分析本專案使用頻率分析(如下)：

- 5G 專網：4.8~4.9GHz
- Wi-Fi 網路：2.4~2.462GHz、5.18~5.85GHz
- 衛星通訊：26.5~40GHz(Ka Band)



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-27、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統網路架構

◆ 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用資料流分析

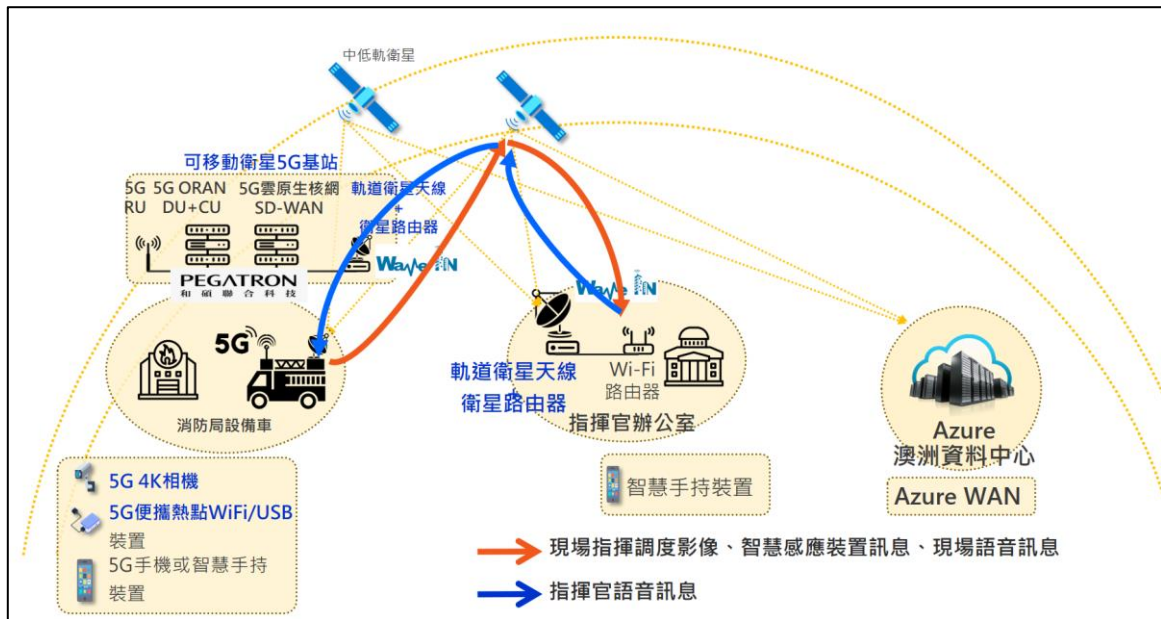
5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統-在災害消防應用之資料流分析中，其應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流(如圖 2-28)；上行資料流為：

- 4K 相機串流影像-提供現場指揮調度所需影像；
- 5G 便攜熱點轉傳-消防 Wi-Fi 設備、智慧 Wi-Fi 裝置、民眾 Wi-Fi 連線等資訊；
- 5G 手機或智慧手持裝置(Wi-Fi 連線)-現場人員透過數位語音/數位視訊與指揮官或市長通話(語音/視訊)

5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統-在災害消防應用之下行

資料流為：

- 智慧手持裝置(Wi-Fi 連線)-遠端指揮官辦公室市長、或指揮官指揮調度之數位語音訊號流



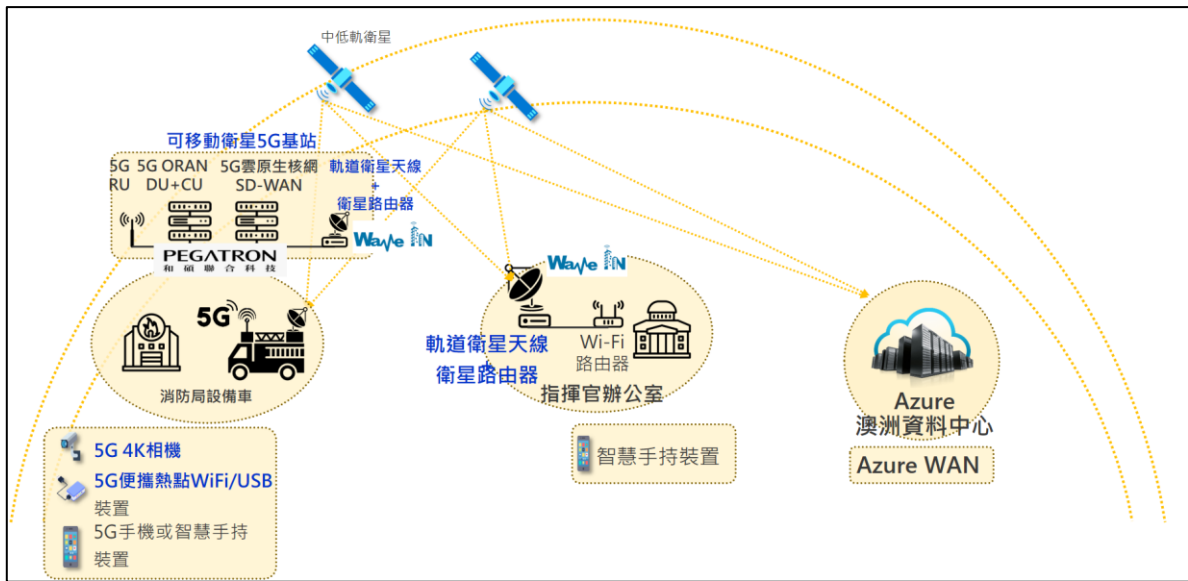
資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 2-28、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用資料流

◆ 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用主要功能廠商研發重點

本研析計畫依據 5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用架構(如圖 2-29)，分析其主要功能有 5G 專網設備(含 5G 核心網路、集中式單元(CU)、分散式單元(DU)及無線電單元(RU)等)、衛星天線、及衛星路由器等；5G 核心網路、集中式單元、分散式單元及無線電單元由和碩電腦研發

生產；衛星天線及衛星路由器由伸波通訊研發生產(如圖 2-29)。



資料來源：本計畫整理，2023 年 10 月

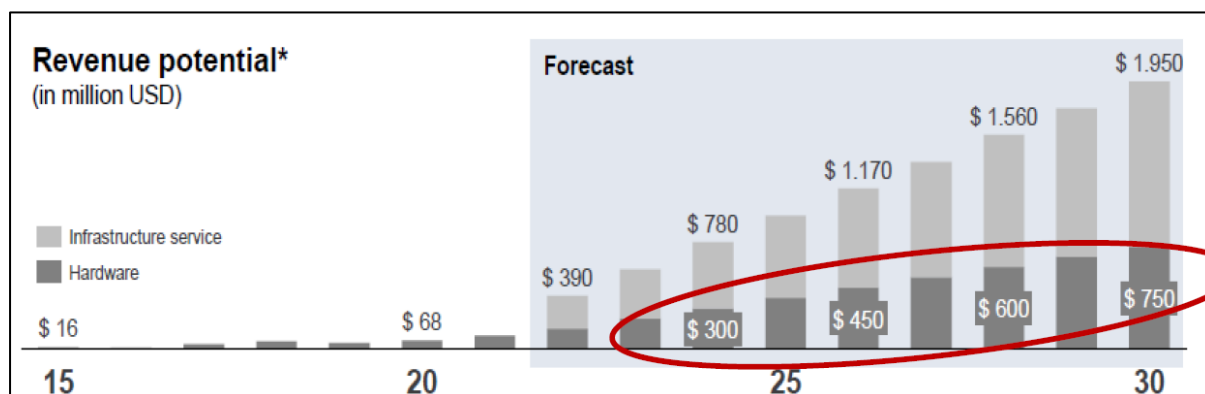
圖 2-29、5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用計畫主要功能

廠商研發重點

四、「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用計畫」

全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析

依據 GomSpace 及 MIC 之市場分析報告⁹，全球衛星市場與衛星服務市場規模，至 2030 年，全球衛星市場規模將達到 7.5 億美金、全球衛星服務市場規模將達到 12 億美金(如圖 2-30)；衛星市場主要為衛星相關軟、硬體市場(含衛星製造、地面接收站及地面設備)，衛星服務市場則包含衛星發射服務及衛星服務；台灣在衛星國際市場，主要著重在衛星零組件之供應，但在衛星服務市場則由於台灣擁有強大 IT 技術，未來將可以將衛星地面用戶終端裝置(User Terminal, UT)，結合應用服務軟體在台灣試煉，試煉完成後，結合衛星營運服務商形成完整方案輸出。



資料來源：GomSpace(2022)、www.nanosats.eu，MIC 整理，2023 年 2 月

圖 2-30、全球衛星市場與衛星服務市場規模(預估)

⁹ 資策會產業情報研究所(MIC)，全球衛星市場與衛星服務市場規模.pdf, 2023/2

國內頻率資源創新應用及產業生態鏈研析期末報告補充說明期中報告
委員提出之審查意見，委員意見希望針對 B5G NTN 產業生態鏈中，調研國
內是否有光通訊產能，回覆委員意見如下：

光無線通訊(Optical Wireless Communication, OWC)，包含可見光與近
紅外光，兼具光纖通訊和行動通訊的優勢，可實現高寬頻傳輸，且具有抗
電磁干擾、無需頻率授權等優點。光無線通訊的主要缺點，就是光源一旦
被遮蔽就無法通訊，但同時也造就其具備保密性的特點。

Starlink 目前低地球軌道(Low-Earth Orbit, LEO)衛星間通訊，採用光通
訊(Laser)技術為 Starlink 公司自行掌控；另外一家商用 NTN 衛星(Oneweb)，
第一代 LEO 衛星尚未提供衛星間通訊，依據 Oneweb 規劃，第二代發射之
LEO 衛星才開始支援衛星間通訊。就目前調研之結果，國內光通訊廠商提
供產品/產能主要在 5G 基礎建設之光通訊，尚無相關產能提供 LEO 衛星間
通訊。

五、 小結

5G 專網結合衛星之數位韌性通訊系統應用，當災害發生導致地面通訊中斷時，利用衛星通訊作為回程網路，為災區現場建立小型 5G 專網，用於緊急救災指揮，此案例在網路架構之突破點分別說明如下：

- 數位韌性通訊系統：當有線、或無線通訊網路，在天然災害、或戰爭發生導致地面有線、或地面無線通訊中斷時，建立一套韌性網路作為網路通訊備援系統，將極為緊急且重要。網路備援系統，計有微波通訊技術、與衛星通訊技術，微波通訊之特性為具有方向性 (Line-of-Sight) 之通訊技術，即傳送與接收端間不能存有障礙物體阻擋，才能收到良好的聲音與影像；而在衛星通訊中，電波主要在介於 500km(低軌衛星)和 35,000km(同步衛星)太空中傳播，因而可以很大地減小大氣折射、和地面反射的影響，傳播特性比地面微波接力線路明顯穩定，所以通訊品質高。
- 5G 專網結合衛星通訊之數位韌性通訊系統應用中，以往架構為 5G 專網結合同步衛星，由於同步衛星之上行、下行鏈路較長，造成通訊延遲或影像不連續，此案例有別於其他架構，5G 專網連結中軌衛星、或低軌衛星，如此之架構在聲音或影像傳輸應用上，聲音通訊延遲、或影像不連續現象，較不明顯。

第五節 創新應用研析案例四：5G 車聯網計畫

「5G 車聯網」是指利用第五代(5G)無線通訊技術來實現車輛之間以及車輛與基礎設施之間的高速、低延遲通訊，以實現更智慧、更安全、更便捷的交通系統和汽車駕駛體驗。這種技術將車輛轉變為連接到網際網路的智慧設備，使它們能夠與其他車輛、交通號誌訊號、行人、雲端服務和道路基礎設施進行即時數據交流。5G 車聯網的主要特點和應用：高速數據傳輸、低延遲通訊、車對車通訊、交通管理、車內娛樂和車輛訊息系統等。高速數據傳輸特性主要運用 5G 通訊技術提供較以往通訊技術更高的數據傳輸速度，使車輛能夠快速傳輸和接收大量數據，包括高解析串流影像、地圖資訊、交通訊息等；低延遲通訊特性主要運用 5G 專網網路具有極低的傳輸時間延遲，這意味著車輛之間的通訊可以即時進行，這對於需要迅速作出反應的自動駕駛系統和安全系統非常重要；車對車通訊功能主要意涵為車輛間可以相互通訊，共享有關位置、速度、方向和意圖的訊息，這有助於實現協同自動駕駛和減少交通事故；交通管理功能主要為 5G 車聯網可以與交通管理中心連接，使交通控制中心交通管理者能夠更好的監控和管理道路交通，並實施智慧交通管理策略；車內娛樂和車輛訊息系統功能主要為車輛可以連接到網際網路，為車載娛樂和車載資訊系統提供更多功能，例如高品質的音樂串流媒體、影像串流、和網際網路上網需求等。總之，5G 車聯網是一種基於高速、低延遲的無線通訊技術，用於改進交通安全、交通

流量管理、和車載娛樂等方面，並有望推動未來智慧交通系統的發展。

一、「5G 車聯網計畫」簡介

研析案例四為交通部「淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫」，該計畫背景為因應全球性的 5G 通訊技術、自駕車技術、車聯網技術及智慧城市的發展洪流，交通部成立「交通科技產業會報」12 大產業小組，其中最為核心的「5G 智慧交通應用推動」小組推動策略與方向為淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫，計畫目的¹⁰為：

- 以淡海新市鎮完善開放試驗場域精神
- 建構車聯網環境
- 訂定資通訊標準，進行相關創新及試驗示範
- 加速國內產業與國際市場鏈結，輔助新興產業生態鏈

淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫共分三期¹¹(如圖 2-31)：

◆ 第一期計畫(2017 – 2020)：

本期計畫主要研究重點為淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫、及自動駕駛電動巴士系統測試運行計畫；本期計畫依據新北市推動智慧運輸的藍圖，規劃新世代通訊架構的智慧電動運輸工具與環境的整合型的實驗

¹⁰ 交通部科技顧問室/華電聯網-淡海新市鎮智慧交通場域研究計畫，淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫.pdf, 2020/3

¹¹ 交通部科技顧問室-重要政策-5G 帶動智慧交通與服務創新與產業發展計畫, 5G 帶動智慧交通技術與服務創新及產業發展計畫.pdf, 2021/9

性試煉，在關鍵性的淡海新市鎮智慧交通場域試驗區塊，進行驗證與法規的調適，透過不斷地嘗試，並找到新的應用契機。2020年中，新北市交通局的「無人載具科技創新實驗」沙盒實驗計畫在審查通過後，從不載客測試運行著手開始，建立層層路障保護，限定專用優先通行道路，專注於蒐集智慧電動巴士行駛數據、無人載具車輛參數的調校、及號誌的偵測與調整，並建置初具規模的智駕電動巴士監控中心。新北市交通局經過載客後3個月後評估，進行與智駕電動巴士運行所在地-淡海新市鎮智慧交通場域試驗計劃佈建的5G基礎通訊架構、智慧化的路側感測器與設備、及雲端監控平台串接，進入人、車、路整合的先進運輸環境。

因此，淡海新市鎮智慧交通場域試煉計畫第一期的測試場域中，新北市交通局也建立了示範性的智慧站牌，在大型的LED螢幕上，提供智駕電動巴士測試班次、路線圖、車輛所在位置、氣象資訊、輕軌到站資訊等，讓民眾都能有身處轉乘與接駁真實情境的感受。

◆ 第二期計畫(2021-2024)：

本期計畫主要研究重點為擴大5G智慧城市科技交通產業場域、導入交通科技產業會報十組示範及驗證機制；為發展讓民眾有感的智慧交通建設，繼續推動智駕電動巴士環線多車服務測試運行計畫，並與交通部辦理之「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」之相關設備進行整合，以打

造淡海新市鎮成為全台 5G 車聯網智駕電動巴士試驗場域。

延續第一期計畫單輛智駕巴士測試成果，第二期計畫擴展測試模式為車對車網路通訊、及車與路側設備間之資訊傳送，並預先研擬不同情境以模擬實際運行時可能遭遇之路況；測試期間充分獲取智慧路網資訊，並回饋於車輛決策運行；交通部淡海新市鎮智慧交通場域試煉計畫第二期，除了優化號誌控制器、車流與弱勢用路人的偵測等硬體，更將試煉場域擴延到人、車更密集的淡水區，對於智駕電動巴士行駛在與一般市區交通相似的地區模擬運行，是更大的挑戰；這些驗證測試需要長時間不斷的測試與修正，以便未來銜接真實的情境運行。對於第二期的新階段，新北市有更長遠的落地規劃，新北市智駕電動巴士的第二期計畫就會考量到未來實際商業運轉及營運管理的需求，希望能建立具體測試與模擬機制，主要是以新北市這座中型城市為中心，周邊有諸多衛星城鎮的模式，需要多重交通運具的支援體系，藉由高鐵、台鐵等大型軌道交通擔負起城際運輸的責任，輕軌、捷運與公共汽車則是城鎮與市內交通的主幹，再由 uBike 或 GoShare 等共享運具等提供最後一哩的服務；而智駕巴士可以銜接區域之間、及區域與公共運輸載具之間之巡迴載具，也能在衛星城鎮當作觀光的接駁巴士。新北市交通局目前提出第二期的「淡海智駕電動巴士環線多車服務測試計畫」，將建立智駕電動巴士車隊的營運模式，以至少兩輛智駕巴士進行情境模擬，以測試不同智駕巴士間相互警示、相互分享資訊、及不同起訖點的

運行狀態等，期望更貼近新北市對智駕電動巴士未來應用的需求。為因應多元技術驗證的需求，華電聯網在淡海新市鎮 5G 智慧交通場域中，已於 10 個測試路口佈建路側單元設備，可將即時資訊傳送給連網車或巡迴巴士，其中交換資訊包含即時號誌時相應用(Signal Phase and Timing, SPaT)、前方號誌時相秒數資訊提示、前方道路障礙/違停車輛警示、前方道路壅塞提示、行人防撞警示和路口車輛闖入輕軌軌道區域警示等。相關資訊均能在車載資訊系統上呈現，讓駕駛員與乘客能及早因應。

◆ 第三期計畫(2025 - 2028)

本期計畫主要研究重點為構建北台灣 5G 智慧城市科技交通產業聚落、與建立亞太國際智慧城市基地。



資料來源：華電聯網淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫，2021 年 9 月

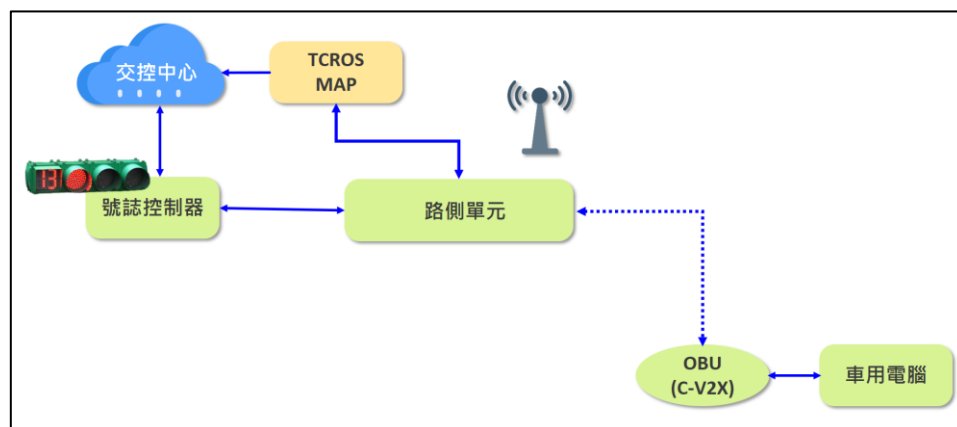
圖 2-31、淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫

二、 「5G 車聯網計畫」網路架構、主要功能廠商研發重點、及資料流研析

◆ 5G 車聯網計畫網路架構

研析案例四淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫，該計畫架構中主要涵蓋網路節點有交通控制中心、路側單元(RSU)、車內設備單元(OBU)、與號誌控制器等(如圖 2-32)；在交控中心與路側單元間，主要參照自動車工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE) J2735 需求，定義中華民國版本之臺灣協同智慧運輸車聯網路側設施資通訊開放標準(Taiwan C-ITS Roadside Open Standards, TCROS) 及相應之訊息內容，以接軌國際及國際標準；另外在號誌控制器與路側單元間，為因應國內號誌運作機制，滿足最基礎的 SPaT 運作以 TCROS(v.3)資料格式交換資訊；至於路側單元與車內設備單元(OBU)間，則以符合自動車工程師學會(SAE) J2735、J2945 資料格式交換資訊；分析本專案使用頻率分析(如下)：

- C-V2X 專網：5.895~5.925 GHz



資料來源：本研究整理，2023 年 10 月

圖 2-32、5G 車聯網系統架構

◆ 5G 車聯網計畫主要功能廠商研發重點

5G 車聯網計畫中，含括標準制定與驗測、硬體設備廠商、與軟體廠商三大塊(如圖 2-33)，標準制定與驗測廠商含台灣車聯網產業協會、財團法人車輛安全審驗中心、與 TUV 等；硬體設備廠商則有車聯網設備(如亞旭電腦、公信電子等)、通訊/工業電腦設備廠商(如美超微電腦、磐儀科技、研華科技、主向位科技等)、號誌控制器廠商(如良基電子、萊康企業、維明企業等)、感測設備廠商(如英研智能移動、一碩科技等)、地圖及數位分身廠商(微軟股份有限公司、全球動力科技等)。



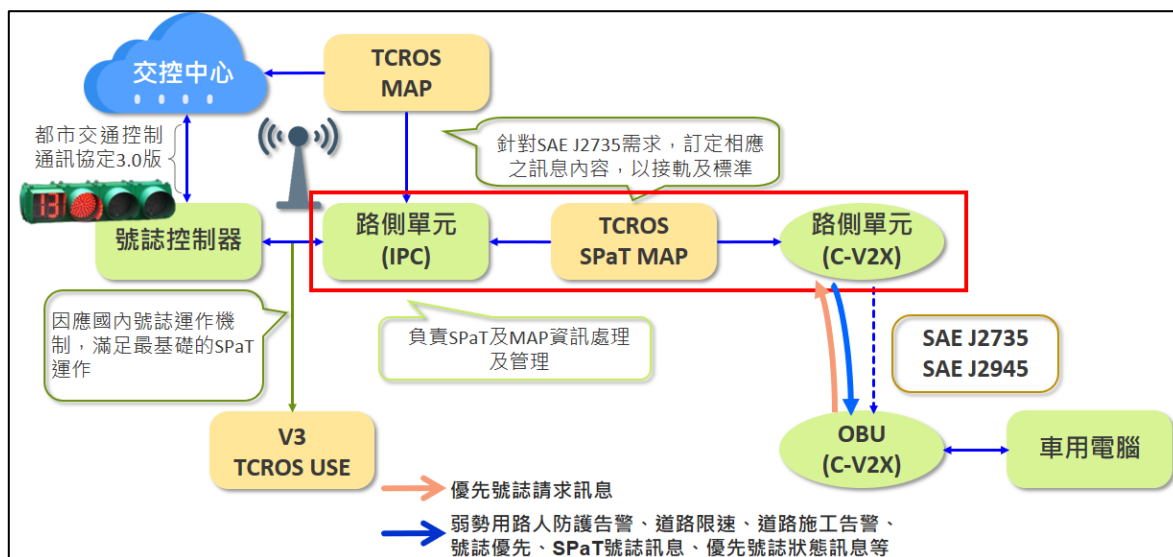
資料來源：華電聯網/本研究整理，2023 年 10 月

圖 2-33、5G 車聯網分項功能與廠商生態系

◆ 5G 車聯網計畫資料流研析

5G 車聯網計畫中，針對資料流之分析，主要分為交通控制中心與路側單元之間通訊、路側單元與 OBU 之間通訊(如圖 2-34)；交通控制中心與路

側單元通訊主要含 TCROS 訊號及地圖資訊交換，路側單元與 OBU 之間通訊，上行通訊資訊含優先號誌請求訊息，下行通訊資訊含弱勢用路人防護告警、道路限速、道路施工告警、號誌優先、SPaT 號誌訊息、優先號誌狀態訊息等；

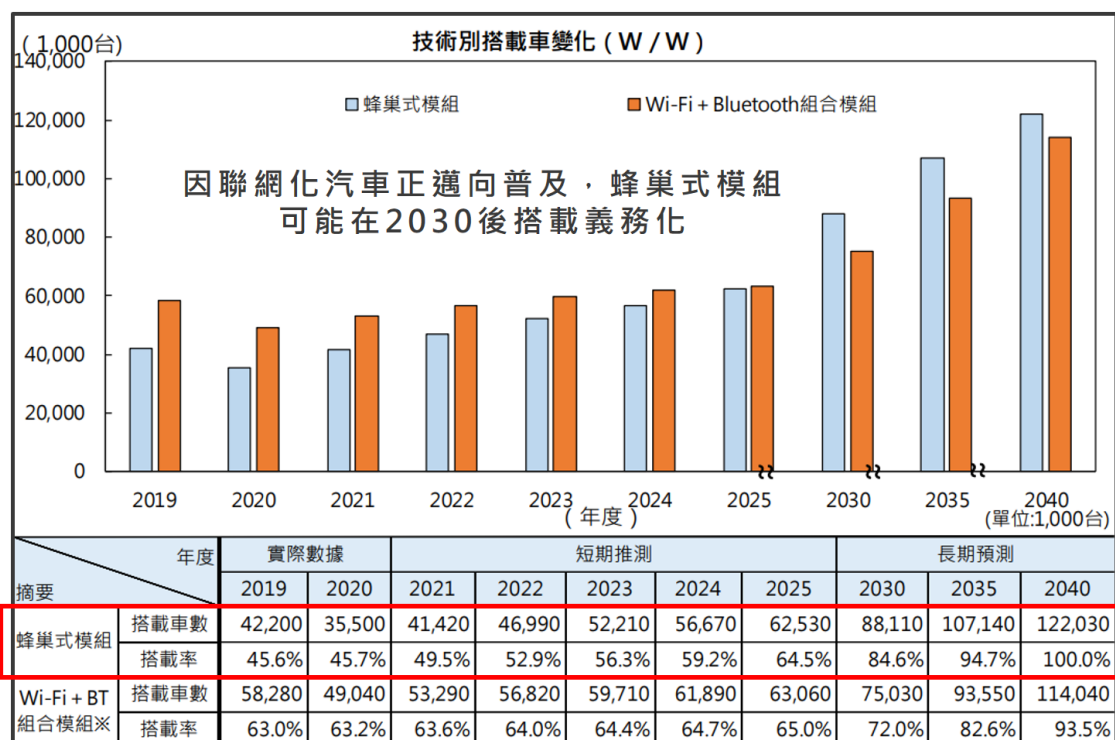


資料來源：華電聯網/本研究整理，2023 年 10 月

圖 2-34、5G 車聯網系統資料流分析

三、「5G 車聯網計畫」全面商用之可能方向及成功率研究、產值分析

車聯網趨勢在邁向聯網化或自動駕駛化的同時，大頻寬、大流量通訊、與傳輸低延遲漸成為必要，因此創新的通訊技術扮演關鍵的角色。車聯網相關通訊大致區分為車外通訊技術及車內通訊技術，車外通訊技術為 4G 行動通訊模組、5G 行動通訊模組、或 Wi-Fi 為範疇(如圖 2-35)；車內通訊技術則以藍芽(Bluetooth)、Ethernet、FlexRay、媒體導向系統傳輸(Media Oriented Systems Transport, MOST)等技術為範疇。因聯網汽車正逐漸普及，且行動通訊模組(ie 蜂巢式模組)可能在 2030 後搭載義務化，本研析計畫針對富士 Chimera 及資策會產業情報研究(MIC)相關之資料分析，全球新車搭載行動通訊模組數量，將從 2023 年 5 千 2 百萬台，成長至 2030 年 8 千 8 百萬台；全球新車搭載行動通訊模組之比率，將從 2023 年 56.3%，成長至 2030 年 84.6%。



資料來源：富士 Chimera/MIC/本研究整理，2023 年 10 月¹²

圖 2-35、車聯網相關通訊技術與市場發展趨勢分析

¹² 資策會產業情報研究所(MIC), 車聯網相關通訊技術與市場發展趨勢分析, 2023/4

四、 小結

5G 車聯網技術能夠支持高度精確的交通管理系統，從而降低交通事故的發生率，車輛之間的即時通訊使得車輛與車輛間能夠更有效地協同工作，避免碰撞和其他意外，且交通管理單位能夠更好地預測交通流量和潛在塞車狀況，並採取適當的措施來疏導交通車流；5G 車聯網計畫中之路側單元(RSU)，除提供上述相關車輛行車安全資訊外，未來若提供更多的娛樂選項和網際網路服務，並進而提供自動駕駛車輛之相關訊息；因此未來路側單元(RSU)之建置為政府建設之基礎建設，抑或是基於共通標準下，由營運商建置及維運，將是未來可研析之方向。

在頻率資源配置於車聯網相關創新應用上，我國目前已於頻率供應計畫中配置 5850-5925MHz 頻段可供車聯網技術與其創新應用的實驗運用；依據目前在車聯網相關國際規格觀測，仍持續發展中為專用短距離通訊(Dedicated short-range communications, DSRC)與蜂巢式車聯網通訊(C-V2X)兩種規格；我國目前在公告車聯網實驗區域，在同一實驗區域，並未規劃兩種規格並存，因此計畫間並未造成頻率競爭之議題。

第六節 創新應用研析案例五：5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫

遠距醫療是指利用遠距通訊技術，讓患者和醫療保健提供者能夠在不同地點進行醫療診斷、治療和監測，遠距醫療的重點和組成要素含遠距診斷與監測、遠距醫療諮詢、健康記錄管理、遠距手術和治療、遠距醫療教育和培訓。遠距診斷與監測的核心重點為通過遠距診斷和監測患者的健康狀況，這包括使用各種醫療設備(如生理監測儀器、血壓計、心電圖儀器等)來收集患者的生理數據，然後將這些數據通過網際網路或其他通訊架構傳送給遠端醫生或遠端醫療團隊，以提供遠距診斷和監測；遠距醫療的核心重點為允許患者通過視訊會議、電話或網路電話等方式與醫生進行諮詢和醫療建議，這對於醫生解答就醫民眾一般健康問題、處方藥物、處理慢性疾病或提供初步診斷都很有用；遠距手術和治療的核心重點為在某些情況下，藉由高度先進的機器人技術和外科醫生的參與，允許醫生通過遠距操縱機器手臂或工具來遠距執行手術與治療，而不需要醫生實際在患者身旁操作手術與治療；健康記錄管理在遠距醫療中的核心重點為電子健康記錄(Electronic Health Record, EHR)資料和個人健康記錄(Personal Health Record, PHR)資料，這些系統資料使醫生和患者依據相關紀錄資料，隨時查詢、更新、和分享醫療訊息，確保醫療歷史的完整性和可用性；遠距醫療教育和培訓用於醫學教育和培訓，使醫生、護士和其他醫療專業人員能夠遠距參與培訓課程、研討會和手術示範。

一、 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」簡介

研析案例五為數位部 5G+系統暨應用淬鍊計畫 - 5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫，該計畫由工研院、資策會、宏達電的 5G 小基站及核心網路，與仁寶電腦、神寶醫資、泰雅科技及達明機械人共同合作打造，計畫期程從 2022 年 3 月至 2022 年 12 月；計畫背景為臺灣偏鄉居民與都市居民相比，醫療資源分配極為不平均，偏鄉醫療資源極為短缺；且先進的醫療設備較少，故可提供之醫療服務亦較不足，如透過轉診後送至其他醫院，易錯過治療黃金期。依據統計數據顯示，民眾與醫生之間比例，偏鄉民眾與醫生之比例為全國平均 8 倍，偏鄉專科醫療需求為全國 2 倍，醫療專科每季巡迴一次偏鄉地區，偏遠地區民眾，專科就醫之往返車程平均大於 3 小時；且目前視訊會議式會診，欠缺「主動干預、醫令指引取代被動諮詢」的解決方案；自從 Covid-19 傳染開始，因親自就醫之限制與不便，主管機關衛生福利部陸續鬆綁遠距醫療法規，於 2022 起針對山地、離島、居家整合醫療患者，陸續新增專科(如心臟內科、胃腸科、神經內科、胸腔科等)遠距會診給付；根據衛福部統計，截至今年 7 月底，我國老年人口已經占全國總人口的 17.96%，而且平均餘命持續延長，到今年到 9 月底，百歲以上人瑞就破 5000 人¹³。依據衛服部資訊，預計於 2023 年 11 月公告「通訊診察治療辦法」，再增加擴大到包含慢性病長期用藥、疾病末期照護等患者，達

¹³ 衛生福利部統計處, 健康平均餘命指標資料表.pdf, 2023/5/8

到 10 類適用對象。

「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」主要與台北馬偕紀念醫院合作，針對偏遠地區導入遠距超音波遙控及視訊試驗，架構結合 5G 通訊技術與網路整體解決方案與遠距腹部超音波醫療操作雛型系統(如圖 2-36)。本研析計畫中偏遠地區就診端設備：含 5G 通訊功能之超音波檢查探頭手臂、具 5G 專網行動基地台功能車輛；市區醫院醫護人員端設備：手動遙控超音波檢測系統、即時超音波影像顯示器、即時 4K 視訊設備及遠端操作桿。



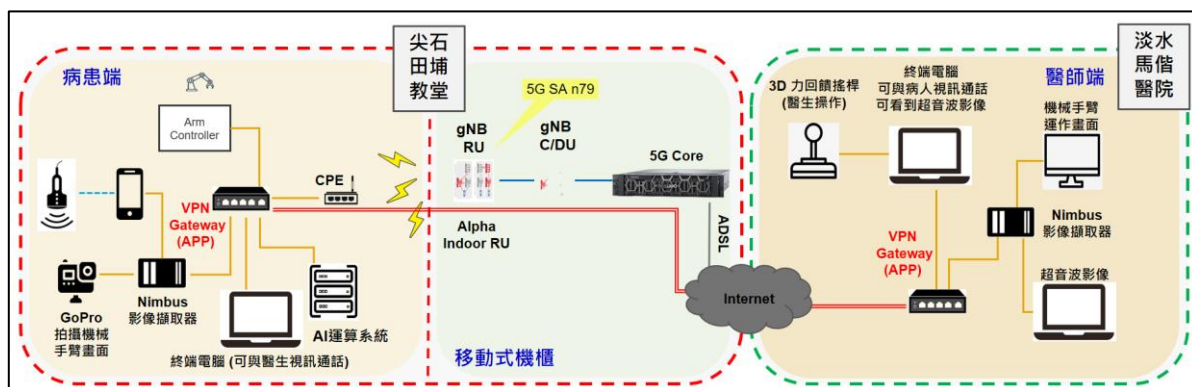
資料來源：5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫/本計畫整理，2023 年 10 月

圖 2-36、5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫架構

本研析計畫之效益為建立遠距腹部超音波醫療操作系統雛型，減少偏遠地區就醫成本(至少 4 小時)及陪同就醫的勞動力損失；並透過應用串接與技術承接，提升國內遠距醫療系統的升級，從結合 4G 通訊技術之被動醫療視訊，轉變為結合 5G 通訊技術之主動診療。

二、「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」網路架構、主要功能 廠商研發重點、及資料流研析

研析案例五依據 5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫系統，其網路架構集結醫師端及病患端兩端(如圖 2-37)，醫師端位於淡水馬偕醫院，病患端位於尖石田埔教堂；醫師端與病患端在非對稱數位式用戶線路(Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL)網路架構上虛擬專用網路(VPN)相連，醫師端設備以 VPN 閘道器與網際網路連結，病患端包含 5G 專網設備與網際網路、及 VPN 閘道器等；病患端設備中，5G 專網設備架構在移動護理車輛，可以迅速整裝移動至偏遠需就醫地區，形成臨時通訊網路。



資料來源：5G 遠距腹部超音波遙控診療網路計畫/本研究整理，2023 年

10 月

圖 2-37、5G 遠距腹部超音波遙控診療網路架構

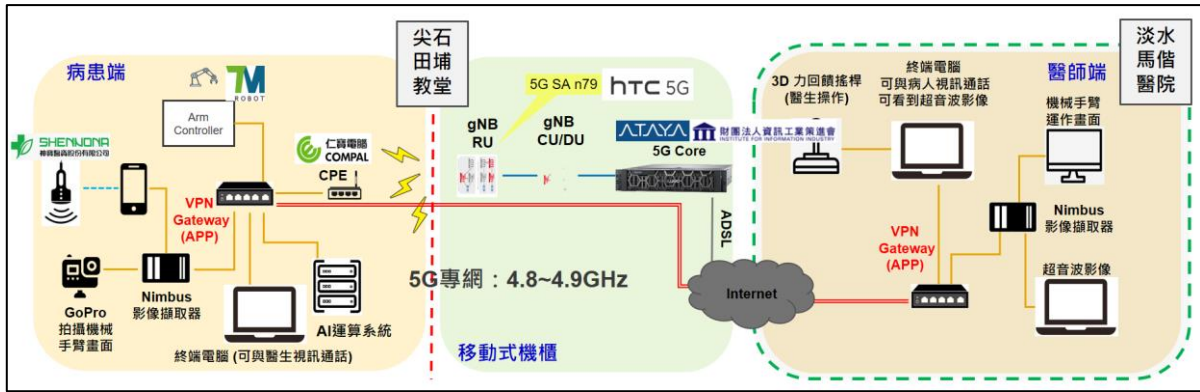
◆ 5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫網路架構

病患端包括 5G 專網設備及 VPN 閘道器(VPN Gateway)等設備(如圖 2-38)，5G 專網設備分為：5G 核網單元、集中式單元(CU)、分散式單元(DU)、無線電單元(RU)、及 5G 用戶終端設備(Customer Premise Equipment, CPE)，其中 5G 核網單元與 ADSL modem 經由交換器(Fronthaul Switch)連結，與醫師端之 VPN 閘道器(VPN Gateway)透過網際網路連結；分析本專案使用頻率分析(如下)：

- 5G 專網：4.8~4.9GHz

◆ 5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫主要功能廠商研發重點

5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫中，主要功能包括 5G 專網設備、機械手臂控制器與機械手臂、及超音波探頭移動控制器與超音波探頭；5G 專網設備中，5G 核網由資訊工業策進會獨立成立之泰雅科技股份有限公司研發、5G 集中式單元(CU)、5G 分散式單元(DU)、及 5G 無線電單元(RU)由宏達國際電子股份有限公司研發、5G 客戶終端設備(CPE)由仁寶電腦股份有限公司研發、機械手臂控制器(Robot Arm Controller)與機械手臂(Robot Arm)由達明機器人公司研發、超音波探頭移動控制器與超音波探頭由神寶醫資股份有限公司研發。



資料來源：5G 遠距腹部超音波遙控診療網路計畫/本研究整理，2023 年
10 月

圖 2-38、5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫主要功能廠商研發重點

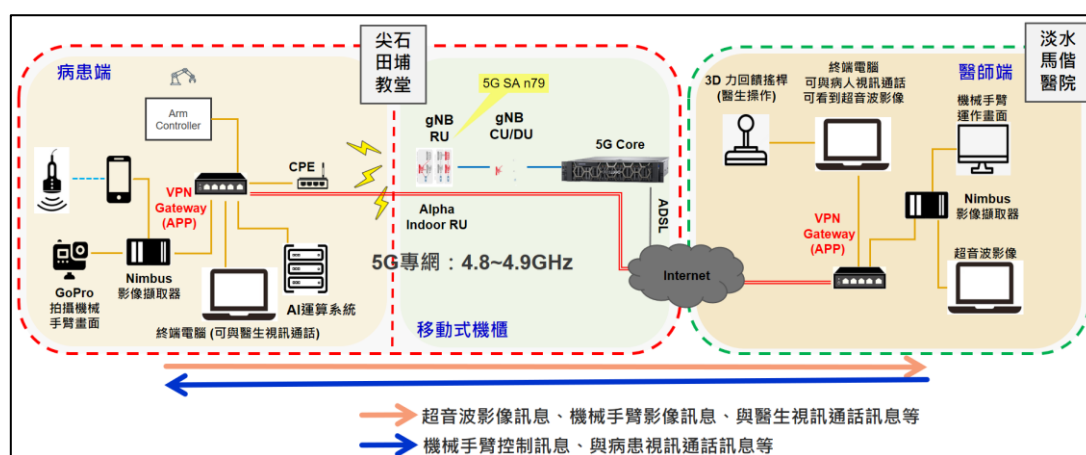
◆ 5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫網路應用資料流分析

5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫之資料流分析中，其應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流(如圖 2-39)；上行資料流流量為 210.28 Mbps，詳細說明如下：

- 超音波影像訊息：設定為 4K 解析度、30fps，網路流量需求約 140Mbps
- 機械手臂影像訊息：設定為 2K 解析度、30fps，網路流量需求約 70Mbps
- 與醫生視訊通話訊息：以 Skype 視訊通話，網路流量需求約 128Kbps

5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫之資料流分析中，其應用之下行資料流 150 Kbps，詳細說明如下：

- 機械手臂控制訊息；
- 與病患視訊通話訊息：以 Skype 視訊通話，網路流量需求約 128 Kbps



資料來源：5G 遠距腹部超音波遙控診療網路計畫/本研究整理，2023 年

10 月

圖 2-39、5G 遠距腹部超音波遙控診療網路資料流分析

三、 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」全面商用之可能方向 及成功率研究、產值分析

5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫為遠距醫療中之一種應用，而遠距醫療診斷系統分為電視會議系統、網路會議系統、病患端診療裝置、及網路會議系統連網設備¹⁴；遠距醫療診斷系統中會議系統，目前多用於溝通聯繫，或在個人電腦／智慧型手機等小畫面設備上運用，不少使用者認為超高畫質(Full High Definition, Full HD)規格已可滿足本身需求，但多人一同觀看之研習等要求大畫面 4K 畫質，目前 4K 畫質需求逐步增加；4K 畫質應用於遠距手術，也可望應用於提升手術精密度，外科領域中，手術影像紀錄／傳送系統需要 4K 畫質，4K 畫質之手術影像傳送時需要高頻寬及低延遲之網路特性。

依據日本國內遠距醫療市場變化及預測分析報告(如表 2-3)，日本國內遠距醫療系統在電視會議系統已經有國際大廠佔據市場(如 SONY、思科(Cisco)、Polycom 等)；在網路會議系統部分，因日本 Local-5G 推動計畫及遠距醫療系統中資訊科技(Information Technology, IT)設備為國內之擅長產品領域，將是台灣產業未來產業成功方向(如表 2-4)。

¹⁴ 資策會產業情報研究所(MIC), 日本遠距醫療系統發展動向與全球市場概況.pdf, 2021/5

表 2-3、2021~2025 日本國內遠距醫療市場變化及預測

單位：百萬日圓

	2021 (實際業績)	2022 (實際業績)	2023 (預估)	2024 (預測)	2025 (預測)	年平均成長率 (Y2025/Y2021)
電視會議系統	1,460	1,620	1,790	1,960	2,130	
(YoY)		111.0%	110.5%	109.5%	108.7%	9.9%
網路會議系統	490	600	730	860	980	
(YoY)		122.4%	121.7%	117.8%	114.0%	19.0%

YoY：年增長率，year on year

資料來源：富士 Chimera 總研，MIC/本研究整理，2023 年 10 月

表 2-4、日本遠距醫療商業模式

系統／服務	商業模式／費率體系／價格動向
電視會議系統	由編解碼器、鏡頭、麥克風、顯示器、微控制器(Micro Control Unit ,MCU)、伺服器及軟體等構成之成套系統，多採買斷型態；價格隨引進規模變動，醫療機關用多為單一系統 100~200 萬日圓
網路會議系統	大部分網路會議系統案例運用現有個人電腦，因日本 Local-5G 計畫，初期須投資 5G 網路專網設備費，另外網路會議系統費率為單一授權月費約 3,000~5,000 日圓

資料來源：富士 Chimera 總研、MIC/本研究整理，2023 年 10 月

四、 小結

遠距智慧醫療對人類醫療事業的革新與提升已經逐漸展現出令人矚目的成果，尤其在偏遠地區且缺乏適切醫療資源的社區帶來革命性的變化，5G 提供大頻寬、低延遲之特性，應用於遠距超音波探測器等創新工具的應用，病患可以在自己的社區中得到高質量的醫療照護，同時也為醫療專業人員提供了更大的工作彈性；專業醫療人員進行遠距診斷和治療，無論患者身處何處，這使得醫療服務可以穿越地理障礙，為偏遠地區的患者提供即時且高品質的醫療服務，從而提高這些偏遠社區的整體生活水平。

近期衛生福利部對於遠距醫療法規「通訊診察治療辦法」的鬆綁，也為 5G 遠距智慧醫療的推展帶來一個重要的契機，這些技術與應用趨勢的結合，不僅為醫療界帶來了巨大的挑戰，同時也展示未來遠距醫療發展的無限潛力。

本研析案例「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」在 5G 專網之架構下，為傳送病患端遠端超音波掃描之高清畫面，資料流以上行為主，在必須提供上行頻寬大，下行頻寬小之 5G 專網架構，於商頻專網公共電信網路架構下較難滿足其需求，然而專網仍有需明定設置區域及使用電波涵蓋區域及連接雲端、公眾電信網路限制，同時於戶外區域亦有電波強度限制，長遠作法仍有待相關單位研議。

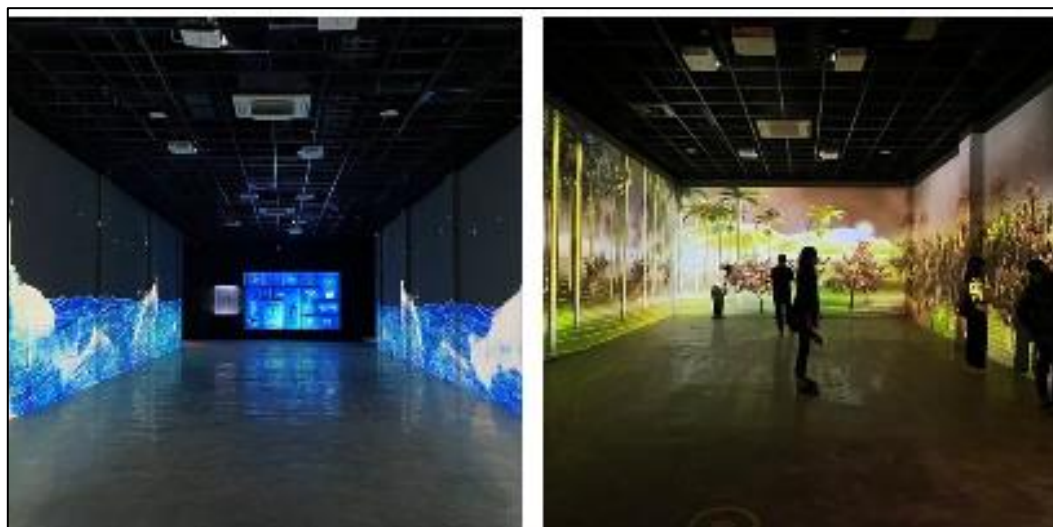
第七節 創新應用研析案例六：5G 智慧影音沉浸式展演計畫

5G 智慧影音沉浸式展演是一種結合 5G 通訊技術與影音沉浸式展演技術後之綜合性的體驗，其組成要素包括環境設計、互動性、敘事和劇情、角色和表演、技術和藝術設計、音樂和聲音效果，以及參與者的參與度，並運用 5G 通訊技術，改善環境設計與互動性間有線網路架構環境，這些要素共同創造一個更引人入勝、豐富多彩且充滿創意的藝術或娛樂體驗，且讓場域佈建更具彈性、更具有整體方案輸出之競爭力。

一、「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」簡介

研析案例六為經濟部產業發展署 5G+產業生態鏈推動計畫- 5G 智慧影音沉浸式展演計畫(如圖 2-40)，該計畫由智宏網及紅然共同合作打造，計畫期程從 2023 年 3 月至 2023 年 12 月；本研析案例背景主要因目前沉浸式展演投影進入 6K 超高畫質影像投影，並與 AIoT 互動感測技術整合，運用此技術將觀眾帶入更高解析與沉浸式的展覽作品、音樂與戲劇的世界中；其沉浸式展演場域的前期施工架設與後續的商業展演，對於影像畫質、影像傳輸速度、影像縫合同步、感知器數據傳輸低延遲性等，都有其特殊要求，因目前沉浸式展演場域的數據網路採用高畫質多媒體介面(High-Definition Multimedia Interface, HDMI)影像實體線路與 AIoT 數據實體網路線佈建而成，然而實體網路線佈建瓶頸，容易出現高解析影像訊號的衰減過大、佈

建成本過高、與沉浸式展演展出彈性降低等；運用 5G 通訊特色中大頻寬、低延遲之技術，取代一般沉浸式展演架構中實體有線傳輸，解決高解析影像訊號的衰減過大問題、降低佈建成本與提高沉浸式展演展出彈性。



資料來源：紅然公司臉書網頁，2023 年 10 月

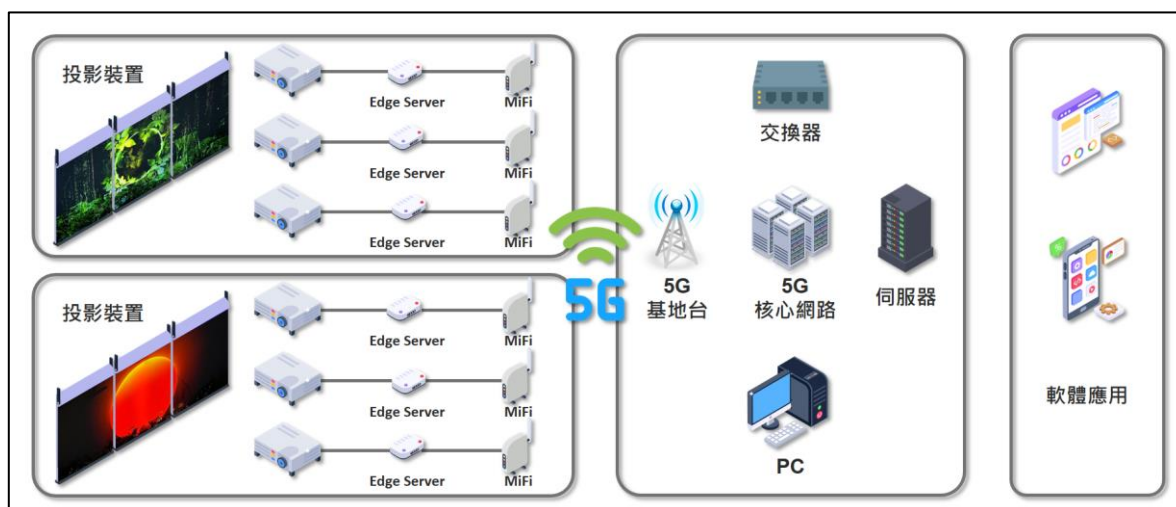
圖 2-40、5G 智慧影音沉浸式展演

二、 「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」網路架構、主要功能廠商 研發重點、及資料流研析

◆ 5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路架構

研析案例六 5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路架構中(如圖 2-41)，以 5G 網路分為左半部沉浸式影音接收端與右半部沉浸式影音傳送端，沉浸式影音接收端其網元含邊緣伺服器(edge server)、5G 終端裝置(攜帶型寬頻無線裝置 Mobile Wi-Fi, MiFi)、沉浸式影音傳送端含 5G 基地台、5G 核心網路、交換器、個人電腦及伺服器；分析本專案使用頻率分析(如下)：

- 5G 專網：4.8~4.9GHz



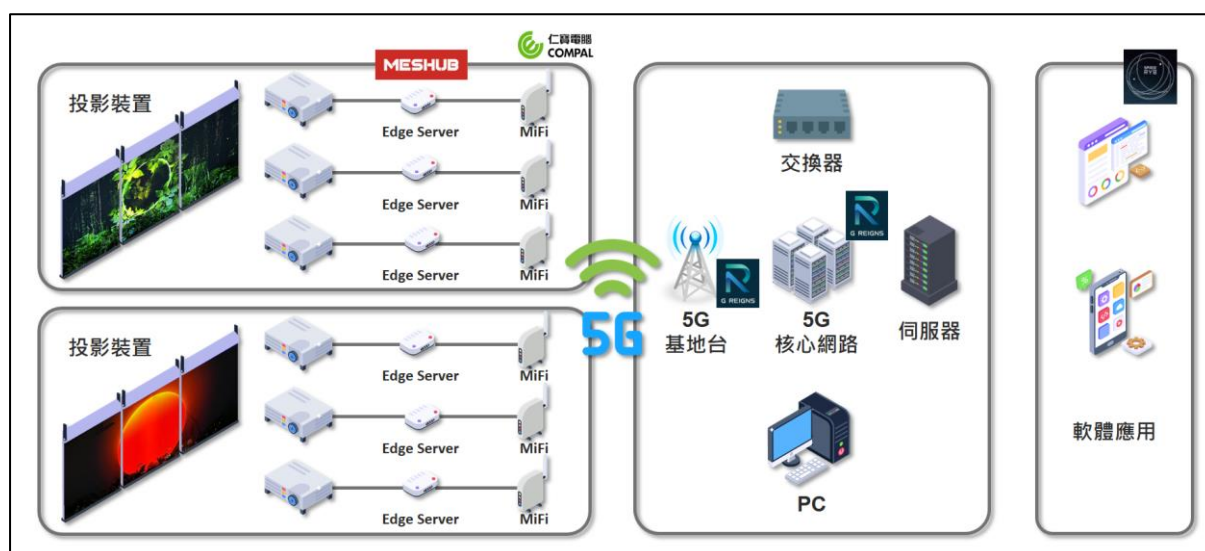
資料來源：5G 智慧影音 5G 智慧影音沉浸式展演計畫/本計畫整理，2023

年 10 月

圖 2-41、5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路架構

◆ 5G 智慧影音沉浸式展演計畫主要功能廠商研發重點

5G 智慧影音沉浸式展演計畫中，主要功能含 5G 核心網路、5G 基地台由智宏網股份有限公司負責，5G 終端裝置則由仁寶電腦提供，邊緣伺服器由網格技術股份有限公司提供，智慧影音沉浸式展演軟體則由紅然股份有限公司負責(如圖 2-42)。



資料來源：5G 智慧影音沉浸式展演計畫/本計畫整理，2023 年 10 月

圖 2-42、5G 智慧影音沉浸式展演計畫主要功能廠商研發重點

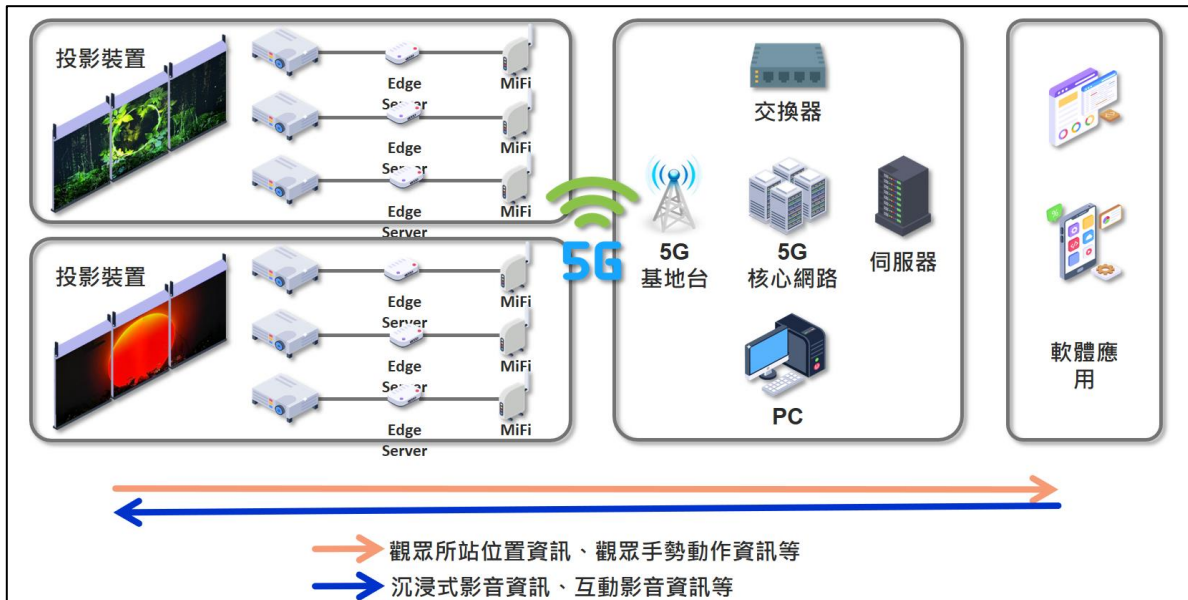
◆ 5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路資料流研析

5G 智慧影音沉浸式展演計畫，其網路應用之資料流分為上行(Uplink)資料流與下行(Downlink)資料流(如圖 2-43)，上行資料流為：

- 觀眾所站位置資訊
- 觀眾手勢動作資訊

下行資料流為：

- 沉浸式影音資訊
- 互動影音資訊



資料來源：5G 智慧影音沉浸式展演計畫/本計畫整理，2023 年 10 月

圖 2-43、5G 智慧影音沉浸式展演計畫網路資料流研析

三、 「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」全面商用之可能方向及成 功率研究、產值分析

智慧影音沉浸式展演在近幾年來越來越受到關注和歡迎，因為它能夠帶給觀眾獨特而深刻的體驗，其展演型態不再像是傳統展演一般，只是靜靜地觀看和欣賞藝術創作，而是將觀眾融入到作品的情節和世界中，讓觀眾能為創作作品的一部份；沉浸式展演的應用領域相當廣泛，可以用於藝術展覽、音樂表演、戲劇演出、電影放映、主題公園及娛樂活動等，此類展演為觀眾提供了更加身歷其境和個性化的體驗，更為藝術家和創作者帶來更多呈現藝術創作方式的可能性。

有關沉浸式展演之未來商機，從今年(2023)MWC 大會，以設置沉浸式展演專館方式，邀請廠商於館內展示，以創新的通訊科技搭配感測裝置、人工智慧...等，用於向觀展者提供「沉浸式的、身歷其境式的故事型體驗」展館；沉浸式體驗展館之展示項目涵蓋七個領域：健康、永續、運動、移動、娛樂、零售與機器人，藉由廠商所展示的破壞式創新科技，引領觀展者能夠更深入地體驗、感受到未來通訊世代所打造連結性更強、更緊密、更快速的產業環境、城市環境、居住空間...等，以體驗未來更為方便、效率、便捷以及永續的日常生活；由此 MWC2023 以專館展出窺探未來此沉浸式展演之未來商機，必定可期。

5G 智慧影音沉浸式展演之產值分為沉浸式展演內容、沉浸式展演應用

軟體、及沉浸式展演設備，沉浸式展演因結合藝術創作，較難有明確之產值預估，然而藉由部分沉浸式展演中之一種類型 - 虛擬演唱會，研析未來沉浸式展演應用產值。例如 Fortnite 於 2019 年初曾與電子音樂製作人 DJMarshmello 舉辦線上虛擬演唱會，當時吸引約 1,000 萬人參加，2020 年 4 月與 TravisScoot 合作的線上虛擬演唱會更突破紀錄，創下最高 1,230 萬玩家同時上線收看，截至 2020 年 9 月 Youtube 也超過了一億的觀看次數；另外有鑑於 Fortnite 擁有 3.5 億玩家，加上 2020 年 5G 高速網路和 VR 影音影像的進步，2020 年 9 月南韓 BTS 也在 Fortnite 平台上發表單曲¹⁵，預估未來將會吸引更多歌手舉辦線上虛擬演唱會，而此類演唱會也可以轉化為沉浸式演唱會之應用之一。

¹⁵ 工研院產科國際所(IEK), 國際 5G 智慧展演案例分析報告.pdf, 2020/11/12

四、 小結

5G 沉浸式展演運用多屏融合拼接技術，成為商業界的一個重要焦點，其市場潛力不容忽視，透過這項技術，將不同屏幕無縫拼接，形成一個巨大的顯示屏，為觀眾呈現出更加震撼的視覺效果，這種技術不僅適用於商業展示，還可以廣泛應用於數位看板廣告、展覽會場和大型活動等場合，為各種商業活動注入了無限的活力和創意。

5G 沉浸式展演除了令人驚艷的多屏融合拼接技術外，即時動態捕捉互動導覽應用也成為引人注目的技術創新，藉由這項技術，可以即時捕捉觀眾動作，並讓觀眾體驗各種動態場景，提升導覽體驗的互動性和真實感，這使得觀眾能夠更直覺了解展示內容，加深對產品或場景的理解和感知；因此這類應用可擴展至教育、展覽或旅遊等領域。

5G 通訊技術的優勢不僅體現在彈性佈建和快速佈建方面，還體現在降低維運成本的效益上，相較於傳統的沉浸式展演佈建，透過導入 5G 通訊技術，可以實現更高效率的營運管理，大幅降低維運成本，為企業帶來可觀的經濟效益。

5G 沉浸式展演，應用 5G 專網中大頻寬、低延遲之技術特性；但以長遠商業應用來看，5G 專網應用專頻專網 100MHz 之頻寬，目前僅能符合以下行傳輸高解析、多串流之沉浸式影像應用，若需加入即時互動情境(上行資料流需求)，恐有頻寬不足之議題。

第八節 電信商企業專網研析案例

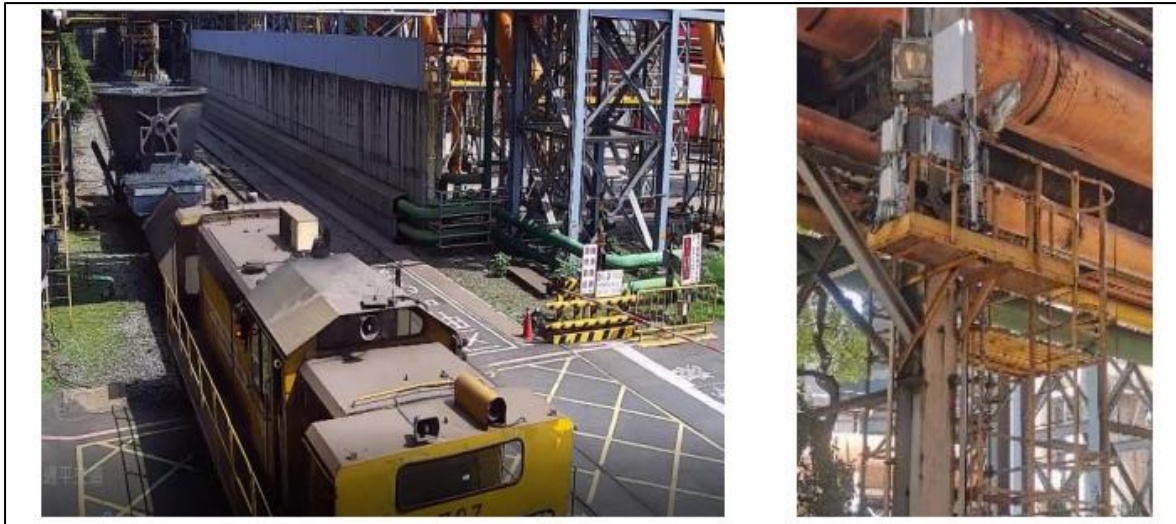
一、 中鋼 5G AIoT 推動計畫(中華電信、中國鋼鐵)

依據「中鋼 5G AIoT 推動計畫」，中華電信與中鋼合作，協同中冠資訊、仁寶電腦、微軟、思科、杰悉科技等公司合作，打造全新 5G 企業專網，建構高可靠度、高安全性之 5G 工控環境及應用。「中鋼 5G AIoT 推動辦公室」與「中鋼 5G AIoT 實驗室」於 110/12/10 正式啟用(持續至今)，在此計畫中共計完成一個戶外、一個室內示範場域及一個 5G 應用實驗室，分別採用商頻專網及專頻專網組成，是專網應用中少見的組網案例。

(一)、 「中鋼 5G AIoT 推動計畫」網路架構

1. 戶外場域 「5G 智慧軌道運輸」專案

戶外場域執行「5G 智慧軌道運輸」專案，與中華電信合作建置 900 米長 5G 非獨立組網(Non-Standalone, NSA)訊號，以 4G 核心網路(Evolved Packet Core, EPC)加上 5G 基站所組成，使用 N78 商用頻段，經實測可提供上行 158 Mbps、下行 986 Mbps 的傳輸速度。選用 NSA 架構的考量點是技術成熟、4G 涵蓋範圍較廣可快速佈建，因此該示範廠於 110 年 12 月便完成 5G 訊號開台。



資料來源：中國鋼鐵¹⁶，2023 年 02 月

圖 2-44、5G 智慧軌道運輸場域照片及建置之商頻專網基站

2. 室內場域「5G 軋鋼智慧工廠」專案

室內場域則執行「5G 軋鋼智慧工廠」專案，由仁寶電腦、思科合作建置 5G 獨立組網(SA)之專頻專網，使用 N79 企業專網頻段(4.8-4.9 GHz)，可管理一萬個門號，達到商頻與專頻互不干擾之目標。同時，經過實測 5G 上傳速率可達每秒 152Mbps、下載速度也有到每秒 560Mbps。經過調整頻譜上下傳比例後，上傳最高達 230Mbps。

為了測試和驗證 5G 特性與功效，中鋼在在鋼鐵廠長達 400 米的熱軋產線上，部署了 3 座 5G ORAN 開放式基地臺(如圖 2-45)來涵蓋，用於驗證遠端協作、AR 虛實整合應用，藉此來達成製程即時監控。中鋼目前規劃先藉由熱軋工廠 500 米長的產線，進行示範案例開發，未來該核網可服務全

¹⁶ 中冠資訊 https://www.icsc.com.tw/ph_7g_81.html，2023/02

集團，將效益平行展開。



資料來源：中國鋼鐵/中冠資訊，2023 年 02 月

圖 2-45、5G 軋鋼智慧工廠場域照片及建置之專頻專網基站

3. 「中鋼 5G AIoT 實驗室」專案

為了加快 5G 應用，中鋼目前還成立 5G 技術應用實驗室，希望可以自主開發 5G AIoT 技術，應用在智慧製造和智慧軌道運輸兩個場域，包括延展實境(Extended Reality, XR)虛擬實境訓練、自走載具技術開發等。

(二)、 「中鋼 5G AIoT 推動計畫」應用架構

應用方面完成九項智慧製造應用，包含：智能板胚動態監控、鋼帶偏移監控系統、專家遠端協作系統、數位產線實境導覽、危險作業遠程操控、渣桶狀態監測系統、行車安全輔助系統、XR 虛擬實境訓練、自走載具技術開發)。其中共四項應用已經整合 5G 通訊，簡述如下。

- **危險作業遠程操控：**鋼鐵行業的高溫區域，存在高熱、噴濺等工安風險，無法自動化的場域，還是要透過手動方式來作業，因此操作者都盡量遠離危險作業區，但視角受到侷限不易精準操控。5G 大頻寬、低時延特性，可將現場影像、數據回傳，提供作業人員完整視角，大幅降低風險、提高作業效率。
- **行車安全輔助系統：**車輛在長距離移動時，必須透過無線網路回傳行車影像及數據，才能確實掌握車輛動態。導入 5G 做為長距離無線傳輸工具，將行車影像呈現於調度中心外，透過人工智慧影像辨識，輔助駕駛監測車輛狀態，大幅提升行車安全。
- **專家遠端協作系統：**數位轉型可以改變決策的方式及速度，過往現場發生問題時，僅能以口述的方式與專家討論，或等待專家至現場指導，擴大設備損害程度或是浪費時間成本。開發專家遠端協作系統 APP，利用平板或手機透過 5G 網路，隨時隨地召開視訊會議，並提供現場影像及製程數據，讓專家們共同決策，將傷害降到最低。
- **數位產線實境導覽：**近年來虛擬實境(VR、AR)技術蓬勃發展，強調沉浸式體驗，中鋼公司每年都有許多貴賓來訪，因此開發一虛擬熱軋產線，透過數位眼鏡或平板，提供另一種導覽體驗，未來可做為新進人員訓練或數位學生的基礎。5G 則用來做為數位模型的傳輸工具。

(三)、小結

兩個場域分別採用 N78 及 N79 之頻段，5G 的通訊技術(Communications technology, CT)網段(Network Segment)用來傳輸製程數據及決策資訊，因此相關資料流會橫跨 IT、操作技術(Operation technology, OT)網段，資安防護是首要課題，此部份則委請路竹電信研究中心協助，設計「前監後控」的資安防護架構，CT 進入 IT、OT 的網路邊界，利用實體防火牆做防護，CT 網段內部則採監控的方式，避免影響到 5G 低時延特性。

此外，中鋼也發現 5G 使用上的挑戰¹⁷，包括建置成本高，較適合重點區域導入，像是天車遠端集控；其次，支援 N79 專頻可選擇終端產品較少，必須要外接 5G Dongle 行動網卡才能到連到 5G 網路，還有在資安防護上，5G 設備或基站，尚需取得資安的國際認證。

¹⁷ iThome，中鋼如何用 5G 加速智慧製造，<https://www.ithome.com.tw/article/156616>

二、 5G 智慧科技實現夢想孕育原點計畫(遠傳電信、東華大學)

東華大學與遠傳電信於 2022 年 7 月 12 日啟動「5G 智慧科技 實現夢想孕育原點」計畫，延續過去合作打造智慧校園的基礎，宣示導入 5G 專網，共同發展 5G 校園智慧應用，並以產學合作計畫協助人才培育。

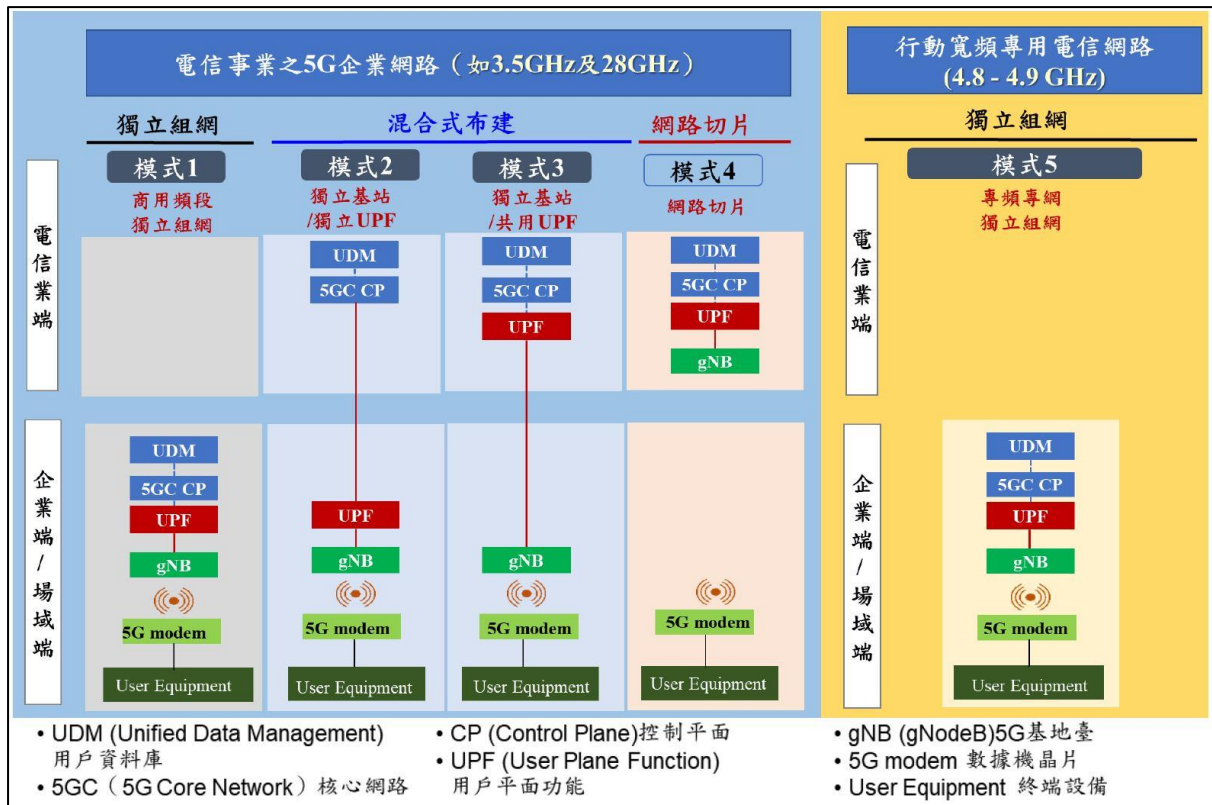
此計畫在遠傳的 5G 專網架構下，結合無人機、5G 影像串流、C-V2X 車聯網技術，共同發展全臺創新的校園 5G 智慧應用。運用無人機定期巡航與機動支援打造校園無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)道路安全巡報網，確保校園與道路安全；在 5G 影像串流系統下，即時回傳、串流無人機與校內監控影像，提升人工智慧(Artificial Intelligence, AI)影像辨識分析與及時告警效益，建構校園安全防護網；同時導入綠色運輸自駕車結合 5G C-V2X 技術，進行校內接駁與巡檢，實現低碳永續校園。

(一)、 「5G 智慧科技實現夢想孕育原點計畫」網路架構

遠傳電信利用切片技術，為東華大學提供 5G 專網，下載速度與上傳分別達 500Mbps 與 100Mbps，目前先以東華大學主校區為主，尚未擴大至美崙校區，未來視容量擴充的需要，校園內加建 5G 基地臺、邊緣運算，以擴大 5G 專網。

網路切片技術，屬於 2020 年 7 月確認的 R16 版本規範範疇，電信接取網路目前的非獨立組網(NSA)架構無法提供，得升級到獨立組網(SA)才有能

力落實網路切片。



資料來源：國家通訊傳播委員會(NCC)，2022年07月

圖 2-46、遠傳電信建置網路切片企業應用場域網路架構

(二)、「5G 智慧科技實現夢想孕育原點計畫」應用

1. 校園管理系統

由於校園佔地廣大，駐衛警在校內巡邏不易，強化校園內的安全管理，因此該校也和遠傳合作，在校內 24 個偏僻的處所設置 AI 緊急求救站，並採用 5G 通訊，取代舊有的求救鈴，這些緊急求救站可以雙向語音通話，並可顯示影像，與校園監視系統整合，結合 AI 影像辨識，例如偵測鏡頭前的人揮手求救或跌倒臥倒一段時間，觸發警告。

2. 無人機巡檢系統

結合校區內的 5G 專網，東華大學導入無人機，除了無人機的定期巡航校園，當校園內道路發生車禍時，在校方人員尚未抵達時，先派遣無人機至現場，或是針對車牌登記異常的車輛(汽車或機車)，以無人機在空中追蹤，結合校內的監控影像，提升校園內安全。

在 5G 的高速傳輸之下，即時回傳影像，如串流無人機與校內監控影像，搭配 AI 影像辨識自動告警，強化校內安全。



資料來源：東華大學/iThome 新聞，2022 年 07 月

圖 2-47、東華大學以 5G 無人機強化校園安全

3. 5G C-V2X

東華大學在校園內測試自駕電動車，在宿舍、教學大樓、行政中心，固定路線行駛接駁。這項自駕車測試還搭配 5G C-V2X，連接校內的路口號誌，對自駕車提供碰撞告警。

(三)、小結

5G 發展趨勢帶動學界積極投入 5G 應用方案研發及驗證，並發展人才培育計畫。除了建構 5G 網路環境進行教學實驗應用，也在校園中導入相關智慧解決方案，讓師生於校園生活中實際感受 5G+AIoT，除了提高學校的教學與研發環境規格，更滿足教師/學生創意發想與技術驗證需求。

而在網路架構上選用商頻(N78)專用網路搭配切片技術，除了可以快速佈建以外，同時可避免公網環境因素干擾，提供單純測試環境，加速項目驗證時程。

第九節 計畫間競合關係研究

計畫間競合關係研究包含計畫之間的直接競爭，及計畫間相互互補的競合關係，本研析報告針對此五大類(智慧工廠、智慧展演、非地面通訊應用、智慧醫療、智慧交通)，計畫間功能競爭分析及合作機會分析如下。

一、 智慧工廠類計畫間競合關係研究

- 本研析案例「5G AIoT 智慧製造應用計畫」，與經濟部產業發展署(原工業局)之「智慧城鄉計畫-高效率的 5G 產線自動化智慧工廠」，相同之處在於自動化工廠之應用皆含 AMR/AGV、IP Cam 等工廠自動化所需設備，相異處在於高效率的 5G 產線自動化智慧工廠，其 5G 核網、集中式單元(CU)、5G 分散式單元(DU)、5G 無線電單元(RU)皆位於工廠之同一網域，此架構稱為”本地核網”；此研析 5G AIoT 智慧製造應用計畫案例，核網雲端化之網路架構，其 5G 集中式單元(CU)、5G 分散式單元(DU)、及 5G 無線電單元(RU)在智慧工廠同一網域，5G 核網則架構在雲端；目前法規定義 5G 專頻專網頻段為 4.8~4.9GHz，並定義 5G 專網連接雲端服務需經由特別審查¹⁸(第二章、第一節、第十四條、一：依第十二條第一項第七款規定提出連接雲端服務之情境規劃者...特別審查應由主管機關邀

¹⁸ 數位發展部，行動寬頻專用電信網路設置使用管理辦法.pdf, 2023/7

集相關機關與專家學者進行之。)，在此案例中，5G 專網為連接 5G 雲端核網，且不經由公眾網路，藉由虛擬專用網路(VPN)之連接，以達到 5G 基站與 5G 核心網路連網架構之需求，故以競合之關係比較本地核網及核網雲端化之優缺點(表 2-5)。

表 2-5、本地核網與核網雲端化之比較

	本地核網	核網雲端化
安全性	高	有顧慮 (需訪問網際網路)
擴充彈性	低 (因需求調整硬體設備較耗時)	高 (可依需求隨時調整硬體需求)
易用性	低	高 (可從不同地點訪問核網狀態)
成本	初期建置成本高、 維護成本低	初期建置成本低、 維護成本依據使用費調整

資料來源：本計畫整理，2023 年 10 月

二、 智慧展演類計畫間競合關係研究

研析案例「元宇宙之究極奧義~無限列車」與類似智慧展演補助計畫-智慧城鄉補助計畫「三立 5G GO 影視娛樂大躍進計畫」案例不同之處在於元宇宙之究極奧義~無限列車是一個移動的元宇宙環境，可以讓觀眾在不同地點體驗元宇宙之奧秘，甚或結合與現場參與觀眾之互動技術，讓參與觀眾在互動過程中，體驗引人入勝且隨互動變化之沉浸式情境；三立 5G GO 影視娛樂大躍進計畫為異地展演計畫，利用兩地固定地點異地同時演出，並將異地演出之高解析影音訊號傳送給對方，形成異地共演之現場畫面；然而元宇宙之究極奧義~無限列車由於穿越在不同之捷運站間，5G 網路之連網則因捷運站體為地下捷運站或地面(或高架)捷運站，依據目前此計畫之 5G 專頻專網(4.8GHz~4.9GHz)，將因 5G 專網管理辦法之第三章第一節第十八條¹⁹：設置行動寬頻專用電信網路，其設置區域邊界之無線電波功率強度應小於-125 分貝毫瓦特(decibel-milliwatts, dBm)，將規劃於地下捷運站內。

「5G 智慧影音沉浸式展演計畫」與近年智慧城鄉補助計畫「三立 5G GO 影視娛樂大躍進計畫」競合分析，本研析案例 5G 沉浸式展演的差異點在於基於 5G 大頻寬、低延遲多視頻訊號之同步技術，應用於沉浸式展演應用伺服器與屏幕投影器之間通訊，單一影像多屏幕畫面之傳送時間影像訊號同步，與 5G 異地展演不同之處在於異地影像互傳之資訊流架構。

¹⁹ 數位發展部，行動寬頻專用電信網路設置使用管理辦法.pdf, 2023/7

三、 非地面通訊應用類計畫間競合關係研究

此研析案例「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」計畫，與其他 5G 專網應用計畫相異之處在於其回傳網路藉由衛星鏈路回傳；由於在戰時、或天然災害緊急狀態下，在被破壞災區建立 5G 專網網路後，因一般回傳網路(例如：光纖網路、同軸電纜線網路、ADSL 網路)已經被破壞，此時利用衛星鏈路回傳則較為不易受地形、地物影響之回傳網路媒介。

我國目前衛星鏈路服務，大部分依據國際大廠之衛星服務定義衛星鏈路頻譜，觀察大部分研究國家如歐盟、英國與日本，基本上現階段低軌衛星頻譜資源主流頻段以 C 頻段(3-8GHz)、Ku 頻段(12-18GHz)與 Ka 頻段(26-40GHz)為主；在 C 頻段與 Ku 頻段，國內頻譜規劃已與其他無線通訊應用技術分開，但在 Ka 頻段，則因 5G 毫米波(Millimeter Wave, mmWave)頻段也規劃於 24.25-27.5 GHz，未來在此頻段，兩種通訊技術如何和諧使用，是未來研議之議題。

四、 智慧醫療類計畫間競合關係研究

此研析案例與其他遠距醫療案例之差異及突破點，傳統遠距醫療計畫提供遠距視訊看診、或以病患端掃描超音波照片回傳醫師端，醫生在遠距分析超音波照片及看診後，提供醫囑；本研析案例「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」則必須在遠距監看腹部超音波畫面之同時，遙控腹部超音波掃瞄儀器，此特性必須讓病患端影像、及超音波掃瞄儀器之控制，依賴大頻寬、低延遲通訊技術下，達到遠端遙控腹部超音波掃瞄儀器、及超音波影像即時顯示之功能；而醫師端遙控病患端腹部超音波之探測器，則需要在即時通訊技術下，控制超音波探測器在醫師之預設方向、角度及力量，並降低遠端遙控病患端腹部超音波掃瞄器之不適感。

本研析案例「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」，與一般商頻專網遠距醫療計畫不同之處，在於本研析案例在上行速率需要比下行速率更寬，並維持通訊傳輸低延遲之要求；一般商頻專網則依據標準頻寬規劃，亦即下行速率遠大於上行速率，於此情境中無法完全滿足。

五、 智慧交通類計畫間競合關係研究

「淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫」與其他國內車聯網案例「沙崙自駕車測試示範場域 - 台灣智駕測試實驗室(Taiwan CAR Lab)」之差異及突破點，在於沙崙自駕車測試示範場域為封閉型區域，該測試示範場域內自駕車皆裝載車載單元(OBU)，並與所有路側單元(RSU)連線取得即時道路相關資訊；淡海新市鎮智慧交通場域試驗計畫從目前第一期淡海新市鎮區域，擴充到第二期，規劃與一般人、車並行並不相同，淡海區域第二期計畫，必須與原有道路設計、及原有道路交通號誌之整合；淡海新市鎮第二期 5G 車聯網計畫，在舊有設計道路與行人、或者是與傳統未裝置車載單元(OBU)之車輛，測試整合現有 5G 車連網系統與未支援 5G 車聯網系統之車輛和諧共存，將是此計畫之重要議題。

第十節 總結

在本研析報告中，研析各國內頻率資源創新應用的案例，並主要聚焦於三個方向深入探討這些創新應用對網路架構、頻譜資源的需求，以及頻率資源法規對創新應用的影響。

首先，著重分析創新應用對網路架構的需求及其影響，隨著科技的不斷發展，新興應用如物聯網、5G 行動通訊等對網路基礎設施提出更高的要求，在各研析案例中，許多創新應用需要更快速、更穩定的網路連接，這對現有的網路架構提出挑戰。

其次，本研析深入探討創新應用對頻譜資源的需求，不同的創新應用對頻譜的需求有各種不同的特性，有些應用需要更寬的頻段以實現高速傳輸，而有些應用則對頻譜的使用有更高的效能要求，這使得頻譜資源的合理分配和管理變得至關重要。

最後，本研析報告對頻率資源法規對創新應用的影響進行全面的調查；電信法相關法規，在塑造整個創新應用生態系統的過程中發揮著舉足輕重的作用。研析各國內頻率資源創新應用案例，針對以上創新應用對網路架構之需求及影響、創新應用對頻譜資源需求及探討頻率資源法規對創新應用之影響三方向，綜整如下：

表 2-6、綜整國內頻率資源創新應用案例

項次	國內頻率資源創新應用類別/研析案例名稱	網路架構現況/頻譜資源現況	網路架構影響/頻譜資源需求/頻率資源法規需求
1	智慧製造應用-「5G AIoT 智慧製造應用」	<ul style="list-style-type: none"> 智慧製造應用-企業專網架構中,所有 Wi-Fi、5G 網路、RFID、UWB 網路皆在企業內網;智慧製造應用-核網雲端化架構,則 5G 基站及 5G 終端設備在企業內網,但 5G 核網則位於網際網路雲端伺服器 5G 專頻專網頻率:4.8-4.9GHz、Wi-Fi 網路頻率:2.4-2.462GHz 及 5.18-5.85GHz、RFID:125KHz、UWB:3.1-10.6 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> 為因應未來核網雲端化、與軟體定義網路雲端(邊緣)化架構,後續可研議 5G 專網連結雲端核網之連結限制 建議研議 6G IMT 新頻譜與 Wi-Fi 6E/ Wi-Fi 7 之頻譜資源規劃
2	智慧影音應用-「元宇宙之究極奧義~無限列車計畫」	<ul style="list-style-type: none"> 本研析案例 5G 專網網路皆位於車站內部,車站內部主機伺服器透過網際網路連接應用軟體伺服器 5G 專頻專網頻率:4.8-4.9GHz、Wi-Fi 網路頻率:2.4-2.462GHz 及 5.18-5.85GHz 	<ul style="list-style-type: none"> 此應用之列車車站含括地下車站、地面車站、與高架車站,地面車站、與高架車站在建置 5G 基地台,基地台訊號覆蓋範圍可能超過列車車站站體,後續可研議目前 5G 專網場域邊界訊號強度 < -125dBm 之規範 考慮此類應用可衍生更多人機互動,建議後續可研議 5G 專網之連結外網限制
3	智慧交通應用-「5G 車聯網計畫」	<ul style="list-style-type: none"> 5G 車聯網架構以 RSU 及 OBU 形成 C-V2X 實驗網路 	因應目前 5G 車聯網以實驗網形式申請,RSU/OBU 設備常常因實

項次	國內頻率資源 創新應用類別/ 研析案例名稱	網路架構現況/ 頻譜資源現況	網路架構影響/ 頻譜資源需求/ 頻率資源法規需求
		<ul style="list-style-type: none"> 5G 車聯網頻率：5.85 – 5.925GHz 	驗需求動態調整，建議可研析如何簡化型式審驗流程
4	韌性網路建設應用 - 「5G 專網結合可移動衛星之數位韌性通訊系統應用」	<ul style="list-style-type: none"> 5G 專頻專網、或 Wi-Fi 網路連結消防局設備車與災難現場之可攜式裝備，消防局設備車則以衛星網路作為回程網路與指揮官辦公室連結 5G 專頻專網頻率：4.8 – 4.9GHz、W-Fi 網路頻率：2.4 – 2.462GHz 及 5.18 – 5.85GHz、衛星通訊頻率：26.5 – 40 GHz(Ka band) 	數位韌性通訊系統應用在營運商無訊號覆蓋區域/或緊急(戰時)之通訊系統，未來可研議不同營運商之間互通相容性，如：多電信商核心網路 (Multi-Operator Core Network, MOCN)、多營運商無線接取網路 (Multi-operator Radio Access Network, MORAN)、虛擬行動網路服務經營者 (Mobile Virtual Network Operator, MVNO) 之議題
5	智慧醫療應用 - 「5G 遠距腹部超音波遙控診療計畫」	<ul style="list-style-type: none"> 以 5G 專頻專網連結巡迴醫療車上遠距超音波設備與偏鄉地區辦公室，偏鄉地區辦公室以 VPN 與市區醫院醫師連線 5G 專頻專網頻率：4.8 – 4.9GHz 	<ul style="list-style-type: none"> 5G 專網建置需提前申請核定，申請文件需明訂設置區域及使用電波涵蓋區域等，偏鄉遠距醫療佈建之 5G 專網因為臨時建置，較難事先提出完整申請文件資訊，且規劃耗時造成建置成本過高 偏遠地區醫療 5G 專網連接回都市醫療中心，需透過雲端連接及需連接公眾電信網路等，未來待相關單位研議如何放寬限制
6	智慧影音應用 - 「5G 智慧影音	<ul style="list-style-type: none"> 以 5G 專頻專網連結 MiFi 與沉浸式展演軟 	<ul style="list-style-type: none"> 5G 專頻專網建置需提前申請核定，展演場地

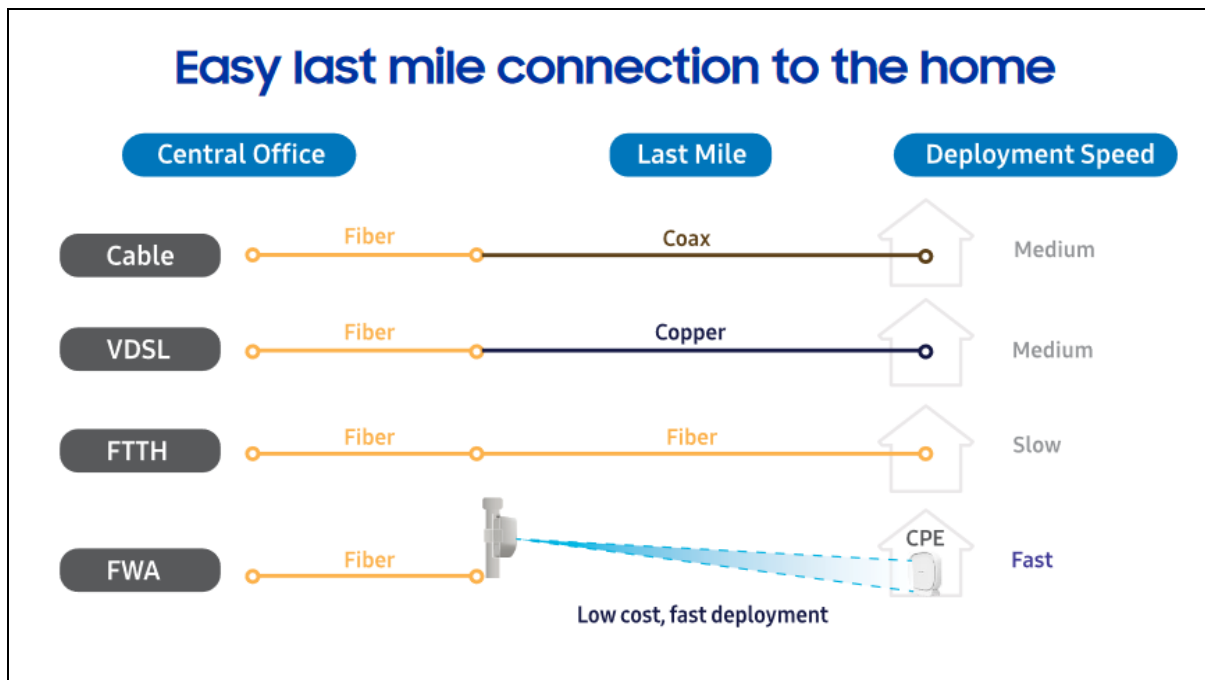
項次	國內頻率資源創新應用類別/研析案例名稱	網路架構現況/頻譜資源現況	網路架構影響/頻譜資源需求/頻率資源法規需求
	沉浸式展演計畫	體應用伺服器 • 5G 專頻專網頻率：4.8 – 4.9GHz	常因演出需求動態佈建及場域溢波 (<-125dBm) 等較難事先提出完整申請文件資訊，規劃耗時造成 5G 專網建置成本過高 • 沉浸式展演透過 5G 專網連接雲端 IP，建議明訂 5G 專網連接雲端「特別審查程序」審查機制
7	智慧製造應用 - 「中鋼 5G AIoT 推動計畫」	• 智慧製造應用-智慧軌道運輸，以 5G 商頻專網連結軌道運輸 IoT 設備；智慧製造應用-軋鋼智慧工廠以 5G 專頻專網連結軋鋼 IoT 設備與工廠監控中心伺服器 • 5G 商頻專網頻段：N78, 商用頻段；5G 專頻專網頻段：4.8 – 4.9GHz	
8	智慧校園應用「5G 智慧科技實現夢想孕育原點」計畫	• 以 5G 商頻專網連結校園監控中心與 UAV 安全巡報裝置、校園監視裝置、與遠距醫療裝置 • 5G 商頻專網頻段：N78, 商用頻段	

資料來源：本計畫整理，2023 年 10 月

第三章 國際新應用模式研析

第一節 5G 固定無線接取(Fixed Wireless Access, FWA)

進入 5G 時代，基於 5G 所具備大頻寬特性，使固定無線接取(Fixed Wireless Access, FWA)成為另一種是用於最後一哩寬頻網路之解決方案。以往家用固定寬頻服務為雙絞線、同軸電纜到光纖等有線固網寬頻；隨著行動寬頻快速普及後，整合行動寬頻網路與家用終端設備(CPE)固定無線接取成為新興提供家用寬頻服務之解決方案²⁰，如圖 3-1。



資料來源：Samsung，2021 年 11 月

圖 3-1、家用寬頻網路最後一哩技術型態

隨著 5G 技術發展，FWA 成為一個成本效益高且具有超高速寬頻解決

²⁰ 5G Fixed Wireless Access - A powerful alternative to fiber to the home. 5g-fixed-wireless-access-a-powerful-alternative-to-fiber-to-the-home.pdf (samsung.com),2022/12/21

方案的替代選擇，尤其適用於光纖布建與維護成本過於昂貴的地區，可用於提供給缺乏服務區域之民眾和企業，擁有可接取寬頻近用之機會。例如，在美國，T-Mobile 於 2022 年底已累積超過 250 萬的 5G FWA 用戶，並預估在 2025 年增長為約略 700 至 800 萬，其競爭對手 Verizon 則將目標訂為 400 至 500 萬。合計兩業者的用戶成長預測，預期 5G FWA 在美國固定寬頻市場應取得約 10% 的市占率。

全球行動通訊系統協會(Group Special Mobile Association, GSMA)於「2023 年全球行動經濟報告(The Mobile Economy 2023)」中指出，FWA 將被視為 5G 網路重點應用型態之一。截至 2023 年 1 月，全球近 50 個國家已有超過 90 家固定寬頻服務提供者(絕大多數同時也是行動網路業者)推出 5G FWA 服務，相當於約 40% 商轉中的 5G 網路提供 FWA 方案。²¹

相較於 4G 或其他 FWA 技術，使用 5G 技術的 FWA 方案能實現超過 10 倍的接取速率增長，並在容量方面呈現實質改善。目前大多數的 5G FWA 佈建都是以 3.5-3.8 GHz 頻段為主，但全球電信業者將逐漸開始使用 5G 毫米波(mmWave)頻段，做為提高網路容量與效能的補充手段。此外，電信設備大廠也紛紛取得突破，推出毫米波增程(extended range)解決方案，整合 5G 中頻段與毫米波頻段，並利用配備大規模陣列天線(Massive Multiple-Input Multiple-Output, Massive MIMO)與波束成形(Beamforming)技術的基地臺，

²¹ GSMA (2022), The Mobile Economy 2023, available at: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2023/03/270223-The-Mobile-Economy-2023.pdf>

將訊號高強度的集中在特定方向上的終端設備，即 5G FWA CPE，以達成更好的訊號接收。經過實證顯示，透過毫米波增程等作法後，能改善 5G 毫米波的訊號有效傳輸範圍方面，從以往的 600-900 公尺擴大到 5-10 公里，並在此距離範圍內實現超過 1 Gbps 的下載速率。

GSMA 在其報告中，根據全球 FWA 發展概況，總結出對電信業者的六大機會：數位用戶線路替代、協助現階段仍未連接網路者得以連接寬頻網路、次要住宅、做為有線電視替代方案、光纖上網的挑戰者、為店鋪商家提供服務。依據不同國家地理條件及寬頻環境，FWA 被採用的理由不盡相同，如表 3-1。

表 3-1、5G FWA 六大機會

	美洲		歐洲		亞洲		
	美國	美國	挪威	芬蘭	日本	澳洲	印度
	T-Mobile	Verizon	Telenor	Telia	DoCoMo	TPG	Jio
5G FWA 用戶數/目標(萬)	260/ 700-800	145/ 400- 500	12/ N/A	31/ N/A	47/ N/A	16/ N/A	N/A/ 10,000
數位用戶線路替代方案	符合(V)	V	V	V	V	V	
提供網路給未連網者	V	V	V	V			V
次要住宅	V	V	V	V			
有線電視替代方案	V	V					

	美洲		歐洲		亞洲		
	美國	美國	挪威	芬蘭	日本	澳洲	印度
	T-Mobile	Verizon	Telenor	Telia	DoCoMo	TPG	Jio
光纖上網的挑戰者	V	V			V	V	
為店鋪商家提供服務	V	V					

資料來源：GSMA Intelligence，本研究整理，2022年7月

GSMA 發現，對於仍以數位用戶迴路(Digital Subscriber Line, DSL)固網寬頻技術為主導的市場中，由於 5G FWA 具備轉換動機明確的優勢，其普及和成長率可能會最明顯。由下圖呈現的全球已開通 5G FWA 的國家區域示意圖中可發現，主要已開通區域多為土地幅員廣大、人口稠密度低而寬頻建設不易之國家，特別是美國、加拿大、北歐國家、部分歐盟國家以及澳洲。另外，在寬頻普及率較低但民眾收入日漸增加的國家，例如菲律賓和南非，5G FWA 的增長速度也可能高於平均水平。隨著 5G 網路商轉拓展到發展中市場，例如印度，5G FWA 的市場增長潛力將進一步擴大。

Figure 16

Markets where at least one operator has commercially launched 5G FWA services



Data correct as of January 2023
Source: GSMA Intelligence

資料來源：GSMA，本研究整理，2023 年 3 月

圖 3-2、全球已開通 5G FWA 的國家區域示意

接下來的研究案例，本研究挑選美國、挪威、芬蘭、日本及南韓等 5 個國家之相關 FWA 發展與案例，探討 5 個國家發展 5G FWA 的過程、整體頻譜策略規劃，以及創新應用案例。

一、 美國

美國聯邦訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)指出，有超過 1,800 萬美國人無法使用寬頻網路，其中有 1,400 萬人生活於偏鄉郊區。根據 Pew Research Center 的統計報告顯示，全美育有子女的低收入父母之中有 43%的人表示，其子女可能只能透過手機做功課；40%的人表示，其子女必須使用公共 Wi-Fi 來完成學業，因為家裡缺乏可靠網路連線；約三分之一(36%)的人表示，其子女可能因為家裡沒有電腦而無法完成學業。綜整相關低收入家庭無法完成作業或學業的主要原因，就是難以負擔通訊網路費用²²。

2020 年新冠疫情後，突顯美國原先隱蔽的數位落差問題，直接影響美國教育與經濟競爭力，美國政府不得不檢視其寬頻政策與資源規劃，採取更積極的做為促進網路涵蓋、消弭城鄉數位落差。此點亦成為美國 FWA 加速發展的主要驅動因素。

時至今日，美國三大行動業者及新進業者已提供各種彈性的 FWA 解決方案，為無法接取光纖網路的消費者提供連線網路，若固定寬頻網路出現故障，或頻寬無法滿足所有在家上班及上學之聯網需求，FWA 也可以當作備援，補足需求。

²² 5G Americas (2021), Fixed wireless access with 5G networks, A 5G Americas white paper.

(一)、寬頻發展策略

FCC 透過補貼政策提升寬頻網路涵蓋範圍，採取建立偏鄉數位機會基金(Rural Digital Opportunity Fund, RDOF)之作法，希望透過補貼電信服務商的偏鄉寬頻網路布建成本，拓展寬頻網路涵蓋範圍，也讓電信服務商在服務定價策略上能提供低收入家庭負擔得起的資費。此種作法成為 5G FWA 切入偏鄉寬頻網路市場的重要契機。5G FWA 採取無線通訊方式取代光纖到戶的最後一哩路，無須額外布建實體線路，不僅縮短提供服務的時間，相較於傳統光纖網路之布建，亦節省約 40%~50%的資本布建支出²³。

RDOF 第一期基金提供 92 億美元補助、第二期基金為 112 億美元，由於該基金不限制使用技術，因此吸引電信業者以 FWA、衛星、有線寬頻等技術參與競逐爭取補助金額。

FCC 認為，FWA 採取使用固定點之間的無線鏈路提供寬頻接取。FWA 解決方案的發展和新應用案例的出現可進一步消弭數位落差，為更廣泛的居民提供連網並涵蓋欠缺寬頻服務的地區。行動通訊網路技術的進步顯著提升 FWA 的下載、上傳和低延遲能力，5G 的網路普及與技術進展也促使 FWA 進一步升級，因此，FCC 將 FWA 視為擴展行動通訊應用並促進網路涵蓋降低數位落差的重要策略工具，並對願意在偏遠地區提供寬頻涵蓋的業者提供相對應的補助，此一寬頻政策對於推動 FWA 在美國發展帶來關鍵

²³ CITA (2021), 5GFixedWirelessBroadband. Helping close the digital divide in rural America. <https://www.ctia.org/news/5g-fixed-wireless-broadband>

影響。後續本研究從 FCC 對高頻段之頻譜管理及 5G 頻段發照的角度來描繪 FWA 之發展背景。

(二)、5G 頻段規劃及執照釋出方式

FWA 並非專屬執照項目，而是因應需求而生的產品技術服務，擁有頻譜執照的既有行動網路業者(Mobile Network Operator, MNO)可採用該技術拓展市場，新進電信服務商或傳統固網業者也可以使用該技術搶攻新市場。

在頻譜規劃或發照策略上，FCC 並未特別針對 FWA 規劃特定頻段，除了逐年發放的 5G 頻譜之外，美國在頻譜管理上也發展出鼓勵頻譜共用或再利用之彈性頻譜管理。例如，FCC 為鼓勵業者使用 24 GHz 以上之頻段，最早於 2015 年提出較高頻段微波彈性使用服務(Upper Microwave Flexible Use Service, UMFUS)之概念，針對 24GHz 以上已有應用服務或已拍賣釋出之執照，依照不同頻段特性以拍賣或變更頻段執照的方式設計彈性化頻譜管理方法²⁴，透過頻譜整備、轉換、重新競標來整理 UMFUS 頻段與其他既有服務間之相互干擾問題，進而促進其使用效率，也使得 FWA 應用服務提供商得以透過該方法取得更多頻譜。較高頻段微波彈性使用服務彈性頻譜管理涵括之頻段包括 24GHz、28GHz、37GHz、39GHz、47GHz。

24GHz 以上頻段之既有應用包含廣播衛星使用的 24GHz 與 37GHz。同

²⁴ MIC (2021), 美國 FCC 推動上層微波彈性使用服務之規劃觀察

時，24GHz 與 28GHz 也是固定衛星業務(Fixed Satellite Service, FSS)地面發射至太空之頻段；37GHz 與 39GHz 則是 FSS 空中向地面發射；部分 39GHz 與 47GHz 也供軍事機關使用。

由於 UMFUS 位於高頻段之傳播特性，其服務範圍受限於傳輸距離，因此可透過地理區劃分的方式避免干擾。對於在頻段內引進行動通訊服務後，頻段間如何共享、服務之間優先順序、如何避免使用干擾等問題，也開放進行相關業者討論與商業協調，透過地理區域執照及共享框架解決干擾問題。此外，由於事先排除較易產生爭議頻段，如 40-42 GHz、48.2-50.2 GHz 之衛星核心頻段，以及在技術上無法進行頻段共享的 26 GHz 高空平臺(High Altitude Platform Station, HAPS)應用，也是 UMFUS 之頻譜共享彈性管理成功的主因之一。

在地理劃分上採用州或經濟地理區的執照規則，執照為期 10 年，FCC 分別於 2018 年 11 月進行 28 GHz 的頻譜競標，2019 年 3 月進行 24 GHz 的競標，2019 年 12 月進行 37 GHz、39 GHz、47 GHz 競標。UMFUS 除了吸引美國全國性電信服務業者，如 Verizon、AT&T、T-Mobile 等，其創新也吸引知名新創業者 Starry 加入。

對美國的行動業者來說，提供 FWA 能充分發揮頻譜優勢，低頻段的 5G 頻譜可建置較少基地站數量為農村及服務欠缺地區提供服務。中頻段頻譜兼具容量與涵蓋範圍，毫米波則可提供範圍較小而集中之區域的更大容量。

由下表 FCC 歷年 5G 頻譜釋照時程可見，雖中頻段頻譜較晚發放，但目前為止，美國行動業者已可在中高低頻段開展 5G 相關技術與服務：

表 3-2、美國 5G 執照頻譜拍賣時程

頻段	時間	業者
2.5 GHz	Jul-22	T-Mobile、Verizon、US Cellular、PTI Pacifica、TeleGuam Holding、Evergy Kansas Central
3.45 GHz	Nov-21	AT&T、Dish、T-Mobile、US Cellular、許多小公司
3.5 GHz	Aug-20	Verizon、Dish 及少數幾家有線電視業者
3.7 GHz	Feb-21	Verizon、AT&T、T-Mobile 及 US Cellular
28 GHz, 39 GHz	Apr-17	AT&T
28 GHz	Jan-19	Not disclosed
24 GHz	Jun-19	Not disclosed
600 MHz	Mar-17	T-Mobile、ComCast、US Cellular、Dish 及 AT&T

資料來源：Omdia、本研究整理 2023 年 4 月

5G Americas 白皮書列出符合 5G 技術有機會供 FWA 使用頻段如下²⁵：

- 低頻段：20 MHz 載波可以讓大多數農村和服務欠缺的地區從少量站點獲得合理的服務。該低頻段亦可用在擴展 2.5 GHz 和 3.5 GHz

²⁵ 5G Americas (2021), Fixed wireless access with 5G networks, A 5G Americas white paper.

中頻段布建多用戶多輸入多輸出 (Multi-User Multiple-Input Multiple-Output , MU-MIMO)之涵蓋範圍。

- 中頻段：包括 2 GHz、2.5 GHz 和 3.5 GHz。
- 毫米波：雖然毫米波的穿透力或涵蓋範圍不如中頻段，但其在 24、28、39 和 47 GHz 能提供較大頻寬(100MHz)。通過載波聚合等技術的中頻段與高頻段載波的組合，將可為靠近服務區域的用戶提供非常高的數據傳輸量，同時仍然能夠以中頻段頻譜為更廣泛的用戶提供高品質服務。

美國行動業者協會(Cellular Telecommunications Industry Association, CTIA)於 2023 年 4 月發布的報告估計，為滿足美國國內 5 年內的無線需求，未來 5 年仍將需大約 400MHz 的頻譜，10 年後將需要超過 1,400MHz 的頻寬²⁶。該報告並指出，FWA 將增加特許執照之網路容量負載，FWA 可能也是第一個受到網路超載影響的服務。CTIA 表示，目前 5G FWA 家庭寬頻僅在行動業者具有可用網路容量的位置提供，若無新增額外頻譜，FWA 將無法達到其潛在規模，進而限制家庭寬頻市場的競爭。該分析表明，考慮到需求增長的速度，技術解決方案和部署更多行動基站並不足以緩解美國行動網路目前面臨的容量限制，5G FWA 的技術雖結合 Wi-Fi 提供寬頻網路服務，但最終其流量還是必須由行動業者提供。

²⁶ CTIA (2023), How much licensed spectrum is needed to meet future demands for network capacity? <https://api.ctia.org/wp-content/uploads/2023/04/Network-Capacity-Constraints-and-the-Need-for-Spectrum-Brattle.pdf>

(三)、5G FWA 應用案例

1. 既有行動業者的 FWA

在美國三大行動業者的 5G 進展方面，2022 年 8 月新的 2.5 GHz 頻譜拍賣(FCC Auction 108)結束後，T-Mobile 以超過 3.04 億美元的價格取得最多的區域執照，這將擴充其持有的 2.5 GHz 執照的 5G 關鍵頻段。T-Mobile 共獲得 7,156 張區域執照—遠超過 US cellular(34 張執照，共出價 350 萬美元)或 Verizon(12 張執照，共出價 150 萬美元)，僅 AT&T 最終未在該次拍賣取得任何執照。

T-Mobile 於 2020 年 8 月首先利用 600 MHz 頻段推出 5G 獨立組網，隨後於 2022 年擴展到 2.5 GHz 頻段。2022 年 12 月，該公司表示以 600 MHz 頻段涵蓋 3.23 億美國人口，2.5 GHz 頻段超大容量則可服務 2.6 億人口。

Verizon 於 2022 年 12 月宣布其 5G 超寬頻服務涵蓋超過 1.75 億人，預計到 2023 年第一季度末將提供全國覆蓋。該公司還將在全國各地增加其 C 頻段頻譜數量，可用頻寬從 60MHz 增加到 100MHz，當所有頻譜皆可使用時，將以 200MHz 頻寬為目標。

在 FWA 的推展上，AT&T 的戰略與其他業者不同。AT&T 僅專注於 5G 和 FTTH，Verizon 則重視 FWA，截至 2022 年 3 月，Verizon 的 FWA 用戶已增至 43 萬用戶(包括企業用戶)，繼 2022 年第四季新增約 26 萬一般用戶

及近 12 萬企業用戶²⁷，2023 年第一季，再新增包含企業用戶及一般用戶共約 40 萬用戶，該公司預估到 2025 年 FWA 服務將達 400 萬用戶。T-Mobile 同樣加入 FWA 市場競爭，並預估到 2025 年達到 800 萬用戶的新里程碑²⁸。

Verizon 的 FWA 在其全國中、低、高頻段無線網路上運行，非常適合小型辦公室連線、行動零售商店、售票口及臨時營業地點等商業場所。利用毫米波(mmWave)頻段的持有頻譜則可提供超大寬頻的 5G 網路。

美國主要行動業者 Verizon 和 T-Mobile 之家庭網路資費方案皆為無限使用量。T-Mobile 在其網站上表示，用戶可以期待平均下載速度超過 100Mbps，Verizon 宣稱期望平均下載速度約為 300Mbps，相較之下，Verizon 因多半使用 5G(較 T-mobile 少用 4G 為備援網路)，並應用低、中頻及毫米波技術提供服務，故能提供較高網速。兩業者之資費方案²⁹如下：

²⁷ Telecompaper (2023), Verizon subscriber growth improves in Q4 on FWA demand, but outlook muted. <https://www.telecompaper.com/news/verizon-subscriber-growth-improves-in-q4-on-fwa-demand-but-outlook-muted--1450995> (2023/5/9)

²⁸ Telecompaper (2022), US broadband penetration to reach almost 100% by 2026 – study <https://www.telecompaper.com/news/us-broadband-penetration-to-reach-almost-100-by-2026-study--1427459> (2023/5/9)

²⁹ CNet, (2023), Verizon 5G Home Internet vs. T-Mobile Home Internet: Can You Trust a Mobile Company for Your Home's Broadband? <https://www.cnet.com/home/internet/verizon-5g-home-internet-vs-t-mobile-home-internet/#jumplink1>

表 3-3、美國主要行動業者提供之 FWA 方案資費及速率

	速率		價格/月
	下載	上傳	
Verizon	85-300Mbps	10Mbps	\$50 (符合套餐條件時\$25)
Verizon Plus	300-1000Mbps	50Mbps	\$70(符合套餐條件時\$35)
T-mobile	33-182Mbps	6-23Mbps	\$50(符合套餐條件時\$30)

資料來源：CNet，本研究整理，2023 年 5 月

在 2022 年第二季度財報中，美國 FWA 服務大幅新增的用戶數開始對有線寬頻市場施加了競爭壓力。T-Mobile 和 Verizon 在此期間總共增加 816,000 個新 FWA 用戶，而有線業者 Charter 和 Comcast 在此期間總共失去了大約 21,000 個寬頻用戶³⁰。

雖然有線電視公司承認 Verizon 和 T-Mobile 正在蠶食家庭 ISP 接取核心市場的事實，然而，分析師卻表示，FWA 難以在未來數年內繼續保持其對有線電視的競爭優勢，主要是 5G 網路容量不如有線電視網路大，而且 FWA 用戶的盈利能力不如有線電視網路。

這意味著 T-Mobile 和 Verizon 可能會在 2022 年到 2023 年報告其 FWA 業務的顯著增長，但在某個時間點之後，他們的網路將充滿 FWA 流量，導

³⁰ Mike Dano (2022), A look at FWA's Pyrrhic victory over cable.
[https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access-\(fwa\)/a-look-at-fwas-pyrrhic-victory-over-cable/a/d-id/779421](https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access-(fwa)/a-look-at-fwas-pyrrhic-victory-over-cable/a/d-id/779421)

致無法支持任何更多用戶，除非購買更多頻譜或更多設備。

FWA 熱潮的主要因素推動是 5G 中頻段頻譜的可用性，T-Mobile 和 Verizon 都在全國頂級市場部署了高達 100MHz 或更多的中頻段頻譜。該頻譜為他們提供新增的 FWA 用戶網路容量，但 FWA 用戶之使用型態不同於以智慧型手機為主的用戶，根據統計，普通網路家庭每月消耗近 500GB，而 Ericsson 則表示，普通智慧手機用戶每月僅消耗 12GB。

Verizon 認為智慧手機流量通常在中午 12 點到 6 點之間達到峰值，FWA 流量通常在下午 6 點之後開始。儘管如此，事實仍然是 FWA 用戶消耗的網路資源是智慧型手機用戶的 40 倍左右，然而兩者產生的利潤大致相同。

當然，T-Mobile 和 Verizon 也有選擇。電信業者可以購買更多頻譜，包括毫米波(mmWave)頻譜等，以增加網路容量。業者還可以透過網路共構共站技術，將多個蜂巢基地臺站點布建於以往只有一個基地臺的位置。但此一選擇之代價是，有些寬頻網路難以涵蓋之偏鄉地區，可能缺乏足夠的用戶可保障其回收投資，缺乏經濟效益。在密集的城市地區，用戶則可選擇更高速的有線寬頻服務。目前尚不清楚 FWA 業務是否能持續支持此類投資。

FWA 的問題在於成本很高，雖然在美國和全球範圍內提供服務對業者來說是有利可圖，但家庭寬頻數據量的倍數增長將帶給 FWA 極大的壓力。這也是 AT&T 表示不打算進入 FWA 市場的部分原因。AT&T 認為無線網路

難以在某些特定市場領域長期擴展。

就 T-Mobile 而言，其預測 2025 年將獲得多達 800 萬個 FWA 用戶。Verizon 亦希望擁有多達 500 萬個 FWA 用戶。兩家公司尚未提供 2025 年以後的 FWA 預測，且兩家公司目前都在投資光纖網路建設³¹。

2. US Cellular 的毫米波 FWA

US Cellular 是美國行動網路業者。該公司為 Telephone and Data Systems Inc.(擁有 84%的股份)的子公司。公司成立於 1983 年，總部位於伊利諾伊州芝加哥市。US Cellular 目前為美國第四大無線營運商，在 23 個州的 426 個市場擁有約 490 萬名用戶。

US Cellular 於 2021 年 5 月表示毫米波不僅適用於高密度都會區，在其已完成的 5G FWA 試驗中，已能夠將信號延伸到涵蓋範圍 7 公里的距離，持續平均下載速度為 1Gbps，平均上傳速率則約 55Mbps，測試地點位於威斯康辛州簡斯維爾的商用網路，與合作夥伴 Ericsson、Qualcomm 和 Inseego 在 28 GHz 頻譜上運作。

這項試驗使用 Ericsson 的天線整合無線電(天線內置射頻單元 Antenna Integrated Radio, AIR)5322 進階天線系統(Antenna Integrated Radio 5322 advanced antenna system)，以及 Inseego 的 5G 戶外用戶端設備，該設備採

³¹ Mike Dano (2023), 5G FWA networks in the US could be overloaded by 2027 – study [https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access-\(fwa\)/5g-fwa-networks-in-us-could-be-overloaded-by-2027---study/a/d-id/784443?](https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access-(fwa)/5g-fwa-networks-in-us-could-be-overloaded-by-2027---study/a/d-id/784443?)

用 Qualcomm 的 5G FWA 平臺。下圖為其測試現場照片，顯示 Qualcomm 的 5G FWA 平臺及用戶端設備與 5G 毫米波天線之可視距離。



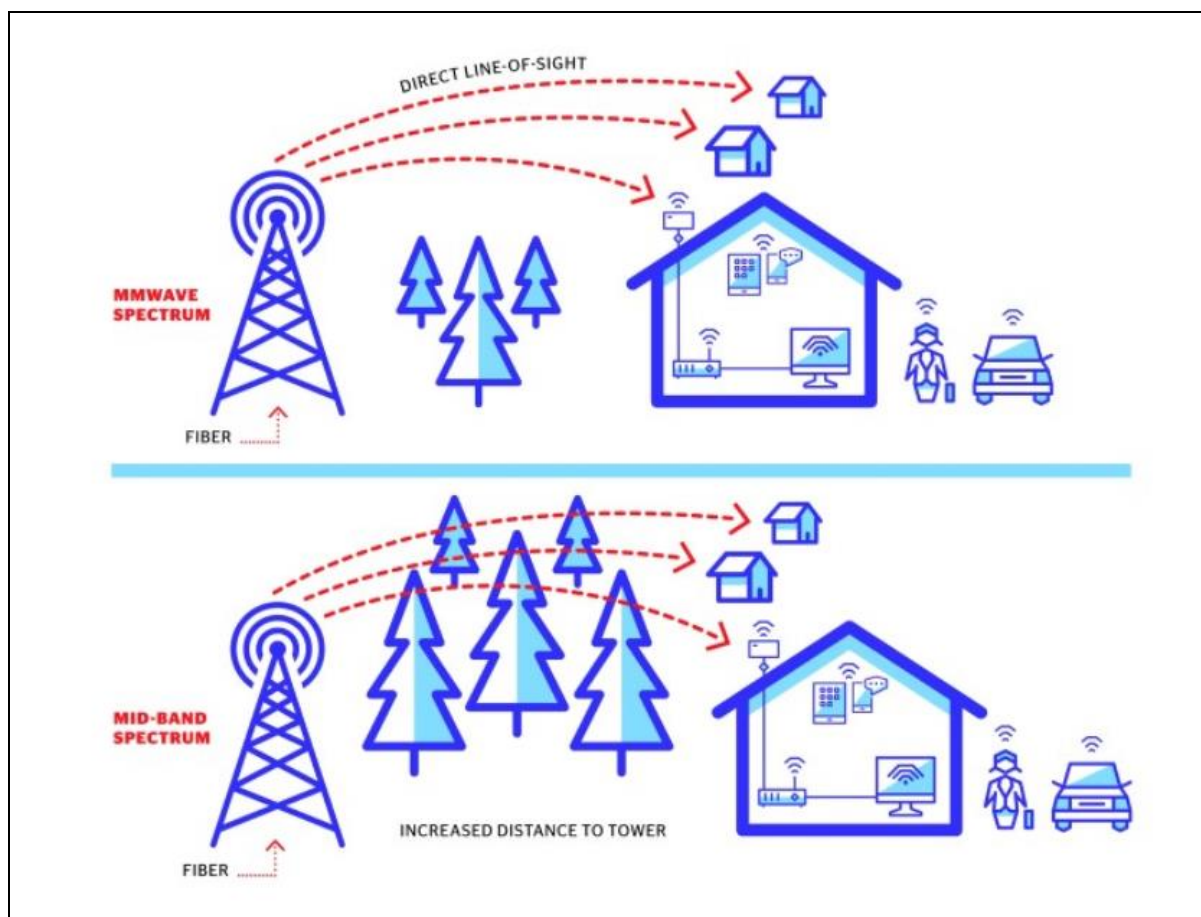
資料來源：US Cellular，2023 年 5 月

圖 3-3、US Cellular 之 5G 毫米波試驗可視距離

US Cellular 於 2023 年 5 月宣布³²，將開始在威斯康辛州的 12 家零售商店銷售其母公司 TDS 的光纖服務，並且同時也向申請 FWA 或光纖家庭網路服務的用戶提供行動服務折扣。也就是說，如果 US Cellular 的行動用戶同時申請了有線(TDS)或無線(US Cellular)家庭網路服務的服務套餐時，他們將獲得每月 10 或 20 美元的折扣。

³² Light reading Mike Dano (2023), UScellular poised for big growth in FWA. [https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access-\(fwa\)/uscellular-poised-for-big-growth-in-fwa-/d/d-id/784797](https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access-(fwa)/uscellular-poised-for-big-growth-in-fwa-/d/d-id/784797)

如前所示，其他大型營運商也對不同種類的服務提供套餐，例如 T-Mobile 和 Verizon 都為同時註冊 FWA 家庭網路服務及行動服務的用戶提供折扣。



資料來源：US Cellular，2023 年 5 月

圖 3-4、UScellular 之 FWA 服務示意圖

3. FWA 新創業者

總部位於美國波士頓的 Starry 在 2016 年成立，於 2017 年開始採用毫米波對消費者提供網速達 200Mbps 的 FWA 服務。Starry 以 4,800 萬美元參與 2019 年的 24 GHz 競標，並在全美 25 州獲得共 104 個 24 GHz 頻譜執

照，推出足以與既有行動業者競爭的家用 FWA 服務。Starry 以輕資產經營為目標，除了低成本的毫米波頻譜外，透過租用光纖網路構建其回傳網路，並運用資本市場、合作夥伴以及政府補助等槓桿取得營運資金³³。

在網路建置上，Starry 租用大樓樓頂或塔樓空間安置其小型基地臺，再搭配租用光纖回傳訊號，透過點對點訊號傳輸，在建築物頂端或是鐵塔等訊號干擾最小處發送訊號，其基地臺為這家公司專有的主動式相位陣列 (Active phased array) 天線與 MU-MIMO) 技術之結合，尺寸僅 18 英尺，涵蓋範圍為 2 公里，頻寬容量為 5Gbps，使用的頻率為 24 GHz 及 37 GHz，波束涵蓋高度 100 英尺以上。



資料來源：Starry, 2023 年 5 月

圖 3-5、Starry 安裝於大樓樓頂的小型毫米波天線

³³ MIC (2022)，從新創 Starry 看美國 FWA 市場發展。

Starry 於 2020 年克服毫米波的訊號穿透問題，將用戶市場由大樓集合住宅擴大到獨棟住宅，這些用戶因房屋設備較低矮，訊號容易被遮蔽。Starry 基地臺的無線訊號發出後，由戶外的 FWA 接收器接收。名為「Trident」、
「Point」的集合住宅用戶大樓接收器位於大樓樓頂，裝設需要經大樓業主許可。獨棟用戶所居住的獨立房屋因樓層較低，容易受到障礙物影響難以接收附近訊號，因此由專業的安裝人員安裝名為「Comet」的接收器裝置。

雖然 Starry 在 2022 年 3 月完成公開發行，由於資金市場日益嚴峻使其募資困難現金短缺，該公司已投標 2.69 億的 RDOF 補助基金並得標，但就在 FCC 準備發放資金前，Starry 宣布放棄得標資格，並在 2023 年 2 月申請破產重組。由於 RDOF 補助基金採取的投標方式附帶承諾並列有違約罰則，目前 FCC 正準備對 Starry 要求相關罰款³⁴。

(四)、研究小結

FCC 在頻譜管理上發展出鼓勵頻譜共用或再利用之彈性頻譜管理，搭配較高頻段的彈性頻率發照策略及 5G 發照，允許服務提供者與行動網路營運商在各種頻段發展 FWA 固定寬頻服務，並將 FWA 視為擴展行動通訊應用並促進網路涵蓋降低數位落差的重要策略工具，這是美國在毫米波頻段及 5G 商用頻段的 FWA 蓬勃發展之主因。

³⁴ Fierce telecom (2023), FCC wants to fine Starry, 21 others \$9M for RDOF defaults.
<https://www.fiercetelecom.com/telecom/fcc-wants-fine-starry-21-others-9m-rdof-defaults>

雖目前 Verizon 和 T-Mobile 發展的 FWA 吃到飽服務已有取代有線電視家庭 ISP 接取核心市場的趨勢，然而，受限於 5G 網路容量，FWA 未來可能將難以繼續保持其對有線電視的競爭優勢。FWA 熱潮的主要推動因素是 5G 中頻段頻譜的可用性，但根據 CTIA 的報告，FWA 將增加無線特許執照之網路容量負載，若無新增額外頻譜，FWA 將無法達到其潛在規模，進而限制家庭寬頻市場的競爭³⁵。

美國的行動網路業者及服務提供商已透過實際經驗示範了 FWA 的發展路徑，FWA 的蓬勃發展為沉寂已久的家用寬頻市場帶來有效競爭，然而，FWA 提供的家用消費寬頻市場能否持續發展，很大程度取決於頻寬數量及成本，仍有賴未來主管機關能否推出更具效率的頻譜政策，以及用戶需求是否能支撐 FWA 的商業模式，方可一窺未來前景。

³⁵ CTIA (2023), How much licensed spectrum is needed to meet future demands for network capacity? <https://api.ctia.org/wp-content/uploads/2023/04/Network-Capacity-Constraints-and-the-Need-for-Spectrum-Brattle.pdf>

二、 挪威

挪威國土面積約 38.5 萬平方公里，人口密度為每平方公里 14 人。其地形以高原、山地和冰川為主，佔全境三分之二以上。挪威海岸線全長 2.1 萬公里，以崎嶇險峻的峽灣而聞名。

挪威雖非歐盟成員，但通過歐洲經濟區(European Economic Area, EEA) 協定與歐盟相關聯。挪威與相關國家聯合設立歐洲自由貿易協會(European Free Trade Association, EFTA) 之歐洲自由貿易區監督管理局(EFTA Surveillance Authority, ESA)，負責執行與歐盟相關的協定。例如，2023 年 2 月，ESA 通過了有關佈建和使用寬頻網路所採取的政府援助措施準則，以符合歐盟執委會在 2022 年 12 月 12 日修訂通過並於 2023 年 1 月 31 日公告生效的「寬頻網路國家援助指南」(Guidelines on State aid for broadband networks)³⁶。

國際市調單位 Omdia 報告指出³⁷，挪威是少數已實現 4G 涵蓋率達 100% 的國家。自 2020 年推出 5G 以來，其涵蓋率也有顯著增長。到 2022 年 6 月底，5G 涵蓋率達到 81.5%，而 2021 年 6 月時僅為 23.3%。

另根據 GSMA 於 2022 年 10 月發布的「歐洲行動經濟報告」，截至 2022 年 6 月，歐洲 34 個市場中已有 108 家電信業者推出 5G 商用網路服務，普

³⁶ ESA (2023), ESA adopts new guidelines on State aid for broadband networks, <https://www.efasurv.int/newsroom/updates/esa-adopts-new-guidelines-state-aid-broadband-networks>

³⁷ Omdia (2023), Norway: Country Regulation Overview - 2023, <https://omdia.tech.informa.com/OM030406/Norway-Country-Regulation-Overview--2023>

及率穩步提高³⁸。該報告指出，挪威在採用 5G 方面處於歐洲領先地位，已有達 16% 的用戶使用 5G。此外，該報告還特別提及，歐洲電信業者在先進、節能技術和可再生能源使用方面處於領先地位。BT、KPN、Proximus、Swisscom、Telia 和 Vodafone 等公司，已經在網路基礎設施、資料中心和其他場所使用 100% 可再生能源，而 Orange、Telefonica 和 TIM 則預計在未來數年內達成相同目標。

(一)、寬頻發展策略

挪威發展寬頻市場秉持兩個關鍵原則：一是以最低限度監管和投資友好的法規來促進寬頻建設；二是建立市場驅動的業者投資為主，同時使用國家和地方公共資金做為商業利益不足以支持地區提供基礎建設的補充。

挪威政府於 2020 年通過「寬頻發展法」(the Broadband Development Act)。該法案將歐盟 2014/61 號指令「關於降低高速電子通訊網路佈建成本相關措施」(Directive 2014/61/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on measures to reduce the cost of deploying high speed electronic communications networks, Broadband Cost Reduction Directive，通常簡稱為 BCRD 或寬頻成本降低指令)的規定納入了國家法律體系。

挪威政府在 2025 年年底完成能為所有家戶提供 100Mbps 寬頻服務的

³⁸ GSMA (2022), GSMA report demonstrates policy action is needed for EU to achieve Digital Decade goals, <https://www.gsma.com/gsmaeurope/news/mobile-economy-europe-2022/>

目標，展現了政治上的雄心。截至 2022 年 5 月，有 90%的家戶能夠獲得 100Mbps 的上網速率，光纖或 1Gbps 的服務則已涵蓋 87%的人口。

根據挪威國家通信管理局(挪威語：Nasjonal kommunikasjonsmyndighet, Nkom)官員的公開說明，前揭 2025 年加速推展 Gigabit 基礎設施將會帶來 750 億挪威克朗(約合 70 億美元)的社會經濟效益，遠高於提供給所有人 100%光纖網路的估計成本 166 億挪威克朗；改用 4G 或 5G FWA 達成相同目標，甚至可將成本控制在 30 億挪威克朗。

經挪威地方政府和地區部(Kommunal- og distriktsdepartementet, KDD)和 Nkom 確認，2023 年將為偏鄉寬頻專案發放 3.627 億挪威克朗(約合 3,370 萬美元)的補助，較 2022 年增加 6,000 萬挪威克朗。需要注意的是，在 2022 年之前，補助對象限制在固定寬頻接取速率僅達 30Mbps 的服務不足地區，但是自 2023 年起，將向接取速率在 30 至 100Mbps 的地區提供支援。這顯示挪威政府認為，儘管商業利益是挪威固定寬頻和光纖投資的主要驅動力，但為了擴及偏遠地區，投入公共資金仍是必要的。

(二)、5G 頻段規劃及執照釋出方式

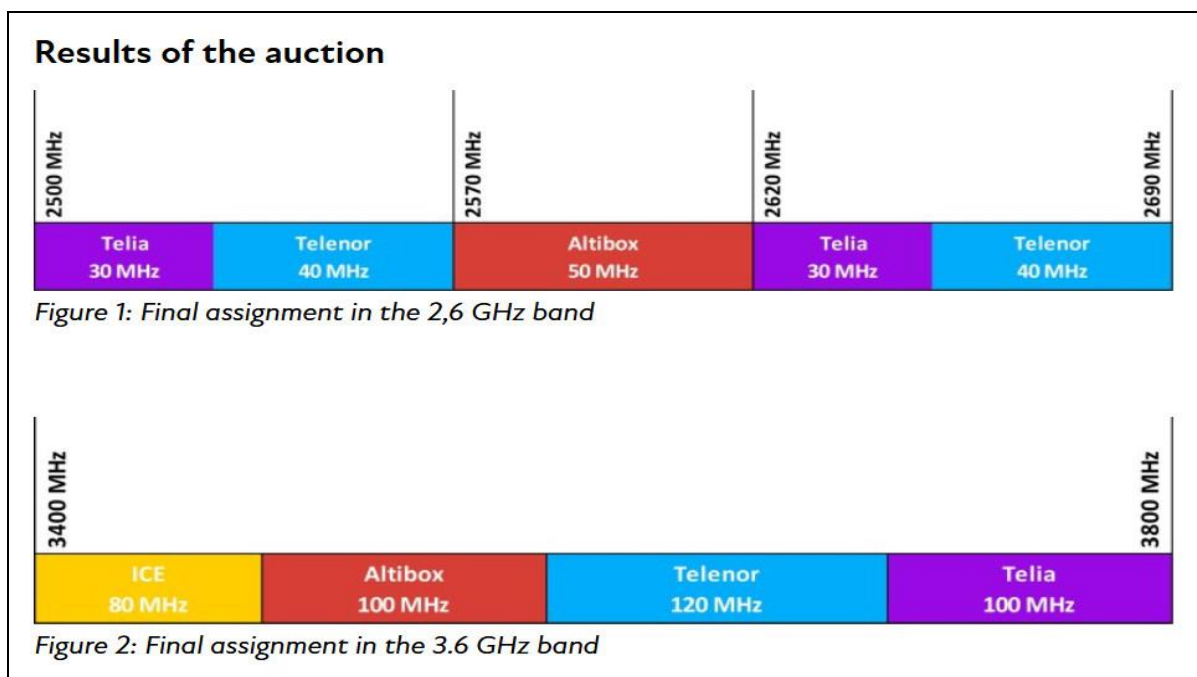
2019 年，挪威為 5G 服務分配了 2x30 MHz 的 700 MHz 頻段(703-733 MHz 和 758-788 MHz)頻譜執照。2021 年追加分配了 2.6 GHz 與 3.6 GHz 頻段的執照。2022 年 9 月，Nkom 確認將 1.5 GHz 頻段(1427-1517 MHz)和 26 GHz(24.25-27.5 GHz)頻段使用於 5G 的意圖，並於 2023 年 4 月就釋照作業

規劃辦理聽證程序³⁹。此外，2023 年 1 月，Nkom 決定將開放 3.8-4.2 GHz 頻段用於部署 5G 專網⁴⁰。

2021 年 10 月，Nkom 宣布 Telenor、Telia 和 ICE 等三家行動網路業者及光纖固定寬頻供應商 Altibox，贏得了新頻率的拍賣。該次拍賣共籌得 38.9 億挪威克朗(約合 4.44 億美元)。Telenor 出價總額 14.2 億挪威克朗，購得 2×40MHz 的 2.6 GHz 頻段和 120MHz 的 3.6 GHz 頻段；Telia 出價為 10.7 億挪威克朗，購得 2×30MHz 的 2.6GHz 頻段和 100MHz 的 3.6GHz 頻段；Altibox 以 8.3 億挪威克朗購得 50MHz 的 2.6GHz TDD 頻段和 100MHz 的 3.6 GHz 頻段。ICE 是唯一未承諾涵蓋義務以換取拍賣價金折扣的業者，以 5.54 億挪威克朗購得 80MHz 的 3.6GHz 頻段。中標者可選擇不同的付款方式，包括在五年內無息分期付款或在廿年內付款，並支付 6% 的利息費用。各業者標得之頻率範圍，如下圖示意。

³⁹ Nkom (2023), Hearing of initial assessments for allocation of the 1500 MHz and 26 GHz bands, <https://nkom.no/hoeringer/horing-av-innledende-vurderinger-for-tildeling-av-1500-mhz-og-26-ghz-bandene>

⁴⁰ Nkom (2023), Consultation of local 5G networks in the 3.8-4.2 GHz band, <https://nkom.no/hoeringer/horing-av-lokale-5g-nett-i-3-8-4-2-ghz-bandet>



資料來源：Informa，2021 年 10 月

圖 3-6、挪威 2.6 GHz & 3.6 GHz 頻段拍賣結果

挪威已確認 3.8-4.2 GHz 頻段可用於佈建 5G 專網。Nkom 在新聞稿中指出，經 2022 年進行試點後，現已開放申請上述頻段的頻譜使用執照，提供最高 80MHz 頻寬、用於在地理上有限區域內建設非公眾用途的 5G 基礎設施。執照效期 10 年，年費從 20MHz 限制低功率運作的 200 挪威克朗(20.3 美元)，到 80 MHz 允許中功率運作的 3,800 挪威克朗不等⁴¹。挪威希望 3.8-4.2 GHz 頻段能夠成為歐洲垂直產業的頻段，因為歐盟已經要求 CEPT 進行相關之研究，預期將在 2024 年 3 月前產出報告⁴²。

⁴¹ TeleGeography (2023), Nkom officially opens 3.8GHz-4.2GHz band for local 5G network deployments, <https://www.commsupdate.com/articles/2023/01/19/nkom-officially-opens-3-8ghz-4-2ghz-band-for-local-5g-network-deployments/>

⁴² European Commission (2021), Mandate to CEPT on technical conditions regarding the shared use of the 3.8-4.2 GHz frequency band for terrestrial wireless broadband systems providing local-area network connectivity in the Union, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/radio-spectrum-cept-mandates>

(三)、5G FWA 應用案例

2020年3月13日，Telenor在包括挪威首都奧斯陸等9處城鎮開通5G服務。同年11月，該公司宣布採用我國設備製造商合勤(Zyxel)的戶外型路由器NR 7101為其部署5G FWA家用無線寬頻服務⁴³，該款CPE設備可在4G網路運作，並在5G可用時提供用戶無縫升級。用戶於Telenor網站輸入居住地址，網站將依照該地點之訊號涵蓋情況，提供10、30、60和100Mbps等不同下載速率級距的FWA資費選項⁴⁴。

服務價格方面，FWA資費區間在每月599挪威克朗(約68美元)/10Mbps至999挪威克朗/100Mbps；FWA資費方案還規定了2TB行動數據流量上限，超過後下載速度將降至5Mbps。相比於FWA資費，於同年6月發布之5G行動資費最高價格為每月599挪威克朗/100Mbps，用戶若使用超過100GB的行動數據流量後，速率將被限制為最高3Mbps⁴⁵。

2022年3月，Telenor進一步推出基於5G FWA連線提供的T-We電視服務，並就兩者綑綁銷售的資費進行促銷⁴⁶，同年9月，Telenor表示通過光纖、4G及5G提供替代服務，已有94%用戶自即將結束營運之銅質雙絞電話線路，如：公眾交換電話網路(Public Switched Telephone Network, PSTN)

⁴³ Zyxel (2020), Joining Telenor Norway on their massive 5G roll out, <https://service-provider.zyxel.com/emea/en/customer-stories/telenor-norway-5g-roll-out>

⁴⁴ Telenor (2020), Super speed in your home: Now you can get 5G-ready broadband, <https://www.mynewsdesk.com/no/telenor/pressreleases/3053175>

⁴⁵ Telecompaper (2020), Telenor Norway brings in Next mobile subscriptions with unlimited data at prices dependent on speed, <https://www.telecompaper.com/news/1341274>

⁴⁶ Telecompaper (2022), Telenor Norway starts offering TV via 5G home FWA, <https://www.telecompaper.com/news/1416716>

和各種類型數字用戶線路(x Digital Subscribe Line, xDSL)，完成移轉⁴⁷。

茲將挪威 Telenor 光纖寬頻⁴⁸、5G FWA 寬頻⁴⁹，以及各別與 T-We 服務網綁銷售之資費對照，整理如下表所示。

表 3-4、2023 年挪威 Telenor 的固定寬頻資費(單位：挪威克朗)

服務內容 網速	光纖寬頻	光纖寬頻 + T-We	5G FWA 寬頻	5G FWA 寬頻 + T-We
100 Mbps	799	1,248	749	1,198
200 Mbps	N/A	N/A	849	1,298
250 Mbps	899	1,348	N/A	N/A
300 Mbps	N/A	N/A	999	1,448
500 Mbps	959	1,408	1,249	1,698
750 Mbps	1,149	1,598	N/A	N/A
1,000 Mbps	1,299	1,748	N/A	N/A

資料來源：Telenor，本研究整理，2023 年 5 月

5G FWA 家用寬頻用戶需另為戶外天線設備支付 1,999 挪威克朗(包含免費專業安裝)；網綁 T-We 電視服務且選擇網速為 100/200Mbps 的新用戶可享前六個月優惠月租 920 挪威克朗，300Mbps 優惠月租 1,120 挪威克朗，500Mbps 優惠月租則降至 1,320 挪威克朗。

⁴⁷ Telecompaper (2022), Telenor Norway says 94% of customers have switched from copper ahead of year-end shutdown, <https://www.telecompaper.com/news/1436526>

⁴⁸ Telenor, Fiber broadband, <https://www.telenor.no/privat/internett/fiber/>

⁴⁹ Telenor, Wireless Broadband, <https://www.telenor.no/privat/internett/tradlost-bredband/>

(四)、研究小結

在推展 5G FWA 服務時，電信業者需審慎選擇室內型或戶外型的用戶設備(CPE)。戶外型設備雖然成本較高且需要專業安裝，在成熟市場中，會為業者帶來額外的 100 美元支出，但與室內 CPE 相比，戶外 CPE 使用較昂貴的天線組件以達到更高的頻譜效率，故能提供 5G FWA 用戶更良好的使用體驗。以挪威 Telenor 為例，使用戶外 CPE 不僅有助於快速取代即將淘汰的 xDSL 服務，還能促使用戶選購綁定了 T-We 電視服務的套餐資費。此外，與光纖寬頻相比，5G FWA 安裝過程較為簡單，因此對施工人員專業需求也比較低。

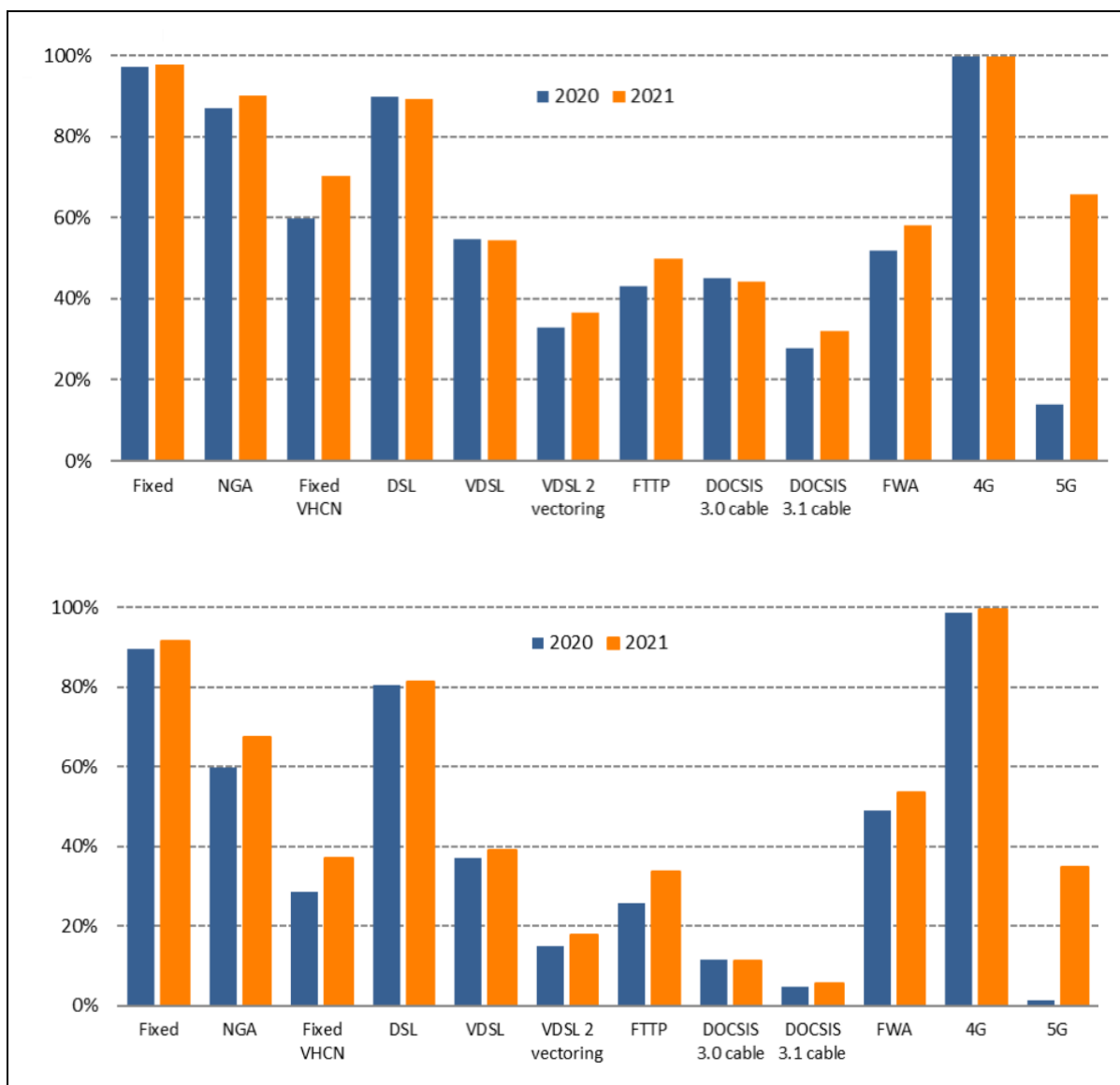
從速率級距和資費差異化的角度來看，5G FWA 資費價格與光纖寬頻服務趨於一致。5G FWA 只在 300Mbps 以下速率的資費定價上較為便宜，而所有超過 300Mbps 的光纖寬頻資費價格都比同等或相近速率的 5G FWA 更具吸引力。這反映出光纖寬頻在初期建置成本雖然較高，但在提供更高速度和更低長期網路營運成本方面仍具有優勢。業者將鼓勵用戶在光纖可達範圍內遷移到光纖寬頻服務，同時在尚未覆蓋光纖的地區持續推動 5G FWA 服務。

三、芬蘭

2022 年歐盟執委會(European Commission)公布數位經濟與社會指標(Digital Economy and Society Index, DESI)⁵⁰，觀察歐盟的寬頻覆蓋率，家庭上網有各種技術選擇(xDSL、cable、FTTP、FWA、4G、satellite)。固定接取(Fixed)是主流，覆蓋率達 98%。其中 xDSL 覆蓋範圍達 89%，FWA 58%、FTTP 50%。至於行動技術，4G 涵蓋率幾乎達到 99.8%，但 5G 覆蓋率大幅成長，從 2020 年的 14%，提升至 2021 年的 66%，如圖 3-7。

參考圖 3-7，可以發現歐洲的農村地區寬頻覆蓋率仍然是一個很大的挑戰，8.5%的家庭沒有固定接取，32.5%家庭缺乏次世代接取(Next Generation Access, NGA)服務。但 4G 在農村地區很普遍，2021 年的覆蓋率達到 99.6%。值得注意的是光纖到戶(Fiber to the Premises, FTTP)的表現，寬頻覆蓋率從 2020 年 26%提升到 2021 年 34%。做為 FTTP 替代選擇的 FWA，覆蓋率至 2021 年已超過 50%，如圖 3-7。綜合來看，FWA 覆蓋率不論是在全國或農村地區，均高於 FTTP。農村地區的 FWA 覆蓋率超過 50%，略低於全體地區 FWA 的覆蓋率。FTTP 在全國的覆蓋率已達 50%，農村地區卻不到 40%，有相當大的缺口。

⁵⁰ Digital Economy and Society Index (DESI) 2022, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>, 2022/7



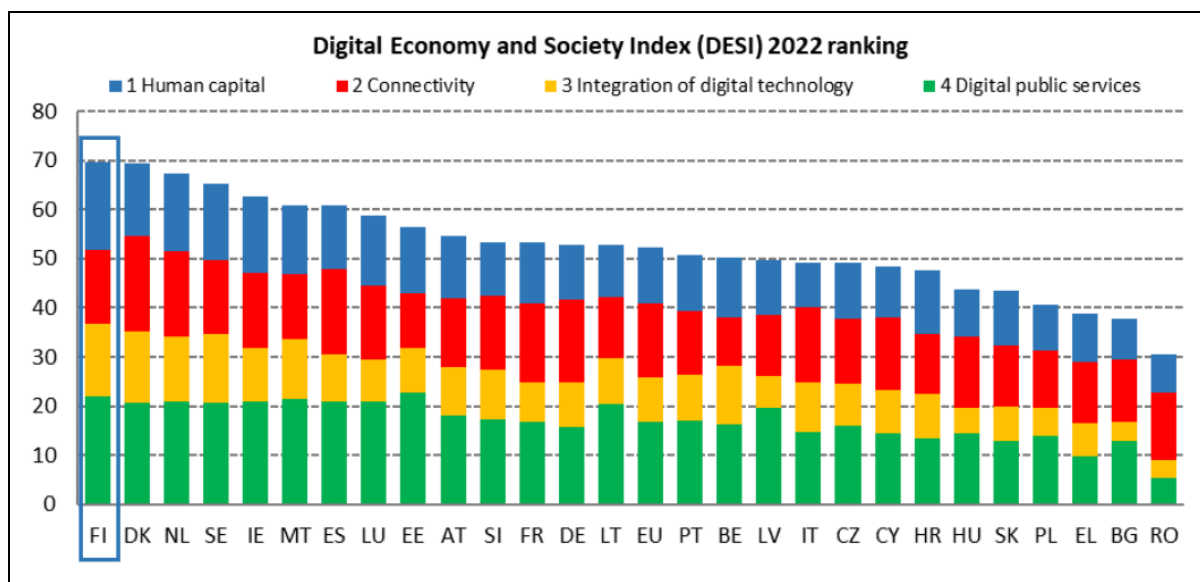
資料來源：DESI 2022, European Commission，本研究整理，2022年7月

圖 3-7、2021-2022 歐盟寬頻技術覆蓋率(上)、2021-2022 歐盟農村地區寬頻技術覆蓋率(下)

2022 年歐盟執委會公布的數位經濟與社會指標⁵¹，是從四大指標(數位能力、連結性、數位科技整合、數位公共服務)追蹤評比成員國每年的數位

⁵¹ Digital Economy and Society Index (DESI) 2022, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022>, 2022/7

能力發展。本次評比，芬蘭為整體表現最佳者如圖 3-8，排名第一，得分 69.6，高於平均(52.3)。因此，本研究將以芬蘭做為代表歐盟國家 FWA 應用之主要研究對象。



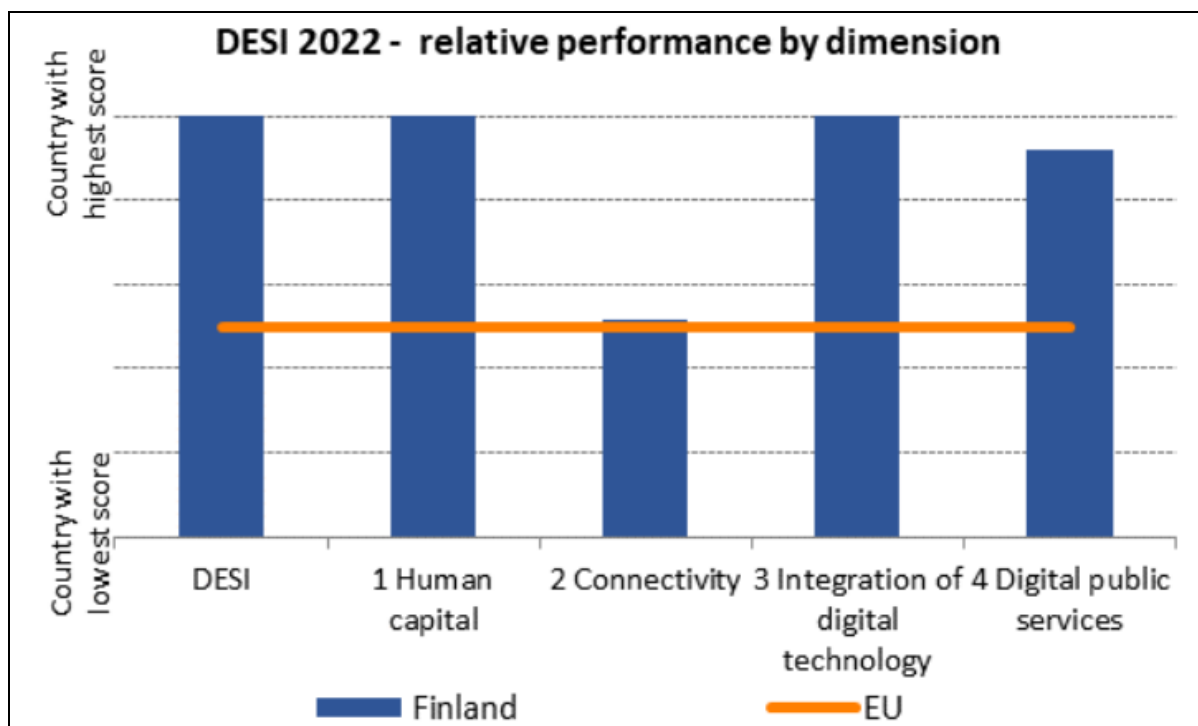
資料來源：DESI 2022, European Commission，本研究整理，2022 年 7 月

圖 3-8、2022 數位經濟與社會指數

(一)、寬頻發展策略

在寬頻發展方面，從 2022 年公布的數位經濟與社會指標(DESI)中，雖然芬蘭在 27 個歐盟成員國排名第一，但細看在四個指標表現，芬蘭在數位能力、數位科技整合、數位公共服務這三大指標的表現，遠高於歐盟平均表現。但在連結性方面，則只有歐盟平均水準⁵²。如圖 3-9。

⁵² Digital Economy and Society Index (DESI) 2022—Finland, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>, 2022/7



資料來源：DESI 2022 Finland, European Commission，本研究整理，2022

年 7 月

圖 3-9、2022 年芬蘭在各指標的相對表現

連結性指標主要有整體寬頻使用率、5G 覆蓋率、寬頻價格指數等評比項目，如圖 3-10。整體而言，在 2022 年連結性指標的評比，芬蘭在歐盟各國排名第八，得分 60.5，略高於平均值(59.9)。主因為在超高頻寬網路(very high capacity networks, VHCN)之佈建不均，且固定接取網路覆蓋率遠低於歐盟平均水準(芬蘭：61%，歐盟：78%)。儘管在固定 VHCN 覆蓋率接近歐盟平均水平(芬蘭：68%、歐盟：70%)，但在農村地區，這個數字僅 12.4%。顯示農村地區與都會區極度不均衡的現象。針對這樣的現象，歸納出原因為在人口稀少的地區缺少有效的激勵方案。因此，芬蘭政府預計透過實施

國家寬頻計畫(National Broadband plan)來解決此問題。規劃在 2026 年下半年之前，投資 5,000 萬歐元在農村佈建 VHCN，以達成數位轉型計畫。

	Finland			EU
	DESI 2020	DESI 2021	DESI 2022	DESI 2022
2a1 Overall fixed broadband take-up	57%	57%	61%	78%
% households	2020	2020	2021	2021
2a2 At least 100 Mbps fixed broadband take-up	23%	26%	29%	41%
% households	2019	2020	2021	2021
2a3 At least 1 Gbps take-up	0.90%	0.95%	1.45%	7.58%
% households	2019	2020	2021	2021
2b1 Fast broadband (NGA) coverage	75%	75%	75%	90%
% households	2019	2020	2021	2021
2b2 Fixed Very High Capacity Network (VHCN) coverage	62%	67%	68%	70%
% households	2019	2020	2021	2021
2b3 Fibre to the Premises (FTTP) coverage	35%	38%	40%	50%
% households	2019	2020	2021	2021
2c1 5G spectrum	67%	99%	99%	56%
Assigned spectrum as a % of total harmonised 5G spectrum	04/2020	09/2021	04/2022	04/2022
2c2 5G coverage³	NA	12%	72%	66%
% populated areas		2020	2021	2021
2c3 Mobile broadband take-up	92%	92%	96%	87%
% individuals	2018	2018	2021	2021
2d1 Broadband price index	75	74	79	73
Score (0-100)	2019	2020	2021	2021

資料來源：DESI 2022 Finland, European Commission，本研究整理，2022 年 7 月

圖 3-10、芬蘭在連結性指標各項目與歐盟平均值的比較

儘管固定接取網路覆蓋率相對歐盟平均水準低，芬蘭的行動寬頻使用率遠高於歐盟平均水準(芬蘭：96%、歐盟：87%)。統計至 2021 年，芬蘭擁有 920 萬行動用戶，其中 62% 為頻寬達 100Mbps 的行動寬頻用戶。

(二)、5G 頻段規劃及執照釋出方式

芬蘭 5G 的覆蓋率表現也高於歐盟平均水準(芬蘭：72%、歐盟：66%)。這與芬蘭提早規劃拍賣 5G 頻譜有關。2016 年拍賣 700MHz 頻段，2018 年

拍賣 3.6GHz 頻段，2020 年拍賣 26 GHz 頻段。其中 2018 年 Telia 出價 3,026 萬歐元(約 3,490 萬美元)，得標頻塊 A(3410-3540 MHz)；Elisa 出價 2,635 萬歐元(約 2,846 萬美元)，得標頻塊 B(3540-3670 MHz)；DNA 出價 2,100 萬歐元(約 2,268 萬美元)，得標頻塊 C(3670-3800 MHz)，總計 7,760 萬歐元(約 8,380 萬美元)，並於 2019 年商轉。

最近在 2020 年的拍賣中，Telia 得標 25.9~26.7 GHz 頻譜，Elisa 得標 25.1~25.9 GHz 頻譜，DNA 得標 26.7~27.5 GHz 頻譜，各電信業者分別支付 700 萬歐元(約 756 萬美元)，總計 2,100 萬歐元(約 2,270 萬美元)，這使得芬蘭三個主要電信業者及早取得 5G 頻譜，並能提早佈局 5G 戰場。

(三)、5G FWA 應用案例

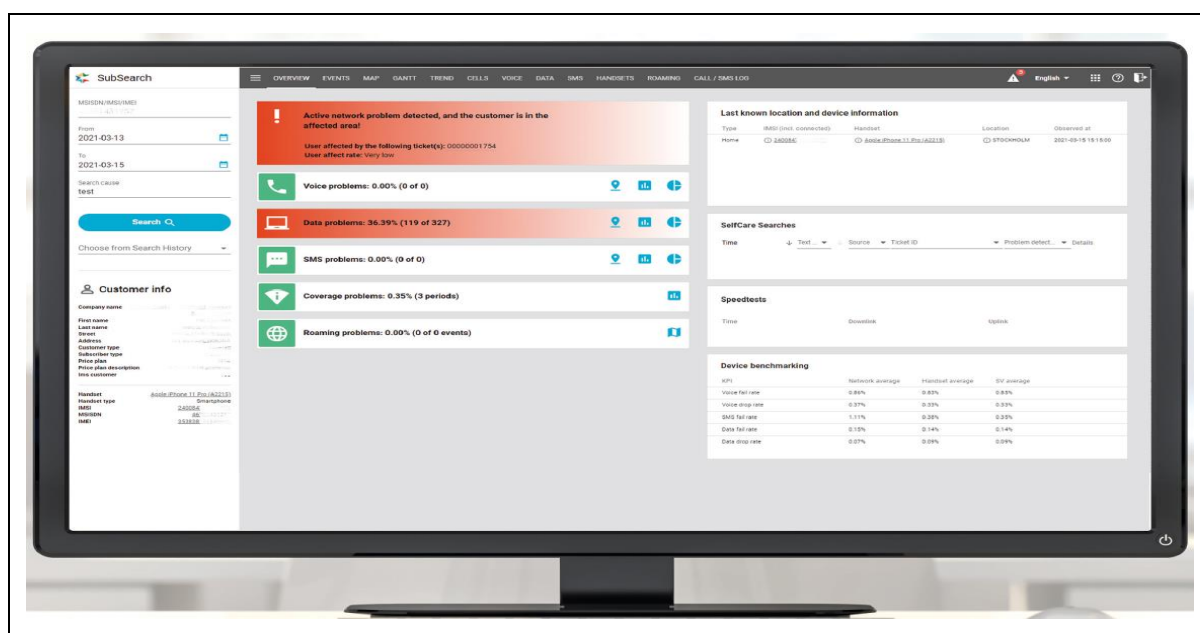
2021 年 11 月，Telia 與 Nokia 合作，推出北歐首個商用 5G 獨立組網，為用戶提供保證的高速頻寬與更低延遲性(latency)。

2022 年 9 月，Telia 宣布推出全球第一個基於 5G 獨立組網的 FWA 服務，並引入網路切片(Network Slicing, NS)功能。使 Telia 可以為 5G FWA 網路做動態分配。Telia 並因此得以設計一系列新的資費方案，依用戶需求提供不同速度等級保證的網路服務，幫助 Telia 開發新用戶及提高用戶忠誠度上保持優勢。

Subtonomy 是一家跨國的 AI 驅動網路體驗平臺公司(AI-driven Network

experience platform)，在 Telia 推出的 FWA 服務中，扮演管理平臺提供者的角色⁵³。這個平臺提供給 Telia 的服務有：

- 1、未達用戶的合約速度時，平臺會自動標記，及早發現問題、解決問題。
- 2、運用機器學習(Machine Learning)演算法快速指認複雜的網路問題(例如接取網路、後置迴路、核心網路等)，能更快速的修復問題，讓網路正常運作。
- 3、運用可視化儀表板(Dashboard)協助 Telia 管理各式各樣的業務，包含即時呈現用戶數及各種新功能的使用狀況，如圖 3-11。



資料來源：Mobile broadband & FWA tech supportsolutions, Subtonomy，本研究整理，2023 年 5 月

圖 3-11、AI 驅動網路體驗平臺儀表板展示

Telia 的 5G SAFWA 服務，由 5G 核心網路設備商 Nokia 與管理平臺提

⁵³ Subtonomy, <https://www.subtonomy.com/broadband-fwa-mobile-broadband> ,

供商 Subtonomy 三方合作。並設計出各種不同速度的資費方案供用戶選擇。



資料來源：本研究整理，2023 年 5 月

圖 3-12、5G SA FWA 廠商合作圖

Telia 商用 5G SA FWA 資費方案如下表⁵⁴。採用 XXL 方案，最高下載速度可達 1000Mbps，月租費 44.9 歐元(約 48.9 美元)。

⁵⁴ Telia, <https://www.telia.fi/kauppa/kodin-netti/5g-netti-kotiin>

表 3-5、Telia FWA 資費方案表

方案名稱	L(4G)	XL+(5G)	XXL(5G)
速度 Mbps (下載/上傳)	150/50	400/100	1000/100
費用(歐元)	32.9	39.9	44.9

資料來源：Telia 官網，本研究整理，2023 年 5 月

(四)、研究小結

芬蘭政府很早就規劃拍賣 5G 頻譜，積極提升 5G 在全國覆蓋率，因此相關的創新應用也應運而生。Telia 做為歐洲跨國的電信營運商，對新技術的支持也不遺餘力。在 5G FWA 的推廣上，與 Nokia、Subtonomy 的合作，透過 AI 滿足用戶體驗、提升服務效率，未來也能將此經驗做為其他國家推廣 5G FWA 的參考。

從芬蘭政府對 5G 的布局，不難看出在偏鄉農村地區，以 5G FWA 做為替代光纖的產品的策略。而因技術的進步，使得 5G FWA 可以達到最高下載速度 1000Mbps，並且有具競爭力的價格方案，大大提升家戶的接受度。5G FWA 在芬蘭仍有相當大的發展空間。

四、 日本

(一)、 寬頻發展策略

日本之寬頻建設，歷經從以往的固網光纖寬頻建構次世代光纖寬頻環境、到推動 4G、5G 發展，目前最新一期之寬頻發展策略為「數位田園都市國家基礎建設整備計畫」(デジタル田園都市国家インフラ整備計画)。該計畫著眼於非都會區光纖寬頻、5G 網路、海底電纜、B5G/6G 等數位基礎建設之發展，希望能將數位科技導入地方社會發展，帶動地方創新並解決城鄉問題，落實岸田政府所提出之數位田園都市國家構想。

總務省之「數位田園都市國家基礎建設整備計畫」中，將光纖寬頻普及列為重要推動措施之一，包括針對目前尚未有光纖普及之區域，例如離島區域等，透過補助金的方式，提供地方政府相關補助，確保能於 2024 年底達成全國光纖覆蓋率 99.85%、2027 年底達到 99.90%之目標。⁵⁵

至於 5G 網路基地臺建設部分，總務省則希望推動 5G 基地臺建設，並區分為二階段分別進行。第一階段規劃提升全國各地區 5G 網路建設，於 2023 年完成 98%國土涵蓋之目標；第二階段則是著眼於 5G 網路之人口涵蓋率與基地臺數量，規劃於 2025 年達到人口涵蓋 97%、2030 年達到 99% 人口涵蓋率的目標，5G 基地臺總建設站數達到 60 萬站。

⁵⁵ 電信技術中心 (2022)，日本總務省公布數位田園都市國家基礎建設整備計畫，<https://www.ttc.org.tw/News/more?id=0e116a60e76d436b8f8e1431aface54b>

日本政府預期透過投入總額 5.7 兆日圓(約 408 億美元)⁵⁶，推動數位田園都市整備計畫，以此提升數位社會所需之基礎建設，並從光纖、5G、海纜、資料中心等面向推展，以達到提升地方創新與數位能力之政策目標⁵⁷。

(二)、5G 頻段規劃及執照釋出方式

日本總務省於 2019 年 1 月開始受理電信事業申請 5G 頻譜，總共有 4 家電信業者 NTT Docomo、KDDI、Softbank 與樂天行動提出申請。總務省採審議制方式決定頻譜分配狀態，針對 4 家業者所提出之申請文件進行審議，檢視各家業者承諾布建之基地臺數量、5G 涵蓋範圍、特定基地臺建設數(如地下街、地下鐵等公共空間屋內建設)、技術人員數量、財務資金穩健度、干擾防治措施等項目。總務省審議各業者提出之申請文件內容後，總務省於 2019 年 4 月公告釋出 5G 頻譜，在 3.7GHz 與 4.5GHz 總共釋出 6 個 100MHz 頻塊，28 GHz 釋出 4 個 400MHz 頻塊⁵⁸。

在 3.7GHz 與 4.5GHz 頻塊部分，釋出結果如下：

- NTT Docomo：共取得 2 塊，分別為 3.6-3.7GHz、4.5-4.6GHz；
- KDDI：共取得 2 塊，分別為 3.7-3.8GHz、4.0-4.1GHz；
- Softbank：取得 1 塊：3.9-4.0GHz；

⁵⁶ 以 1 日圓兌 0.0072 美元計算。

⁵⁷ 總務省 (2022)，デジタル田園都市国家インフラ整備計画，https://www.soumu.go.jp/main_content/000803507.pdf

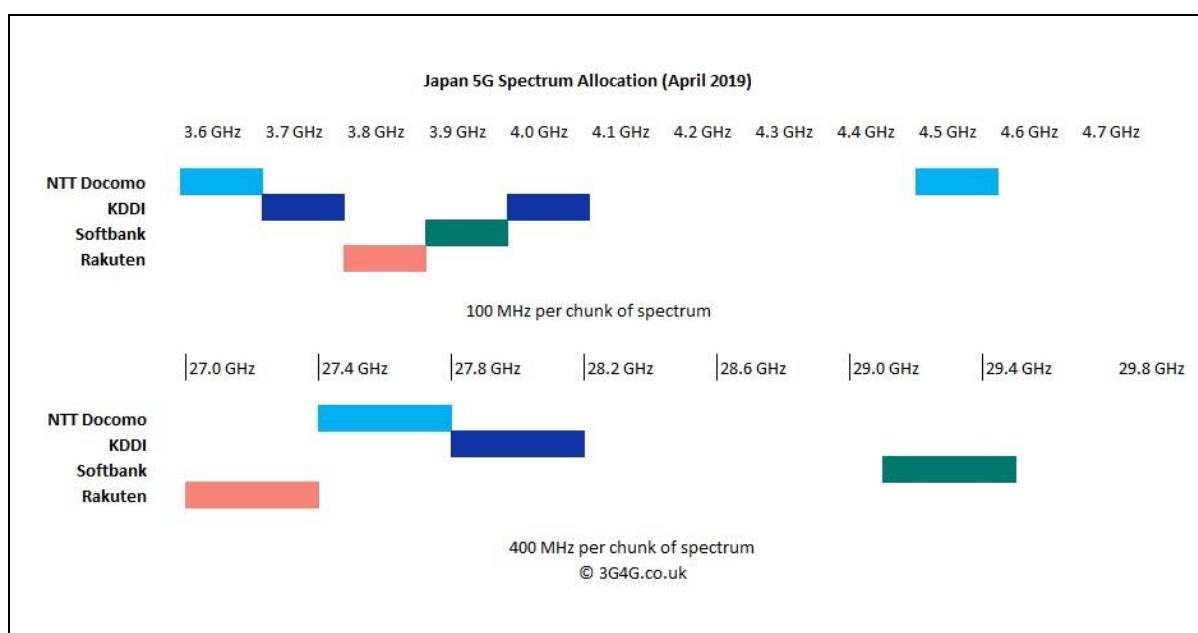
⁵⁸ 總務省 (2019)，第 5 世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設計画の認定，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000378.html

- 樂天行動：取得 1 塊：3.8-3.9GHz。

28 GHz 頻段釋出結果如下：

- NTT Docomo：取得 1 塊：27.4-27.8GHz；
- KDDI：取得 1 塊：27.8-28.2GHz；
- Softbank：取得 1 塊：29.1-29.5GHz；
- 樂天行動：取得 1 塊：27.0-27.4GHz。

各業者頻率分配範圍如下圖 3-13。



資料來源：3G4G.co.uk, 2019 年 4 月

圖 3-13、日本 5G 頻譜分配範圍

總務省於 2019 年 4 月公告釋出 5G 頻譜後，日本電信業者陸續於隔年 2020 年完成 5G 服務商轉。

(三)、5G FWA 應用案例

在日本的電信業者中，陸續有業者導入 FWA。例如樂天行動宣稱於 2022 年 12 月開展 FWA 應用⁵⁹，其推出 Rakuten Turbo 5G，結合 5G 與家用 Wi-Fi 上網服務，讓用戶申辦後無需施工作業即可快速連上樂天行動的 5G 網路，甚至結合 Wi-Fi 6 的功能，讓用戶家中可輕鬆上網，如下圖 3-14。



資料來源：樂天行動，2023 年 1 月

圖 3-14、日本樂天行動之 5G FWA 產品

(四)、研究小結

由日本寬頻策略、5G 頻段釋出以及 5G FWA 應用趨勢觀察，目前日本對於 FWA 之應用，主要著眼於電信業者提供的家用 5G 服務，整合家中 Wi-Fi 分享器，甚至搭上 Wi-Fi 6 次世代的風潮，提供國內用戶更簡便的無線寬

⁵⁹ Rakuten Turbo 5G, https://network.mobile.rakuten.co.jp/internet/turbo/product/?l-id=rmt_gheader_product_01&a8=s7Jmh7cw.ILVantuaaLwMVDQyId6L4Je5aMuc4tCquKw.IJ7p4XDqIJ0v41QYQXMjuHbe5JIF7Jmgs00000015198001, 2023/1

頻網路整合環境，免去繁瑣的安裝步驟。

從日本的數位田園政策，到電信業者布建 5G 網路與提供應用的角度，不難觀察出日本希望透過 5G FWA，擴增其國內高速寬頻網路之涵蓋，讓原本部分離島、偏鄉等缺乏 5G 網路建設之區域，也能夠結合地方力量，推動整體基礎設施發展，加速日本邁向數位轉型、數位社會時代。5G FWA 對電信業者而言，屬於便利民眾使用 5G 與家用上網的整合方案，藉此吸引民眾申辦，並家用室內網路涵蓋不足之問題，做為完善網路覆蓋的措施之一。

五、 韓國

(一)、 寬頻發展策略

韓國寬頻發展策略與 5G 相關者，主要源自於韓國科學與資訊部 (Ministry of Science and ICT, MSIT) 於 2019 年 4 月發布 5G+ 策略，目標成為全球第一個 5G 商轉國家，同時也希望帶動產業創新、創造工作機會並改善生活品質。韓國 5G+ 策略列出以下 5 大主要策略，包括：⁶⁰

- 1、 透過投資公共領域，確保及早推動市場並改善人民生活品質；
- 2、 建構測試場域供民間企業投資與產業研發用途；
- 3、 維護健全生態體系，支持 5G 服務便利化與保護消費者；
- 4、 透過產業基地培育全球知名新創企業和人才；
- 5、 支持拓展海外，使韓國的 5G 技術和服務全球化。

為了確保有足夠的頻譜資源推動國家寬頻發展，MSIT 於其 5G+ 策略中的主要策略 3：維護健全生態系統中，設定預計在 2026 年時，能夠將提供給 5G 使用的頻譜資源，從 2019 年之 2,680MHz 頻寬拓展一倍到 5,190MHz，前揭頻譜資源也會提供給 5G 相關服務，例如自駕車和智慧工廠等使用。

從 MSIT 發布之 5G+ 策略觀察，韓國對於寬頻發展政策，已不再僅僅

⁶⁰ MSIT (2019), Korea to Announce 5G+ Strategy Pledging to Provide World's Best 5G Service Based on World's First 5G Commercialization, <https://www.msit.go.kr/eng/newsLetter/view.do?sCode=&mId=&mPid=&pageIndex=3&newsLetterSeqNo=41&searchOpt=>

單就推動基礎設施發展為目的，而是更進一步重視相關創新應用、人才培育或海外擴張策略等更上位的角度，此一寬頻發展策略之變化趨勢，值得我國參考。

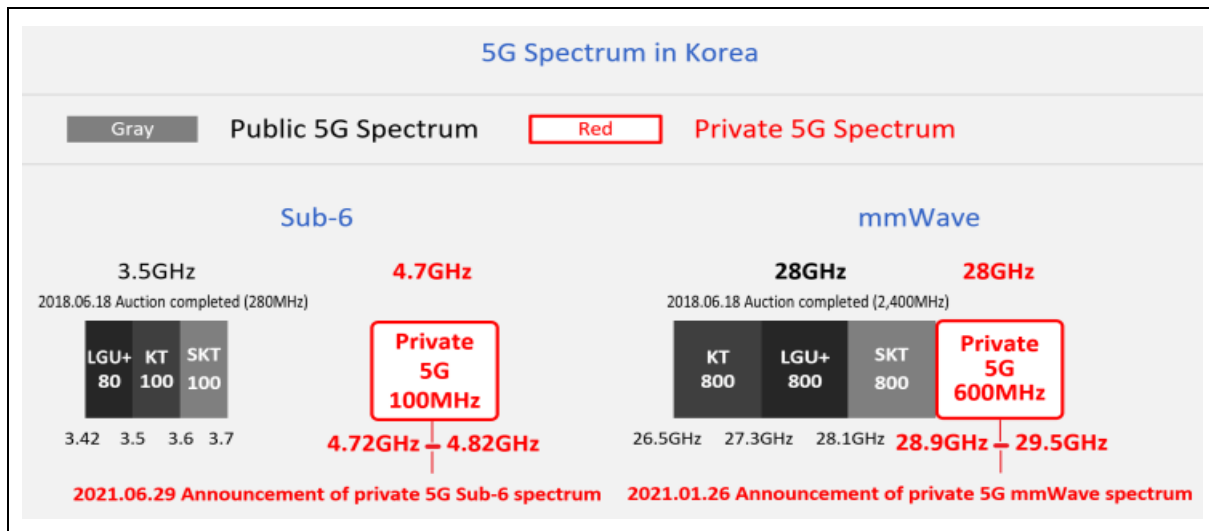
(二)、5G 頻段規劃及執照釋出方式

韓國最早於 2018 年 6 月即完成 5G 頻譜拍賣，MSIT 釋出 3.5 GHz 與 28 GHz 頻段，分別由韓國境內三大業者 SKT、KT 以及 LGU+ 取得。MSIT 釋出 3.5 GHz 頻率範圍為 3.42-3.7GHz 共 280MHz；28 GHz 頻段則釋出 26.5-28.9GHz 共 2,400MHz。

儘管韓國早於 2018 年即釋出包含 28 GHz 頻段之 5G 頻譜，然而，市場對於 28 GHz 之需求以及應用範疇仍有侷限，因此，三家電信事業陸續因基地臺建設數量未達標繳回其 28 GHz 頻段。KT 與 LGU+ 於 2022 年 12 月繳回 28 GHz 給主管機關，SKT 則於 2023 年 5 月底繳回 28 GHz 給主管機關。

參考國際間對於 5G 專頻的政策發展趨勢，韓國亦於 2021 年 1 月與 2021 年 6 月分別宣布 5G 專頻政策。2021 年 1 月 MSIT 主要規劃於 28.9-29.5GHz 設立 5G 專頻、6 月則規劃於 4.72-4.82GHz 設計 5G 專頻。韓國 5G 頻率分配與規劃設計如下圖。⁶¹

⁶¹ Netmanias (2021), The Ministry of Science and ICT in Korea announced the "Private 5G Network Frequency Supply Plan" - mmWave and Sub-6 Spectrum, <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=blog&no=15139>



資料來源：Netmanias，2021 年 6 月

圖 3-15、韓國 5G 頻譜分配與規劃

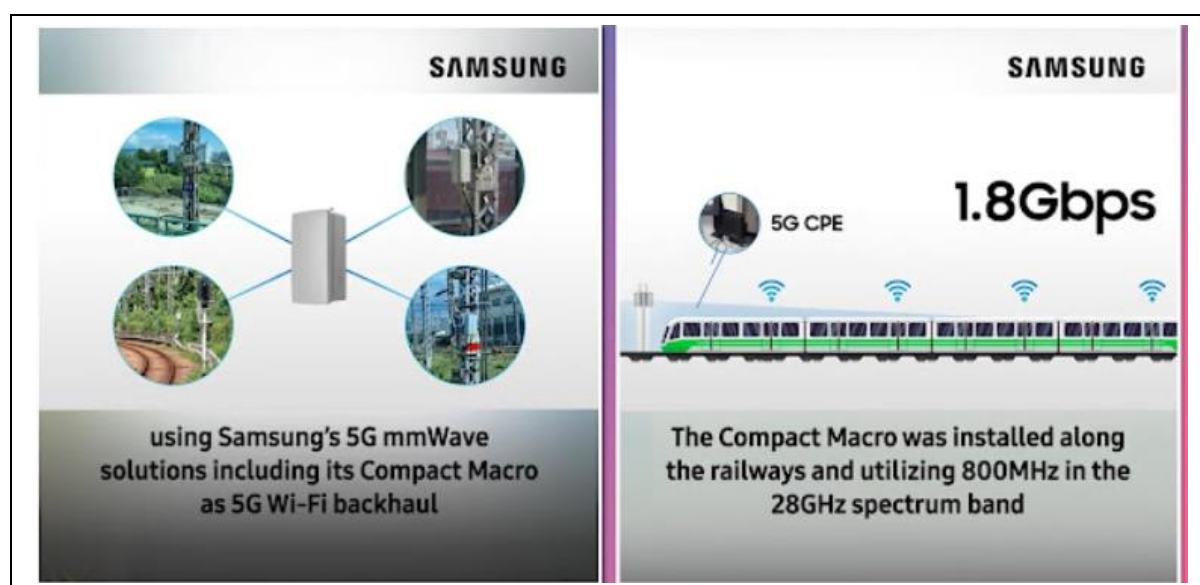
(三)、5G FWA 應用案例

韓國三家電信業者對於 5G FWA 之應用較不熱衷。本研究觀察韓國境內推動 FWA 的業者，主要為三星電子。三星電子與美國 Verizon 合作，協助提供 Verizon 關於 FWA 之設備供應，讓 Verizon 之用戶可在家裡享有 5G FWA 應用。三星電子也協助澳洲 NBN 公司測試使用 28 GHz 的 5G FWA 應用，並可達到下行速率 1.75Gbps/上傳速率 61.5Mbps 之測試速度。⁶²

在韓國三家電信業者繳回 28 GHz 執照前，三星電子積極與三家電信業者簽約合作，運用電信業者的毫米波頻譜提供首爾捷運地下鐵網路連線方案。儘管首爾捷運地下鐵系統內已有穩定的 5G(使用 3.5 GHz 頻段)、4G 和

⁶² IEEE Technology blog (2022), Samsung achieves record speeds over 10km 5G mmWave FWA trial in Australia <https://techblog.comsoc.org/2022/11/08/samsung-achieves-record-speeds-over-10km-5g-mmwave-fwa-trial-in-australia/>

Wi-Fi 網路，但由於韓國 5G 用戶平均每月數據使用量達到約 25GB，且平均每天有超過 360 萬乘客搭乘首爾捷運，途經 300 多個車站，故捷運地下鐵內對於頻寬需求甚大。因此，三星電子透過使用電信業者的 28 GHz，提供高速 5G 網路速度給首爾捷運地下鐵的使用者，讓首爾捷運地下鐵用戶也能夠享有 5G 高速方案。⁶³三星電子提供首爾捷運地下鐵 5G FWA 應用之概念示意圖如下圖 3-16。



資料來源：Telecoms Infrastructure Blog，2023 年 1 月

圖 3-16、韓國三星電子首爾捷運地下鐵 5G FWA 應用

由以上趨勢觀察，由於韓國電信業者之 5G 網路布建著重於使用 5G 中頻段，對於 28 GHz 使用意願不高，甚至因基地臺布建數量未達規定而被主管機關撤銷使用。儘管如此，韓國國內資通訊業者如三星電子，仍積極測

⁶³ Telecoms Infrastructure Blog (2023), Seoul Metro Wi-Fi Backhauled by Samsung's 5G mmWave Network Solution, <https://www.telecomsinfrastructure.com/2023/01/seoul-metro-wi-fi-backhauled-by.html>

試、實驗各類 5G FWA 應用，例如與電信業者簽約實驗首爾捷運地下鐵之 5G FWA 應用，希望掌握全球 FWA 未來發展契機，而不僅侷限於韓國當地使用狀態。

(四)、 研究小結

由韓國政府推動 5G 寬頻、頻段釋出以及應用面推動等角度觀察，儘管韓國很早就完成 5G 高頻段 28 GHz 之釋照作業，但由於缺乏關鍵應用以及設備費用與成熟度的考量，電信業者對於高頻段之 5G 基地臺布建數量並未達到主管機關規範，故紛紛遭到主管機關撤銷執照。從應用面角度亦不難看出，韓國電信業者對於 5G FWA 興趣較低，反倒是三星電子積極投入 5G FWA 設備製造與解決方案之提供。由此觀察，儘管韓國國內對於 FWA 應用需求較低，但國內電子設備製造商仍積極將產品拓展海外市場，此一作法亦值得我國參考：儘管國內市場可能無此需求，但可藉由拓展海外市場，讓設備製造商打入海外供應鏈。

六、 小結

(一)、 我國行動通訊頻率核配與 FWA 相關者

據電信管理法第 52 條第 3 項規定，現行我國頻率資源分配與供應規劃相關說明文件包含中華民國無線電頻率分配表及無線電頻率供應計畫等兩類，由行政院指定機關擬定，邀集相關機關協商訂定，並定期檢討修正。

現行頻率供應計畫中，與 5G FWA 相關者，主要為電信事業使用之 5G 頻段，依據目前頻率供應計畫內容，摘錄如下⁶⁴。

表 3-6、我國頻率供應計畫之行動通訊頻段中涉及 5G FWA 應用者

頻段類型	段(MHz)	使用現況	開放說明	未來規劃
已供應	3300-3570	供行動寬頻使用，執照限至 129 年	自 108 年 7 月起開放使用不指定系統，釋出區塊間干擾問題由業者自行協調解決；3570-4200MHz 現供衛星固定通訊、衛星廣播電視等使用，需與既設電臺和諧共用	待本頻段核配之使用期限屆滿進行後續規劃
已供應	27900-29500	供行動寬頻服務使用，執照限至 129 年	自 108 年 7 月起開放使用不指定系統，釋出區塊間干擾問題由業者自行協調解決；自 111 年起與本頻段既有行動寬頻業者完成協議，並經主管機關核准，得供衛星通訊使用	待本頻段核配之使用期限屆滿進行後續規劃

資料來源：數位發展部「無線電頻率供應計畫」，2022 年 3 月

⁶⁴ 整體資源規劃政策，<https://moda.gov.tw/digital-affairs/resource-management/operations/274>, 2022/3

國內案例部分，例如亞太電信運用 FWA 於 28 GHz 頻段，將 5G 毫米波訊號轉成上網熱點，供國內特定 27 家亞太電信和 1 家萊爾富門市免費提供使用。遠傳電信亦曾有類似實驗案例，透過 FWA 使用 3.5 GHz 頻段提供消費者於商店內之 5G 上網服務。

(二)、各國寬頻發展策略比較分析

各國寬頻發展策略與 5G 相關的部分，本研究從策略發展緣由及計畫重點內容進行比較。

表 3-7、各國寬頻政策比較

國家	計畫/法案名稱	緣由/背景	重點內容
美國	偏鄉網路補助計畫農村數位機會基金 (RDOF)	補貼偏鄉網路布建成本，拓展寬頻網路到達率	第一期基金為 92 億美元補助，第二期基金為 112 億美元
挪威	2020 年寬頻發展法 (the Broadband Development Act)	以最低限度監管和投資友好的法規來促進寬頻建設 建立市場驅動的業者投資為主，同時使用國家和地方公共資金為商業利益不足以支持地區提供基礎建設的補充	2023 年為偏鄉寬頻專案發放 3.627 億挪威克朗 (約 3,370 萬美金) 之補助，補助對象限制在固定寬頻接取速率未達 100 Mbps 的服務不足地區。目標在 2025 年年底完成為所有家戶提供 100 Mbps 寬頻服務
芬蘭	國家寬頻計畫 (National Broadband plan)	在超高頻寬網路 (VHCN) 佈建不均，且固定接取網路覆蓋率遠低於歐盟平均水準	在 2026 年下半年之前，投資 5000 萬歐元在農村佈建 VHCN，以達成數位轉型計畫
日本	數位田園都市國家基礎建設	將數位科技導入地方社會發展，帶動地方創	第一階段於 2023 年完成 98% 全國 5G 涵蓋率；

國家	計畫/法案名稱	緣由/背景	重點內容
	整備計畫	新並解決城鄉問題	第二階段於 2025 年達到人口涵蓋 97%、2030 年目標達 99%人口涵蓋率。5G 基地臺總建設站數達到 60 萬站
韓國	5G+策略	成為全球第一個 5G 商轉國家 帶動產業創新、創造工作機會並改善生活品質	在 2026 年提供給 5G 使用的頻譜資源，從 2019 年之 2,680MHz 頻寬拓展一倍到 5,190MHz

資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

各國在發展寬頻策略上皆十分重視的目標之一是消弭城鄉寬頻差距，同時帶動產業創新。透過修法或是補貼等政策降低佈建寬頻的門檻，並設定高速寬頻覆蓋率達到一定程度的目標。

(三)、各國 5G 頻段規劃及執照釋出方式比較分析

各國 5G 頻段釋出的時間各有不同，依低頻段、1-6GHz 以下(sub-6)頻段、毫米波頻段分類比較，如下表。

表 3-8、各國 5G 執照釋出時程表

頻段	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
低頻段	芬蘭 700MHz	美國 600MHz		挪威 700MHz			
Sub-6			芬蘭	日本	美國	挪威	美國

頻段	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
頻段			3.6GHz	3.7/4.5 GHz	3.5 GHz	2.6/3.6 GHz	2.5 GHz
			韓國 3.5 GHz			美國 3.45/3.7 GHz	
毫米 波頻 段		美國 39 GHz	美國 28 GHz	美 國 24/37/39 /47 GHz	芬蘭 26 GHz		
			韓國 28 GHz	日本 28 GHz			

資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

芬蘭從 2016 年就提早佈局拍賣 5G 頻譜，從 700MHz 到 2018 年拍賣 3.6GHz 再到 2020 年拍賣 26 GHz 頻段，這使得芬蘭的 5G 覆蓋率表現優於歐盟其他國家。美國在頻譜管理上採取鼓勵頻譜共用或再利用的策略，FCC 鼓勵業者使用高頻段，因此從 2017 年對 5G 頻段的釋出先從毫米波頻段開始，直到 2020 年才拍賣 sub-6 頻段。挪威在 5G 的釋照著重中低頻譜，並規劃 3.8-4.2GHz 為 5G 專網頻段。日本、韓國的 5G 釋照方式採一次性釋出 sub-6 及毫米波頻段，韓國在 2018 年釋出 28 GHz 執照給 KT、SKT 及 LGU+，但後續因基地臺建設數量未達標準，陸續於 2022 年、2023 年繳回執照。

(四)、各國 5G FWA 應用案例比較分析

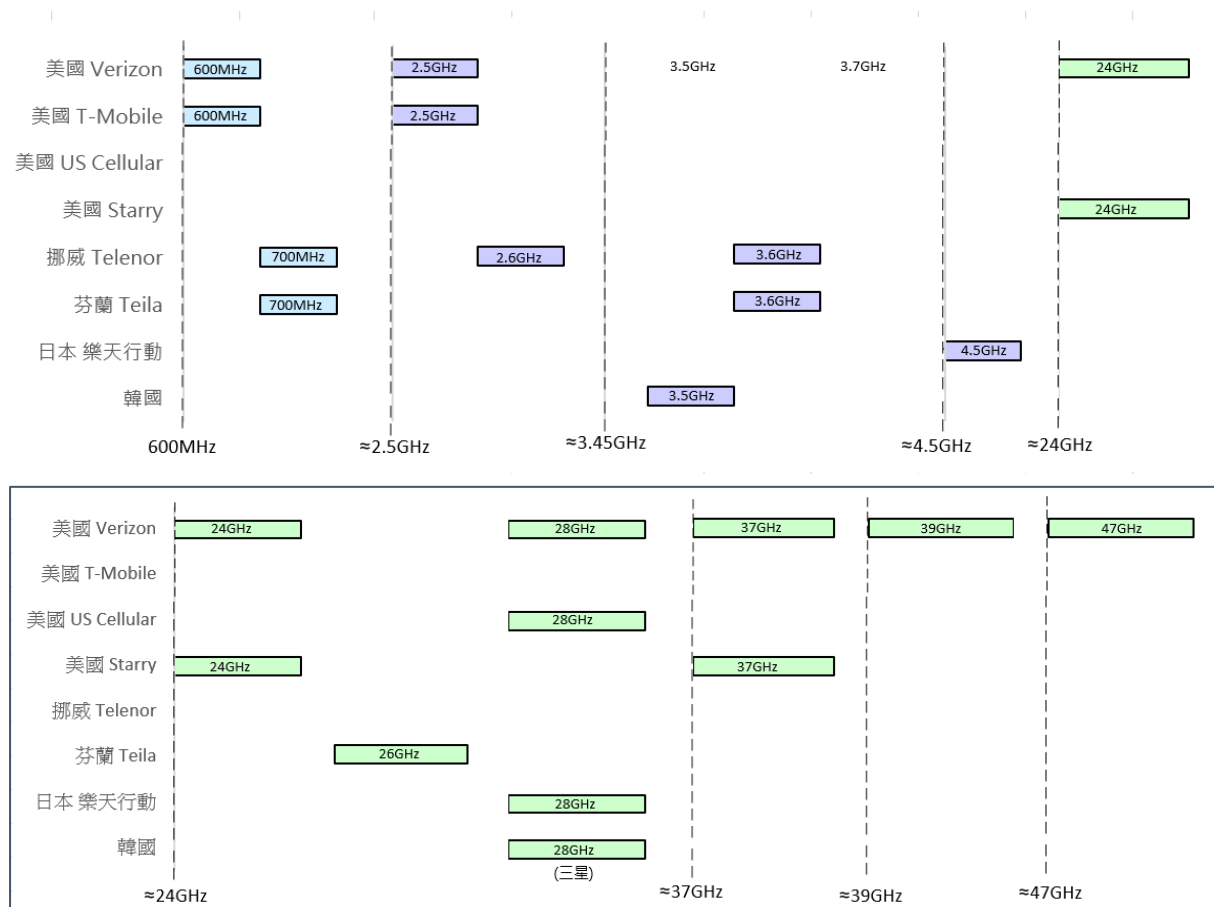
各國 5G FWA 應用案例，從使用頻段及各自特色亮點比較如下。

表 3-9、各國 5G FWA 應用案例比較

國家	代表業者	開始年份	頻段	案例亮點
美/三大行動業者	Verizon	2020 年	全頻段	期望平均下載速度約為 300Mbps
	T-Mobile	2020 年	600MHz 2.5 GHz	期待平均下載速度超過 100Mbps
美/行動業者	US Cellular	2023 年	28 GHz	同時申請 FWA 或 TDS 的用戶提供行動服務折扣
美/新創業者	Starry	2017 年	24/37 GHz	2022 年即在所有地區市場皆提供 30Mbps、50Mbps、200Mbps 下載網速之資費服務
挪威	Telenor	2020 年	中低頻	FWA+T-We 電視套裝方案
芬蘭	Telia	2021 年	全頻	全球第一個推出商用 5G SA FWA 服務，並引入網路切片功能
日本	樂天行動	2022 年	中高頻	申辦後無需施工作業即可快速連上 5G 網路，同時結合 Wi-

國家	代表業者	開始年份	頻段	案例亮點
				Fi 6 的功能
韓國	三星	2023 年	28 GHz	運用電信業者的毫米波頻譜 提供首爾捷運地下鐵網路連 線方案

資料來源：本研究整理，2023 年 6 月



資料來源：本研究整理，2023 年 12 月

圖 3-17、各國 5G 發照及 FWA 使用頻譜配置總覽

美國主要行動業者 Verizon 和 T-Mobile 之家庭網路資費方案皆為無限

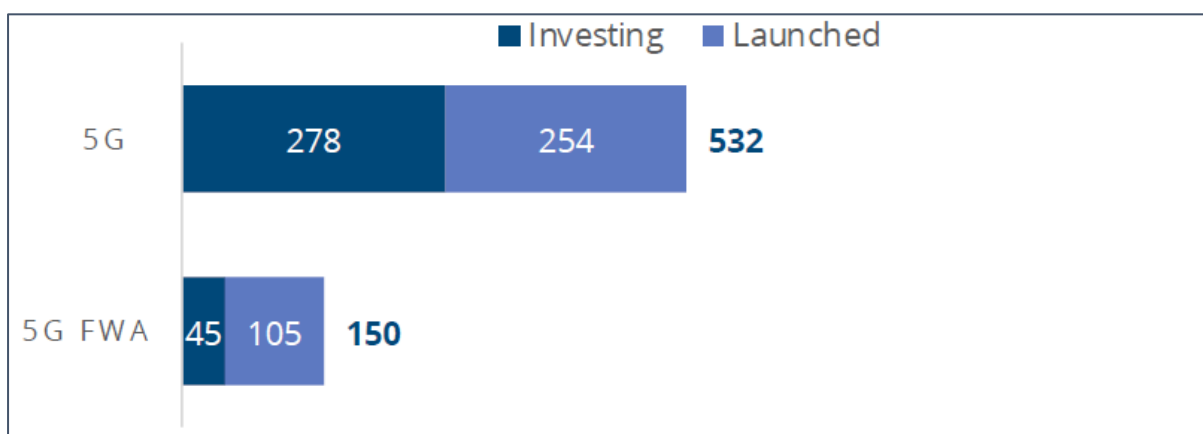
使用寬頻，且不需綁約。挪威 Telenor 採用我國設備製造商合勤(Zyxel)的戶外型 CPE 設備，5G FWA 的資費定價在 300 Mbps 以下速率較便宜，所有超過 300 Mbps 的光纖寬頻資費價格都比同等或相近速率的 5G FWA 更具吸引力。芬蘭 5G FWA 資費方案中，最高下載速度可達 1000Mbps。日本著眼於家用 5G 服務，整合家中 Wi-Fi 分享器，搭上 Wi-Fi 6 次世代的風潮，免去繁瑣的安裝步驟，提供國內用戶更簡便的無線寬頻網路整合環境。韓國電信業者對 5G FWA 興趣較低，但國內電子設備製造商積極將產品拓展海外市場。如前所述，各國在 5G FWA 之應用與推展各有其緣由背景，可供我國頻譜資源政策之借鏡。

(五)、 近期發展之創新差異重點

透過各國 FWA 發展之研究，歸納可供我國參考之近期發展及創新差異重點在於，發展國家寬頻建設策略所搭配的頻譜管理政策，以美國為例，FCC 發展鼓勵頻譜共用或再利用之彈性頻譜管理，搭配較高頻段的彈性頻率發照策略及 5G 發照，其目的為增進業者之頻譜使用效率及誘因，進而產生行動網路營運商在獲配的各頻段積極發展 FWA 固定寬頻服務之成果。在地廣人稀建設不易的地區，FWA 被視為擴展行動通訊應用促進網路涵蓋的重要工具，而在人口稠密之亞洲，除了利用 FWA 促進偏鄉涵蓋外，作為電子工業製造基地的亞洲，則積極發展 FWA 相關設備以滿足世界其他區域之

需求，積極賺取外匯，因此，理解 FWA 世界趨勢及商機之所在，也將是未來研究重點。

根據 GSA 2023 年 10 月 25 日的 4G 5G FWA 論壇資料⁶⁵統計，截至 2023 年 5 月，在 GSA 所蒐集的 160 個國家中，已有 532 家營運商投資了 5G，有 254 家業者已推出或試推出一項或多項 5G 服務，150 家業者投資 5G FWA，另外，啟用符合 3GPP 標準的 5G FWA 服務業者從 99 家增加到 105 家。5G FWA 佔已推出服務的 24%，高於 10 月 22 日的 19%。如下圖：



資料來源：GSA，2023 年 10 月

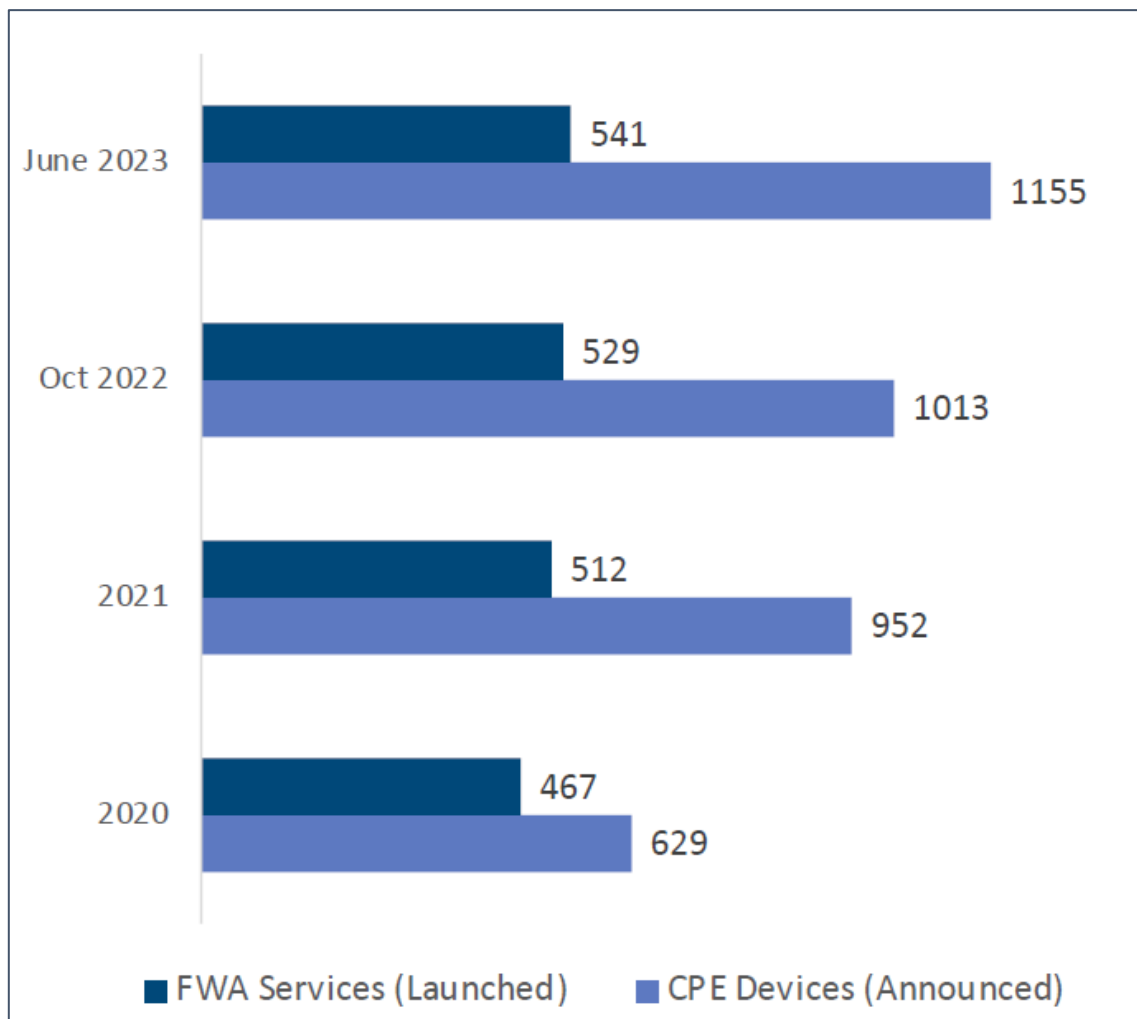
圖 3-18、5G FWA 投資及網路啟用之業者數量統計

在設備設備和服務成長方面，FWA 通常在服務較差的固網寬頻地區提供住宅和商業寬頻，以作為主要的寬頻解決方案，取代傳統的加密輔助行動寬頻、MiFi 裝置或行動網路共享：

- CPE 設備從 1013 台增加到 1115 台，增加 25.9%。

⁶⁵ GSA(2023), 4G 5G Fixed Wireless Access forum, 4G-5G FWA: BEST PRACTICES FOR MONETIZATION AND CLOSING THE DIGITAL DIVIDE.

- 截至 2023 年 10 月，開通了 541 個 FWA 服務網路，較 2022 年 10 月的 529 個成長了 2.3%。



資料來源：GSA，2023 年 10 月

圖 3-19、全世界已開通之 4G/5G FWA 服務及已生產設備統計

根據 GSA 的訪問調查，2022 年 5G FWA 用戶終端(以下簡稱 CPE)出貨量成長一倍多，達到 740 萬個，年成長 111%，預計 2023 年全年將再次翻倍，達到 1,380 萬個，預期成長 86%，佔出貨量的 40%以上。在電池供

電的袖珍路由器成長的推動下，2022 年受訪公司的總出貨量增至 2540 萬台（年增 12%）。2022 年 FWA 室內加室外 CPE 成長 9%，達到 1880 萬台。受室內 CPE 強勁成長的推動，預計 2023 年 FWA 室內加室外 CPE 出貨量將成長 31%，達到近 2500 萬台（年成長 34%）。雖然在 5G 產品之出貨量中所佔比例較小，但支援毫米波的出貨量在 2022 年將增長一倍以上（45 萬台），預計 2023 年將增長 70%以上，達到接近 80 萬台。

與 2021 年相比，2022 年的區域出貨量結構保持不變，但中國的占比成長達到 17%（增加 6 個百分點），主要是由於歐洲銷量下降至 19%（6 個百分點）。與前幾年一樣，大多數供應商預計到 2025 年 5G CPE 價格將與 4G CPE 持平。

電信業者是 CPE 出貨量的主要管道，佔 2022 年出貨量的 70%，預計 2023 年將成長至 77%。大多數受訪者預計 2023 年和 2024 年不會出現零件短缺，但通膨壓力仍然存在。在 CPE 快速發展所形成的趨勢中，受訪者一致認為靈活的室內和室外 CPE 及客戶自行安裝應用程式正在成長。

(六)、我國產業生態鏈位置及可能發展架構

根據愛立信研究，估計到 2021 年底，FWA 連結數將接近 9,000 萬。預計到 2027 年，將達到近 2.3 億，成長約三倍。然而台灣內需市場明顯不足，台灣因地小人籌特性，根據 NCC 統計，全台灣 5G 基地臺數已達 2 萬 9,087

臺，5G 電波人口涵蓋率已達 94.36%，短期台廠 FWA 相關產業鏈以供應出口為主；長遠來看，5G FWA 之網速雖略遜於光纖，但相對於固網而言，其不需挖掘溝槽、埋設管線，具有成本低、易鋪設等優勢，資費也相對低，仍有機會成為特定區域(如光纖不易到達處或建置成本太高處)固網設備的替代方案，而 5G CPE 也隨 5G FWA 興起一同成長，相關台廠包含合勤控、智易等皆有望受惠。我國適合發展之廠商包含：

- 上游終端晶片：聯發科
- 網通設備廠：中磊、明泰、智易、啟碁、合勤控、仲琦、亞旭
- 光通訊廠：聯亞、眾達-KY、光環、華星光

第二節 公共安全與救難應變通訊系統

一、 背景與綜述

全球公共安全與救難應變通訊系統(Public Protection and Disaster Relief, PPDR)受到多重變化的影響，包括氣候變遷、新冠疫情擴散以及地緣政治局勢。為確保公共安全部門能有效應對這些挑戰，迫切需要強化關鍵任務(Mission Critical, MC)通訊系統和跨機構合作能力。

雖然語音通訊仍然是多數國家 PPDR 第一線人員主要的溝通模式，但隨著 4G 和 5G 行動寬頻解決方案的發展，配合雲端運算、大數據分析和人工智慧輔助，公共安全部門在災害應變和運作效能方面迎來新發展。然而，行動通訊技術最初並非為公共安全領域而設計，因此需要對其架構進行調整和強化，以滿足第一線救援人員的需求，確保在困難環境中提供穩定、安全的通訊服務。

本節將就數項對全球寬頻 PPDR 發展有重要影響的議題逐一簡短說明，以芬蘭、法國、英國、韓國及美國為研究對象，探討分析各案例國家 PPDR 發展現況與應用趨勢。包括最早由美國提出的 FirstNet、韓國 SafeNet 以及英國 ESN 等全國性公共安全網路建設計畫。此外，還有法國未來無線電網路建置計畫(Réseau Radio du Futur, RRF)、芬蘭的 VIRVE 2.0 寬頻服務等計畫，整理相關內容。

二、 芬蘭 Virve 2.0

(一)、 公共安全網路發展歷程

芬蘭是全球第一個建立國家公共安全網路的國家。於 25 年前啟動的關鍵通訊網路 Virve，服務對象包含了所有公共安全部門、鐵路運輸和部分公用事業公司。目前約有 51,000 個用戶，每週至少產生 200 萬次群組呼叫、7,000 萬條簡訊。

Virve 網路由芬蘭國有特設企業 Erillisverkot 擁有和營運。Erillisverkot 為負責社會安全和運轉的組織提供服務，涉及通訊、任務控制和關鍵基礎設施安全保護等領域⁶⁶。

2019 年，芬蘭政府決定建立一個新的公共安全網路，也就是 Virve 2.0。其將保障全國關鍵基礎設施日常運行的連續性，從而確保各公共安全部門能夠在目前和未來的所有情況下順利運轉。在規劃中，升級成 Virve 2.0 新一代寬頻網路將提供的主要功能包括：

- 提供可靠且安全的無線寬頻服務，供應當局和其他安全服務供應商使用；
- 確保 Virve 用戶享有線上優先權，使其能夠在關鍵情況下迅速行動；
- 包括現有的訊息應用程式以及即時影像等新應用程式；
- 能夠與各種設備兼容，例如手機、電腦、感應器和路由器；以及

⁶⁶ Erillisverkot, <https://www.erillisverkot.fi/en/about-us/>

- 提供標準化介面，以便與關鍵通訊系統相互操作。

(二)、網路建置維運及頻譜安排

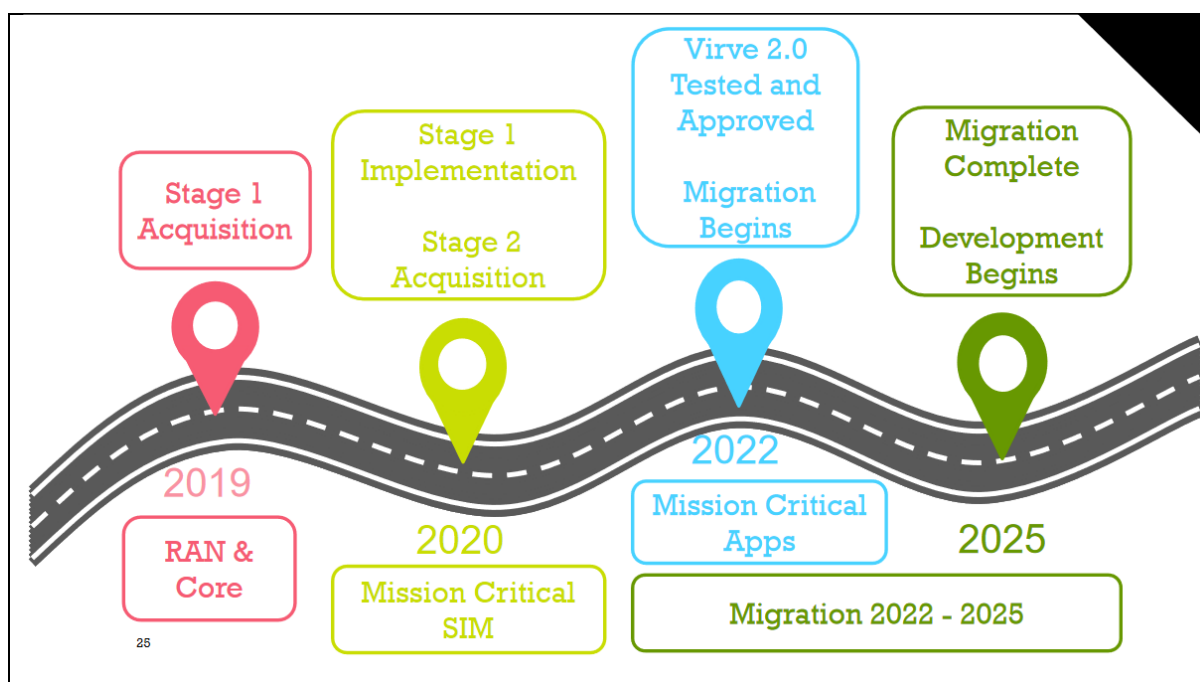
Virve 2.0 是由芬蘭政府經濟政策部門於 2018 年啟動並持續進行中的專案。根據 2019 年對政府安全網路運作法及電子通訊服務法的增修⁶⁷，Erillisverkot 被指定為 Virve 2.0 寬頻服務的唯一提供者。

2020 年 4 月，Erillisverkot 遵循國防和安全領域公共契約法規辦理採購，經遴選後與 Ericsson 及 Elisa 分別簽訂了為期 10 年的服務契約。Ericsson 將為 Virve 2.0 網路提供基於雲端原生(Cloud Native)的 5G 核心網路軟、硬體設備及相關解決方案，包括網路功能虛擬化基礎設施、動態編排和長期演進語音承載(Voice over Long Term Evolution, VoLTE)服務。Elisa 則需要擴展其網路涵蓋、容量和可靠性，以滿足 Virve 2.0 和公共安全用戶的需求。Elisa 將利用自身 4G 和 5G 接取網路提供服務，並且地理涵蓋應至少達到芬蘭地理面積約 96%，以實現與當前 Virve 語音服務相同的涵蓋範圍和靈活性。

在完成系統和服務採購後，Erillisverkot 續將採購與開發可運行在 Virve 2.0 網路的軟體應用程式及相關硬體裝置設備。預計所有用戶將在 2025 年底之前採用新服務，遷移期間將同時使用當前的 Virve 網路和新的

⁶⁷ Finlex (2018), HE 226/2018 - The government's presentation to parliament on amending the law on electronic communication services and the law on public administration security network operations into laws, <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2018/20180226>

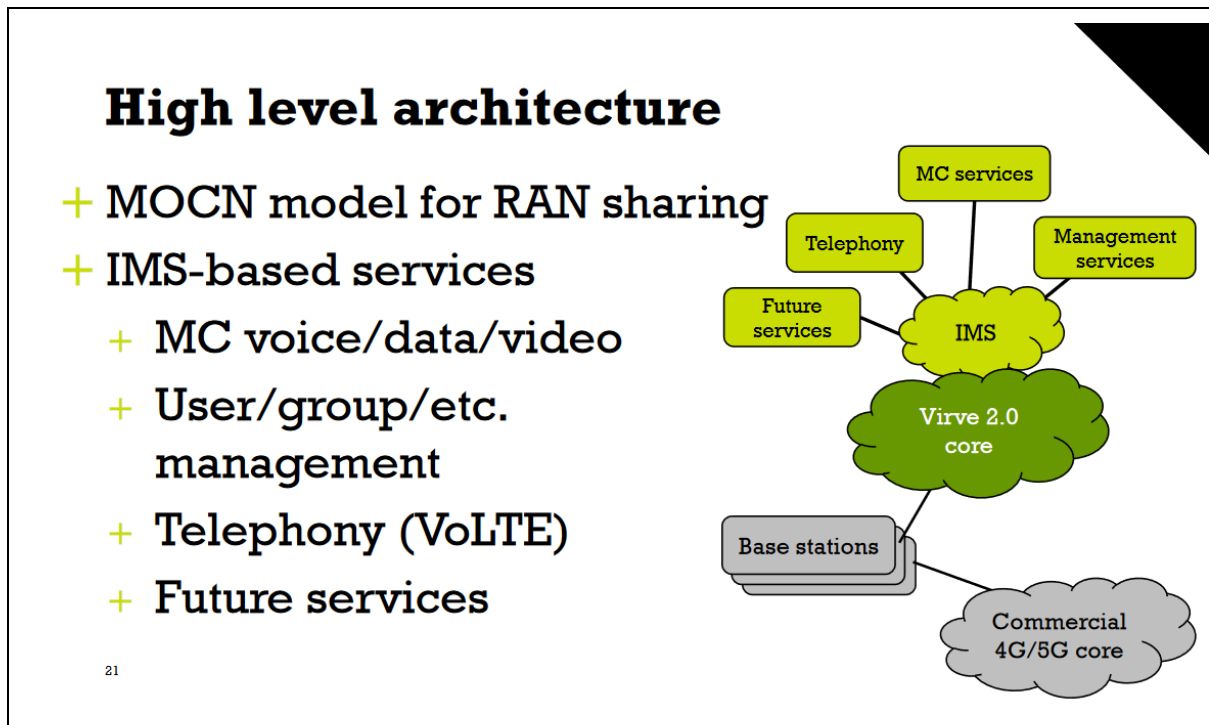
Virve 2.0 服務。最終目標是將所有 Virve 用戶遷移到 Virve 2.0。整體期程如下圖示意。



資料來源：Erillisverkot，2020 年 6 月

圖 3-20、芬蘭 Virve 2.0 網路的採購建置期程

Virve 2.0 網路採用基於多電信商核心網路 (Multi-Operator Core Network, MOCN) 模式設計。如下圖。用戶擁有專用的核心網路，由 Erillisverkot 負責管理，並保留未來在特殊地區自行建置基地的選項。



資料來源：Erillisverkot，2020 年 6 月

圖 3-21、芬蘭 Virve 2.0 網路所採之 MOCN 運作架構

Elisa 的一般用戶和 Virve 2.0 用戶共享其接取網路。儘管 Virve 2.0 將使用與商業服務相同的 4G 和 5G 網路，但其流量將被加密並優先處理。3GPP 行動寬頻技術確保了公共安全服務的服務品質保證、優先等級和預選 (Quality of Service, prioritization and pre-emption, QPP) 功能。芬蘭並未分配公共安全網路專用頻譜。

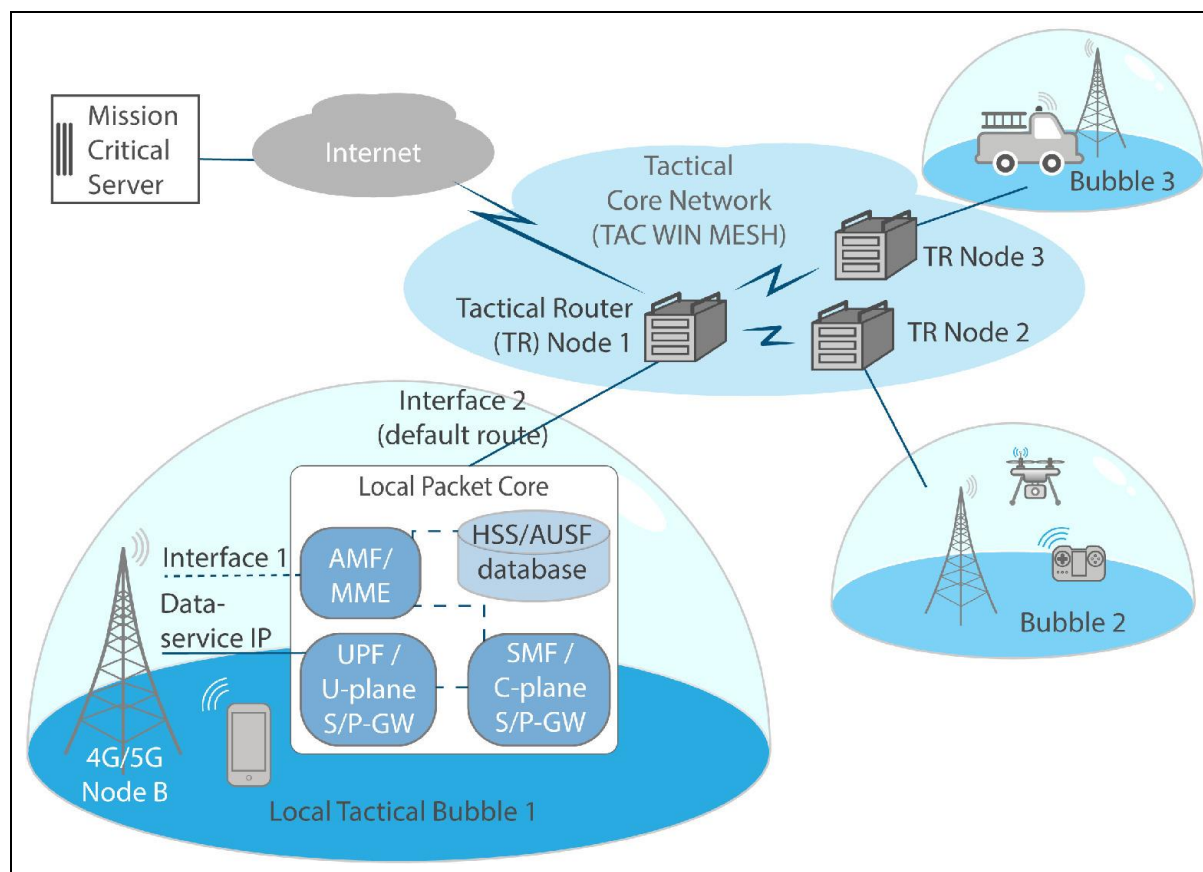
(三)、PPDR 應用案例

Virve 2.0 得到芬蘭 PRIORITY 研究專案的支持，於 2020 年在 OuluZone 賽車中心進行首次試驗，該試驗涉及建立一個利用每秒輸入／輸出

(Input/Output Operations Per Second, IOPS)獨立運作模式的本地 4G/5G 測試

網路，並以先進通信技術和無人機展示關鍵通訊情景。整體網路架構如下

圖示意。



資料來源：芬蘭專案，MIC 整理，2021 年 1 月

圖 3-22、利用 IOPS 臨時建立包含本地核網的關鍵任務網路架構

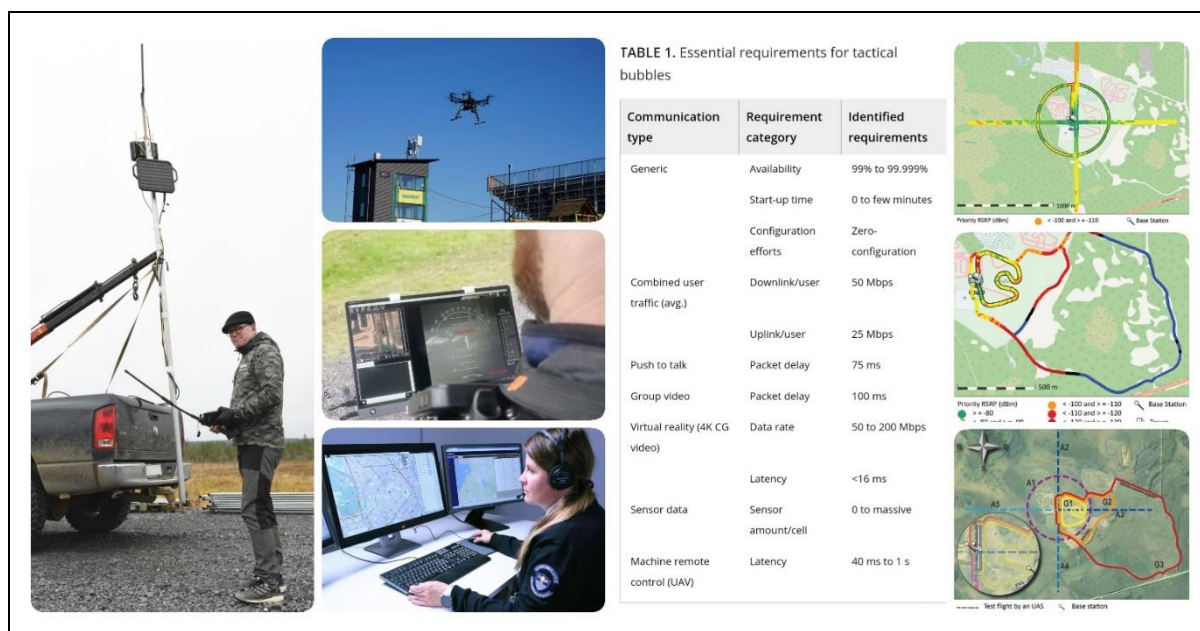
參與該項試驗的合作夥伴包括 Airbus Defense and Space Oy、Elisa Corporation、Bittium、EXFO 和 Keysight Technologies Finland Oy 等公司。

這些公司在行動網路基礎設施、關鍵通訊系統、無人機技術、量測和測試以及軟體開發等領域提供專業知識。芬蘭運輸和通信管理局 Traficom 則為

現場測試提供頻率使用許可⁶⁸。

測試使用案例涵蓋了關鍵通訊的各個方面。例如，該專案探索了人員搜索、部隊管理和重大事故管理等場景中人工智慧、5G 通訊、感測器技術和無人機的應用。這些技術增強了通訊和情境感知能力，使緊急情況下的回應能更高速有效率。該專案還致力於建立臨時無線資源，以支持極端條件下的關鍵通訊，在信號弱或網路擁塞的地區提供安全的寬頻連接。

該次試驗亦進行一些量化和質性指標的實地研究，評估包括關鍵通訊技術的涵蓋範圍、數據速率、傳輸速度、延遲、錯誤率、優先級和安全性⁶⁹。如下圖。



資料來源：芬蘭 PRIORITY 專案，MIC 整理，2021 年 1 月

圖 3-23、臨時性關鍵任務網路試驗現場實景與訊號量測數據分析

⁶⁸ 芬蘭 PRIORITY 專案 (2021), PRIORITY for Mission Critical Communications Solutions, <https://criticalbroadband.fi/trial-1/>

⁶⁹ Marjo Heikkilä 等人 (2021), Field trial with tactical bubbles for mission critical communications, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ett.4385>

(四)、研究小結

芬蘭擁有一個活躍而廣泛的關鍵通訊生態系統，包括設備供應商、服務提供商和應用開發者。芬蘭政府鼓勵公共安全部門與緊急服務相關部門之間進行跨單位合作，並通過法律來促進下一代寬頻關鍵通訊能力的建立。Erillisverkot 已完成其專用的 Ericsson 行動核心系統，整合了 Airbus Agnet MCX 應用程式，並已開始提供有限的 MCData 數據訂閱服務，該服務將在 2023 年進一步推廣。

Erillisverkot 集團從過去建立與維運 Virve 網路得出的一個重要經驗是，要能夠成功佈署新的解決方案和服務產品，就必須充分結合考慮其運行環境的整個生態系統。只有結合考慮所有組成部分，才能釋放技術的全部潛力。該網路優先提供數據服務，並將現有服務遷移到 Virve 2.0，保證通訊即時、可靠且穩定，亦保障資訊安全和數據完整性。然而，一旦這些能力得到更高級別網路功能的支援，例如更快的數據速度、更低的延遲以及更精準的定位，它將開闢新的機會，比如消防頭盔上安裝 AR 設備、在人煙稀少地區透過無人機拍攝建構緊急情況的清晰圖像。Virve 2.0 將提供一個創新平臺來滿足新的和未知的案例需求，而這只是轉變的開始⁷⁰。

⁷⁰ Ericsson (2022), Cooperation and collaboration: Building Finland's next-generation public safety network, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/articles/erillisverkot-public-safety-network>

三、 法國 RRF

在 2015 年至 2016 年期間，法國遭受了一系列致命的恐怖襲擊。當新威脅(恐怖分子、城市暴力、氣候變化、健康危機等)出現以及對安全和緊急服務的需求不斷增加的背景下，法國警覺日益增加的安全與風險需求，需要全面規劃適當的緊急與安全的電子通訊工具及法制。

法國的警消系統由內政部管理，同時，法國頻率分配表也在內政部、國防部所專用的頻段中備註各相關單位均為該頻段之管轄機關。因此，法國的 PPDR 網路功能更新乃由內政部主導，法國內政部並表示 PPDR 網路的規劃需超越國家服務部門、地方當局、公共和私人行為者之間的傳統劃分，從整體國家安全的角度來做整體規劃有其必要。

(一)、 公共安全網路發展歷程

法國先前使用的安全及緊急部隊無線電網路已老化：憲兵隊的 RUBIS 網路創建於 1986 年，使用國家專用網路(L'Infrastructure Nationale Partageable des Transmissions, INPT)的警察通訊 ACROPOL 系統則建於 1994 年，提供警察、消防隊、緊急醫療服務、海關、國防、機動憲兵和囚犯轉移使用，以上網路皆為 2G 技術，互通性非常有限，且無數據與影像分享功能，隨著時間推移，保養維護費用亦日漸高昂。為滿足行動寬頻傳輸需求，法國國防部和內政部共同決定分階段建立一個通用的寬頻 PPDR 網路，提

出 RRF 未來無線網路願景，由內政部主導及財政部輔助，並得到地方、區域和國家機構與企業的大力支持。法國也升級過去使用 400MHz 頻段之窄頻技術 PPDR 服務，目標是建立一個高度安全、可靠且互操作的無線通訊網路，以支持各種公共安全應用，包括緊急回應、恐怖襲擊處理、警務執法和災害管理等。新服務將使用先進的技術和標準，包括長期演進技術(Long Term Evolution, LTE)和 5G 等，以提供高速數據傳輸和關鍵通訊能力，使不同服務和機構之間具備互通性。

PCSTORM 是建構 RRF 網路之第一期專案計畫，內政部在 2015 年查理周刊事件之後設立了 PCSTORM 專案，為特種部隊開發使用標準 LTE 技術的 PPDR 網路，並為所有既存政府相關部門 PPDR 服務提供整合服務，目標是擁有一個架構於 LTE 之上的全國性緊急公共安全網路，PCSTORM 專案負責開創彈性功能及網路容量，以使 RRF 網路能按緊急公共安全需求在任何地方及任何時間獲得網路支援，初期以 4G 完成建設，且預留在新技術可用時升級 5G 等技術。

RRF 的功能設計考慮各使用單位與相關社群的需求，允許不同參與者之間進行協作，用戶社群是該計畫不可或缺的一部分，解決方案的詳細設計納入用戶參與討論之需求規格，RRF 所有者也因此能夠準確理解每個元件的需求和使用環境。未來各使用單位也將在 RRF 管理機構的董事會中擁有代表。

在網路布建方面，法國過去採 PPDR 自建基礎設施模式，RRF 則採取多角色模式，尋求混合模式以利用商業行動網路之接取基礎建設。由政府偕同服務開發廠商負責用戶服務、設備、公共安全應用程式及關鍵任務功能，建設核心網路，而在核心網路與接取網路的介接、覆蓋率的擴展及備援上，則採取與行動通信網路業者簽約合作的方式進行。基於郵政及電子通信法(Post and Electronic Communications Code)，行動通信網路業者有義務協助政府提供緊急安全通信網路，所提供之各種接取網路服務皆按受歐盟法規監督之成本計價。但業者配合政府測試及網路升級等工作所生費用，則由政府補貼。2022 年 10 月，法國內政部將 RRF 計畫的合約授予了 Airbus、Capgemini、Orange、Bouygues Telecom 和 Atos 等公司，該計畫將在 2024 年至 2027 年間在法國全境展開。

(二)、 網路建置維運及頻譜安排

法國擁有一個活躍的國家公共安全生態系統，與全球標準保持一致。在頻段規劃方面也積極參與配合歐盟之頻率協調，除了過去使用在提供窄頻 PPDR 的 400MHz 頻段外，也在 700MHz 頻段規劃寬頻 PPDR 頻段。

法國規劃以下兩個頻段可供 PPDR 使用：

- 400MHz 頻段，410-430 MHz 和 450-470 MHz；
- 700MHz 頻段：Band 28 (733-736MHz、788-791MHz)、Band 68 (698-

703MHz、753-758MHz)。

400MHz 頻段除供 PPDR 使用外，也供法國的專用行動無線電 (Professional Mobile Radio, PMR) 業務經營者申請，PMR 業務為在本地或區域範圍內使用的獨立行動網路，用於專業用途，PMR 業務之特點包括：獨立網路、不同於傳統的公共行動網路且為滿足專業需求而建置，可提供特定功能，其覆蓋範圍通常具地域性質，包含垂直場域。PMR 系統通常設計為在緊急情況下也能運行，可提供公共保護和救災 (PPDR) 服務，所以，在 RRF 上線前，架構在 400MHz 頻段上的 PPDR 系統也是法國內政部及國防部目前正在使用的窄頻 PPDR 網路。

700MHz 頻段則為專門規劃為符合寬頻 PPDR 需求之頻段，由於 700 MHz 頻段範圍能提供寬頻 PPDR 的獨立解決方案 (Stand-alone solution)，因此也被視為能實現互通性的主要頻率範圍。Band 28 是 3GPP 的 PPDR 標準頻段；Band 68 的使用，根據 3GPP 的討論，是為了來自中東國家電信主管部門的要求，提供 PPDR 在 700 MHz 頻段更多擴展頻段⁷¹。2015 年世界無線電通信大會 (WRC-15) 和隨後的歐洲法規皆保留 Band 68 做為 PPDR 之專用頻段，法國的 PCSTORM 專案在 2018 年專案啟動時已被授予 Band 28 及 Band 68 的使用權，雖當時在 Band 68 尚未有可用的用戶設備。

2023 年 5 月 Ericsson 於 2023 年世界應急通訊大會 (Critical

⁷¹ TCCA (2016), A review of the Spectrum Status for Broadband PPDR in Europe.

Communications World 2023, CCW 2023)活動中實際展示 Band 68 相關 PPDR 應用，宣布點對點生態系統已成熟⁷²，可供政府和行動業者利用該頻段佈建連接層，連接層之作用在於與對行動通信的優先接取功能結合，提供彈性關鍵任務寬頻連接。終端方面，Ericsson 使用法國智慧手機製造商 Crosscall 專為惡劣不可預測環境提供的耐用智慧手機，搭配 Streamwide 的設備應用程式、服務及解決方案，提供先進 IP 語音(VoIP)、關鍵任務一鍵通(Mission-critical push to talk)及下一代 MCX 服務，根據 Ericsson 表示，Band 68 已進一步討論相關標準化項目，如載波聚合及支援 5G NR 之方法。

(三)、5G PPDR 應用案例

RRF 計畫為法國總統親自啟動的國家安全網路計畫，在啟動典禮上向安全和緊急部隊發表談話時，強調實施該計畫所面臨的主要挑戰：未來寬頻公共網路對於警察、憲兵和民事安全部門來說，必須具備能提供發生危機時的高水準復原力及最佳數位技術能力。這將是法國和歐洲的一個重大工業項目，必須盡快進行，也是國家主要投資計畫框架內具有明確財務承諾的主題⁷³。法國期許 RRF 計畫使法國能加入世界上另外四個為安全緊急服務提供最新一代通信工具的國家行列：英國的緊急服務網路(Emergency

⁷² Ericsson (2023), Band 68 spectrum: a lifeline for public safety services in Europe.

<https://www.ericsson.com/en/news/2023/5/band-68-spectrum-a-lifeline-for-public-safety-services-in-europe>

⁷³ Cyber Circle(2021), “Le Réseau Radio du Futur : Un outil de communication majeur pour les missions des forces de sécurité et de secours”, une Parole d’Expert du Préfet Guillaume LAMBERT,

<https://cybercercle.com/le-reseau-radio-du-futur-un-outil-de-communication-majeur-pour-les-missions-des-forces-de-securite-et-de-secours-une-parole-dexpert-du-prefet-guillaume-lambert/>

Services Network, ESN)和緊急服務行動計畫(Emergency Services Mobile Communications Programme, ESMCP)、美國的 FirstNet、芬蘭的 Virve 2.0，以及韓國使用的 SafeNet。

RRF 不僅須滿足法國國內使用單位及民眾的期望，在所有安全和救援參與者之間提供最佳技術及橫向通信服務，也需同時實現規模經濟。這項專案被法國政府視為其無線電通信發展的一個重大轉折點，透過新技術對當前的局限性創建解決方案，提供一套適合所有用戶的應用程式、工具和服務，並且同時保持經濟可行。

在資金方面，RRF 之建置由政府出資，採公開招標委託各類型供應商提供包括核心網路建置、SIM 卡製作、接取網路、關鍵任務軟體、互通性 Gateway 網路及管理控制工具等服務⁷⁴。根據法國內政部網站，該國總共對 RRF 投資了超過 7 億歐元(超過 6.84 億美元)⁷⁵。

建置時程方面，法國需要在 2023 年世界盃橄欖球及 2024 年的奧運會前建立強大的現代公共安全通信系統，這兩個主要期限決定了 RRF 的設計和部署，經歷了技術核心製造商招標及廠商合約簽訂，在 PCSTROM 完成初期計畫後，內政部宣布於 2022 年 9 月啟動測試計畫，同年 10 月與由 Airbus 及法國資訊科技服務管理公司凱捷(Capgemini)領軍組成的聯盟簽

⁷⁴ ESN(2019) Interview with Radio Network of the Future
<https://medium.com/@ESNCommunicationsTeam/interview-with-radio-network-of-the-future-8908b9c0f50c>

⁷⁵ le ministère de l'intérieur (2022), Lancement du projet "Réseau Radio du Futur" (RRF), le réseau très haut-débit souverain des services de sécurité et de secours.
<https://www.interieur.gouv.fr/actualites/communiqués/lancement-du-projet-reseau-radio-du-futur-rrf-reseau-tres-haut-debit>

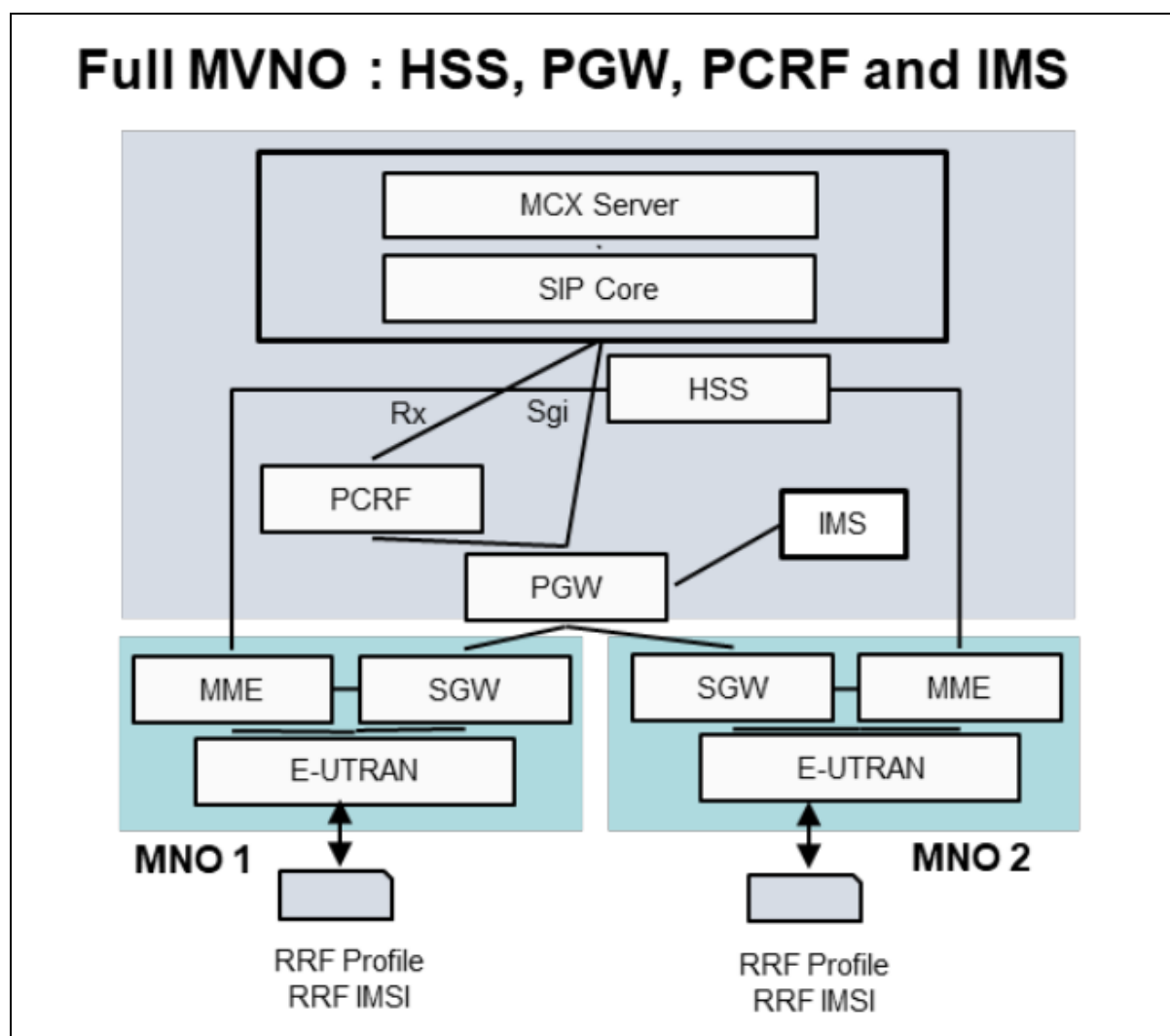
約，Airbus 負責提供關鍵任務通訊之相關服務並串聯各個環節的廠商包括 Econocom、Prescom、三星和 Streamwide 在內的各種合作夥伴。凱捷則負責整合所有項目合作夥伴提供的多種專業知識，其中包括戴爾科技集團的雲基礎架構及其所支援的 Ericsson 5G 電信服務⁷⁶。第一版 RRF 建設及測試將持續 19 個月，預計在 2024 年啟用。

RRF 將使 PPDR 網路從過去的 Tetrapol 標準過渡到 3GPP 標準，將專用核心網路建置在 700 MHz 頻譜上，並透過與行動網路業者(MNO)簽訂合約來延伸 RRF 在法國各地的接取網路，利用具全國漫遊功能的商業行動經營者網路達成完整的覆蓋。為確保第一版 RRF 主要服務之可用性，將先與第一個行動通信業者 Orange 完成互連、基本功能以及使用其網路的 9 萬個行動終端之部署，預計 2023 年底開始，進行後續版本的 RRF 功能更新後，才開始與第二個行動通信業者互連互通。

經過與國內 MNO 業者及國際 PPDR 廠商密切討論後，法國決定採虛擬行動網路服務經營者(Mobile Virtual Network Operator, MVNO)的外包模式取代 MOCN 網路合作模式，該模式也能確保 RRF 及時於 2024 巴黎奧運前完成布建，此外也能透過 MNO 之協助處理跨國使用 PPDR 之國際漫遊問題。此處所稱之 MVNO 模式為可擁有自建 Gateway 設備之 MVNO 類別，

⁷⁶ Source security (2022), Consortium led by Airbus and Capgemini was selected by the French Ministry of the Interior for RRF contract. <https://www.sourcesecurity.com/news/consortium-led-airbus-capgemini-selected-french-ministry-interior-rff-contract-co-14596-ga-co-1535019470-ga-co-1611295863-ga-co-1666002562-ga-co-1666003136-ga-co-1666003497-ga.1666004143.html>

較我國目前行動市場存在之 MVNO 類別更為先進。以下為法國 RRF 做為 MVNO 與 MNO 介接之網路架構圖：



資料來源：SUNC23，2023 年 4 月

圖 3-24、法國 RRF 網路架構圖

法國建立國家公共網路及使用商業行動經營者的接取網路達成公共安全網路之完整覆蓋範圍乃依照郵政及電子通信法第 L34-16 條及 L34-17 條之緊急及安全服務電子通信網路之特殊規定，條文中規定了 RRF 利用商業

行動網路業者的具體措施，包括 MNO 在發生擁塞時有義務提供 RRF 用戶優先接取，以及 MNO 有義務應 RRF 用戶之需，提供其國內漫遊需要。此外，也規範 MNO 提供安全服務電子通信網路(RRF)營運商的漫遊服務需以協議確定提供漫遊服務的技術和定價條件。

為營運 RRF 網路，法國內政部提案並與各相關政府部門合作修訂相關法規，建立行動安全和緊急通信管理局(The Agency for Operational Mobile Security and Emergency Communications, ACMOSS)。2023 年 1 月 24 日第 2023-22 號提案，關於內政部的定位和規劃之第十一條，在內政部數位轉型相關規定之最先進數位設備章節中，定義 ACMOSS 為國家公共機構，並透過以下條文建立其營運依據⁷⁷：

1. 國家公共機構旨在確保：

- (1) 緊急和安全服務電子通信網路的實施和運行；

- (2) 應國家、地方當局或其團體的請求，向該網路的用戶提供安全的超高速關鍵行動通信服務，用於安全和救援任務、保護民眾以及管理危機和災害、消防和救援服務、緊急醫療援助服務，對負責安全和救援領域公共服務任務的任何公共或私人機構提供服務。

2. 該機構由董事會管理並由董事會主席領導。董事會主席和機構董事

⁷⁷ Legifrance (2023), LOI n° 2023-22 du 24 janvier 2023 d'orientation et de programmation du ministère de l'intérieur (1)

由法令任命，任期三年，可連任一次。

(1) 董事會除主席外，也包括擁有多數席位的國家代表、市政府代表、部門代表、消防和救援部門代表、提供關鍵網路的行動網路業者、在機構主管領域具有資格的人員，以及機構人員的當選代表。

3. 該機構的資金來源包括：

- (1) 來自國家、公共當局或任何公共或私人的補貼；
- (2) 在其任務框架內提供的服務和銷售收入的報酬；
- (3) 決定使用該機構提供的服務的人員支付的投資和營運補貼；
- (4) 授權貸款；
- (5) 捐贈和遺產；
- (6) 來自法律法規授權的所有收入。

法國隨後以 2023 年 3 月 30 日第 2023-225 號立法⁷⁸，設立行動安全和緊急通信營運代理局。該法分為二章，第一章為郵政及電子通信法之相關規定修正，第二章為過渡性條款及日出條款。主要內容為，ACOMSS 代替國家履行郵政及通信法第 L.34-17 條規定之任務及權利義務。其中，為建立緊急和安全服務電子通信網路而簽訂的財產、產品和合約，國家固定資產

⁷⁸ Legifrance (2023), Décret n° 2023-225 du 30 mars 2023 portant création de l'agence des communications mobiles opérationnelles de sécurité et de secours.

頻譜及設備市場逐漸成熟，終於在 2022 年邁入第二階段，預計於 2024 年全面上線。

本研究發現，RRF 的各項關鍵任務功能、終端設備、SIM 卡製造、應用程式之開發及行動商業網路之連線互通等工作，並非僅由某單一政府部門獨立完成，其中能夠讓專案順利運行發展出滿意成果之關鍵主要是謙虛不懈的跨部門使用者需求溝通，經歷多次確認使用者所需功能及介面需求，才有可能設計出符合使用需求的 PPDR 網路。其次，透過跨政府部門間法規制度之修訂及建立，使 RRF 網路及營運方式有了明確定義，利用商用行動通信接取網路擴展涵蓋具備正當性與制度化，讓整體網路建置能被順利推動。最後也是最重要的，使 RRF 能營運開展的重要配套措施-- 設立一個國家公共機構，以代理國家 PPDR 之營運及發展工作。該行動的重點是透過設立「行動安全和緊急通信營運機構」來整合、管理、營運所有使用單位的需求，並將 RRF 的經驗與法國 PPDR 相關工商產業結合，有助於 PPDR 公共安全網路服務的國際商業輸出，同時，法國也同時賦予該行動安全和緊急通信營運機構協助內政部完成數位轉型之重要任務。

法國 RRF 願景的實踐過程中，其相關立法、修法及跨部門整合經驗及相關配套措施，非常值得我國建置 PPDR 之借鏡。

四、 英國 ESN

(一)、 公共安全網路發展歷程

1999 開始，英國政府便積極打造以 TETRA 為基礎的無線通訊骨幹網路 Airwave，它提供語音和簡訊服務，使用對象包括警、消及救護等國家公共安全單位及人員，該網路涵蓋 300 多個公共安全機構，用戶約有 30 萬人，約佔英國公共安全單位 99%的涵蓋率。

雖然 Airwave 是一個可靠且穩定的系統，但數據傳輸速度有限，無法提供寬頻服務，也無法快速即時回傳影音及複雜的圖片資訊，隨著救災科技化、智慧化的提升，Airwave 已無法滿足科技時代下數據傳輸需求，另外英國內政部也認為 Airwave 使用費價格太高⁷⁹。所以基於長期成本考量，以及救災、防災大數據傳輸上需求，英國內政部於 2011 年啟動了「緊急服務行動通訊計畫」，由英國內政部與衛生部、蘇格蘭政府和威爾士政府共同出資⁸⁰，打造新一代的緊急服務網路(ESN)系統。

「緊急服務行動通訊計畫」計畫主要分三大部分⁸¹，2015 年陸續完成簽約，第一部份由英國最大行動通訊商 Everything Everywhere (EE) 負責布建核心網路及完善行動通訊服務，提供新一代的公共安全緊急救災通訊服務，以 4G/LTE 技術為基礎設計的 ESN 系統；第二部份為系統整合、管理

⁷⁹ Telecommunications Policy(2023), The role of mobile network operators in next-generation public

⁸⁰ 英國內政部與其他相關政府部門共同出資提出「緊急服務行動計畫」(Emergency Services Mobile Communications Programme, ESMCP)，此計劃包括三大項目 Mobile Services、Delivery Partner、User Services

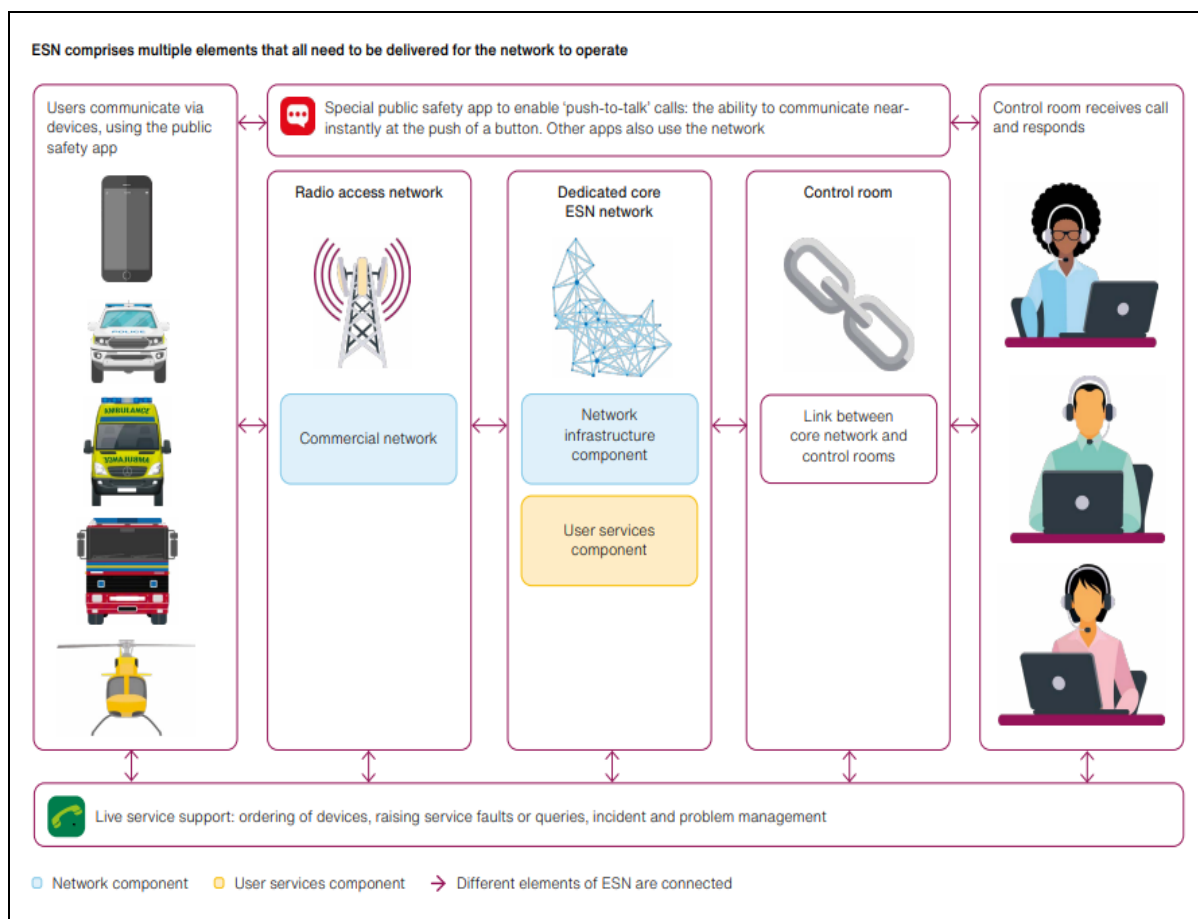
⁸¹ National Audit Office (2019)，Progress delivering the Emergency Services Network

使用者帳號等提供使用者服務由 Motorola 擔任供應商；第三部份則是建置期間的專案管理、裝備升級及報告等業務由美國工程建築和服務公司 (Kellogg Brown & Root Limited, KBR) 負責。

ESN 用戶不但可以與 EE 商業用戶共享商用網路，也受益於寬頻服務和優先接取保證，確保用戶在緊急情況及網路擁擠的情況仍能使用通訊服務⁸²，另外 EE 也負責提供專用 ESN 核心網路(不與一般消費者共用)，提供用戶及公共安全單位的系統安全認證，只有取得 ESN 認可、帶有 ESN-SIM 的操作設備用戶，才能接取此核心網路，以取代基於 TETRA 技術的 Airwave 網路，提供警察、消防和救援以及救護車和等公共安全用戶新一代的通訊系統。ESN 計畫預估使用者涵蓋英格蘭、蘇格蘭及威爾士的 30 萬公共安全用戶、4.5 萬輛汽車以及 66 架飛機⁸³。ESMCP 整個計畫涵蓋範圍非常大，除了主要組成的三個廠商之外，實際參與計畫廠商高達數十家。

⁸² RICHARD HARRAP, (2023), 「ESN provides ultra-reliable connectivity and support for innovative applications」, <https://iffmag.com/esn-provides-ultra-reliable-connectivity-and-support-for-innovative-applications/>

⁸³ Home Office(2023), Emergency Services Network: overview. <https://www.gov.uk/government/publications/the-emergency-services-mobile-communications-programme/emergency-services-network>



資料來源：National Audit Office，2023 年 3 月

圖 3-26、支持 ESN 運行所需建立的系統架構

英國政府於 2004 年頒佈「2004 年國民緊急應變法」(The Civil Contingency Act 2004)，為英國處理緊急事件之主要依據，該法案分為三個部分，第一部份定義某些組織為各種類型緊急情況做準備的義務。第二部份規定，政府在發生大規模緊急情況時可以使用的額外權力。第三部份提供補充立法以支持前兩部分。第一部份定義負有緊急情況應變義務的組織，分為第一類以及第二類，此二者也明定不同的義務，第一類主要為政府地方基層組織，第二類多為公用事業公司、運輸組織等重要的基礎建設單位，

其中就包含電信業者，其中的義務包括平日參與準備計畫，在急難、緊急時刻須與相關緊急應變單位合作，並共享相關資訊等責任、義務。在緊急事件發生時，英國政府可依「2004年國民緊急應變法」授權，依法進行資源調度及命相關組織進行必要的配合。

表 3-10、「2004年國民緊急應變法」規範緊急情況下有應變義務的組織

第一類	第二類
<ul style="list-style-type: none"> ● 地方當局 ● 警察部隊，包括英國交通警察 ● 消防服務 ● 救護車服務 ● 英國海岸警衛隊 ● NHS 醫院、NHS 基金會(和威爾士同等機構)、NHS 英格蘭、英格蘭公共衛生單位和威爾士公共衛生單位 ● 港口衛生當局 ● 環境署、蘇格蘭環境保護署和威爾士自然資源部 	<p>公用事業</p> <ul style="list-style-type: none"> 電力及電力相關事業 天然氣及相關事業 供水和污水處理事業 通訊服務相關事業 <p>運輸</p> <ul style="list-style-type: none"> 鐵路、火車公司(客運和貨運) 倫敦地鐵 倫敦交通 英國公路 機場 港務局 <p>其他</p> <ul style="list-style-type: none"> 衛生安全委員會事務局

資料來源：Guidance Preparation and planning for emergencies: responsibilities of responder agencies and others，2013年2月

(二)、 網路建置維運及頻譜安排

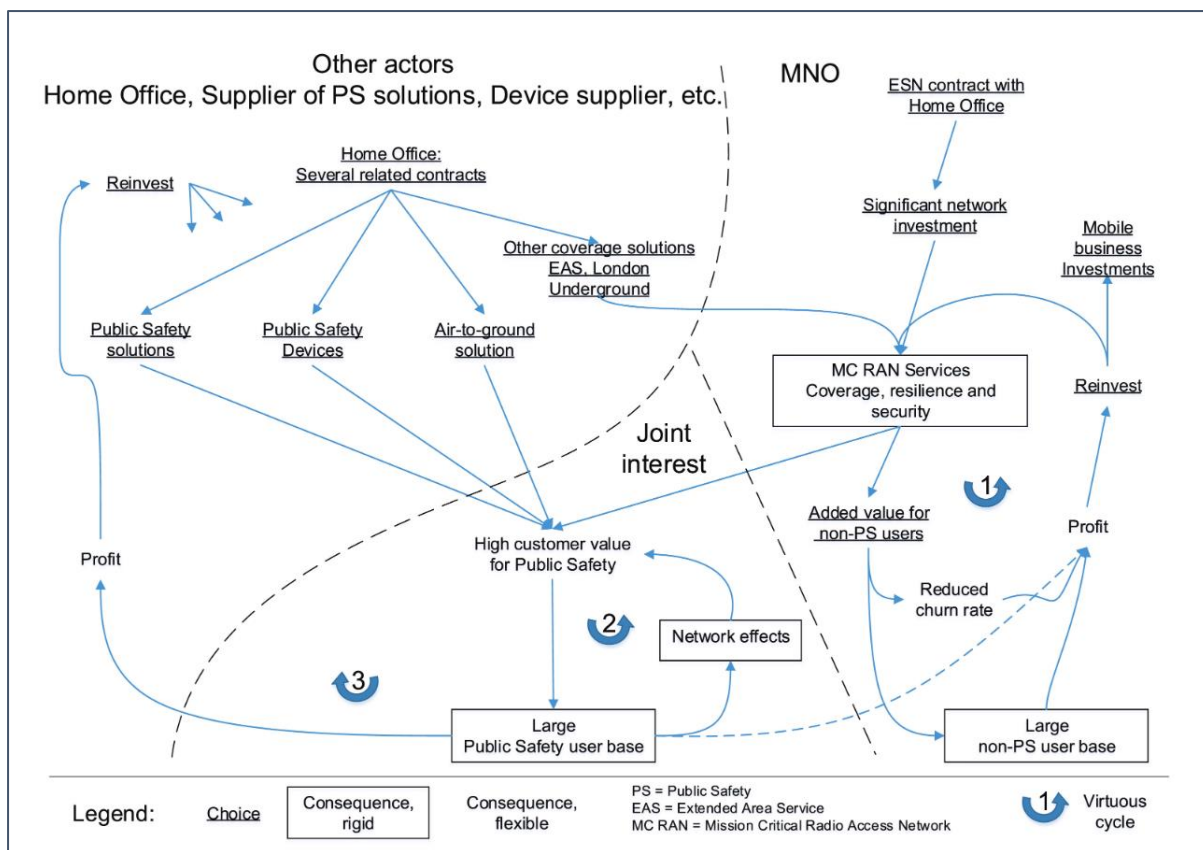
1. ESN 建造模式

ESN 是採用多參與者共享網路模型 (Multi-actor Shared-network Model)⁸⁴。EE 除提供 MC RAN 服務以及設置新站台擴展覆蓋範圍；EE 還負責為擴展區域服務無線站點，提供無線電設備以及設備的安裝和維護；EE 還提供專用運作公共安全服務的核心網路的支持服務，例如可用性和容量管理以及行動設備測試。EE 公司於 2015 年 12 月獲得 ESN 合約，原合約期限到 2021 年，但由於計畫延誤，於 2019 年修正執行期限為 2024 年 12 月，合約價值為 8.957 億英鎊。

另一個重要的功能，在於提供各種公共安全解決方案，涵蓋多個供應商，包括關鍵任務一按通服務(Mission-Critical Push-to-Talk, MCPTT)應用程式，用戶和設備管理、SIM 卡管理以及用戶支持系統及服務。為使用 ESN 服務，包括飛機及倫敦地鐵等供應商，也需要更新 ESN 服務系統、設備以及搭配的裝置才能配合 ESN 使用。

此計畫目前有數十個供應商所組成，英國內政部在這些複雜的供應商的整合、管理中扮演重要的角色。

⁸⁴ Telecommunications Policy(2023), “The role of mobile network operators in next-generation public”



資料來源：Telecommunications Policy，2023 年 4 月

圖 3-27、ESN 多參與者共享網路模型架構圖

表 3-11、ESN 相關合約列表⁸⁵

	合約	說明	負責單位
1	ESN 項目諮詢和交付服務	項目諮詢和交付服務以及轉型諮詢服務	Deloitte
2	行動通訊服務	行動電話網路基礎設施，包括空對地網路	EE
3	用戶服務	使 ESN 做為服務運行的各種軟體和系統	Motorola (已終止)
4	交付夥伴	計畫管理	KBR (已終止)
5	手持設備	堅固耐用的特規手機，具有用於緊急服務的「設備到設備」和「一鍵通」功能	Samsung
6	固定車輛裝置	用於緊急服務車輛的設備	Handsfree

⁸⁵ ESN 相關計畫仍持續的在招標中

	合約	說明	負責單位
			Group
7	車輛設備安裝	執行、協調緊急服務車輛設備的安裝	TBC
8	網路韌性	能夠在網路中斷(例如電源/設備故障)後維持可接受的服務水平	TBC
9	擴展區域服務	EE 網路未覆蓋區域的 292 個站點需要建設並接入 EE 網路	Various
10	空對地網路設計保證	緊急服務飛機 ESN 覆蓋	Roke Manor Research
11	飛機通訊系統	緊急服務飛機設備	Chelton
12	倫敦地鐵覆蓋	提供 ESN 覆蓋整個倫敦地鐵網路，包括隧道和車站	Transport for London and subcontractors
13	ESN link	控制室設備與 ESN 之間的網路連接	Vodafone
14	控制室升級	升級控制室軟體以與 ESN 配合使用	Various
15	覆蓋保證	測試 ESN 覆蓋率的服務	Telent
16	計畫支持方案	支持 ESN 的資源	Internal staff and contractors

資料來源：MOTOROLA SOLUTIONS，”Mobile Radio Network Services Market Investigation- Motorola’s Response to the CMA’s Final Report and Decision on a Market Investigation Reference”，2021 年 11 月

ESN 規劃交付的產品以及主要使用者列表如下。

表 3-12、ESN 規劃交付的產品及主要使用者

產品	說明	目標受眾
ESN Assure	用於檢查信號覆蓋強度的應用程式	所有用戶，以建立使用者對於訊號覆蓋的信心
ESN Connect	優先數據服務	現有數據設備裝置，例如：車輛中連線

產品	說明	目標受眾
ESN Connect +	優先語音及資料服務	不需要客製語音功能的消防或救護車使用者
ESN Direct	ESN Prime 的原型 (Prototype)	ESN 測試用戶
ESN Beta (previously ESN Prime and Post Prime)	為警察提供地面 ESN 服務	一般警察用戶
ESN Prime +	為有特殊安全需求的警察提供 ESN 服務	特殊警察用戶 (Covert police users.)
ESN Air	使用 ESN 設備的飛機	警用及救護用直升機
ESN Innovate	軟體和開發套件	所有用戶，構建應用程式以利用 ESN 數據利用

資料來源：MOTOROLA SOLUTIONS，”Mobile Radio Network Services Market Investigation- Motorola’s Response to the CMA’s Final Report and Decision on a Market Investigation Reference”，2021 年 11 月

2. ESN 頻譜規劃

ESN 所使用網路基於 EE 公司 4G/LTE 網路及其延展範圍。以 QPP 功能，確保公共安全服務的優先性。空對地通訊優先使用 2.3GHz (2340- 2350 MHz)專用無線電頻譜，其他則使用 EE 4G 商用頻譜。為讓 EE 可以提供公共安全通訊服務，英國通訊管理局(Office of Communications, Ofcom)允許 EE 公司的兩次許可變更申請的決定⁸⁶，變更 2006 年無線電報法(Wireless Telegraphy Act 2006)⁸⁷：

⁸⁶ Ofcom 的頻譜管理職，法源來自 2003 年通信法 (The Communications Act 2003) 和 2006 年無線電報法案 (Wireless Telegraphy Act 2006)

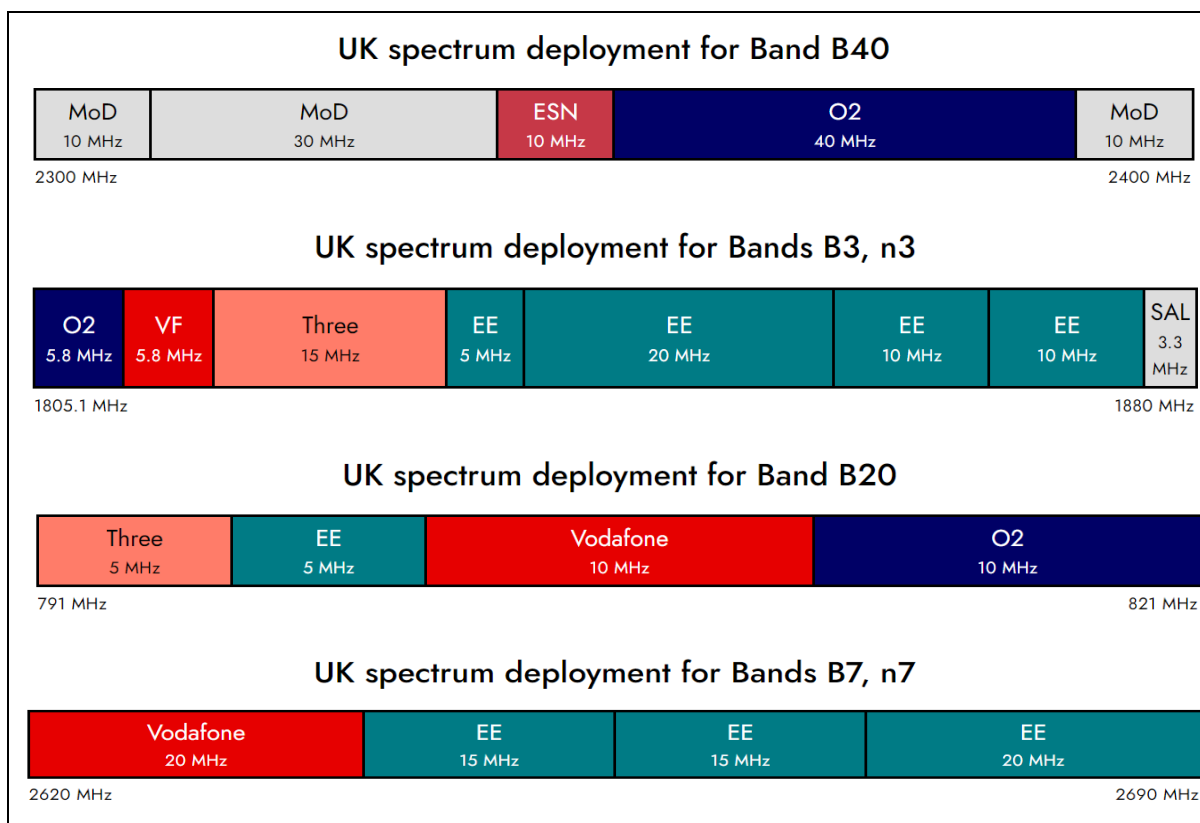
⁸⁷ Ofcom (2017), EE application for licence variations in support of enhanced mobile communications for the emergency services

(1) 頻譜 2100 MHz 許可變更，准許 LTE 技術用在 1899.9 到 1909.9 MHz 未配對頻譜。

(2) 變更 800 MHz / 2.6 GHz 和 1800MHz 許可，允許僅將行動傳輸上行鏈路(uplink)頻率用作連接緊急服務網路 ESN 基站(nomadic base stations) 的回程路徑(backhaul path)連結 ESN，以 1899.9 至 1909.9MHz 的頻率，功率高達 31 dBm e.i.r.p.

目前 ESN 在 EE 4G 網路上運作⁸⁸，該網路主要使用 1800MHz、800MHz 和 2600MHz 提供訊號覆蓋。其中 800 MHz(796 - 801 MHz 與 837 - 842 MHz 配對)和 1800 MHz(1831.7 - 1876.7 MHz 與 1736.7 - 1781.7 MHz 配對)的 EE 成對式頻譜，將 ESN 網路閘道器(Gateway)設備連接回到 EE 主網路。

⁸⁸ Mast Database(2023), UK mobile spectrum allocation , <https://mastdatabase.co.uk/gb/spectrum/>



資料來源：Mast database，2023 年 6 月

圖 3-28、Band 40、Band 3、Band 20、Band 7 與其相鄰之頻譜

(三)、PPDR 應用案例

1. ESN 服務範圍

足夠的覆蓋範圍是讓公共安全使用單位從現行的 Airwave 系統，安全地轉移到 ESN 的關鍵。覆蓋範圍也將由專家團體進行服務測試，以確保流程穩定可靠。ESN 的覆蓋範圍將涵蓋以下關鍵區域⁸⁹：

(1) 英國主要地區；

⁸⁹ Home Office(2023), Emergency Services Network: overview.

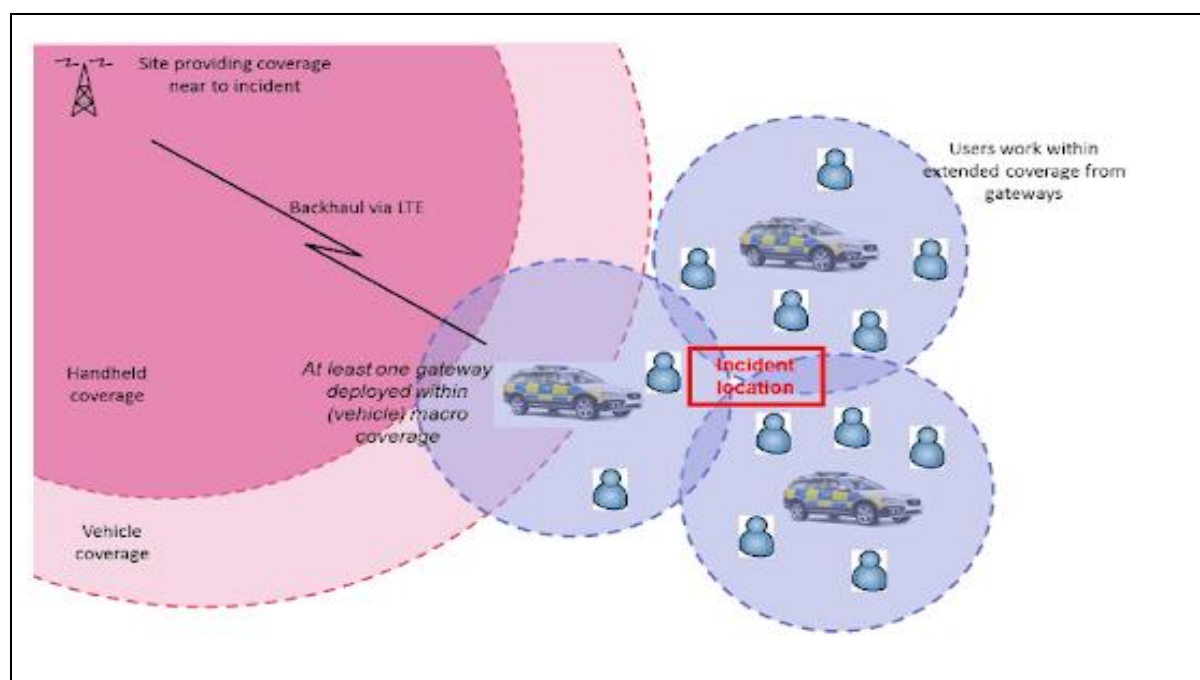
- (2) 契約內主要、次要道路、特定建築物、特定公路隧道和公共設施，以及出海 12 海里和地面以上 500 英尺的操作需要之區域；
- (3) 擴展區域服務(Extended Area Service, EAS)：位於主要覆蓋區域之外的主要和次要道路。這些是包括許多國家公園和自然風景區在內的鄉村地區；
- (4) 倫敦地鐵和英國的其他地鐵系統；
- (5) 需要操作區域的 500 英尺以上至 10,000 英尺的空中範圍。

擴展區域服務(EAS)是 ESN 計畫的重要組成部分，旨在確保 ESN 覆蓋到英國某些最偏遠和最鄉村的地區。英國內政部正在建造 292 個 4G 站點⁹⁰(多家廠商建造，但歸國家所有，會接取 EE 網路)，以補充 EE 的 ESN 網路，並最大限度地擴大緊急服務的覆蓋範圍⁹¹。在可能的情況下，發射基站結構將被設計成易於升級，保留未來 5G 使用的彈性。做為英國政府增強數位連線承諾的一部分，EAS 發射基站將可供其他行動服務業者做為數位、文化、媒體和體育等商業服務使用。英國總共將建造超過 950 個新的發射基站，並升級約 19,000 個現有站台，以實現 ESN 在英國所需的覆蓋範圍。EE 網路也會應 ESN 設備汰換及佈建新站點，而使現有 4G 網路受惠，另一方面，ESN 的語音和數據流量將獲得優先於商用流量之權利，即便在網路

⁹⁰ Home Office(2023), Emergency Services Network: overview.

⁹¹ 以提供 95% 的英國覆蓋率，allthingsfirstnet(2023)，Public Safety Advocate: UK Public-Safety Broadband Network Update

擁塞時也是如此。



資料來源：Ofcom，2017 年 1 月

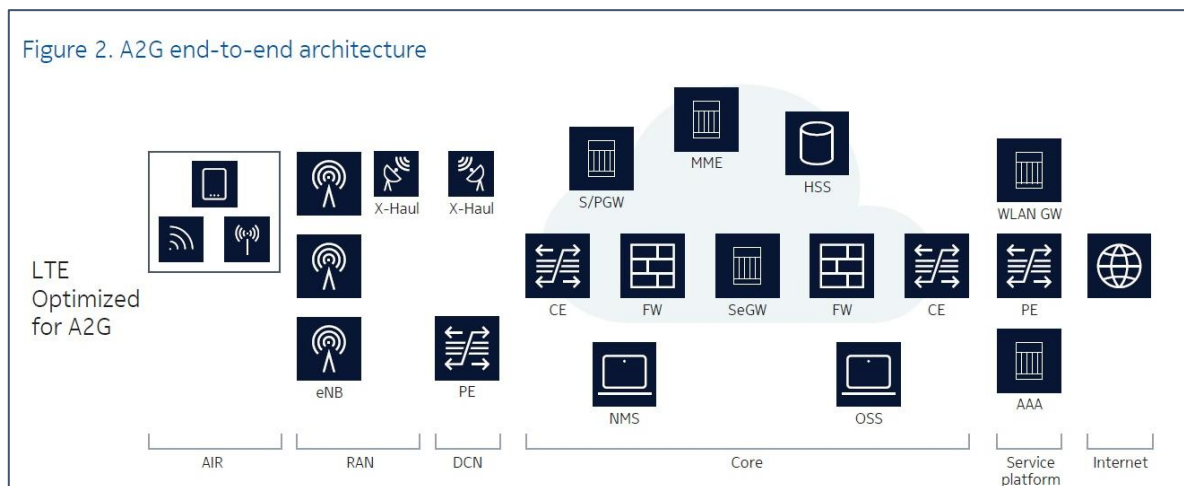
圖 3-29、車載機動站台，扮演重要角色

2. ESN Air

ESN Air 是用於緊急服務飛機的產品，也是全球首創空對地關鍵任務寬頻網路⁹²，此項目由三個不同的部分組成，第一個是空對地(A2G)網路，此網路與地面網路是分開的，重要需求是與地面 10,000 英尺之間提供無縫覆蓋(一般地面網路是提供 0-500 英尺間的覆蓋)，以及長達 12 海哩的出海範圍，類似垂直漫遊概念，飛機在起降時也能達到連續的網路覆蓋。第二個是飛機通訊系統(Aircraft Communications System, ACS)，此項目由 Chelton 公司進行，交付的內容包括將設備將安裝到飛機上，以取代傳統的 TETRA

⁹² Air-to-Ground (A2G) Network for Emergency Communications, <https://www.connectivity.technology/2020/06/air-to-ground-a2g-network-for-emergency.html> , 2020/6

系統，ACS 也會支持關鍵語音和數據傳送。第三就是將前面兩個項目整合並應用在廣泛的項目中。



資料來源：3G4G.co.uk，2020 年 6 月

圖 3-30、A2G 解決方案架構圖

3. ESN 關鍵任務解決方案

ESN 在關鍵任務的解決方案中，包括提供關鍵的「一鍵通」push-to-talk (PTT)的功能和數據重要服務。它將提供緊急服務和急救人員社群所需的所有公共安全特性和功能，並在經過嚴格的測試和試驗過程後，相關人員將會開始從 Airwave 大規模的過渡到 ESN。這些程式會在手持裝置上使用或裝在車輛設備，也會不斷地收集使用者反映意見，來不斷的改進相關的服務功能，持續提升相關系統的可操作性、系統的安全及可靠性及關鍵任務服務功能。

4. ESN 手機設備

2017 年三星獲得英國內政部採購 ESN 裝置設備約 2.1 億英鎊合約，在 2021 年延長 22 個月⁹³，使合約金額增加到 2.26 億英鎊，此份合約三星將為警察、消防、救護車及其他公共安全用戶提供智慧手機。三星研發 ESN 專用的 LTE 智慧手機，手機具堅固、防水設計適合在野外及各種艱困環境使用，更有支援緊急服務功能和關鍵語音服務的功能的「一鍵通」按鈕，無需撥號即可進行通話。



資料來源：SAMSUNG ESN Website，2023 年 6 月

圖 3-31、Samsung 提供 ESN 特規智慧型手機

⁹³ theregister(2021/12/16)，” Samsung gets 2-year contract extensions to provide rugged handsets for UK's troubled Emergency Services Network”， https://www.theregister.com/2021/12/16/samsung_esn_extension/

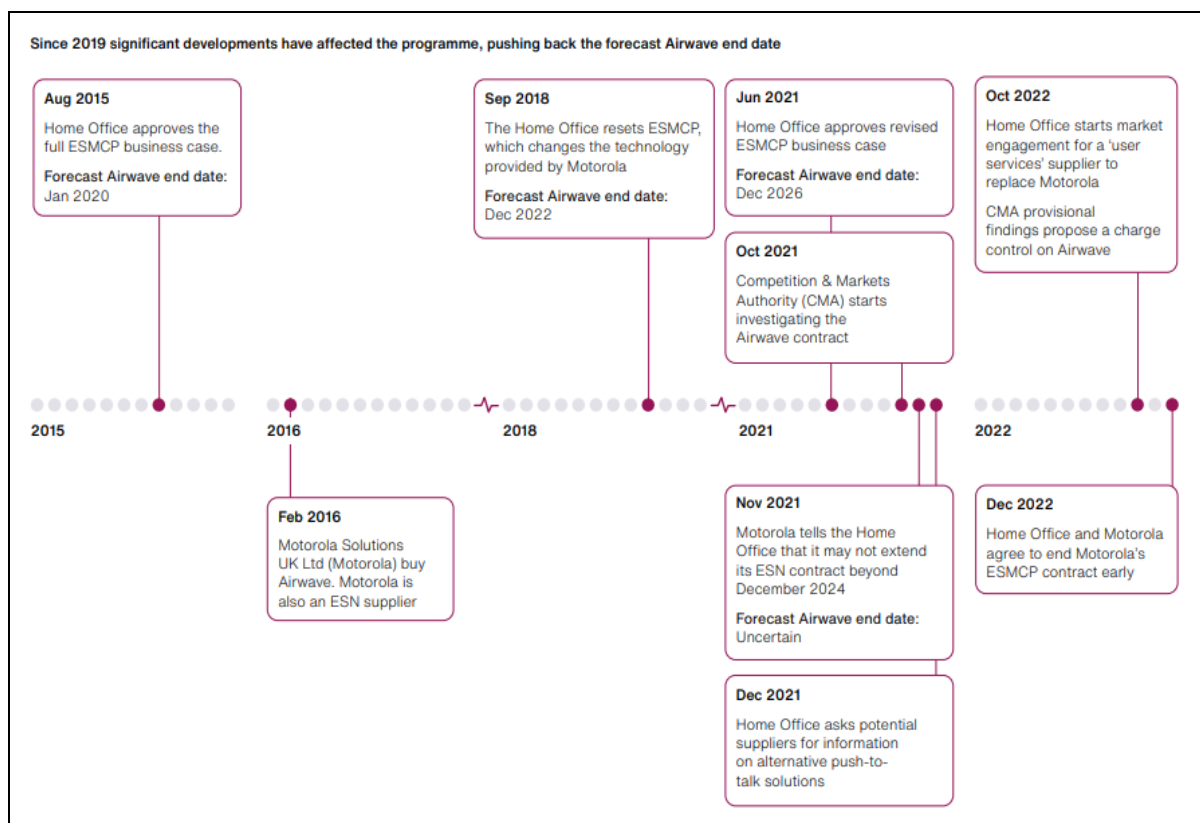
5. ESN 系統結合衛星回程網路

ESN 系統需要確保在任何災難、緊急狀況下及地面基礎建設損毀時，都能夠正常運作，以及鄉村、偏遠地區覆蓋率的提升。EE 與商業衛星公司 Gilat 合作，設置衛星回程網路，使 ESN 的緊急服務在任何地點都無縫運行，解決方案涵蓋 AVANTI 公司的 Ka 頻段 HYLAS 2 和 HYLAS 4 衛星連接英國各地的基地站臺，該衛星將覆蓋 100% 的英國，包含原先建有網路之鄉村、偏遠地區，以及做為都市地區緊急災難的通訊備援系統，使得 ESN 使用上更有韌性。使用衛星的好處是，不論是戰爭、恐怖攻擊、地震、水災等緊急災難發生時刻，地面基礎設施受到毀壞、不足或過載情況，以及發生傳輸中斷時可以在幾小時內快速恢復連線，可透過衛星的支援系統提供更具彈性及穩定的服務。

6. ESN 建設情況

ESN 已處於實施階段，尚未完全取代 Airwave 網路。原規劃於 2019 年 ESN 將全面建置完成，但也早在 2016 年英國國家審計辦公室(National Audit Office)將「緊急服務行動通訊計畫」列為高風險計畫，其中也進一步指出 Motorola 在 2016 年 2 月收購 Airwave，可能與它為 ESN 主要的供應商角色上有商業衝突，使得在其擔任 ESN 供應商角色上不積極。2018 年內政部重整此計畫，審計辦公室在 2019 年提出第二次報告，也持續的指出「緊

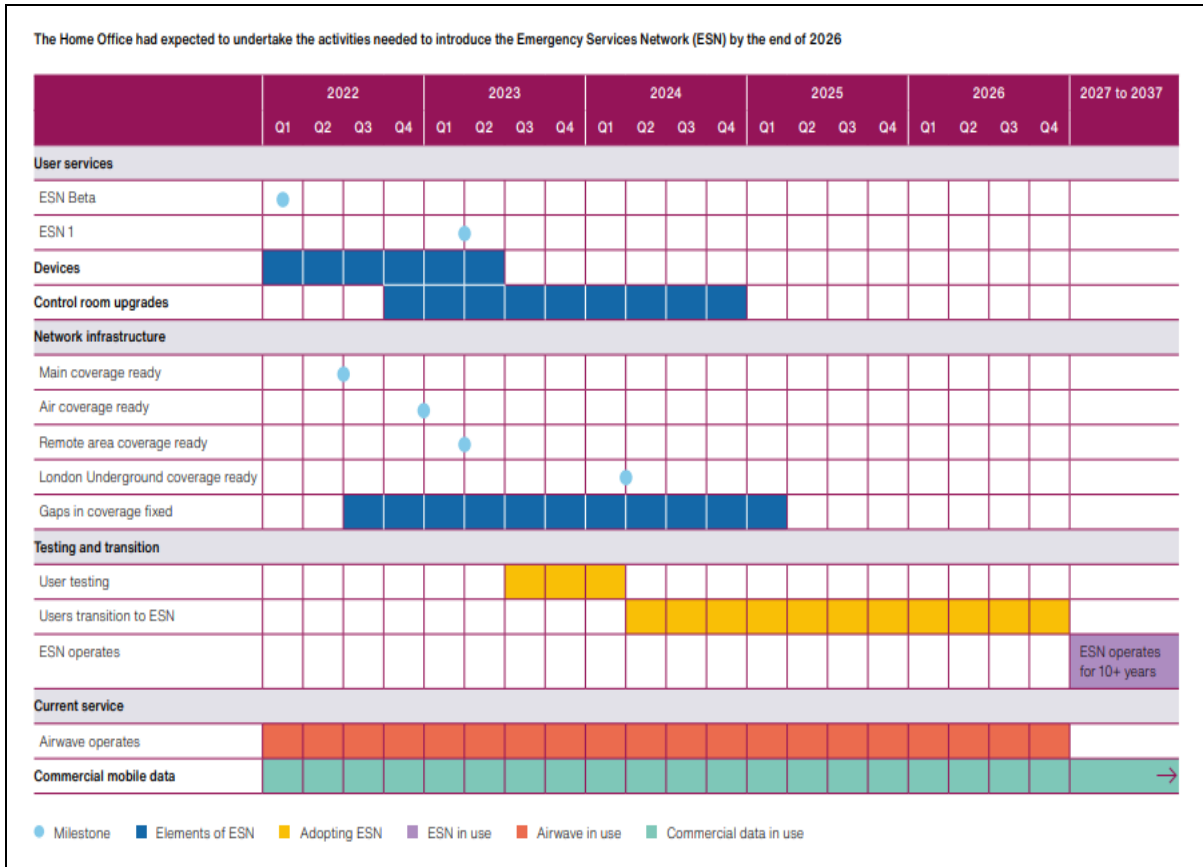
急服務行動通訊計畫」，由於是由多家廠商解決方案組成，實施上仍有許多風險。實際上，出於多種原因，包括供應商的解決方案對於標準認定版本上的差異，以及對系統整合及技術設計上的分歧導致項目延遲交付。而在汰換策略上，英國內政部由先前的「一次性整體汰換」，改為「逐步汰換」方式進行。目標是在 2024 年開始遷移並關閉電波發射，預計在 2026 年底完成。但 2022 年 12 月，英國內政部同意提前結束 Motorola 合約，目前英國尚未找到接續的廠商，因而整體時程恐面臨再次延遲情況。⁹⁴



資料來源：National Audit Office，2023 年 3 月

圖 3-32、「ESN」供應商 Motorola 參與到離開歷程

⁹⁴ urgentcomm(2023), UK Home Office officially cuts ESN ties with Motorola Solutions, but transition work still needed



資料來源：National Audit Office，2023 年 3 月

圖 3-33、2021 年英國內政部計畫更新 ESN 時程表

表 3-13、英國國家審計辦公室 2016、2019 及 2023 年三次對 ESN 提出評

估報告

	問題	2016 年評估	2019 年評估	2023 年評估
技術風險	緊急服務網路 (ESN) 需要技術問題	技術不存在	技術改變，一些技術未經證實	技術雖在發展，但未經有規模測試
	安全標準問題	是否符合所用戶所需的資安需求尚不清楚	安全認證不到位	資安標準未滿足實際需要
	ESN 整合問題	太依賴承包商	ESN 的各種組成將如何協同工作尚不清楚	內政部意識到整合問題，正在評估需求

	問題	2016 年評估	2019 年評估	2023 年評估
商業風險	合約問題	試圖將交貨 (delivery) 風險轉嫁給供應商	主要合約重修	主要合約被換掉
	Motorola 商業利益衝突	Motorola 角色衝突帶來的重大風險	Motorola 角色需要謹慎管理	Motorola 被換掉
使用者風險	用戶恐不願意使用 ESN	用戶看法不一	用戶對採用 ESN 表示擔憂	面臨信心重建的風險
	使用者推廣服務安排	用戶對於他們收到的服務缺乏控制性，因此可能採用其他服務	不清楚誰在管理 ESN 向使用者服務的推廣	進行「如何管理 ESN 的工作」已暫停，許多用戶組織補充 Airwave 資料以使用
計畫及結果風險	時間規劃的不確定	2020 年施行，時間規劃過於有野心	2022 年施行，目前欠缺統一的計畫管理	計畫正在修訂，時間表不確定
	執行能力的差距	積極的以交付為核心的組織文化，人員流動率低	許多員工離開該計畫	計畫有失去專家風險。員工士氣被認為是公認的風險。
	期待效益	對可產效益樂觀	好處的減少	好處的不確定性且可能減少

資料來源：National Audit Office，2023 年 3 月

(四)、研究小結

英國政府啟動「緊急服務行動通訊計畫」，建立新一代 ESN 系統以取代現有的 Airwave 系統，背後有幾個政策驅動因素。首先是欲建構「2004 年國民緊急應變法」在緊急情況的資源整備，以及改善、提升英國農村和偏遠地區提供通訊覆蓋範圍，確保緊急服務系統能到達英國所有地區。其

次，以符合國際 3GPP 關鍵任務 4G 規範進行建設，和過去的窄頻網路相比，4G 寬頻網路可提供更大的容量和更快的數據傳輸速度，傳輸內容也能從簡單的文字、語音提升到圖像、影片。

ESN 通訊服務上，用戶可共享 EE 的 4G 商用網路且有優先權接取、使用權利，以確保擁擠的地方或緊急情況下都能進行連線及通訊。另外 ESN 有自己專用核心網路，允許授權的裝置才可訪問此核心網路，以進行資料的共享與交換，並設計可結合讓行動裝置應用程式，協助 ESN 用戶執行工作與任務。

從財務角度而言，汰換昂貴的既有 Airwave 系統也是重要因素。根據英國內政部評估，採用 ESN 取代 Airwave 系統，每年可為納稅人節省約 2.5 億英鎊(約 3.18 億美元⁹⁵)⁹⁶，是「物有所值的項目」。雖然 ESN 建立過程歷經波折，包括主要的承包商 Motorola 商業角色衝突，及整體計畫期程延宕，內政部也討論過是否終止 ESN 方案，繼續使用或升級現有的 Airwave 系統，但由於延續使用 Airwave 系統成本昂貴，最終還是決定繼續執行以 ESN 逐步汰換 Airwave 系統方式進行。

ESN 項目啟動於 2015 年，是全球以寬頻通訊規劃 PPDR 極早的國家之一，較無其他國際經驗可參酌，在規劃及實際執行技術、能力上的落差，

⁹⁵ 以 1 英鎊兌換 1.27 美元計算

⁹⁶ Home Office(2022), Emergency Services Mobile Communications Programme-Summary of the Full Business Case (FBC) version agreed by the Major Projects Review Group (MPRG) on 23/07/2021

也是推動不如預期的原因之一。實際上從 2016 年開始，ESN 三度被英國國家審計辦公室列為高風險項目，該項目也一直受到延誤、重置以及額外費用增加的困擾。目前 ESN 是否能如預期實施，也面臨一些挑戰與風險。首先，是用戶組織是否願意使用 ESN 取代 Airwave 系統，考量的因素包括 ESN 需具備足夠的容量、覆蓋範圍、安全性和彈性，滿足工作操作的基本需求，多次的延宕也導致使用者對於本項目的信心開始動搖，另一方面是 ESN 尚未經過大規模的測試，系統是否符合緊急、災難的需求使用仍需要驗證。其次，財務方面的問題，目前 ESN 建置時程延宕，造成額外的活動(合約需要的服務時間延長、繼續使用 Airwave 系統費用等)產生超出原先的財務規劃，加上新冠疫情對財政造成的影響，導致政府財政在未來幾年需要進行節約，都使財政上的壓力增加。此外，供應商按時交付的能力也是延遲的潛在風險因素。最後，隨著 Motorola Solutions 決定退出英國內政部 ESN 計畫，英國國家審計辦公室認為，內政部需盡快尋找新供應商，也認為目前規劃 2026 年關閉 Airwave 系統恐再度延宕至少延續到 2029 年。

五、 韓國 Safe-Net

(一)、 公共安全網路發展歷程

韓國 PPDR 的起源，可追溯自 2014 年。2014 年發生的世越號船難事件，凸顯出不同公共安全機關之間缺乏互通性的溝通問題。各機關使用不同頻段、不同系統的語音網路導致彼此溝通障礙，妨礙了救援行動的效率。船難後，越來越多的聲音呼籲政府建立全國性公共安全寬頻網路。

韓國政府於 2014 年 11 月開始規劃，預計投入 2 兆韓元(約 17 億美元)建立單一網路，即 Safe-Net，使包括警察、消防、醫療救護、海岸巡防及軍隊等與災害相關的政府機構能夠進行即時通信，協調各機構對事故和災難的迅速反應。

韓國全國型公共安全 LTE 網路(Public-Safety Long Term Evolution, PS-LTE)將提供給八種公共安全服務類型約 300 多個任務機構、近 20 萬左右的使用者以專用網路方式使用，八種類型包括警政、消防、醫療救護、海岸巡防、軍事用途、地方行政機關服務、電力及瓦斯等。主管機關內政與安全事務部(Ministry of the Interior and Safety)主要負責 PS-LTE，此外，地面基礎運輸部(Ministry of the Land, Infra & Transport)負責之鐵道 LTE(LTE Railway)、海洋漁業部(Ministry of the Ocean & Fisheries)負責之海事 LTE(LTE Maritime)，三者將整合為 Safe-Net。

韓國公共安全網路採取三階段發展步驟，逐步完成全國網路涵蓋。首

先第一階段規劃於 2018 年從兩個先導城市開始，第二階段則應用於 2018 年 3 月的平昌冬季奧運進行測試驗證。運作型態則由主管機關內政與安全事務部(Ministry of the Interior and Safety)以核發特殊裝備的方式分發給各組織使用者，並對特定使用者設定優先接取權利。

在韓國構建公共安全網路之前，300 多個公共服務機構在各自頻段上以各種技術運作自己的網路，例如 TETRA、VHF、UHF 和 AM/FM 等，彼此網路間無法互通運作。為了改善此一狀況，韓國規劃在 8 個強制區域內構建約 12,000 個基地臺與約 20 萬個行動臺，包含固定行動電臺、車載無線電、智慧型手機跟雙向無線電設備等，同時，該公共安全網路還需要解決不同設備供應商跟傳統專用通訊設備間的互通問題。

至於公共安全網路之佈建，韓國政府分別交由兩家電信業者：韓國電信(Korea Telecom, KT)與 SK 電信(SK Telecom, SKT)各自依其責任區佈建完成。KT 負責佈建兩個區域，以及建置運作管理中心，SKT 則負責佈建一個區域。主管機關則負責監督網路運作以及 MCPTT 服務狀態。

MCPTT 是 PS-LTE 之重要功能，其反應時間為 300 毫秒，比一般 LTE 更快。該功能有助於現場負責人發佈訊息向各界溝通，同時也不受現場環境影響實現無縫通信。

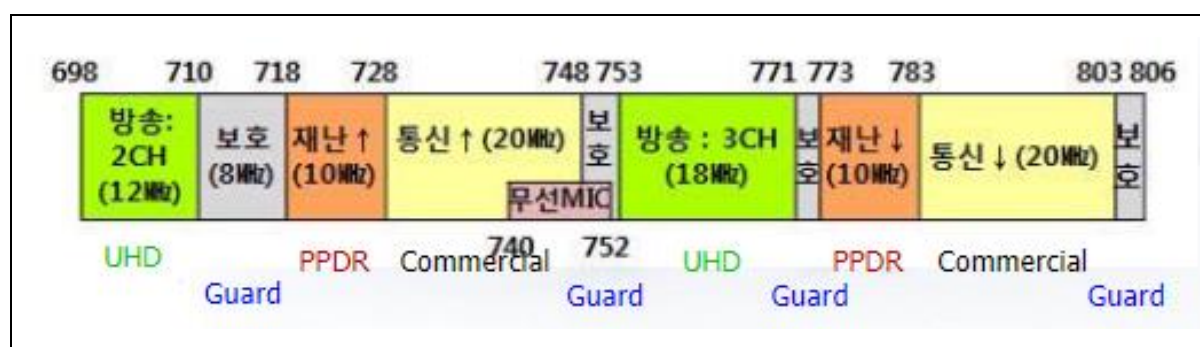
除了 MCPTT 之外，PS-LTE 尚有群組呼叫服務啟用功能(Group Call Service Enablers, GCSE)、LTE 廣播(多媒體廣播群播服務技術 evolved

Multimedia Broadcast Multicast Services, eMBMS) 、VoLTE 以及設備對設備通訊(Device to Device, D2D)等多種功能確保用戶間的通訊可靠度。

(二)、網路建置維運及頻譜安排

韓國電信技術協會採用 TETRA 技術標準來建設公共安全窄頻網路，並使用韓國通訊傳播委員會(Korea Communications Commission, KCC)為該系統分配的 2×5 MHz 頻譜(806-811 MHz 和 851-856 MHz)。目前，該系統已涵蓋韓國主要城市和高速公路。

韓國公共安全寬頻服務頻段主要使用 700MHz，通訊主管機關 MSIT 於 700MHz 頻段規劃 718-728MHz /773-783MHz 各 10MHz 做為 PPDR 使用頻段，該 PPDR 頻段與行動通訊商用頻段(728-748MHz /783-803MHz)相鄰⁹⁷。



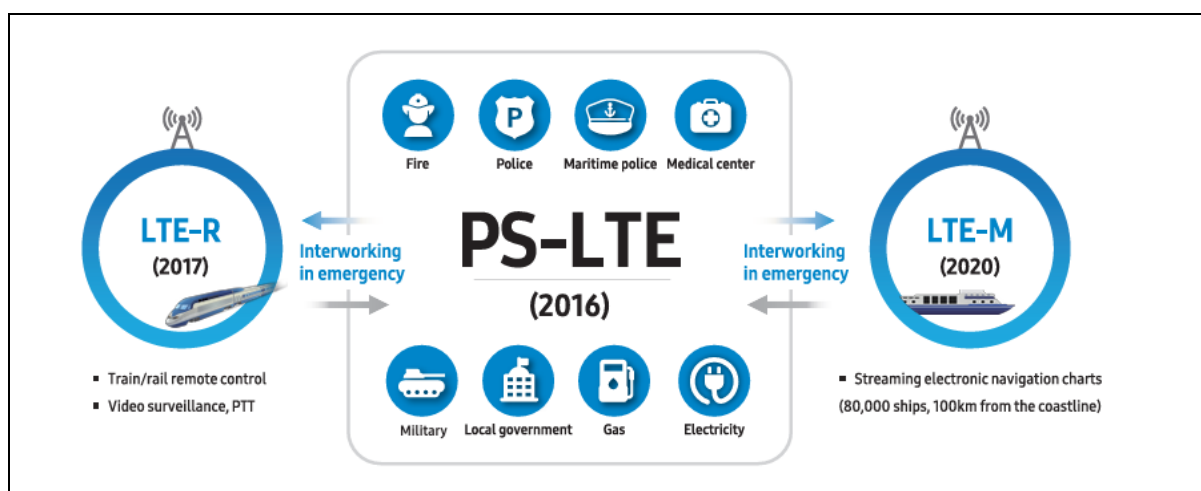
資料來源：Ministry of the Interior and Safety，2018 年 7 月

圖 3-34、韓國 PPDR 使用 700MHz 頻段配置方案

⁹⁷ Korea Safenet, https://www.preventionweb.net/files/56219_3th07kyunghichang.pdf, 2018/7

(三)、5G PPDR 應用案例

按照韓國主管機關的規劃，原先規劃在 2018 年平昌冬季奧運進行公共安全 LTE 之概念驗證，其後針對鐵道 LTE(LTE Railway)以及海事 LTE(LTE Maritime)亦有各自不同時程之整併作業。其後，韓國已於 2021 年 3 月發佈 PS-LTE，推動過程中曾出現包括技術障礙、佈建進度以及終端設備開發等情況，導致相關時程有所延誤，待克服技術困難後，未來將按照時程規劃逐步完成整併作業，下圖時程為原先規劃於 2017 年將鐵路長期演進技術通訊網路(LTE-Railway, LTE-R)與 PS-LTE 互通、2020 年將 LTE-M 與 PS-LTE 互通，但隨著計畫延誤，相關時程均往後調整。



資料來源：Samsung，2021 年 2 月

圖 3-35、韓國 PPDR 整合鐵道 LTE、PSLTE 與海事 LTE

按照韓國主管機關的規劃，2015 年至 2016 年為第一階段，規劃於平昌 (Pyeong Chang)、江陵(Gang Neung)以及正善(JeongSeon)等區域進行布建，

投入預算約 345 億韓元(約 3,200 萬美元)，布建一個運作中心、220 個固定電臺、1 個行動電臺及約 2,000 多支電話裝置；第二階段則於 2017 年至 2018 年 3 月，於平昌冬季奧運進行服務驗證，投入約 52 億韓元(約 480 萬美元)。

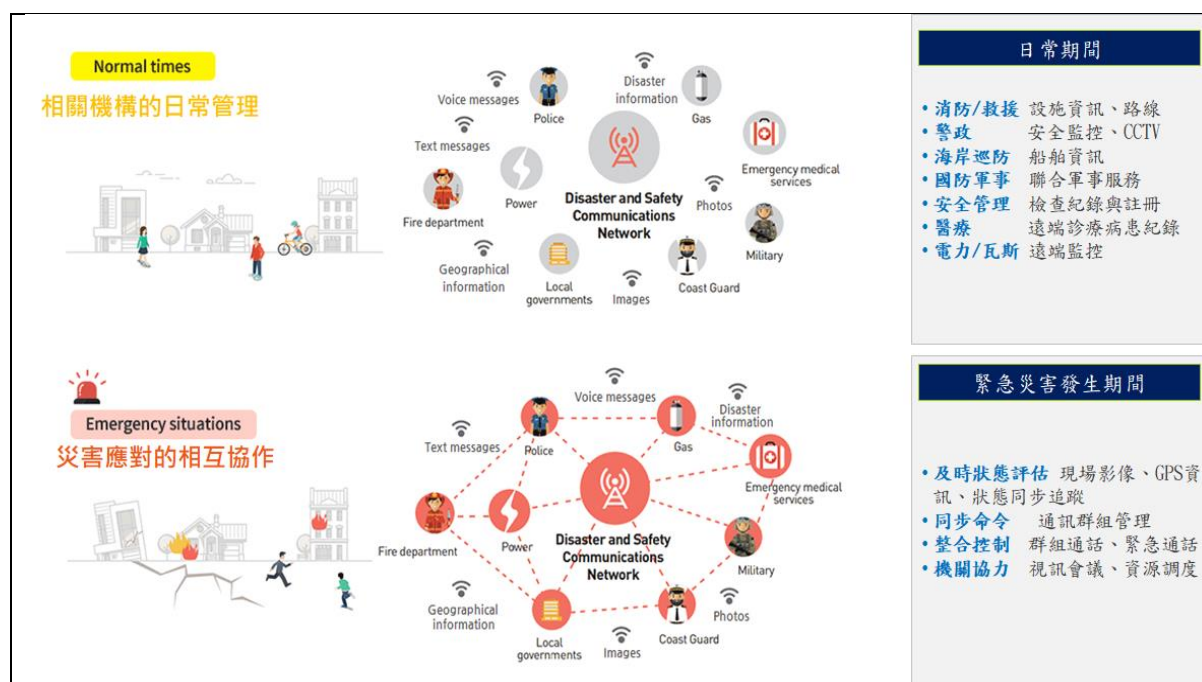
在第二階段期間，韓國測試公共安全先導網路透過專線與安全網路環境和商用 LTE 網路連線之情況，做為未來更進一步公共安全網服務範圍從 8 大主要領域擴展到全國商用網路環境之參考。例如透過無線接取網路共用(RAN Sharing)等型態，驗證公共安全網路與商用網路在主要交通路線上的互聯互通可行性。此外，也藉由平昌冬季奧運期間的驗證測試，協助各公共服務機構熟悉 PS-LTE 系統與設備運作。相關測試驗證都由韓國第三方獨立機構－電信技術協會(Telecommunications Technology Association, TTA)的測試實驗室驗證確保可信度。

按照韓國主管機關的規劃，PS-LTE 於第二階段平昌奧運服務驗證後，將逐步拓展布建範圍至韓國中部區域城市與南部區域城市，首爾等大都會區則規劃在 2020 年左右進行布建。2021 年，PS-LTE 部分如期開臺後，將開始進行與鐵道 LTE、海事 LTE 之互聯互通測試，以及擴張到軍事及海岸巡防等相關機構之使用，未來則規劃至 2026 年時，逐步演進至使用 5G 網路，同時也規劃整合地方政府，提供行動政府治理相關服務。

韓國的 PS-LTE，並不僅只於緊急災害發生時使用，而希望在日常生活運作中即可供警政、消防、海岸巡防、軍事用途、公共安全、醫療、電力及

瓦斯等 8 種主要公共服務使用。例如日常期間，可做為消防用途上之設施資訊管理、路線管理等；警政則可供安全監控、即時攝影機(閉路電視監控 Closed-Circuit Television, CCTV)等使用；海岸巡防可用於船舶資訊管理；公共安全可做為設施之檢查認證紀錄等資訊控管；醫療上可做為遠端診療或病患紀錄管理；電力跟瓦斯則可運用其於遠端監控設施狀態等。

若發生緊急災害時，該 PS-LTE 則可發揮緊急災害事件之即時狀態評估，同時可透過群組通信能力達到同步命令下達、或透過緊急通信或群組通信達到整合控制用途，且能以視訊會議更有效調度各機關資源，有助於災害發生時之跨機關相互協作。整體概念如下圖⁹⁸。

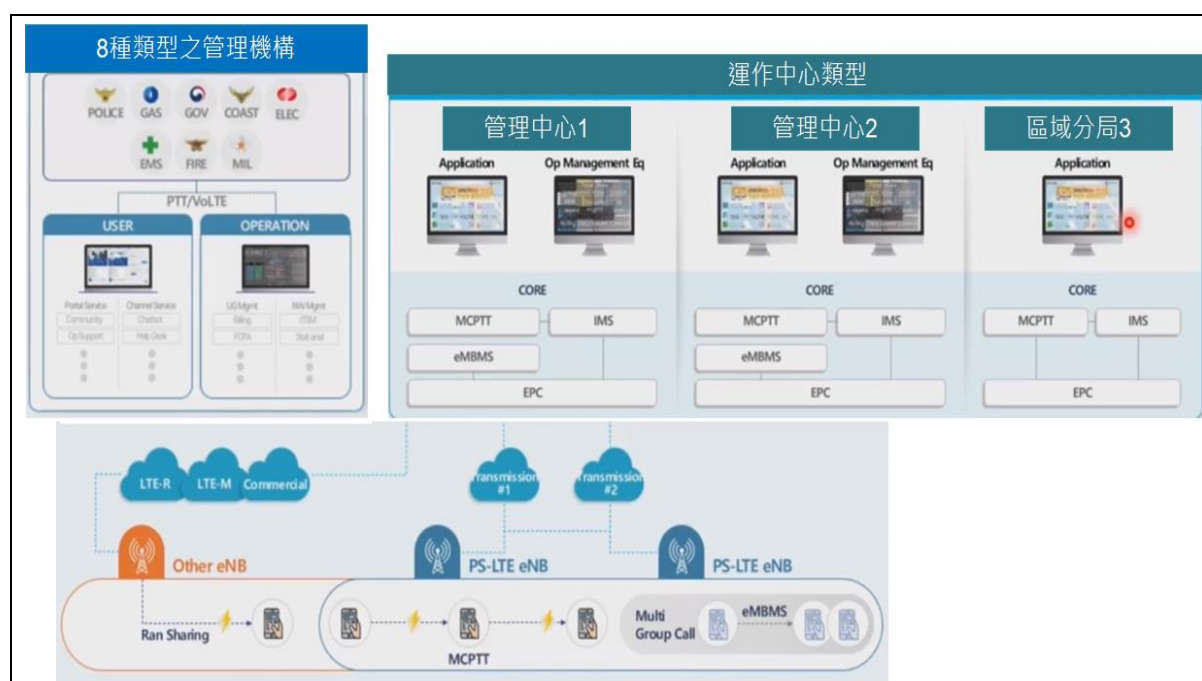


資料來源：Ministry of the Interior and Safety, 2023 年 6 月

圖 3-36、韓國 PPDR 運作時機與內容

⁹⁸ Disaster and Safety Communications Network, <https://www.mois.go.kr/eng/sub/a03/bestPractices7/screen.do>, 2023/6

根據韓國主管機關內政與安全事件部之設計，韓國 Safe-Net 將連接 8 種主要公共服務機構，並設置中央運作管理中心以及區域分局。管理中心將直接控制 PS-LTE 之基地臺，提供即按即說(MCPTT)或群組通信或群組廣播服務；同時，也和鐵道 LTE、海事 LTE 與商用 LTE 網路介接，透過 RAN Sharing 方式運作其他網路之接取網路與基地臺，達到擴張服務範圍之能力，如下圖。



資料來源：Korea Safe-Net Forum，本研究整理，2023 年 6 月
圖 3-37、韓國 PPDR 運作架構

(四)、研究小結

南韓擁有全球最先進的 LTE 公共安全網路，事實上，它為公共安全、鐵路和海事等領域建立了三個獨立網路，這歸功於 Safe-Net 計畫在 700 MHz 頻譜中分配了專用頻段。該網路現已啟用，並在 2023 年陸續增加新用戶。

六、 美國 FirstNet

美國的 PPDR 系統起源於 2001 年 911 事件，美國消防隊員的死亡人數多達 343 人，超過了事件遇難總人數的十分之一。當時執法、消防、EMS 和應急管理所依賴的無線電系統無法輕鬆跨機構運作，大量呼叫地面和行動電話讓系統不堪負荷。這場大規模災難凸顯美國在緊急救災系統上存在的根本性問題⁹⁹。美國政府體認到建設全國性緊急通信無線專網之重要性，透過消除各部門之間的障礙、增加互通性，以保障國家第一線救難人員和公共安全機構之間的通信。2004 年，美國發表了 911 委員會報告(911 Commission Report)¹⁰⁰，內容提及建立全國性的公共安全通信網路之必要，為急救人員建立可靠、專用的全國高速網路。

2012 年 2 月 22 日，歐巴馬總統簽署「中產階級稅收減免和創造就業法案(The Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012)」，敘明將成立急救網路管理局 (FirstNet Authority)，並由該組織建設全國性公共安全寬頻網路。該局隸屬於商業部(the Department of Commerce)下之國家電信與資訊管理局 (National Telecommunications and Information Administration, NTIA)¹⁰¹，該組織的目標是為公共安全和緊急應變提供高速、優先的無線通訊網路。

⁹⁹ FirstNet Authority History, <https://www.firstnet.gov/about/history>

¹⁰⁰ The 911 Commission Report. <https://govinfo.library.unt.edu/911/report/911Report.pdf>, 2004

¹⁰¹ Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012, <https://www.congress.gov/112/plaws/publ96/PLAW-112publ96.pdf>, 2012

2017 年 3 月，FirstNet 宣布與 AT&T 簽訂了一份為期 25 年的合作協議，推出了 PPDR 服務¹⁰²。FirstNet 將提供 20MHz 的專用頻譜，以及 65 億美元支持網路建設。AT&T 則另外投資 400 億美元建設維護全國性 LTE 無線寬頻網路。FirstNet 的用戶能同時享有 AT&T 價值超過 1,800 億美元的網路資源。該合作協議主要包含以下三部份：

- (1) FirstNet 將提供上下行合計共 20MHz 之頻譜 (788-798MHz / 758-768MHz)，該頻段係美國主要 4G 頻段，具備高度商業價值，且設備之生態體系成熟。此外，FirstNet 也於後續 5 年內提供 65 億美金的建設經費，該筆經費來源源自於過往 FCC 頻譜拍賣之得標金。
- (2) AT&T 承諾於 25 年內投入 400 億美金用於網路基礎設施的建設與維運，並確保網路的覆蓋率。
- (3) FirstNet 同意在該網路未用於緊急服務時，得做為 AT&T 商業網路之一部分運作，但當有緊急服務需求時，應立即提供緊急救難使用。

(一)、 公共安全網路發展歷程

美國 PPDR 是一個公開競爭的環境。除了 AT&T，Verizon 也推出了 PPDR 服務，名為 FrontLine。這兩家公司都在不斷改進和升級他們的服務，以滿足不斷變化的市場需求。

¹⁰² FirstNet Partners with AT&T to Build Wireless Broadband Network for America's First Responders, <https://2014-2018.firstnet.gov/news/firstnet-partners-att-build-wireless-broadband-network-americas-first-responders>, 2017/3/30

美國 PPDR 商業模式採用單角色、共用網路模式(Single-actor shared network)。由取得合約的 AT&T 負責共用網路的建置管理，包含：無線接取網路、涵蓋範圍擴展和網路加固、核心網路、關鍵任務服務(Mission Critical Services, MCS)、公共安全應用程式、設備和配件及用戶服務等。也就是 AT&T 負責 end-to-end 所有產品及服務。自 2018 年開始採用至 2021 年 3 月，FirstNet 網路成立 3 周年，AT&T 布建進度已達 99%，超過 1.5 萬個公共安全組織註冊，超過 200 萬個終端接取，並提供超過 160 個應用 APP，形成良好的緊急救護生態系統¹⁰³。至 2022 年 12 月時，則已成長到超過 2.3 萬個公共安全組織註冊，擁有超過 400 萬個終端接取，並提供超過 200 個應用 APP¹⁰⁴。不到 2 年的時間成長快速。

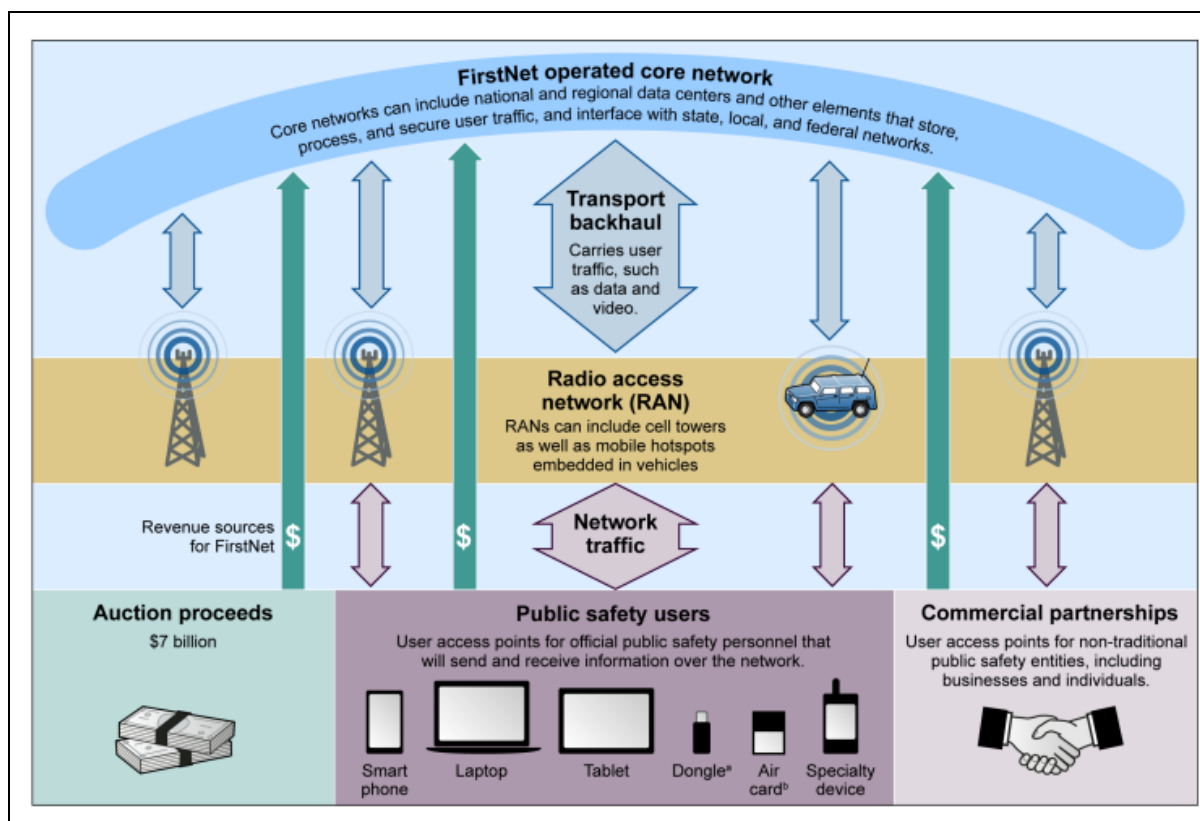
1. 網路架構

「中產階級稅收減免和創造就業法案」要求 FirstNet 建立一個全國性、可互通的公共安全寬頻網路(Nationwide Public Safety Broadband Network, NPSBN)，該網路基於隨技術進步而發展的單一全國性架構。根據法案，該網路由兩個組成部分組成：核心網路(Core Network)、無線接取網路(RAN)。下圖說明 FirstNet 網路的元件以及元件間的資訊流。

¹⁰³ FirstNet & 5G: An Experience Unlike Anything Else for America's First Responders, https://about.att.com/story/2021/fn_5g.html, 2021/4/1

¹⁰⁴ FirstNet Enhances Emergency Response for Public Safety, <https://www.5gamerica.org/firstnet-enhances-emergency-response-for-public-safety/>, 2022/3/22

例如，公共安全用戶可以使用各種設備接取 FirstNet 網路。資訊從公共安全用戶的設備流向無線接取網路(RAN)。相關資訊被傳送到核心網路，該網路可以透過區域數據中心和其他處理、儲存和保護的基礎設施連線，並且可以實現與聯邦、州和當地網路以及網際網路的互連¹⁰⁵。



資料來源：FirstNet and Next-Generation Communications for Public Safety: Issues for Congress，2018 年 4 月

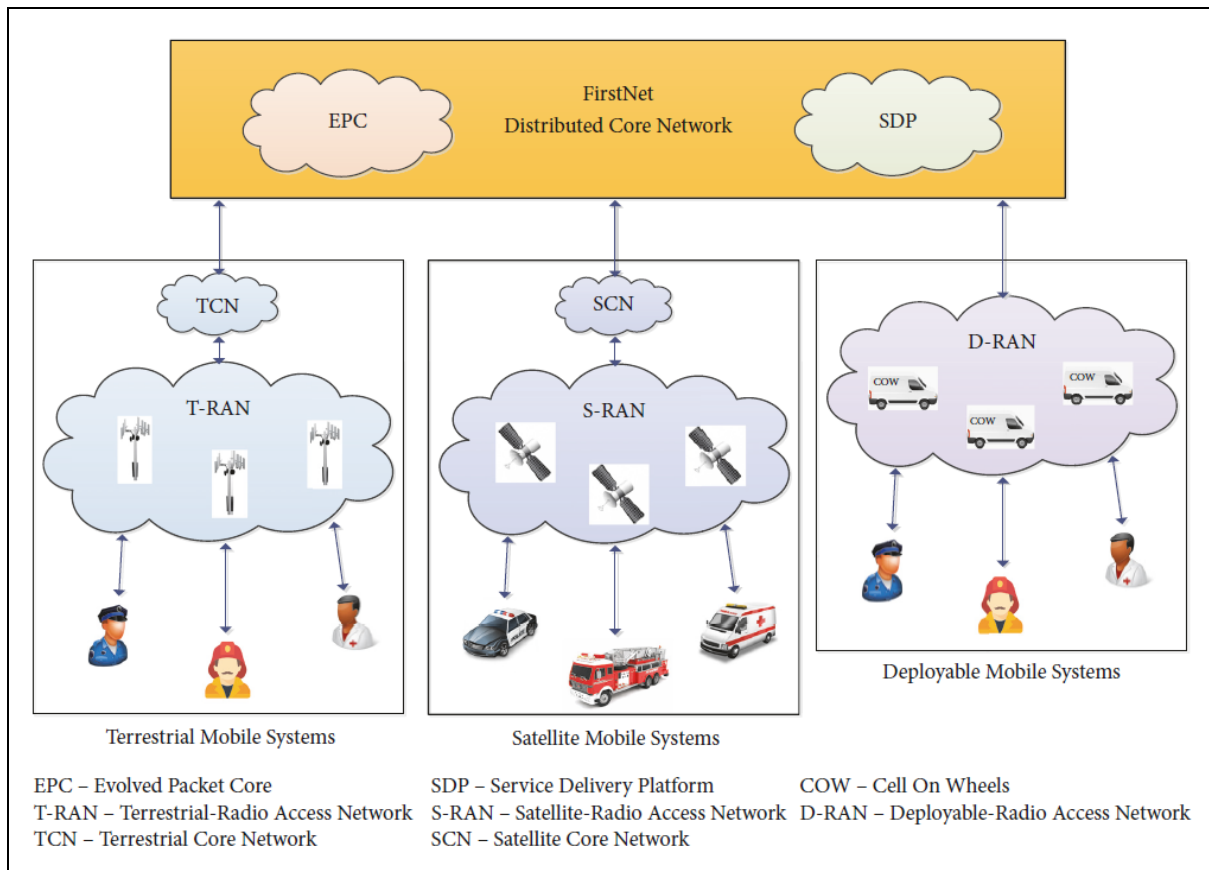
圖 3-38、NPSBN 整體架構圖

FirstNet 是一種以 4G 為基礎的無線網路，為急救人員提供獨立使用的全國寬頻網路。FirstNet 的特點包含即按即說(PTT)、直接通信模式(direct

¹⁰⁵ <https://www.gao.gov/assets/gao-15-407.pdf>, 2015/4

communication mode)、群組呼叫(group calls)、全雙工語音系統(full duplex voice system)、通話者識別(talker identification)、緊急警報(emergency alerting)等。下圖顯示 FirstNet 的通信架構，包含分散式核心網路(distributed core network)、地面行動系統(terrestrial mobile system)、衛星行動系統(satellite mobile system)和可攜式行動系統(deployable mobile system)。分散式核心結合演進式封包核心(EPC)網路和服務傳輸平臺，以向終端使用者分送不同的服務。地面行動系統由地面通信組成，衛星行動系統則採用衛星通信鏈路連接到衛星核心網路。可攜式行動系統主要由車輛上的小型區域網路組成，針對網路擁塞或填補覆蓋不足的區域提供服務¹⁰⁶。

¹⁰⁶ LMR and LTE for Public Safety in 700MHz Spectrum,
<https://downloads.hindawi.com/journals/wcmc/2019/7810546.pdf>, 2019



資料來源：LMR and LTE for Public Safety in 700MHz Spectrum，2019 年 6

月

圖 3-39、FirstNet 的公共安全通信架構

2. 互通性(Interoperability)

地面行動無線電(Land Mobile Radio, LMR)的裝置設備通常使用 3 到 5 瓦的功率進行傳輸，而 4G 手機大約以 1 瓦的功率進行傳輸。基於以上的特性，LMR 系統的傳輸範圍相對 4G 網路更長。要使 4G 網路支持與 LMR 網路相同的覆蓋區域，需要安裝更多間隔更近的基地臺，導致更高的成本。由於基礎設施成本高昂，700 MHz 的 4G 寬頻網路要取代 LMR 並不容易。在 FirstNet 的初始版本中，從 LMR 到 LTE 的過渡期間可能需要一些時間。

公共安全機構很可能短期內混合使用 LMR 和 4G LTE 網路，並且需要有效的互通性解決方案。最終目標將是在 LMR 上的傳統 PTT 和 LTE 上的 MCPTT 之間實現互通。

國家公共安全電信委員會(National Public Safety Telecommunications Council, NPSTC)的 LMR-LTE 集成和互通性工作小組於 2018 年 1 月發布報告，確認 LMR-LTE 間之互通性須達到以下要求¹⁰⁷：

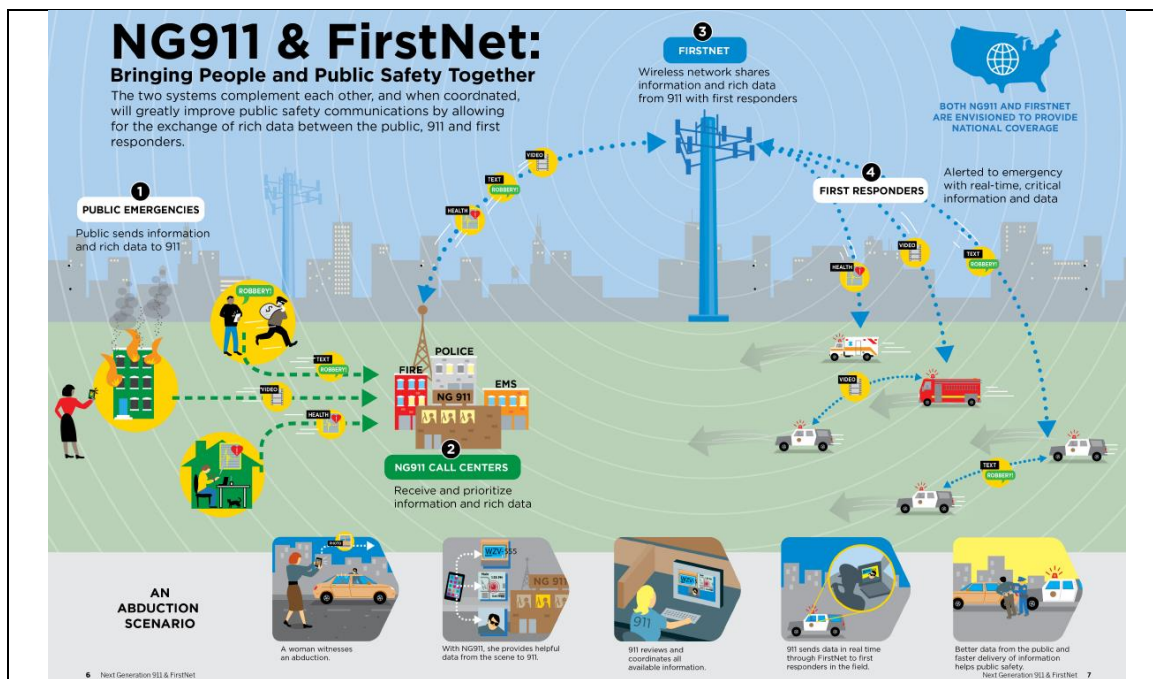
- (1) 急救人員在 LMR 和 LTE 網路上要能夠互通。
- (2) 在 LMR 和 LTE 網路上運行的控制台應能夠監控和參與 LMR 和 LTE 通話群組上的語音通信。
- (3) 急救人員和控制台應能夠接取多個 LTE 通話群組以協調操作，其中許多 LTE 通話群組需要與 LMR 通話群組互連以支持此種運作。

3. 公共安全合作模式

美國一方面成立 FirstNet，一方面建構新一代的 911 緊急救援系統(Next Generation 911, NG911)，兩者互相配合，不僅達到互補的效果，也提升網路覆蓋率。在運作流程上，首先：民眾向 911 發送訊息與數據。第二步：NG911 接收訊息並優先處理。第三步：透過無線方式將資訊傳送到 FirstNet。第四

¹⁰⁷ National Public Safety Telecommunications Council LMR-LTE Integration and Interoperability Working Group, “Public Safety Land Mobile Radio (LMR) Interoperability with LTE Mission Critical Push to Talk,” Tech. Rep., https://www.npstc.org/download.jsp?tableId=37&column=217&id=4031&file=NPSTC_Public_Safety_LMR_LTE_IO_, 2018/1/8

步：以最即時的方式將資訊提供給第一線急救人員。結合 FirstNet 與 NG911 兩大系統，911 調度中心就能跟第一線急救人員共享更多數據與資訊，大幅提升救災能力¹⁰⁸。



資料來源：NG911 & FirstNet Guide for State & Local Authorities，2023 年 4

月

圖 3-40、FirstNet 與 NG911 運作機制

4. 未來規劃

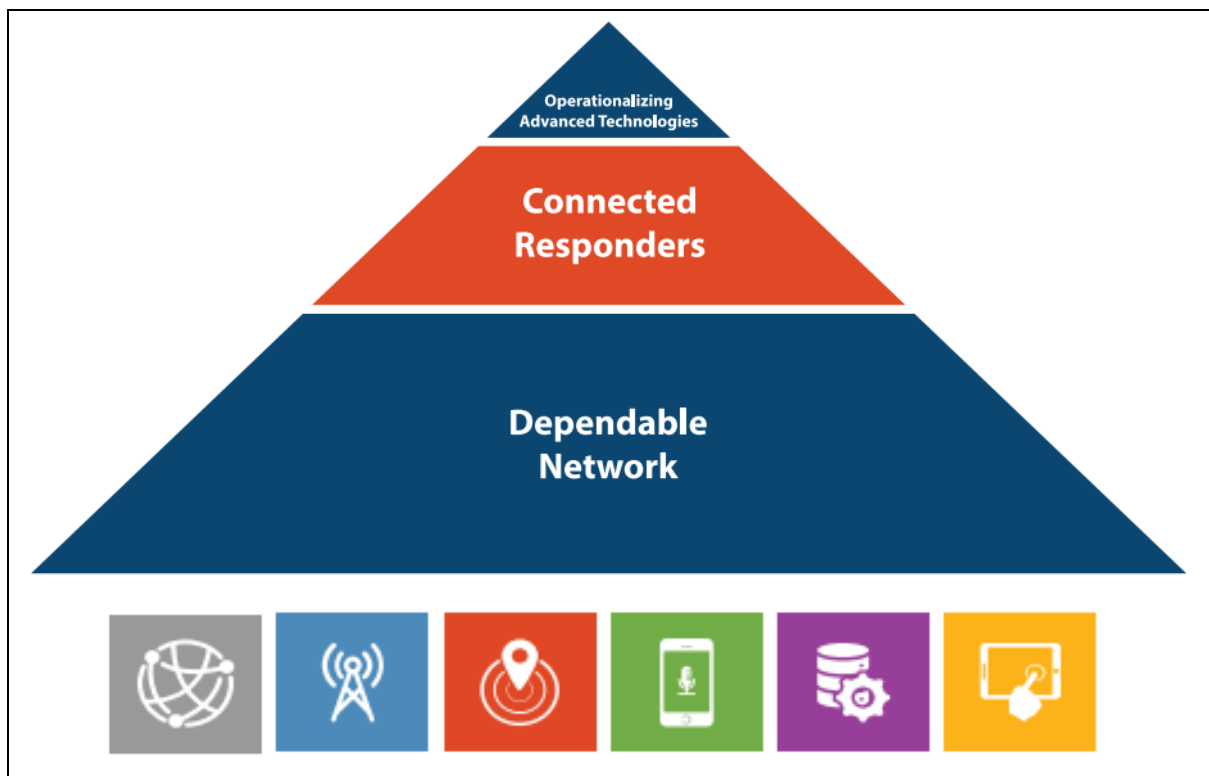
FirstNet 策略路線(Roadmap)自 2019 年發布以來，一直是 FirstNet 推進全國公共安全寬頻網路的指南，2023 年更新後的內容，包含未來幾年要持續關注的三大重點領域及發展方向¹⁰⁹，包括：

¹⁰⁸ NG911 & FirstNet Guide for State & Local Authorities, <https://www.911.gov/projects/ng911-for-public-safety-leaders/ng911-and-firstnet-guide-for-state-and-local-authorities/>, 2023/4/4

¹⁰⁹ FirstNet Roadmap 2023, https://www.firstnet.gov/sites/default/files/Roadmap_2023.pdf, 2023

- (1) 可靠的網路(Dependable Network)：在 FirstNet 與 AT&T 合同的初始階段結束後，必須繼續發展以確保公共安全網路在室內與農村地區能達到全面的覆蓋。同時升級 5G 核心以實現更多創新應用服務。FirstNet 也將成立跨部門的工作小組，研究在空中及海上的寬頻通信狀況，讓未來的公共安全在陸海空環境能完整的銜接與實現。
- (2) 互相連線的緊急救護人員(Connected Responders)：通信和獲取及時資訊對於公共安全的運作至關重要。因此，啟用關鍵功能和解決方案，讓事件相關人員、機構和司法單位之間傳送相關數據和訊息將得以實現。
- (3) 運用先進的技術(Operationalizing Advanced Technologies)：FirstNet 將重點關注在不斷發展的新技術，如 AR、無人機、聯網車輛、新型傳感器、遠端機器人、人工智慧等，利用這些技術增強公共安全能力，進而改變營運方式。

FirstNet 公布 2023 策略路線(Roadmap 2023)如下圖。



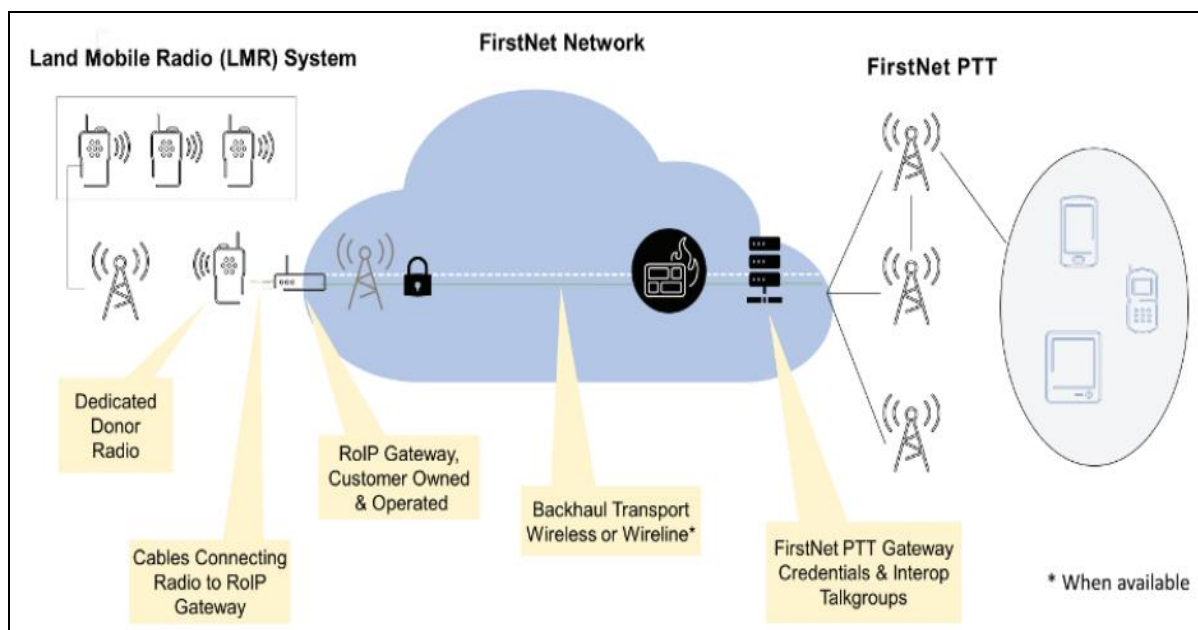
資料來源：FirstNet，2023 年 4 月

圖 3-41、FirstNet Roadmap 2023

5. 裝置與設備

相較於一般用途的手機，用於公共安全的手機或是相關設備，需要具備(PTT)功能，達到一按就能連接、與 LMR 互通性、群體廣播能力、群體呼叫與即時溝通的能力。讓語音或多媒體訊息，能以最快速的方式與其他成員保持聯繫，提升整體救援能力¹¹⁰。

¹¹⁰ FirstNet Push-to-Talk: LMR Interoperability Option, <https://www.firstnet.com/content/dam/firstnet/white-papers/firstnet-ptt-lmr-interoperability-overview.pdf>, 2020/12



資料來源：FirstNet，2020 年 12 月

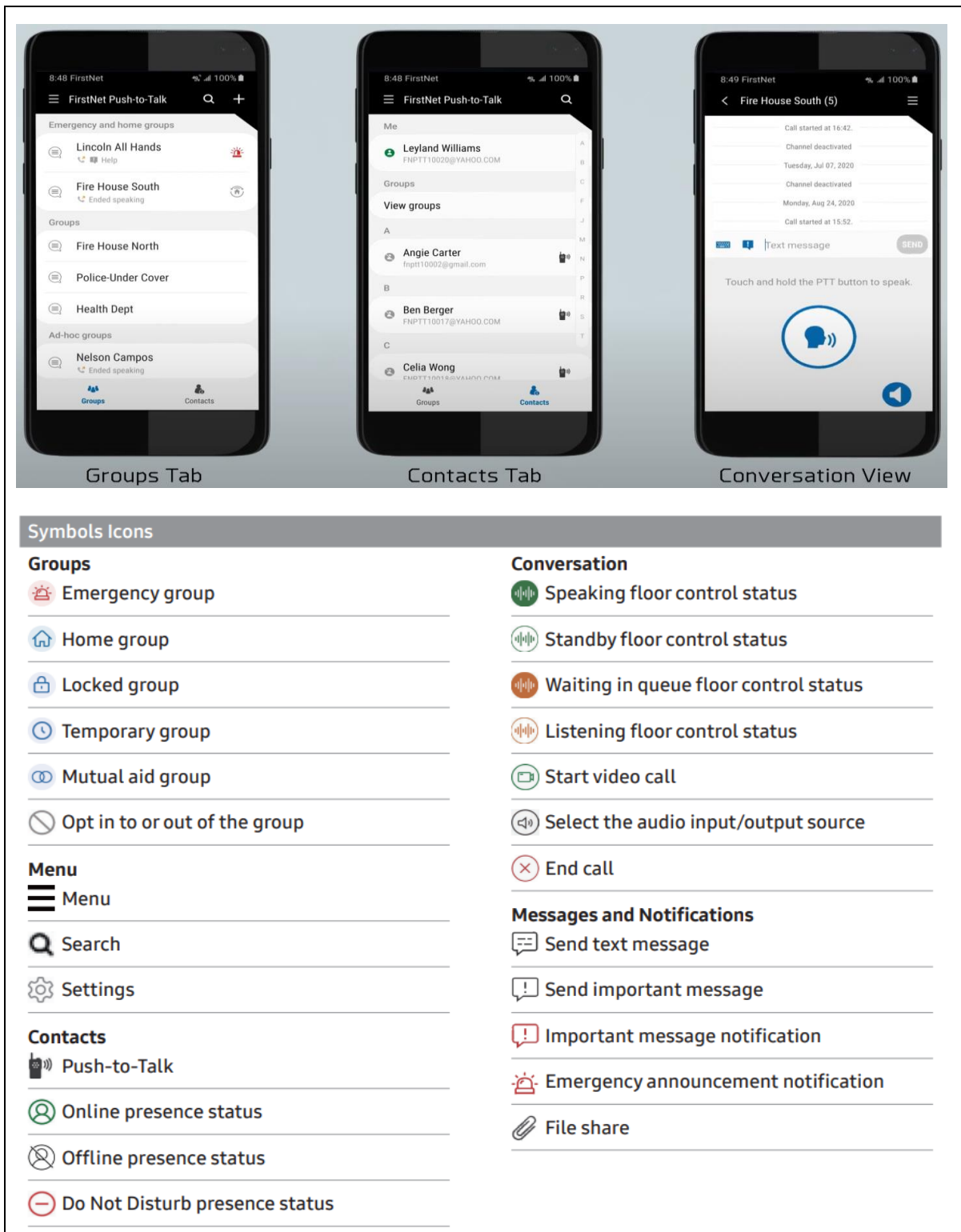
圖 3-42、RoIP 互操作架構

無論是 FirstNet¹¹¹還是 Verizon¹¹²，均提供廣泛的設備供公共安全用戶擁有多樣化選擇。支援的手機廠牌有 Samsung、Apple、Sonim、Motorola、Google、Kyocera、Zebra...等。這些廠牌提供之公共安全用途手機，均有快速回應(Rapid Response)、PTT 等功能，並支援 MCPTT 服務品質。除了要具備這類特殊規格的手機，還需要下載相關的 APP。完成後，LMR 頻道中的用戶就能夠與 PTT 通話群組進行通信，發揮完整的服務功能¹¹³。

¹¹¹ <https://www.firstnet.com/devices.html>

¹¹² <https://www.verizon.com/business/products/devices/public-sector/#public-safety>

¹¹³ FirstNet Push-to-Talk Android App User Guide, <https://www.firstnet.com/content/dam/firstnet/white-papers/firstnet-ptt-android-companion-app-guide.pdf>, 2022/12



資料來源：FirstNet，2023 年 5 月

圖 3-43、FirstNet PTT 手機圖標功能概述

(二)、網路建置維運及頻譜安排

美國自 991 事件後，於 2008 年拍賣 700MHz 頻段 (Auction 73)時，原本將 Block D (788-793MHz/ 758-763MHz)共 10MHz 規劃為全國單一執照 (Nationwide License)，並與公共安全(public safety)頻段相連，得標者須與美國政府簽訂網路共享協議(Network Sharing Agreement, NSA)，在必要時供緊急服務優先使用，惟該頻段歷經兩次拍賣均低於底價流標。2012 年，FirstNet 規劃如何統合所有與公共安全相關之通訊網路，FCC 在 2016 年將前述流標之 700MHz 頻段核配給 FirstNet 使用¹¹⁴。

美國 PPDR 系統使用頻段從 4G 開始。FirstNet 與 AT&T 合約簽訂規劃以 Band 14 頻段專門用做公共安全使用，頻率範圍為 758-768MHz 以及 788-798MHz¹¹⁵。AT&T 在全國 700 多個城市布建 Band 14 網路，希望擴大農村和偏遠地區的覆蓋範圍¹¹⁶。Verizon 使用競標取得的 Band 13 頻段，頻率範圍為 746-757MHz 以及 776-787MHz¹¹⁷。Band 13 具有遠距離提供高速數據服務的能力，非常適合農村和偏遠地區，這些地區基站較少，對遠距離覆蓋的需求更大。另外，Band 13 的穿透性非常強，適用於室內覆蓋¹¹⁸。

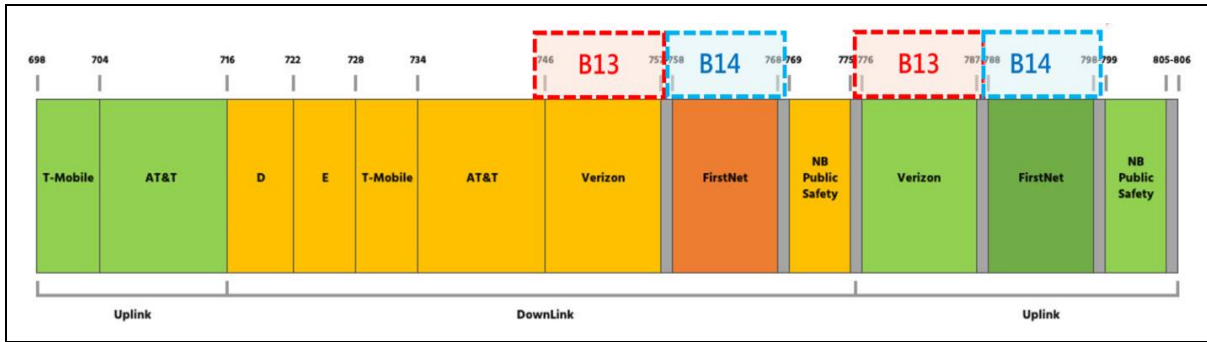
¹¹⁴ 美國 FirstNet 與 AT&T 協議共建全美公共安全寬頻網, <https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=64&tp=1&d=7812>, 2017/6

¹¹⁵ Band 14 interference on ERCES, <https://www.linkedin.com/pulse/band-14-interference-erces-gabriel-guevara/>, 2021/5/2

¹¹⁶ FirstNet cell sites launching nationwide to support public safety, <https://www.firstnet.com/community/news/firstnet-cell-sites-launching-nationwide.html>, 2022/2/4

¹¹⁷ What are Cellular Frequency Bands?, <https://www.wilsonamplifiers.com/blog/frequencies-by-provider/>, 2022/5/20

¹¹⁸ Antenna Frequency Information, https://5gstore.com/landing/af/lte_band_12131729_700mhz/,



資料來源：本研究整理，2023 年 5 月

圖 3-44、FirstNet 與 Verizon 之 PPDR 服務頻段範圍

2021 年，AT&T 與 Verizon 都推出 PPDR 5G 頻段服務，使傳輸速率更快、容量更大，能夠更好地應對緊急情況和災害。AT&T 提供 3 種 5G 服務：High-Band 5G+ (mmWave 頻段)、Mid-Band 5G+ (4.9GHz)、Low-Band 5G (sub-6GHz 頻段)¹¹⁹。Verizon 提供 2 種 5G 服務：mmWave 頻段(28 GHz、39 GHz)、C 頻段(3.7GHz)¹²⁰。

AT&T 表示，其 PPDR 的用戶除了可以使用 Band 14 專用頻段外，也可以使用 AT&T 的商用 4G LTE 頻段，對用戶使用 5G 服務也不會收取額外費用，但用戶需要有一台可以接取 FirstNet 的 5G 設備。

(三)、5G PPDR 應用案例

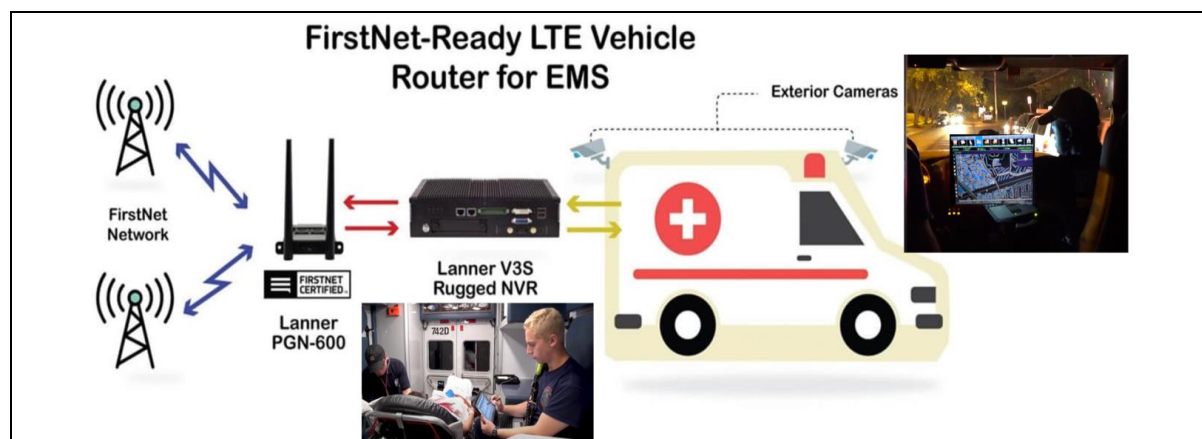
美國的 PPDR 系統應用範圍很廣泛，尤其在緊急醫療服務(Emergency Medical Services, EMS)方面。因為急救人員在車上執行任務的時間很長，功

¹¹⁹ FirstNet and 5G: Reliably connecting first responders to help keep communities safe, <https://www.firstnet.com/community/news/firstnet-and-5g-reliably-connecting-first-responders-to-help-kee.html>, 2022/8/31

¹²⁰ Verizon website, <https://www.verizon.com/business/resources/5g/basics/>, Everything you need to know about Verizon 5G.

能強大的車載通信平臺變得至關重要。FirstNet 或是 Verizon 做為提供基礎設施的行動網路提供者，角色非常關鍵。例如：在突發性意外發生時，第一線急救人員在患者被送到醫院之前，就必須在車上進行診斷。在提供車載通信平臺設備的車上，第一線急救人員能夠快速、準確地傳輸緊急數據或是影像。由於具備高速數據傳輸和低延遲通訊的功能，讓遠距診斷得以實現。此外，還有及時位置追蹤、路線導航和車輛狀態監控等功能，大大提高第一線急救人員的效率工作效能。

通過穩定且優先、快速的網路，可以提高病人的獲救率，降低病人死亡的風險。總之，提供一個強大的車載通信平臺，對於美國 PPDR 系統應用在 EMS 領域是非常需要的。透過這樣的平臺，EMS 能夠更有效率的處理緊急狀況，並提供即時數據和情報給醫院，進而改善醫療服務品質¹²¹。



資料來源：本研究整理，2023 年 5 月

圖 3-45、用於 EMS 的 FirstNet-Ready LTE 車載平臺

¹²¹ FirstNet-ready Vehicle Gateway Enhances Wireless Communication for EMS, <https://www.lannerinc.com/ru/applications-ru/transportation/firstnet-ready-vehicle-gateway-enhances-wireless-communication-for-ems>,

(四)、 研究小結

美國從 2001 年的 911 事件之後的 20 年間，對公共安全應變系統的建設不遺餘力。由政府提供專用頻段、行動業者建立核心網路及接取網路，並負責所有 end-to-end 產品及服務的運作模式，以及開放的商業競爭環境，讓美國在公共安全領域成為其他國家學習的典範。然而從 LMR 到 LTE 再到 5G 的升級過程中，要把 LMR 可以做到的現有功能和應用均能複製到寬頻平臺，並保持彼此之間的互通性，仍需要克服技術上的問題。截至 2023 年初，美國 FirstNet 用戶已達 440 萬。FirstNet 持續增加新功能，包括互通和多點傳送解決方案等。

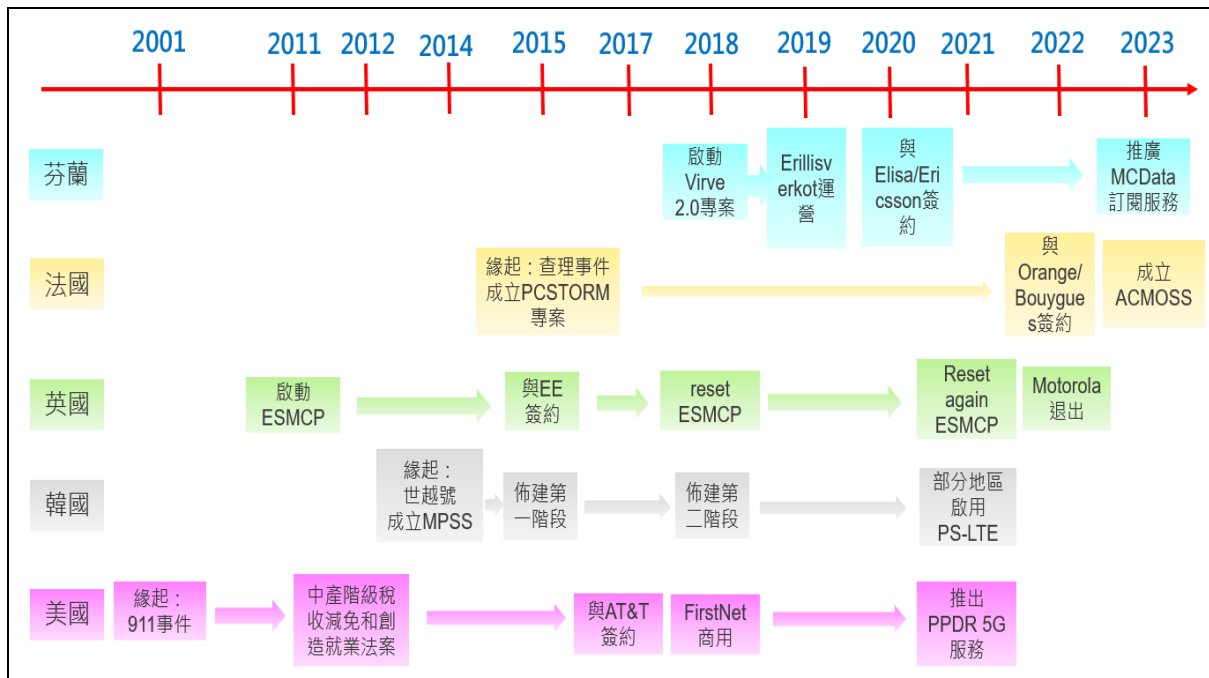
展望未來，美國提出了 2023 年 PPDR 的發展規劃，升級 5G 核心網路以因應未來更多元、更大量的資訊傳輸已是必然的目標。在強大且完整的基礎建設下，運用新技術強化公共安全的能力將會是下一波發展重點。

七、 小結

(一)、 公共安全網路發展歷程比較分析

各國發展 PPDR 的原因與動機各不相同，美國 911 事件後，意識到緊急救災通訊對於救災工作的重要；韓國是在 2014 世越號船難中，公共安全機關通訊間缺乏互通性造成救災溝通困難；法國則是在 2015 查理事件之後，開始架構 LTE 的全國公共安全網路；英國是因傳統窄頻系統使用成本過於昂貴，尋求其它的解決方案；芬蘭政府數位化欲建立新一代的公共安全網路等原因。雖各國動機不同，但替換窄頻系統走向寬頻 PPDR，採用 4G、5G 新一代網路應用在公共安全與急難應變的發展方向皆然。各國公共救災基礎以及面臨的災害及公共安全潛在威脅不同，也影響商業模式的選擇與政府願意投入資源多寡，進而影響各國 PPDR 的發展。

本研究從發展緣起及各種經營模式進行分析，下圖呈現各國 PPDR 案例之發展時程，從事件起源，到不同階段之運作，以及主要主管機關跟負責面向，提供給我國主管機關參考。



資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

圖 3-46、各國寬頻 PPDR 發展演進

此外，本研究亦比較各國 PPDR 案例之細節，包含計畫名稱、驅動因素、法源依據，以及政府補助金額等，提供給我國主管機關後續推動國內 PPDR 政策之參考。

例如，在 PPDR 之布建策略上，僅有美國採取「單角色」方式，同時美國也是最早建置 PPDR 之國家，由單一 MNO 負責所有端到端產品及服務(一條龍，從頭到尾)，其他國家則採取「多角色」，由多家公司及供應商共同參與，如法國和韓國徵用 2 家 MNO 加入 PPDR 計畫，英國則將其 PPDR 計畫，根據工作項目規劃，分為三大部分，網路服務建置(Mobile Services)、佈建夥伴(Delivery Partner)、使用者服務(User Services)，比較如下。

表 3-14、各國 PPDR 發展比較

國家	芬蘭	法國	英國	韓國	美國
計畫名稱	Virve 2.0	RRF	ESN	Safe-Net	FirstNet
驅動因素	無寬頻服務， 替換 Virve	2015 年查理 周刊事件	舊系統費用 高，替換 TETRA	2014 年世越號 事件	2001 年 911 事件
法源依據	政府安全網 路運作法、電 子通訊服務 法	郵政及電子 通信法	2004 年國 民緊急應變 法	2014 年大統領 公約	2012 年中產 階級稅收減 免和創造就 業法案
政府提撥 金額	2023-2025 年 編列 5,500 萬 歐 元 (約 5,374 萬 美 元)	7 億歐元(約 6.84 億美元)	2019 年 EE 獲得 9 億英 鎊(約 11.4 億美元)合 約	2 兆韓元(約 17 億美元)	2017 年 AT&T 獲 65 億 美 元 合 約，並投入 400 億美元
商業模式	多角色-共用 網路 (Multi- actor shared network)	多角色-共用 網路 (Multi- actor shared network)	多角色-共 用 網 路 (Multi-actor shared network)	多角色-專網 (Multi-actor dedicated network)	單角色-共用 網路(Single- actor shared network)
網路運作 模式	政府自建核 網，遴選 1MNO 提供 接取網路的 優先使用權	政府自建核 網，立法規範 並與MNO協 議以有償使 用其接取網 路	MNO 建核 網，並提供 接取網路的 優先使用權	政府自建核網 及接取網路， 並透過 MNO 協助增加涵蓋	單一 MNO 負責所有 end-to-end 產品及服務
合作 MNO	Elisa	Orange 、 Bouygues	EE	KT、SKT	AT&T

資料來源：本研究整理，2023 年 6 月

部分採用「多角色」商業模式運作的國家，也會成立專責組織來負責進行，如芬蘭設立企業「Erillisverkot」，法國於 2023 年成立「行動安全和緊急通信管理局 ACMOSS」，韓國成立新政府單位-國民安全處(The Ministry of Public Safety and Security, MPSS)主責等。

在網路是否與商業網路共享之議題，僅有韓國採取專頻不共享方式，其他四個國家皆有與商用網路共用之型態。美國規劃 PPDR 專用頻段，但主責的 MNO 只要確保緊急通訊的優先性及保證接取之情況下，可以將 PPDR 頻段用於商業用途。英國、法國則是在建立核網之外，採取與 MNO 共享 4G 商業網路之策略。芬蘭則是採取政府不劃定 PPDR 頻段，完全採用商用網路設定優先使用權給 PPDR 用途的方式運作。

目前五個國家中，僅美國已經正式商轉，韓國部分啟用，英國則採取漸進式汰換(傳統無線電仍並行使用)，法國及芬蘭仍在建置中。現階段各國採取技術以 4G 為主，但每個國家都有保留未來升級到 5G 技術的空間，目前美國已實際提供 PPDR 的 5G 服務。

(二)、網路建置維運及頻譜安排比較分析

2015 年世界無線電通信大會(WRC)，對公共安全(PPDR)相關之 646 號決議文進行再次修正，目標在促請各國政府對國內頻譜規劃時採用新版 ITU-R M.2015 建議，將 PPDR 寬頻訂於 694~894MHz 範圍。芬蘭、法國、

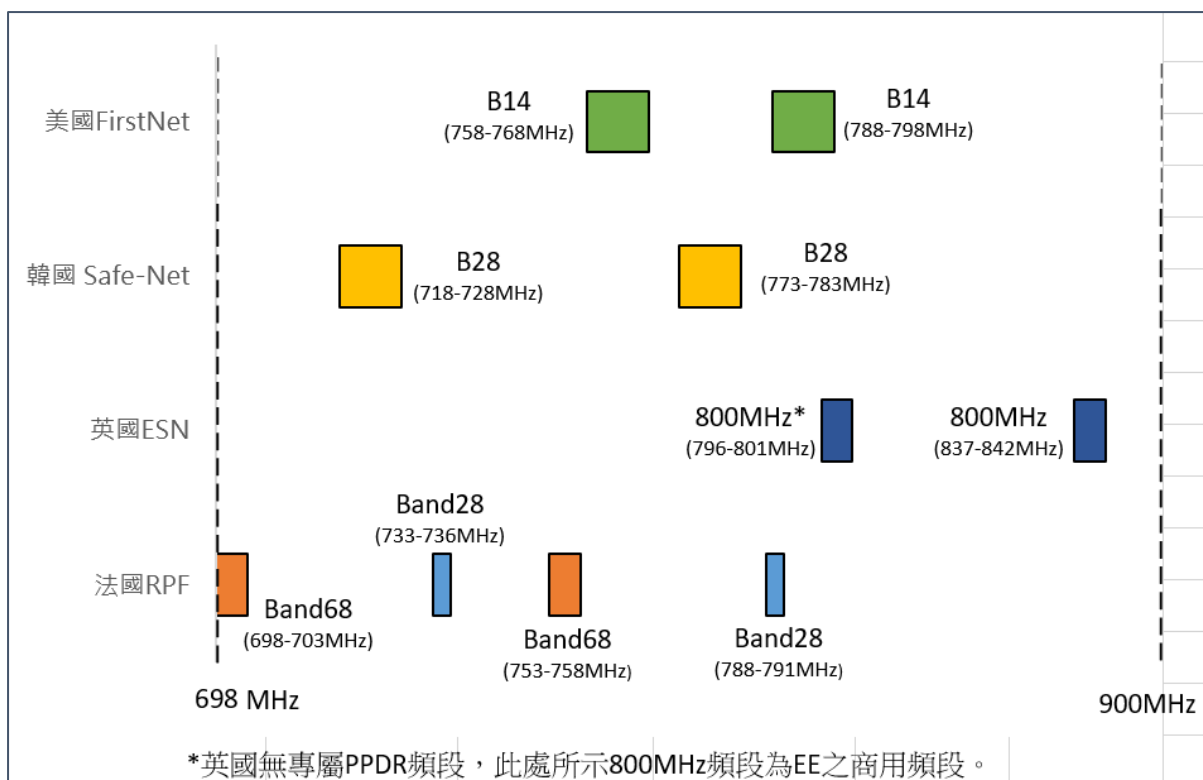
英國、韓國及美國 PPDR 頻段分配，除了芬蘭採以電信商用 4G、5G 頻段加密並保證優先方式，無特別分配公共安全網路頻譜之外，其它四國家皆有採用此建議頻段做為國家 PPDR 使用。由於每個國家發展模式不同，所以是否與商用共享及其模式也不相同。法國採用 700MHz 頻段 Band 28 (733-736MHz、788-791MHz)、Band 68 (698-703MHz、753-758MHz)。英國在 PPDR 的頻譜規劃，除了 2340 - 2350MHz (5MHz)專用於空對地(Air-to-ground)，其他則是使用 EE 4G 商用頻譜，共用其網路 LTE Band 3 (1800MHz)、Band 20 (800MHz)、Band 7 (2600MHz)、Band 1(2100 MHz)提高覆蓋，其中使用 800 MHz(796 - 801 MHz 與 837 - 842 MHz 配對)和 1800 MHz(1831.7 - 1876.7 MHz 與 1736.7 - 1781.7 MHz 配對)。韓國 PPDR 的頻譜規劃在 700MHz 中的 718-728MHz、773-783MHz，是五個國家中，唯一不與商用共享的專用頻段模式。美國 PPDR 的頻譜則是規劃在 700MHz 的 788-798MHz、758-768MHz 共計 2x10MHz，得標廠商在提供緊急服務通訊優先保證之外，可將此頻段與商用網路共享使用。

美國、英國及芬蘭國家採用與商用網路共享模式，由電信網路營運商提供優先通信及接取保證，除了提供誘因讓行動通信業者協助快速提升服務範圍覆蓋率之外，另一方面也兼顧稀有頻譜資源之使用效率。但將 PPDR 網路全權委託給電信網路營運商建置時，也須考慮資安信任等問題。

表 3-15、五國頻段比較及頻譜圖

	芬蘭	法國	英國	韓國	美國
PPDR 名稱	Virve 2.0	RRF	ESN	Safe-Net	FirstNet
專用寬頻 頻段	N/A	700MHz 頻段： Band 28 (733-736MHz)、Band 68 (698-703MHz)、753-758MHz)。	地對空專用：2340 - 2350MHz (5MHz)	B28 (2X10 MHz) 718-728MHz、773-783MHz	B14 (2X10MHz) 788-798MHz、758-768MHz
其它頻段	接取 Elisa 商用網路，流量將被加密並優先處理	700MHz 其它擴展頻段	EE 的 4G/LTE 頻段 ◆800 MHz(796-801 MHz、837-842 MHz) ◆2.6 GHz ◆1800MHz(1831.7-1876.7 MHz、1736.7-1781.7 MHz) ◆2.1GHz		
是否採用 ITU-R 建議頻段	N/A	有	有	有	有
說明	無特別分配頻段	700MHz 為實現互通性的主要頻率範圍。	唯一有地對空專用頻段	無與商業共享	專用頻段可與商業用途共享

資料來源：本研究整理，2023 年 6 月



資料來源：本研究整理，2023 年 12 月

圖 3-47、各國 PPDR 主要頻譜配置總覽

(三)、近期發展之創新差異重點

近年來，全球廣泛關注 5G 技術對寬頻 PPDR 的影響。從群組語音通訊到精準定位、邊緣運算、增強現實等，寬頻 PPDR 通訊帶來更豐富的應用場景。在眾多選項中，多運營商核心網絡(MOCN)模式逐漸成為各國首選，同時確保安全性和可靠性，減少投資成本和時間。在設備和服務方面，市場推出多種 LTE/5G MCX 解決方案，設備多樣性不斷提高。政府大規模轉型和 5G 技術採用將帶來更多創新和進步。我們有理由相信，公共安全通訊將更智慧、更靈活，更能滿足未來需求。

(四)、我國產業生態鏈位置及可能發展架構

產業面而言，國際間 PPDR 多採用與商業網路共享模式，由電信網路營運商提供優先通信及接取保證，除了提供誘因讓行動通信業者協助快速提升服務範圍覆蓋率之外，另一方面也兼顧稀有頻譜資源之使用效率；同時，將 PPDR 網路全權委託給電信網路營運商建置時也須考慮資安信任等管理機制設計。

整體而言，1GHz 以下低頻段之無線電波穿透性及繞射能力較強，為行動通信網路提供廣泛涵蓋、室內深層涵蓋的關鍵頻段，其頻率資源的擴充與均衡分配，因國際間普遍 PPDR 作法涉及商業合併行為，建議我國相關權責主管機關，應從災防體系整體思考國內 PPDR 之適用場景，建構我國災防政策後，數位發展部再依整體政策或災防運作需求，提供相對應之網路建設規範或整備所需頻譜、號碼等資源，並提供適度誘因鼓勵電信事業參進合作、升級其既有網路基礎設施致使滿足 PPDR 運作需求。

第三節 車聯網

一、背景與綜述

智慧交通系統(ITS)與整合式交通資訊系統(Integrated Transport Information System, ITIS)對於用路人行的安全之保障，是許多國家推動、採用 ITS 最主要的理由。基於保障行人安全，各先進國家均對智慧交通等科技應用進行大力投資，ITS 與 ITIS 即是其中重點新興科技應用。

車聯網(V2X)也是 ITS 多種應用型態中，極受矚目的一種應用型態。最早許多國家如美國、日本跟歐洲，過往先以專用短程通信(DSRC)技術做為推動對象。美國交通部於 1980 年代，就曾經辦理過智慧車輛高速公路系統(Intelligent Vehicle-Highway Systems, IVHS)之研究，日本與歐盟執委會亦不遑多讓，陸續推動相關車聯網技術研析。

車聯網之運作架構中，可區分為車輛與車輛(Vehicle-to-Vehicle, V2V)、車輛與基礎設施(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)、車輛與其他道路使用者(Vehicle-to-Pedestrian, V2P)的直接通訊等主要組成元件。

DSRC 技術最早是由電機電子工程師協會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)發展，並陸續演進與制定相關技術標準之升級；至於近期，3GPP 技術標準組織亦開始推動其 C-V2X 技術，從一開始之 4G C-V2X，逐漸進展到 5G NR 的 V2X。其中，5G NR-V2X 更是與未來實現自駕車環境息息相關。

車聯網產業以歐、美、日、韓、中等國家車廠為主流，為了推動產業發展，由代表歐美成熟汽車品牌的重要車廠、全球主流電信業者及通訊晶片廠商於 2016 年 9 月成立 5G 汽車聯盟(5G Automotive Association, 5GAA)¹²²，致力於推動 C-V2X 在全球產業化。5GAA 是一個全球性跨產業的組織，目前成員包含汽車製造商、一級供應商、晶片提供商、通訊系統提供商、電信業者及基礎設施供應商，成員主要來自歐洲、亞太地區、美洲與中東。我國則有遠傳電信於 2018 年 10 月獲准加入，是我國目前唯一加入 5GAA 的業者，對於提升國內廠商與國外領導車廠、及相關產業鏈廠商在車聯網產業進行先進測試及交流有很大助益¹²³。

除了與 3GPP 密切合作的 5GAA，另有由車廠、設備製造商、系統整合及電信業者組成之車聯網產業聯盟，例如汽車邊緣計算聯盟(Automotive Edge Computing Consortium, AECC)；AECC 成員主要以來自美、日、歐之產業領導廠商，包含 Cisco、DENSO、Fujitsu、Ericsson、Intel、KDDI、NTT 及 Toyota 等，專注於透過邊緣運算提高網路能力，提升效率並減少資料傳輸往返雲端之時間及網路通訊成本，為駕駛人提供更精準的車輛資訊相關輔助功能。

以下將分別就美國、日本、韓國、歐盟及中國等國家之車聯網應用發展進行整理。

¹²² <https://5gaa.org/members/>, 2023/09

¹²³ 遠傳領先佈局物聯網商機 車聯網、資產追蹤應用受矚目，https://news.fenc.com/news_detail.aspx?lang=zh--&id=4594, 2018/11

二、 美國

(一)、 發展歷程

1. 車聯網技術發展政策

車聯網技術一般稱為(Vehicle-to-Everything, V2X)，泛指車與車或是車與周遭所有和車相關的交通基礎設施溝通的通訊技術。美國 V2X 實際運用在安全、車輛運作管理、自動駕駛、交通效率、社會社區、緊急服務、公共交通工具及視覺障礙等方面，技術採用普及性與該國政策發展息息相關，產業界並敦促監管機構加快腳步，認為漫長的監管流程可能會扼殺創新¹²⁴，2023 年 4 月，美國 FCC 經過近兩年的審查，核准 14 家汽車製造商和設備製造商使用 5.9 GHz 交通安全頻段運用 C-V2X 技術之聯合豁免申請，美國產業界自當時起已提交許多類似的申請並等待審查。

V2X 通訊技術有兩大標準，分別是專用短距離通信技術(DSRC)和蜂巢式技術的車聯網通信(C-V2X)。有別於 DSRC 基於 Wi-Fi 技術制定設計用於低延遲和極低數據量的通信；C-V2X 由 3GPP 帶領運用 4G LTE 標準持續向 5G 演進，無需單獨布建專用基礎設施更具實施和擴展的便利性，顯示 C-V2X 的通信覆蓋範圍更廣，C-V2X 同時也支持大容量數據交換，適用於自動駕駛車輛的操作需求，確保了車輛之間的即時交流與合作¹²⁵。世界多數

¹²⁴ Quinn Nghiem (2023), Advocates for Connected Vehicle Technology Urge the FCC to Act. <https://broadbandbreakfast.com/2023/06/advocates-for-connected-vehicle-technology-urge-the-fcc-to-act/>

¹²⁵ Davis Wright Tremaine (2022), FCC Approves C-V2X Technology for Connected Vehicles Ahead of Final ITS Rules. <https://www.dwt.com/blogs/broadband-advisor/2023/05/fcc-connected-vehicles-c-v2x>

國家對於車聯網技術標準的支持也逐漸從 DSRC 轉向 C-V2X¹²⁶。

2. DSRC 與 C-V2X 雙規格之並行發展

美國運輸部(United States Department of Transportation, USDOT)在 2000 年時聯合 IEEE 提出 DSRC 車聯網 V2X 技術，DSRC 使用 IEEE 802.11p，歐洲也幾乎同時提出基於相同 IEEE 802.11p 實體層底層的 ITS-G5 車聯網 V2X 技術，IEEE 802.11p 為 Wi-Fi 家族成員，在頻道使用上主要採用多方接取(Multiple Access)機制互相競爭頻寬，但因車聯網之實際使用非常重視低延遲性，這項技術在實務上有其限制。

DSRC 標準由 IEEE 基於 Wi-Fi 制定，獲得通用、豐田、雷諾、恩智浦、AutoTalks 和 Kapsch TrafficCom 等公司的支持。通用已經有量產車凱迪拉克 CTS 搭載 DSRC，豐田則在 2016 年就開始銷售具備 DSRC 技術的車款，如 Colorna 和 Puris，銷量超過 10 萬輛。

C-V2X 由 3GPP 帶領運用 LTE 標準，持續向 5G 演進，獲得福特、寶馬、奧迪、戴姆勒、本田、現代、日產、Volvo、PSA Group，眾多行動營運商如聯通、AT&T、德國電信、KDDI、DOCOMO、Orange、Vodafone，以及通信設備商如華為、愛立信、大唐、高通、英特爾、三星等支持。

2017 年 12 月 5G 汽車協會(5GAA)首度發布 LTE-V2X 布建計畫，強調

¹²⁶新通訊，2022，建構下世代行車安全藍圖 DSRC/C-V2X 標準細比拚。https://www.dekra.com.tw/tc/xin-tong-xun-jian-gou-xia-shi-dai-xing-che-an-quan-lan-tu-dsrc-c-v2x-biao-zhun-xi-bi-pan/

車輛和基礎設施之間的直接通信。FCC 在 2020 年 11 月宣布允許 ITS 產業的利害關係人開始布建 V2X 技術。

雖然 DSRC 實施多年，但根據美國國家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)於 2022 年發表的統計，2021 年美國交通事故死亡人數卻達到 4 萬 2 千人，創 16 年來的新高¹²⁷，3GPP 發展之 V2X 技術日漸成熟，USDOT 陸續提議推廣 V2X 計畫，要求在美國快速廣泛地採用 V2X 技術，以實現零死亡和未來智慧基礎設施組成的交通系統。

2022 年，美國國家運輸安全委員會(National Transportation Safety Board, NTSB)向 NHTSA 提出安全建議，呼籲將 V2X 性能標準使用在新車上¹²⁸。同年美國運輸工程師協會(Institute of Transportation Engineers, ITE)與產業界利害關係人也發表聯合聲明，督促加速 V2X 之布建¹²⁹，並結合各州當地交通局、汽車設備製造商、聯邦政府及其他利害關係人，向 FCC 提出 C-V2X 布建計畫。

¹²⁷ NHTSA (2022), Newly Released Estimates Show Traffic Fatalities Reached a 16-Year High in 2021. NHTSA's 2021 Estimate of Traffic Deaths Shows 16-Year High

¹²⁸ ITS America (2023), ITS America National V2X Deployment Plan. <https://itsa.org/wp-content/uploads/2023/04/V2XDeploymentPlan-1.pdf>

¹²⁹ ITE (2022), ITE Urges Progress in V2X Deployment in Joint Statement with Industry Stakeholders. <https://www.ite.org/ITEORG/assets/File/ITE%20V2X%20statement.pdf>

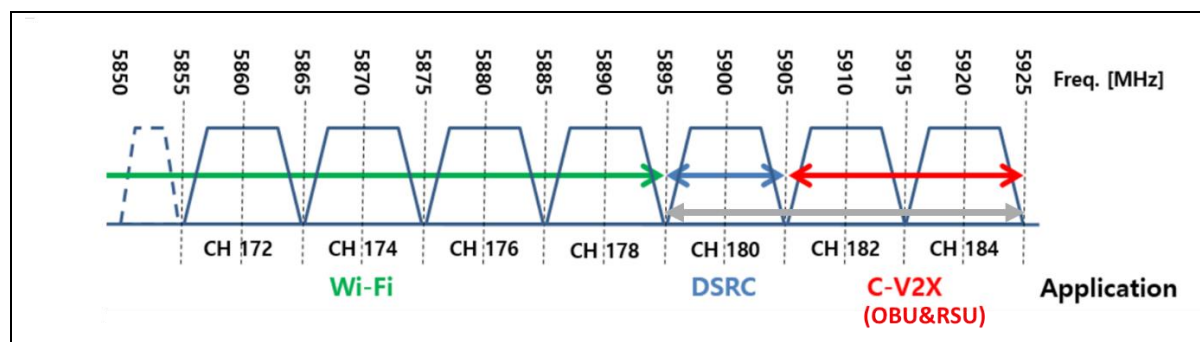
(二)、網路建置維運及頻譜安排

FCC 曾經在 1999 年通過聯邦法典 Part 90(Code of Ferderal Regulation Part 90, CFR Part 90)修正案，將 5.9 GHz 頻段的 5.850-5.925GHz 共 75MHz 供 ITS 智慧交通之 DSRC 技術使用。2020 年政策轉向活化該頻段¹³⁰，FCC 於同年 11 月宣布將 5.850-5.895 GHz (45MHz)改為免執照使用，並開放 5.895-5.925GHz (30MHz)頻段之 DSRC 與 C-V2X 技術共享。FCC 以既有個別及臨時頻譜申請監管流程，接受於 5.850-5.895 GHz 頻段之戶外免執照申請，並與美國國家電信與資訊管理局(NTIA)協調，確保相關利害關係人免受有害干擾。同時，FCC 以一年的時間，要求 ITS 執照持有者將所有營運過渡到 5.895-5.925 GHz。隨後 FCC 於 2022 年 7 月 5 日發出過渡提醒公告，向利害關係人發布智慧交通系統(ITS)從較低的 45 MHz(5.850-5.895 GHz)過渡到較高的 30 MHz(5.895-5.925GHz)頻率，5.850-5.895GHz 頻段停止使用 DSRC，且不提供任何補償或補助。

至於 ITS 頻段的使用，2020 年 11 月的政策雖宣布 C-V2X 可與 DSRC 共享頻段，但規定 C-V2X 之全面使用須待 FCC 確定最後期限，且完成 ITS 頻段的過渡並進一步通過新規則後，才能將 C-V2X 技術指定為全國性的 ITS 系統正式進行全國範圍的發照。在規則確立前，將允許現有或未來的 5.905-5.925GHz 之 20MHz 頻段執照持有者在其許可區域內運行路側單元

¹³⁰ FCC(2020), FCC MODERNIZES 5.9 GHz BAND FOR WI-FI AND AUTO SAFETY. <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-368228A1.pdf>

(RSU)、車載單元(OBU)。而在 ITS 轉向 C-V2X 的法律方案生效前，ITS 被許可人將能夠繼續以 DSRC 營運，或者根據 FCC 的監管流程尋求部署 C-V2X 之豁免。



資料來源：本研究整理，2023 年 10 月

圖 3-48、美國車聯網頻譜規劃

2021 年 11 月時一批汽車製造商、國家交通部門和設備製造商共同提交一份聯合豁免申請¹³¹，要求 FCC 免除原先 DSRC 規範於 5.9 GHz 頻段內 5.895-5.925 GHz (30MHz)的專屬使用權，2023 年 4 月 FCC 通過聯合申請豁免案，針對 5.905-5.925GHz 頻段使用限制，允許對 C-V2X 技術使用之豁免，使原先該頻段以 DSRC 為主之技術，改為允許該頻段同時可使用兩種技術。

2023 年 8 月 16 日，科羅拉多州、佛羅里達州、喬治亞州、夏威夷州、

¹³¹ Request for Waiver of 5.9 GHz Band Rules to Permit Initial Deployments of Cellular Vehicle-to-Everything Technology, Ford Motor Company, et al., ET Docket No. 19-138, Appendix 1 at 10–11 (filed Dec. 13, 2021) (Joint Waiver Request), https://www.fcc.gov/ecfs/file/download/DOC-5f6d7d2ef3400000-A.pdf?file_name=CV2X%20Waiver%20Request%2012%2013%202021.pdf; see also Letter from the C-V2X Joint Waiver Parties to Marlene H. Dortch, Secretary, FCC, ET Docket No. 19-138, at 3 (filed Apr. 20, 2022) (Joint Waiver Request Supplement), <https://www.fcc.gov/ecfs/document/104201266008794/1>.

馬里蘭州、密西根州、內布拉斯加州、新澤西州、俄亥俄州、俄勒岡州、德州和懷俄明州交通部、丹佛市和縣、馬科姆縣道路部和密西根大學董事會，以及兩個設備製造商 Sonamore, Inc. d/b/a P3Mobility 和 Connex2X, LLC 共十七個申請人申請在 5.895-5.925GHz 頻段內使用 C-V2X 技術的豁免請求得到核准，但 C-V2X 設備之使用仍侷限在 5.905-5.925GHz 頻段¹³²。

FCC 仍持續與 USDOT 和 NTIA 合作協調解決各種問題，以便將豁免案之頻段規劃平順的推廣至全國，待問題解決，FCC 將通過最終規則來分配頻譜，以支持 ITS 部署。

茲整理目前於智慧交通系統之頻率規劃現況如下列表：

表 3-16、V2X 頻譜規劃現況

ITS 頻段	規劃現況
5.850-5.925 GHz	<ul style="list-style-type: none"> FCC 於 1999 年基於 IEEE 802.11p 規劃 5.850-5.925 GHz 用於 DSRC 等智慧交通。於 2020 年 2 月發布通告，指出 DSRC 技術發展多年未能落地被廣泛採用，造成頻譜資源浪費，因此將評估重新規劃頻段資源。 2019 年 12 月 12 日 FCC 希望在制定過程中更改規則時根據法律發布的公告通過 5.9 GHz 頻段的綜合規則，提議將 5.850-5.895 GHz (45MHz) 用於免執照操作，並提議允許 C-V2X 獨占使用 5.905-5.925GHz (20MHz) 使用。 2020 年 11 月 FCC 投票通過開放 5.850-5.895 GHz (45MHz) 用於免執照使用。
5.895-5.925GHz	<ul style="list-style-type: none"> 2020 年 11 月 FCC 宣布開放 5.895-5.925GHz

¹³² FCC(2023), DOC-396083A1, re Requests for Waiver of 5.9 GHz Band Rules to Permit Initial Deployment of Cellular Vehicle-to-Everything Technology, ET Docket No. 19-138. FCC 在這份文件裡說明法規適用並列出准予豁免名單。https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-396083A1.pdf

ITS 頻段	規劃現況
	<p>(30MHz) 頻段 DSRC 與 C-V2X 技術共享，且規定 C-V2X 使用該頻段須待 FCC 確定最後期限並完成 ITS 頻段的過渡，進一步通過新規則後，才能將 C-V2X 技術指定為全國性的 ITS 系統。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2022 年 7 月 5 日 FCC 發出過渡提醒公告，向利害關係人發布智慧交通系統(ITS)從較低的 45 MHz(5.850-5.895 GHz) 過渡到較高的 30 MHz(5.895-5.925GHz)頻率，並停止使用 DSRC。 • 2023 年 4 月，FCC 以豁免令確認在維吉尼亞州及猶他州之 C-V2X 運行頻段、技術條件及執照發放方式，確保現有的 DSRC 運作不會受到威脅。 • 由於最終規範尚未確立，在規則確立前，將允許現有或未來的 5.905-5.925GHz 之 20MHz 頻段執照持有者在其許可區域內運行路側單元(RSU)、車載單元(OBU)。

資料來源：本研究整理，2023 年 10 月

1. 在 DSRC 頻段使用 C-V2X 之豁免

包含奧迪、福特和捷豹路虎 3 家汽車製造商與 9 家設備製造商對 FCC 提出聯合豁免申請，請求在指定州的 DSRC 頻段以豁免的方式部署 C-V2X 技術。FCC 於 2023 年 4 月核准豁免申請，宣告在 5.9 GHz 頻段中 5.905-5.925 GHz(20MHz)放棄目前專用於 DSRC 的規則，採用 C-V2X 技術，但申請聯合豁免的利害關係人受聯合豁免約束，在 FCC 通過最終規則之前，符合豁免條件且申請智慧交通系統(ITS)執照之設備才可使用 C-V2X 技術¹³³。

FCC 對該豁免申請之核准確立了 C-V2X 的廣泛部署，從車輛部署到大

¹³³ FCC(2023), Request for Waiver of 5.9 GHz Band Rules to Permit Initial Deployment of Cellular Vehicle-to-Everything Technology. <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-23-343A1.pdf>

規模道路基礎設施，公私部門之利害關係人已準備好實施一系列的規劃。除了汽車以外，道路上還有大客車，貨車、機車、腳踏車等各式車輛以及行人貓狗等各式用路人，FCC 預期未來通過大規模部署 C-V2X 等道路安全技術可避免許多交通問題。

總體來說，美國的 V2X 發展政策目的為提升交通安全及車聯網技術普及，FCC 對 C-V2X 開放豁免將開啟一個里程碑，帶領美國智慧交通邁向新的領域。

2. 5.9 GHz 之 V2X 規劃

5.9 GHz 之 V2X 最新規劃呈現在 FCC 於 2023 年 4 月發布之豁免令中，其中包括 V2X 之各種業者包括汽車製造商、設備製造商、道路基礎建設等利害關係人之 5.9GHz 豁免方式。C-V2X 的頻譜可用性和管理為主要規劃重點，C-V2X 技術在車輛和基礎設施中的部署須遵守政府機構和產業機構制定的法規和標準。業者執行 C-V2X 之營運需申請執照，以確保符合安全和性能要求。

業者通過申請或與聯邦、州和地方各級單位簽訂特定協議來獲得執照。這些執照允許持有者在所申請之地方政府管轄範圍內部署和營運 C-V2X，其使用受 FCC 豁免令之範圍及條件限制。原 5.9GHz 頻段中 5.895-5.925 GHz 屬於 DSRC 技術，2023 年 4 月之 FCC 豁免命令中規定使用 5.9 GHz

頻段之範圍及條件，以保護 DSRC 和原使用企業免受 C-V2X 操作造成的潛在干擾，下列為豁免令之範圍及條件：

- (1) 有權使用此項豁免之被許可人僅限於提出豁免請求的維吉尼亞州及猶他州交通部，允許在其管轄範圍內部署滿足根據豁免命令所有條件的 C-V2X 基礎設施，包括 RSU 和 OBU。
- (2) 豁免的地理區域僅限於維吉尼亞州和猶他州法律管轄範圍。此條件將確保適用的 ITS 執照持有者之營運不會危及這些領域的任何 DSRC 營運。
- (3) 根據豁免授權的所有操作僅限於運輸和車輛安全相關的通信。
- (4) 本豁免允許之 C-V2X 操作僅限使用 5.905-5.925GHz (20MHz) 頻率。
- (5) 允許指定的汽車製造商執照持有者可在其所有車輛中部署符合 C-V2X 的 OBU。
- (6) 每個指定設備製造商須為 RSU 和 OBU 取得必要的設備認證，任何設備之執照申請皆需包含此豁免令的副本。
- (7) 5.895-5.925 GHz 頻段內之 C-V2X 用途是以次要用途操作，而聯邦無線電定位服務為該頻段之主要用途，因此必須保護這些聯邦操作免受有害干擾，頻譜使用應限制在 5905-5925 MHz，且 OBU 和 RSU 的 EIRP 應限制在 33 dBm，在水平面仰角 ± 5 度時的 OBU 之 EIRP 限制為 27 dBm。

總結 FCC 在 5.9GHz 之規劃及施政，由於政策轉向須兼顧兩種技術系統之過渡，因此大部分特別重視漸進推廣及避免干擾，C-V2X 聯合豁免方除須獲得對特定規則之豁免外，業者也需提供保證不對現有 DSRC 運行造成干擾，相關安排在確保 C-V2X 技術順利部署的同時，也尊重現有 DSRC 技術和相關企業的利益。

(三)、 應用案例

1. 高通車聯網通訊技術

車聯網在將 C-V2X 系統整合到車輛、路側基礎設施、設備與行動基礎設施時，需要一個完整的互連生態系統。

華為、高通和三星這類晶片開發商提供核心的底層技術，將各種功能整合在高效運作的軟體中。原本各種任務是在單獨的晶片上運行，而高通打算將其整合到一個平臺中將能達到更低成本和更快製造時間，促使車聯網的發生，高通於 2023 年 1 月宣布將推出其單晶片系統(System on a Chip, SoC)做為一個平臺，使汽車的原有設備製造商 (Original Equipment Manufacturer, OEM) 將能夠使用該平臺在同一硬體架構下提供先進駕駛輔助系統和自動駕駛支援。該 SoC 現已提供樣品，計劃於 2024 年初開始生產¹³⁴。高通表示其願景為，憑藉其預先整合的硬體、軟體和先進駕駛輔助系統

¹³⁴ The mobile network (2022), Understanding the Cellular V2X ecosystem. <https://the-mobile-network.com/2023/05/understanding-the-cellular-v2x-ecosystem/>

(Advanced driver-assistance system, ADAS)/自動駕駛(Autonomous Driving, AD)堆疊解決方案套件，幫助汽車製造商和一級供應商更輕鬆、更具成本效益地過渡到跨所有車輛層級的整合、開放和可擴展架構，同時建構出完整互連的生態系統，加快汽車廠商的上市時間。通用汽車、雷諾、大眾和寶馬等公司紛紛轉向高通的 Snapdragon 平臺，其中一些公司放棄了英特爾的 Mobileye 方案。

在生態系統中，應用程式和服務可由原始設備製造商以及外部營運商(例如道路營運商、縣市政府和行動網路營運商)合作提供。行動營運商做為 5GAA 的積極參與者，看到了透過連接以及提供安全和其他應用平臺來增加收入的潛力，但誰可以做為車聯網基礎設施的擁有者及投資者，該問題仍然懸而未決。這個生態系統也受到一系列標準化、監管和政策機構的影響和支持。這些機構定義了技術本身的範圍，協調並提供頻譜，執行安全標準。

高通做為晶片業者，提供涵蓋車對車(V2V)、車對路邊基礎設施(V2I)和車對行人(V2P)之應用，可在獨立於行動網路的專用 ITS 5.9 GHz 頻譜以及傳統行動寬頻執照頻譜中進行車輛對網路(Vehicle-to-Network, V2N)。早在 2017 年 9 月高通發布第一個符合 3GPP Release 14 標準的 Qualcomm 9150 C-V2X 晶片產品，可直接使用在 V2V、V2I 和 V2P 通信，促成專為車輛設計的 New Radio Cellular Vehicle-to-Everything 產品，簡稱 NR C-V2X，該

產品已可達到大頻寬感測器共享、即時共享數據與協調駕駛¹³⁵。

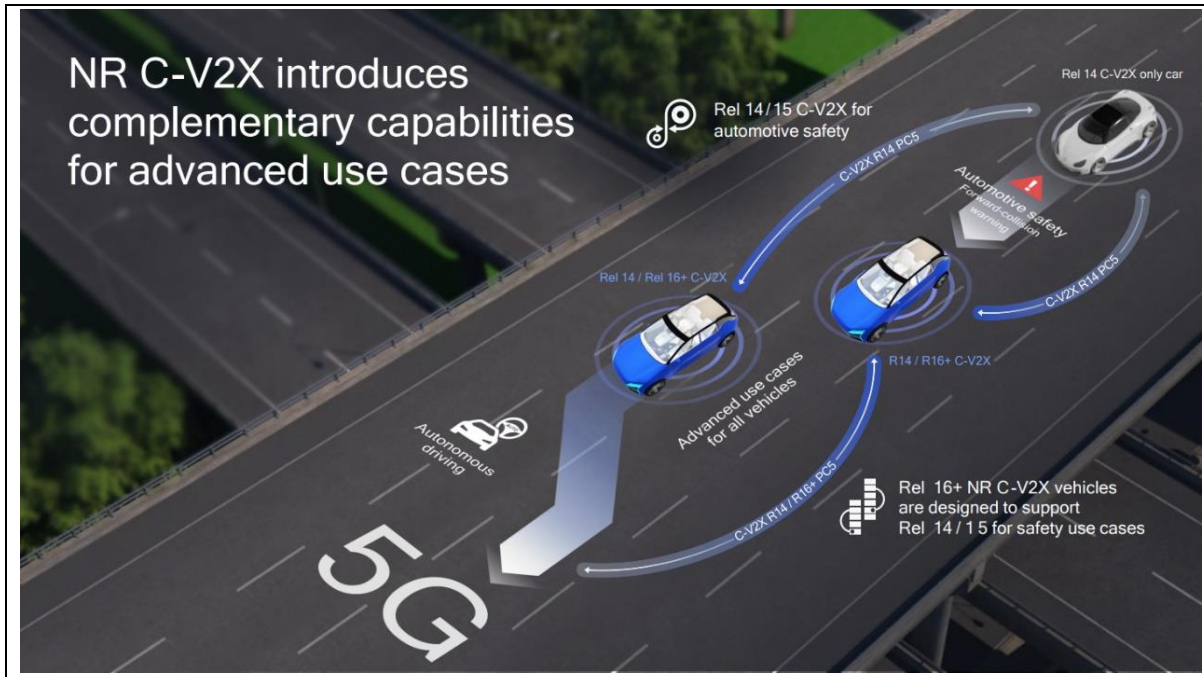
接著，高通的第一個汽車級 5G 平臺 Snapdragon Auto 5G Modem-RF 版本於 2019 年發布¹³⁶，符合 3GPP Release 15 標準，實現 V2V 和 V2I，支持 5G 處理能力，並支援通信及高頻寬低延遲遠端操作。

隨後高通在 2023 MWC 公布第二代的車載連接平臺 Snapdragon Auto 5G Modem-RF Gen 2，相較當前世代的處理性能提升 50%、能源效率提高 40%，並提升 2 倍吞吐量，為安全應用程式與關鍵任務提供超低延遲，並強化串流媒體、雲端遊戲、進階導航與地圖描繪功能，同時將支援 Snapdragon Satellite 雙向衛星連接服務¹³⁷。Snapdragon Auto 5G Modem-RF Gen 2 符合 3GPP Release 16 標準，支援由 Snapdragon Car-to-Cloud Services 提供的綜合互連服務平臺，為可動態配置的軟體定義汽車提供互連服務。

¹³⁵ Qualcomm (2018), 5G NR based C-V2X . 5G NR based C-V2X (qualcomm.com)

¹³⁶ Qualcomm (2019), Introduce to C-V2X. <https://www.qualcomm.com/products/automotive/c-v2x>

¹³⁷ McGregor (2023), Qualcomm Brings Home Broadband To The Car. Qualcomm Brings Home Broadband To The Car (forbes.com)



資料來源：高通，2019 年 8 月

圖 3-49、NR C-V2X 通訊技術示意圖

2. 公私教合作：奧迪為維吉尼亞州建築工人提供安全性

奧迪於 2020 年與維吉尼亞州交通部、維吉尼亞理工大學交通研究所和高通公司合作，共同研究減少道路危險和死亡人數的方法¹³⁸。這項合作在道路區域部署 C-V2X 技術改善道路安全，並實現更多安全應用。

C-V2X 技術允許不同種類的設備直接進行通信，以實現車輛之間和車輛與基礎設施之間的互動。例如，OBU 可以與帶有調製解調器的其他設備、RSU 直接進行交流。該技術的應用範圍包括在道路上的車輛、標誌、路邊裝置和工人穿戴的智慧背心¹³⁹。

¹³⁸ Audi (2020), Audi of America, Virginia DOT and Qualcomm Announce Initial C-V2X Deployment in Virginia. <https://www.qualcomm.com/news/releases/2020/01/audi-america-virginia-dot-and-qualcomm-announce-initial-c-v2x-deployment>

¹³⁹ Walford (2023), Car Communication Comes Of Age – C-V2X (Cellular-Vehicle-To-Everything) Explained.

工人穿戴的智慧背心也可以與車輛進行雙向通信，通過揚聲器和 LED 燈提供詳細的工作區域資訊。當駕駛員接近工作區域時，系統可以發出減速和讓道的提示。而當駕駛員和工人靠近時，他們之間會收到相應的警告，確保彼此安全。C-V2X 技術促進了車輛、基礎設施和工人之間的即時通信，在增加交通安全性的同時也提高道路上各參與者之間對路況的掌握。

3. 奧迪與喬治亞州合作兒童交通安全保護

喬治亞州每年約有 100 名學童在交通事故中喪生，約有 25,000 人受傷。奧迪於 2021 年宣布與喬治亞州交通部合作測試品牌車輛之校車以及美國學校門口警告標誌之間的通信。運用 C-V2X 技術將這些警告標誌做為信標，當學生接近學校區域時，技術系統將會向附近的司機發出警報，並在他們超速時發送警告訊息。同時，校車也會在學生上下車時，向周圍車輛發出警告。在這兩種情況下減少兒童交通事故的發生，且讓司機有足夠的時間減速或停車以提高交通安全¹⁴⁰。

奧迪為了改善道路使用者的安全而在喬治亞州進行車輛測試，利用 4G /5G 行動通信標準，使 C-V2X 直接在車輛之間傳輸數據。奧迪希望未來將該技術運用在各種道路交通或車輛，包括交通信號燈、人行道、路標、校車、建築工人等。當危急情況發生時，車上的顯示器會通知駕駛員何時需

<https://www.danlawinc.com/car-communication-comes-of-age-c-v2x-explained/>

¹⁴⁰ Audi (2021), Car2X & C-V2X—connected vehicle pilot projects from the US.

<https://www.audi.com/en/innovation/autonomous-driving/car-to-x.html>

要調整駕駛狀況以適應新路況的發生，使駕駛員盡早識別危險情況並做出適當的反應。

4. 密西根大學獲美國交通部資助進行 C-V2X 試點

美國交通部(USDOT)於 2023 年 5 月宣布資助密西根大學交通研究所(U-M's Transportation Research Institute, UMTRI)980 萬美元幫助密西根大學部署 C-V2X 技術，使新一代汽車能夠與周遭環境交換增強安全性數據。

該資助是其先進交通技術和創新 (Advanced Transportation Technology and Innovation, ATTAIN)計畫的一部分。ATTAIN 是根據美國兩黨基礎設施法案製定的 5,278 萬美元投資計劃，旨在推廣新技術，提高司機和公車乘客的安全性並減少旅行時間。ATTAIN 過去稱為安全試點模型部署計劃 (Safety Pilot Model Deployment program)，該計畫過往採用 DSRC 短距離通信技術，在今年改為使用行動通信，資助 C-V2X 相關計畫，認可該技術在範圍、可靠性和關鍵安全資訊的更快傳輸方面帶來關鍵技術優勢。

密西根大學交通研究所進行的研究目標是透過車輛與其他車輛及附近的基礎設施之連接，提高乘客、行人和居民的安全。研究環境允許車輛之間、基礎設施、雲端和行動網路以及行人和其他弱勢道路使用者之間進行通訊。除了已經在密西根州 Ann Arbor 的 21 個十字路口改裝路側單位來實現資料共享，並將在該地區另外新增 51 個站點的 C-V2X。這些單位包括：

- 1、2 條彎道速度警告
- 2、4 條街區的中間人行橫道
- 3、39 個十字路口
- 4、1 個島型圓環
- 5、6 個暫存/測試站點

密西根大學的合作夥伴包括 Mcity、安娜堡市、福特汽車公司、WSP、高通、Integral Blue 和運輸工程師協會。這項計劃將持續到 2026 年。

計畫內容包括，透過密西根大學的技術人員為 100 輛已出場使用的車輛改裝低成本的车載裝置，這些車輛也將用於與密西根州汽車製造商進行協調測試，以加速車輛部署。此外，也將運用資金制定並實施教育和勞動力發展計劃，將利用研究工程實習生計劃，為就讀各個傳統黑人學院及大學(historically Black colleges and universities)的學生提供高水準、有意義的工程實習機會、以及參與各式研討會、網路研討會與工作坊等。

(四)、 研究小結

美國車聯網之發展從 DSRC 轉向 3GPP 標準的 C-V2X，經過各種調查及討論，最終規劃 30MHz 頻寬供車聯網技術使用，並在 5.9GHz 頻段讓出 45MHz 供免執照使用。

雖然在 1999 年，FCC 預留 5.850-5.925GHz 供 ITS 車輛安全服務使用。20 年後，FCC 表示雷達、雷射雷達、攝影機和感測器等技術的進步減少了

ITS 交通系統的頻譜需求，而選擇以 30 MHz (5895-5925 MHz) 做為合理數量，為 Wi-Fi 等免執照服務騰出額外 45 MHz。

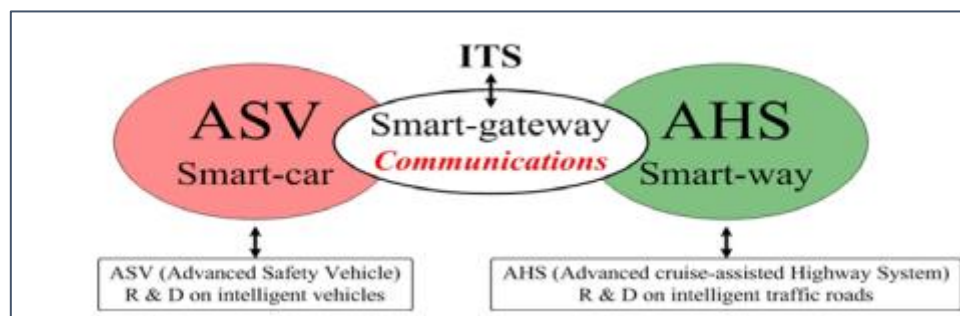
對於車聯網之頻段規劃及 5.9GHz 之頻譜資源合理分配使用，在美國經過幾年的辯論終於塵埃落定，各州交通部及汽車業者正展開全面應用建設，隨著科技進步，在法規環境及頻譜資源齊備的情況下，美國的車聯網應用預期將快速發展，其 C-V2X 技術的實際應用與法制規範，可為我國車聯網發展提供有價值的參考座標。

三、 日本

(一)、 發展歷程

1. 技術萌芽

車聯網在日本的發展可以追溯到 20 世紀 70 年代。其自 1960 年代開發的「綜合汽車交通控制系統」(Comprehensive Automobile Traffic Control System, CACS)，成為全球車間通訊技術領域的先驅。1970 年代，日本政府決定以「智慧安全車輛」(Advanced Safety Vehicle, ASV)和「智慧道路」(Advanced Cruise-assisted Highway System, AHS)所涉技術之研發為兩大主軸¹⁴¹。政府和產業界開始合作，探索如何將無線通訊技術應用於改善交通系統。



資料來源：財團法人車輛研究測試中心，2009 年 12 月

圖 3-50、日本智慧交通發展兩大脈絡

¹⁴¹ 財團法人車輛研究測試中心，智慧安全車輛與車載無線通訊國際發展趨勢簡介，<https://reurl.cc/WGVGDy>, 2009/10

2. 公私合作與實際應用

1980 年代初期，日本政府啟動「智慧道路交通系統」(Intelligent Road Traffic System)開發計畫。該計畫涉及到多個政府部門的合作，包括員警廳、經濟產業省、國土交通省、郵政省以及建設省。這些部門共同努力，以研發和推廣智慧交通技術。

此時期車聯網的外部發展條件得以改善，大容量記憶體(mass memory)的出現，使處理成本降低。到了 80 年代後期，私營企業也開始參與，加速汽車導航系統的發展和普及，同時，電子道路收費系統(Electronic Toll Collection, ETC)等技術開始出現。日本政府也不斷強調通信基礎設施的重要性，並提出建立智慧交通系統，以提高道路安全、交通效率和環境保護。

3. 智慧運輸系統展露頭角

1990 年代初期，日本政府在智慧運輸系統(ITS)方面取得了顯著進展。並將實驗系統整合成為實用系統。在 1995 年的 ITS 世界大會上，這些實驗系統首次亮相，標誌著 ITS 的出現。

此外，1995 年內閣通過「高度情報通信社會推進之基本方針(Basic Guidelines on the Promotion of an Advanced Information and Telecommunications Society)」，強調了通信基礎設施的必要性，明確提出建立智慧交通系統的目標，旨在提高道路安全、交通效率和舒適性，同時為環境保護做出貢獻。

2001 年，內閣官房公佈了《e-Japan 戰略》(e-Japan Priority Policy Program)，明確了智慧交通的發展計畫。這一戰略的具體政策措施包括車輛安全、交通效率和環境保護。

2004 年，日本主辦了“愛知縣名古屋 ITS 世界大會”，展項主要集中在加強交通基礎設施的建設和推廣下一代道路系統。

4. 建立永續交通新願景

2013 年，東京 ITS 世界大會舉行，標誌著日本智慧交通進入新一階段。這一階段的重點在於發展車輛對車輛協同通信(C-V2X)和自動駕駛等新技術，以及建立永續交通的新願景。

2013 年，政府宣佈「成為世界最先進的 IT 國家宣言」，設定到 2018 年減少交通事故傷亡人數的目標。此外，ETC 2.0 服務上線，通過車輛與道路設施的雙向通信，提供道路即時路況分析和警告功能。政府也積極推動自動和無人駕駛的發展。

5. 日本智慧型運輸系統政府組織

日本政府在 ITS 的體制設計方面，採各部門協調合作，將 ITS 定位為各政府戰略中的重要議題。內閣官房、內閣府、警察廳、總務省、經濟產業省、國土交通省等部門共同參與推動，概述其分工如下：

- 內閣官房 IT 綜合戰略室：負責制定基本方針、綜合調整，並制定

官民 ITS 構想和路線圖，還有自動駕駛相關制度整備大綱

- 內閣府科學技術：創新負責 研究開發與協調領域相關事宜，推動
戰略性創新創造計劃(Strategic Innovation Promotion Program, SIP)
- 內閣府地方振興推進事務局：負責國家戰略特區諮詢會議
- 內閣官房日本經濟振興綜合事務局：負責未來投資戰略和官民協商
相關自動駕駛事宜
- 警察廳：負責確保交通安全
- 總務省：負責訊息通訊環境建設
- 經濟產業省：負責促進汽車產業
- 國土交通省：負責道路管理、車輛安全，以及汽車事故的損害賠償。
法務省：負責事故時的刑事責任
- 金融廳：負責保險業等監督事項

日本是汽車製造大國，在智慧運輸系統以及先進車輛打造上，日本政府也希望能取得領先的地位。根據 2013 年《世界領先 IT 國家創造宣言》，日本於 2014 年正式啟動「戰略性創新創造專案自動駕駛系統研究開發計畫 (SIP-Automated Driving for Universal Service, SIP-adus)」，自動駕駛自此成了日本國家級戰略的一部分。日本內閣與民間企業展開合作，共同研發自動駕駛系統，成立 SIP-adus 自動駕駛系統計畫與促進委員會，主要目標是降低交通事故的死亡率。該計畫旨在運用自駕系統來支援駕駛者，以減少交

通事故，並設定在 2018 年內使日本 24 小時內的事務死亡人數低於 2,400 人之目標。

根據 2020 年日本內閣府於公布的《官民 ITS 構想藍圖 2020》，規劃 2020 年實現等級 3 自用車在高速公路上行駛，以及等級 4 自駕車在特定地區進行無人自動駕駛移動服務，並計劃於 2025 年等級 4 自駕車，可在高速公路上行駛目標。同年 4 月生效的《道路運輸車輛法》允許 SAE 等級 3 的自駕車上路，並隨後制定了《汽車特定改造等許可省令》，以規範相關的改造許可制度。此外，2020 年通過修正版的《國家戰略特別區域法》，創設了區域限定型監理沙盒制度，允許在特定區域進行無人機或自駕車的測試，並排除了相關的監管規範。

表 3-17、日本自動、無人駕駛推動年表

時間	內容	主責單位
2013	提出《世界領先 IT 國家創造宣言》	內閣府
2014	啟動「戰略性創新創造專案自動駕駛系統研究開發計畫」，即 SIP-adus，自動駕駛自此成了日本國家級戰略的一部分	內閣府
2016	提出《自動駕駛汽車道路測試指南》允許自駕車道路測試，但駕駛人必須在駕駛位上	警察廳
2017	提出《官民 ITS 構想藍圖 2017》自駕車分三大發展領域：「自用客車」、「物流服務」和「移動服務」	內閣「IT 綜合戰略本部」
2017	發佈《遠端自動駕駛系統道路測試許可處理基準》允許自駕車在無人駕駛狀態進行道路測試，認可遠端監控人	警察廳

時間	內容	主責單位
2018	發佈《自動駕駛制度整備大綱》提出制度檢討和修正法律方向，並訂出「明確事故責任方」	IT 綜合戰略本部及官民資料活用推進本部
2018	訂出《自動駕駛汽車安全技術指南》規定 Level 3 和 Level 4 級自駕車(包括乘用車、卡車和巴士)應符合安全要求	國土交通省
2020	修正《道路運輸車輛法》生效，允許 SAE 等級 3 的自駕車上路	國土交通省
2020	修正版《國家戰略特別區域法》通過，設立區域限定無人車及自駕車監理沙盒制度	
2022	通過《道路交通法》修訂，並於 2023 年 4 月 1 日開始生效施行，有條件開放 L4 級自動駕駛	國土交通省

資料來源：本研究整理，2023 年 7 月

2018 年 9 月日本國土交通省發布了《自動駕駛汽車安全技術指南》，該指南明確規定了 Level 3 和 Level 4 級自駕車(包括乘用車、卡車和巴士)應該符合的安全要求，及車廠在設計自動駕駛車輛時的注意事項。一般認為，日本政府的積極做為，是希望在自駕車國際標準尚未確定之際，除促進日本廠商自駕車技術開發外，並主導國際標準的話語權。

日本警察廳做為《日本道路交通安全法》執法單位，2015 年開始並對自動駕駛技術相關政策進行研究，並於 2016 年 5 月頒佈《自動駕駛汽車道路測試指南》，允許自駕車在道路上進行測試，但要求駕駛人必須坐在駕駛位上。在 2017 年 6 月發佈《遠端自動駕駛系統道路測試許可處理基準》，

允許自駕車在真正無人駕駛的狀態下進行道路測試，認可由遠端監控人承擔現行法規上駕駛的義務和責任，且可由一名負責人監控多輛車輛。

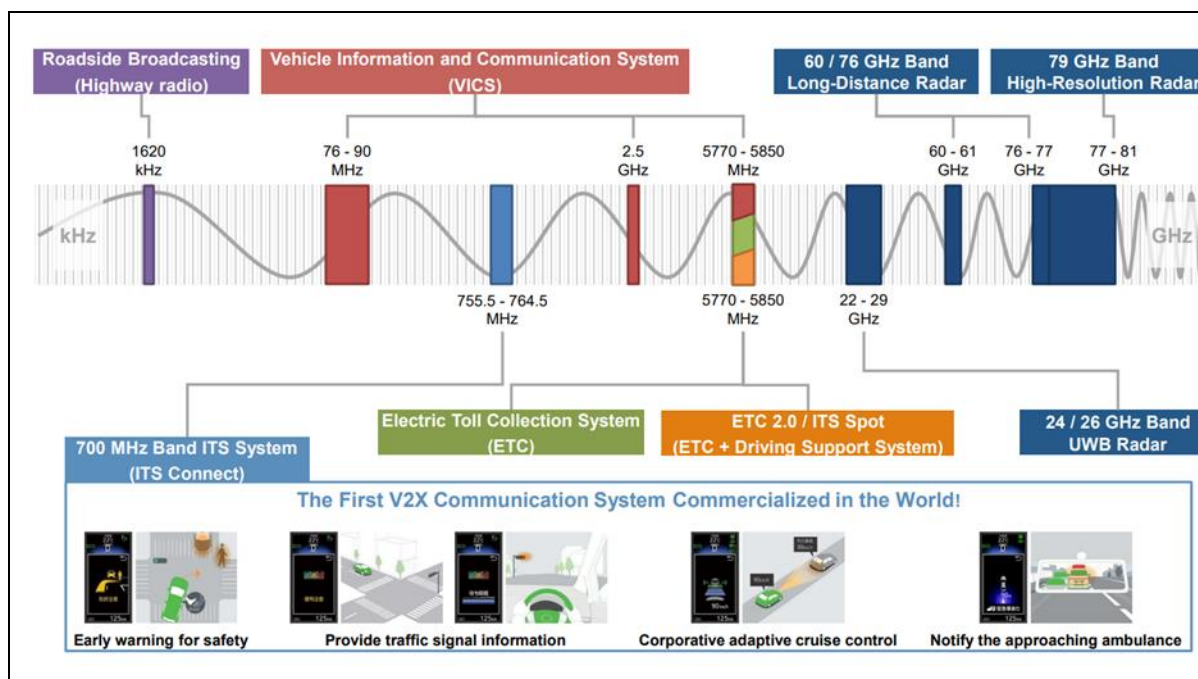
為實現 2025 年完全自動駕駛的發展目標，日本內閣「IT 綜合戰略本部」並自 2015 年開始每年發布《官民 ITS 構想藍圖》。2017 年《官民 ITS 構想藍圖 2017》，劃分出「自用客車」、「物流服務」和「移動服務」三大領域，並根據此藍圖，於 2018 年 3 月將發布《自動駕駛制度整備大綱》。該大綱旨在檢討和修正法律制度，做為 2020-2025 年間自駕車相關道路交規修正和施政方向的參考，另外重要內容包括訂出「明確事故責任方」。整備大綱釐清自駕車在交通事故上的民事責任歸屬，在 SAE 規定的自動駕駛「Level 3」，針對駕駛位有人狀態、在限定的條件下進行自動駕駛，責任歸屬為車輛所有人承擔，也就是相仿現行汽車情況。廠商的責任在於駕駛系統發生明確缺陷之際，另外應需探究交通事故原因，自駕車應配置行車紀錄設備(類似飛機黑盒子)，紀錄位置資訊、方向盤操作、自動駕駛系統運轉狀態等。但當汽車系統被遭駭客入侵或汽車被偷，而發生意外，責任會由政府承擔。日本的做法，是希望消除汽車業界對於需要承擔過大的憂慮，以加速自動駕駛汽車商業化的進程。

整體而言，日本近年來對於自動駕駛政策重點著重於「釐清事故責任歸屬」與「道路測試」兩大方向。

(二)、網路建置維運及頻譜安排

由於在交通通訊發展歷史悠久，日本使用在交通上的頻譜也相當多，1620kHz 用於的 AM 無線電廣播；76-90MHz、2.5GHz、5770-5850MHz 用於道路交通訊息通訊系統(VICS)；755.5-764.5MHz 用於 ITS connect；而在車用雷達則使用 24/26GHz、60/76GHz、79GH 等頻段。

日本 ITS 主要採用 DSRC 技術，1994 年由當時的郵政省(以於 2001 年併入總務省)成立的電信技術理事會開發 DSRC 技術。2001 年根據《無線電設備條例》第 49-26 條及《無線電執法條例》第 6-4-7 條，頒布 ARIB 標準(STD-T75)，制定 DSRC 規範。ETC 主要就是使用 DSRC 技術，使用 5.8GHz 頻段進行電子收費應用，2011 年開發的 ETC2.0 系統，不僅提供道路使用費用支付，還進一步提供道路資訊、交通狀況和導航等功能。此外，分配 700MHz 頻段進行車間通訊應用，並與豐田汽車合作開發 ITS Connect，2015 年下半年在豐田汽車 Prius、Crown Majesta、Royal/Athlete 車款中搭載。



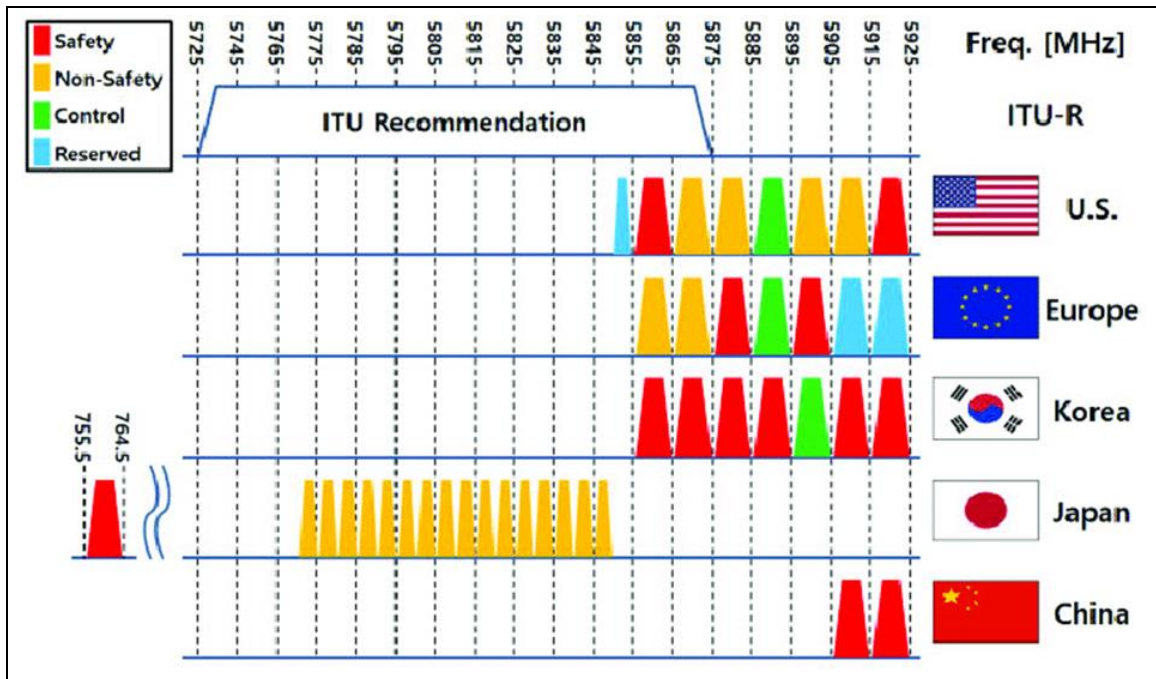
資料來源：總務省，2021年10月¹⁴²

圖 3-51、日本車間通訊頻譜應用情況

在 ITS 智慧運輸系統主要採用 ITS connect (755.5–764.5 MHz)與用在 ETC / ETC2.0 的 DSRC 技術(5.8GHz)。ITS connect 類似於美國、歐洲和韓國對 5.9 GHz 頻段的 ITS 通訊規定，目前日本是分配在 755.5–764.5 MHz 頻段，於 2015 年開始採用，日本發現在 760MHz 頻段的頻譜使用效率、網路覆蓋率與傳輸效率皆優於 5.9GHz 頻段。日本 5.8GHz 頻段已供 DSRC 技術使用，為 ETC/ETC2.0 收費應用的頻段，分配在 5770–5850 MHz，此頻段與歐美主流之 C-V2X 重疊。此外日本路測裝置訊號也以 5.8GHz 頻段為主，5.8GHz 頻段具備直進特性，由於訊號主要來自車輛上方，路車通訊以由上

¹⁴² MIC's Initiatives for Automated Driving Society, https://en.sip-adus.go.jp/conference/its2021/file/2021doc_04.pdf, 2021/10

而下為主，中間較無阻檔，訊號傳輸無問題。



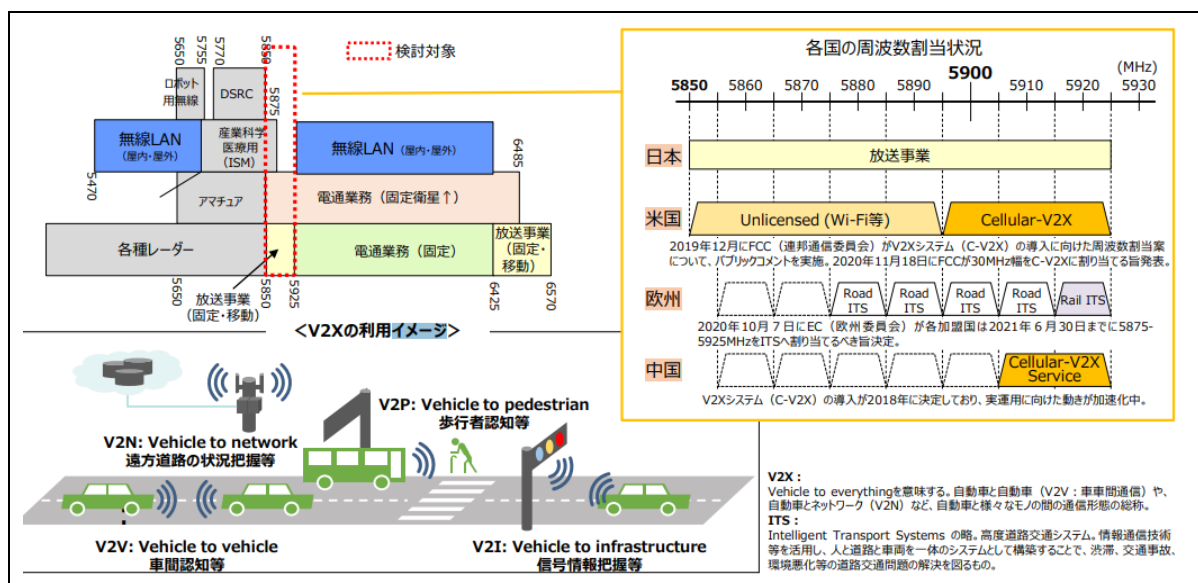
資料來源：IEEE，2020 年 7 月¹⁴³

圖 3-52、日本與各國車間通訊頻譜分配

但為因應未來對於智慧運輸頻譜使用需求，以及考量國際上的使用趨勢，日本總務省於 2021 年開始研究，在 2022 年(令和 4 年)11 月最新公佈之「頻率重組行動計劃」¹⁴⁴表示，如果確定要採用 5.9GHz，需要制定導入 V2X 通訊頻率策略，同時也需要透過無線電系統的遷移等措施，來確保所需要的頻寬。

¹⁴³ Choi, J., Marojevic, V., Dietrich, C. B., Reed, J. H., & Ahn, S. (2020). Survey of spectrum regulation for intelligent transportation systems. IEEE Access, 8, 140145-140160.

¹⁴⁴ 日本總務省 (2022)，周波数再編アクションプラン（令和 4 年度版）の公表，https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000451.html



資料來源：総合通信基盤局電波部電波政策課，2022年11月

圖 3-53、日本技術採用 5.9GHz 頻段引入 V2X

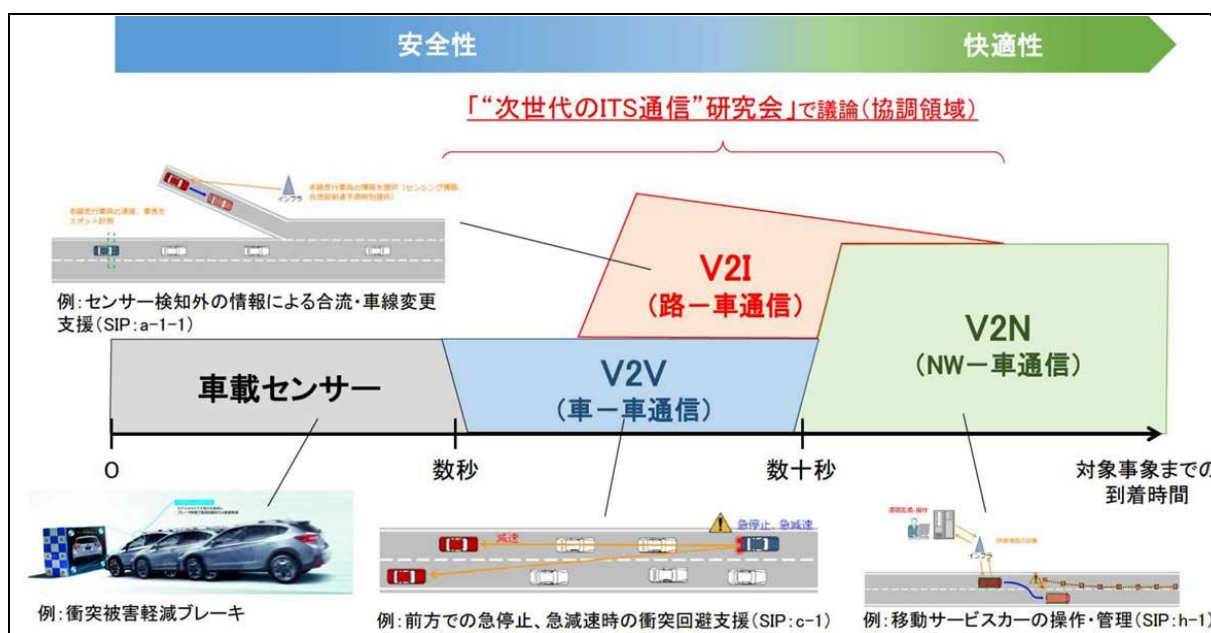
總務省於 2023 年 2 月 16 日成立的「自動駕駛時代下一代 ITS 通訊研究小組」¹⁴⁵ 探討未來了 V2X 與 V2N 通訊之間的應用及合作措施。

日本之所以考慮 5.9GHz 頻段，是因為該頻段在歐美已經開始用於自動駕駛，需要跟上歐美的步伐，才能推動車聯網技術之普及。歐洲在 5.9GHz 頻段的 30MHz 頻寬於 2008 年分配給 ITS，並於 2020 年額外分配了 20MHz 頻寬。美國 FCC 於 1999 年將 70MHz 頻寬分配給 ITS，但在 2020 年將頻寬減少到 30MHz 後，其車聯網系統也從 DSRC 更改為 C-V2X 方法。

在日本，5.9GHz 該頻段目前用於廣播業務-現場收音設備(Field Pickup Unit, FPU)的節目製作和災難報告。為了改變對 ITS 的分配，需要考慮現有

¹⁴⁵ Business Network (2023), 5.9GHz 帶を「協調型自動運転」に活用へ総務省が次世代 ITS の研究会 <https://businessnetwork.jp/article/12826/>.

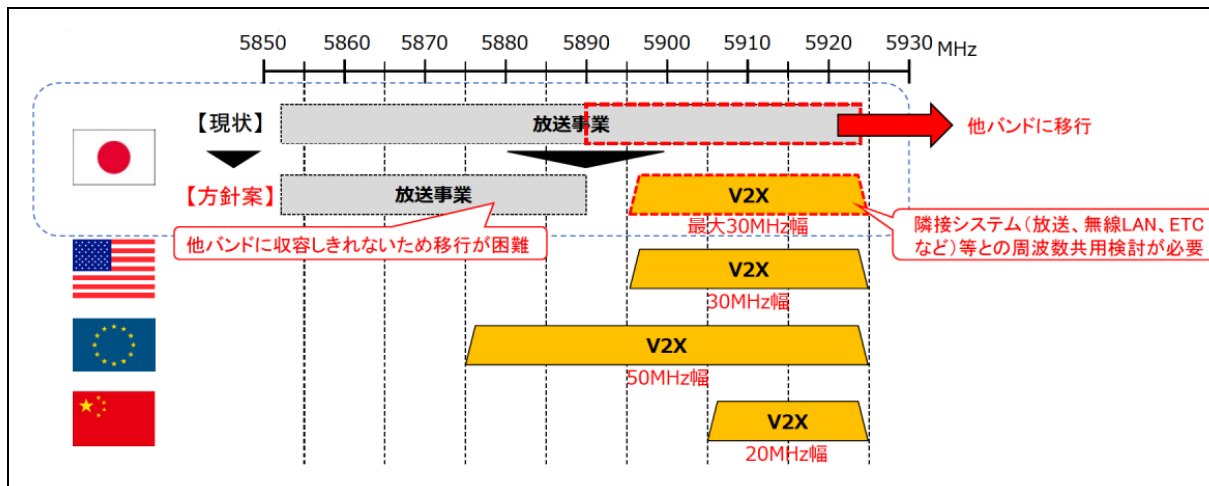
用戶的遷移以及對 FPU 的無線電波干擾。除了電信設備供應商、汽車製造商和電信營運商之外，既有頻段使用者：廣播公司也將參加這個研究小組。



資料來源：綜合通信基盤局電波部電波政策課，2023 年 02 月

圖 3-54、日本 V2X(V2I、V2V)與 V2N 之協作示意圖

日本總務省於 2023 年 4 月 14 日「次世代の ITS 通信」研究會中，考慮到國際頻率協調和對現有無線電臺的干擾，探討是否在 5,895MHz 至 5,925MHz 之間分配 30MHz 給 V2X 通訊？更具體地說，(1)確保使用 5,888 至 5,925MHz 的廣播業務無線電臺的過渡頻率，以及(2)與鄰近系統針對 5.9GHz 頻段 V2X 系統等進行技術研究(頻率共享研究)。



資料來源：總務省移動通訊科，2023年04月¹⁴⁶

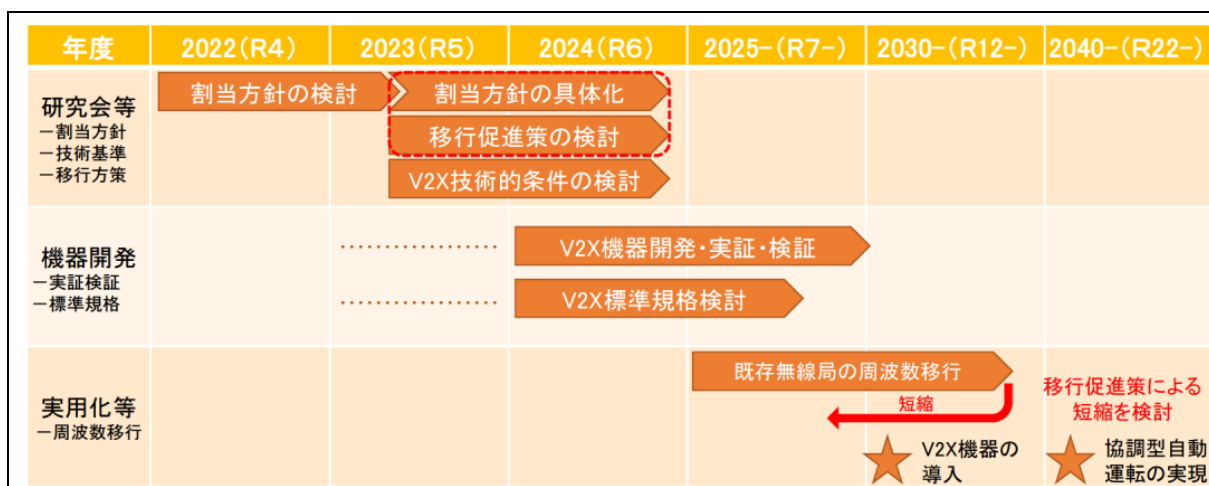
圖 3-55、5.9GHz 頻段 V2X 通訊分配政策研究方向(草案)

根據內閣府 SIP 自動駕駛研究成果「協同自動駕駛系統之未來規劃圖」，期望未來日本車聯網之發展如下：

1. 2030 年推出 5.9GHz 頻段 V2X 通訊設備(實現協同自動駕駛)
2. 2040 年實現協同自動駕駛(仲裁、談判等)

為了實現上述目標，需在推動現有無線站臺頻率遷移的同時，推動 5.9GHz 頻段 V2X 通信設備的論證和驗證，以下為時間軸及規劃內容，包含：V2X 設備開發/演示/驗證、研究 V2X 標準及現有無線電台的頻率遷移及未來導入和其他措施。

¹⁴⁶總務省移動通信課新世代移動通信システム推進室(2023)，自動運転時代の“次世代の ITS 通信”研究会，https://www.soumu.go.jp/main_content/000878289.pdf



資料來源：總務省移動通訊科，2023 年 04 月¹⁴⁷

圖 3-56、5.9GHz 頻段 V2X 通訊規劃圖之審議方向(草案)

表 3-18、未來導入和其他措施

短期 (2023 年夏天之後)	<ul style="list-style-type: none"> ● 審查現有廣播電台將遷移到的頻率(頻道規劃等) ● 5.9GHz 頻段 V2X 通訊用例、通訊方式及擴展措等(包括量化的導入效應) ● 5.9GHz 頻段 V2X 通訊系統鄰接系統技術研究(頻率共享研究) ● 審查促進現有無線電台頻率遷移的措施(包括如何分攤費用) ● 5.9GHz 頻段分配政策建議和實施路線圖建議的具體實施
------------------------	--

¹⁴⁷總務省移動通信課新世代移動通信システム推進室(2023)，自動運転時代の“次世代の ITS 通信”研究会，https://www.soumu.go.jp/main_content/000878289.pdf

<p>中期 (未來 5 年內) V2X 的導入</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 5.9GHz 頻段 V2X 通訊系統制度化研究 (相關部令的修改、標準的製定等) ● 開發演示/驗證環境，用於不同製造商之間的互操作性驗證，以導入 5.9GHz 頻段 V2X 通訊系統 ● 實現協同自動駕駛所需的 5.9GHz 頻段 V2X 通訊 ● 實現協同自動駕駛所需的 5.9GHz 頻段 V2X 通訊所需的技術開發、確保行人安全的 CPS(協同識別)的研發等。
<p>長期 (未來 5 年後) 邁向 V2X 的普及</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 將 V2X 通訊系統應用於車輛評估方面進行合作中 ● 支持 5.9GHz 頻段 V2X 通訊系統的多用途部署

資料來源：總務省移動通訊科，2023 年 04 月¹⁴⁸

¹⁴⁸總務省移動通信課新世代移動通信システム推進室(2023)，自動運転時代の“次世代の ITS 通信”研究会，https://www.soumu.go.jp/main_content/000878289.pdf

(三)、應用案例

1. C-V2X 技術實驗案例

2018 年在日本 Nissan、Continental、Ericsson、NTT DOCOMO、OKI 以及 Qualcomm Technologies 等多家汽車、科技公司，合作進行 C-V2X 的實驗計畫，使用 5.8GHz 做為直接通訊的實驗頻譜，成功進行首次 C-V2X 測試。Continental 採用了 Qualcomm C-V2X 的設計，搭載於 Nissan 汽車中，NTT Docomo 則提供了 LTE-A 通訊網路和 V2N 的使用；OKI 則提供了路邊基礎設施設計，透過 Qualcomm 的 9150 C-V2X 晶片組，展示 V2I 的先進技術。

測試目標有三，其一，是與參與測試項目的合作夥伴，驗證 3GPP 在 Release 14 的通訊標準應用及展示其優勢。其二，項目以 5.8GHz 頻段運作 C-V2X 直接通訊之實驗展示，了解該技術通訊範圍增強、可靠性及低延遲性之能力。第三點，則進行 C-V2X 的測試設計，用來展示 LTE-Advanced 技術在通訊上的互補優勢。測試的結果能幫助車聯網供應鏈上、下游成員(包括 ITS 相關組織和政府機構)做好汽車製造業邁向 5G 網路的演進做好過渡準備，來幫助發展產業生態系¹⁴⁹。

日本 C-V2X 試驗在日本自動車研究所(Japan Automobile Research Institute, JARI)茨城縣筑波市和城里町兩個試驗場進行。城里町試驗場橢圓

¹⁴⁹ Qualcomm(2018), C-V2X Trial in Japan, https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/c-v2x_trial_in_japan_-_december_2018.pdf

形軌道和直線軌道用於高速、長距離測試；筑波試驗場用於視距(Line of Sight, LOS)及非視距(Non Line of Sight, NLOS)¹⁵⁰模擬測試。測試於 2018 年 7 月至 10 月進行。

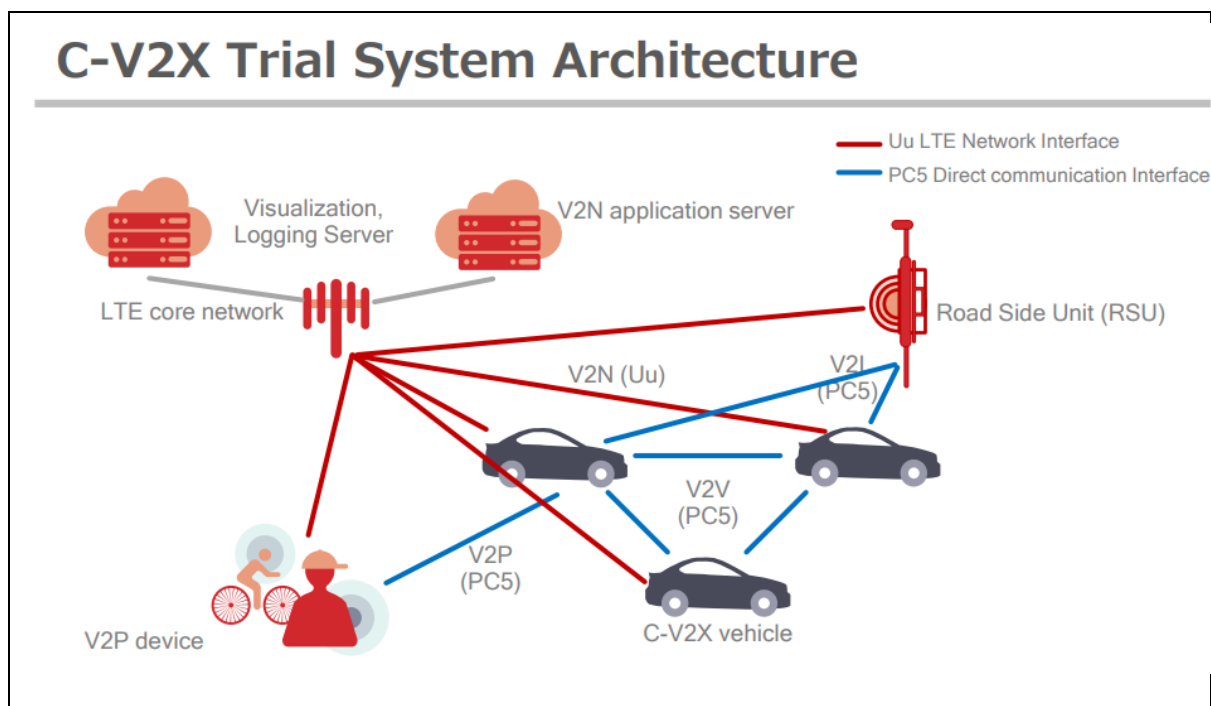


資料來源：高通技術，2018 年 12 月

圖 3-57、日本茨城縣筑波市(Tsukuba)和城里町(Shirosato)兩個試驗場

採用 5.8GHz 頻段的直接通訊與網路通訊技術，測試的內容包括車對車(V2V)、車外通訊(V2I)、車對行人(V2P)、車對網路(V2N)的運作。特過本次的測試，車輛、基礎設施、行人和騎自行車者等，道路使用者之間的直接和利用網路的通訊結合，測試結果顯示，C-V2X 可充分發揮萬物聯網和智慧交通的潛力，此次測試也展現該技術在可靠性和延遲方面的特點，讓交通中的關鍵資訊能即時的傳送。

¹⁵⁰ Line of Sight



資料來源：高通技術，2018 年 12 月

圖 3-58、C-V2X 測試系統架構圖

實驗中，測試了多種情境以評估 C-V2X 技術透過 PC5 的直接通訊能力，採用 3GPP Release 14 規範：測試車輛以高達 110 公里/小時(68 英里/小時)的速度相互駛過，並且中間設有卡車或建築物等通訊障礙物，根據測試結果，顯示直接通訊的平均延遲為 20 毫秒，即使在兩車較長距離達到 1.2 公里中間無阻礙，通訊也幾乎沒有錯誤。與商業網路連接情境，使用與 NTT DOCOMO 的網路展示廣域(wide area)的 V2N 通訊，端到端平均通訊延遲為 50 毫秒。

這些試驗在日本的多個測試道路上進行，使用五種場景對 C-V2X 的性能進行了測試。這些場景包括禁止超車警告、電子緊急制動燈、危險場所

警告、十字路口移動輔助和弱勢道路使用者警告。透過這些不同的場景，更能夠完整瞭解對 C-V2X 的通訊情況。因此，試驗不僅關注車輛之間的 V2V 通訊，還關注在不同的交通狀況和行駛速度下的 V2I、V2P 和 V2N 通訊性能。這樣的測試更能夠綜合評估 C-V2X 技術在各種真實應用場景下的表現。

2. 豐田採用 ITS connect 案例

豐田汽車公司是日本著名的跨國汽車製造商，在全球汽車業中佔有重要地位。豐田汽車自 1937 年由豐田喜一郎創立以來，已擁有悠久的歷史，現已成為可靠性、質量和創新的代名詞。多年來，豐田的業務範圍不斷擴大，生產設施和銷售網路遍布 170 多個國家¹⁵¹。

近年來，豐田擴大了對電動汽車(EV)和自動駕駛技術的關注¹⁵²。隨著氫燃料電池汽車豐田 Mirai 等車型的推出以及自動駕駛系統的開發，豐田致力於塑造交通運輸的未來。該公司的 ITS Spot(安裝在高速公路上的安全駕駛輔助系統)及 DSSS(Driving Safety Support Systems/安裝在一般道路)稱之為協同式智慧運輸系統(Cooperative Intelligent Transportation Systems, C-ITS)。通過獲得車載傳感器無法捕捉到的資訊從而完善自動安全駕駛系統，

¹⁵¹ 丰田通商株式會社，https://www.toyota-tsusho.com/chinese/ir/library/integrated-report/pdf/ar2022c_all.pdf，2023/07

¹⁵² EDN, Maurizio Di Paolo Emilio, Power Electronics News (2023), 多元化策略推動下一代電動車安全上路 <https://www.edntaiwan.com/20230411ta31-how-toyota-is-diversifying-its-strategies-for-next-gen-vehicles/>

為降低事故做出貢獻。豐田採用的 ITS Connect 則是利用道路與車輛間、車輛與車輛間的無線通信，超越 C-ITS 以往的及時資訊傳輸水準，ITS Connect 使用 ITS 專用頻率(760MHz)，在十字路口時，通過路車間通信提供如「右轉注意提醒」等安全措施、另外還開發了利用車車間通信的「通信利用型雷達巡航控制系統」。

豐田在 2015 年下半年使用 ITS 專用頻率(760MHz)、利用路車間、車車間通信的輔助系統 ITS Connect 做為預防安全套件 Toyota Safety Sense P 的選配，全球首度配套在面向日本的新款 Prius、Crown Majesta、Royal/Athlete 上。利用路車間通訊可以在十字路口實現如「右轉注意提醒」等新的安全措施。另外，開發了利用車車間通訊的“通訊利用型雷達巡航控制系統”。在以往通過毫米波雷達檢測前車車距、相對車速的基礎上，運用車車間通訊所獲得的前車加減速資訊，提高跟車功能。

在海外市場，路車間、車車間的通信標準一般為 5.9GHz、豐田採用的 760MHz 電波可以繞到障礙物的背後，進行廣範圍的訊號傳遞，因此，當要和處在路況較差的十字路口的車輛進行通訊時會更加有利。通過逐步擴大 ITS Connect 的配套車型，將有助於減少占日本國內的交通事故總數約四成在十字路口附近發生的交通事故。

當國際上其他 20 家汽車製造商達成自願協議，2022 年為所有新車配備自動緊急剎車功能時，豐田汽車中 92%都配備自動緊急剎車系統(下圖)。

<p>路車間通信システム (DSSS: Driving Safety Support Systems) 道路とクルマが通信 Vehicle-to-Infrastructure Communication System</p> <p>右折時注意喚起 Right-turn Collision Caution</p> 	<p>車車間通信システム (CVSS: Connected Vehicles Support Systems) クルマとクルマが通信 Vehicle-to-Vehicle Communication System</p> <p>通信利用型レーダークルーズコントロール Communicating Radar Cruise Control</p> 
<p>在十字路口等待右轉時，當另一輛車從相反方向駛來、行人從車輛右側過馬路時，或者存在駕駛員可能沒有注意到的其他問題時，如果駕駛員鬆開剎車並開始向前行駛，則會收到語音和圖示警告。</p>	<p>當多輛車輛配備通信雷達巡航控制系統時，每個車載系統都可以透過車輛間通信接收到的加速或減速資訊做出即時回應。保障所有參與車輛能夠有效保持安全距離。</p>

資料來源：總務省 ITS 世界會議展示パネル，2021

圖 3-59：日本原創 V2X 技術：ITS Connect¹⁵³

(四)、 研究小結

早在 1970 年代，日本就開始投入資源於交通基礎建設和智慧型車輛技術的研究和發展，是最早開始智慧交通研究的國家之一。目前，日本的車

¹⁵³Toyota ITS Connect (2015) <https://global.toyota.jp/download/10064667/>

間通訊發展主要包括智慧型道路和智慧型車輛兩個主要脈絡，並通過通訊技術將交通基礎設施和智慧型車輛連接成為 V2X 車間萬物聯網。

在智慧型道路方面，日本的發展始於提供駕駛者路況和環境資訊，逐漸發展成導駕系統，同時發展了電子收費系統和交通管理系統。其中道路交通訊息通訊系統(Vehicle Information and Communication System, VICS)和 ETC 系統在智慧型道路發展中扮演了重要角色，最終這些資訊系統也被整合到下一代道路「智慧道路」(SMARTWAY)計劃中。

自 2010 年代以來，日本將自動駕駛汽車發展納入國家重要戰略，並進行了相關法規和安全規範的制定。日本在公私協力下，取得了快速的智慧型車輛發展。此外，日本還根據國際 SAE 標準確定了自動駕駛和無人駕駛的責任歸屬標準，為法律上的自動駕駛和無人駕駛奠定了基礎。

在頻譜規劃方面，日本主要採用 DSRC 技術，使用了包括 5.8GHz 和 700MHz 在內的頻段。然而，隨著國際發展趨勢和智慧運輸需求的增加，日本也積極研議將 5.9GHz 頻段納入 V2X 應用中。

在車載聯網系統安裝率上，日本不亞於中國等亞洲國家，但日本未來是否將採用其它聯網標準仍然不確定。多年來 Toyota 等車廠已經安裝汽車專用短程通信設備於旗下車款，未來即便世界其他地方轉向 C-V2X 標準，日本預計將持續維持。

總體而言，日本在智慧型道路、智慧型車輛和 V2X 通訊技術方面的投

入和創新，使其成為智慧交通技術的領先國家之一。目前日本仍需繼續致力於技術研發、制定相關政策和法規，以確保車間通訊技術的順利應用和發展，並推動智慧交通系統的進一步完善。

四、 韓國

(一)、 發展歷程

基於以先進交通技術建立一個安全、便利的交通環境政策目標，韓國最早於 2000 年提出「智慧交通系統第一期計畫(Intelligent Transport System 1)」，並於 2011 年發布第二期計畫：「智慧交通系統(Intelligent Transport System 11)」，以及於 2021 年 10 月發布之「智慧交通 2030 基本方案(Intelligent Transport System Basic Plan 2030)」，揭示以 2030 年做為目標年，提供環保、安全、無間斷及以人為本的交通服務為願景制定相關政策。

考量到既有智慧交通系統若透過交通基礎設施蒐集汽車等運輸工具的運作資訊，僅能做為單向傳輸供用戶參考。韓國政府希望透過人工智慧、物聯網等，結合交通設施與運輸工具間的雙向通訊，即時收集相關資訊並適時提供資訊給用戶參考，提高交通服務之利用率與效率。

韓國國土基建交通部(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, MoLIT)於 2021 年 10 月所公布之「智慧交通 2030 基本方案」，主要具備以下重點，包括：¹⁵⁴

- ◆ 建立能於未來導入新形態交通工具的基礎設施；
 - 建立基礎設施，以順利導入與促進自駕車等新交通型態；

¹⁵⁴ Smart City Korea (2021), MOLIT establishes the master plan for intelligent transportation system 2030('21~'30), <https://smartcity.go.kr/en/2021/10/19/%EA%B5%AD%ED%86%A0%EB%B6%80-%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%B2%B4%EA%B3%84-%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EA%B3%84%ED%9A%8D-20302130-%EC%88%98%EB%A6%BD/>

- 為將來 2027 年全自駕之商業化時代預做準備，自 2021 年起陸續於主要幹道與高速公路上安裝協同式智慧運輸系統(C-ITS)基礎設施，並建立認證系統，確保自駕車平穩運作；
 - 驗證 LTE-V2X 通訊技術，透過高速公路上之雙模(DSRC+LTE-V2X)實驗，以做為未來設立共通標準並逐漸推廣至全國之基礎，本項工作預計於 2024 年啟動；
 - 透過認證合格的基礎設施和合規的車輛共享 V2X 資訊，保障自駕與協同駕駛通訊安全。
- ◆ 透過先進技術如人工智慧等，解決交通安全之盲點：
- 建立一體化安全管理系統，強化重大交通設施之安全，針對路況管理系統導入人工智慧檢測，逐步拓展到主要幹道，並檢測路面資訊與障礙物，提供資訊給駕駛；
 - 針對鐵道交叉路口導入電子告警系統，判斷路口車流與危險狀態，並與鄰近交通號誌建立連動系統，防止事故發生。
- ◆ 健全用戶客製化服務之基礎
- 依據用戶需求特性，建構適當之服務提供基礎：透過開發室內定位系統，從室內與地下道收集用戶行為數據，協助打造客製化用戶服務；
 - 例如建構智慧機場，提供虛擬助理服務，以人工智慧協助提供

從出發地到機場登機口的最佳行程路線建議，或擴大導入自動行李搬運機器人，提高航空運輸便利性；

- ◆ 推動國內智慧交通系統拓展海外：逐步推動韓國智慧交通系統解決方案向海外輸出，打造韓國式智慧交通系統輸出生態體系。

MoLIT 期望藉由實踐「智慧交通 2030 基本方案」，逐年調整、修訂智慧交通政策並落實於各交通領域如汽車、公路、鐵路、航空與航海等實踐方案，以提升韓國人民出外交通安全。

(二)、 頻譜安排

韓國對於智慧交通系統的頻譜規劃，可追溯自 2006 年時，韓國電信技術協會(TTA)發布路側單位(RSU)跟車載單位(OBU)之間使用 DSRC 通訊之技術文件，並於 2007 年制定相關技術標準。歷經 7 次試驗後，MSIT 於 2016 年核配 5855-5925MHz 供 C-ITS 使用，並區分為 7 個頻塊，每頻塊 10MHz，其中第 5 個頻塊 5895-5905MHz 做為控制訊號頻道、其餘頻塊則做為通訊服務頻塊。

2021 年 MoLIT 發布「智慧交通 2030 基本方案」後，持續與 MSIT 討論 C-ITS 使用之頻譜資源。隨著 MSIT 完成次世代智慧交通系統驗證計畫後，針對原先使用以 Wi-Fi 為基礎之韓國 WAVE 技術，以及 LTE-V2X 技術進行不同 ITS 技術間之共通運作，隨後，MSIT 評估國際趨勢、頻譜使用效

率、使用安全性以及保障既有使用者等綜合考量因素後，於 2022 年 3 月發布次世代智慧交通系統實驗之頻率分配計畫，將 5855-5875 MHz 共 20MHz 用於 LTE-V2X 使用；5875-5895MHz 共 20MHz 做為護衛頻段，避免 LTE-V2X 與 DSRC/WAVE 兩種技術互相干擾，並允許創新技術如 5G-V2X 將該頻段做為實驗頻譜進行驗證；5895-5925MHz 共 30MHz 則做為 DSRC/WAVE 等既有技術使用，如下圖。¹⁵⁵

[MHz]	5,855	5,865	5,875	5,885	5,895	5,905	5,915	5,925
Frequency layout plan	LTE-V2X		guard band (Next generation such as 5G-V2X Utilize technology development)	WAVE				

資料來源：MSIT，2022 年 3 月

圖 3-60、韓國 MSIT 發布次世代 C-ITS 頻譜分配計畫

MSIT 提到，藉由頻譜分配計畫定案，已奠定兩種 C-ITS 技術各自發展基礎，未來 MSIT 也將持續跟 MoLIT 等部會合作，確保韓國能達到 2027 年實現全球首例全自駕車商業化案例，並改善交通安全。

¹⁵⁵ Smart City Korea (2022), MSIT confirms frequency allocation plan for next-generation intelligent transportation system (C-ITS) pilot project, <https://smartcity.go.kr/en/2022/03/16/%EA%B3%BC%EA%B8%B0%EC%A0%95%ED%86%B5%EB%B6%80-%EC%B0%A8%EC%84%B8%EB%8C%80%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%B2%B4%EA%B3%84c-its-%EC%8B%9C%EB%B2%94%EC%82%AC%EC%97%85-%EC%A3%BC%ED%8C%8C/>

(三)、應用案例

基於韓國政府大力推動 V2X 之發展策略，許多公司參進韓國市場，與當地市政府或業者結合推出創新 V2X 應用案例。例如源自以色列之 Autotalks 公司為 V2X 晶片與系統服務供應商，該公司與韓國首爾合作，在途經上巖(Sangam)數位媒體城與鄰近首爾市快速道路約 2,000 輛公車與道路基礎設施布建 V2X 系統，透過 V2X 提供以下服務，包括：

- 行人碰撞告警：當 RSU 路口攝影機檢測到闖紅燈的行人時，Autotalks 公司的 V2X RSU 會向接近路口的公車廣播相關資訊，公車上的 V2X 系統將接收該訊息並及時處理，若發現存在碰撞風險時，向公車駕駛發出行人碰撞告警。基於 V2X 不需要視距內通訊的條件，即便公車駕駛沒有看到行人，也可藉此提前收到告警通知並做出反應。
- 學區與銀髮族區域通過提醒：針對公車途經學區或銀髮族居住區域時，位於學區或銀髮族區域之 Autotalks 公司 V2X RSU 將向車輛進行廣播，在必要時間(例如上學/放學時間)則特別提供速限提醒，避免上學/放學時間之公車因車速過快導致意外事故。
- 道路與天氣資訊：Autotalks 公司的 V2X RSU 將檢測天氣狀態，若感測發現出現結冰、下雪等情形時，將向附近的公車發出適當警報。
- 公車行駛資訊：Autotalks 公司透過 V2X 向 RSU 接取公車資訊系

統(BUS Information System, BIS)，RSU 也會向乘客通知下一班次
公車到達的時間，並顯示於公車站內資訊公布欄。

目前韓國當地已與 Autotalks 公司簽署採用 15 項 V2X 服務，未來將更
陸續推出更多 V2X 服務，該公司所提 V2X 服務運作示意圖如下。



資料來源：Autotalks，2020 年 10 月

圖 3-61、Autotalks 公司之 V2X 服務運作示意圖

以色列 Autotalks 公司不僅與韓國當地政府合作，同時也跟韓國汽車製
造業者現代汽車(Hyundai Mobis)合作。現代汽車與 Autotalks 於 2023 年 8
月宣布將合作開發 5G-V2X 技術，以提升自駕車的安全性。現代汽車目標
在 2024 年向全球用戶提供符合 5G-V2X 標準之汽車，並認為 5G V2X 對實
驗全自動駕駛有其必要性，傳統汽車輔助系統 ADAS 傾向於向駕駛發送告
警資訊，缺乏控制系統之能力，因此必須仰賴 5G V2X 才有辦法實現全自

動駕駛。

由前述案例可知，按照目前的技術演進趨勢，V2X 已不再僅需布建在道路基礎設施，同時更需要與車輛本身控制系統結合，其發出之訊號也從以往之告警資訊，轉而直接向車輛傳送控制訊號實現自動駕駛。

(四)、 研究小結

綜上所述，可以發現韓國藉由長期發展 C-ITS 實驗計畫，針對技術演進持續提供相對應之頻譜資源，從最早的 DSRC、LTE-V2X，到提供實驗頻譜供 5G V2X 運作，顯見頻譜主管機關 MSIT 之頻譜核配措施，實際上與交通主管機關國土基建交通部(MoLIT)密切合作，讓 LTE-V2X、5G V2X 等能夠持續擁有頻譜資源並進行技術驗證。

此外，韓國政府亦重視整體計畫推動，透過 MoLIT 打造以十年為周其，長達數十年的 C-ITS 策略方案，最新一期方案為「智慧交通 2030 基本方案」，揭示以 2030 年做為目標年，提供環保、安全、無間斷及以人為本的交通服務為願景制定相關政策。此一長期策略亦值得參考，畢竟技術演進需要長期發展，且加諸交通運輸產業因涉及人身安全更需謹慎以對，從韓國整體政策搭配的經驗，可以發現要完善實現智慧交通的目標，除了整備適當所需的頻譜資源外，確保技術規範與時俱進、鼓勵創新實驗與實施技術驗證、建構完善生態體系等，各環節缺一不可。

五、 中國

(一)、 發展歷程

在 2016 年至 2020 年期間，中國車聯網進入了發展階段。在此期間，中國政府頒布實施了一系列的車聯網產業發展推動政策：

- 2015 年工信部發布「關於印發貫徹落實〈國務院關於積極推進“國際網路+”行動指導意見〉行動計畫(2015—2018 年)的通知」，首度提及車聯網未來發展規劃，推動車聯網技術研發、標準制定，以及整個產業的發展。
- 2017 年「關於推進車聯網發展的指導意見」，提出要建設車聯網基礎設施，加快車聯網技術的研發和應用。
- 2018 年 12 月，工信部印發「車聯網(智慧網聯汽車)產業發展行動計畫」。
- 2019 年 9 月，國務院發布「交通強國建設綱要」，推動大數據、人工智慧、區塊鏈、超級計算等新技術與交通產業深度融合，大力發展智慧交通。

中國於 2016 年發布「車聯網標準體系框架」，為中國車聯網標準的制定提供了指導架構。2018 年發布「5G 車聯網技術標準」。從 2021 年至今，中國車聯網進入快速發展階段。

中國工信部於 2021 年發布「關於推進車聯網發展三年行動計劃(2021-2023 年)」，提出要加快車聯網基礎設施建設，推進車聯網技術創新，培育車聯網新業態。2022 年，發布「關於加快建設交通強國的意見」，提出要加快車聯網技術的研發和應用，推進智慧交通發展；同年亦發布「車聯網安全管理辦法」。

1. 政策推動重心

工信部於 2018 年 12 月 28 日發布「車聯網(智慧網聯汽車)產業發展行動計畫」¹⁵⁶，明確將促進產業發展區分為二階段：

- 第一階段為至 2020 年，將實現車聯網產業跨產業整合，具備高端自動駕駛功能的車聯網、實現特定情境規模應用，車聯網使用者普及率目標將達到 30% 以上，同時提升智慧道路基礎設施水準。
- 第二階段為 2020 年之後，目標為全面建成技術創新、標準體系、基礎設施、應用服務和安全保障體系，高級別自動駕駛功能的智慧網聯汽車和 5G V2X 逐步實現規模化商業應用，「行人、車輛、道路、雲端(人 - 車 - 路 - 雲)」實現高度協同。

¹⁵⁶ 工信部(2018)，工業和信息化部印發《車聯網(智能網聯汽車)產業發展行動計劃》。
<http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c6565746/content.html>

2. 發展現況與趨勢

截至 2023 年，中國車聯網市場規模已達到 1,358.98 億元(人民幣，下同)，預計到 2025 年將達到 2,500 億元。中國車聯網產業鏈已基本形成，包括車企、零部件企業、營運商、系統集成商、應用服務商等。

車聯網產業橫跨汽車、電子、通訊、交通等各領域，中國做為最大市場，在車輛產業的發展上不遺餘力，從研發、創新、基礎設施、標準、公共服務及產業群聚等各方面提出總體性考量，並透過國家重大專項與戰略方針支持產業發展。

自動駕駛與新能源車的推動亦加速車聯網產業化之速度，目前中國車聯網各業者積極佈局，從不同角度切入車聯網市場，過程中已逐步形成車聯網產業鏈，促進產業良性發展與升級¹⁵⁷。

(二)、網路建置維運及頻譜安排

在頻譜安排方面，根據工信部於 2018 年 10 月 25 日發布「車聯網使用 5905-5925 MHz 頻段管理規定(暫行)」的通知，以 5905-5925 MHz 之 20MHz 頻段規劃做為 LTE V2X 技術的車聯網現行工作頻段，LTE V2X 已被視為 3GPP 全球統一標準的通信技術之一，透過 LTE V2X 可朝 5G V2X 應用邁進。

¹⁵⁷ IEK (2017), 中國車聯網發展態勢與創新應用,
https://ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt_more.aspx?actiontype=rpt&indu_idno=14&domain=67&rpt_idno=74010668
3

在中國，提供車聯網相關服務涉及經營電信業務，應依法申辦相關電信業務經營許可，若經主管機關核准取得頻率使用許可後，路邊無線電設備的設置、使用單位，應向所在地的省、自治區、直轄市無線電管理機構申請取得無線電臺執照，若未取得無線電臺執照的路邊無線電設備，不得發射無線電信號，不受無線電有害干擾保護。

有關 5905-5925 MHz 頻段設置、使用車載和便攜無線電設備參照地面公眾行動通訊終端管理，無需取得頻率使用許可和無線電臺執照。使用車聯網與通信無線電設備連線，不得對同頻或相鄰頻段內依法開展的衛星固定、無線電定位、固定等無線電業務的現有站臺產生有害干擾。

(三)、 應用案例

1. 車路協同

車路協同系統是車聯網重要應用之一，通過車輛與基礎設施的連線，實現交通資訊共享和協同控制，從而提高交通安全和效率。應用案例整理如下：

◆ 廈門公車捷運系統

- 應用需求：廈門建有全國獨一無二的封閉路權公車捷運系統(Bus Rapid Transit, BRT)，在廈門本島市區建設高架橋，島外新開發地段設置公車行車專用道。由於其全程封閉專有路權，故非常適合車路協同應用。據統計，廈門 BRT 以約 5%的公車輛數承擔全市

公車客運總量的 13%。隨著城市發展和 BRT 服務量增加，需要提高交通效率並確保安全。

- 使用系統：使用 C-V2X 和 5G 等先進通信技術，建立車輛之間以及車輛與基礎設施間的資訊交換。有助於即時監控車輛和道路狀況，並提供防碰撞策略，同時也提供綠燈通行和交通統計分析等功能。
- 應用效益：廈門 BRT 智慧公車路協同系統實現即時監控，可以有效減少交通事故，提高通行效率，減少城市交通擁堵。

2. 自動駕駛

自動駕駛(AD)可分單車智慧和車路協同兩大方向，單車智慧主要依靠車輛自身的攝影機、毫米波雷達、雷射雷達等感測器進行環境感知、計算決策和控制執行。車路協同則是在單車智慧的基礎上，通過車聯網將“人-車-路-雲”交通參與要素整合，幫助自駕車輛在環境感知、計算決策和控制執行等方面的能力升級。

2022 年 8 月，「深圳經濟特區智慧網聯汽車管理條例」正式施行，做為首個 L3 有條件自動駕駛(含)以上級別自動駕駛汽車管理地方性法規，該條例從道路測試、示範應用到准許登記、使用管理、交通違法及事故處理、法律責任等進行立法作業。同年 11 月，深圳市交通運輸局頒布「深圳市智慧

網聯汽車道路測試與示範應用管理實施細則」，明確地將自動駕駛測試道路擴展到包括高速公路在內的公路和城市道路。

條例實施屆滿一年後的 2023 年 8 月，深圳已累計向 15 家企業、325 輛智慧網聯汽車發放道路測試及示範應用通知書。全市開放測試示範道路 771 公里。坪山區全域開放 440 公里，率先推出全無人商業化試點。深圳規劃逐步開放高快速路段做為測試示範道路。

(四)、 研究小結

中國挾著政府政策的全面支持與推動，車聯網產業成長迅速，全國共有數十個車聯網產業基地，包括北京、武漢、重慶與杭州等城市，都在積極投入資源發展車聯網。

中國政府長期支持資訊通信產業領域，推動汽車和傳統交通產業升級轉型，促進智慧網聯汽車產業的發展。在產業政策的大力扶植下，中國在車聯網領域取得了顯著進展。

六、 歐盟

(一)、 發展歷程

歐盟於 2010 年 7 月 7 日通過智慧交通系統指令(ITS Directive)¹⁵⁸以加速創新運輸技術在歐洲的部署。該指令是歐洲協調實施 ITS 的重要工具，旨在建立可互通且無縫的 ITS 服務，同時讓成員國自由決定要投資哪些系統。根據該指令，歐盟委員會必須在未來七年內通過規範(即功能、技術、組織或服務規定)，以解決整個歐盟 ITS 解決方案的相容性、互通性和連續性。

2014 年，歐盟各國建立了整合性的 C-ITS 平臺，C-ITS 被稱為協同式智慧運輸系統，意即車輛間、車輛與道路設施間之互相通訊，用路人與交通管理者共享資訊並透過車輛與道路通訊來協調各自行動。歐盟對 C-ITS 主要技術規範(頻譜、通信技術、服務、網路安全和對車載資料的存取及數據保護)、法律問題(例如風險責任、資料保護和隱私)、標準化、成本效益分析、商業模式、公眾接受度、道路安全等主題提出規劃¹⁵⁹。

為了讓所有會員國凝聚願景共識，歐盟於 2016 年 11 月建立歐洲智慧交通合作系統發展策略(the European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems)，訂定了 C-ITS 的共同願景、戰略與發展藍圖之整體框

¹⁵⁸ Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council.
<https://www.legislation.gov.uk/eudr/2010/40/contents>

¹⁵⁹ Cooperative, connected and automated mobility (CCAM), https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam_en, 2021/11

架。同年也展開 C-ITS 平臺的第二階段發展，包括政府部門，道路設施業者、運輸業者等利害關係人已對車聯網之整合應用共同標準達成共識，並開始推動相關試辦計畫，內容包括延伸推展服務，深入探討通信安全、資料保護、Compliance Assessment 及混用通信之互操作性(Interoperability)，以及相關法律框架。

此階段規範 C-ITS 在 V2V 及 V2I 之間的通訊須支援其它互補通訊技術的混合通訊方式進行，並需具備向下相容性(Backwards Interoperability)。在法律框架層面，為建立歐洲共通 C-ITS 環境，需在歐洲整體的法律框架下訂定相關法律，並符合歐盟 GDPR 的基本要求，確保 C-ITS 服務運作時使用之個人隱私資料無濫用之虞。

延續 C-ITS 的發展及實驗經驗，歐盟開始規劃將 C-ITS 的進展從技術性的區域性實驗計畫推進到永續智慧交通服務應用，便於 2017 年時提出將原有的 C-ITS 與自動駕駛車進行整合，沿用 C-ITS 平臺的跨域合作經驗與政策誘因，進化為協同式車聯網與移動自駕車(Cooperative, Connected and Automated Mobility, CCAM)之概念願景，進一步推展歐洲智慧交通創新。

CCAM 受益於 5G 的擴展部署與 6G 的出現，技術和服務向混合方法融合，透過短程與遠端通訊之整合，CCAM 進一步發展更高水準的自動化，將有助於實現人員和貨物共享多種交通聯運 (shared multimodal transportation of people and goods)的協同式車聯網與自駕車服務。

推動 CCAM 除了相關立法之外，也需仰賴全歐範圍的協會組織。歐洲推動智慧交通運輸的主要組織是「歐洲智慧運輸系統協會(European Road Transportation Telematics Implementation Coordination Organization, ERTICO, 又稱 ITS Europe)」，成立於 1991 年，由歐洲各國的國家級或區域政府部門、交通運輸業、通訊業和金融業合作組成。在此之前，各國曾獨立發展智慧交通系統(ITS)，資源難以整合。自 1993 年歐盟成立以來，ERTICO 與歐盟委員會(European Commission)緊密合作，整合歐洲地區的 ITS 發展。

ERTICO 在 2020 年提出了三大智慧交通發展願景：安全出行(Safe Mobility)、效率出行(Efficient Mobility)以及永續出行(Sustainable Mobility)。在這些願景中，「安全」(Safe)仍然是最重要的目標。實現這些目標不僅涉及引入智慧技術和使用乾淨能源，還需提高交通運輸的效率，並思考如何使交通運輸系統實現永續發展。

為了實現安全、高效永續的道路交通和車聯網行動系統的願景，ERTICO 透過公共和私營部門的夥伴關係，推動各種 ITS 系統的部署和實施計畫。ERTICO 管理 7 個主要的創新平臺，包括交通管理(TM 2.02)、地圖及空間數據(TN-ITS3)、電動車(EMI34)、自動代客泊車(EAVP)、交通和旅行訊息分享(TISA5)、ADAS 專用數位地圖(ADASIS6)、智慧出行交通服務(MaaS Alliance7) 以及基於雲端的感測數據共享平臺等。配合歐盟 CCAM

之發展藍圖，ERTICO 明確訂出發展目標¹⁶⁰如下：

(1) 促進可互通、可靠合規的自動化連接

支援 C-ITS 標準化和互通性測試確保設備符合標準且可互通。在公共道路上測試用於 CCAM 目的之混合通訊概念，解決與基本 CCAM 服務(例如 GNSS、C-ITS、高解析度地圖)相關之效能、品質和即時更新等問題。物聯網對自動駕駛的適用性與應用程式層級的服務互通性也是關心重點。

(2) 透過大規模試點評估自動駕駛汽車功能的影響

ERTICO 推廣試點方法、資料共享和架構實施的通用準則，並鼓勵創建區域 CCAM 測試平臺或試行區域。參與並支持乘用車、卡車車隊和公共交通的大規模試點活動，對 CCAM 基本功能進行實際道路測試。

(3) 為交通運輸大數據的發展做出貢獻

促進交通數位化和交通數據之發展。ERTICO 領導專案、平臺、示範和其他活動，協調多個利害關係人制定共同願景。根據產業趨勢和最新發展，重點領域「互聯和自動駕駛(Connected and Automated Driving, CAD)」的名稱進行了修訂並更改為 CCAM，以符合政策制定者和歐盟委員會等機構之術語。

¹⁶⁰ CCAM Roadmap for 2035, <https://ertico.com/focus-areas/connected-cooperative-automated-mobility/>, 2022

(4) 促進自駕車聯網規範一致性，並達成與其他設備可互操作性

ERTICO 要求廠商發展自駕車時須符合車聯網規範，以確保未來與其他路側設備連結暢通無礙。

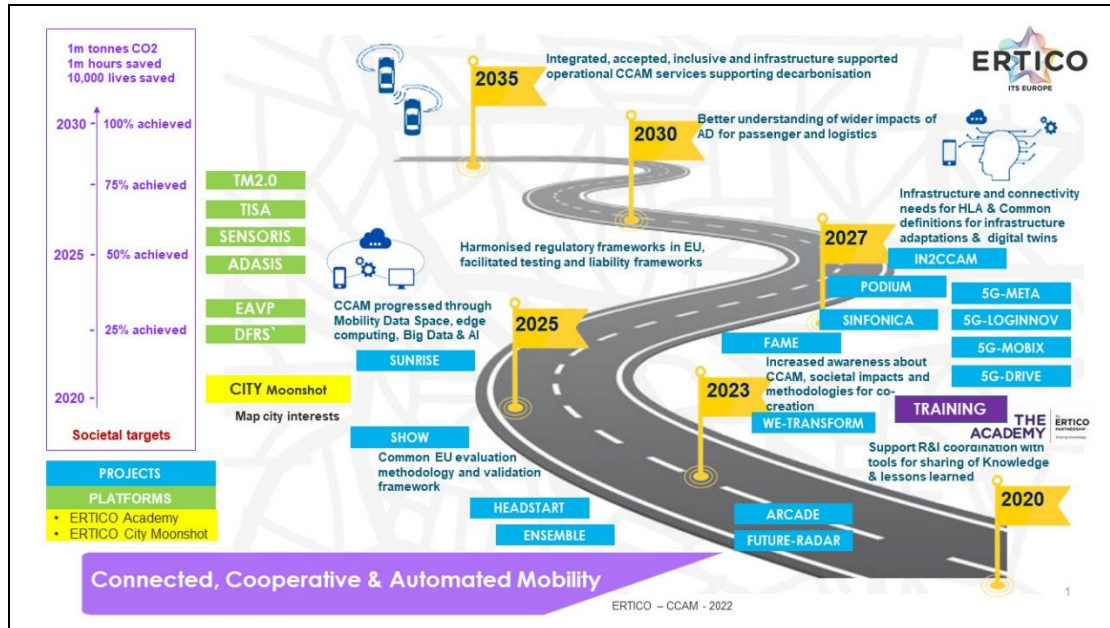
(5) 透過大規模試點計畫評估自駕車服務

ERTICO 認為自駕車服務需從大規模試驗中不斷學習進步，對於試驗方法、資料共享與系統架構實施制定一套準則，供成員國實施試點計畫時有所依循，評估自駕車成效亦有統一標準。

(6) 深耕交通大數據在自駕車服務應用

ERTICO 認知交通數據對於發展自駕車服務具扮演關鍵角色，除持續支持運輸數位化外，同時制定統一資料格式並建構交通數據交換平臺。

下圖為 ERTICO 對歐盟 CCAM 願景之對應發展藍圖：



資料來源：ERTICO，2022 年 12 月

圖 3-62、ERTICO 對歐盟 CCAM 願景之對應發展藍圖

回到歐盟的智慧交通系統指令，經歐盟成員國多年發展及提案修訂，目前通用的智慧交通指令為 2020 年底公告版本，指令內容分為 20 條及二個附件，附件一為 ITS 執行的先期區域及該區域之工作計畫，附件二為 ITS 之規則及部署原則，按會員國之討論及需求附件中的各項計畫將逐步更新，指令條文亦充分授權歐盟可於必要時以施行細則的方式補充規則。

歐盟執委會進一步在 2022 年發表 2022 年至 2027 年的工作計畫。此外，也於 2022 年發表在智慧交通指令之下另以施行細則(Delegated Act) 補充關於成員國在歐盟範圍內應提供即時交通資訊服務之規定。

2023 年 6 月，負責歐盟之出行及交通政策的交通運輸部門公布其重大進展，目前歐盟議會已和理事會達成了一項智慧交通系統規則之協議，該

規則將可確保更多的交通數據(例如速度限制)以數位方式提供¹⁶¹。這項基於智慧交通系統規則所達成的協議將有助於交通部門數位化，並確保行動應用程式之間的數據更廣泛地共享，使出行更安全、更有效率及永續。在談判過程中，歐洲議會支持將規則涵蓋更多服務，例如聯運資訊、預訂和票務服務、汽車和基礎設施之間的通訊以及智慧交通，並設法將更重要的道路及交通數據納入線上共享。除了速度限制、道路封閉或道路施工外，城市單向街道的數據、出行車輛之重量、長度、寬度和高度限制以及管制交通區域的通行條件也將納入國家數據庫，以便在歐盟各城市之間讓所有歐盟國家、企業和消費者共享。

根據不同的資料類型，改以數位方式提供新資訊的截止日期為 2025 年底至 2028 年底。歐盟議會認為 ITS 服務的部署必須在技術上保持中立以促進互通性，且在向客戶提供出行選擇時，必須確保推薦其選擇排名的透明度，使其能獲得充分資訊以做出適合判斷。此外，為了能在歐洲大陸順利進行跨境運輸，歐盟成員國在部署智慧交通系統服務時必須更深入地合作，特別是在跨境專案上。

這項協議的意義在於改善交通網路的效能和服務，同時確保互連互通並促進合作，將有助於保障歐洲公民的道路安全。歐洲議會為各會員國應提供的數據和服務確定了地理範圍及時間表。透過為大多數類型的數據設

¹⁶¹ (2023), EU Directorate-General for Mobility and Transport, Sustainable transport: rules to boost intelligent transport systems for safer and more efficient transport agreed

定最後期限，啟動了加快智慧交通系統部署的流程，並確保歐盟各級當局開始為新的數位環境做好準備。

該規則之協議仍需要得到議會交通旅遊委員會及理事會常駐代表委員會的核准，其後再獲得議會及歐盟理事會的整體核准。

(二)、 頻譜分配

過往歐盟執委會於 2008 年發布決議 (Commission Decision 2008/671/EC)，核配 5875-5905MHz 供安全相關的 ITS 應用，並採取非排他性獨佔式核配方法，採取技術中立模式，不特定指涉使用技術。¹⁶² 歐盟電子通訊委員會 (Electronic Communications Committee, ECC) 則於 2008 年發布決議 (ECC Decision (08)01)，針對 5905-5925MHz 核配給未來 ITS 應用 (Future ITS application)，並提出建議案 (ECC Recommendation (08)01)，建議 5855-5875MHz 建議核配給 ITS 非安全相關應用 (ITS non-safety application)。歐盟執委會並交給歐洲郵政與電信組織會議 (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT) 持續研析於 5.9GHz 延伸 ITS 安全相關應用之相關議題，2018 年 3 月 CEPT/ECC 召開第 9 次歐洲車載通訊技術標準 (ETSI ITS) 工作坊會議，徵集各界一同討論 ITS 安全相關應用從原先使用 5875-5905MHz，探索延伸使用至 5925MHz 之可能性，同時，也將

¹⁶² EC (2008), 2008/671/EC: Commission Decision of 5 August 2008 on the harmonised use of radio spectrum in the 5875 - 5905 MHz frequency band for safety-related applications of Intelligent Transport Systems (ITS), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008D0671>

其他類型的 ITS 一併納入討論，例如鐵道使用之列車控制通訊系統等，一併納入歐盟執委會所定義之協同安全相關 ITS 頻段。

2018 年 3 月 CEPT/ECC 對歐盟 ITS 未來頻譜管制訂下相關基本原則如下：

- 採取技術中立(符合 ETSI EN 302 571 或相關之技術均可使用。);
- 不排除預先定義最小共用接取頻譜技術規範;
- 實現共存、抑制干擾技術開發需透過 ESTI 標準化;
- 在實施多種技術情況下，仍為消費者提供不打折之安全服務;
- 有效率的頻譜使用，指所有技術至少能夠在同一頻段內共存;
- 針對 5875-5925MHz 頻段間不分段或區隔;沒有任何特定安全相關 ITS 會排除在 5875-5925MHz 之外，只要該應用能夠支持共享頻譜的抑制干擾措施，就應能夠接取頻譜。
- 鐵道 ITS 能夠使用任何即時更新技術;
- 新的 ITS 頻譜規範中將避免布建相關議題，透過技術解決方案，可以確保穩定性和演進能力。
- 道路用 ITS 主要分為 ITS-G5 以及 LTE-V2X，LTE-V2X 使用 5.9GHz 頻段透過 PC5 空中介面、ITS-G5 則基於 IEEE 802.11/11p 技術規格。

歐盟執委會最終於 2020 年 10 月 7 日發布決議(Commission

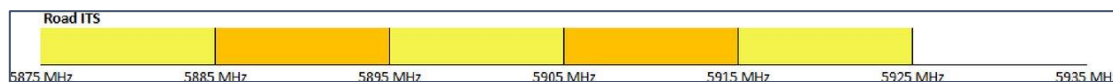
Implementing Decision 2020/1426)，確立 5875-5935MHz 為安全相關 ITS 應用之決議，並取代原先 2008 年之決議。

根據歐盟執委會 2020 年 10 月發布的決議，5875-5935MHz 將供 ITS 安全相關應用使用，各會員國應至遲於 2021 年 6 月 30 日前，核配 5875-5935MHz 供 ITS 使用，並限制都會區鐵道 ITS 使用於 5925-5935MHz。各會員國應以合理方式採非排他性專用的方式核配頻譜；會員國根據歐盟決定在合理可行的範圍內核配 5915-5935 MHz 頻段用於都會區鐵道交通 ITS 時，應適當考慮在該頻段(或部分頻段)運行的既有都會區鐵道系統之不同技術條件，以便有足夠的時間使既有列車和網路設備適應統一的技术條件。

歐盟將 CEPT 於 2019 年 3 月 11 日發布第 71 號報告(ITS 使用 5.9 GHz 頻段)納入參考，該報告建議統一將 5875-5925 MHz 頻段用於安全相關的智慧交通系統應用，統一將 5925-5935MHz 頻段用於安全相關的都會區鐵道交通智慧交通系統應用，但須符合以下條件：與固定服務和/或進行國家和諧共用研究以確定共享條件。報告也建議優先考慮 5915MHz 以下的道路 ITS 應用和 5915 MHz 以上的城軌 ITS 應用¹⁶³。5915-5925 MHz 頻段內，在道路 ITS 應用能夠保護都會區鐵路 ITS 應用之前，道路 ITS 應用建議僅限於基礎設施到車輛(I2V)。在 5915-5935 MHz 頻段內，建議城軌 ITS 在共享

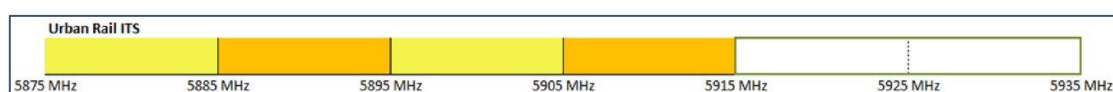
¹⁶³ 歐盟決議引述 ETSI Technical Report 103 111 V1.1.1 (2014-10) – part on spectrum requirements for urban rail systems in the 5,9 GHz range 報告，指出城市軌道運輸界認為，為運行基於城市軌道通訊的列車控制系統，至少需要 20 MHz 的協調頻譜。此類系統能夠安全且有效率地管理城市軌道交通，特別是透過縮短連續列車之間的時間，以提高公共交通基礎設施的吞吐量。觀察歐盟各國的當地授權，許多地鐵線路已經使用了 5905 - 5935MHz 或更高的部分頻段。

基礎上使用，並根據國情和利害關係人對城軌 ITS 的需求而定。都會區鐵道 ITS(5915-5935 MHz)、道路 ITS 基礎設施(5915-5925 MHz)和固定業務(5925 MHz 以上)的單獨授權，於必要時應進行國家協調。



資料來源：EC，2019 年 3 月

圖 3-63、歐盟道路 ITS 核配方式



資料來源：EC，2019 年 3 月

圖 3-64、歐盟都會區鐵道 ITS 核配方式

至於軌道運輸部分，基於運作在都會區之鐵道通訊控制列車系統 (Communication based train control, CBTC) 頻寬需求至少要 20MHz，以利都會區鐵道運輸的安全與效率，許多歐盟會員國目前在歐盟區域內之主要鐵路幹道使用 5905-5935MHz。因此，確保歐盟境內鐵道運輸能夠擁有足夠的和諧使用頻譜，即成為歐盟執委會重點考慮項目之一。

因此，歐盟無線頻譜政策小組(Radio Spectrum Policy Group, RSPG)於 2017 年時，建議將 ITS 頻譜分為三種，包括：5855-5875MHz、5875-5905MHz 以及 5905-5925MHz 等。

針對既有全球行動通訊鐵路系統 (Global System for Mobile Communications-Rail, GSM-R)，許多會員國採和諧共用的方式分配 876-880/921-925MHz 共 2x4MHz 供 GSM-R 使用，另有部分會員國額外分配

873-876/918-921MHz 共 2x3MHz 供 GSM-R 使用。RSPG 認為，既有 GSM-R 要能持續支援到未來 2030 年產業需求顯然力有未逮，因此建議有必要調整其他頻段使用。

經過不同使用技術和諧共存研究後，歐盟執委會於 2021 年 9 月 28 日發布決議，將 GSM-R 推動到次世代技術：未來鐵道行動通訊系統(Future Railway Mobile Communication System, FRMCS)，做為歐盟鐵道交通管理系統(European Railway Traffic Management System, ERTMS)支持鐵道數位化與服務創新使用。歐盟執委會將 GSM-R 與 FRMCS 統稱為鐵道行動無線電通訊(Railway Mobile Radio, RMR)，並核配 874.4-880/919.4-925MHz，以及 1900-1910MHz 供 RMR 以和諧共存方式使用。¹⁶⁴

歐盟執委會規範，自 2021 年 9 月 28 日決議公告至 2022 年 1 月 1 日，各會員國應根據該決議，以非排他性方式將 874.4-880/919.4-925MHz 核配供 RMR 使用；且最晚在 2025 年 1 月 1 日之前，根據各會員國國內市場環境需求，指定 1900-1910MHz 供 RMR 使用；同時，歐盟執委會亦要求各會員國核配 874.4-880/919.4-925MHz 供 RMR 使用時，應為相鄰頻段系統提供適當的保護。

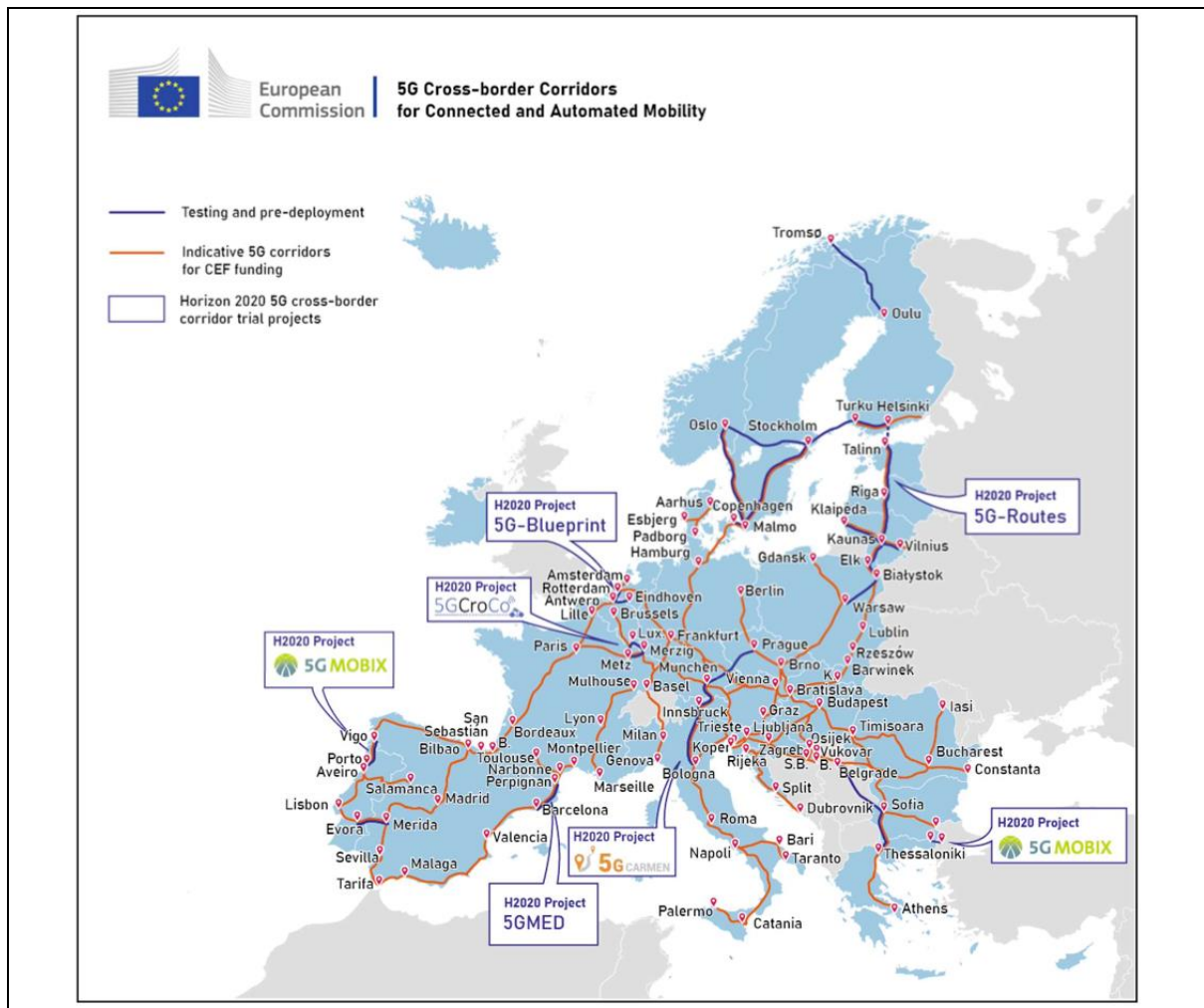
¹⁶⁴ EC (2021), Commission Implementing Decision (EU) 2020/1426 of 7 October 2020 on the harmonised use of radio spectrum in the 5 875-5 935 MHz frequency band for safety-related applications of intelligent transport systems (ITS) and repealing Decision 2008/671/EC, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32021D1730>

(三)、 V2X 應用案例

2017 年 4 月在羅馬舉辦的數位日活動(Digital Day)，歐盟多國簽署 5G 跨境走廊區域協議(5G Cross-Border Corridors)，以擴展 5G 歐洲網路¹⁶⁵。推動這項跨國計畫的目的是為了實現歐洲 5G 戰略的政策目標，計畫將會持續到 2025 年。在多國陸續簽署協議後，泛歐 5G 走廊網路逐漸形成，有數百公里的高速公路將進行車聯網相關項目測試。歐盟結合 5G 的發展，設立系列車聯網相關項目，如：5G-CroCo、5G Carmen、5G Mobix 計畫，研究自動駕駛技術對通訊的需求，進行自動駕駛及通訊關鍵技術的測試¹⁶⁶。

¹⁶⁵ Connected and automated mobility: three 5G Corridor trial projects to be launched at ICT 2018 event, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/connected-and-automated-mobility-three-5g-corridor-trial-projects-be-launched-ict-2018-event>, 201811

¹⁶⁶ 5G Corridors, <https://5gobservatory.eu/5g-corridors/>, 202309



資料來源：European 5G Observatory，2023 年 9 月

圖 3-65、歐盟 5G 走廊地圖

基於 5G 聯網及自動化移動(Connected and Automated Mobility, CAM)及推進車聯網產業之目標，5G 跨境走廊計畫橫跨多國。盧森堡、法國和德國之間以及北歐國家(挪威、芬蘭、瑞典)之間均簽署雙邊協議備忘錄，西班牙和葡萄牙之間也簽署一系列協議，保加利亞、希臘和塞爾維亞，以及愛沙尼亞、拉脫維亞、立陶宛和波蘭之間的“波羅的海大道”，以及立陶宛和波蘭之間的延伸線。最新的協議包括法國和西班牙之間的“菲格拉斯-佩皮尼昂”

跨境走廊，以及安特衛普(比利時)和弗利辛恩(荷蘭)港口，提供 5G 連網的跨境公路和海上遙控運輸。

歐盟境內於 2018 年 11 月啟動 3 個 Horizon 2020 計畫，在 5G 基礎設施公私合作聯盟(5G Infrastructure Public Private Partnership, 5G PPP)的框架下，對跨境走廊的 CAM 5G 連接進行大規模測試和試驗。這 3 個計畫總預算約為 6,300 萬歐元(約 6,800 萬美元)，涵蓋 3 個 5G 跨境走廊：梅茨-梅爾齊希-盧森堡(5GroCo5)、西班牙和法國之間的波爾圖-維戈。葡萄牙(5G-Mobix)，以及通過布倫納路徑(5G-CARMEN)的博洛尼亞-慕尼黑。

5G 跨境走廊自 2017 年實施，歐盟委員會肯定此計畫在其數位十年策略及智慧行動策略中將發揮關鍵作用。因此，歐洲連線設施(Connecting Europe Facility, CEF)數位計畫，將在 2022-2027 年提供 10 億歐元(約 11 億美元)的財政支持，擴大布建 5G 跨境走廊計畫¹⁶⁷。

1. 5G-CARMEN 計畫

5G-CARMEN 是從博洛尼亞經布倫納山口到慕尼黑的一條重要的南北走廊上進行的試驗，該走廊全長 600 公里，連接三個歐洲地區：巴伐利亞(德國)、蒂羅爾(奧地利)和特倫蒂諾/南蒂羅爾(義大利)。該計畫重點關注敏感區域的機動車輛協調、娛樂資訊和碳排放控制。測試項目包含跨境 5G 和

¹⁶⁷ 5G cross-border corridors, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cross-border-corridors>, 202303

Level 4 的先進自動駕駛輔助系統(ADAS)採用的 5G 最新技術包含 5G NR、C-V2X 接口、行動邊緣運算(Multi-access edge computing, MEC)、獨立組網(SA)等。



資料來源：5G-CARMEN Newsletter，2022 年 10 月

圖 3-66、5G-CARMEN 實驗場域

5G-CARMEN 研發的創新服務，包含建立一個自主管理的混合網路，可以直接將近端 V2V 和 V2I 通訊與遠端的 V2N 互相結合。5G-CARMEN 開發的管理平臺採用 5G New Radio、C-V2X 及跨境服務編排系統等不同技術，進而提供端到端的服務。

2. 自動變換車道運作案例測試

此案例展示透過 5G 實現 Level 4 自動化的必要性。當緊急車輛要從超

車道變換車道至第一車道，緊急車輛通知 MEC 啟用服務，MEC 服務提前通知前方同一車道的其他車輛，讓其他車輛及時離開。或是當緊急車輛到達另一條車道時，MEC 服務會防止其他車輛進入該車道，以便為緊急車輛清理道路。MEC 服務利用較高的運算能力及廣泛收集周圍訊息並一一傳達給行駛間的車輛，透過不斷變化的情況協助車輛做出正確的駕車判斷¹⁶⁸。

(四)、 研究小結

車聯網產業一直以歐美為主導，近年來歐洲積極參與 5G 汽車聯盟 (5GAA) 等全球計畫，並通過 5G 跨境走廊等實驗計畫加速車聯網技術發展。

相較於其他國家的智慧交通系統，歐盟除考量道路用 ITS 使用之頻譜外，亦針對都會區鐵道 ITS 頻譜制定相關規範，為其他研究國家中較少見者。其中規劃鐵道 ITS 使用 5925-5935MHz 頻段，且因應歐洲既有鐵道系統已使用到 5905-5935MHz，另開放讓鐵道 ITS 可在頻率共用之基礎下使用 591-593MHz 頻段。歐盟為了確保鐵道 ITS 通訊之安全性及其與道路 ITS 之和諧共用，做了特別的協調規劃，並要求會員國在頻率使用上需注意與既有使用者之和諧共用及國與國之間的頻譜協調。

¹⁶⁸ Use case, <https://5gcarmen.eu/use-cases/>, 202309

七、 小結

(一)、 車聯網國際現況

綜觀各國之車聯網發展歷程，過去美國主推 WAVE/DSRC 標準，整合了 IEEE 802.11p 與 IEEE 1609 兩種標準，而歐盟則基於 IEEE 802.11p 協定，推出 ITS-G5 版本。在車聯網的佈局上，歐美早一步布建了 DSRC 的智慧財產專利，後起直追的中國汽車及資通訊製造業則配合中國政府的產業政策極力推動 C-V2X 技術，希望能介入智慧財產權的專利佈局，取得 C-V2X 車聯網產業鏈的主導地位。目前除了美國高通之外，華為、大唐、英特爾及三星皆可提供 C-V2X 相關晶片。

雖然，美國在千禧年前的決定讓 DSRC 技術得以使用 5.850-5.925GHz 共 75MHz 頻段發展達二十年，經過二十年後，FCC 於 2020 年斷然重新規劃頻率，將 5.9GHz 前段 5950-5895MHz 劃分給 Wi-fi 免執照使用，5895-5925MHz 則由 C-V2X 與 DSRC 共用。在歐盟，2016 年 11 月 30 日，歐盟委員會發布的《歐洲 C-ITS 戰略》則建議保留歐洲電信標準協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)無線短程通訊(ITS-G5)用於安全相關 ITS 服務的頻譜，採取措施保護 5.9GHz 頻段免受有害干擾，並建議 C-ITS 之部署措施應根據 ETSI 標準和程序實施相關干擾緩解技術以實現新舊技術之共存。

日本之汽車製造業歷史悠久，主要採用 DSRC 技術，使用了包括 5.8GHz

和 700MHz 在內的頻段。但隨著國際發展趨勢和智慧聯網需求增加，日本也積極研議將 5.9GHz 頻段納入 V2X 應用中。多年來 Toyota 等車廠已經安裝汽車專用短程通訊設備於旗下車款，未來即便世界其他地方轉向 C-V2X 標準，日本預計將持續維持。

韓國在 2021 年發布「智慧交通 2030 基本方案」後便針對原先使用以 Wi-Fi 為基礎之韓國 WAVE 技術，及 LTE-V2X 技術進行不同 ITS 技術間之共通運作，隨後，韓國評估國際趨勢、頻譜使用效率、使用安全性以及保障既有使用者等綜合考量因素後，於 2022 年 3 月發布次世代智慧交通系統實驗之頻率分配計畫，將 5855-5875 MHz 共 20MHz 用於 LTE-V2X 使用；5875-5895MHz 共 20MHz 做為護衛頻段，避免 LTE-V2X 與 DSRC/WAVE 兩種技術互相干擾，並允許創新技術如 5G-V2X 將該頻段做為實驗頻譜進行驗證；5895-5925MHz 共 30MHz 則做為 DSRC/WAVE 等既有技術使用。

韓國的做法十分務實，一方面以 5895-5925MHz 的頻段規劃來卡位保護其既有汽車製造商已發展多年之 DSRC 技術，另一方面也開放 5G-V2X 在美國的車聯網頻段 5875-5895MHz 上進行實驗網路之驗證，同時兼顧創新及守成。

中國擁有龐大的國內汽車市場，政府以政策積極推動 C-V2X，規劃 5905-5925 MHz 之 20MHz 頻段規劃做為 LTE V2X 技術之車聯網。在車路協同的應用上，中國是全球最早大規模推進車路協同應用的國家之一，推

動重點地區如廈門公車道及重慶石渝高速公路路段之車路協同應用，另外，2023年8月深圳市累計已向15家企業、325輛智慧聯網汽車發放道路測試及示範應用通知書，全市開放測試示範道路771公里，將自動駕駛測試道路實際的擴展到包括高速公路在內的公路和城市道路。

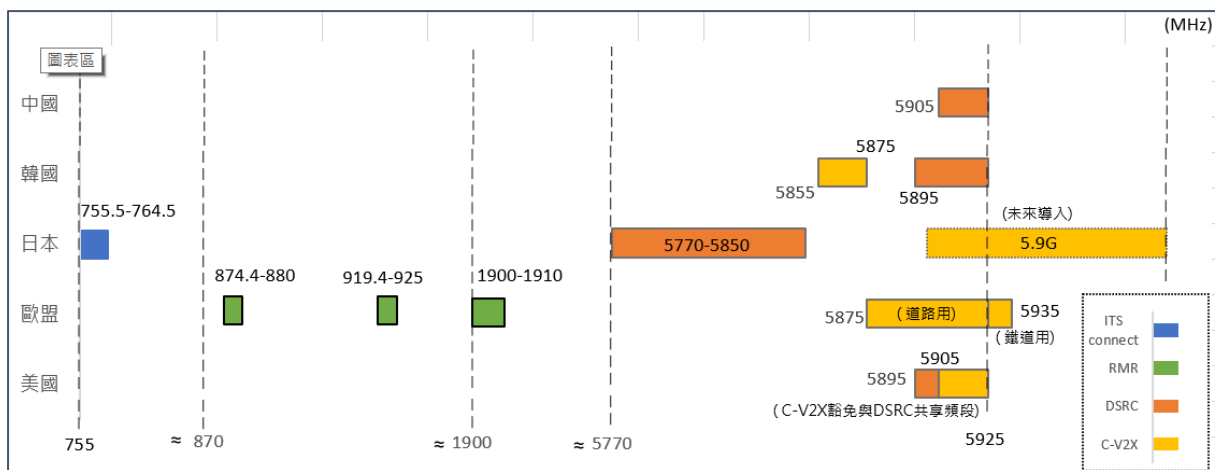
綜觀各國車聯網頻譜規劃，多為考慮技術進步及政策對珍稀頻譜資源之最大化安排，以美國為例，將原先分配給車聯網之5.850-5.925GHz縮小為5.895-5.925GHz，隨著車聯網技術進展，在技術可行性之下，縮小需受保護之車聯網頻段，原先5850-5895MHz則開放供Wi-Fi使用，增加頻譜使用彈性，並未限制車聯網服務利用Wifi技術使用該頻段，只是該頻段不受保護，其決策乃兼顧國內各新興產業發展之結果。我國於民國112年8月頻譜供應計畫第四項實驗網路之規畫，在特定實驗頻率規畫5850-5925MHz供車聯網路側基礎設施及車載資通訊系統等測試實驗之用，此規畫參考美國先前之車聯網頻段，雖美國頻譜規畫有些微變化，但我國仍可先透過實驗網路觀察國內相關產業之頻段申請及利用情況，做為日後長期車聯網頻譜規劃之參考，當國內車聯網產業已形成較為確定之頻譜需求及發展時，則可參考韓國模式，在非美規之5850-5895GHz頻段之中安排護衛頻段並可繼續再作為較新技術之車聯網實驗頻段。下表為主要國家對車聯網之技術及頻段規劃綜整：

表 3-19、車聯網主要國家之技術及頻段規劃彙整

國家	主要技術及頻段	規劃重點
美國	<ol style="list-style-type: none"> 1. DSRC：5895-5905MHz 2. C-V2X：5905-5925MHz 3. 5895-5925MHz：C-V2X 以豁免方式與 DSRC 共享 	<p>業者執行 C-V2X 之營運需申請執照。原 5.9GHz 頻執行段中 5.895-5.925 GHz 屬 DSRC 技術，2023 年 4 月之 FCC 豁免命令規定使用 5.9 GHz 頻段之範圍及條件，以保護 DSRC 和原使用企業免受 C-V2X 操作造成的潛在干擾。</p>
歐盟	<ol style="list-style-type: none"> 1. ITS 頻段為 5875-5925 MHz。道路用 ITS 採 LTE-V2X，另有 IEEE 802.11/11p 技術規格之 ITS-G5。 2. 都會區鐵道 ITS 頻段為 5925-5935MHz (與既有使用者和諧共用) 3. RMR (鐵道行動無線電通訊)：874.4-880MHz /919.4-925MHz 及 1900-1910MHz，以和諧共存方式使用 	<p>會員國應以合理且非排他性專用的方式核配頻譜。</p> <p>在 5915-5935 MHz 頻段內，都會區鐵道 ITS 在共享基礎上使用，並根據國情和利害關係人對城軌 ITS 的需求而定。</p> <p>在 5915-5925 MHz 頻段內，於道路 ITS 應用能夠保護城市鐵路 ITS 應用之前，道路 ITS 應用建議僅限於基礎設施到車輛 (I2V)。</p> <p>都會區鐵道 ITS(5915-5935 MHz)、道路 ITS 基礎設施(5915-5925 MHz)和固定業務(5925 MHz 以上)的單獨授權，於必要時應進行國家協調。</p>
日本	<ol style="list-style-type: none"> 1. DSRC：5770–5850 MHz 2. ITS connect：755.5–764.5 MHz 3. C-V2X:5.9GHz(未來導入) 	<p>日本 5.9 GHz 頻段目前用於廣播業務的節目製作和災難報告，但為因應未來對於智慧運輸頻譜使用需求並考量國際使用趨勢，日本總務省 2022 年 11 月於「頻率重組行動計劃」表示，如要採用 5.9GHz，需</p>

國家	主要技術及頻段	規劃重點
		制定導入 V2X 通訊頻率策略，同時也需要透過無線電系統移頻等措施以確保所需要頻寬。
韓國	<ol style="list-style-type: none"> 1. DSRC/WAVE : 5895-5925MHz 2. C-V2X : 5855-5875 MHz 3. 5875-5895MHz : 護衛頻段且可做為 5G-V2X 之實驗頻段 	原先使用 Wi-Fi 為基礎之韓國 WAVE 技術與 LTE-V2X 技術進行不同 ITS 技術間之共通運作，隨後，MSIT 評估國際趨勢、頻譜使用效率、使用安全性以及保障既有使用者等綜合考量因素後，決定讓二種 ITS 技術各自發展，以 5875-5895MHz 共 20MHz 做為護衛頻段，避免 LTE-V2X 與 DSRC/WAVE 兩種技術互相干擾，並允許創新技術如 5G-V2X 將該頻段做為實驗頻譜進行驗證。
中國	LTE V2X : 5905-5925MHz	有關 5905-5925 MHz 頻段設置、使用車載和便攜無線電設備參照地面公眾行動通訊終端管理，無需取得頻率使用許可和無線電臺執照。使用車聯網與通信無線電設備連線，不得對同頻或相鄰頻段內依法開展的衛星固定、無線電定位、固定等無線電業務的現有站臺產生有害干擾。

資料來源：本研究整理，2023 年 10 月



資料來源：本研究整理，2023 年 12 月

圖 3-67、各國車聯網主要頻譜配置總覽

(二)、近期發展之創新差異重點

由前述內容觀察，主要國家對於車聯網頻段之近期發展重點，已從原先採用 DSRC 與 V2X 等技術中立的角度，轉向更偏向 V2X 之相關應用。頻段的部分，亦著重於 5.9GHz 作為優先候選頻段。

(三)、我國產業生態鏈位置及可能發展架構

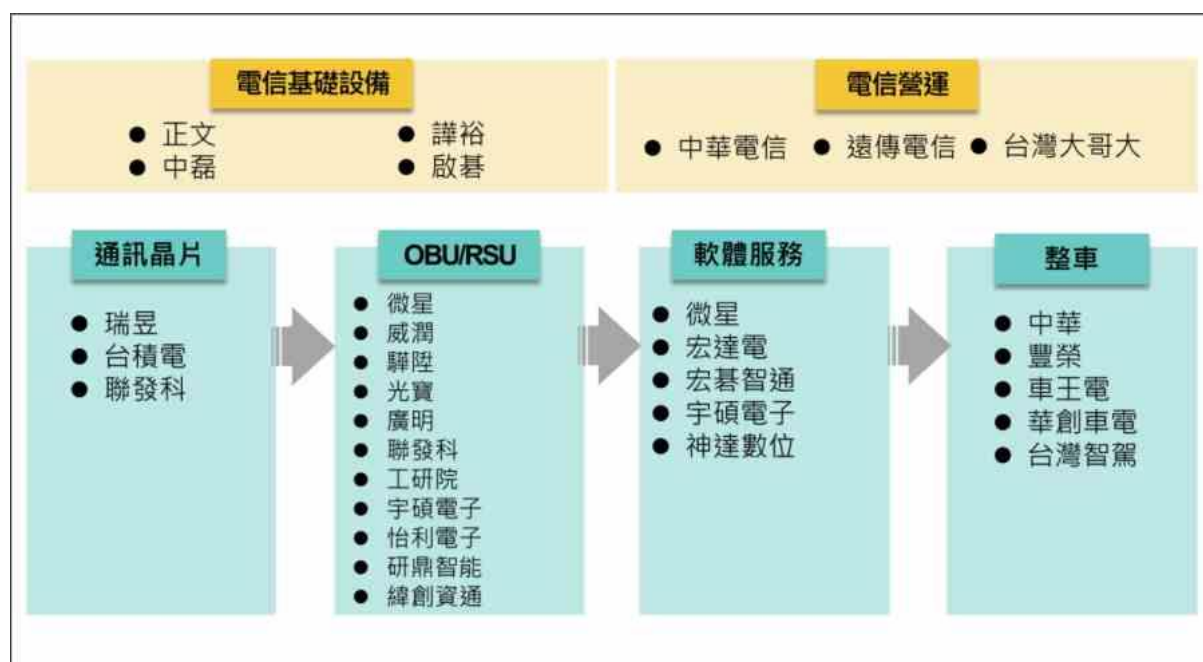
有鑑於全球自駕車產業如雨後春筍般蓬勃發展，且各國為紓解其主要城市大眾交通運輸成長需求，並兼顧巨額財政投資的壓力，全世界已經有超過 30 個國家正全力尋找及推動 5G 與車聯網的創新應用，其中車聯網均被各國列為重要的國家產業發展重點。透過政策的推動及政府對汽車製造商、電信商和交通運輸運營服務業者等體系的支持，無庸置疑，車聯網將會是台灣展現國際競爭力的關鍵產業之一。因我國係全球主要的資通科技

(ICT)製造重鎮，結合過往近 30 年於智慧交通運輸領域的傑出成就，以及先進駕駛輔助系統設備製造的創新能力，台灣具有極佳機會，爭取全球自駕車產業鏈一席之地，進而推展車聯網(V2X)的創新應用。

台灣目前車聯網在實驗網階段，應用係使用無線通訊技術以及相關網路通訊與應用標準，所以車聯網產品的互通性、可靠性與成熟性是影響車聯網市場發展的重要因素之一。實驗網驗測環境中，針對網路通訊能力，參考國際的發展，需要透過一致性測試來確保合乎通訊標準的規範，也需要利用場域來驗證系統與軟體在應用層面上的效能。國際主要車聯網驗證組織已經訂定車聯網標準驗測方法及驗證程序。台灣因是出口導向國家，在發展車聯網產業同時，應考量與國際驗證組織合作，在建立國內車聯網產業驗證體系與驗測方法時，可採納國際上成熟產業所建立之驗測規範，一方面避免脫離國際產業發展方向，同時也可以確保台灣車聯網產業發展可與國際接軌，以符合主要市場要求。同時藉由標準串接不同產業或產品模組介面，並透過測試及驗證流程，確認不同單位之一致性，方能廣泛推行其應用服務，同時造就市場大量佈建之可行。

由產業鏈之角度，盤點我國車聯網相關業者(如圖 3-68 所示)，現時我國車聯網業者多數聚焦於車載資通訊設備、路側單元設備與軟體服務。車聯網電信基礎設備製造商，包含正文、中磊、譚裕與啟基科技等業者；電信服務提供商，則為中華電信、遠傳電信與台灣大哥大三家廠商；車聯網通

訊晶片製造商，目前以聯發科較具代表性、另車載資通訊設備與路側單元設備製造商，則包含微星科技、威潤科技、麗台科技、驊陞科技、華碩雲端與怡利電子等業者；而車聯網軟體應用服務提供商，則包含瀚荃、航欣科技、微星科技、宏達電、宏碁智通、華碩雲端與台灣國際航電等；整車廠的部分，則以納智捷最具代表性。在標準組織、研究院所及相關機構的支撐下，車聯網產業將以網聯汽車為核心，聚焦於城市道路進行網路部署和技術優化，最終實現安全、高效的車路協同系統。



資料來源：MIC，2023 年 03 月

圖 3-68、我國車聯網產業生態鏈位置及可能發展架構¹⁶⁹

現時車聯網技術及相關標準已有初步雛形，然上下游產業鏈與政策配套亦未完整，公部門亦尚未明確定商用化管理辦法且尚無強烈意願大規模

¹⁶⁹ 我國車聯網產業鏈發展分析，MIC，2023/03

投入基礎建設之發展。進一步的在公部門未大規模投入基礎建設下相對亦影響私營部門（如：電信業者、設備業者等）投入發展意願，於此相互影響下，致使車聯網發展大規模商用服務更加推遲，是為廠商共認最需公部門協助之項目。