

# 航港領域應用次世代通訊技術重要課題之研究

運輸工程及海空運組 王怡婷

研究期間：民國 114 年 2 月至 12 月

## 摘要

次世代通訊技術（Beyond 5G/6G）已成為各國推動數位轉型與提升基礎設施韌性之關鍵核心。在航港領域中，通訊系統不僅是支援營運的技術工具，更逐步轉變為驅動智慧港口與智慧航運發展的重要基礎。本研究透過國內外文獻回顧、技術發展趨勢分析及航港實務需求盤點，探討次世代通訊技術於航港場域之潛在應用與發展課題。

研究結果顯示，隨著航港作業朝向智慧化演進，未來對高可靠度、低延遲、大量連接及海域無縫覆蓋之需求將顯著提升。5G 雖已具備效能優勢，惟航港通訊在實際導入仍面臨挑戰，未來次世代通訊技術有助突破港區與海域通訊限制。經研究並歸納制度與治理面之挑戰，包括投資模式、跨域整合及資安與資料治理。建議政府將次世代通訊納入中長期航港政策藍圖，推動試點驗證與公私協力，以強化營運效率、安全韌性與永續發展能力。

本研究成果可作為我國規劃航港數位轉型、智慧港口建設及海事通訊能力升級之政策參考，協助提升整體航港營運效率、安全韌性與永續發展能力

## 關鍵詞：

次世代通訊、智慧港口、智慧航運

# 航港領域應用次世代通訊技術重要課題之研究

## 一、前言

我國推動五大信賴產業願景中，強調次世代(Beyond 5G/6G) 通訊技術是作為提升國家競爭力的核心戰略之一，並提出一系列推動措施與目標，其中應強化基礎建設投資與試點應用，推動各項應用場域與解決方案，同時推動綠色通訊與低碳永續發展，以強化我國全域通訊網路韌性，因此探討次世代通訊應用於航港領域，不僅呼應全球航港數位轉型趨勢，更與當前國家通訊技術發展戰略緊密結合。

航港通訊長期面臨覆蓋範圍有限、頻寬不足和延遲較高等挑戰，使得智慧船舶及智慧港口發展受限。目前船舶間及船岸間主要依賴無線電或衛星通信，存在速率低、費用高及無法即時通訊等限制。港口內部網路亦多以無線區域網路、行動通訊或光纖為主，難以同時支援大規模物聯網(IOT)裝置與低延遲控制要求，且基礎網路建設範圍有限，無法涵蓋整體港區碼頭作業區。隨著數位化與自動化技術發展，航運及港口管理正逐步邁向智慧化與高效能的運作模式，需高度仰賴可靠的通訊技術工具。

隨著行動通訊疊代發展，當前第五代行動通訊技術(5G)在一定程度上已能有效提升傳輸速率和可靠性，提供港口遠端操控及自動化櫃場等自動化應用，但許多港口對導入 5G 持保留態度，主要是因為基礎設施建置成本高昂，加上港口環境複雜，容易造成信號覆蓋與干擾問題，業者對於商業回收與技術成熟度尚存疑慮，降低導入意願，許多 5G 應用仍處於試驗階段。

次世代通訊技術，被視為 5G 的進一步演進，能大幅提升網路能力，包含提高通訊頻寬與數據處理能力、全域覆蓋的衛星網絡、以及更強的能源效率，能提供大規模物聯網應用與遠距精準操控，更重要其強調全球無縫覆蓋與服務能力，打破過去只能在地面上運用的限制，形成更廣的通訊網，支援更智慧化與自動化的應用場景。

隨著航港產業追求效率提升(Efficiency)和永續性(Sustainability)趨勢下，更高性能的通訊技術有機會解決目前應用挑戰，提高應用可能性，帶動新的商業模式和工作流程。

掌握航港領域應用次世代通訊技術趨勢，未來將帶來許多產業結構的改變及機會，尤其航港作業涉及眾多利害關係人，未來網路服務將不再僅為基礎設

施，而是一項能產生全新應用的創新平台。本研究聚焦於航港領域中現有作業環境因網路覆蓋不全或頻寬限制而延遲的應用，探討次世代通訊技術可用以優化之應用領域，透過蒐集當前推動及應用趨勢，分析潛在的應用價值，探討從政府角度可協助推動產業導入之相關課題。

## 二、文獻回顧

### 2.1 次世代通訊定義

前幾代(Generation)行動通訊技術開發上主要是為了滿足消費者在移動中通話的使用情境，從 2G 的語音及訊息服務，直到 3G 大幅提升數據速率，促進智慧型手機及移動應用發展，支援多媒體和網頁瀏覽，直到 4G 的高速率極低延遲，得以支援視訊串流及遊戲。不同於 1G 至 4G 在於強調人與人間的行動通訊，自 2020 年代開始，5G 目的在於支援物聯網、智慧城市、自動駕駛等新興應用，強調超高速率、超低延遲及大規模連接能力，進一步實現人與物、物與物、車與車互相串聯的智慧應用。可以說 5G 是第一個真正設計給機器連結的通訊世代。接續 5G 的次世代行動通訊技術(Beyond 5G -B5G/6G)，預期將進一步提升數據速率、降低延遲，並融合人工智慧、全像通訊 (Holographic Communication) 等技術，將帶來更智慧化與更廣泛的應用場景。

總結來說，行動通訊技術歷代演進從 1G 的類比語音通話，到 2G 的數位語音與簡訊，再到 3G 的多媒體數據服務，4G 的高速寬頻網路，5G 的超高速率與大規模物聯網連接，未來 6G 及後續世代將聚焦於智慧化與更高效能的網路應用。每代技術均在速度、容量、覆蓋、延遲及應用多樣性上有所提升，但同時也面臨成本、覆蓋範圍及技術複雜性的挑戰。

### 2.2 通訊技術比較

隨著物聯網裝置數量急速增加，使得所需處理的資料流量也大幅增加，因此應用上須更高的網路速度，而 5G 的幾項優於 4G 的關鍵特性，增加其在物聯網應用的可能性，當應用需求以遠端控制為主時，5G 能支援更複雜、即時且多樣化的智慧應用，兩者幾項關鍵特性整理如表 1。

在數據速率、延遲、精準定位與多媒體應用，4G 主要支援基礎的語音通話和數據通訊，適用於航港的監控系統和基本管理，而 5G 設計用來能提供更高資料傳輸率，支援高解析度影像監控、即時數據傳輸及無人機巡檢等高頻寬

需求，尤其具備毫秒級超低延遲，定位精度提高 100 倍，適合用於自動化裝備控制、智慧調度和即時安全監控。

在連接密度與物聯網應用部分，4G 支援的連接設備有限，難以應對港口大量感測器和物聯網裝置，5G 能管理比 4G 高 1000 倍的資料量，從而能支援大量的物聯網(Internet of Things,IoT)裝置連接，每平方公里內可連接 100 萬個裝置。且具備更廣覆蓋率，透過擴展無線電頻譜資源，5G 可在中及高頻段上執行<sup>1</sup>，透過現有的無線電站點，能有更廣覆蓋。在網路架構與安全性部分，5G 引入網路切片技術，可為不同應用提供專屬安全隔離和服務質量保障，提升航港數據安全和營運可靠性。

表 1 4G 與 5G 比較表

網路特性 /特性標準	4G 技術指標	5G 技術指標	智慧港口應用效益
高數據傳輸率/ 增強型移動寬頻 (Enhanced Mobile Broadband, eMBB) <sup>2</sup>	峰值下載： ~1 Gbps 上傳： ~0.5 Gbps	峰值下載： ~20 Gbps 上傳： ~10 Gbps	提升資料即時交換效率，優化決策支援與即時反應，例如高解析監控影像、無人機巡檢、即時大數據傳輸。
超低延遲/ 超可靠低延遲通信 (Ultra-Reliable and Low Latency Communications,URLLC)	延遲：約 30-50 ms	延遲：< 1 ms	提升即時互動能力，強化無人系統與 AI 控制應用，如即時安全監控、自動化裝備控制、智慧調度。
高精度定位能力	精度有限	定位精度提升 100 倍	應用於物流和運輸領域所需的物聯網，支援港區無人車、貨櫃定位、資產追蹤。
大規模連接能力/ 巨量多機器型態通訊 (Massive Machine-Type Communications, mMTC)	約 10 萬台 /平方公里	約 100 萬台 /平方公里	支援大規模 IoT 感測器連網，實現港區全面智慧化

<sup>1</sup> 全球發展 5G 的商用頻譜，大致分為 Sub-6 (6GHz 以下)、6 至 24GHz、24 至 29.5GHz、37 到 40GHz，還有更高的 60 到 90GHz，其中以 Sub-6 和 24 至 29.5GHz 頻段。國內 5G 開臺使用的是 3.5GHz 及 28GHz 兩個頻段，3.5GHz 頻段較為低頻，穿透性較佳，可涵蓋範圍較廣，相關設備、裝置也較為成熟，是國內 5G 服務主要使用的頻段；28GHz 屬於毫米波頻段，在美國有 Verizon 採用，雖有相關設備及裝置，但成熟度不如 3.5GHz，其次，28GHz 頻段的頻寬大，傳輸速度更快，但容易受地形地物影響，較適合垂直場域使用。

<sup>2</sup> 真實世界速度：4G 及 5G 分別為 20 - 100 Mbps 及 100 - 1000+ Mbps。

網路特性 / 特性標準	4G 技術指標	5G 技術指標	智慧港口應用效益
網路切片 (Network Slicing)	無明確支援	支援虛擬化切片與 QoS 保證	針對不同應用提供獨立服務與資安隔離，確保關鍵作業穩定與可靠
移動速度支援	最高 350 公里/小時	最高 500 公里/小時	適應高速移動設備場景，如無人機、智慧化貨櫃搬運車、自動化車隊作業

資料來源：本研究整理。

但 5G 存在幾項顯著缺點，例如在訊號品質與覆蓋部分，由於高頻段訊號穿透力弱，需部署大量小型基站，建設與維護成本高，又設備複雜使得功耗及成本較高等，降低實際場域應用的實用性。因此 B5G/6G 建構在 5G 基礎上，進一步針對上述 5G 存在缺點進行改善，除能提供更高的網速及更低的延遲，但其關鍵並非在高網速及低延遲，而是強化通訊效能與智慧化管理能力，設計核心在於能用來支援多樣化產業應用場景，對本計畫而言，此點特性有利於推動航運系統的自動化與智慧化，下面就其能提供的應用領域進行簡介。

### (1)高自動化場域對可靠低延遲通訊的需求

依據過去具體應用情境，工業物聯網 (Industrial Internet of Things, IIoT) 中許多裝置都是遠端管理，遠端操作裝置對連線穩定性與速度的需求至關重要，一旦網路中斷、變慢或產生延遲，就會導致時間、人力或設備損失。此外，低延遲也影響安全性，例如自動化機器若偵測到有人接近，須即時停止運作以避免傷害，因此必須對人體活動極為敏感並做到即時反應。

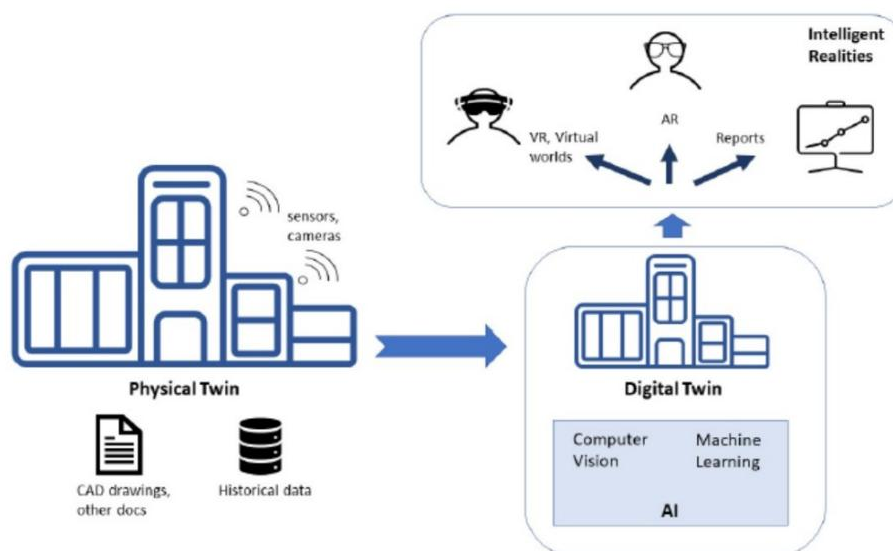
在航運與港口等高自動化場域中，由於裝置多位於遠端且需長時間穩定運作，網路須具備高可靠性、低維護與長電池壽命特性。部分應用如遠端操控、設備維修與安全監測，對延遲極為敏感，超可靠低延遲通訊能支援確保作業不中斷。

### (2)深度融合人工智慧

次世代通訊技術可將 AI 全面融入網路管理與通訊，實現智慧資源調度、自適應網路優化及安全防護，提升系統效率與可靠性，擴大應用如智慧交通及遠端醫療等場景，此外融合強化 AI 與物聯網設備協同能力，可用以擴展智慧港口領域應用，藉由邊緣運算與 AI 分析，能有效提供碼頭自動化設備即時反應的需求。

### (3)結合 AR/VR 與 IoT 的沉浸式應用

透過整合擴增實境(Augmented Reality,AR)、虛擬實境(Virtual Reality,VR)與 IoT，可在港口與航運現場建構沉浸式智慧應用場景，在港口倉儲管理中，作業人員可藉由穿戴式裝置即時檢視貨櫃狀態與庫存配置，並透過 AR 輔助視覺系統獲取路徑導引或安全警示。此外在設備維修與操作訓練方面，結合 3D 模型與大數據分析的虛擬實境模擬，可協助作業人員進行故障診斷、作業演練與預測性維修，在遠端操作領域，藉由低延遲網路支援 VR 控制介面，操作員得以即時掌握現場狀況並執行遠距作業，大幅提升操作精度與安全性，如圖 1。



資料來源：Industrial Internet Consortium (2019) [1]

圖 1 IOT+AR/VR 概念

### (4)資訊技術 (IT) 與營運技術 (OT) 的融合應用

傳統上，資訊技術 (Information Technology, IT) 主要處理企業管理、決策與資料分析，而營運技術 (Operational Technology, OT) 則掌管實體設備與生產運作，隨著感測器、物聯網與行動通訊普及，整合 IT 與 OT 已成為智慧港口的重要發展趨勢，透過行動網路高頻寬與低延遲能力，即時蒐集 OT 層面的運作數據 (如設備溫度、能耗、振動與故障狀況)，再結合 IT 系統中的營運資料 (如調度、成本、庫存與維修紀錄) 進行整合分析，能協助企業進行預測性維修、資源配置優化與決策自動化。例如在智慧倉儲環境中，系統可依據歷史訂單與即時需求，自動調整貨位配置與機器人操作流程，以提升營運效率與降低能耗。又應用在車隊管理方面，透過即時蒐集車輛運行數據與外部交通資訊，可提供最佳行車路徑與維修建議，進而提升整體物流效能。

### (5)整合非地面網路 (NTN) 建立無縫覆蓋網路

B5G/6G 為提高其通訊服務應用，整合非地面網路( Non-Terrestrial Network, NTN)，如衛星網路與低軌衛星等，結合地面與空間基站建立無縫覆蓋網路。對航運產業而言，能有效改善航運通訊需求，擴大覆蓋範圍至海洋、偏遠地區等傳統地面網路難以覆蓋的區域，達到智慧航運效果。

### (6)高精度定位與導航能力

利用 B5G/6G 具備高精度定位與導航能力，即時追蹤船舶及精準定位港口設備，能有效提升航運安全與調度效率。加以具備能大規模物聯網連接能力，提高物聯網感測與監控能力，港口與船舶能藉由大量感測器及智慧裝置，即時監控貨物狀態、環境條件及設備運作，提升港口智慧化管理。

## 2.3 技術藍圖與標準制定

第三代合作夥伴計劃(3rd Generation Partnership Project,3GPP) [2]第 15 版規範 (Release 15,R15) 是 5G 技術標準的重要版本，涵蓋了相關技術和應用場景。根據 Release 15，5G 系統架構針對增強型行動寬頻 (enhanced Mobile Broadband,eMBB)、關鍵型物聯網 (critical Internet of Things,cIoT) 及大規模物聯網 (massive Internet of Things,mIoT) 等核心應用領域進行設計。因此，與前一代技術相比，5G 能夠顯著擴展其在工業場域中的適用性，提升多元產業需求的支援能力。

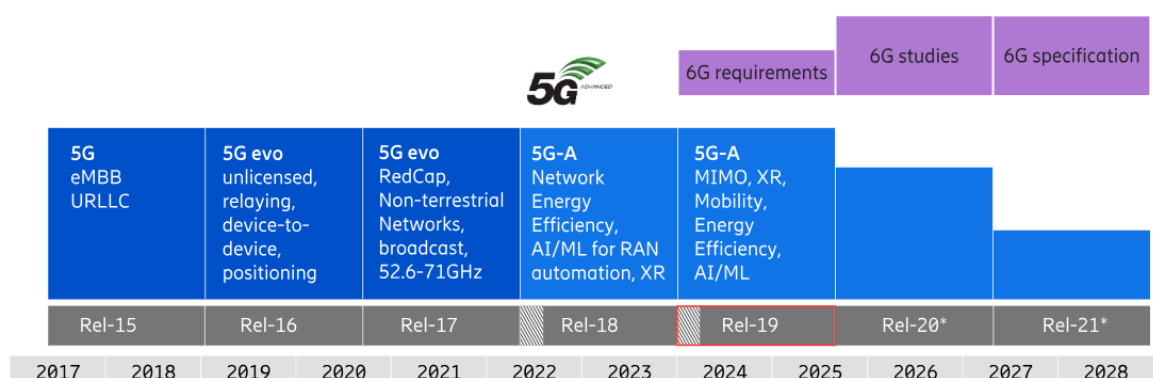
eMBB 主要聚焦於智慧型手機相關應用，這類依賴網路存取的應用程式需具備高網路容量，以支援更快速的下載速率、更寬廣的頻寬及提升頻譜效率。R16 標準在 R15 基礎上進一步優化了超可靠低延遲通信 (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC) 以及大規模機器類型通信 (Massive Machine Type Communications, mMTC) 等場景之標準規範，涵蓋增強網路基本能力、極高可靠性要求 (最高可達 99.9999%)、毫秒級低延遲等特性，並針對工業互聯網、車聯網等多元垂直行業應用場域加以強化。

URLLC 是使 5G 在性能上遠勝 4G 的核心特性之一。其透過顯著降低延遲，使網路能夠以近乎即時的速度處理大量數據，進而支援多元且快速的服務。URLLC 能達到低至 1 毫秒的封包傳輸延遲，甚至快於人類視覺處理速度，同時確保端到端安全以及 99.999% 的高可靠度。這些技術優勢使 URLLC 成為物聯網 (IoT)、工業物聯網 (IIoT) 和觸覺互聯網 (Tactile Internet) 等應用領域發展的基石。URLLC 有助於促進智慧運輸系統 (如無人駕駛)、工廠自動

化、遠距設備維修、機器操作模擬訓練及危險環境下的工業培訓。同時，其高速與低延遲，也可顯著提升虛擬實境（VR）及擴增實境（AR）等新興體驗的品質。

自 5G 商用部署以來，3GPP Release 17 (R17) 針對營運中的經驗，進行一系列功能補強，特別是在網絡基礎能力如容量、覆蓋範圍、時延、能效及移動性等方面持續提升。此外，R17 亦擴展了 5G 在終端及新興應用上的支援，包括 RedCap (Reduced Capability)<sup>3</sup>、非地面網路 (NTN)、強化之直連通信、厘米級高精度定位、以及延展實境 (Extended Reality, XR) 等關鍵技術。

3GPP 於 2024 年 6 月正式凍結(定稿，不再修改進行終審發佈) Release 18 標準，此舉象徵 B5G 時代正式啟動，並推動相關前瞻技術向 6G 演進。



資料來源：Ericsson whitepaper(2025) [3]。

圖 2 愛立信對於在 3GPP 進行 B5G/6G 標準化時間表

### 三、航港領域關鍵應用場景與需求

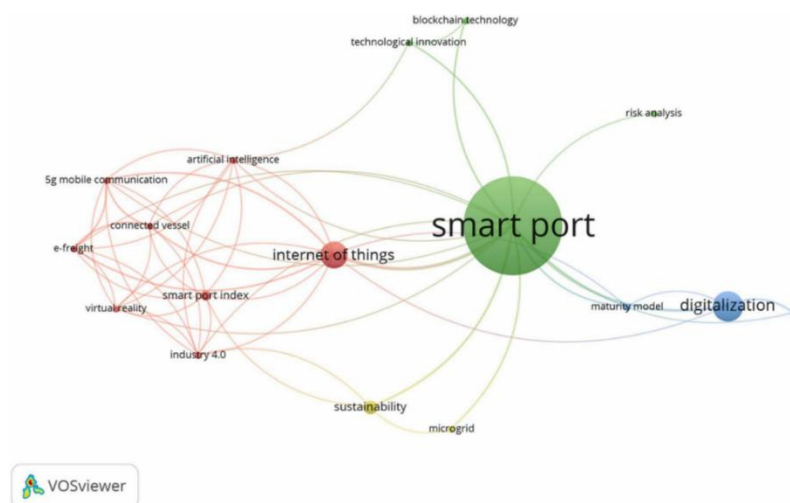
#### 3.1 智慧港口與次世代通訊

智慧港口概念源於港口作業自動化及數位化長期發展，其核心在於整合先進通訊、數據分析與人工智慧技術，以達成即時協同作業、提升營運決策智慧化，以及實現港區安全與永續管理。隨著全球航運產業朝向「智慧航運」與「零碳轉型」發展，通訊基礎設施已由輔助系統提升為智慧港口運作不可或缺的關鍵。特別是 B5G/6G 技術具備高頻寬、低延遲及高可靠性特性，能支援大規模感測器、移動設備及自動化系統之同步運行，成為智慧港口發展的基礎。

<sup>3</sup> RedCap (Reduced Capability) 主要用於中低速物聯網場景，又被稱為 NR-Light，設計目標是針對頻寬、功耗及成本需求介於 eMBB 與傳統物聯網之間的應用，例如可穿戴裝置、工業控制感測器及視訊監控設備等。

智慧港口是一個多維概念，整合了多種先進科技，目的在提升港口效率、安全性及可持續性，建立在數位化、自動化和連接性技術的基礎上，以實現智慧決策、即時監控與預測性管理。智慧港口不僅限於技術升級，也涵蓋治理模式、資料管理及利害關係人協作等面向。Thi Yen Pham(2023) [4]透過文獻分析與關鍵字共現分析 (co-word analysis)，其研究結果顯示早期文獻多聚焦在「港口自動化」與「物聯網」，近年則轉向探討「大數據」、「人工智慧」、「區塊鏈」與「永續性」等關鍵議題如圖 3。

5G 網路的導入，不僅促進了港口自動化與智慧化，還為數據的即時傳遞與分析提供了強大支撐。智慧港口可以依賴高頻寬、低延遲的特性，實現設備即時監控與高效協同作業，進一步提升整體營運效率與安全性。在智慧港口的研究群聚與關鍵字分析中，「5G mobile communication」被歸類為與物聯網高度相關的重要技術，顯示學界普遍將 5G 視為支撐智慧港基礎通訊能力的核心。5G 提供的網路環境有利於港口內無人車、自動起重機、即時感測與資料傳輸，與「聯網船舶 (connected vessel)」、「虛擬實境 (VR)」、「人工智慧 (AI)」等概念在圖 3 中緊密相連，反映出 5G 在實現這些智慧應用中扮演關鍵角色。研究並指出智慧港口的發展需要強而穩定的通訊基礎設施，5G 技術能有效支援港區內大量裝置與應用的即時互聯，進一步促進港口數位化與自動化。



資料來源：Thi Yen Pham(2023) [4]。

圖 3 智慧港口關鍵字

傳統港口多以有線光纖或 Wi-Fi 為主要通訊方式，雖能滿足基礎資料傳輸需求，但在高密度感測環境與即時控制作業下，容易受到干擾與頻寬限制。隨著自動化櫃場、無人載具、遠端操控橋式機與智慧能源管理等系統普及，港區

內部對低延遲與高穩定通訊的需求顯著提升。獨立組網(5G SA)<sup>4</sup>技術的導入，使港區能以專網形式建立封閉且高安全性的通訊環境，或透過網路切片（Network Slicing）技術，針對不同應用需求如自動化吊車控制、影像監控、貨櫃追蹤等，提供專屬頻寬與服務品質保障。此一架構不僅提升作業效率，也確保高可靠性作業場景，維持遠端起重機操作即時性與安全性。

智慧港口的建構需仰賴高速通訊結合多元技術，例如 AI 可用於自動辨識車牌與貨櫃號、監測港區人流與車流，IoT 感測網絡則能即時回傳設備狀態與環境數據，支援預測性維修與能源管理，邊緣運算技術可於港區現場即時處理龐大資料，減少資料回傳雲端造成的延遲，確保關鍵決策能於秒級反應等，這些多元技術透過 5G 提供穩定的資料傳輸基礎，使得各技術得以協同運作，形成「通訊—資料—智慧」一體化的智慧營運體系。

此外，5G/6G 也協助重塑了港口的安全與永續管理模式。透過整合感測資料與高精度定位技術，可即時掌握港區內車輛、貨櫃與人員位置，降低作業衝突與事故風險，加上搭配 AI 分析，可實現主動式安全監控與緊急應變，此外在環境永續面向，5G/6G 支持即時排放監測、能源調度與碳足跡追蹤，有助於港口向「零碳營運」轉型。

表 2 5G 潛在應用類型與場景

應用方向	範例
感測器與監測	貨物追蹤、軌跡監控、設備狀態監控、環境監控
自動化與遠端操作	遙控起重機、自動導引車、自主船舶、無人機安全巡檢
高頻寬傳輸	拖船即時影像、VR/AR 現場維修、資料交換平台

資料來源：Potter, Andrew et al. (2025) [5]。

### 3.2 航港營運課題

航港營運具高度複雜性，包括作業鏈條冗長、利害關係人眾多，以及外部環境變化迅速等，使數位化與自動化轉型過程面臨諸多挑戰。現階段主要問題可分為五大層面：(一)作業效率及協同困難；(二)基礎通訊與網路覆蓋受限；(三)高度氣候及環境不確定性；(四)安全與資安風險增加；(五)海事通訊障礙。

<sup>4</sup> 5G 網路有兩種部署方式，一種是採用非獨立 (NSA) 組網架構，在 NSA 模式下，5G 核網跟 4G 基本上是一樣架構，只是它具備了 5G NSA 部分執行所需要的功能，並配備有獨立 5G 基地臺。獨立 (SA) 架構的 5G 網路，則更進一步連核心網路也改用獨立的 5G 核網來布建，因此，不論是速度、頻寬、低延遲表現，都比採用 NSA 模式來得更有效率。

港口作業效率及協同運作挑戰，隨著營運流程日益複雜，即使已導入遠端操控起重機、自動導引車等自動化設備，仍受限於流程冗長、資訊分散及即時協調困難，致使整體作業效能不彰。船岸間缺乏即時資訊共享，進一步影響船舶於尖離峰時段之調度，使船舶需於外錨地等待靠泊，加重油耗、碳排放及營運成本。若通訊機制具備低延遲且穩定連線能力，船舶可提前掌握泊位與調度資訊，有效縮短等待時間並降低相關營運損失。

其次，港口網路基礎設施仍存在瓶頸。現行傳統港口多依賴 Wi-Fi 或光纖等固定式網路架構或有限的行動網路，維護成本高且覆蓋範圍有限，不易支援港區內大量感測器、監控設備及自動化機具即時需求。當前多重系統並存現象普遍，造成資料即時整合困難，在進入智慧港口時代，需要能同時提供高頻寬、低延遲與高可靠度的通訊環境，支援遠端操控、影像傳輸及設備協同作業，此亦是 5G/6G 可發揮關鍵價值之處。

極端氣候頻率與強度增加，造成港口營運的環境風險上升，即時海氣象資料不足，難以即時調整營運規劃與應變決策，若能結合高密度感測與衛星通訊，提供氣象資料即時回傳與動態預警，將有助於提升港口營運韌性與安全性。此外港口作業職安與資安風險日益嚴峻，港口作業涉及大量高風險工項，根據歐盟海事安全局（European Maritime Safety Agency, EMSA）統計[6]，有將近 42% 海運相關死亡事故發生於港區。同時資安一直是推動智慧港口重要議題，隨智慧港口快速發展，資安威脅亦隨之增加，近年全球港口遭受資安攻擊事件急遽上升，駭客可能入侵導航、貨物調度或通訊系統，造成營運中斷與資料外洩，甚至危及人員安全。

最後在海事通訊仍存在明顯限制，在船對岸通訊方面多使用無線電頻段（中、高及特高頻），如船舶進出港通報、引水作業協助、氣象資料接收與緊急聯繫等，通訊須具備穩定性與低延遲，而船對船通訊在於協調航行、交換避碰資訊與共享航道資訊，目前多使用自動識別系統（Automatic Identification System, AIS）與特高頻（VHF）。目前通訊仍受限於覆蓋範圍限制，或雖可支援長距離傳輸，但僅能處理如半雙工語音、文字訊息等基礎應用，此外傳統無線電通訊常受多種干擾影響，而衛星通訊可補足地面網路不足，但其頻寬與費用限制仍使廣泛應用受限。

海事通訊網路應從過去僅提供單一功能，擴展提供多樣化任務需求，除用以滿足傳統的船岸通訊外，逐漸擴展到涵蓋船與船之間的協調作業、船內的智慧管理系統、遠洋通訊，或不同通訊間的協同運作，因此能透過 5G/6G 整合

地面、空中及衛星網路，將可突破此一瓶頸，支援遠洋航運與離岸作業之即時通訊需求，有效提升海上作業效率與安全性。

表 3 海事通訊技術挑戰

技術類型	面臨挑戰
無線電頻段/ AIS	- 頻寬有限 - 覆蓋範圍有限
地面 5G/WiFi /WiMAX /LTE	- 無法覆蓋遠洋區域，僅適用於靠近岸邊的短距離通訊 - 海上訊號易受船體金屬遮蔽，需額外設中繼或小型基地台
衛星通訊	- 延遲高且資料速率低 - 終端設備與月費/年費成本高昂 - 易受多路徑傳輸干擾影響

資料來源：Alqurashi, F. S. et al.(2022) [7]。

### 3.3 以港口作業分類的應用項目

本節以港口作業導向，重新思考通訊技術的應用布局，發展智慧港口及智慧航運。港口營運涵蓋的作業領域，區分為船舶進出與靠泊管理、碼頭貨物作業、倉儲物流管理、作業安全與環境監控等面向。不同作業對通訊技術的需求各異，但共同目標皆在於透過高效連接與智慧化管理，達到兼顧作業安全及效率與永續的營運模式。

在船舶進出與靠泊管理方面，傳統調度仰賴人工通報與岸邊監控，資訊傳遞延遲常導致尖離峰船舶等待靠泊，若導入低延遲高可靠的 B5G/6G，可即時共享泊位、氣象與航道資訊，協助船舶進行航程優化與靠泊預約，提升能源利用效率並減少碳排放。

在貨物裝卸與碼頭作業方面，B5G/6G 能有效支援遠端操控，包括垂直式裝卸如橋式起重機，或水平移動的無人導引車遠端控制，以及設備間即時協作。B5G/6G 能達到 100 Mbps，確保影像順暢以資訊數位訊號傳遞，讓操作者能同時控制 3-6 機台，改善港口作業效率。透過網路切片確保不同作業頻道的穩定性，操作人員可同時監控多部機具運作。此外透過無縫連結港口無數的監視器及感測器，執行即時的邊緣運算，結合 AI 影像分析技術，提供各式的監視功能如作業現場、人車流等。當前許多港口已導入各種 AI 應用，包括貨車/櫃辨識作業，辨識車牌、櫃碼及櫃損，以及偵測辨識作業人員疲倦現象，提升生產效率與安全水準。

倉儲與物流管理亦是智慧港口的重要應用場景。結合物聯網與大數據分析，

能即時掌握貨櫃動態、倉儲容量及能源消耗狀況。B5G/6G 高密度連接可支援大量感測裝置同步運作，透過資料即時化處理機制，港務營運單位可實現智慧調度、能源最佳化及預測維護，提升整體營運效能。結合 5G 與物聯網設備能實現貨櫃、船舶的即時定位與監控，保證貨物流動資訊透明、加強安全管理。

此外，安全與環境監控是智慧港口永續發展的核心，AI 影像辨識與感測裝置即時監控港區作業環境，降低人員暴露於高風險的機會。再者結合 AR/VR 技術可進行作業模擬與安全教育訓練，甚至提供現場與控制中心人員進行障礙排除之溝通工具，此外透過自主船舶、無人機安全巡檢、環境監測系統，實現碳排放監控、水質偵測與廢棄物管理，達成港口永續治理目標。

資安防護則貫穿所有功能環節，B5G/6G 通訊架構內建更高強度的加密與認證機制，並可藉由私網與切片技術，實現資料隔離與動態防護，當通訊與作業逐步融合，資安策略需同步升級，確保資料傳輸與營運控制不受干擾。

綜合而言，智慧港口作業應用展現出通訊技術與營運流程深度整合的趨勢，從船舶進出與靠泊管理、碼頭貨物作業、倉儲物流管理、作業安全與環境監控，皆可利用 B5G/6G 技術達到即時連接與智慧決策。表 4 整理各營運作業面向的主要挑戰與應用及成效。

表 4 B5G/6G 在航港領域具潛力應用版圖

挑戰面向	問題摘要	B5G/6G 對應策略	潛在成效
作業效率與協同不足	大型船舶到港尖離峰現象影響調度效率。	建立船岸即時資料共享平台，導入低延遲高可靠的 B5G/6G 船岸通訊；船舶運用 AI 進行航程預測與靠泊排程。	減少等待時間與油耗浪費，優化靠泊流程，提升港口營運效率。
網路基礎設施限制	港區 Wi-Fi 與光纖覆蓋不全且維運成本高，無法支援大量 IoT 裝置與自動化作業需求；智慧港口設備繁多、資料龐大，無法即時整合。	建置 5G/6G 專網；導入邊緣運算與網路切片確保即時傳輸與頻寬彈性。	無縫覆蓋強化自動化設備即時控制能力，提升營運穩定性。
氣候變遷與環境不	極端氣候頻繁，氣象資料更新慢，易導致	建置海氣象感測系統與即時預警平台；整	提升港口與船舶防災韌性，降低天候

確定性	營運中斷、資產損壞與貨物延誤，無法有效規劃營運。	合氣象資料與船舶航行調度系統。	造成的營運中斷與損失。
作業安全與資安風險	高風險作業環境；智慧化提升同時伴隨資安風險劇增。	導入 AI 影像辨識與 AR 安全輔助訓練；感測與預警系統減少人員直接暴露風險；採多層加密與私網切片技術確保資料安全。	降低工安事故與資安風險，提升系統防護強度與應變能力。
海事通訊覆蓋不足	離岸後即無地面訊號，僅能依賴高成本且延遲高的衛星通訊。	佈建小型基地台強化船內通訊；發展混合通訊架構，導入低軌衛星支援遠洋連線。	提升海上連線品質與覆蓋範圍，支援遠距監控與自主航行。

資料來源：本研究整理。

### 3.4 港口導入 5G 技術主要障礙

本節透過探討 5G 技術應用在港口所面臨的障礙，可藉以瞭解未來 B5G/6G 技術，是否可能帶來新的改變及擴大應用範圍，因 5G 技術特性，理論上為協助推動智慧港口的重要通訊基礎，但實際上目前許多港口在導入過程中，仍面臨多重挑戰，導致其普及速度遠低於預期(Andrew Potter et al., 2023) [5]。

首先，5G 技術本身的成熟度尚不足，市場上可立即部署的商用化方案有限，使港口在規劃初期即面臨架構複雜等疑慮。此外港區位置較偏遠，公共行動網路覆蓋通常較弱，若採用專網架構又需大筆建置成本，使得投資回收期不易估算，進一步削弱導入意願。

其次，多數港口已累積大量 Wi-Fi 與 4G 基礎設施，這些系統在現階段仍足以支援既有作業流程，使得對業者而言替換成本與升級誘因不足。同時，實務上貨櫃堆場的金屬結構會造成訊號遮蔽，此點亦增加實務上規劃與部署難度。此外設備端也存在限制，目前能夠承受港區室外環境的耐候型 5G 設備仍相對不足，設備供應鏈成熟度尚待提升。

在人力與組織面向，在引進自動化或遠端操控技術時，須對現有港口人力進行技能重新訓練，而現有人力常因對新技術的不信任、缺乏技能、擔憂職務被取代等因素而產生抗拒。此外，港口長期以來較難吸引具備 ICT 或 AI 能力之人才，尤其在與科技業競爭時更顯弱勢，使數位轉型所需的人力基礎更加

薄弱。

最後，港口推動 5G 時，由於使用案例仍不成熟、商業模式未定、不易看見短期成效等因素，尚難以形成具體且可量化的投資效益評估，讓建構完整商業模式變得困難。此外，當前跨部門及跨機構的協作程度有限，港口間經驗分享亦不充分，都使新技術推廣缺乏累積效益與共同標準。

綜合而言，5G 導入在技術、成本、人力、組織文化與治理協作等多面向都存在瓶頸，使港口在導入時面臨現實挑戰，這些挑戰應可透過政策支持、產業協力與成熟應用案例的累積，才能有效推動其普及與規模化發展，整理如表 5。

表 5 港口導入 5G 障礙因素

面向	國際港口導入 5G 主要障礙	說明摘要
技術成熟度	5G 技術仍不成熟、商用方案不足	缺乏穩定的現成(off-the-shelf) 方案，業者信心不足。
網路覆蓋與基礎建設	偏遠港口 5G 覆蓋弱、專網建置成本高	公網難以涵蓋港區，但專網存在投資額大、回收期長的挑戰。
既有系統取捨	Wi-Fi/4G 仍堪用、升級誘因不足	多數港口現有網路仍可支援作業，缺乏升級迫切性；又港口環境容易造成訊號死角。
耐候性設備供應不足	堅固型 5G 設備仍有限	市場尚未成熟，可提供港區類的戶外設備選項不足。
人力與組織文化	對新技術抗拒、技能落差、工會組織談判力道強	非數位原生世代、擔心自動化取代、缺乏 ICT 人才。
投資效益不明確	商業模式未形成、效益尚難量化	缺乏成熟使用案例，難形成商業案例支持投資。
跨域協作不足	港口間經驗共享有限、與產業合作不足	缺乏共同標準、缺乏區域型或國家級統籌導入架構。

資料來源：Andrew Potter et al.(2025) [5]。

### 3.5 低軌道衛星應用於海事通訊

隨著全球衛星產業快速發展，低軌道 (LEO)、中軌道 (MEO) 與高軌道 (GEO)<sup>5</sup> 衛星分工逐漸明確，已廣泛應用於通訊、導航、遙測、氣象及新興物

<sup>5</sup> GEO 衛星位於 35,786 公里高空，僅需少數衛星即可覆蓋全球，適合廣播電視與語音通訊。MEO

聯網領域。傳統海運通訊主要仰賴 GEO 衛星，但這種系統有其明顯限制，傳輸延遲高不利於即時通訊、遠端操控、緊急反應等需求，且無法覆蓋至極地及高緯度航線，因此僅靠 GEO 衛星，難以滿足海運業逐步更複雜與高需求的通訊需求。然而 LEO 衛星具備低延遲與高頻寬特性，提供更廣覆蓋區域，且可帶來海上寬頻即時通訊等優勢，是新一波衛星通訊服務核心，已成為發展智慧船舶的重要推動力。

智慧船舶主要包含兩個層面。其中一層面是利用智慧資訊架構技術，提供船舶進行遠端操控能力。船舶配備感應器蒐集航行中大量數據並傳送到雲端分析，能即時監控與預測船體結構健康狀態，協助海事人員做出正確判斷並隨時掌握船舶安全。另一層面在於結合感應器、延展實境(XR)及數位雙生等技術，岸上技術人員可將操作流程遠端投影至船上，方便船員快速排除問題。

在強化 e 化航行(e-navigation)能力方面，在電子海圖顯示與資訊系統(Electronic Chart Display and Information System, ECDIS)、船舶自動識別系統(AIS)及特高頻資料交換系統(Very High Frequency Data Exchange System)等領域，ECDIS 需借助通訊系統來接收更新電子海圖與航行相關的資料，以保持資訊的即時性和準確性。此外，ECDIS 可與 AIS 系統整合，接收其他船舶的動態資訊，這部分涉及到船舶之間及船岸之間的無線通訊，藉由低軌衛星能更快速接收相關即時訊息<sup>6</sup>。此外智慧船舶還包括智慧化航行輔助系統，船舶能在航行中蒐集更精確的天候、風向、水文資訊，協助降低航行風險並提升效益。

另外遠端操作中心部分，其需要使用多種通訊技術來保持船舶與岸上控制中心的聯繫。低軌道衛星具備提供全球範圍、低延遲的數據傳輸能力，適合船舶長距離航行中需要即時反應與多媒體傳輸的場景，比如遠端操控指令、視訊監控和船舶狀態即時回傳，其中應用於遠距醫療的海上衛星遠距醫療技術，讓遠洋船員能在第一時間獲得醫療支援，此外混合實境(Mixed Reality,MR)眼鏡多點影像，即時回傳現場影像等資訊，讓總公司釐清船內故障之原因，透過

---

衛星分布於 2,000 - 30,000 公里軌道，主要應用於 GPS 導航。LEO 衛星位於 300 - 1,500 公里，需上百顆衛星組成星座，可支援寬頻通訊與物聯網。

<sup>6</sup> AIS 能藉由與鄰近船舶、AIS 岸台以及衛星等設備交換，進行船舶辨識及定位，但受限於天線高度與地球曲率，船與船通訊距離一般為 20 海浬，船與岸台通訊距離可達 40 海浬，超過通信範圍 AIS 便無法進行訊號傳輸，須待船舶駛入範圍之內才能恢復 AIS 訊息傳輸（李政達等人，2022）[18]電子資料，提供船舶交通服務系統低軌 AIS 衛星能解決船舶超出船與船或船與岸台可接受範圍外能可傳輸船舶數據，而 VDES 為國際海事組織採納的新一代海事通訊系統，利用衛星進行數據交換，從具有 AIS 系統的船、船對岸等具數據資訊節點傳遞至衛星節點中，系統內任意兩節點可直接、靈活、相容聯絡，具有一體化特點，預計 VDES 將在未來十年左右逐步補充和取代現行的 AIS，提供更高資料傳輸容量和通訊品質，用以解決 AIS 頻道超載問題。

遠程協作之方式，提升故障排除之效率，亦可支援未來的自主航行，由陸地上的人員遠端操控船舶。

透過 LEO 衛星除了有助於打造智慧船舶及航運外，對於資金有限、但需延長營運壽命的老舊船舶，可實現通訊升級，而不用昂貴改造費用或依賴岸上設施，此對發展中國家或中小型船公司尤具吸引力。此外低軌衛星在船舶海上航行時，亦能提供穩定高速連線的能力，可提升海員留任率與吸引年輕世代加入海運，對人力維持與穩定航運供應鏈有幫助。

## 四、通訊技術於航港領域之推廣及應用計畫

### 4.1 日本

#### (1) Local 5G 專網政策

日本在推動次世代通訊包括 5G、6G、物聯網、衛星通訊等在航運及港口領域應用上，展現出高度政策支持與產業創新能力，並持續透過實證測試與補助計畫加速產業數位轉型。

日本於 2016 年發布「超智慧社會」(Society 5.0)<sup>7</sup>概念，作為後續科技創新政策之主軸，強調透過不同的資通訊科技，滿足各式各樣之社會需求，同時在經濟面創造新價值和新服務模式，進而提升國家競爭力。在總務省針對 Society 5.0 發布的重點施行政策中，5G 專網以 Local 5G 為名，與 5G、光纖同列於資通訊基礎建設，有別於公共 5G 網路，Local 5G 以地方單位為主體，目的在推動地區型專網 (Local 5G) 的建置及多元應用落地，透過制度設計，讓申請者依據自身需求設置自有 5G 通訊系統，專為特定場所或企業提供的高速、大容量無線通訊服務，緩解人口老化、勞動力不足等社會問題，並提升產業自動化與數位化，截至 2024 年已累積 65 件開發實證案。

日本 Local 5G 推動策略以政府主導、法規鬆綁及實證場域推動為核心，自 2019 年起開放頻譜申請，允許企業、地方單位及研究機構在特定場域建構自有專網系統，推廣應用於智慧航港、製造業、農業和醫療等多元產業。透過

---

<sup>7</sup> 日本第五期 (2016-2020 年)「科學技術基本計畫」中提出將在 2030 年打造超智慧社會，並命名為「社會 5.0 (Society 5.0)」，結合網路與實體空間形成虛實整合系統(Cyber Physical-System, CPS)，強調科技發展需用以改善社會問題，例如社會高齡、勞動力不足及天然災害等。社會 5.0 概念，是透過科技如人工智慧、機器人、大數據及雲端運算等改善人類生活的保健醫療、交通與基礎設施。日本自 2020 年開始針對後 5G(Beyond 5G)討論 2030 年社會通訊基礎設施的型態，並於 2020 年 6 月發布「Beyond 5 推進戰略—6G へのロードマップ—」報告，論述至 2030 年發展的中長期推動策略，作為實現 2030 社會願景。

專案補貼及示範場域選拔，每年度公開徵選 Local 5G 實證與導入示範場域，針對獲選單位給予設備建置、系統整合、規劃驗證等補助，並協助跨產業場景（如港口自動化、智慧物流等）進行實地測試與推廣。至於業界重視的補助金額，依據場域規模與技術創新程度彈性調整，每案最高補助可達數億日圓，並搭配地方政府負擔部分經費，藉以提升私人投資意願。在技術支援與加速法規調適部分，政府除提供金額補貼外，亦提供技術諮詢與申請簡化輔導，持續調整頻譜、上傳/下載比例等設定，解決現場應用需求與法規門檻，同時協助將成功案例推廣至全國其他地區。

利於高額補貼降低初始建置壓力，帶動日本產業快速布局 5G 私有網絡。由於港口與海事產業因具有高度自動化及遠端監控需求，成為目前補助推廣的重點對象，重點在於協助港區導入遠端吊車、無人車、即時影像回傳等智慧應用。2021 年起已有多個港區（如大阪夢洲、四日市港等）導入 Local 5G 專網，搭配 IoT 設備、AI 影像辨識，推動遠端吊車操作、無人搬運車、智慧監控等，促進港口營運效率與 DX 數位轉型目標。NTT、NEC 等通訊設備業者也積極投入解決方案，逐漸累積港口領域專業經驗。

總務省近年積極修訂相關制度，2024 年 Local 5G 工作小組規劃討論之議題中，擴大在海上及港區的使用範圍，針對電波與頻率參數做精細化管理，並提升系統上傳頻寬比例，加強遠端控制、影像回傳及自動化應用。在擴大 Local 5G 於海上運用方面，近年積極發展離岸風電，期望可透過 5G 技術對離岸風電機進行遠端監控與管理，便能以最少人力資源掌控發電情況。特別針對離岸風電、海上鑽油井等產業，開放 4.7GHz 頻段於離岸 12 海浬內作專網使用，取代過去使用操作人員須申請無線電執照及近海公用無線網路訊號不穩定等問題。透過制度支持與創新示範相輔相成，帶動產業多元化應用發展，2025 年相關政策預計隨成果評估持續調整，以確保讓技術應用落地並推廣至更多海事/港口場景。

## **(2)日本低軌道衛星推廣計畫**

日本「宇宙基本計畫（Basic Plan on Space Policy）」政策目的在於擴大太空產業市場規模，由政府和新興企業共同推動低軌道衛星計畫，目標是擴大日本太空產業規模，積極發展低軌道衛星的通訊服務，尤其在衛星與地面直接互聯的技術，如衛星直連手機（Direct to Cell）服務，以及擴大其應用範圍。

在海事部門，過去船舶依賴定點衛星或無線電，容易受天氣及外來攻擊影響，受惠於 Starlink 低軌衛星群，日本防衛省可用以強化太空防衛以確保通訊

安全，同時應用於強化遠洋船舶通訊及海上巡邏船通訊安全。2025 年海上保安廳計畫在 66 艘大型巡邏船及 4 艘水文測量船上採用 SpaceX 的 Starlink 低軌衛星服務，強化尖閣諸島（釣魚島）附近海域的通訊能力，並於次年再增 16 艘巡邏船。

在推動商業部門應用部分，過去客船使用 Wi-Fi 主要依賴沿海基地台，僅限特定區域斷續使用，而 Starlink 能提供無死角高速網路，最高達 220 Mbps，支持乘客瀏覽網頁、追劇、遊戲及視訊通話，提升長途海上娛樂與連線體驗。日本大型電信公司 KDDI 與 SpaceX 合作，2025 年正式在東京九州渡輪「濱鶴號」（Hamayu）上推出 Starlink 低軌衛星免費 Wi-Fi 服務，使用於從東京南部橫須賀至西南部新門司航線，全程近 21 小時，可服務近 300 名乘客。

### (3)日本大阪灣導入案例

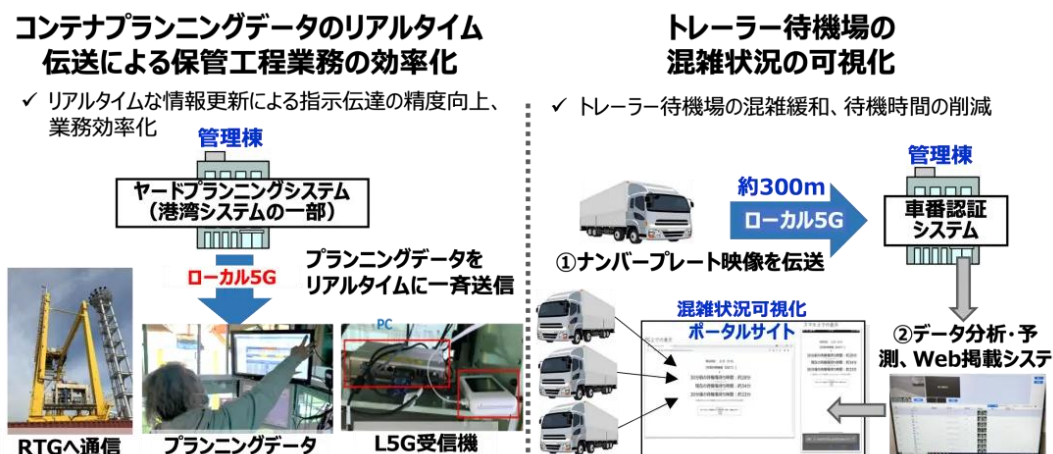
大阪灣是日本指定的五個「國際戰略港口」之一，為提升其功能並維護和拓展國際航線，同時因應港口勞動力短缺問題，港口營運智慧化已成為當務之急。因此，日本電報電話西日本公司（NTT West Japan）與大阪市港務局聯合成立聯盟，利用日本總務省「以 5G 等技術解決本地問題為導向的開發示範項目」，建構本地 5G 通訊網路，推動港口營運數位轉型。該聯盟建議應透過數位化降低成本如減少紙張列印，並透過遠端操作提高工作安全，但當前通訊基礎設施容量不足以實現這些目標，甚至阻礙數位化進程，因此 2021 年啟動開發示範計畫，第一步即是建立一個能夠實現高度安全、高速和高容量通訊的本地 5G 網路。

2021-2022 年，夢島貨櫃碼頭有限公司（2025 年大阪關西博覽會的舉辦地）啟動相關示範計畫，示範計畫中利用本地 5G 通訊網路將營運計劃數位化，貨櫃碼頭 23 台輪胎式龍門起重機，過去須依照紙本指令在指定地點和時間進行卸貨和貨物存放，然而計劃每天會持續變更，而更新資訊都是在辦公室用紙筆記錄，再分發給每位起重機操作員，計畫嘗試資訊數位化，利用櫃場規劃系統產生作業指令，系統所生成的資料透過起重機上的 5G 接收設備即時接收規劃資料，使操作員能即時掌握變更，並提高作業精準度。

另一項目是使用 Local 5G 將拖車壅塞情形可視化流程，在拖車待機場架設攝影設備，透過將影像傳回後端，再由「車牌認證系統」進行車牌辨識，產生車流資料（進場、排隊、等待狀態等）。車牌辨識結果與影像資料同步輸入後端分析模組，用於推估即時車流、排隊長度、平均等待時間等壅塞指標。分析後的資訊顯示於「壅塞狀況可視化入口網站」，提供操作員與卡車司機查詢，

使碼頭可調控作業節奏，司機亦可規劃進場時段，減少不必要的等待，計畫相關資料如圖 4。

為解決在貨櫃間狹小空間內進行資料傳輸和接收挑戰，示範計畫的主要目標是建造覆蓋整個碼頭的本地 5G 通訊網路，成功建立覆蓋整個碼頭的本地 5G 通訊網路，驗證智慧眼鏡能夠提供遠端貨損檢查，足以提供遠端操作所需的通訊安全，且在拖車等候區提前準備裝貨貨櫃的車牌資訊幾乎完全清晰可讀。



資料來源：日本總務省[8]。

圖 4 即時傳輸貨櫃規劃資料等

此計畫由日本 NTT 西日本、NTT Business Solutions、夢島貨櫃碼頭有限公司、多家數位技術公司及大阪市港務局合作推動(成員及任務如表 6)，透過示範計畫建立本地 5G 的安裝和運作以及各種應用的各種技術方法，未來都可應用於大阪港其他貨櫃碼頭和其他港口。

表 6 示範計畫成員與角色任務

組織名稱	主要角色任務
日本電報電話西電公司	<ul style="list-style-type: none"> <li>負責整個專案的統籌管理</li> <li>設計、採購、建造和營運示範系統</li> <li>利用示範成果，向其他港口營運商推廣和介紹該系統</li> <li>為旨在實現港口運營數位轉型的各項政策考量提供知識支持</li> </ul>
夢島貨櫃碼頭有限公司	<ul style="list-style-type: none"> <li>提供示範場地</li> <li>識別港口運作中的問題並提供相關經驗</li> <li>評估並實施問題示範，並考慮自主營運</li> </ul>

三菱 Logisnext 株式會社	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 開展示範</li> <li>• 識別問題並提供港口營運系統相關知識</li> <li>• 識別問題並提供其他相關系統和貨物裝卸設備相關知識</li> <li>• 將系統推廣其他港口營運商。</li> </ul>
京瓷通訊系統株式會社	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 相關設備的採購、設計、配置、運行和技術演示，包括規劃、測量、分析、考慮和評估</li> <li>• 區域設計考慮</li> </ul>
NTT Business Solutions Corporation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 促進本地 5G 普及的措施</li> <li>• 推動其他港口營運商擴展</li> </ul>
阪神國際港股份有限公司	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 提供阪神港貨櫃碼頭和港口系統存在的問題並提供相關知識</li> <li>• 推動擴展到阪神港的其他碼頭</li> </ul>
大阪港務局	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 提供示範場地</li> <li>• 調整示範場地週邊道路的使用</li> <li>• 考慮擴展到大阪港的其他碼頭</li> </ul>

資料來源：日本總務省[8]。

## 4.2 德國

德國以製造工業聞名，為確保在工業 4.0 的國際競爭中維持領導地位，德國政府於 2019 年底，在電信業者普遍反對的情況下，仍率先釋出 3.7–3.8 GHz 工業專用頻段，成為全球第一個開放企業可自建 5G 私網的大型工業國家。面對智慧工廠對低延遲、高可靠通訊需求快速增加，其政府嘗試以 5G 網路解決過去 Wi-Fi 在工廠內切換不穩定的瓶頸，並將新世代網路視為突破工業 4.0 既有限制的關鍵契機。德國數位經濟部門認為，企業自建 5G 專網將大幅降低資安風險，使網路完全獨立於外部商用網路之外。受此政策鼓舞，德國主要製造業、汽車零組件廠與物流業者迅速展開 5G 私網部署，逐步形成自主掌控關鍵通訊資源、降低對電信業者依賴的產業趨勢。這趨勢也同樣展現在德國推動港口的工業專網（Campus Network）及場域實證的政策發展中，展現出高度制度化、技術成熟度與跨域協作能量，形成兼具政策穩定性與創新彈性的推廣模式。

### (1) 「港口數位測試場域 (DigiTest)」資助指導方針

自 2021 年起，德國聯邦數位與交通部 (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, BMDV) 藉由最新發佈的港口數位測試場域 (DigiTest) 資助指導方針，投入資源在港區內建立技術數位基礎設施，以協助在真實條件下測試和開發創新物流方案。

由於港口內的數位測試場域面臨的挑戰來自於所涉流程的高度複雜性，不僅需整合多種運輸方式，還需涵蓋自動化的移動、倉儲與裝卸作業，因此透過關鍵數位基礎設施之應用潛力，包括流程加速、效率提升，以及全新形式的物流流程管理模式等。計畫只補助基礎設施建置類計畫 (不包括純軟體開發或研究性質計畫)，可資助建設或升級數位基礎設施的關鍵數位基礎設施包括 IT 基礎設施、智慧網路控制系統、中央港口管理與監控系統、數位通訊基礎設施、無線電基礎設施、光纖網路、5G 網路以及低功率廣域網路 (LoRaWAN)，以建立物流 4.0 的創新實驗的測試場域，這些技術對於實現多模式交通管理、即時交通和基礎設施管理、交通工具之間的數位通訊、感測器和無人機輔助監控、自動化和自動駕駛、透過雲端解決方案和物聯網 (IoT) 提高供應鏈透明度，以及貨物和機械的即時監控至關重要。

DigiTest 政策框架，不僅支援港口進行數位基礎設施建設，並希望進一步推動港口轉型為數據樞紐 (Data Hubs)。該指導方針同時搭配 BMDV 另一項資助計畫為措施創新港口技術計畫 (IHATEC II) [8]，兩者相輔相成推動發展智慧港口，透過此方式建立創新港口技術研究與開發項目的基礎條件。原訂於 2024 年退場的計畫延長至 2025 年，BMDV 公告新一輪資助徵案，申請對象包括港口經營單位、企業機構 (科技公司或工程顧問) 及研究機構 (如大學或應用研究中心)，應用面向整理如下列三大主軸於表 7 所示。

表 7 創新港口技術計畫 (IHATEC II) 應用主軸

應用主軸	內容	應用項目
交通與基礎設施管理	整合多種運輸方式，優化港區內外的交通流	<ul style="list-style-type: none"><li>● 多式聯運交通管理</li><li>● 數位化交通流模擬與監控 (含 5G、感測器、AI 應用)</li><li>● 即時資訊平台與虛擬標示技術</li></ul>
自動化與自	部署自動導引車 (AGV)	<ul style="list-style-type: none"><li>● 自動駕駛設備與車輛 (如港口</li></ul>

主運輸	與 5G 通訊技術，進行自動化運輸與裝卸	吊車、堆高機) ● 無人船舶、水下檢測裝置等自主航運系統
供應鏈數位化、數據應用及行政流程數位化	提升港口內外物流流程透明度與效率，簡化報關、計費與通關等行政程序	● 即時貨物流追蹤與智慧貨櫃管理 ● 資料交換平台、智慧倉儲與機器決策支援 ● 數位報關與行政流程簡化

資料來源：創新港口技術計畫[9]。

目前有多項進行中的數位測試場域項目，包括建立 5G 園區網絡，實現自動化物流與即時數據管理。部署感測器與數位監控系統，提升港口運營效率、開發平台即服務（Platform as a Service）解決方案，支援智慧港口應用。建立 5G 園區網絡，實現部分自動化的貨櫃處理與數位化的碼頭管理。

在補助機制部分，DigiTest 補助目的用於建立「可長期運作的數位港口測試場域」之基礎建設補助制度，提高港區布建 5G、光纖、IoT、感測與數位交通管理系統，使企業能在真實條件下測試 Logistik 4.0 技術，強調政府負責創新測試場域的建置成本，以降低港務局與企業進入門檻，而港務局與企業則負責後續長期營運，使場域可持續運作。另一項 IHATEC II 計畫，聚焦於研發與實驗性開發等技術創新，強化創新能力、流程與技術開發的工具，而非基礎建設維運機制，以下挑選數個正在執行的案例。

#### **i.5G 港口遠端控制與貨櫃網路 (PROCON-5G)**

漢堡港執行創新試點計畫中一項稱為 5G 在港口遠端操作和貨櫃網路計畫（Port Remote Operations and Container Network with 5G, PROCON-5G）[9]，透過 5G 技術強化港口數位化與自動化能力，總經費約為 230 萬歐元，預計執行至 2026 年。由漢堡港口與物流股份公司（HHLA）主導，實施地點在漢堡港的阿爾滕韋爾德貨櫃碼頭（Container Terminal Altenwerder, CTA）。

此計畫面臨之挑戰在建構所有物理與數位設備間的數據傳輸，該計畫在 CTA 自動化貨櫃碼頭建置 5G 園區網路(5G campus networks)，採用獨立於傳統電信商的網路架構，提升碼頭通訊系統的穩定性與可靠性供其他港口物流企業試驗應用。測試包括整合不同運輸方式、自動化移動、倉儲與裝卸流程、自動化設備操作、移動式維護、遠端監控等。計畫實施步驟從分析既有基礎設施開

始，規劃 5G 無線網與光纖骨幹，選購並安裝必要 5G 組件，建置全面管理與監控工具。

表 8 PROCON-5G 測試場域應用項目

分類	具體應用內容
設施監控與維運	即時監控系統及預警與預測性維修
物流優化	優化物流流程，包括運輸、裝卸、堆放儲存作業
智慧運輸應用	自動駕駛技術（港區運輸車輛）
數據應用	數據蒐集與回傳（強化即時性與透明度）
開放試驗機會	為第三方提供技術測試平台

資料來源：5G 在港口遠端操作和貨櫃網路計畫（PROCON-5G）[10]。

### ii.5G 行動網路架構的實地測試 Mobile Network Architecture(MoNArch- 5G)

MoNArch- 5G[11]計畫為歐盟 Horizon 2020 框架研究項目，於漢堡港進行 5G 行動網路架構的實地測試，計畫主導與執行單位為漢堡港務局(Hamburg Port Authority, HPA)，提供港區測試環境與應用場景，負責整合交通管理、環境監控與基礎設施維運需求，而德國電信（Deutsche Telekom AG）負責建置並營運 5G 網路基礎設施，安裝 5G 基地台，部署並測試網路切片功能。其他參與者涵蓋技術研發與學術機構，包括 Nokia Bell Labs 提供核心 5G 技術與架構設計，特別是網路切片（Network Slicing）解決方案。凱撒勞滕大學（University of Kaiserslautern）協助進行系統模擬與技術效益評估。德勒斯登工業大學（Technische Universität Dresden）研究 5G 於智慧基礎建設與 AR 應用的整合實作。

該計畫部署兩項技術，一是基地台設置，在漢堡電視塔上方 150 公尺處安裝了 5G 發射器，覆蓋約 8,000 公頃的港口測試區域，另一是網路切片，建立多個虛擬網路切片，以滿足不同應用需求的通訊穩定性與安全性，如交通控制、環境監測及資產維護等。測試計畫應用場景歸納為三項分別為 (1)結合 IoT 監測交通管理，透過 5G 網路連接港口內的交通號誌，支援即時交通流量控制與調度。(2)環境監測目的，在移動船舶安裝感測器，即時蒐集並傳輸空氣品質等環境數據。(3)基礎設施維護，利用擴增實境（AR）技術，協助工程師進行現場設施檢查與維護。

建置兩個測試平台為漢堡智慧海港（Smart Sea Port）和杜林旅遊城市（Touristic City），漢堡智慧海港測試平台專注於需要高可靠性、彈性和安全性的工業應用案例。另杜林旅遊城市（Touristic City）測試平台解決了媒體與娛樂應

用案例，利用 VR 頭戴裝置提供 360°影片，以及即時客戶端-伺服器通訊（例如 VoIP、多使用者互動）的互動式 VR 博物館參觀。

### iii.港口即服務 (Port-As-A-Service, PAAS)

建構數位測試場域，提供 5G、資料共享與自主貨櫃運輸的「即服務」技術。在漢堡、不萊梅港和威廉港貨櫃碼頭建置 5G 網路，包含公共區段 (Public Slice) 與專網區段 (Private Slice)，同時建立雲端資料共享平台 (Data-Sharing Platform)，並擴充整合既有介面用於自駕的貨櫃短程轉運 (Autonomous Drayage)，且提供強化資訊安全措施。此 5G 基礎設施，連同數位資料共享平台和用於管理自動卡車貨櫃轉運的擴展介面，目的在支援德國海港的數位轉型和自動化，提高競爭力、解決技術勞動力短缺並促進永續性。三個港口的 5G 網路將分階段建置，自 2024 年起，開放公共 5G 區段供創新應用測試，並開始提供使用資料共享平台中的匿名數據，開放可接入自主貨櫃轉運之介面，測試自駕運輸整合應用。

### iv.PORTABLE 5.0 中小型港口數位轉型與 5G 應用計畫

相較於前述計畫，此計畫主要針對德國中小型港口，建置 5G 私有網路與數位測試場域，進行創新應用試驗，以私人 5G 園區網路為基礎 (private campus networks)，在不同港口測試不同應用情境。威斯馬海港 (Wismar) 聚焦於散裝貨船的自動化裝卸、斯特拉爾松港 (Stralsund) 聚焦於即時調度的流程優化、卡爾斯魯厄內陸港 (Karlsruhe) 聚焦於港口流程的數位管理等，針對多樣應用情境進行實驗，發揮示範與擴散效果，後續推廣至德國其他港口。5G 行動通訊被認定為一種適合的技術基礎，用於近乎即時的資料傳輸，這對於改進物流和運輸流程效率至關重要。計畫初期進行基礎分析與 5G 網路規劃，根據各港口需求建置客製化的技術設備，於 2023 年春季啟用首批應用場景 (如自動化裝卸)，並部分開放供第三方測試創新 5G 應用，測試場域重點應用與開放試驗項目如下表。

表 9 PORTABLE 5.0 測試重點主題與開放試驗項目

重點測試主題	開放試驗項目
物流優化與數位轉型	改善港區內外物流作業效率與流程整合 (含貨櫃裝卸、運輸、調度)
基礎設施監控與管理	即時監控系統，提升港口基礎與超結構的可視性與反應能力 感測器輔助的預測性維護管理，降低設施故障風險
智慧交通應用	港區內自駕與自動駕駛技術應用 (如自動引導車、無人牽引車)

數據應用與行動裝置整合	移動裝置數據收集與即時回傳，用於追蹤、調度、資訊整合等應用
-------------	-------------------------------

資料來源：PORTABLE 5.0[12]。

## (2)軌道衛星應用於航港領域案例

目前主要應用於船舶通訊與船員福利，聚焦軍事與商業船隊，應用案例包括德國航運公司 Orion Reederei 散裝船隊，自 2024 年起陸續在其船隊上加裝 Starlink 低軌衛星寬頻系統，讓船舶成為真正的「連網節點」，提升船上連線能力，提升船員通訊、船岸資料交換以及數位化營運等面向效率，進行「船隊數位轉型」。例如船隊管理系統可在航行期間穩定上傳機械運作數據、燃油效率資訊、排放紀錄等營運資料，而岸端團隊也能立即收到船上異常狀況，降低維修延誤風險。此外船員得以在海上保持與家人的聯繫，成為吸引新進船員的重要因素。技術部署方面，是將 Starlink 終端設備整合至既有的船舶 IT 與衛星通訊架構中，形成一套可同時利用 LEO 衛星與傳統 GEO/MEO 系統的混合式架構，以確保在不同海域仍具備足夠的韌性與備援能力。未來將可支援更多先進應用，包括更即時的航行監控、能源效率優化、機械預測維護 (predictive maintenance)、遠端支援、以及更精準的安全監測等。

另外德國航運公司 F. A. Vinnen & Co. 自 2025 年起在其貨櫃船測試「多軌道衛星通訊整合系統」，將低、中與高軌衛星進行頻寬整合/聚合 (bonded)，結合 LEO 的高速與低延遲、MEO 的高吞吐量，以及 GEO 網路的廣覆蓋與穩定性等優點。這項試驗反映航運業開始提高對混合軌道通訊架構的需求，特別在船隊數位化、船員福利、營運效率與強化海事資安需求等面向。

此套多軌道系統能同時連接包括 Starlink 與 OneWeb 多家服務商，同時也可支援 Inmarsat 或其他 GEO/MEO 衛星，讓船舶不須在不同衛星之間切換，而是能同時使用多路通訊並動態分配頻寬，使船舶即便在高緯度或天候不良條件下，仍能保持穩定且高可用性的連線品質。試驗目的不僅是提升連線速度，而是要建立一個具韌性的網路，支援越來越多需要即時回傳的數位服務，例如主機運轉資料、船舶性能監測、碳排放與燃油效率追蹤，以及符合監管要求的即時回報。此外，高頻寬也讓船員能在海上更輕鬆使用視訊、社群平台與串流服務，被視為提升船上生活品質與船員招募的重要工具。

德國航運公司赫伯羅特 (Hapag-Lloyd) 隨著船舶自動化、航行監控與碳排放管控需求日增，自 2024 起在其船隊中積極部署低軌衛星通訊設備，用於多項核心功能，包括船岸資料回傳、航行狀態同步、設備監測與維修支援，使岸

端能更快速判斷船舶狀況，也提升預防性維護與營運決策的準確度。此外即時的資料流通有助於提升調度效率、縮短異常反應時間，並強化整體營運透明度，同時顯著改善船員福利。赫伯羅特亦採用「混合通信模式」，在 LEO 與傳統衛星間形成交互補強，使船舶在不同海域、氣候條件下仍可維持穩定連線。

從德國航運公司陸續導入 LEO 案例，反映隨著船舶自動化、航行監控與碳排管控需求日增，低軌衛星已成為國際航運提升營運效率、強化安全與改善船員福利的重要趨勢。

## 4.3 其他港口應用案例

### (1) 拉脫維亞里加港口 (Port of Riga)

拉脫維亞移動技術公司 LMT 與拉脫維亞港口技術服務商 LVR Fleet 合作，在里加港成功測試了 5G 即時連接技術，涵蓋岸對船、船對船及船對無人機的應用。

該示範於 2024 年 7 月在拉脫維亞里加港舉行，展示完整的 5G 多跳 (multi-hop) 技術<sup>8</sup>，允許 5G 在數艘船舶間傳遞，並確保從岸到船、船對船以及船對無人機之間的穩定連接。示範是透過一艘 DORE 試點船與冰船 VARMA 進行 5G 通訊，且同步與水面無人船及無人機進行視頻傳輸及海床測量資料傳輸。此次 5G 解決方案目的在實驗近岸大數據即時傳輸能力，驗證數據交流效率及無人船和無人機控制能力。5G 核心系統搭建里加港的私有 5G 網絡，實現全港範圍的高速連接與自動化操控，支持如自動化無人機檢查、海水質量監測及油污收集等場景，促進港口數位及綠色發展。

「波羅的海無縫 5G 連接 (Seamless 5G Connectivity in the Baltic Sea)」計畫是由港口技術服務供應商 LVR Flote 和 5G 行動網路營運商 LMT 共同開展的跨產業合作計畫，透過確保 5G 網路在公海覆蓋，提升海上通訊能力。滿足海上作業中即時、大容量數據交換的需求，從而提高行業效率、減少環境影響並開拓新的應用場景。

此專案開發了多跳概念—5G 網路訊號在船舶間傳遞，實現岸船通訊和船船通訊。計畫設想將船舶打造為漂浮基地台，在公海建構動態 5G 網路。這將為部署自主船舶、無人水面艇和其他創新技術提供海上基礎設施。此外，它還

---

<sup>8</sup> 多跳 (multi-hop) 是指在網路通訊中，資料從來源節點傳送到目標節點時，需要經過多個中間節點的轉送。每個中間節點不僅接收數據，還負責將資料傳遞到下一個節點。

將新應用場景，例如即時污染監測與控制等港口作業自動化。



資料來源：LVR Flote[13]。

圖 5 拉脫維亞里加港口 5G 測試

其中一個應用場景是 LVR Flote 所進行的水文測量，這些測量需要大量的數據傳輸，5G 網路實現船舶、無人水面艇及沿岸間順暢的通訊。

多跳概念於 2023 年 11 月在裡加港成功測試，測試平台為 LVR Flote 公司的船舶「LIVA」號一波羅的海首艘配備 5G 技術的船舶。目前正在進行更多測試，以探討訊號在水面上的傳輸距離，從而確定實現無縫 5G 覆蓋所需的船舶密度。該計畫的長期目標是與該地區最大的港口和利益相關者攜手合作，在波羅的海及其他地區建立一個互聯的海上生態系統。

## (2) 克羅埃西亞里耶卡港(Rijeka port)

里耶卡貨櫃碼頭公司(Rijeka Gateway Terminal)是由 APM 碼頭與 ENNA 集團合資成立的港口經營公司，在該碼頭部署 5G 專網園區網路(private 5G campus network)，透過與克羅埃西亞電信公司 Hrvatski Telekom(HT)合作，採用先進的 5G 獨立組網 (5G SA) 架構，用以進行遠端操控多種港口設備，包括起重機 (Ship-to-Shore cranes)、堆高機及拖車等，提升港口的自動化和數位化管理效能，該 5G 網路結合公共和私用切片技術，提升通訊的可靠性和靈活性。

Rijeka Gateway 是一個全新的碼頭，在 2024 年 4 月宣布將安裝 60 多組電動貨櫃裝卸設備，該碼頭沒有現有 LTE 網路，是 HT 第一個部屬獨立組網 (SA) 架構的碼頭，2025 年正式營運後，已採用 HT 公共網路進行遠端操控，使碼頭成為首個利用 HT 公共網路切片的碼頭。

此計畫由 HT 提供託管式服務 (Managed Service) 模式，由 HT 負責從建設、管理到運營監控，一站式交付。Rijeka Gateway Terminal 貨櫃碼頭公司不自行建設與維護通訊網路，僅需向電信商租用頻寬／連線能力 (Connectivity-as-a-Service)，就能專注於自動化操作與物流管理。這種模式常稱為「Network-as-a-Service (NaaS)」或「5G Managed Campus Network」，是智慧製造、機場與港口等工業場域最常見的做法。

下表顯示傳統模式與託管式模式服務差異比較，在技術層面由電信商提供專網或網路切片，保障低延遲、高可靠性，港口不自建，採取租賃或服務訂閱制，可降低碼頭投資負擔，促進電信商參與智慧港口計畫，且電信商可持續升級技術，確保效率與資安維運。

表 10 傳統模式與託管式模式服務差異比較

傳統模式 (自建專網)	託管式服務 (Managed Service)
港口需自行建置基地台、核心網、資安系統	由電信業者代建、代維運
需投入高額 CapEx (資本支出)	改為 OpEx (租用制、月費制)
港口需聘請 ICT 團隊維護	電信商負責網管與資安
升級周期長、技術整合難	享有電信商最新技術 (如 slicing、AI 監控)

資料來源：本研究整理。

### (3)新加坡大士港 (Tuas Port)

新加坡電信 (Singtel) 與愛立信 (Ericsson) 合作，在新加坡大士港 (Tuas Port) 部署先進 5G 連接解決方案，支援新加坡港口達成 2040 年成為全球最大全自動化港口的目標。

此次 5G 部署涵蓋遠端操作控制設備，包括升級自動導引車 (AGVs) 及遠端遙控起重機，實現高速度、大頻寬及低延遲的即時通信，提升港口操作效率與安全性。這些設備的 5G 連接讓 AGVs 於 2025 年起能獨立運輸貨櫃，並支援起重機遠端高精度作業。

Singtel 啟用的 5G 網路切片技術確保碼頭能全天候穩定運作，同時建立安全的私有 5G 網路，以防止資料外洩及非授權存取，未來大士港還將應用 5G 技術在預測性維護方面，包括利用無人機監測設備狀態，以及延展實境(XR)技術輔助維護和操作，提高維護效率與降低故障風險。PSA 目標在 2040 年達成每年處理 6500 萬 TEUs，而 5G 是實現該目標的關鍵技術保障促進即時貨物追

蹤數據處理，優化碼頭調度與資源利用。

為讓大士港成為支援全球轉運需求的「世界最大全自動港口」之一，並強化其智慧港口、數位化營運的品牌形象，港口自動化升級（如 AGV、遠端起重機）是 5G 在港口應用的重要入口，PSA 導入 5G 不僅是技術更新，也是營運模式與資本支出模式改變，從人力轉至自動裝置、從大量人員操作轉為遠端監控。

## 4.4 我國

我國在推動次世代通訊技術的政策架構，主要由經濟部、數位部與交通部分工合作，共同形塑 6G、B5G、AIoT 與衛星通訊的產業與場域發展環境。三部會雖然各自擁有不同推動主軸，但對於應用於智慧港口、智慧航運與供應鏈數位化等領域仍可形成互補能量。然而相較於前述日本透過 Local 5G 對港區提供制度性專網與場域補助、以及德國透過 DigiTest 建立港區專屬數位測試場域，我國推動模式仍以個別場域實證與技術導入為主，尚未形成跨港口一致性的制度框架。

本節蒐集經濟部、數位部與交通部推動計畫，並依據政策定位、技術推動與基礎建設、與港口之關聯等三段架構進行說明。此外因低軌道衛星將成為次世代通訊應用於航運領域的新推動力，因此最後針對我國推動衛星通訊應用服務產業進行目前發展趨勢之蒐整。

### 4.4.1 經濟部

#### (1) 政策定位

經濟部在我國次世代通訊技術推動中屬於推動產業發展與建構產業生態系之主導部會，自 110 年起，透過多項跨領域補助及示範計畫，逐步建立 5G 與 AIoT 商用化環境。其核心目標在於促進先進技術落地，並透過應用實證與商轉機制，建構可持續擴散的創新生態系。經濟部的政策具高度技術導向，不僅著重 5G 與 AIoT 技術本身，也致力於建構從晶片、模組、設備、系統整合到應用服務的完整國家產業鏈。這種產業面向的政策定位，使經濟部在次世代通訊的角色不是單純推動網路，而是建立一個可支援跨產業智慧應用的創新生態。

#### (2) 技術推動與基礎建設

推動的「擴大中小企業 5G 創新服務應用計畫」，而工業局（現產業發展

署) 主導的「亞灣 5G AIoT 創新科技應用計畫」則以高雄為核心示範區，整合製造、醫療、觀光與公共場域應用，另外推動「太空產業供應鏈暨網通產業新星飛揚計畫」，擴大至低軌衛星與非地面網路領域，鏈結 5G 與太空產業供應鏈發展。

#### i. 經濟部中小及新創企業署-擴大中小企業 5G 創新服務應用計畫 (110~114 年)

聚焦於以需求導向方式協助中小企業導入 5G 創新服務，研擬 5 年發展藍圖如圖 6，因為要最佳發揮 5G 優勢需依賴 5G SA 架構，並結合網路切片技術來提供服務，但這些需要電信業者不斷投入相當昂貴的基礎網路建設，透過推動藍圖，可隨推廣及技術演進進程，逐步推動。



資料來源：經濟部中小及新創企業署(2025) [14]。

圖 6 擴大中小企業 5G 創新服務應用計畫 (110~114 年) 藍圖

藍圖以需求出發、技術導入、示範驗證、擴大普及為主軸，逐步推動中小企業建立 5G 能量。以產業需求為核心，設計與研發 5G 創新服務，擴大創新應用場域，建立可複製之 5G 服務範本 (中小及新創企業署, 2025)。各階段推動主軸，在 110 至 111 年為場域開拓到應用驗證，「應用場域驗證」為推動主軸加強發展特色場域；112 至 113 年進入服務研發，建構以智慧行銷或智慧體驗為主之 5G 創新服務應用(如 5G 虛擬商城、AR 互動遊戲、跨螢/多螢互動、虛擬推銷員...等)，藉此優化中小企業在商業服務及經營管理的能量，以及串聯中小企業 5G 應用方案，例如店鋪智慧商品管理、即時客製化體驗、延展實境(XR)、沉浸式體驗、智慧園區管理服務等，發展 5G 多元服務，以「5G 創新應用」為推動主軸，形成可擴散之解決方案，114 年則以 5G 應用複製擴散為

推動主軸，推動跨領域或跨場域擴散，整合場域經營、商業服務、資訊軟硬體業者促成 5G 價值鏈團隊。

## ii. 亞灣 5G AIoT 創新科技應用計畫

亞洲新灣區 5G AIoT 創新園區是結合高雄市政府、經濟部、交通部、國發會、通傳會及文化部等跨部會能量，投入園區開發、人才中心、新創基地、5G AIoT 智慧設施，自 110 年起預計 6 年內總計投入超過 100 億元。

計畫以高雄亞灣區為核心，目的在建構具備 5G 與 AIoT 融合應用之創新科技實證環境，促進新興科技於城市生活、產業創新及公共服務場域之實際落地應用。計畫自 111 年起推動，透過分階段執行策略，逐步擴展實證範疇，形成高雄地區智慧應用生態系統之示範基地。111 年主要推動 5G AIoT 技術落地生根，執行重點包括：開發觀光遊船 AI 跨屏導覽系統雛型、建置自主移動機器人（Autonomous Mobile Robot, AMR）無人送餐物流服務、推動製造產線智慧化升級方案，並完成衛武營 3D 顯示互動系統建構。透過技術導入與場域整合，初步展現 5G 與 AIoT 技術結合於觀光、服務與製造產業的多元應用潛能。113 年執行成果著重於法人既有技術成果之在地導入與實際場域驗證。具體成果包括於亞灣餐酒館導入 5G 智慧顯示互動系統、於高雄榮民總醫院導入自主移動機器人(AMR)協助醫療器材運送、攜手電子製造業者晶傑達導入 5G AIoT 技術於 LCD 車載面板設備監診應用實證，並開發可偵測 3 毫米管線破口的微小洩漏偵測技術，導入於中油大林廠與林園廠區。此外，亦完成 5G 動物追蹤導覽系統之開發與導入，應用於高雄壽山動物園，進一步拓展 5G AIoT 技術於文化觀光、生醫物流及產業安全監測等多元場域之應用深度。

綜合觀之，本計畫以高雄亞灣區為核心推動 5G AIoT 實證環境建置，透過多場域應用逐步驗證技術成熟度與跨域整合能力。從旅運、製造、醫療到公共安全等不同面向的實證成果，不僅展現 5G 專網與 AIoT 技術於多元產業的可行性，也為未來港區智慧化轉型奠定技術基礎。雖部分應用場域（如餐飲、醫療及文化場域）與航港產業之直接關聯度相對有限，但其核心技術架構，如高可靠度專網通訊、AI 影像分析、AMR 自主派遣、邊緣運算與即時監測等，未來可移植至港口自動化、智慧物流、設備維運及環境監控等系統。

整體而言，該計畫所形成之技術成果與營運模式，對我國航港產業具有三項策略啟示：一是提供可參照之 5G 專網與 AIoT 整合架構，涵蓋網路建置、資料匯流、邊緣運算、設備管理與應用服務等五大核心層面，該架構可港區引用與擴充；二是提供港埠「智慧物流、設備維運、安全監測」可複製模組，智

慧物流模組以 5G 專網、AI 調度與自動化移動設備為核心，適用於港區內車流、貨流、堆場作業等高即時性流程，在設備維運部分，LCD 設備監診、AI 預警模型、3mm 微小洩漏偵測之技術能力，可使用至港埠大型機械及關鍵設施。安全監測模組，整合 AI 影像、環境感測、5G 邊緣運算之安全韌性架構，適用於港區營運、危險物料、防災等需求；三是提供跨場域整合與資料治理模式，港區本質即為高複雜跨域場域，目前港口資料分散於各系統，缺乏統一治理框架，港口所需求的技術（AI 辨識、感測整合、邊緣運算、事件預警）皆已在亞灣不同場域完成驗證，可透過此模式快速形成資料治理至跨域整合，結合 AI 決策的智慧港務營運體系邏輯。

### iii. 太空產業供應鏈暨網通產業新星飛揚計畫

經濟部產業發展署推出「太空產業供應鏈暨網通產業新星飛揚計畫」，已執行兩年度（2024、2025），前身還包含太空產業供應鏈發展計畫及 5G 新星揚帆啟航計畫，並於每年辦理企業申請、產業說明會、技術工作坊等多種活動，用以強化我國太空與網通產業發展能量，以及推動國內廠商切入全球航太及衛星網通市場。

此計畫為促進培育 5G 與太空人才投入與產業研發接軌，促進衛星地面設備及供應鏈關鍵零組件的開發，並透過多軌道衛星及非地面網路跨域應用與實證，強化產業設備整合與驗證，加速國內廠商產品進入國際衛星產業鏈。本計畫針對低軌衛星部分積極引導本地企業投入開發「低軌衛星地面終端設備」及其關鍵零組件（包括晶片、模組、毫米波天線、射頻模組等），協助廠商建立終端產品系統整合及量產能力，透過補助及鼓勵國內企業結合製程設備與檢測技術，快速量產並驗證低軌衛星通訊終端天線系統，提升供應鏈速度與競爭力，讓台灣相關產品成功切入國際市場。另外透過場域實證，提供廠商能於特定場域（如地面、車用、海事、航空）部署低軌衛星終端設備，進行訊號對接實測與應用開發，強調系統整合能力及穩定性。

此計畫顯示我國正式將低軌衛星、非地面網路（NTN）視為戰略產業，其技術重點將影響未來船岸通訊、遠洋航運連網、港區備援通訊等應用範疇。

### (3) 與港口之關聯

經濟部在我國次世代通訊與數位產業政策中雖然並非直接負責港口管理的主管機關，但其持續推動的 5G、AIoT、邊緣運算與衛星通訊等技術與產業計畫，實際上構成智慧港口發展不可或缺的技术基礎與模組化能力來源。港口

是一個高度複雜且跨領域的運作場域，其作業特性需要大量設備連線、即時影像分析、機具運動控制、環境監測以及跨單位資訊共享，這些需求均與經濟部所推動的科技計畫高度契合。透過經濟部建構的 AIoT 產業鏈、5G 專網設備技術、資料平台與感測模組，港口得以在既有 ICT 能量基礎上導入更高階的智慧化應用。

例如港口目前逐步推動的橋式機遠端監控、貨櫃影像 AI+OCR 辨識、櫃損自動判讀、拖車定位與車流管理等應用，本質上均依賴高速率影像回傳、邊緣運算與 AI 模型部署，而這些能力正是經濟部推動「擴大中小企業 5G 創新應用計畫」及「亞灣 5G AIoT 創新計畫」所累積的典型成果。換言之，雖然這些計畫焦點並非專門針對港口，但其建立的技術模組，如 AI 影像分析平台、IoT 感測網、5G 專網架構與低延遲控制能力，已成為港口得以快速導入智慧作業的共同底層。這種高度可複製的技術模組性，使經濟部的科技計畫成為港口智慧化最重要的技術供應端。

此外，經濟部推動的太空產業供應鏈與非地面網路（NTN）發展策略，也與港口通訊韌性和船岸資料交換需求直接相關。港口做為關鍵基礎設施，在極端天候、突發事故或高流量運作時，必須確保通訊不中斷，而低軌衛星提供的備援能力正好補足港區通訊的脆弱環節。未來船舶若能透過衛星與岸端進行高頻寬資料交換，將有助於強化即時航行資訊、船舶狀態監控與港口靠泊協調，而相關設備與系統整合能力正來自經濟部所培育的衛星與網通產業鏈。也因此，經濟部的政策推動不僅支援港口本身的智慧化運作，更直接擴展至整體航運系統的通訊升級，讓航港資訊流從港內延伸至海上，強化整體航運數位治理能力。

#### 4.4.2 數位發展部

##### (1) 政策定位

數位發展部作為我國通訊政策的主管機關，其主要任務涵蓋通訊頻譜管理、5G/6G 技術規劃、國家數位韌性、資料治理標準，以及跨域通訊應用之政策制度建構，是我國推動次世代行動通訊與智慧基礎建設最核心的部會。相較於經濟部以產業驅動為主、交通部以場域推動為主，數位發展部則掌管整體通訊技術的「國家級基礎架構」與「制度框架」，其政策定位更接近日本總務省與德國聯邦數位暨交通部（BMDV）在 5G/6G 推動中的角色。

數位發展部在近年推動三項關鍵政策，包括「通訊傳播創新科技應用發展及基礎環境建置計畫」、「推動垂直應用場域實證與法規調適計畫」及「次世代

行動創新應用賦能發展計畫」，從底層通訊基礎建設、專網與法規制度，到高階應用整合與自主研發技術，形成一個涵蓋制度、頻譜、網路韌性與應用落地的完整政策網絡。其政策定位不僅關係到全國通訊網路的安全，也直接影響 5G 專網、B5G、6G 以及低軌衛星等技術如何導入到高需求場域，例如港口、機場、物流園區及關鍵基礎設施。

在國際對照上，日本之所以能快速發展 Local 5G，關鍵在於政府設計完整的專網制度、頻譜配置與補助，而德國能建立 DigiTest 港口測試場域，也是因為聯邦政府負責通訊基礎的規範與建設。因此，數位發展部的角色相當於我國是否能複製日本與德國經驗的關鍵，尤其在專網制度、頻譜管理與低軌衛星整合方面的重要性極高。

## **(2)技術推動與基礎建設**

### **i.通訊傳播創新科技應用發展及基礎環境建置計畫**

本計畫於 111 年啟動，目的為建構我國通訊傳播應用可信任環境與數據交換價值鏈，作為通傳產業數位轉型基礎。此計畫的重點不在於特定產業，而是建構「全國可共同使用的底層通訊規範」，並強化 5G/AIoT 應用的可信任度與安全性，使其成為所有垂直應用基礎。

其推動重點包括，建置通訊應用可信任驗證制度，推動跨設備、跨平台的標準化與介接規範，以及建立資料交換機制與資安要求，透過資策會、電信技術中心等法人進行驗證與技術支援，透過驗證機制、標準化與跨界協作，為我國 5G 專網與 AIoT 應用建立可信任、可延展之制度與技術基礎，為後續垂直場域與自主應用提供基礎。結合電信業者、系統整合商、資服業及學研機構，推動跨領域合作與國際鏈結，透過不同場域的商業驗證與示範應用。

### **ii.推動垂直應用場域實證與法規調適計畫**

為推動我國 5G 垂直應用發展，數位發展部數位產業署 111 至 113 年以「5G 專頻專網法規與配套措施擬定」、「推動與協助 5G 專頻專網產業發展」為二大主軸，並成立「行動寬頻專網推動辦公室」，推動專網服務，提供產業諮詢、產業實地訪視服務、潛在場域實地輔導服務與供需產業媒合服務，以及申請輔導服務，同時做為辦理申辦查驗之專門窗口。

數位發展部自 112 年 6 月 5 日開放企業申請 5G 專網，截止 113 年止實際發照 59 案、短期設置等免發照則有 15 案，目前運作案件累計達 74 案，最大宗為智慧工廠類型，占比達 31.32%，其他類型包含智慧展演（占比 23.23%）、

應用整合測試場域（占比 8.8%）、智慧旅遊（占比 7.7%）與智慧教育（占比 6.6%）等。另至 114 年發照提升至 88 案，顯示 2025 年申辦家數有大幅增加趨勢。此外，特別值得注意的是，本計畫亦補助智慧港口 5G 專網建置，支持港區無人船巡檢與遠端監控應用，實現低延遲、高頻寬、高可靠性環境下的自動化作業，展現 5G 專網在港埠領域的落地成效，亦為未來智慧航運及物流應用奠定基礎。

### iii. 次世代行動創新應用賦能發展計畫

此計畫從技術端著手，強調自主研發與跨業整合，是未來 B5G 與 6G 能否掌握自主技術的關鍵。在結合 5G、AI、邊緣運算及物聯網技術，以多元場域示範方式推動新興行動應用服務落地。計畫內容分為四大分項，每一項皆透過特定技術模組與示範應用，帶動跨產業的創新服務發展。該計畫預計推動 4 大領域，如圖 7。

第一分項著重於智慧遠距教學與終身學習服務，透過智慧學習輔助系統、跨域更地化學習平台與教學服務場域建置，使遠距教育更具互動性、個人化與普及性。第二分項聚焦於立體視覺輔助導航巡房及會診服務，運用立體視角控制與視覺辨識，協助醫療巡房、會診與導航操作，並配合相關基地台建置，推動智慧醫療在行動環境中的應用。第三分項是節能電信網路應用服務，強調綠能網路管理與能源控制技術，並結合 AIoT、虛擬化平台與多元能源監控技術，以強化行動網路的節能效率與運作韌性。第四分項則以溫室作物精準栽培管理為核心，導入農業 AI 分析、環境感測、影像診斷與精準農業管理系統，推動智慧農業場域建置。



資料來源：數位發展部(2025) [15]。

圖 7 次世代行動創新應用賦能發展計畫 4 大領域

整體而言，本計畫透過四大應用分項鏈結醫療、教育、能源與農業等多元領域，展現次世代行動通訊技術在跨產業場域的示範效益，並透過基地台建置、平台開發與 AI 技術導入，提供促進我國行動創新應用持續擴散的重要基礎。

### (3)與港口之關聯

前述三項計畫，基礎建置計畫注重「網路與硬體底層」層面，由國家主導、規模最大，聚焦於建置、完善資通訊基礎環境，為創新應用提供技術底層支撐，促進設備互聯互通與數位轉型。行動賦能計畫聚焦「新興行動技術應用創新」，由產業與新創團隊推動，以核心技術為基礎引導產業界、學研單位聚焦於行動應用創新，協助新興產業發展、落地及產品商業化。垂直場域計畫則是在「特定產業場域」進行技術驗證與法規調適，由主管機關與相關方協作，強調政策與實務落地連結，在特定產業場域，例如智慧醫療、智慧交通、智慧製造等，進行創新科技應用的實證、驗證，同時針對創新應用進行法規調適與試點，降低市場落地障礙。

雖然數位發展部並不直接主導港務管理，整體而言三大計畫分別從制度基礎、通訊能力與智慧應用三個層面，形塑未來港口所需的核心理通環境。從低延遲控制的岸吊遠端操控、大量高畫質影像的即時處理、AI 驅動的危安預警，到無人化車隊的協同調度與跨港區資料平台的建置，都需要穩定的專網、完善的資料治理與高韌性通訊架構才能推動。也因此，這三大計畫共同構成我國智慧港口得以從個別示範擴展至跨港口整體升級的必要基礎。

#### 4.4.3 交通部

##### (1)政策定位

交通部在推動次世代通訊於港口與航運領域的應用中，扮演場域主導與需求定義的核心角色。相較於經濟部以技術研發與產業生態系為主、數位發展部負責通訊制度與基礎建設，交通部負責的則是港口與航運實際使用場域的推動，包括智慧港口、智慧航運、海事監理、物流鏈資訊整合、港口基礎設施升級、船岸通訊改善等領域。在此定位下，交通部推動的政策並非單純導入新技術，而是以改善港口作業瓶頸、提升航運資訊透明度、強化船岸通訊能力與支撐自動化設備為目的，逐步形成航港領域對次世代通訊的高度需求與場域動能。

從國際角度觀察，日本在 Local 5G 與實證場域推動的成功，源於場域需求明確定義；德國 DigiTest 能形成港區專屬測試場域，也仰賴交通主管部門的推動。我國交通部在此層面也具有天然優勢：因港務公司與航港局皆隸屬交

通部體系，使場域整合、資料開放、政策推廣與跨單位協作具高可行性，是未來智慧港口規模化的最關鍵推手。

## (2)技術推動與基礎建設

為協助產業進入交通部監督或轄管之場域進行 5G 創新應用之實證，交通部於 110 年首次辦理「5G 帶動智慧交通技術與服務創新及產業發展補助計畫」。

111 年核定中華電信「5G 智慧海港無人載具應用及 UTM 服務功能驗證計畫」，以基隆港為試驗場域，使用無人機、無人船、水下海事機器人等無人載具進行海上汙染巡檢及檢測海水是否受到油汙染，搭配 5G 企業專網傳輸、AI 智慧分析平台及建置 UTM 無人載具智慧監管平台，進行港區非法釣客告警、環境變異分析、碼頭防舷材檢測、水中油污及水深監測，以及水下岸壁檢測等項目。

此後中華電信在 112 年以高雄港、安平港及亞果遊艇碼頭為試驗場域，利用無人機、自主移動機器人(AMR)、水面無人載具(如無人船)以及 IoT 感測設備，建構整合陸海空全域無人載具的 5G 智慧巡檢解決方案。其中在空域部分，利用無人機整合 RTK 定位及 AI 辨識技術，自動飛行至指定的位置進行大範圍搜尋，可快速找到目標並投放救生圈；在海域部分，打造水面無人載具提供港灣垃圾及油污清理、即時水深量測等服務，翻轉以往透過人工打撈模式，保障人員安全且增加執行效率，IoT 油污監控結合油污感測器，定時回報水中油含量數值，進行監控告警，加強港灣對油污的監控，有效維護港灣生態環境；而在陸域上，自主移動機器人克服室外運輸路面崎嶇不平、爬坡斜道、窄道、邊緣未裝置護欄等環境，執行高標準定位的巡檢作業任務，並即時掌握運輸狀況與環境巡檢影像，加速智慧港灣物流自動化應用。此計畫建置「5G SMART PORT 無人載具智慧應用系統」，透過 5G 網路傳輸無人載具所蒐集的資料，進行 AI 智慧分析與監管，全面掌握港灣狀況，並結合 VR 虛擬情境，提供遊客觀光體驗。

另亞太電信則推動「運用先進 5G 通訊與多元低軌衛星打造智慧安全永續港灣計畫」，於台中港場域打造智慧港灣，全台最大離岸風電機組裝碼頭，船舶進出頻繁，運用多元低軌衛星技術，結合無人機進行偵測，透過 5G 將影像即時回傳到後端伺服器，藉由圖像 AI 辨識，進行船舶航跡預測及避碰預警、海洋油污偵測追蹤、機動式空品巡檢。

111 年核定由東立物流公司以臺北港為試驗場域，導入智慧化物流運輸車輛，並搭配智慧交通(AI 監控、車輛追蹤)、港區車聯網系統、數位雙生管理介

面及 5G 環境建構，輔助港區環境管理、車輛動態管控、文件物流運送及道路資產巡檢等工作，打造 5G 聯網的智慧安全港區。

此外遠傳結合 5G 科技及雲端技術，在高雄港旅運中心打造 5G 智慧旅運服務，協助建置觀光大數據，提供旅客在下船後，透過網頁或 App (Mengo) 即時取得高雄市十大景點的人流資訊，避開擁塞景點，並結合當地名產優惠、交通套票等，協助旅客方便且愉快地完成旅行。

### (3)與港口之關聯

交通部是我國智慧港口發展中最直接決定需求、流程與實際落地條件的主管機關，其政策推動與場域規劃深刻影響港口能否有效導入次世代通訊技術。港口不同於一般產業，其作業流程高度依賴大量設備與多元作業單位，從橋式機、岸吊、堆高機到場內拖車，皆需要穩定的即時通訊與高可靠度的資料交換能力，而這些需求必須由交通部負責統一規範、協調與推動。

在交通部長期推動智慧港口的脈絡下，港區已累積許多初步的 AI、影像分析與數位化應用，例如貨櫃 OCR、櫃損影像分析、智慧監控、人流車流預警等，但若要進一步擴大到自動化櫃場、AGV 車隊、遠端操控、智慧排程與能源管理，港口需要的不僅是單一技術，而是涵蓋通訊、流程、資料與設備整合的完整框架。此種系統整合框架正是交通部最能發揮影響力的領域。

#### 4.4.4 推動我國衛星通訊應用服務產業

##### (1)數位發展部數位產業署

為推動我國衛星通訊應用服務產業發展，就我國在衛星通訊產業挑戰與需求，提出相關政府推動藍圖。我國因地理環境特殊、天然災害頻繁與海空運輸需求等地理與產業結構，衛星通訊的應用需求主要集中在幾個面向，包括滿足剛性需求如補足訊號盲區發展智慧通訊應用、建立海事應用的衛星通訊標竿服務案例、商用航空聯網及未來自動駕駛交通應用。考量技術層面外，根據市場需求的變化與商業模式創新的發展難易程度，認為短中期應以滿足剛性需求、海事應用及航空聯網等面相，因該等領域需求迫切，且商業模式相對成熟，被視為較容易推動的領域。

- 滿足剛性需求如補足訊號盲區發展智慧通訊應用，包括偏鄉與離島服務、高山農林業監控，以及水上娛樂生理監測，離島補給及後送。以及韌性應用：台灣地震、颱風、洪水頻仍，災害救助、國土監控、緊急應變中心與關鍵基礎設施維護，都仰賴衛星通訊確保資訊不中斷。
- 具國際競爭力的海事應用：台灣航運業具國際競爭力，長榮與陽明位居全球前

十大航商，可以建立我國衛星通訊標竿服務案例。未來應用涵蓋遠洋貨輪或郵輪娛樂、遠洋漁船通訊追蹤、無人船/無人機遠端監控，以及離岸風車維運監控。

- 滿足公眾聯網需求，因應商用航空聯網需求增加：隨旅運需求增加，商用航空器需提供機上聯網、飛行器位置追蹤與航空管制中心，滿足旅客與安全需求。
- 未來自動駕駛交通應用：自駕車市場快速成長，至 2040 年預估台灣將有 528 萬輛 Level 3 以上自駕車。衛星通訊能支援車輛即時數據傳輸、車隊管理與協同駕駛、定位通報及緊急應變、交通路側感測器網絡。

## (2)經濟部產業發展署

低軌衛星尤其在商業船舶上的應用正迅速擴展，為了推動海事衛星通訊設備與應用，經濟部產業發展署委託國立中山大學執行「海事衛星應用場域實證驗測」申請計畫，輔導產業進行場域實證、驗證技術成熟度、建立台灣自主海事衛星通訊應用的案例。該計畫提供廠商或研究單位，在海事場域（如船舶、漁船、港口等）進行衛星通訊設備或應用服務的測試。透過測試，蒐集通訊效能數據（如上下傳速率、斷線情況、衛星切換時間、設備溫度等），以驗證設備或應用的可行性與穩定性。有助於建立典範案例，支援國內衛星通訊產業的發展，並回饋政府政策制定。在「應用服務測試規格表」中，應用服務驗測著重在船舶、漁業、海圖、通訊安全與資料管理等應用功能<sup>9</sup>。

綜合歸納海事衛星通訊未來應用領域如下表，涵蓋船舶安全、海運物流、離岸能源、公共安全、漁業管理以及新興智慧化應用，從基礎的通訊補盲與安全保障，逐步走向數據驅動的智慧營運與跨域整合。

表 11 海事衛星通訊應用領域

領域	具體應用
船舶安全與航行監控	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 衛星 AIS（船舶自動識別系統）：結合衛星 AIS 強化全球範圍的船舶追蹤，補足地面 AIS 覆蓋不足。</li> <li>• GMDSS 全球海上遇險與安全系統：確保船舶在海上隨時能進行遇險呼叫與緊急通訊。</li> <li>• 航跡監控與態勢感知（航速、氣象、海況回傳）：透過衛星通訊即時回傳船舶位置、航速、氣象與海況資訊，提升航行安全。</li> </ul>

<sup>9</sup> 可選的應用類別：船舶自動識別系統（AIS）、漁船監控系統（VMS）、圖文傳播系統、海圖機（ECDIS 等相關電子航行設備）、衛星電子浮標、E-LOGBOOK 電子漁獲系統、漁船衛星導航、GMDSS（Global Maritime Distress and Safety System, 全球海上遇險與安全系統）、FBB（Fleet Broadband）海事衛星電話及其他（自行填寫）。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 靠離泊輔助與港口安全監控：利用衛星連線結合 AI/物聯網感測，輔助船舶進出港口的導航與泊靠。</li> </ul>
商船與海運物流	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fleet Broadband (FBB) 船上寬頻通訊：支援貨輪、郵輪的船員與乘客上網、影音與商務需求。</li> <li>• 智慧船隊管理（機械/燃油數據回傳，節能減碳）：透過衛星通訊收集船舶機械與燃油數據，結合 IoT 進行預測維護與減碳管理。</li> <li>• 遠端操控與無人船應用：支持未來無人船、遠端監控與自主航行技術。</li> <li>• 遠端檢修與專家支援（即時影音傳輸）：在外海透過即時影像回傳，提供設備維護與技術指導。</li> </ul>
離岸能源與海洋工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 離岸風電場監測與維運：利用衛星連線支援風機狀態監測與維運團隊即時通訊。</li> <li>• 油氣平台穩定通訊：確保偏遠海域能源設施的穩定通訊、監測與安全防護。</li> <li>• 海洋科學觀測：遠距水下感測器（如浮標、ROV、AUV）透過衛星回傳資料，進行長期監測。</li> </ul>
公共安全與韌性應用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 海上搜救 (SAR) 即時通訊：支援救難船、直升機與控制中心之間的即時聯繫。</li> <li>• 天災應變：颱風、地震、海嘯等災後，衛星通訊可維持海事基礎設施的通訊不中斷。</li> <li>• 國土與邊境監控：輔助海巡與海防單位，進行海上非法活動偵測與國境安全管制。</li> </ul>
漁業管理與資源永續	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 漁船監控系統 (VMS)：確保漁船活動符合法規，並可即時掌握漁船位置。</li> <li>• 電子漁獲回報 (E-LOGBOOK)：透過衛星回傳漁獲數據，利於漁業資源管理及國際可追溯要求。</li> <li>• 衛星電子浮標與漁具追蹤：搭配漁具的 IoT 浮標進行資源監測。</li> <li>• 遠洋漁船即時通訊與安全保障</li> </ul>
未來新興應用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自駕船與無人海洋載具的遠端操控：衛星通訊提供遠端操控與雲端 AI 運算支援。</li> <li>• 智慧觀光郵輪（高速上網、娛樂服務）</li> <li>• 跨域整合（空-海-陸衛星通訊一體化）：結合空中（航空器）、陸地（自駕車物流）與海上（船舶）的多維度衛星通訊網絡，實現「空海陸一體」的智慧交通。</li> </ul>

資料來源：經濟部產業發展署(2024) [16]、本研究整理。

### (3)低軌衛星與 5G 專網測試智慧船舶案例

陽明海運從 2023 年起於貨櫃船安裝通訊設備進行低軌衛星與 5G 專網測試，未來希望可達到成本低、頻寬高與傳輸穩定的通訊，不但可讓總部遠程協作排除故障，還可進行遠端醫療，照顧船員身心健康。而過往船員遠洋出海如同無法使用手機與網路的情況，未來也能透過低軌衛星的實踐，達成船上使用手機通訊或娛樂設備之理想。

## 4.5 小結

### (1)通訊技術推動模式與航港應用

綜觀主要國家推動次世代通訊技術於航運及港口領域的政策作法，可發現其推動邏輯並非單純以「技術升級」為核心，而是高度結合各國面臨的結構性課題與產業轉型目標，進而形塑出不同的政策定位與實施路徑。整體而言，日本、德國與我國在推動目的、政策工具與應用落地策略上，呈現出各具特色但亦可相互借鏡。

以日本為例，其推動通訊技術應用於航港領域是基於社會 5.0 整體國家願景，將通訊技術視為解決高齡化、勞動力不足與產業效率瓶頸的關鍵基礎設施。日本總務省推動 Local 5G 政策，透過補助與實證機制，鼓勵地方政府與產業在特定場域建置專用網路，藉以累積可複製的應用經驗。

在航港相關應用上，日本特別重視場域需求導向，再透過驗證技術可行逐步推動，例如將 Local 5G 延伸至離岸風電、近海作業與港區自動化管理，藉此驗證通訊技術在海上與港區複雜環境中的可行性與穩定性。此一作法顯示，日本政府並非期待單一應用立即產生商業回收，而是透過長期系統性的實證布局，逐步建立產業對新通訊技術的信任基礎。

相較之下，德國在航港通訊技術推動上，重視制度化與基礎設施導向，將補助重點放在數位與通訊基礎設施建置本身，而非單一應用服務，並要求相關測試必須在真實港區環境中進行。

德國將港口定位為「物流系統節點」與「資料樞紐」，強調 5G 與相關通訊技術應支援多式聯運、自動化設備、即時數據交換與行政流程數位化。德國案例顯示，政府角色不僅是資金提供者，更是透過明確的補助範圍與條件，引導港口、科技業者與研究機構共同投入，降低單一港口或企業自行承擔通訊投資風險的壓力。

我國在航港通訊技術推動上，則呈現出介於上述兩種模式之間的發展樣態。一方面，我國已透過 5G 專網試驗與 AI 應用案例，在港口作業安全、影像辨識與流程優化等面向，累積初步成果；另外整體推動仍以個案型試驗與技術驗證為主，尚未完全

形成如德國般以港區數位基礎設施為核心的長期政策架構。從比較觀點來看，我國案例的優勢在於與實際營運需求高度貼近，能快速驗證技術可行性，但相對不足之處，則在於跨港口、跨系統的擴散與制度化程度仍有限，較無法形塑長期產業轉型的共通平台。

其他港口應用案例顯示，通訊技術在航港領域的推動，亦可依港口功能定位與治理結構，發展出差異化的實務導向模式。以拉脫維亞里加港為例，其通訊技術應用主要聚焦於港口管理與營運協調層面，包含船舶進出港資訊整合、貨物流向掌握及港區作業監控等。該港並未將通訊技術作為推動高度自動化的核心手段，而是視其為提升資訊透明度與跨單位協作效率的關鍵支撐，反映出管理導向港口在推動通訊技術時，較重視治理效能與決策品質的提升。

相較之下，克羅埃西亞里耶卡港作為區域型樞紐港口，其通訊技術應用則與物流節點整合及多式運輸協調密切相關。相關案例顯示，里耶卡港透過通訊與數位系統強化港口與鐵路、內陸物流節點之間的資訊串聯，提升貨物轉運效率與港區作業可預測性。此一推動模式顯示，對於承擔區域轉運功能的港口而言，通訊技術的政策價值不僅在於港區內部效率提升，更在於支援港口於整體物流網絡中的協調角色。

至於新加坡大士港，則呈現出高度整合且由政府主導的推動模式。大士港在規劃階段即將通訊技術視為港口核心基礎設施之一，全面導入 5G、自動化系統與數位平台，以支撐超大規模自動化營運與即時決策需求。與里加港及里耶卡港相比，大士港案例顯示，當港口本身被定位為國家級戰略基礎設施時，通訊技術不再是單一應用的支援工具，而是整體營運模式設計的一部分，其推動邏輯高度仰賴長期政策承諾與集中治理能力。

綜合上述其他港口案例可知，國際間通訊技術於航港領域的推動，並未形成單一標準模式，而是依港口規模、功能定位與治理能力，發展出管理導向、物流導向與系統整合導向等不同路徑。此一差異顯示，政策設計若能保留彈性，將有助於不同港口依其條件選擇最適合的通訊技術導入策略。

## **(2)通訊技術成熟度與航港應用落地差距**

通訊技術本身成熟度與其在航港場域實際落地程度，在多數國家皆存在明顯落差，此落差並非源於技術性能不足，而是與投資結構、應用責任歸屬及制度配套密切相關，比較日本、德國與我國推動經驗，可顯示影響技術落地的關鍵因素。

就技術成熟度而言，5G 專網、邊緣運算、AI 影像分析及大規模物聯網等技術，已在試驗或局部場域中滿足港口自動化設備、即時監控與遠端操作等需求。然而，在實際營運層面，這些技術往往僅止於特定流程或單一設備的輔助工具，尚未全面整合

入港口整體營運決策與跨單位協作作業，主要因為航港作業涉及多方利害關係人，包含港務單位、航商、物流業者及政府監理機關，在缺乏共通通訊與資料基礎架構下，單一應用難以被擴散。

日本在此一議題上傾向以實證促進跨域擴散，採取大量試點與示範案，逐步釐清哪些應用確實能改善營運效率或回應社會課題。Local 5G 推動邏輯，在於降低業者導入新通訊技術門檻，使其可在有限風險下嘗試不同應用模式，在尚未全面進入高密度商用階段，累積豐富的場域經驗，縮短未來擴大部署時的學習曲線。

德國 DigiTest 等計畫則呈現另一種模式，並非仰賴單一港口自行克服技術落地的所有困難，而是由政府先行投資於長期的數位通訊基礎設施，再開放給不同業者在此基礎上進行測試與創新。計畫刻意將補助焦點放在 5G、感測、資料平台與網路架構等共通基礎設施，讓後續每一個新應用，不需重新評估通訊投資合理性的問題，使成熟技術能更順利轉化為實際營運效益。

反觀我國現況，通訊技術在港口的應用雖已具備一定成熟度，且部分案例已展現明確效益，但整體仍以個案導入為主，多數應用係依附於特定補助計畫或試驗場域，缺乏可長期延續的通訊與資料基礎架構，使得試驗成果不易跨港口、跨系統複製。對業者而言，技術落地瓶頸並非來自對技術本身不信任，而是對於後續維運責任、投資回收與制度銜接仍存疑慮。

從通訊技術成熟度與實際落地經驗的角度觀察，里加港、里耶卡港與大士港三者呈現出明顯不同的應用深度，顯示技術成熟程度並非決定落地成效的唯一因素。以里加港為例，其案例顯示，現行通訊技術已足以支撐港口管理、資訊整合與即時監控等需求，但實際應用仍刻意維持在低風險、管理導向層級，反映港口在投資回收與組織能力考量下，對於高階應用採取審慎策略。

里耶卡港的應用經驗則顯示，即使通訊技術本身成熟，其落地深度仍會受到港口在區域物流體系中角色定位的影響。該港將通訊技術主要用於強化多式運輸協調、貨物流資訊可視化與作業排程效率，而非直接介入高即時性的自動化控制。此一案例說明，當港口的核心任務在於提升轉運效率與節點協同時，通訊技術較常被運用於支撐系統整合，而非改變作業型態。

相較之下，大士港的經驗顯示，當港口在規劃初期即同步建構通訊基礎設施、數位平台與自動化設備，通訊技術成熟度便能直接轉化為高度落地的營運應用。大士港得以大規模導入遠端操作、自動化車輛與即時決策系統，並非僅因技術先進，而是因其制度、治理與投資架構已為高階應用預先鋪設條件。此一案例凸顯，通訊技術能否深化應用，關鍵在於港口是否具備承接技術成熟度的整體環境。

綜合三個港口案例可知，通訊技術成熟度與航港應用落地之間的落差，實際上反映的是港口治理模式、投資能力與功能定位的差異。對多數非新建或非高度自動化港口而言，通訊技術較可能先作為提升管理效率與系統協調能力的工具；而對於如大士港此類整體規劃型港口，通訊技術則可成為重塑營運模式的核心基礎。

## 五、研究分析與結果

為瞭解業界實務上對次世代通訊未來發展看法及建議，本研究運用專家訪談法，由 3 個不同角度進行訪談，分別為服務端的電信提供商，以及需求端部分包括尚未導入應用之碼頭營運商，與已初步導入測試應用於智慧船舶的航運業。

訪談問題包含幾大層面，在現況與應用層面，了解其通訊應用範疇、現有系統與網路架構及已導入的實際案例。技術成熟度與落地挑戰部分，目前在實際導入或使用過程中，是否存在技術落地的困難或限制，其困難主要來自技術本身、系統整合，還是場域特性。對於投資回收、維運成本與營運風險的看法如何。實務角度上通訊應用情境最具實際效益或發展潛力之處，以及若要促進次世代通訊技術在航運與港口場域的擴散，政府最關鍵的角色與作法等。

以下就訪談意見及建議進行歸納，分成技術成熟與落地差距、投資與回收、政策推動建議。

### 5.1 訪談結果

#### 5.1.1 技術成熟與落地差距

##### (1) 電信提供商

每一個通訊世代 (Generation) 都可視為一種全新的語言，例如 4G、5G、6G 之間的通訊協定彼此並不相通，因此每一次世代轉換都意味著設備與網路架構需全面更新，這也是為何每一代通訊技術的導入都會成為重大投資事件。

以目前來看，4G 與 5G 將會長時間並行使用，原因在於 5G 雖具備高速、低延遲的優勢，但其傳輸距離較短，需建置比 4G 更高密度的基地台，對港區這類開放且範圍廣大的場域而言，全面覆蓋並不容易。

在實際應用上，5G 技術本身已相當成熟，並已成功應用於多個場域測試，目前在港區主要應用為商網切片與 AI 影像辨識，包括高雄港 121 碼頭的橋式機 OCR、LiDAR 拖車定位及門哨系統導入，這些案例證明在影像傳輸、即

時辨識與遠端輔助判讀等應用上，5G 確實具備落地能力。然而，從電信業者角度觀察，真正的落地落差並不在於技術本身，而是在於港區既有系統高度客製化、作業流程複雜，導致通訊方案難以直接套用，往往需要高度整合與調整，這也使得許多技術雖然成熟，卻無法快速複製到其他港區或碼頭。而專網部署成本高昂，通常僅用於高安全或高頻寬需求的場域。

## **(2)尚未導入之碼頭營運商**

目前港區通訊架構主要由四類系統組成，包括用於對外資料交換的 EDI 專線、作業機具間資訊傳遞的 Zigbee 內網、支援門式機遠端操控、橋式機機房監控與 CCTV 的光纖／銅線網路，以及作業人員即時聯繫使用的無線電系統。

實際運作上，僅有在必要作業節點，例如派工指令與設備狀態回傳時，才會讓 TOS、Crane Management System 與感測系統進行即時資料交換，其餘系統多半各自獨立運行。現行架構自 2008 年起即已建立，雖然整合度不高，但在穩定性與可靠度上已能滿足作業需求，因此並不存在「因通訊頻寬不足而影響作業」的迫切問題。

在 5G 導入方面，過去曾與多家電信業者與系統商接觸，但實務評估後認為，現階段 5G 技術雖成熟，卻未能直接對應碼頭的實際系統需求，特別是在既有系統整合、基地台布建密度與港區動線衝突等問題尚未解決的情況下，貿然導入反而可能增加營運複雜度。強調，「對碼頭而言，沒有明確的系統需求，就不會產生通訊升級的必要性」，反映出技術成熟度與實際落地需求之間仍存在明顯落差。

## **(3)導入智慧船舶試驗的航運業**

該公司智慧船舶應用低軌衛星與船艙 5G 的整合，已從概念驗證階段，實質進入「可穩定運作」的落地應用階段。首艘導入應用的船舶已完成船上第一階段（Level 1），完成全船布建，並通過通訊效能、安全性、航行情境與維修等多項實務測試。受訪者特別說明，船舶艙室多為多層金屬結構，傳統 Wi-Fi 易受遮蔽影響，難以覆蓋深層艙房；相較之下，5G 透過逐層布建 small cells，可在等同地下五、六層樓深度的船艙中維持穩定訊號，實測結果證明「整船無死角」是可行的。

目前有三大應用場景，分別為即時視訊、AR 操作與遠距醫療，以發展成熟度而言，以「船員通訊」成效最為顯著，其次為導入 AR 進行遠端排故，遠

端醫療則屬低頻但高價值應用。低軌衛星的低延遲特性（相較高軌動輒 500ms 以上）推動促使這些應用場景，這也是過去高軌衛星無法支援的應用。整體而言技術本身已跨越「能不能用」的門檻，真正的落地差距已不在通訊能力，而在於後續如何系統化擴展應用與整合資料。

### 5.1.2 投資與回收

#### (1) 電信提供商

在港航場域中，投資與回收是推動次世代通訊應用時最現實、也是最關鍵的問題。以專網為例，初期固定建置成本約需百萬元以上，後續維運費用亦明顯高於商用網路，因此真正「會有感」的應用，多半是具有特殊需求的場景，例如高解析度即時影像、遠端控制或高度資安要求的作業。相較之下，港邊多數場域因使用密度不高，現行商網加上切片技術已足以支撐需求，因此未必需要專網。

實務上在實際建置前，電信業者必須評估周邊是否已有基地台、是否需強化既有基礎設施，以及當地的價格接受度，這些因素最終都會反映在服務定價上，而港航產業本質上屬於傳統產業，對成本相當敏感。此外，即便技術具備應用潛力，若無法清楚對應營運效益，業者往往會選擇觀望。這也是為何目前港區多採用「先試點、再評估」的方式，而非一次性大規模投資導入。

#### (2) 尚未導入之碼頭營運商

投資與回收的不確定性是導入次世代通訊技術的最大障礙。港區面積廣大，若要以 5G 進行全面覆蓋，需大量基地台與相關基礎設施，資本支出極高，且後續維運成本難以估計。受訪者表示，碼頭營運屬於高度即時且連續的作業環境，一旦通訊系統發生中斷，即使僅有十分鐘，也可能導致整個碼頭作業停擺，上百輛車輛與司機被迫等待，衍生的營運損失與現場壓力遠高於通訊升級所能帶來的潛在效益。因此，在投資評估上，將「穩定不中斷」視為優先於任何技術創新的核心指標。

在自駕車或高階定位系統等應用方面，亦曾進行評估，但認為以貨櫃碼頭的作業規模而言，需配置數十至上百輛車輛方能形成效益，而單車建置與維護成本高昂，回收期難以估算。相較之下，現行人力調度與既有通訊架構仍具成本優勢。整體而言，認為在缺乏明確、可量化的營運效益前提下，難以支持高額投資導入新一代通訊技術。

### (3) 導入智慧船舶試驗的航運業

最大壓力來自「成本與組態複雜性」。以首艘試驗船為例，初期布建成本偏高，單船布線費用即超過 300 萬元，但透過後續重新設計布線結構，將大量光纖改為「主幹線＋多個小型發射台」的方式，未來單船成本可再降低約三分之一，有利於導入船隊。然而即便如此，企業仍需負擔衛星月費、船內硬體、長期維運人力與備援機制，這些都是導入初期最直接、也最具壓力的支出。且要降低投資成本，仍須透過標準化與規模化，若是個別船舶逐艘客製，將使投資回收的不確定性持續存在。

在回收面向，並未僅以單一財務指標衡量，而是從營運效率、維修效率、航行安全與船員留任率等多面向評估。船員通訊品質的改善，已對留任率與 ESG（社會面）產生可量化效益；AR 遠端排故則顯著減少工程師登輪與靠港維修次數，縮短維修時間並降低營運風險。強調低軌＋5G 的價值已從「能通訊」轉為「善用資料」，未來回收將來自整體營運智慧化，而非單一應用節省成本。

#### 5.1.3 政策推動建議

##### (1) 電信提供商

政府若希望促進次世代通訊在港航場域的落地，應同時從「制度面」與「實務面」介入。首先，在制度面上，現行部分法規尚未因應數位化與 AI 技術發展進行調整，以過去實驗 AI 門式起重機作業為例，技術上已能降低現場人力需求，但法規仍要求理貨人員必須在場監督，限制了自動化應用的正式上線。

其次，在實務推動上，政府可透過提供測試場域與導入預算，協助業者驗證技術可行性並累積實績，進而促進解決方案的複製與輸出。然而補助政策若僅涵蓋硬體建置，而未將後續維運、電力與網路成本納入，實際誘因仍然不足。以部分智慧城市或智慧基礎設施補助計畫為例，雖然總預算看似充足，但因未考慮長期營運成本，導致廠商投入意願有限。建議，政府在設計補助與示範政策時，應以「可長期運作」為前提，並協助建立可持續的商業與營運模式，而非僅止於一次性的技術展示。

##### (2) 尚未導入之碼頭營運商

政府應優先從制度性降低導入成本的角度切入，而非要求個別碼頭自行負擔高額投資。具體而言，可以考量由港口營運單位統一建構共享通訊骨幹，並以 network slicing 或類似機制確保不同業者之間的資安隔離與服務品質，再

由各碼頭依實際使用量付費，而非平均分攤成本。此種模式可避免重複建設，也有助於降低單一業者導入次世代通訊的門檻。

此外政府若要推動示範，非一開始即要求全面導入，可優先選擇公用碼頭作為試點，透過實際成果展示與效益分析，逐步說服其他業者跟進，而。在補助政策設計上，應將後續維運成本納入考量，而非僅補助初期建置。受訪者強調，對碼頭營運單位而言，最重要的不是「技術先進性」，而是政策能否協助建立一個穩定、可長期運作且風險可控的導入環境。

### (3) 導入智慧船舶試驗的航運業

政府關鍵角色不在於單純補助硬體，而在於降低整體複雜度與不確定性。首先，在技術層面，政府可透過跨域媒合，協助船東、衛星業者、ICT 整合商、醫療單位與港務體系建立合作架構，減少企業自行整合的成本與時間。其次，在制度層面，應推動標準化、模板化與自動化部署機制，包括硬體模組標準、參數設定模板，以及服務水準（SLA）量化與滾動驗收方式，確保跨品牌、跨航線的穩定度。

在資安與資料治理方面，低軌+5G 開啟大量資料通道後，資安成為新的核心痛點。政府協助建立零信任架構、資安基線規範與白名單式遠端維修制度，以降低企業對「系統被遠端控制」與資料外洩的疑慮。

此外在帶動示範效果能持續擴散部分，以該公司為例，該計畫目前免費作為實船試驗場域，不收取技術授權費，如使有利於讓整合廠商將成果擴散至其他航商，這種「示範引導、不設技術門檻」的模式，對於產業普及具有實質助益，建議政府可在政策設計上加以強化與複製。

## 5.2 發展課題分析及建議

從上述訪談結果，分別從技術成熟與落地差距及投資與回收等構面，歸納出幾項發展課題。

### 5.2.1 發展課題分析

#### (1) 技術成熟與落地差距

從電信業者角度，真正落地差距並非源自通訊技術本身，而是港區既有系統高度客製化、作業流程複雜，使通訊方案難以直接套用，往往需進行高度整合與反覆調整，導致成熟技術難以快速複製至其他港區或碼頭。此外，專網部署成本高昂，通常僅適用於高安全性或高頻寬需求的特定場域。

從港區業者角度，以高度務實態度決定是否投入應用，現階段 5G 雖具技術成熟度，卻尚未能直接對應碼頭的實際系統需求，特別是在既有系統整合、基地台佈建密度與港區動線衝突等問題尚未解決的情況下，貿然導入反而可能增加營運複雜度。受訪者明確指出，對碼頭而言，若無明確的系統需求，即不會產生通訊升級的必要性，顯示技術成熟度與實際落地需求之間仍存在明顯落差。

相較於港口端觀望態度，智慧船舶應用端訪談顯示，低軌衛星結合 5G 在船舶場域上，已完成技術可行性驗證，並且從中體認到實質的效益回饋在留任人力、提升維修效率與營運安全，並將跟著技術演進，逐步調整作法最後希望全數導入全船隊。整體而言，受訪者認為技術已跨越「能不能用」的門檻，當前的落地差距不再在於通訊能力本身，而在於後續如何系統化擴展應用與整合資料。

## **(2)高額投資成本與效益難以量化**

電信服務商指出，投資與回收是最關鍵且現實的問題。以專網為例，初期固定建置成本即需百萬元以上，後續維運費用亦顯著高於商用網路，然而港航產業本質上屬於成本敏感的傳統產業，即便技術具備應用潛力，若無法清楚對應營運效益，業者多選擇觀望，因此目前多採取「先試點、再評估」的推動方式。

對碼頭營運商而言，投資與回收的不確定性是導入次世代通訊技術的最大障礙。碼頭作業屬高度即時且連續的環境，因此「穩定不中斷」被視為高於任何技術創新的核心指標。在缺乏明確、可量化營運效益的前提下，難以支持高額投資導入新一代通訊技術。

導入智慧船舶試驗的航運業者指出，初期最大壓力來自成本與系統組態的複雜性。回收評估並未僅以單一財務指標衡量，而是從營運效率、維修效率、航行安全與船員留任率等多面向進行評估。

## **(3)應用需求尚未聚焦與實際營運痛點連結不足**

電信服務商指出，在港航場域中常出現「技術已到位，但需求尚未清楚定義」的情形。雖然 5G 已可支援高解析度影像、即時辨識與遠端輔助判讀等應用，且已有實際試驗案例，但多數需求仍停留在單點應用，尚未形成可擴散的標準應用組合，導致技術多用於展示或試點，而非長期服務。

尚未導入的碼頭營運商則明確表示，現行通訊架構已能滿足作業需求，並

未出現因頻寬或延遲不足而影響營運的迫切問題。在此情況下，除非新通訊技術能直接對應既有系統升級需求或解決具體作業瓶頸，否則難以成為優先投資項目，顯示通訊升級尚未被視為「必要需求」，而是「可選技術」。

相較之下，導入智慧船舶試驗的航運業者已明確界定三類應用場景，包括船員通訊、AR 遠端排故與遠距醫療，且實際測試證明其可行性。然而，即便技術已跨越「能不能用」的門檻，受訪者亦指出，後續挑戰不在通訊能力，而在於如何將零散應用系統化整合，並擴展為可複製、可規模化的營運模式。

#### **(4)跨部門與跨系統協作不足限制整體效益**

電信服務商亦指出，港區既有系統高度客製化，通訊方案難以直接套用，不同碼頭、不同業者之間缺乏共通架構，使得即便單一場域測試成功，也難以快速複製至其他場域，增加系統整合成本與專案不確定性。

尚未導入的碼頭營運商指出，現行港區內部通訊系統包含 EDI、Zigbee、光纖／銅線與無線電等多種架構，各系統僅在必要作業節點進行有限度的即時資料交換，其餘時間多為獨立運作。此種架構雖整合度不高，但長期運作穩定，亦使得導入新通訊技術後，若無法有效整合既有系統，反而可能增加營運複雜度。

#### **(5)制度與政策角色影響試點擴散與長期落地**

尚未導入的碼頭營運商則認為，若政策期待產業自行承擔高額投資風險，將不利於次世代通訊的推動。相較之下，若能由制度層級先行建構共享通訊骨幹，並透過合理的成本分攤與資安隔離機制，將有助於降低單一業者導入門檻。

導入智慧船舶試驗的航運業者亦指出，政府的關鍵角色不在於單純補助硬體，而在於協助降低整體複雜度與不確定性，包括跨域媒合、標準化部署、資安基線與資料治理規範等。

我國低軌衛星通訊應用服務現況，由中華電信簽署低軌衛星服務獨家代理契約，衛星訊號預計於 2024 年可望覆蓋全台。未來應用存在三大困境包括國內服務選擇有限，產業生態不健全，以及缺乏創新應用服務的開發與測試環境，加上欠缺場域驗證，導致應用方案無法有效落地等。

### **5.2.2 發展課題建議**

縮短技術成熟與營運落地落差之課題，碼頭作業對穩定不中斷的需求高於技術創新，且通訊方案難以直接套用，往往需進行高度整合與反覆調整，導致新技術難以複製且大規模商業落地時仍存在信任與穩定度的落差，此一落差並

非單純技術問題，而是涉及導入流程、責任分工與制度支持等綜合因素。建議政府在推動策略上，應協助「技術導入條件」的系統性建構，透過示範場域、實證計畫與制度化驗證機制，使技術能在真實航港作業環境中逐步累積可行性與信任度，縮短由技術成熟走向營運採用之間的落差。

引導應用需求強化與實際營運痛點之連結，建議可由政府角度，盤點航港營運中對通訊高度依賴、且具跨單位共用特性的作業環節，例如安全監控、災害應變、船岸資訊即時交換與環境監測等，作為優先推動標的，透過政策引導協助產業聚焦需求，避免通訊技術應用零散化，提升整體投資效益與政策一致性。

在協助降低產業導入初期投資門檻之課題，由於通訊初期往往需投入高額建置與維運成本，且其效益多為跨單位共享，影響其投入意願，因此在政策工具設計上，應強化風險分攤與誘因機制，例如透過示範計畫、階段性補助或公私協力模式，協助降低產業初期投入負擔，並透過實證成果逐步建立商業可行性，提升產業參與意願。國際經驗顯示，相較於傳統一次性建置模式，託管式服務可有效將高額資本支出轉化為營運支出，並透過服務規模化降低整體風險，已成為多國政府推動示範應用時的重要作法。此外在設計補助或公私協力方案時，可針對示範階段之服務費用提供階段性補助，或由政府擔任初期主要需求方，協助形成基本服務量能，待應用成熟後再逐步引入市場機制，以降低產業導入初期的不確定性。

最後是將次世代通訊視為支援航港智慧化與永續發展的重要基礎工程，納入中長期航港政策藍圖發展課題顯示，次世代通訊應用目前多以個別計畫或短期專案形式推動，尚未完全納入航港整體發展政策與長期治理架構，建議政府應將次世代通訊視為支援航港智慧化與永續發展的重要基礎工程，將通訊能力建構與港口發展、智慧營運及環境永續目標整合納入中長期藍圖，確保基礎建設與應用推動具備一致性與連續性，支援後續航港數位轉型。

## 六、結論與建議

### 6.1 結論

本研究針對次世代通訊技術於航港領域之應用趨勢與發展課題進行研析，透過國內外文獻回顧、技術發展現況盤點及航港實務需求分析，綜整次世代通訊技術對航運與港口營運模式可能產生之影響。研究結果顯示，隨著航港作業

朝向智慧化、自動化與數位治理發展，通訊系統已逐漸由輔助性設施，轉變為用來支援智慧港口及智慧航運發展之重要關鍵基礎。

研究顯示現行航港場域多以 Wi-Fi、4G 或局部有線網路進行作業，雖已可滿足基本需求，惟在未來將導入大規模物聯網佈建、即時影像傳輸、遠端操控設備及跨單位資料交換等應用情境下，將存在潛在的頻寬、延遲與穩定度等限制。5G 雖已具備提升通訊效能之能力，然在港區實際導入過程中，仍面臨建置成本高、環境覆蓋規劃困難、商業模式尚未成熟及投資回收不確定性等問題，使相關應用多停留於示範或試驗階段。

相較之下，次世代通訊技術所強調之高可靠性、低延遲、大量連接能力，以及整合非地面網路之特性，有助於航港領域在船岸即時協同、港區自動化設備控制、海事通訊全面覆蓋等需求。研究亦顯示未來通訊技術發展趨勢將不僅侷限於提升傳輸效能，而是進一步結合人工智慧、邊緣運算及多層次網路架構，成為智慧航運與港口整體運作的重要基礎建設。

本研究分析航港領域導入次世代通訊技術所面臨之挑戰，除技術成熟度外，尚涉及投資成本、導入流程、制度配套、跨部門協作及營運責任分工等層面。若缺乏整體性規劃與制度化推動機制，單一場域或個案式導入，仍難以形成具可複製性與規模化之應用成效。

## 6.2 建議

基於前述研究發現，為促進次世代通訊技術於航港領域之穩健發展與實際應用，建議相關推動方向可從政策引導、制度建構及推動機制等層面逐步著手，重點建議如下。

建議政府於推動次世代通訊技術時，除關注技術發展本身外，亦應同步建構航港場域之導入條件，包括通訊穩定度與可靠性要求、資安與資料治理原則、系統介接與資料交換架構，以及營運與管理責任之界定，以降低實務單位導入新技術之不確定性。

在推動上建議以航港營運需求為導向，優先聚焦於對低延遲、高可靠通訊需求明確，且與港口安全、效率及管理效益高度相關之應用場景，如船舶靠離泊協同、港區自動化設備控制、即時監控與環境感測、船岸通訊與海事資訊傳遞等，以強化技術導入與實際營運之連結。

建議透過具代表性之港區或航港應用場域，規劃中長期實證計畫，測試不同通訊架構與應用模式於實際作業環境中的可行性，並將相關成果予以系統化

整理，作為後續擴散推動及政策調整之參考依據。

次世代通訊技術涉及交通、通訊、數位發展與資安等多元政策面向，建議透過跨部門協調機制，整合相關資源與政策方向，並引導電信業者、技術供應商與航港營運單位共同參與推動，以分擔初期投資與試驗風險，提升實務單位參與意願。

考量航運活動及海事通訊之特殊需求，建議在中長期規劃中，逐步評估低軌衛星等非地面網路於航港通訊體系中的角色，並研析其與既有地面通訊整合之可行模式，作為未來智慧航運與遠洋通訊發展之參考。

## 參考文獻

1. Industrial Internet Consortium (2019). Artificial and Human Intelligence with Digital Twins. IIC Journal Of Innovation. <https://share.google/9pAUZjBfDi8laM2OZ>
2. 3rd Generation Partnership Project. (2019–2024). *Release 15, Release 16, Release 17 and Release 18 specifications*. <https://www.3gpp.org>
3. Erisson Whitpaper (2025). <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/5g-advanced-evolution-towards-6g?ref=mohamedeladawi.com#:~:text=Introduction,which%20will%20start%20in%202024.>
4. Pham, T. Y. (2023). A smart port development: Systematic literature and bibliometric analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 39(3), 57-62.
5. Potter, A., Yingli W., and Mohamed N. (2025). Scaling-up 5G adoption in smart ports: Barriers and enablers. *Maritime Policy & Management*, 52(4), 517-534.
6. European Maritime Safety Agency. (2018–2022). *Maritime safety and accident statistics*. EMSA Annual Reports.
7. Alqurashi, F. S., Trichili, A., Saeed, N., Ooi, B. S., & Alouini, M. S. (2022). Maritime communications: A survey on enabling technologies, opportunities, and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(4), 3525-3547.
8. 日本總務省，利用本地 5G 在港口和貨櫃碼頭實現數位轉型，<https://dx-navi.soumu.go.jp/case/052>。
9. 創新港口技術計畫(IHATEC II)，<https://www.innovativehafentechnologien.de/>。
10. 5G 在港口遠端操作和貨櫃網路計畫 (PROCON-5G)，<https://www.digitest-hafen.de/project/procon-5g/>。
11. 行動網路架構的實地測試 Mobile Network Architecture(MoNArch- 5G)，<https://5g-monarch.eu/deliverables/>。
12. PORTABLE 5.0，<https://www.digitest-hafen.de/project/portable50/>。
13. LVR Flote，<https://www.lvrflote.lv/en/about-us/business-card/>。
14. 經濟部中小及新創企業署(2025)，擴大中小企業 5G 創新服務應用計畫。
15. 數位發展部 (2025)，次世代行動創新應用賦能發展計畫，<https://grbdef.stpi.niar.org.tw/fte/download4?docId=2874136&responseCode=3081&grb05Id=16648476>。
16. 經濟部產業發展署(2024)，太空產業供應鏈暨網通產業新星飛揚計畫，[https://eii.nat.gov.tw/satcom/upload/file\\_66e7d1693a6f9.pdf](https://eii.nat.gov.tw/satcom/upload/file_66e7d1693a6f9.pdf)。
17. 李政達、蔡立宏、錢樺 (2022)。臺灣發展自主低軌 AIS 衛星之倡議。第 23 屆海洋與水下技術研討會。