

產業研究報告

# 智慧製造需求下之邊緣運算與新興通訊發展分析

## 前言

對製造業者而言，邊緣運算 ( Edge Computing ) 及新興通訊技術的落地結合，是邁向製造場域關鍵智慧應用的「最後一哩路」，因為如預測性維護、異質設備協作、MR/AR 巡檢等智慧製造應用，唯在低延遲、高可靠的邊緣運算與新興通訊框架下才可望實現。本文將從邊緣運算及新興通訊發展現況，展望智慧製造應用之革新，以及此波變革下國內應用業者契機。

楊智傑

Document Code: CDOC20230526001

Publication Date: May 2022

Check out MIC on the Internet!  
<https://mic.iii.org.tw/aisp>



## 目錄

邊緣運算定義與範疇	1
邊緣運算於智慧製造發展現況	4
新興無線通訊於智慧製造應用解析	7
智慧製造應用現況與挑戰	10
結論	12
附錄	14

## 圖目錄

圖一、邊緣運算與新興通訊技術異構情境之一（示例）	10
--------------------------	----

## 表目錄

表一、不同智慧製造應用的最低延遲容許度	3
表二、5G、Wi-Fi 6 與 LPWAN 在製造業應用場景比較	9



## 邊緣運算定義與範疇

鑒於市場客層多樣化、產品需求變動快速，少量多樣、彈性生產等需求，成為製造業者面臨的新常態，而加速製造場域的「智慧化」也成為眾業者當務之急。由於製造場域具備高度複雜性及產業差異性，不同的生產需求、製造流程、機台部署、人力配置、場域樓層規劃等，對於技術導入的需求皆不盡相同。

近年邊緣運算、5G、Wi-Fi 6 以及 LPWAN 等新興通訊技術的發展，帶來低延遲 ( Latency )、高可靠度 ( Reliability )、大量設備連結的多樣應用契機。然而邊緣運算與新興通訊技術在智慧製造場域高度相關，邊緣運算的低延遲、高即時特性，需在高速的網路環境支持下才能發揮實際效益，兩者相互結合下，將使智慧製造的異質設備協作、AR / MR 巡檢、即時數據分析、預測性維護、遠距操作等不同類型的關鍵任務情境成為可能。

### 從「數據流」角度定義「邊緣運算」

根據工業物聯網聯盟 ( Industrial Internet Consortium, IIC ) 的定義來看，邊緣運算定義為「將運算靠近數據源，即數據產生或消耗的地點，目的為最小化延遲，節省網路頻寬，或滿足在處理地點附近執行的應用程式需求，例如安全性與合規性」，強調從數據流發生與消耗的位置，來定義邊緣運算。

製造場域智慧化的核心是設備、人員、環境以及生產相關的「數據」 ( Data )。若從數據流的角度來看，大量、即時的類比 ( 如波形 ) 及物理訊號 ( 如溫度、濕度、震動、壓力 )，從機器設備、環境端產生，為感測器 ( Sensor ) 所捕捉接收，進行類比數位轉換後，經由 IoT、邊緣節點 ( 如邊緣伺服器 ) 與網路設備，進入到地端或雲端伺服器進行儲存或批次處理的過程，會經過如下步驟：

#### 一、感測器 ( Sensor )

感測器用於收集生產製造過程中的各種物理訊號，例如溫度、壓力、光敏、濕度、震動、位置等，進行類比到數位的基礎轉換，上述訊號可能由設備內建感測器模組 ( 如 AMR 移動狀態、機械手臂負載數據 )，或由既有設備外裝的感測裝置，傳出特定參數與數據。

## 二、物聯網裝置 ( IoT Device )

感測器轉換後的數據，藉由無線方式傳送到物聯網裝置，如智慧控制器或嵌入式 ( Embedded ) 硬體，並對數據進行初步處理和分析，並通常以無線方式與邊緣節點進行通訊。

## 三、邊緣節點 ( Edge Node )

物聯網裝置進行初步數據處理後，將數據傳送到較上層的邊緣節點，如邊緣伺服器 ( Edge Server ) 等。邊緣節點將進一步對數據進行分析，以減少向雲端傳輸的數據量。而部分 AI 模型亦可由雲端部署於邊緣節點，進行即時應用推論，降低往返的延遲時間。

## 四、網路裝置 ( Networking Device )

數據從邊緣節點經過網路裝置，如交換器 ( Switch )、路由器 ( Router ) 以及防火牆等，通過有線或無線網路 ( 如 Wi-Fi 6 或 5G ) 連接到企業內或外部網路空間。在網路設備端，通常也會部署基礎資安控管機制。

## 五、地端 / 雲端伺服器 ( On Premise / Cloud Server )

經過網路傳輸後，數據最終到達工廠機房的本地雲 ( On Premise Server ) 或外部雲端伺服器 ( Cloud Server )。在地端或雲端伺服器上，數據可以進行長期儲存、備援、或進一步進行大量的批次分析和應用，例如大數據分析、機器學習模型訓練等較繁重，無法在邊緣端執行的運算工作。

## 邊緣運算涵蓋範疇

不同業者對於邊緣運算有不同定義，但在製造場域中，「邊緣運算」意指在物聯網裝置或邊緣節點的位置，就先行針對設備或環境傳入的數據，進行初步運算、分析或推理，並即時做出部分關鍵決策，迅速回饋至機器端執行，另一方面，即時性較無限制的數據，則會傳至更上層的地端、雲端伺服器，進行數據儲存、批次處理、模型訓練等工作。

在製造場域端，需要進行邊緣運算的任務，通常包括即時監控和反饋、品質控制、生產速度調整和預測性維護等，藉由分析裝置即時數據，對潛在故障進行預測，提前警



示以減少意外停機或機件損毀，降低維修成本並提高生產效率。此外，邊緣結點亦可藉由部署機器學習和 AI 模型，進行即時決策優化。如將深度學習模型，部署於自動視覺檢測（AOI）設備，以即時偵測複雜元件的缺陷。

此外，如視覺巡檢、人員機器間的協同控制（如同一條生產線的 AMR、AOI 與機械手臂）、工廠自動化、遠距操作等應用場景，也有賴於低延遲、高可靠的邊緣運算，以避免碰撞、流程中斷，操作錯誤等情形發生，達到更高效的生產目標，以下為常見智慧製造應用案例的低延遲應用需求：

表一、不同智慧製造應用的最低延遲容許度

智慧製造應用案例	端對端容許延遲（毫秒/ms）	資料頻寬需求	超出延遲之影響
MR / AR 視覺擴增巡檢	5-10 ms	高	低-中 ( 資料顯示不全 )
AMR 應用 人機安全協作	few ms	低-中	高 ( 機件碰撞、人員受傷 )
工廠自動化 異直設備協作	1-10 ms	低-中	中 ( 自動流程中斷 )
遠距操作 遠距控制	10-40 ms	高	中-高 ( 操作錯誤、機件損毀 )

資料來源： Latencytech、Ericsson、MIC 整理，2023 年 5 月

最後，邊緣運算也可用於節省數據傳輸流量。經由在邊緣節點上對數據進行過濾（Filter）和聚合（Aggregation），可減少需要傳輸到雲端的數據量，降低數據傳輸成本。此外，邊緣運算亦更適合在本地端對敏感數據進行加密和處理，保護數據安全和隱私，對於需要嚴守數據保護法規的製造業企業，具有重要意義。

## 邊緣運算於智慧製造發展現況

全球結合邊緣運算與 5G 應用的智慧製造市場快速發展，需求領域則聚焦於 AMR 與自動控制、AR/VR 裝置應用、物聯網設備控制以及 IT/OT 整合（如預測性維護、故障預警）等應用。以下將從近年資訊技術商（IT）、營運技術商（OT）、雲端服務商（CSP）的邊緣運算技術及解決方案，以及邊緣運算不同環節的技術發展焦點，剖析邊緣運算於智慧製造發展現況。

### 資訊技術商（IT）

#### NVIDIA

晶片大廠 NVIDIA 為近年邊緣伺服器的重要業者之一，尤以嵌入式邊緣系統 Jetson 系列以及邊緣 AI 伺服器 EGX 系列為主要代表，產品包括小型 IoT 嵌入式 AI 應用的 Jetson Nano，到企業級的邊緣 AI 伺服器平台，如內建 A100 GPU 的 EGX A100，最新產品則為 2022 年 9 月推出的 IGX 邊緣平台，強調高即時性的數位雙生（Digital Twin）和工業元宇宙支援。NVIDIA 發展關鍵優勢在於高效 AI 和深度學習（Deep Learning）功能，且具較完整泛用的軟體開發生態系（如 CUDA、TensorRT）。

#### IBM

IBM 在邊緣運算的產品布局，主要包括可將 IoT 工作負載，分配至邊緣裝置上進行部署及更新，以節省流量和管理成本的 IBM Edge Application Manager，以及能讓企業在任何邊緣位置執行 AI 應用的 IBM Watson Anywhere。IBM 邊緣運算產品和服務的特點，在於可自動化在大量邊緣裝置上執行、管理工作負載，並且提供深度 AI 分析和 IoT 整合，以執行即時的邊緣決策和動作。此外，IBM 於 2022 年 12 月發布，與 Boston Dynamics 合作開發的邊緣 AI 視覺系統，可讓四足型態的機械載具在複雜或危險工業環境中，透過邊緣伺服器無線連接，進行精確的視覺分析辨認物件，並進行即時動作反饋。

### 營運技術商（OT）

#### Schneider

工控大廠 Schneider Electric 在邊緣運算的產品，主要以 EcoStruxure 為代表，其為 IoT 專用的、開放、具高度互操作性（Interoperability）的系統架構平台，主要功能

為連接異質設備進行邊緣控制，並整合上層應用、分析及服務，EcoStruxure Edge Control 則將即時邊緣監控、數據處理 AI、機器學習結合，可用於辨識潛在的設備故障、安全風險等問題。此外，Schneider 亦提供超融合（Hyperconvergence Infrastructure）的數據中心 EcoStruxure Micro Data Center 解決方案，可在嚴酷的環境中執行即時數據處理和分析的邊緣應用。

## Honeywell

Honeywell 的應用平台 Honeywell Forge 具有從邊緣到雲的運算能力，能在邊緣端進行的數據處理和分析，並將重要訊息推送到雲端，進行進一步的分析和優化，期解決方案主要用於即時設備健康監控、維護管理、能源管理等，並可以透過機器學習進行預測性維護。此外 Honeywell 的 Experion PKS（Process Knowledge System）工業自動化系統，可收集和處理來自工廠各處的邊緣數據，並在邊緣端進行即時控制和優化。並提供整合的應用介面，使營運工程師可從單一地點監控和管理整個工廠的數據運作狀態。

## 雲端服務商（CSP）

### Google

Google 於智慧製造的邊緣運算產品為 Google Cloud IoT Edge，以及 2022 年推出的 Google Cloud for Manufacture。Google 的優勢在於其強大的數據分析能力，並提供豐富的資料分析工具，如 BigQuery、Dataflow 等，可讓企業在如預測性分析、製造營運流程優化、即時報表等應用上較能輕易存取。而其開放原始碼的軟體生態系統，也允許企業在一定程度上進行需求客製化。此外，Google 亦逐漸將 Edge TPU（專為 TensorFlow Lite 模型設計的硬體加速器）導入產品，讓邊緣裝置可執行已訓練好的模型，強化邊緣 AI 的執行效率。

### Microsoft

作為雲端與軟體業者，微軟主要的邊緣伺服器產品包括 Azure Stack Edge 以及 Azure IoT Edge。同樣以混合雲協同運作效率為主要關注點，微軟的邊緣方案訴求工作負載與管理的平衡，可讓邊緣設備進行機器學習、推論及其他分析和處理任務，並將數據傳送到 Azure 雲端進一步處理、或進行訓練模型更新。而 Azure IoT Edge 則是專為物聯網設計的服務，其由容器構成，可靈活擴充功能，並支援部署 Azure Machine

Learning 和 Azure Cognitive Services 的人工智慧模型，讓邊緣位置設備獲得推論能力。

## AWS

AWS 在邊緣運算產品線上，包括能讓使用者在地端執行 AWS 架構，將 AWS 基礎服務、操作模式「複製」到邊緣伺服器的 AWS Outposts，以及在邊緣環境下最佳化 5G 延遲，以支援 AR / MR 巡檢、IoT 即時應用的 AWS Wavelength。AWS 發展邊緣運算的主要優勢與特色，在於邊緣與 AWS 雲端服務的緊密接合（如 S3、EC2），讓「邊緣+遠端」的混合雲（Hybrid Cloud）數據管理更一致、應用情境更統一。

## 邊緣運算於智慧製造技術發展焦點

### 感測層：感測器與物聯網裝置，降低功耗為重要考量

由於感測器需要大量布建於設備、工廠環境中，電池更換週期長，並通常須維持不斷電感測，因此低功耗一直是 Sensor 與 IoT 設備的重要議題。除了搭載小型太陽能面板外，近年利用收集機械運轉的震動能量，以維持裝置蓄電力的技術亦開始出現，而低功耗元件（如 ARM Cortex-M 系列的低功耗 MCU、MRAM、FeRAM 等低功耗記憶體）開始在 IoT 設備上普及採用，以及 2022 年開始利用微型 AI 晶片進行微機器學習（TinyML），預測使用峰值與離線時間的技術也逐漸成熟，可使 IoT 設備進行預測，並可在離峰時段進入休眠模式，進行節能。此外，近年亦出現高度整合多功能感測器，能在單一裝置同時監測多種物理特性，如溫度、壓力、濕度等，從而降低成本並簡化部署複雜度，同時提供較高的部署彈性。

### 運算層：邊緣 AI 晶片普及，提升生產靈活性

邊緣伺服器為組成邊緣運算的重要核心。近年因 AI 即時應用需求增加，如少量多樣需求下，需針對多樣、未經模型訓練的工件、產品快速進行視覺辨識，或進行異質設備（如不同品牌的 AMR、機械手臂）的生產流程協同應用、設備的預測維護等，在邊緣伺服器搭載 AI 晶片，進行邊緣推論已逐漸成趨勢，如搭載 NVIDIA GPU 的 NVIDIA Jetson、搭載 TPU（Tensor Processing Unit）的 Google Coral 邊緣平台、聚焦視覺 AI 模組的 Intel Movidius Myriad X。除此之外，容器技術（如 Docker 和 Kubernetes）和微服務架構在邊緣伺服器上的應用也逐漸普及，使應用程式能進行快速部署、擴展和維護，提高邊緣伺服器的資源利用率和靈活性。

### 架構層：超融合架構與邊緣運算加速整合

在系統架構層次，超融合架構 ( Hyper-Converged Infrastructure, HCI ) 與邊緣運算結合應用趨勢也更加明顯。邊緣運算架構雖有即時性、低延遲等優勢，但也相對面對更多的設備、數據來源、管理站點、以及廣布設備的廠區缺乏現場 IT 維運人員等議題。部署於邊緣的超融合架構設計，由於整合了儲存、運算、網路管理及安全性相關功能，並提供單一的軟體介面，而能夠最大程度簡化邊緣部署的複雜性，提升遠距維運與管理的效率。

### 產業標準層：規格互通，提升異質設備互操作性

隨著智慧製造領域各類設備和系統的不斷增加，不同廠商和設備之間的互通性變得越來越重要，近年產業標準組織陸續出現，以確保邊緣運算的互操作性和相容性。例如由 Linux 基金會主持的邊緣運算協會 ( EdgeX Foundry )，提供通用的工業級物聯網邊緣運算開源平台，將異質設備、傳感器等設備進行標準化，並開放雲端 API 服務，提供使用者進行介面及連接整合，加速工業邊緣生態系的建立。

## 新興無線通訊於智慧製造應用解析

雖然邊緣運算發展快速，但在實際落地時，仍有賴於新一代通訊技術及標準的配合。製造場域非僅使用單一技術建置，而是以不同通訊技術「共構」而成。例如廣布於廠房內外、較無即時需求的环境汙染 IoT 檢測、資產追蹤與定位，適合以低功耗、低頻寬、長距離的 LPWAN 模組布建，而 Wi-Fi 6 因其相對高速、低建置成本，則主要可於人機操作介面（如工廠平板）導入應用，5G 則因其高頻寬、低延遲以及昂貴布建成本特性，適合針對如機械手臂協作、AMR 協作、MR 維修與遠距操作等關鍵局部應用。

若從實際場域來看，須從「人、機、料、環」產生的資料流、資料處理即時需求，以及資料傳輸、分析成本等環節進行整體網路配置考量，將數據在最適當的環節進行處理，以更彈性地因時因地，針對廠區應用需求進行導入規劃。

### 低功耗廣域網路 ( LPWAN )：低耗能，適用於非即時應用

低功耗廣域網路 ( Low-Power Wide-Area Network, LPWAN )，為適合應用於 IoT 環境感測設備的無線通訊技術，具低成本、低功耗、長距離和高可靠性等特點。在智

慧製造場域中，LPWAN 技術可以用於監控和追蹤機器設備位置、人員、資產和庫存，收集和分析傳感器數據和設備狀態等數據，以進行資產管理、物流和運輸及基於淨零碳排目標的能源管理優化等功能。

近年 LPWAN 的技術與規格發展，主要聚焦於低功率、高可靠性的 LoRaWAN 的規格提升，如 2020 年支援更多設備數的 1.0.4 版本，以及基於蜂窩網路 (Cellular Network)，具有更廣覆蓋，適於大型廠房的 NB-IoT (Narrowband Internet of Things) 技術的普及。然而，低功耗廣域網路的傳輸頻寬相對小，延遲亦較高，在製造廠域中的應用，較適合用於非毫秒級、非關鍵性應用 (如環境污染、照明、人員移動)、且須長時間穩定使用之應用情境。

## Wi-Fi 6：部署成本較低，可滿足部分低延遲應用

Wi-Fi 6 (802.11ax) 是繼 Wi-Fi 5 之後的新通訊標準，並因其支援更大的頻寬、更短的延遲和更多的可連接性，而被使用於工廠場域。Wi-Fi 6 可用於工廠內部通訊，如工作站、辦公設備和行動裝置 (如工業平板、手機)、進行生產線上非關鍵的感測器、工業照相機或 AMR，進行即時數據收集和分析，此外相較於 Wi-Fi 5，Wi-Fi 6 具有 TWT (Target Wake Time) 節能機制，可延長 IoT 等裝置使用時間，更適於物聯網應用。

Wi-Fi 6 布建成本較低，如頻寬足夠的交換器 Switch 可沿用既有設施，因此可作為生產流程無線化的初步解決方案，然而其平均延遲相較 5G 亦高 (約為 2 至 8 倍)，其訊號也相對易受建築物隔層、設備金屬外殼、藍芽訊號等干擾，可靠性較不足，因此仍無法完全滿足關鍵製造應用 (如 MR 巡檢、異質設備自動協作等)。

## 5G專網：部署成本高，可滿足最低延遲應用

應用於單一企業內部、封閉的 5G 私網 (5G Private Network)，為隔絕於公有 5G 頻段的網路配置，可提供企業安全、可控的網路應用環境。在智慧製造環境中，5G 因擁有最高頻寬 (1-10 Gbps) 以及最低延遲 (1-10 ms)，因而使要求高時序精密度的異質設備協作、遠端操控、MR 巡檢維修等應用成為可能，此外在大型廠區，相較於 Wi-Fi，5G 網路無移交控制 (Handover) 中斷問題，因此更適合如低延遲、快速移動型的 AMR 或無人機 (Drone) 廣域應用。然而相對其他解決方案，5G 私網建置成本相對昂貴，使企業導入意願相對受限。在 2022 年，國內已有電信業者提出 5G 私網租賃制方案，降低一次性導入成本，並已有 PCB 業者相續進行試行導入。



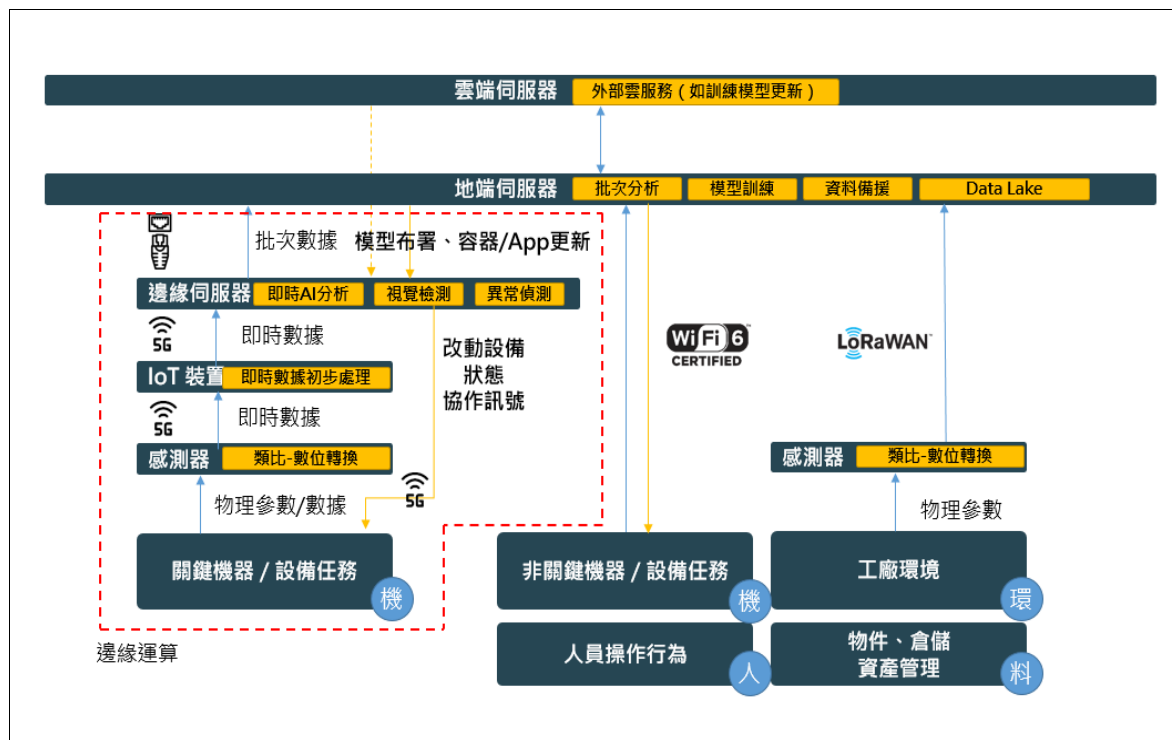
表二、5G、Wi-Fi 6 與 LPWAN 在製造業應用場景比較

技術	頻寬	傳輸延遲	建置成本	連接性	優勢	劣勢	製造業應用場景
5G 專網	高 ( 1-10 Gbps )	極低 ( 1-10 ms )	較高	高 ( 每平方公里可達 100 萬個連接 )	1. 高速度 無線連接 2. 低延遲 3. 高連接密度 4. 可用於戶外場域	1. 建置成本高	1. 遠程控制無人機和 AMR 2. 即時 IoT 數據分析、預測性維護 3. 設備之間的精密協同作業
Wi-Fi 6	高 ( 600 Mbps-9.6 Gbps )	低 ( 8-20 ms )	中等	中 ( 數百個設備同時連接 )	1. 高速無線連接 2. 相對低延遲	1. 覆蓋範圍受限 2. 容易受到干擾 3. 無法用於戶外之場域	1. 無線數據收集和監控 2. 工業平板電腦、工作站點數據無線傳輸
LPWAN	極低 ( 0.3 KBps – 50KBps )	高 ( 秒-分 )	低	高 ( 數萬以上設備 )	1. 低功耗 2. 支援長距離傳輸，可用於戶外 3. 連接設備數量大	1. 頻寬極低、僅適用於有限應用情境 2. 延遲高，無法利用於即時應用	1. 環境污染偵測、能耗偵測 2. 資產追蹤、倉儲智慧管理

資料來源：Qualcomm、wi-fi.org、LoRa Alliance、MIC 整理，2023 年 5 月

綜上所述，在智慧製造場域中，邊緣運算之能發揮作用，有賴於對感測器、IoT 裝置、邊緣節點到伺服器間「數據流」與「運算位置」的調控，而在不同的數據流程中，則需從建置成本、廠區大小範圍，以及關鍵應用類型，進行通訊技術的配置考量。不同生產需求配置方式差異極大，基於成本，也未必會部署高度複雜的異構網路環境，然下圖提出一種邊緣運算與雲運算、LPWAN、Wi-fi 6 及 5G 網路異構的配置情境作為示例：

圖一、邊緣運算與新興通訊技術異構情境之一（示例）



資料來源：MIC，2023 年 5 月

## 智慧製造應用現況與挑戰

以國內實際製造場域現況來說，不少製造業者使用之較舊型的生產設備（如傳統 SMT、DIP），許多並不直接支援數據導出、介接 Datacom 的設計，以致於常需額外購買授權、或冒破壞保固風險進行數據導出。因此，利用外掛 IoT 感測器偵測老舊機台數據，或者直接架設攝影機，讀取 HMI（Human-Machine Interface）上的畫面再進行 OCR 數值判讀，成為目前常見的間接數據收集解決之道，而感測資料與影像的即時資料擷取、分析，唯在 5G 或 Wi-Fi 6 的低延遲網路環境下較可能滿足。

另一方面，因應全球市場變化，國內業者少量多樣、彈性生產（如 AI 影像即時辨識異質工件）、混線生產需求增加，而人口老化，製造業普遍缺工等狀況，使人機協作、異質設備自動協作等低延遲關鍵應用逐漸成為重點，亦在 5G 及 Wi-Fi 6 發展下得以實現。

此外，在淨零碳排需求迫近下，近年發展快速、部署成本較低的 LPWAN 搭配低功耗 AIoT 裝置，可有效監測廠區環境，例如 PM2.5、溫度、濕度、二氧化碳等數據，而其低功耗、廣域特性，也適於安裝於人員難以進入、抽換電池不便（如排風道、管線、爐內）的場域應用，對我國製造業者而言，可作為節能解決方案之一。此外，目前國



內業者較多導入的 Wi-Fi 6 雖仍難滿足如工廠自動化、MR 巡檢等延遲低於 10ms 以下的應用，但 2023 年正由 Wi-Fi Alliance 審定中( Finalize )的 Wi-Fi 7( IEEE 802.11be ) 通訊標準，則可進一步將延遲時間進一步降低至 5ms 以下，讓諸如 MR、AR 等應用可落地實現，企業並可部分使用既有網路骨幹設施 ( 但須更新如交換器、橋接器等設備 )，且無須額外取得頻段，而成為昂貴的 5G 的可能替代方案。

然而以目前台灣 5G 發展現況，對中小型製造業者來說，5G 專網的架設與維運成本仍較高。依自行布建、與營運商租賃、或委託 SI 組建之不同，5G 專網每坪架設成本可能超過 2 萬元新台幣，而以 600 坪工廠來說，每月營運支出更可能超過 8 萬元新台幣，相比傳統 Wi-Fi 昂貴許多。此外，在頻譜布建上，Wi-Fi 及 LPWAN 都可使用免費頻譜，然而 5G 需要額外與營運商租用頻段，增加業者營運成本。

另一方面，5G 或 Wi-Fi 6 下的邊緣運算架構，也因其介於終端裝置與地端 / 雲端伺服器間，增加了數據處理的階層，從而提高維運與管理的複雜度。而相關的 AI 模型、App 部署、數據安全等議題，都需要進行額外部署，且由於邊緣伺服器處理之資料大部分未經機房或雲端伺服器，也需要設定新的數據權限管理機制，考驗製造業者 IT 人才及維運能力。

## 結論

### 邊緣運算朝節能化、AI化、超融合、規格標準化發展

智慧製造邊緣運算技術涉及感測器、IoT 裝置、邊緣節點的硬體技術革新和產業標準。在感測器與物聯網裝置方面，降低功耗是主要考量，例如利用震動能量、低功耗元件、微機器學習和高度整合多功能感測器。邊緣節點方面，AI 晶片普及提升生產靈活性，容器技術和微服務架構則使應用程式快速部署、擴展和維護，提高資源利用率和靈活性，系統面則以結合超融合架構與邊緣運算，達到簡易部署與管理之趨勢。產業標準方面，規格互通可達到異質設備可互操作性，提供通用的邊緣運算開源平台，將異質設備進行標準化，綜上所述，「節能化、AI 化、超融合、規格標準化」將為未來邊緣裝置與系統持續發展的三大方向。

### 數據流量、處理成本、處理即時性為通訊技術布建三大考量

智慧製造中的新興無線通訊技術包括 LPWAN、Wi-Fi 6 和 5G 專網等。LPWAN 技術適用於非即時環境監測，具有低成本、低功耗、長距離和高可靠性等特點，適合在智慧製造中監控和追蹤機器設備位置、人員、資產和庫存。Wi-Fi 6 具有較低的部署成本，支援更大的頻寬、更短的延遲和更多的可連接性，適用於工廠內部通訊，如工作站、辦公設備和行動裝置，以及非關鍵的感測器、工業照相機或 AMR。然而，Wi-Fi 6 的延遲較高且容易受干擾，因此無法完全滿足關鍵製造應用。

5G 專網具最高頻寬和最低延遲，能夠實現高時序精密度的異質設備協作、遠端操控和 MR 巡檢維修等應用。然而，相對於其他解決方案，5G 私網建置成本較高，是企業導入之主要門檻。而不同無線通訊技術在智慧製造中各具特點，企業須根據「人、機、料、環」流程中產生的數據流、即時應用需求、布建與維運費用、選擇最適合的技術進行導入，以取得成本與效益之平衡點。

### 新製造模式帶動低延遲需求，但邊緣系統導入仍有挑戰

我國製造業以中小企業為主，且在近年面臨缺工、少量多樣、彈性生產等需求，對於製造轉型有一定迫切性，此外，傳統機台數據導出往往較不容易，5G、Wi-Fi 6 等低延遲技術有助於實現關鍵應用，如機台 OCR 影像辨識、AI 預測性維護、人機協作等。淨零碳排需求下，LPWAN 與低功耗 AIoT 裝置可監測廠區環境，作為綠能解決方案。

展望未來，Wi-Fi 7 通訊標準可降低延遲至 5ms 以下，可能成為 5G 的替代方案。然而另一方面，對 IT 資源較少的中小型製造業者來說，5G 或 Wi-Fi 6 下的異構邊緣運算架構，會增加維運與管理複雜度，而 AI 模型訓練、App 部署、數據安全等議題需額外學習，同時需設定新的數據權限管理機制，使相關應用面臨一定挑戰。

## 附錄

### 英文名詞縮寫對照表

AI	Artificial Intelligence
AMR	Autonomous Mobile Robot
AOI	Automated Optical Inspection
GPU	Graphics Processing Unit
HCI	Hyper-Converged Infrastructure
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
LPWAN	Low-Power Wide Area Network
MCU	Microcontroller Unit
MR	Mixed Reality
MRAM	Magnetoresistive Random Access Memory
FeRAM	Ferroelectric Random Access Memory
SI	System Integrator
TPU	Tensor Processing Unit

## 中英文名詞對照表

延遲	Latency
感測器	Sensor
物聯網裝置	Internet of Things
互操作性	Interoperability
邊緣節點	Edge Node
地端伺服器	On Premise Server
雲端伺服器	Cloud Server
自動視覺檢測	Automated Optical Inspection
低功耗廣域網路	Low-Power Wide Area Network
蜂窩網路	Cellular Network
超融合架構	Hyper-Converged Infrastructure



發行所	財團法人資訊工業策進會 產業情報研究所 (MIC)
地址	106 台北市大安區敦化南路二段 216 號 19 樓
電話	(02) 6631-1200
傳真	(02) 2732-1353
全球資訊網	<a href="https://mic.iii.org.tw">https://mic.iii.org.tw</a>
會員服務專線	(02) 2378-2306
會員傳真專線	(02) 2732-8943
E-mail	<a href="mailto:members@iii.org.tw">members@iii.org.tw</a>
AISP 會員網站	<a href="https://mic.iii.org.tw/aisp">https://mic.iii.org.tw/aisp</a>

以上研究報告經 MIC 整理分析所得，由於產業變動快速，並不保證上述報告於未來仍維持正確與完整，引用時請注意發佈日期，及立論之假設或當時情境。  
著作權所有，非經 MIC 書面同意，不得翻印或轉載