



# 著作權聲明公告

本活動資料(包括但不限文字、圖片、影音等講義內容或其他文件)之著作權歸屬於「財團法人資訊工業策進會產業情報研究所(MIC)」所有，均受著作權法之保護及國際著作權法律的保障，僅授權報名本活動之個人非商業用途，並請註明引用出處及來源。

謹提醒，倘個人未取得書面授權同意，逕自透過電子郵件或LINE等媒體媒介轉載分享本活動資料，已經侵犯MIC的智慧財產權，將視情節之重大程度提出法律追訴，如經確認違法行為，不僅個人受罰，公司亦將負連帶賠償責任，並造成公司商譽之損害。

感謝您對於智慧財產權尊重與理解，如有意請求授權使用本活動資料，歡迎聯繫02-2378-2306；members@iii.org.tw，謝謝您！

# 量子運算技術發展與AI融合的應用

施柏榮

產業顧問兼副主任

產業情報研究所(MIC)

財團法人資訊工業策進會

2025/11/19

# 簡報大綱

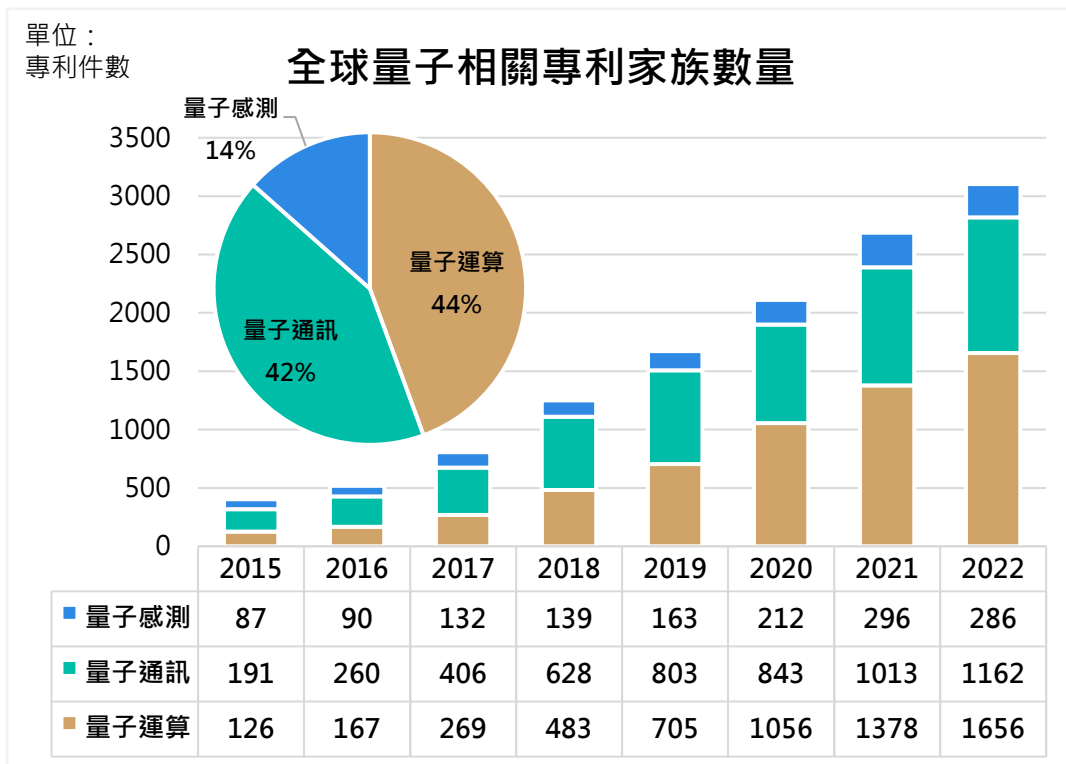
- ◆ 量子運算的產業技術演進
- ◆ 大廠動態與未來應用方向
- ◆ 結論

# 量子運算的產業技術演進

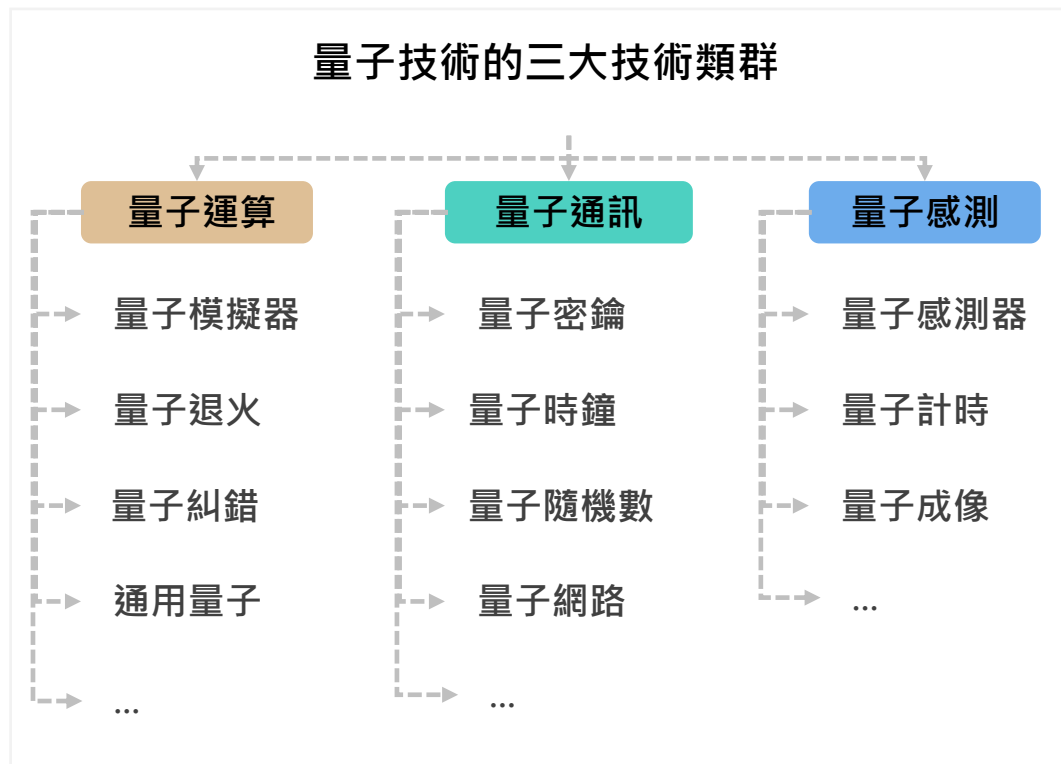


**INTERNATIONAL YEAR OF  
Quantum Science  
and Technology**

# 量子運算屬於「量子科技」的關鍵項目之一



資料來源：QuIC ( 2025 ) · MIC整理 · 2025年11月



註：不同技術涉及的力學特徵有所差異，如量子疊加之於運算，量子糾纏之於通訊  
資料來源：MIT ( 2019 ) · IEC ( 2024 ) · MIC整理 · 2025年11月

- ◆ 量子技術包含量子運算、量子通訊、量子感測技術類群，其中，量子運算的專利數量累積的比例最大宗
- ◆ 量子電腦 ( Quantum Computer ) 則是量子運算技術的產品技術具體化樣貌，IBM等大廠積極投入布局

# AI為驅動量子運算專利快速成長的關鍵因素

單位：專利件數  
量子技術三大類群專利數量年成長率

專利家族數量	2024年	2023年	年成長率
量子運算	6,897	5,040	37%
量子通訊	6,542	5,366	22%
量子感測	2,088	2,033	3%
總計	15,527	12,439	25%



歐洲專利局指出：量子運算的物理態、量子糾錯、量子運算與AI，是三個在2020年初驅動量子運算專利快速成長的三個主因，遠超過其他兩個的技術類群

註：量子與AI的專利快速成長，意味著量子電腦被預期可加快AI演算法的執行速度  
資料來源：EPO (2025)、QuIC (2025)、MIC整理，2025年11月

單位：專利件數  
量子技術專利數量與年成長率 (國家分)

專利家族數量	2024年	2023年	年成長率
美國	4,011	3,455	16%
中國	7,900	6,022	31%
歐盟	1,397	1,051	33%
日本	725	609	19%
韓國	644	522	23%
其他	850	720	18%
總計	15,527	12,379	25%








ITIF指出：量子技術將成為美國、中國下一個競爭高地

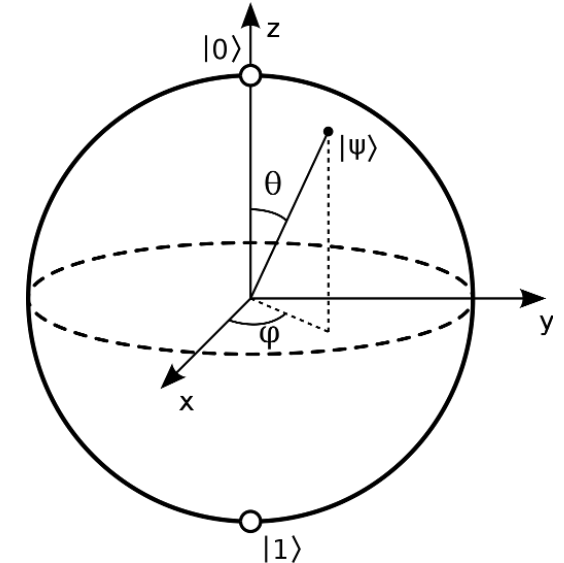
資料來源：ITIF (2024)、QuIC (2025)、MIC整理，2025年11月

- ◆ 量子運算專利家族數量2023至2024年的年成長率達37%，為三大技術類群之中年成長率最高者
- ◆ 「量子與AI」的專利主題，也成為推動近年量子運算專利快速成長的因素之一

# 量子運算延伸「量子力學」的新興運算技術

機構與組織	定義與內涵說明
	<ul style="list-style-type: none"> <li>量子電腦 ( Quantum Computer ) 是一種應用「量子力學」 ( Quantum Mechanics ) 的技術，它將與傳統電腦並存</li> </ul>
 International Electrotechnical Commission	<ul style="list-style-type: none"> <li>量子電腦藉由「量子位元」 ( Quantum bits ) 取代傳統的二進位位元，方法有：超導體、離子阱等，各有優缺點</li> </ul>
 IEEE COMPUTER SOCIETY	<ul style="list-style-type: none"> <li>量子電腦是以量子態 ( Quantum States ) 進行儲存與運算技術，與傳統電腦的運算原理不同，並未有迭代的關係</li> </ul>
 ITU	<ul style="list-style-type: none"> <li>量子電腦是藉由如量子疊加 ( Superposition ) 、量子糾纏 ( Entanglement ) 、量子干涉 ( Interference ) 的運算技術</li> </ul>
 NIST	<ul style="list-style-type: none"> <li>量子電腦藉量子位元運算，兩個量子位元同時包含四種0和1組合疊加，增加一量子位元，數量便呈現指數級成長</li> </ul>

布洛赫球面呈現的量子位元


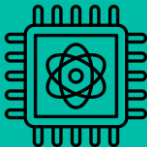


量子位元是以疊加的形式存在，與只能處於 0 或 1 的經典位元不同。可能的狀態映射到單位球體的表面

註：量子疊加是量子力學的核心概念，它意味著一個量子系統可以同時存在多個不同的狀態。同一個位置，不僅可以表示0或1，而是同時可以表示0與1的狀態  
 資料來源：MIT ( 2019 ) 、 IEC ( 2024 ) 、 IEEE Computer Society ( 2025 ) 、 ITU ( 2025 ) 、 NIST ( 2025 ) 、 EITCI ( 2025 ) · MIC整理 · 2025年11月

- ◆ 量子電腦應用量子力學進行儲存與運算的技術，量子位元 ( Quantum bits ) 是基本的資料表示單元
- ◆ 量子疊加的特性讓量子位元同時表示0與1，同一個位置可以同時儲存不同位元，用以運算龐大的資訊量





# 量子電腦「運算能力」將預期遠超傳統電腦

比較參數	 <b>傳統電腦</b> ( Classical computer )	 <b>量子電腦</b> ( Quantum Computer )
運算原理	藉由電晶體的開關元件記錄數據 ( 開為1、關為0 ) , 採0與1「二進位制」表示數據, 僅具備單向運算能力	藉由電子、光子等微觀粒子狀態「不確定性」, 形成量子位元 ( Qubit ) , 可「同時表示0與1」兩個數據
資料表示	用可以表示0或 1的電晶體運算	用同時表示0和1的量子位元運算
位元構成	使用電晶體來創建這些邏輯開關	使用離子阱、超導迴路等來創建量子位元
基本單元	多個電晶體組成基本邏輯閘	多個量子位元組成一個邏輯量子位元
運算能力	算力與電晶體數量成1比1的關係	算力與邏輯量子位元數量呈現指數級成長
運算環境	錯誤率低且可以在室溫下運作	錯誤率高且需要在超低溫等特殊環境運作
應用範疇	應用於通用運算情境	應用於優化與因式分解的情境
商用階段	已大幅商業化應用	尚未進入商業化應用階段
推動組織	企業與私部門機構投入技術研發與商品化	政府或特定大型企業投入技術研發

資料來源：IBM ( 2025 ) 、 National Institute of Standards and Technology ( NIST ) 、 Lawrence Berkeley National Laboratory ( 2025 ) 、 2025年9月

- ◆ 量子電腦相對傳統電腦擁有更高的運算能力，但目前仍處於研發、驗證，尚未進入商品化階段
- ◆ Berkeley等研究機構認為，量子電腦並不會完全取代傳統電腦，「混合量子-傳統系統」將是未來情境

# 量子運算物理態的選擇與關鍵影響因子 (1/2)

邏輯閘	位元生成	技術開發優點、缺點	技術開發者
超導體 	電流走向	<ul style="list-style-type: none"> <li>優點：與現有製造技術相容、電子控制、可擴充性佳</li> <li>缺點：需於趨近絕對溫度環境運轉</li> </ul>	IBM、AWS、Google、Rigetti、本源等
離子阱 	真空 漂浮離子	<ul style="list-style-type: none"> <li>優點：量子相干時間長、易讓量子位元間長距離相互作用</li> <li>缺點：需精密雷射技術操作離子</li> </ul>	IonQ、Honeywell、Quantinuum等
量子點 	光脈衝	<ul style="list-style-type: none"> <li>優點：可以半導體技術將位元小型化、可於較高溫環境操作</li> <li>缺點：未建立演算技術、矽材料確保困難</li> </ul>	Intel、Hitachi等
光子 	矽晶圓 電子自旋	<ul style="list-style-type: none"> <li>優點：量子相干時間長、可於室溫，不需要在絕對零度下操作</li> <li>缺點：可擴充性較差</li> </ul>	PsiQuantum、東大、Xanadu等
其他物理態：拓撲量子位元 ( Topological Qubits )、中性原子量子電腦 ( Neutral Atom Qubits )、冷原子 ( 銻 ) 等			

註：絕對零度為熱力學的最低溫度，是熱力學與統計物理參數之一，等於攝氏溫標零下273.15度

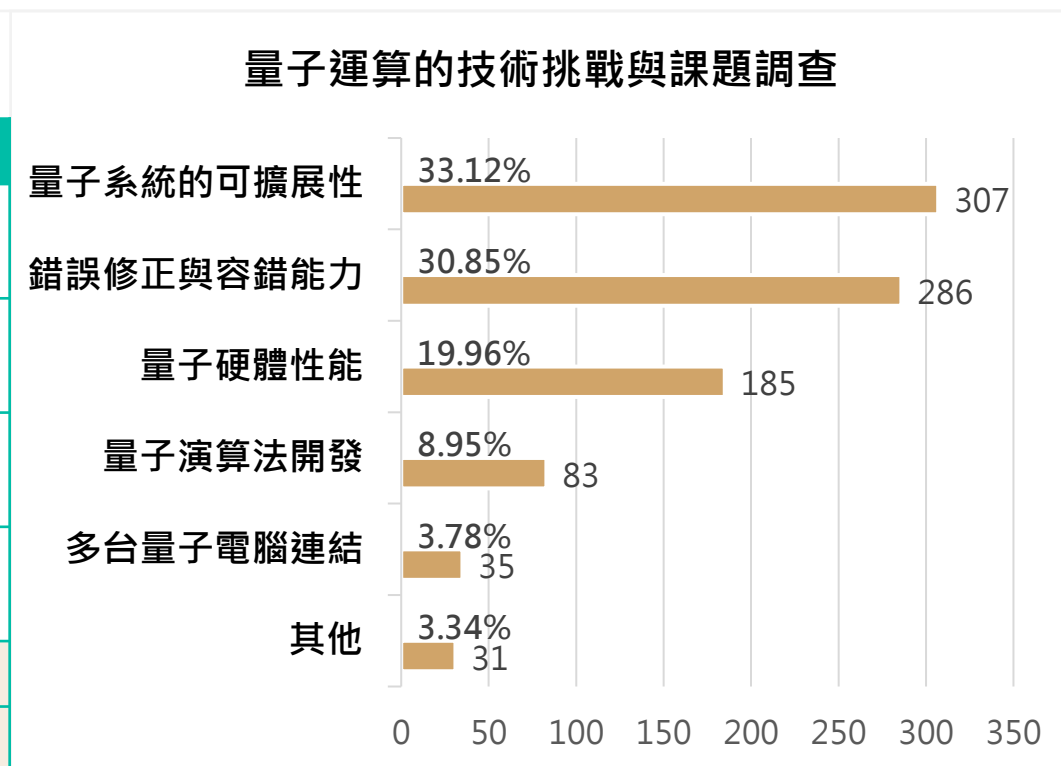
資料來源：MMC Ltd ( 2025 )、Mitsubishi Research Institute ( 2025 )、Arthur D. Little ( 2025 )、MIC整理，2025年11月

- ◆ 已有多種可以實現量子位元的物理態選擇，主要有：超導體、離子阱、光子等
- ◆ 無論是哪一種物理態皆有其優點、缺點，製造技術、操作溫度兩項因子，則是皆需要突破的技術限制

# 量子運算物理態的選擇與關鍵影響因子 (2/2)

量子運算物理態的判斷指標		
因素	定義與內涵	指標
相干時間	量子位元在狀態被干擾前保留量子資訊的時間。時間越長，越能解決複雜問題並減少錯誤修正	長
量子閘保真度	量子閘是操控量子位元操作，類似經典邏輯閘。此一指標衡量演算法運行中閘門操作的準確性	高
擴展性	維持相干性與最佳錯誤率之下，增加量子位元數量的能力。可靠系統需要數百萬個量子位元	高
錯誤率	量子運算偏離預期結果的可能性。錯誤可能來自環境雜訊、硬體不精確或控制不準確	低
製造的複雜度：必須低，以確保製造容易且成本低廉		
操作環境條件：最好為室溫與常壓，避免龐大低溫與控制系統		

註：量子相干性，是一種評估量子系統，能夠保持其疊加態的能力  
 資料來源：Timothy Proctor et al., ( 2025 ) · MIC整理 · 2025年11月

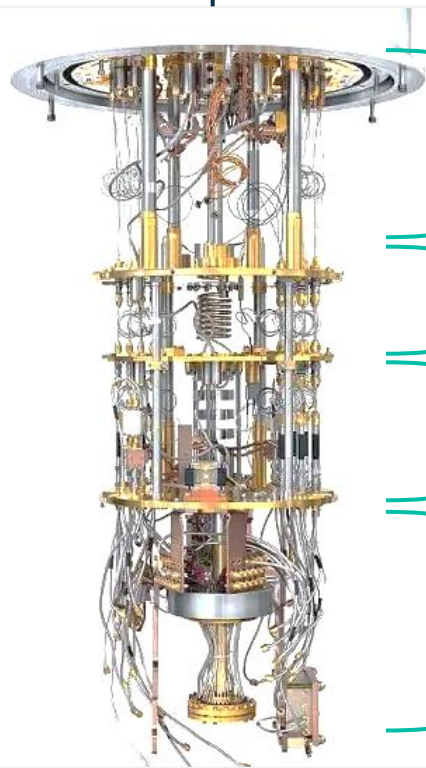


註：上述調查樣本總數為927件，對象有量子運算相關之學術、企業與基金會等  
 資料來源：QuEra ( 2024 ) · MIC整理 · 2025年11月

- ◆ 包括相干 ( coherence ) 時間、可擴展性、錯誤率都是評估指標，而且不同指標會相互影響
- ◆ 上述屬於基礎科學的範疇，但是應用科學範疇的製造複雜度、操作環境條件，也是其關鍵影響因子

# 「多層圓柱體結構」量子電腦階層樣貌

連結到Cloud或HPC網絡



量子電腦的圓柱體結構 (Cryostat) 呈現分層分段設計，是因為需要多層冷卻與功能區隔，每一層不僅代表冷卻過程的不同階段，也整合量子硬體的核心元件

最上層

**電子設備層：**通常包含較接近室溫的元件，放置一些與量子處理器相連，但不需最低溫度電子設備，如用來向量子位元發送訊號的微波電子模組

中間層

**冷卻裝置層：**往下進入冷凍系統時，每一層都代表逐步更低的冷卻階段，中間層溫度可能低至幾克耳文 (kelvin)，來逐步帶走系統中的熱量

下層

**量子位元層：**冷凍裝置中最冷的部分，對量子晶片的運作至關重要。量子處理器實際工作之處。在超導型量子電腦，亦是放置超導量子位元的位置

最底層

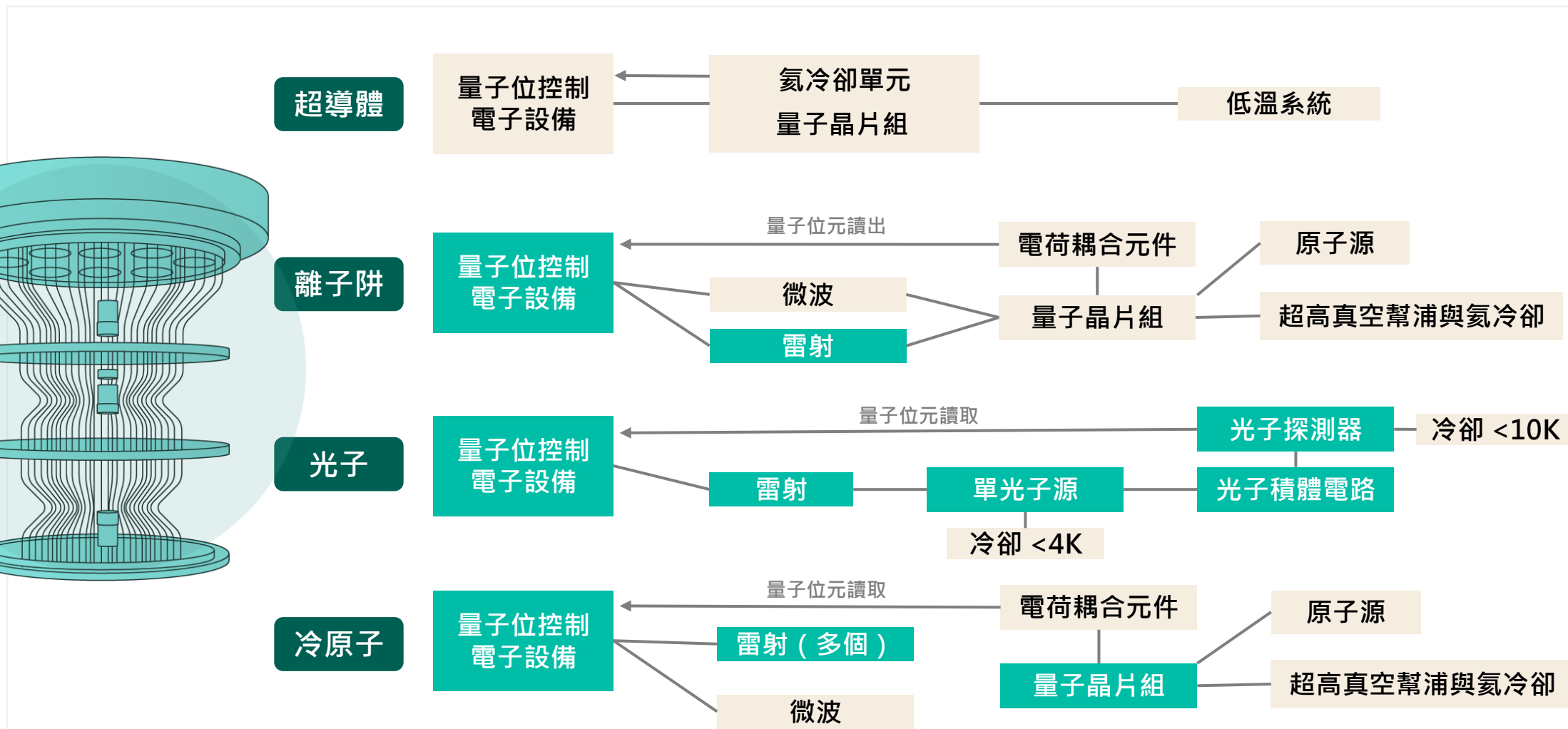
**量子晶片層：**通常是稀釋冷凍機的混合腔，此處能達到系統的最低溫度，而量子晶片也就安置在這一層

註：克耳文 (Kelvin) 是溫度的計量單位，以克耳文計量的溫度標準稱為熱力學溫標，其零點即是絕對零度。在熱力學的表达中，絕對零度下的所有熱運動、熱活動都將停止  
資料來源：Rigetti (2025)、National Academies of Sciences (2019)、MIC整理，2025年11月

- ◆ 「多層圓柱體」的分段設計有兩個考量：第一，便於管理大量電纜與控制線路。第二，各層可以針對冷卻、屏蔽或訊號處理進行最佳化，降低熱雜訊對量子處理器的干擾（降低量子位元的錯誤率）

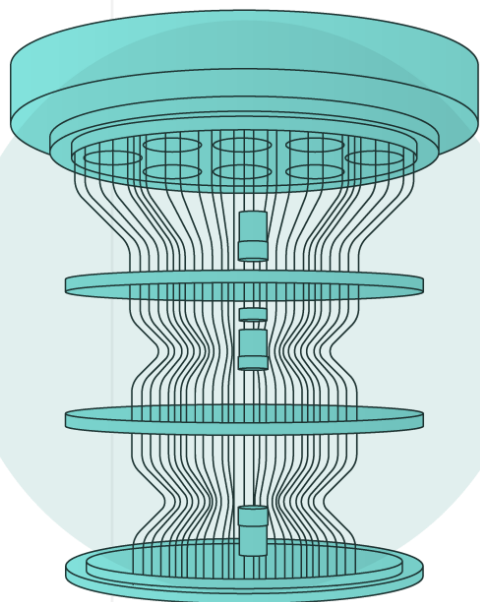
# 量子電腦為光學等高精密控制設備系統 (1/2)

● 光學元件



資料來源：Yole Intelligence (2024)、IBM (2025)、Rigetti (2025)、Quantinuum、Tom Manovitz et al., (2025)、MIC整理、2025年11月

# 量子電腦為光學等高精密控制設備系統 (2/2)

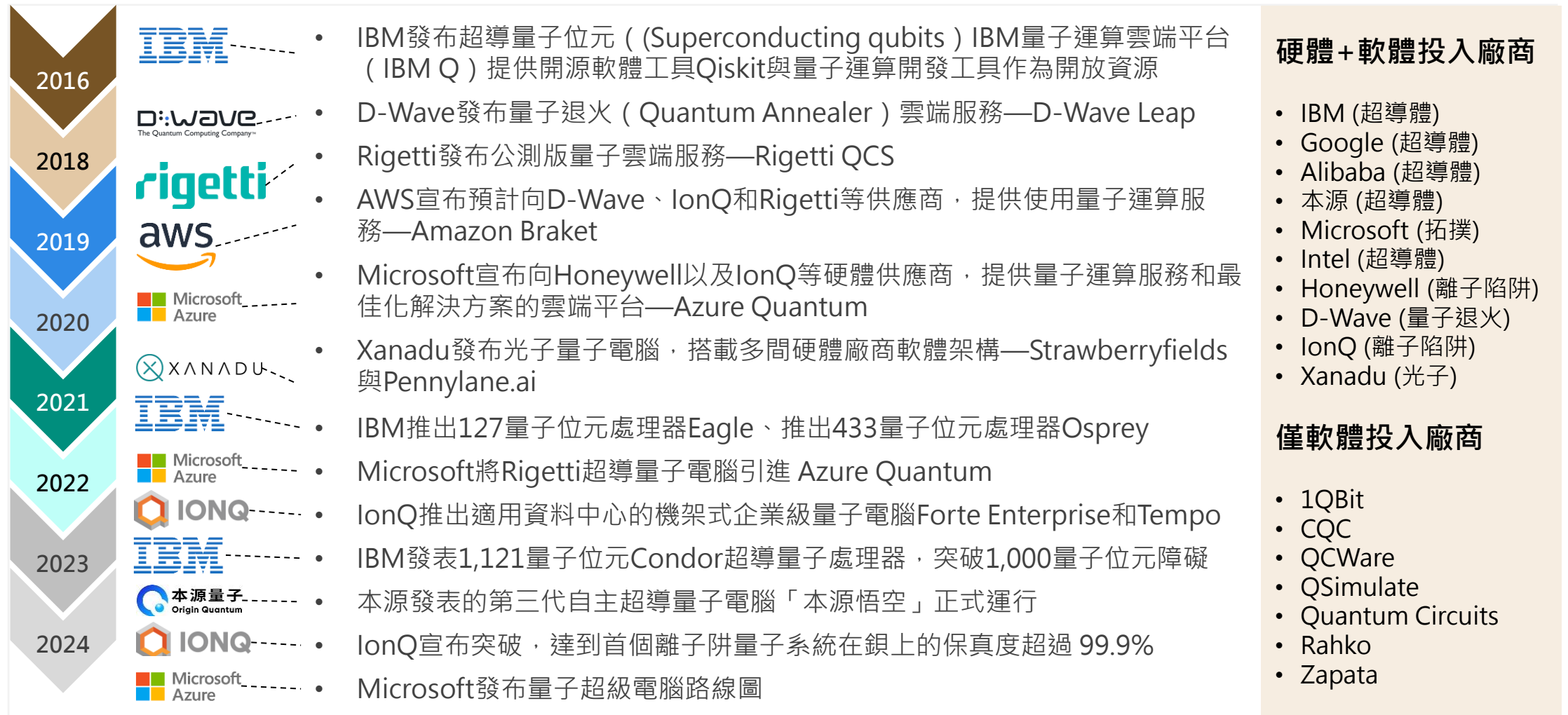


裝置	目的	主要公司
製冷系統	維持低溫至絕對溫度 ( -273 度 ) ， 以使量子位元能運作的製冷設備	BlueFors ( 芬蘭 ) 、 Oxford Instruments ( 英國 ) 、 Ulvac Cryogenics ( 日本 )
控制單元	控制量子位元的功能，用來控制、 測量和讀出訊號的設備單元	QuEL, Inc. ( 日本 ) 、 Keysight ( 美國 ) 、 Quantum Machines ( 以色列 )
低溫傳輸電纜	用以在極低溫之下傳輸信號的傳輸 設備與連結系統	Coax Co ( 日本 ) 、 Kawashima Packaging Machinery ( 日本 )
低噪音電源	防止電源產生的熱雜訊，以降低可能 干擾量子位元的能源設備	NF Holdings Corporation ( 日本 )
低噪音放大器	偵測量子位元的微弱訊號，並能在 無熱雜訊的情況下放大	Low Noise Factory ( 瑞典 ) 、 Japan Communication Equipment ( 日本 )
低溫循環器	控制微波信號流向的設備裝置，以 控制量子位元	Low Noise Factory ( 瑞典 )
磁屏蔽	保護量子位元免受磁場干擾的屏蔽 設備或系統元件	Ohtama Co ( 日本 )
測量設備	檢查控制單元是否正常運作的設備 與人機控制介面	Keysight ( 美國 ) 、 Anritsu Corporation ( 日本 )

資料來源：Carleton Coffrin ( 2024 ) 、 Diamond ( 2022 ) 、 Tom Manovitz et al., ( 2025 ) · MIC整理 · 2025年11月

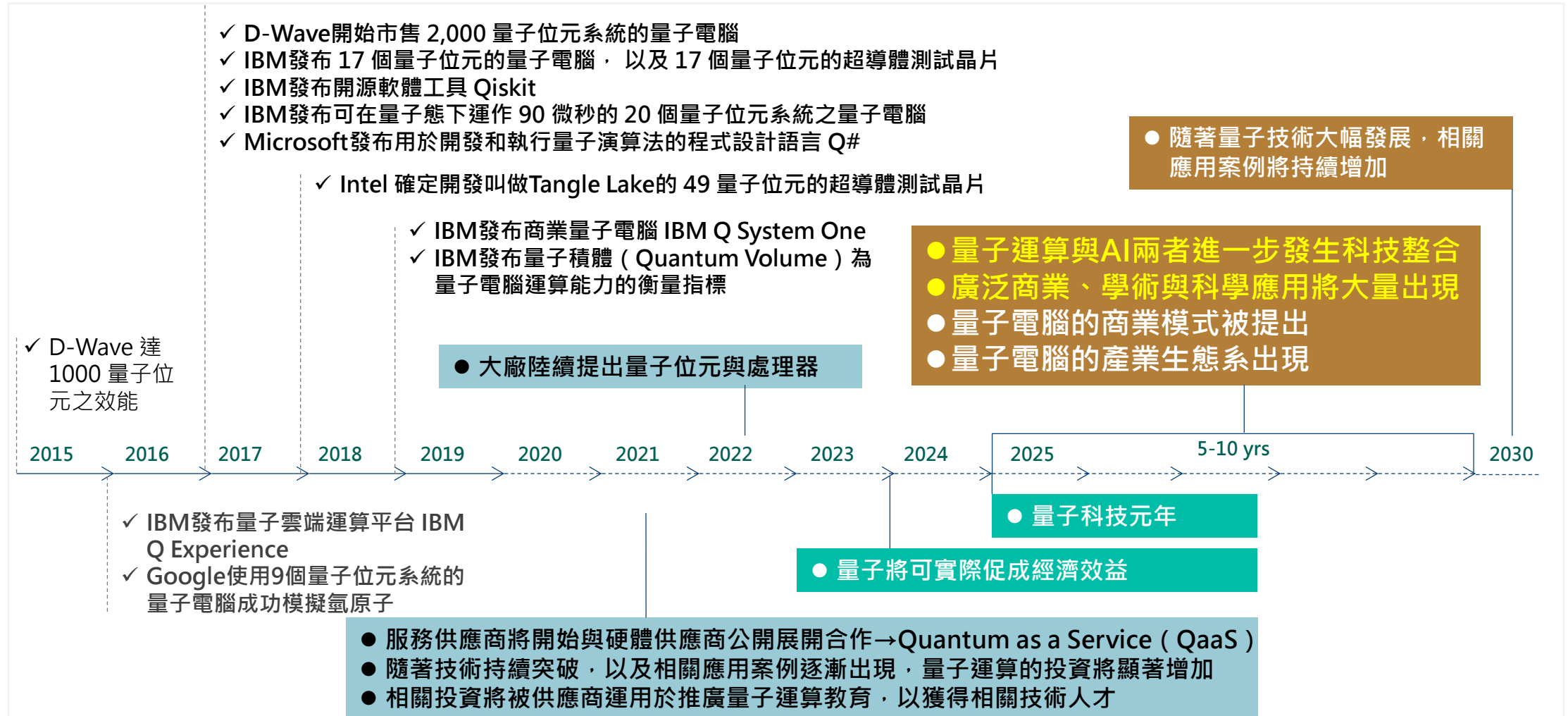
# 大廠動態與未來應用方向

# 全球大廠加快投入量子技術與商業發展 (1/2)



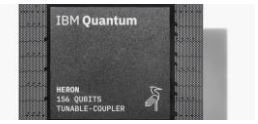

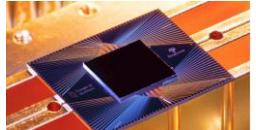
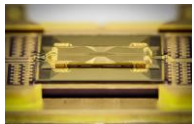
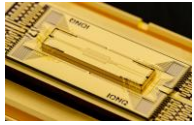
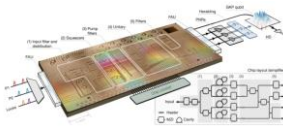
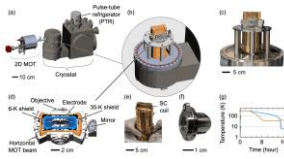
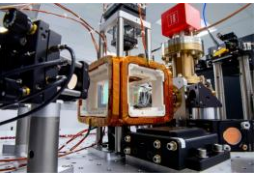
資料來源：D-Wave ( 2025 )、IonQ ( 2025 )、IBM ( 2025 )、TBR ( 2019 )、Sinergi Wahana Gemilang ( 2021 )、MIC整理，2025年11月

# 全球大廠加快投入量子技術與商業發展 (2/2)



資料來源：Microsoft (2025)、Johnjoe McFadden & Jim Al-Khalili (2018)、A. Acín et al., (2018)、TBR (2019)、MIC 整理、2025 年 11 月

# 「量子處理器」成為大廠重要產品競爭高地

	IBM	Google	IonQ	Xanadu	Pasqal	QuEra
國家別	美國	美國	美國	加拿大	法國	美國
物理態	超導體	超導體	離子阱	光子	中性原子	中性原子
處理器名	Heron、Osprey	Sycamore	Aria、Forte	Borealis	Fresnel	Aquila
量子位元	133-433	53	25-36	216 (非傳統qubit)	100+	256
技術優勢	<ul style="list-style-type: none"> <li>高連通性</li> <li>生態系成熟</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特定運算極快</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>位元品質高</li> <li>高連通性</li> <li>低錯誤率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>室溫運作</li> <li>高相干性</li> <li>適合量子ML</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高可擴展性</li> <li>可程式化陣列</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>專注量子模擬</li> <li>量子位元多</li> </ul>
雲端服務	<ul style="list-style-type: none"> <li>IBM Cloud</li> <li>AWS Braket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Google Cloud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IonQ Cloud</li> <li>AWS Braket</li> <li>Azure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Xanadu Cloud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasqal Cloud</li> <li>AWS Braket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>QuEra Cloud</li> <li>AWS Braket</li> </ul>
產品樣態	 <p>Heron (2023) 應用在資料中心</p>  <p>Osprey (2022) 應用量子HPC</p>	 <p>Sycamore (2019) 應用在 資料中心， 目前最新一代為 第三代，技術的 焦點為降低量子 運算的錯誤率</p>	 <p>Aria (2023) 應用在資料中心</p>  <p>Forte (2025) 應用在Braket</p>	 <p>Borealis (2022) 應用在資料中心， 主要的技術焦點 在於如何在室溫 的環境之下運作</p>	 <p>Fresnel (2025) 應用在資料中心， 上圖為處理器的 運作示意圖，非 處理器本身樣貌</p>	 <p>Aquila (2022) 應用在資料中心， 上圖為處理器的 運作示意圖，非 處理器本身樣貌</p>

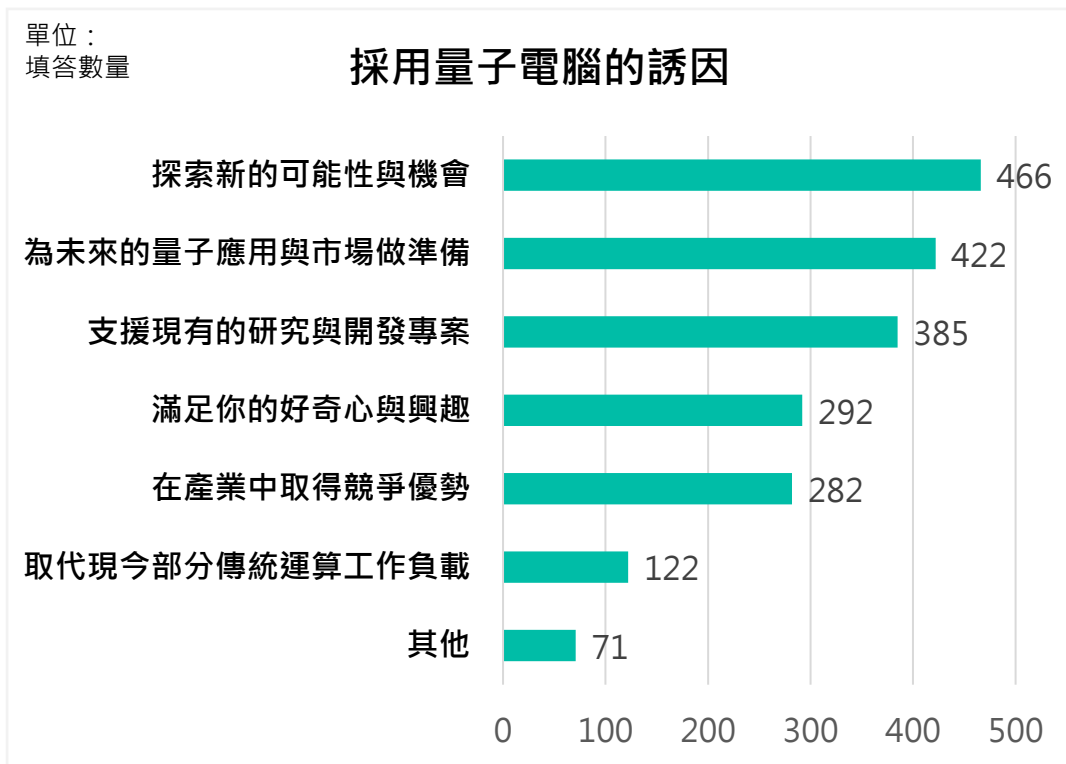
註：Google於2024年12月提出Willow量子處理器。AWS於2025年2月提出名為Ocelot的量子處理器原型。Microsoft於2025年2月亦提出Majorana1量子處理器原型（拓撲）  
資料來源：IBM (2025)、Google (2025)、IonQ (2025)、Xanadu (2025)、Pasqal (2025)、QuEra (2025)、MIC整理，2025年11月

# 「雲端服務提供商」為技術與商模關鍵推手

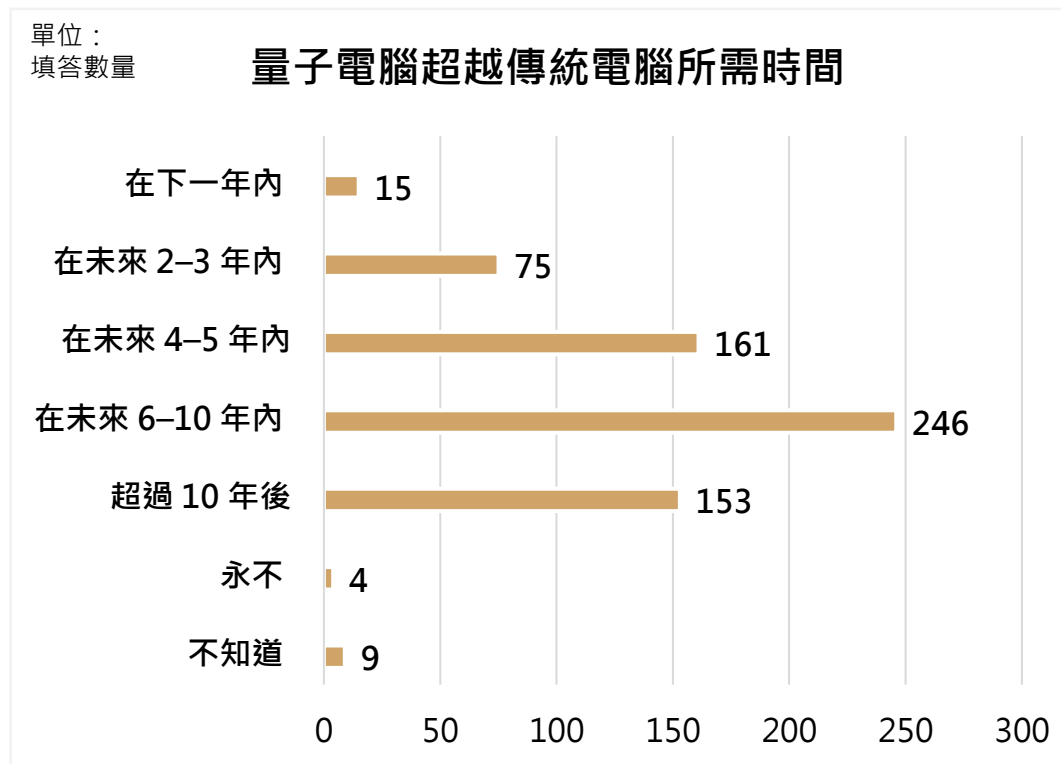
	IBM Quantum (IBM)	Azure Quantum	Amazon Braket	Google Quantum AI
推出時間	2016	2019	2019	2019
硬體策略	自研硬體為主，擁有自家的超導量子位元處理器與裝置	夥伴生態系為主，提供IonQ、Quantinuum、Atom等服務	夥伴生態系為主，提供IonQ、Quantinuum、Rigetti等	自研硬體為主，專注於發展超導量子位元
核心語言	Qiskit：一個開源的Python軟體開發套件（SDK），是IBM的量子運算核心工具	Q#和Quantum Development Kit（QDK）：為微軟自研的量子程式語言和開發工具包	Braket SDK：AWS軟體開發套件，使用者可利用它建構量子演算法，並支援Qiskit等	Cirq：Google 開源的Python軟體開發套件
服務模式	透過IBM Quantum Platform提供免費和付費存取	使用者可以透過Azure帳號，在單一介面下存取多個服務	類似Azure提供託管平台，可在單一介面下存取多個服務	透過 Google Cloud Platform 運行，推動技術合作
主要優勢	<ul style="list-style-type: none"> <li>先發優勢：為最早提供公開量子雲端服務企業</li> <li>硬體與軟體整合：Qiskit與自家硬體完美整合</li> <li>免費存取：提供免費的存取，降低入門門檻，開發者社群龐大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多元硬體：整合多硬體夥伴，讓使用者能比較不同量子技術的效能</li> <li>深度整合：與Azure的AI和高效能運算（HPC）的服務深度整合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>雲端生態系：與AWS廣泛的雲端服務（S3、EC2）無縫整合，推動古典與量子混合式運算</li> <li>開發介面統一：可提供簡潔統一的開發環境，能夠於不同硬體間切換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>頂尖研究：擁有強大的研究團隊，持續發表突破性研究成果</li> <li>未來潛力：技術實力被視為是長期發展的潛力</li> </ul>

註：IBM於2016年推出的雲端服務名稱為IBM Quantum Experience，現為IBM Quantum Platform。Google於2019年宣稱達到量子霸權  
 資料來源：IBM（2025）、Google（2025）、IonQ（2025）、Xanadu（2025）、Pasqal（2025）、QuEra（2025），MIC整理，2025年11月

# 「探索新機會」驅動企業評估與採用量子電腦



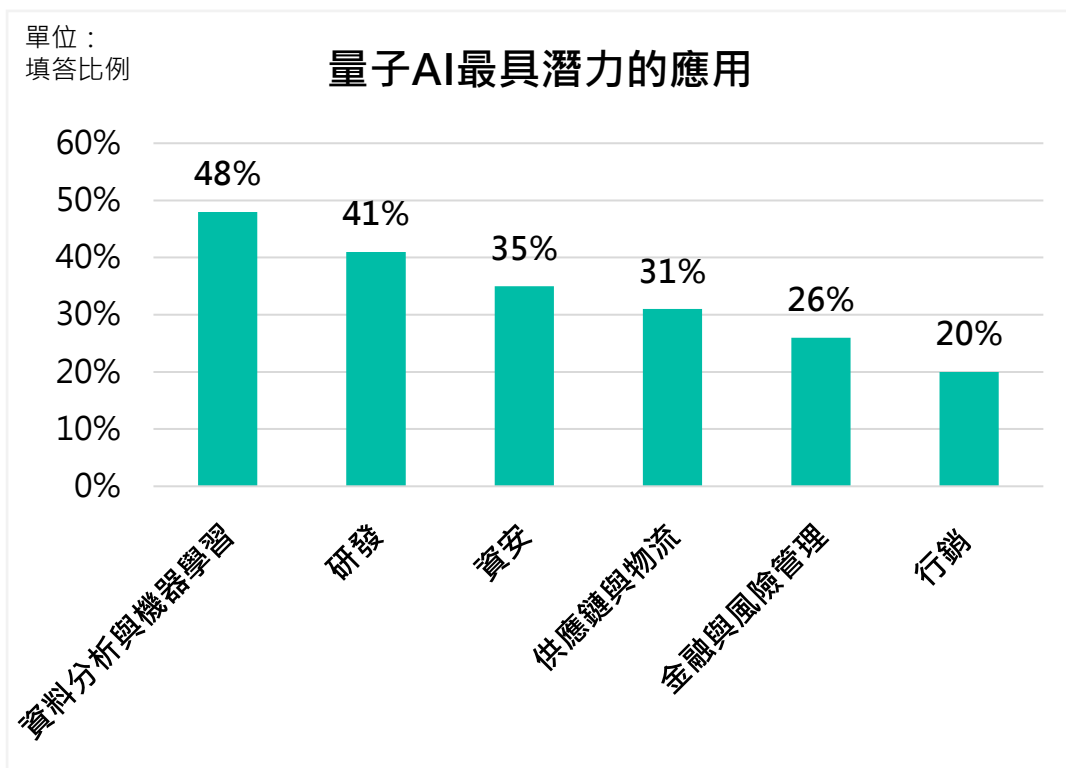
註：上述調查樣本總數為927件，對象包含量子運算相關之學術、企業與基金會等  
資料來源：QuEra (2024) · MIC整理 · 2025年11月



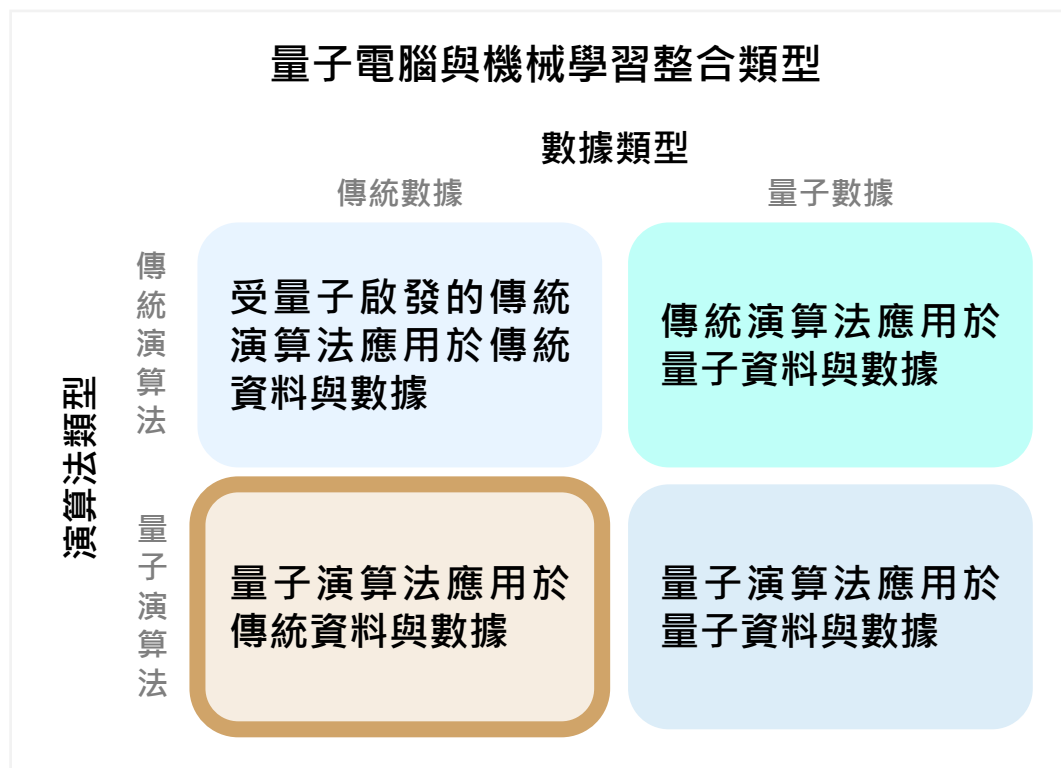
註：上述調查樣本總數為927件，對象包含量子運算相關之學術、企業與基金會等  
資料來源：QuEra (2024) · MIC整理 · 2025年11月

- ◆ 探索新的可能性與機會、因應未來市場，是採用量子電腦的主要因素
- ◆ 2030年量子電腦的運算能力（包含考量糾錯等）預期在特定問題將超越傳統電腦

# 「量子AI」以資料分析與ML為主要的潛力應用



註：上述調查樣本總數為500件，對象為企業的營運者，複選題項  
資料來源：SAS ( 2025 ) · MIC整理 · 2025年11月

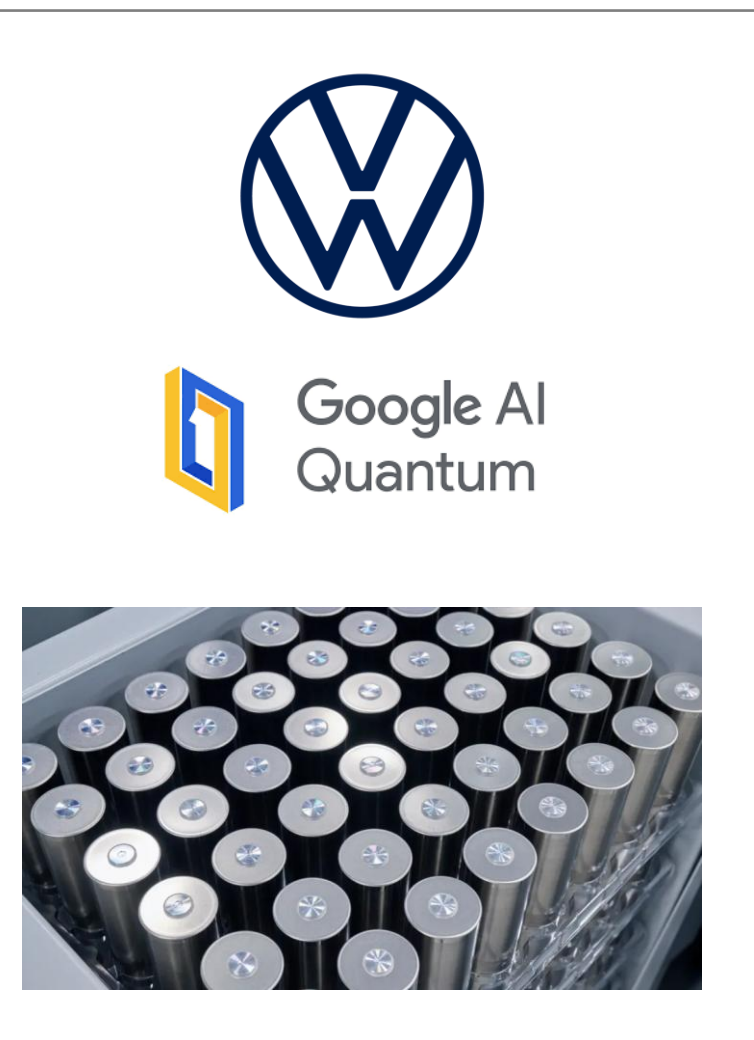


註：量子機械學習 ( Quantum Machine Learning ) 文獻大量出現在2022年後  
資料來源：M. Cerezo at al., ( 2022 ) · MIC整理 · 2025年11月

- ◆ 「量子AI」成為新興產業技術研發主題，「資料分析」與「機械學習」是關鍵潛力應用
- ◆ 「量子AI」的技術應用多元化，考量演算法、數據類型，將因不同的應用情境產生異質化應用模式

# Volkswagen導入量子AI於EV電池開發

案例說明	基礎內容
產品名稱	AI Quantum EV Power
應用情境	加速EV電池材料的發現、電池原型設計
基礎資訊	推出年份：2024
	據點範圍：德國、美國
	特殊紀錄：Google量子AI重點提出的應用案例
發展階段	在實際場域進行試驗、驗證階段，服務概念已成形，已有初期的採用者
核心技術	技術名稱
	超導體量子電腦、Quantum AI (量子演算法應用於傳統數據)
	生成式AI (化學分子資料庫)
案例簡介	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 產品簡介：「AI Quantum EV Power」是一套結合AI與量子運算的電池創新研發解決方案，其涵蓋：研發、製造、管理到回收完整生命週期，透過量子電腦推動AI模擬與預測精準度，發現新材料、設計高效能電池，並且優化整體產品生命週期的製造與使用過程</li> <li>■ 效益：能量密度提升至400–500Wh/kg (大約比現有密度提升50–70%) 續航延長至600–800公里。電池壽命可提升至15–20年 (大約為2,000–3,000次的充電循環)。對於技術研發者來說，研發週期縮短40–50%，R&amp;D成本降低，推動新技術上市速度提升 50–70%</li> </ul>



註：上述包括能量密度、續航時間、電池壽命等為TATA Consultancy Service提供的研究資訊，從Volkswagen等車廠資料進行歸納與估計  
 資料來源：Volkswagen (2024)、Google (2025)、TATA (2025)、MIC整理，2025年11月

# Boehringer Ingelheim與Google導入量子AI於新藥研發

案例說明	基礎內容
產品名稱	量子運算於藥物研發的前瞻應用
應用情境	藥物發現、疾病機制相關分子模擬與分析
基礎資訊	推出年份：2021
	據點範圍：德國
	特殊紀錄：Google於Boehringer Ingelheim成立量子實驗室
發展階段	量子運算技術在實際場域進行試驗、驗證階段，取得部分研究成果發表
核心技術	技術名稱
	超導體量子電腦、Quantum AI ( <u>量子演算法應用於傳統數據</u> )
	分子動力學、分子模擬
案例簡介	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>產品簡介</b>：藉由Google Quantum AI運算能力，Boehringer Ingelheim預期可以利用量子電腦，突破傳統電腦在藥物研發中遭遇的瓶頸，尤其是過去傳統電腦在藥物分子模擬與分析上，所需花費時間較長，也無法模擬更大、更複雜的分子結構</li> <li>■ <b>效益說明</b>：提升分子模擬的精確度與規模（即分子結構的複雜程度），處理傳統電腦無法運算複雜分子結構，導入量子運算可大幅縮短藥物從發現到上市的總體時間，從而促進新型態療法、藥物的創新速度，加速醫療解決方案提出的時間</li> </ul>

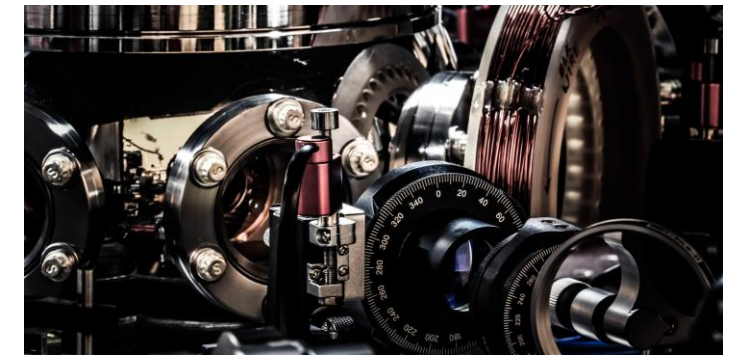
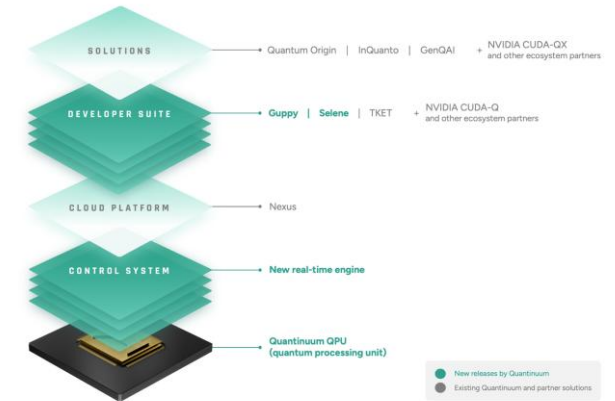




資料來源：Boehringer Ingelheim ( 2023 )、Google ( 2025 )、MIC整理、2025年11月

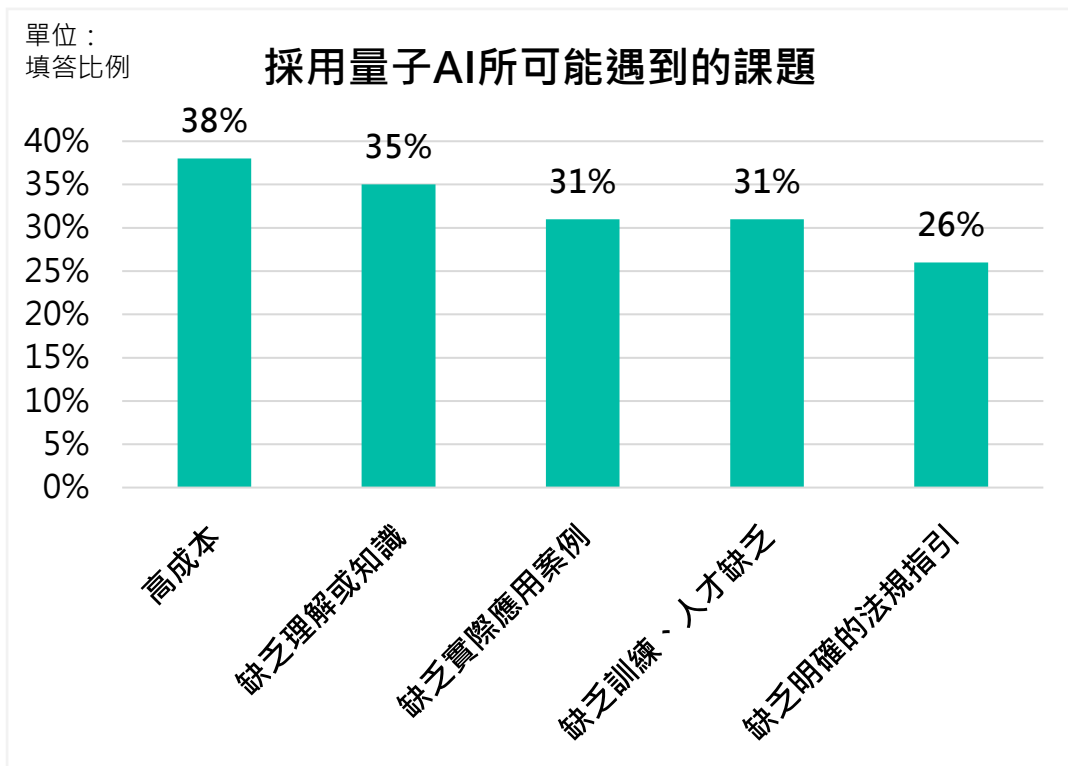
# Quantinuum導入量子AI於自然語言處理

案例說明	基礎內容
產品名稱	量子自然語言處理 ( Quantum Natural Language Processing )
應用情境	將量子電腦導入至NLP，使NLP可以更加複雜化 ( 複雜詞語嵌入 )
基礎資訊	推出年份：2025
	據點範圍：美國、英國
	特殊紀錄：提出Gen QAI概念，引領牛津等研究機構進行推進
發展階段	處於學術驗證階段，並且已發表數篇關鍵學術期刊
核心技術	技術名稱
	離子阱量子電腦、Gen QAI ( <u>量子演算法應用於傳統數據</u> )
	量子循環神經網絡 ( Quantum Recurrent Neural Network (RNN) )
案例簡介	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>產品簡介</b>：Quantinuum開發原生於量子電腦的生成式 AI 系統 ( Gen QAI )，藉由量子運算來試驗、改變NLP中的核心方法 ( 詞嵌入、RNN、Transformer 等 )，將NLP重構為量子版本，充分利用量子疊加、糾纏與干涉特性，處理文字分類和語言建模等任務</li> <li>■ <b>效益說明</b>：量子模型需更少的參數，即可達到與傳統AI相當的表現，預期能夠減少運算與訓練成本，降低大模型的環境與經濟成本，解決傳統NLP與LLM訓練耗能問題。同時，量子電腦導入NLP之中，可以使得NLP具有豐富的層次結構，預期實現更複雜的表現形態</li> </ul>

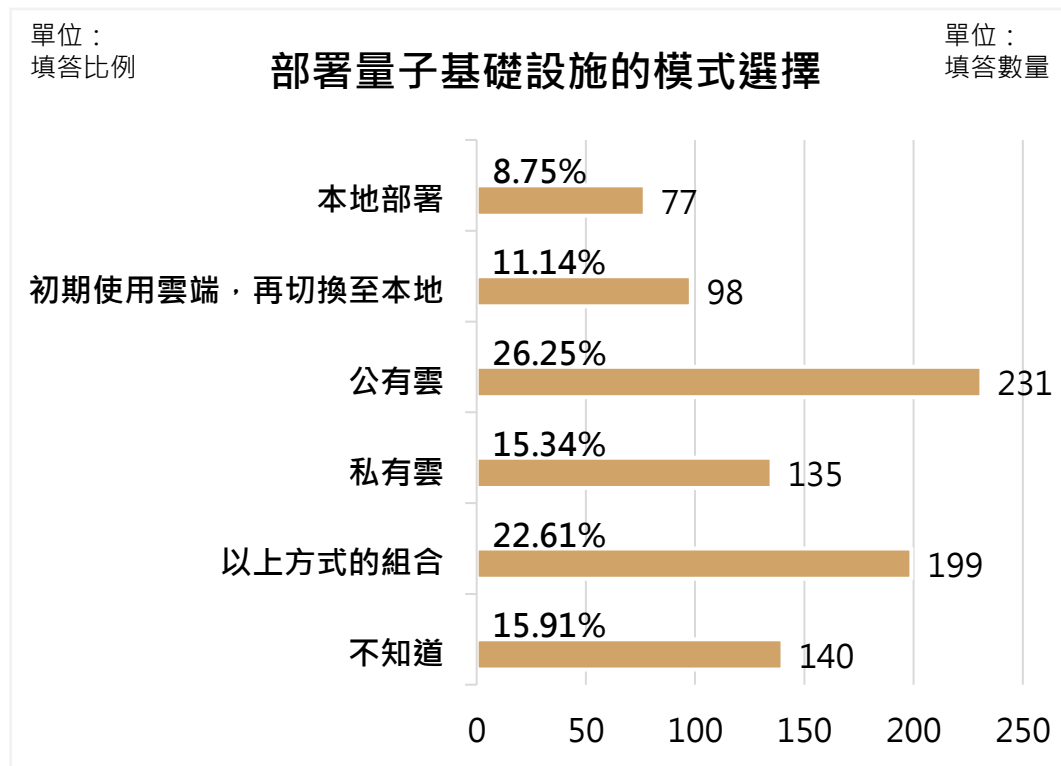


註：Quantinuum團隊於2024年發表Learning Complex Word Embeddings in Classical and Quantum Spaces，該期刊中說明其技術驗證的過程與結果  
 資料來源：Carys Harvey et al., ( 2024 )、Quantinuum ( 2025 )、MIC整理，2025年11月

# 「操作成本」與知識技能為量子AI導入課題

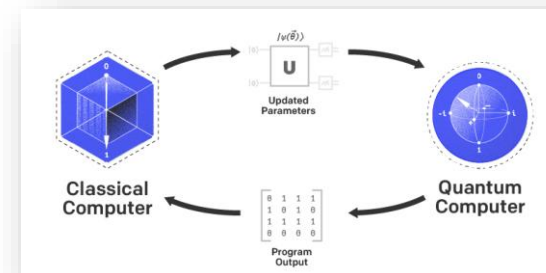


註：上述調查樣本總數為500件，對象為企業的營運者，複選題項  
資料來源：SAS (2025) · MIC整理 · 2025年11月



註：上述調查樣本總數為927件，對象有量子運算相關之學術、企業與基金會等  
資料來源：QuEra (2024) · IonQ (2025) · MIC整理 · 2025年11月

- ◆ 「操作成本」與AI知識與技能，是導入量子AI初期需要面對的課題與挑戰
- ◆ 因建置成本高，預期將以雲端部署為主，特殊領域採雲端邊緣混合，同時，量子與傳統電腦混合 (Quantum-Classical Hybrid Systems) 也成為未來運算情境



# 結論

# 「硬體與系統廠商」擁有「三大發展契機」

企業角色	Player A. End-to-end	Player B. Hardware & Systems	Player C. Software & services	Player D. Specialists
產業技術階層				
Layer 4. 量子電腦服務 ( Service )	<ul style="list-style-type: none"> <li>IBM</li> <li>Google</li> <li>Microsoft</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Zapata Computing</li> <li>Cambridge Quantum Computing</li> <li>QC Ware</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tellus Matrix Group</li> <li>Quantika</li> <li>Entanglement</li> </ul>
Layer 3. 應用與軟體 ( Application and Software )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rigetti Computing</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>1Qbit</li> <li>Riverlane</li> <li>QxBranch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strangeworks</li> <li>Q-CTRL</li> <li>Qindom</li> </ul>
Layer 2. 系統 ( Systems )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alibaba Group</li> <li>D-Wave Systems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IonQ</li> <li>QuTech</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>SeeQC</li> </ul>
Layer 1. 量子硬體 ( Hardware )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emerging:</li> <li>Honeywell</li> <li>Xanadu</li> <li>Qilimanjaro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intel</li> <li>Quantum Circuits</li> <li>TundraSystems</li> <li>Global</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Silicon Quantum</li> <li>Computing</li> <li>PsiQ</li> <li>Alpine Quantum</li> </ul>

契機2:  
硬體系統廠商將  
朝向服務來擴張

契機1:  
整合至大廠量子  
供應鏈體系之中

契機3:  
軟體應用廠商將  
尋求硬體系統的  
技術與商模試驗

資料來源：Cem Dilmegani ( 2025 ) · MIC整理 · 2025年11月

Layer 0  
( IC )

◆ 硬體與系統廠商 ( Player B. ) 進一步思考融入大廠生態、自主朝量子服務或與量子軟體服務廠商進行合作

# 「量子專業人力」缺口與斷裂問題仍須面對

量子電腦的職業與技能缺口				
硬體工程	軟體工程	研究科學	工業製程與專案管理	技術諮詢服務
低溫整合工程師	軟體開發工程師-量子	理論物理學家	工業製程與控制經理	產業量子顧問
設計驗證工程師	量子全棧開發人員	量子科學研究員	量子運算產品經理	量子雲端與邊緣架構師
製造工程師-量子運算	前 / 後端開發人員	量子運算科學家	技術專案經理	量子運算技術專家
訊號與電源完整工程師	量子軟體測試工程師	量子研究設計與模擬	量子研究專案經理	
量子設備製造工程師	量子軟體安全工程師	量子資料科學家	理論和模擬研究經理	
量子設備開發工程師	軟體QA工程師	研究科學家	技術項目經理	
量子測試工程師	嵌入式軟體工程師	量子電腦所需要的職業、技能，除了需要高階技術人才之外，也需要先進程式設計語言的人才，甚至是直接對應於量子主題的研究經驗，也意味現有教育體系必須因應調整		
量子控制工程師				

資料來源：Thomas C. ( 2020 )、Tabor Communications ( 2021 )、MIC整理，2025年11月

◆ 量子電腦涉及硬體與軟體工程之外，研究科學、工業製程與管理人員也同樣存在技能與人才缺口

# 結論

## ◆ 量子電腦技術仍有待突破，相干時間、錯誤率、擴展性是技術評估指標

量子物理態、糾錯、操作環境，三者是目前量子電腦有待突破的技術議題。究竟最終物理態為何，包含：量子的相干時間、量子閘的保真度、擴展性、錯誤率、工業製程技術都是技術觀察指標

## ◆ 量子電腦運算潛力高，不會取代傳統電腦，將與傳統電腦形成混合系統

量子電腦不會取代傳統電腦：第一，量子與傳統電腦混合系統（Quantum-Classical Hybrid Systems）。第二，量子電腦主要在雲端部署（類似於HPC的部署架構模式），但特殊應用領域（如有關鍵數據或關鍵基礎設施應用）將朝向雲端與本地混合的架構

## ◆ 量子電腦為光學等高精密系統的整合，光學與設備製造能力是落地關鍵

除了冷卻設備、量子晶片之外，亦包含雷射系統設備、位元電子控制設備、單光子源設備、光子探測器等設備，光學技術與高階光學設備的製造能力，也成為進入此一潛力市場的關鍵要素

## ◆ 「量子AI」是推動量子技術進展的關鍵力道，EV電池、醫藥為可見應用

「量子AI」以資料分析與ML為主要的潛力應用，包括藥品研發、EV電池開發、金融與資產管理、NLP都是可見的應用項目，現階段案例仍以「量子演算法應用於傳統數據」為主

## ◆ 「硬體與系統廠商」切入量子產業鏈的契機明確，工業製程為競爭要素

「硬體與系統廠商」可選擇進入大廠供應鏈中，或者挑選潛力應用與量子應用與軟體進行合作。「工業製程知識」預期成為產業化、擴展化的關鍵，為台灣廠商必須凸顯的產業競爭力要素



# Thank you.

Your Gateway to Strategic Insights

施柏榮 產業顧問兼組長

[pojungshih@iii.org.tw](mailto:pojungshih@iii.org.tw)

產業情報研究所

# 智慧財產權暨引用聲明

- ◆ 本活動所提供之講義內容或其他文件資料，均受著作權法之保護，非經資策會或其他相關權利人之事前書面同意，任何人不得以任何形式為重製、轉載、傳輸或其他任何商業用途之行為
- ◆ 本講義內容所引用之各公司名稱、商標與產品示意照片之所有權皆屬各公司所有
- ◆ 本講義全部或部分內容為資策會產業情報研究所整理及分析所得，由於產業變動快速，資策會並不保證本活動所使用之研究方法及研究成果於未來或其他狀況下仍具備正確性與完整性，請台端於引用時，務必注意發布日期、立論之假設及當時情境