量子運算進資料中心：古典基礎設施才是瓶頸

OCP 2026 量子場次整理：混合架構、機房條件、市場與台股推論

日期：2026-10-19
資料基礎：OCP Global Summit 2026 中與量子運算相關的 5 場簡報（IDTechEx、IQM、Dell Technologies、Xanadu、Nu Quantum）。其餘場次中的“Quantum”字樣皆為 NVIDIA Quantum-X / Quantum InfiniBand 網通交換器，與量子運算無關，不在本報告範圍。
信心水準：低（題材早期、營收貢獻小、五場皆未點名台廠）。

閱讀提醒

台廠資料與法說中常見的“Quantum”多半指 NVIDIA Quantum-X 交換器（AI 叢集網通），不是量子電腦。本報告只談真正的量子運算，並且對台股的所有連結都是推論。

摘要

1. **量子在 OCP 是邊緣主題**：全場只有 5 場，但訊號一致，規模化的瓶頸在古典基礎設施（冷凍、控制電子、即時解碼、網路、電力），而不在量子位元本身（IDTechEx、IQM、Dell、Nu Quantum 多場一致）。
2. **量子與 GPU 的即時互連已有方向**：NVIDIA NVQLink（走 RoCEv2）往返延遲約 4 μs。IQM 稱實測 3.84 μs（標準差 0.035 μs，n=1000），Dell 與 NVIDIA 示範小於 4 μs；兩者皆為示範值，測試條件未附。
3. **糾錯解碼要緊耦合**：IQM 把整合分三區間（即時約 100 μs 以內、0.1 ms 至 1 s、1 s 以上）；Dell 則把錯誤更正放在 μs 級，用 FPGA 解碼器搭配 GPU 伺服器。
4. **兩條機房路線**：超導（IQM）要 4 K 到 10 mK 冷凍機，但稱可由選址管理、150 天無人介入；光量子（Xanadu）稱計算本身無需冷卻、可用矽製程、與電信相容，代價是大量光子晶片、雷射、光纖延遲與偵測器。
5. **擴展靠網路**：Nu Quantum 主張多 QPU scale-out 需要量子位元–光子介面、低損耗光交換與近 100% 效率單光子偵測，目前各研究的糾纏速率與保真度皆落在目標區外。
6. **市場**：IDTechEx 預測量子電腦硬體年營收 2037 年超過 80 億美元、2047 年超過 290 億美元，2030 年代僅數十億美元。2026 年出現上市潮。各家邏輯位元路線圖是公司目標，並非已交付。
7. **對 AI 資料中心供應鏈：目前近乎零需求**。Dell 自述量子占其營收極小，簡報無任何訂單。
8. **台股：五場皆未點名台廠，所有連結都是推論**。可對照的既有事實為千附精密（量子腔體已出貨，營收占比低）、金寶（量子室溫控制系統，客戶 SEEQC）、光聖與鷹家（間接）。

重點	投資含義	證據等級	信心
瓶頸在古典端	題材受惠環節是冷凍機構件、控制電子、光學被動件，而非量子晶片本身	IDTechEx、IQM、Dell、Nu Quantum 多場一致	中
NVQLink 互連	GPU / FPGA 解碼是量子端對 AI 伺服器的唯一明確需求，但量級極小	示範（Dell、IQM）	中
光量子路線	若成形，矽光代工與光纖元件可能受惠，但時程在 2028 年後	公司路線圖（Xanadu 單一來源）	低
市場規模	2030 年代僅數十億美元，營收貢獻對台廠遠小於 AI 伺服器	第三方預測（IDTechEx）	低
台股映射	千附、金寶為最直接可驗證標的，其餘為間接	推論（五場皆未點名）	低

1　為什麼 OCP 談量子：量子進資料中心需要什麼

OCP 的主軸是 AI 資料中心，量子運算出現在這裡的理由不是量子位元，而是「量子電腦要放進機房，周邊需要什麼」。IDTechEx 在市場場次中列出四項新基礎設施需求，並把痛點總結為複雜陌生、佔地大、昂貴、供應鏈有限：

需求	內容（依 IDTechEx 歸納）	對應的後續場次細節
冷卻	以液態冷媒做到 mK 溫度昂貴且新；解法為閉循環乾式冷凍機、自校準系統，另有「室溫量子位元？」（原文帶問號，屬展望）	IQM：4 K 至 10 mK 參考架構
雜訊	對射頻、微波、磁場極敏感，需多層屏蔽（通常為銅盒）	未見其他場次細談
通訊	與古典系統通訊必要，ADC 與伺服器機架內建於量子電腦機殼	Dell、IQM：NVQLink 即時迴路
電力	中斷會使量子位元退相干或損壞設備，需穩定低雜訊電源加備援	未見其他場次細談

IDTechEx 同時用 QCRL（量子電腦就緒等級）1 到 10 級描述能力：現況約為第 3 級（1 至 10 個邏輯位元、數百到數千實體位元）；第 4 級起才是應用專用的商用部署，需要數百邏輯位元與數千到上萬實體位元。這個分級決定了時間尺度：真正需要大規模基礎設施的階段尚未到來。

口徑：以上為 IDTechEx 的分級與歸納（顧問觀點），不是實測；業者數量等為圖上讀值（全球約 97 家，新進者 2019 年約 16 家高峰、2026 年約 1 家）。

2　量子與 GPU 的混合架構

Dell 的場次把容錯量子電腦的即時古典工作負載分成四類：混合應用（毫秒）、錯誤更正（約 µs，專用 FPGA 解碼器搭配 GPU 伺服器）、錯誤緩解與校準（秒到分）。關鍵在於錯誤更正迴路必須比量子位元退相干更快，因此古典端不能遠離 QPU。

Dell 的 HQCC 參考架構如圖 1：機櫃經 TCP/IP、RoCEv2 連到 PowerEdge 伺服器，再經 NVQLink（RoCEv2）連到控制箱，最後以類比訊號進入稀釋冷凍機。Dell 與 NVIDIA 示範往返延遲小於 4 µs。IQM 場次提供了第二個數字：NVQLink 類互連實測 3.84 µs，另列 Xanadu 與 AMD Backline 的 FPGA 往返為 2.3 µs（接 CPU）與 4.4 µs（接 GPU）。

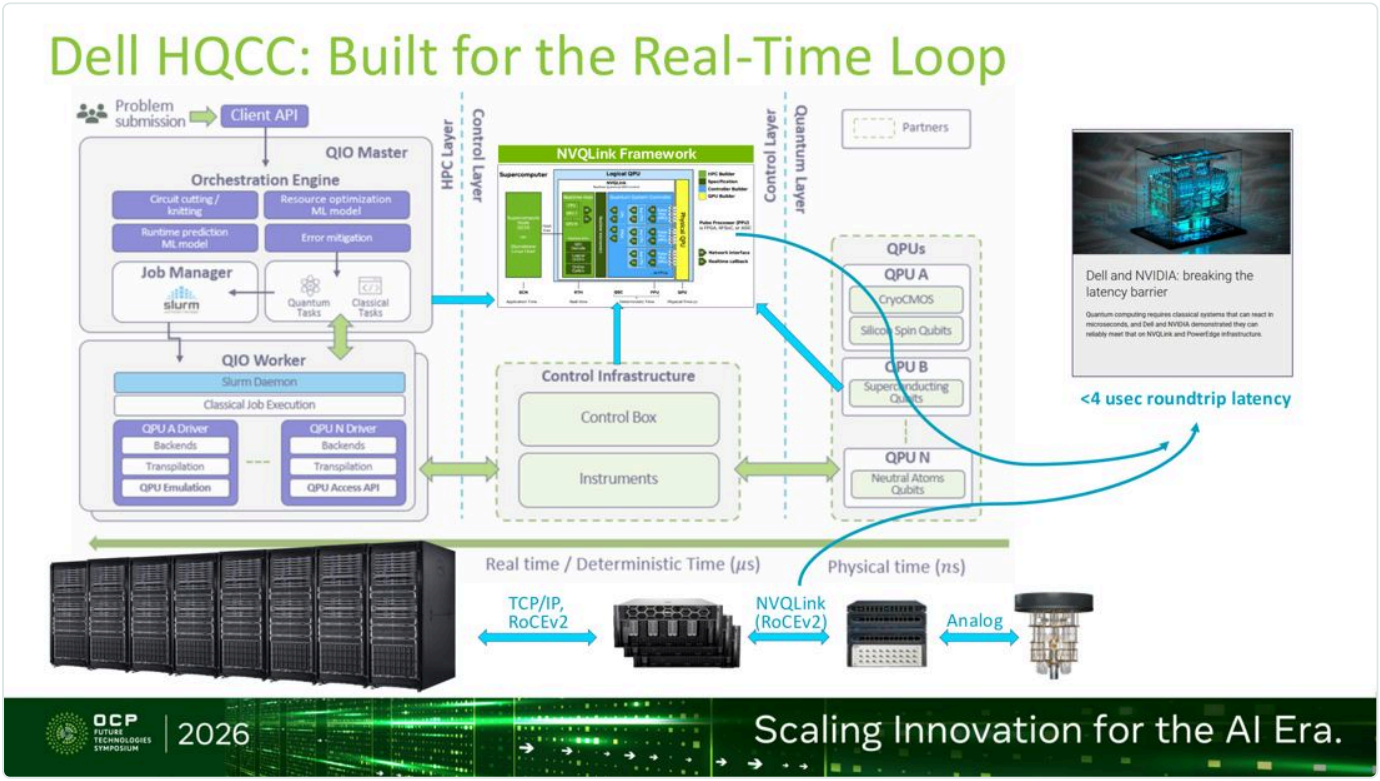


圖 1：Dell HQCC 即時迴路架構。由左至右為 Dell 機櫃、PowerEdge 伺服器、NVQLink（RoCEv2）、控制箱與稀釋冷凍機；標示往返延遲小於 4 µs，上方 NVQLink Framework 方塊圖含即時主機、解碼與量子系統控制器。來源：OCP 2026，Dell〈The Classical Infrastructure of Fault-tolerant Quantum Computing〉。

三個延遲層級並不矛盾

議題	說法 A	說法 B	判讀
即時延遲門檻	IQM：整合 Tight 區間約 100 μs 以內，不得經排程器或共用網路	Dell：NVQLink 往返小於 4 μs	層級不同：100 μs 是整合分級上限，4 μs 是互連示範值

IQM 的三區間為：Tight（即時，約 100 μs 以內，錯誤更正）、Intermediate（共排程，0.1 ms 至 1 s，錯誤緩解與編譯）、Loose（聯邦式，1 s 以上，整批應用）。這說明只有最內層的解碼迴路需要 μs 級專用硬體；其餘可走一般 HPC 排程，對伺服器規格要求與現有 AI 叢集接近。

口徑：Dell 與 IQM 的 4 μs、3.84 μs 皆為示範 / 實測值，簡報均未附完整測試條件（封包大小、負載），不可直接當作量產規格。Dell 里程碑（2026 年 IEEE Quantum Week 即時錯誤更正展示，搭配 Qblox）屬展示，無訂單。

3　超導路線的機房條件

IQM 是 OCP 唯一的超導路線講者，且具實際部署經驗：圖 3 顯示已整合 11 套量子超級電腦（自 2021 年 VTT Helmi 起；2026 年 Oak Ridge Pathfinder 為首個美國安裝；2027 年 CSC 的 150 位元 LUMI–IQ 為已簽約待交付）。

IQM 對機房的說法是：超導量子位元設施要求比 HPC 嚴，但可由選址管理；Radiance 20 可連續 150 天以上無人介入，僅需每週一次、約 5 分鐘的液氮補充。這是單一廠商的運維自述，不是第三方驗證。

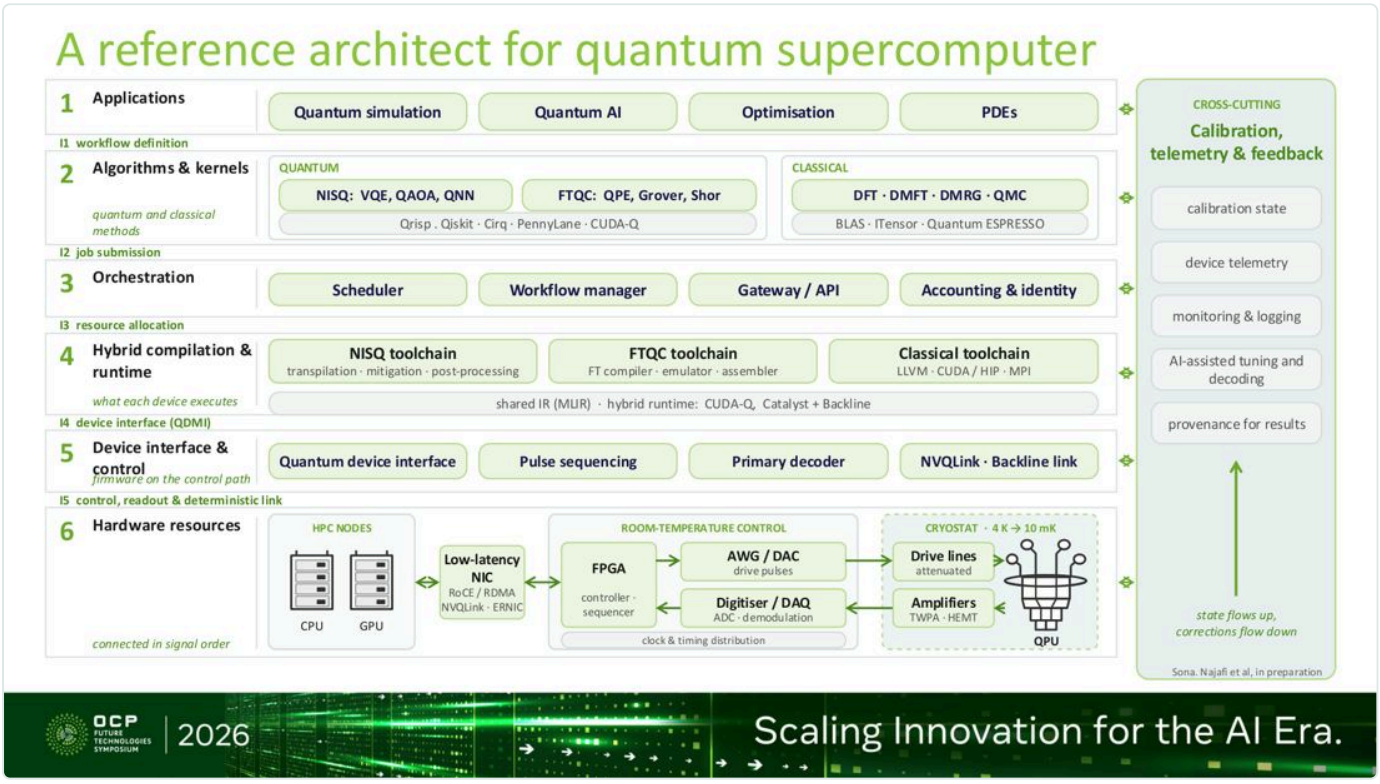


圖 2：量子超級電腦六層參考架構。由上而下為應用、演算法、調度、混合編譯與執行環境、裝置介面與控制、硬體；最底層硬體由 HPC 節點、低延遲 NIC（RoCE / RDMA、NVQLink）、室溫控制（FPGA、AWG / DAC、ADC）與冷凍機（4 K 至 10 mK，內有衰減驅動線與 TWPA、HEMT 放大器）串接。來源：OCP 2026，IQM〈Toward Quantum Supercomputing with IQM Quantum Processors〉。

從圖 2 可以直接讀出台廠可能對應的實體層：冷凍機內的結構與線材、室溫的控制電子（FPGA / AWG / DAC / ADC 板卡）、低延遲網卡與 HPC 節點。這是依簡報硬體清單做的對照，簡報並未提供任何供應商名單。

項目	數值	口徑
Crystal–20 雙位元閘保真度	中位 99.76%、最佳 99.85%	IQM 自述，超導
Constellation 拓撲 CZ 保真度	中位 99.37%、最佳 99.52%	IQM 自述
Barbell qLDPC 碼	約 30 實體位元對 1 邏輯位元，資源約減 8 倍	設計值
Halocene	150 實體位元、5 邏輯位元，2026 年底起安裝	交付計畫
邏輯位元路線圖	2027：4—36；2028：60—180；2030：240—720；2031：600—1,800；2033 年後：2,400—7,200	公司預測，非已交付；圖上讀值，欄位可能錯位

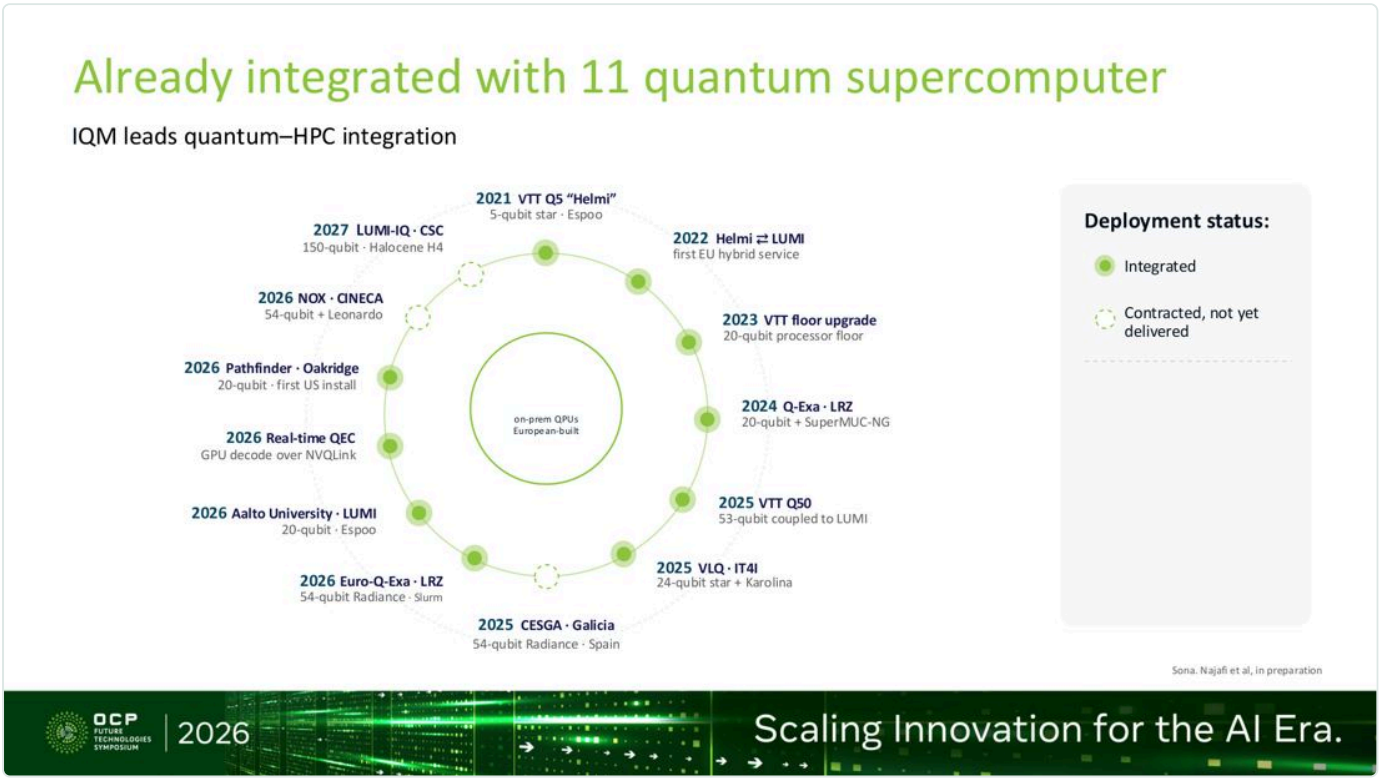


圖 3：IQM 量子與 HPC 整合部署。環形時間軸標示 2021 至 2027 年各場域；實心為已整合，虛線為已簽約待交付（如 2027 年 CSC 的 150 位元 Halocene H4）。來源：OCP 2026，IQM〈Toward Quantum Supercomputing with IQM Quantum Processors〉。

4　光量子與量子網路

4.1 Xanadu：避開稀釋冷凍機，但換成光子基礎設施

Xanadu 稱光量子運算本身無需冷卻、可用矽製程製造、與電信相容。其 Aurora 原型為 35 顆光子晶片、3 種基板、12 個實體量子位元、超過 860 億模式（公司自述原文數字，未獨立驗證），並稱損耗降 30 倍、硬體開銷降 100 倍（公司宣稱）。圖 4 顯示原型由一座雷射系統機櫃加三座運算模組機櫃組成，晶片以光源、光纖延遲、精煉、光纖延遲、QPU 的順序堆疊。

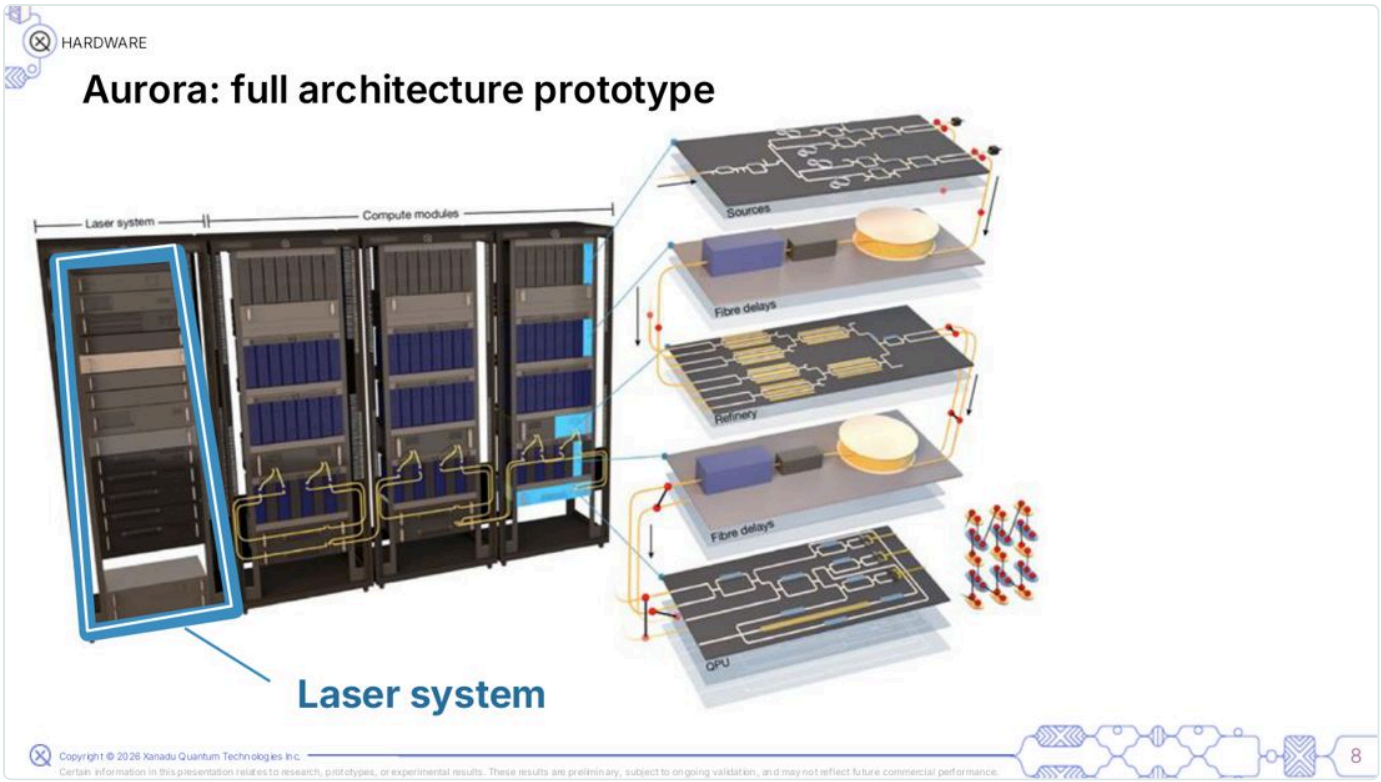


圖 4：Xanadu Aurora 原型架構。左為雷射系統與三座運算模組機櫃，右為晶片堆疊（光源、光纖延遲、精煉、光纖延遲、QPU）。來源：OCP 2026，Xanadu〈Scaling Photonic Quantum Computers〉。

Xanadu 的願景是容錯量子電腦不是一個盒子，而是由網路化光子模組組成的資料中心，規模為數千機櫃、數千控制伺服器、FPGA 與偵測器並需同步。圖 5 的路線圖（損耗指標、邏輯位元、時程）均為公司目標：量子位元工廠 2026 至 2027、容錯 2028 至 2029、量子資料中心運作 2029 至 2030。

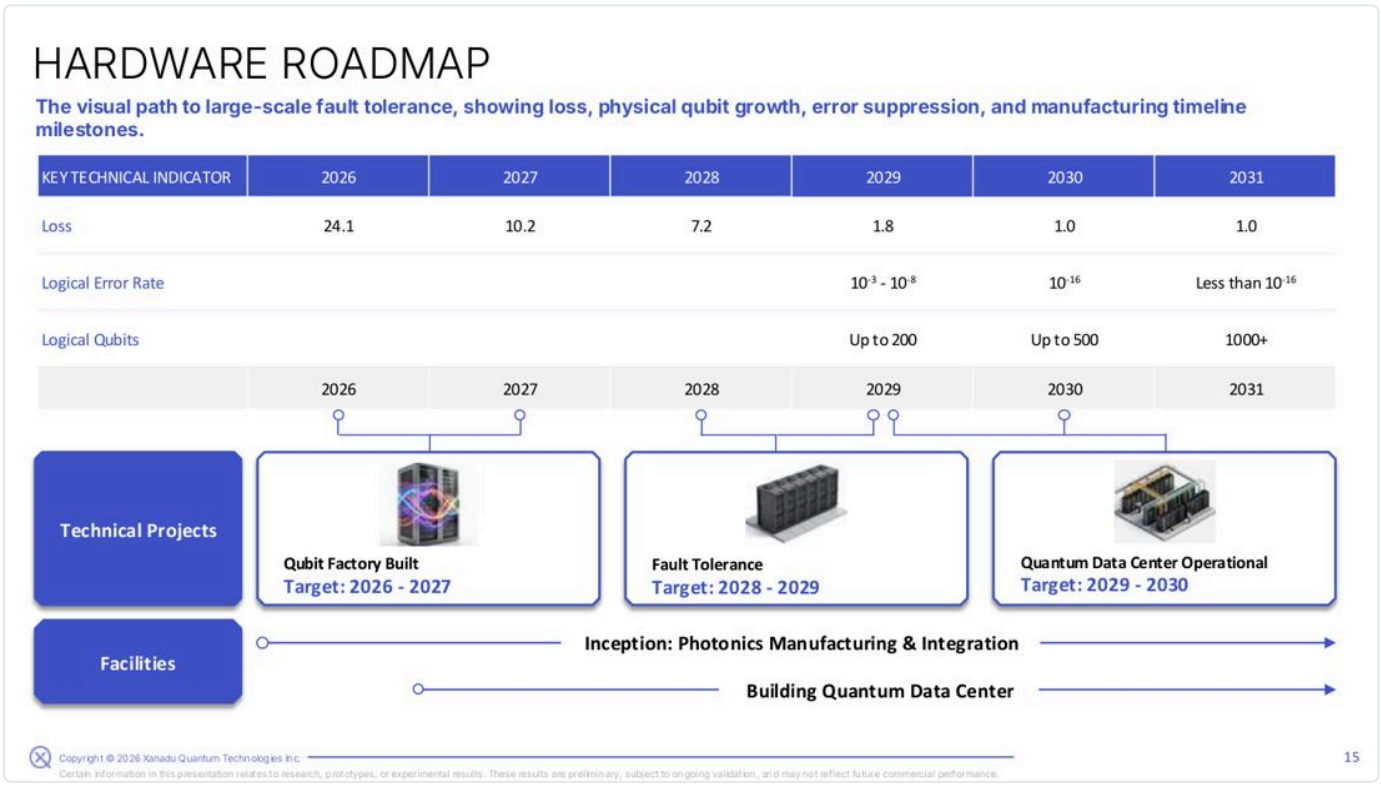


圖 5：Xanadu 硬體路線圖（2026–2031）。損耗指標由 24.1 降至 1.0（原圖未標單位）；邏輯位元 2029 年最多 200、2030 年最多 500、2031 年超過 1,000；邏輯錯誤率 2030 年約 10^{-16}。皆為公司目標，非已交付。來源：OCP 2026，Xanadu〈Scaling Photonic Quantum Computers〉。

4.2 Nu Quantum：多 QPU 擴展靠糾纏網路

Nu Quantum 主張，量子電腦擴展要靠多個 QPU 以糾纏連結（類似 AI 叢集的 scale-out）。糾纏分發需要單光子的提取、路由與偵測（圖 6）：QPU 經量子位元–光子介面（QPI）轉成光子，進入模組化光子交換層，最後在貝爾態量測站配對偵測。其三項技術重點為光學微腔 QPI（兩片曲面鏡相距小於 1 mm）、高穿透且可快速重組態的光交換、近乎 100% 效率的單光子偵測。

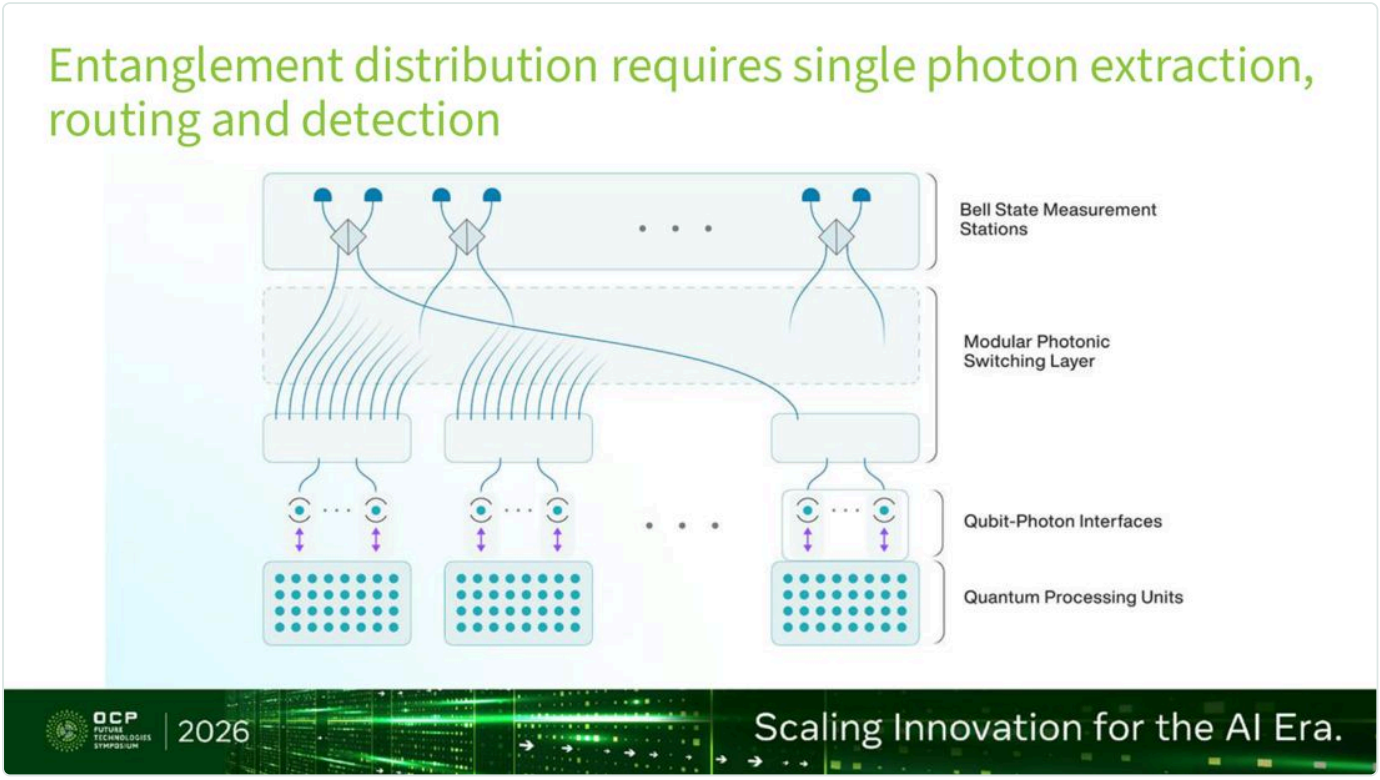


圖 6：糾纏分發層次。由下而上為 QPU 陣列、量子位元–光子介面、模組化光子交換層與貝爾態量測站（含單光子偵測器）。來源：OCP 2026，Nu Quantum〈Quantum Networking for Scale-Out: Nu Quantum's Entanglement Fabric〉。

現況是：離子、中性原子、量子點與鑽石缺陷各研究的糾纏速率與保真度皆落在 Nu Quantum 目標區之外；第一代目標約為速率 10^4 s^{-1}、保真度約 0.95 至 0.96（圖上目測，簡報無文字數值）；測試床展望為速率 50 倍、保真度超過 97%，無日期。該場次 p12 的 Quantinuum、IonQ、QuEra 等 logo 是潛在適用客群，不是客戶。

判讀：IDTechEx 的「室溫量子位元？」是展望，Xanadu 的「無需冷卻」是路線差異，兩者不是數據衝突；Xanadu 另需探測器，其冷卻條件另計。一般文獻常稱光量子需 SNSPD（超導奈米線單光子偵測器），但 OCP 這三場並未出現該詞，Xanadu 用零差偵測器與 GKP 位元，Nu Quantum 只說近 100% 效率單光子偵測，本報告不以 SNSPD 作為 OCP 佐證。

5　市場規模與上市潮

IDTechEx 預測量子電腦硬體（含基礎設施的整機）年營收：2027 年極小、2037 年超過 80 億美元（2027–2037 年複合成長率 31%）、2047 年超過 290 億美元（2037–2047 年複合成長率 22%）。這是顧問公司自家模型，不是實測，且只覆蓋硬體整機，不含雲端服務與軟體。

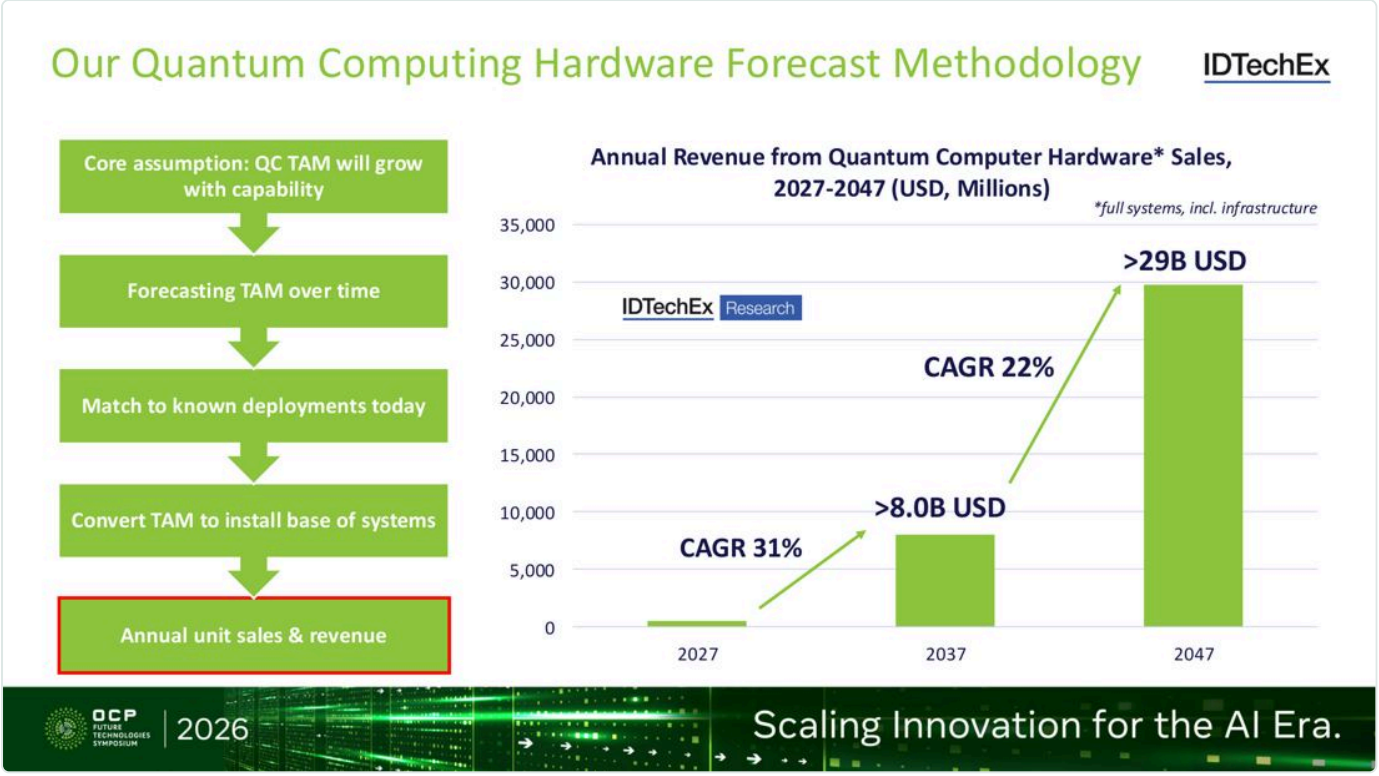


圖 7：量子電腦硬體年營收預測（美元、含基礎設施整機）。2037 年超過 80 億美元，2047 年超過 290 億美元。來源：OCP 2026，IDTechEx〈Quantum Computing Market in 2026: Trends, Opportunities, and Challenges〉。

上市時間	公司（代碼，路線）	備註
2026 年 2 月	Infleqtion（INFQ，中性原子）	IDTechEx 列表
2026 年 3 月	Xanadu（XNDU，光量子）	與其「商業化」敘述一致
2026 年 6 月	Quantinuum（QNT，離子）	
2026 年 7 月	IQM（IQMX，超導）	
2026 年 8 月	Pasqal（PSQL，中性原子）	
計畫 2026	SeeQC（SEQC，超導）	金寶的客戶（見第 6 章）

IDTechEx 稱純量子上市公司數至 2026 年底較先前翻倍以上，另有 Origin Quantum 等中國業者近 12 個月申請上海科創板，意味供應鏈中國自主化是潛在競爭。上市潮提供募資，但不等於營收：同一場次也指出新進業者數已從 2019 年高峰收斂，市場趨於飽和。

> **對 AI 資料中心供應鏈的實際意涵**
>
> 量子目前對 AI 伺服器、散熱與電源的需求近乎為零：Dell 自述量子占其營收極小，五場簡報皆無訂單。2030 年代數十億美元的整體硬體規模，對照 AI 資料中心資本支出是不同量級。

6　台股供應鏈映射與觀察清單

> **全部為推論。**五場簡報皆未點名任何台廠，下表的依據是「簡報列出的硬體層」對照「本團隊既有的公司研究記載」（各公司公開說明、法說與券商報告），不是 OCP 場次的佐證。千附與金寶的量子相關記載來自 OCP 以外的資料，OCP 既未佐證也未否定。

公司（代號）	角色與產品（推論）	證據強度	觀察指標
千附精密（6829）	低溫真空腔體（2K–4K），既有記載稱 2026-08 已出貨 2 套、營收占比低個位數、2027 年起量產期（康和 2026-09-09）；對應 IQM 冷凍機結構件需求	實際出貨（OCP 以外資料） 對 OCP 為零證據	第二代腔體規格確認；量子營收占比是否升過個位數
金寶（2312）	量子電腦室溫控制系統，客戶 SEEQC；既有記載稱 2026-10 底系統連接測試、2027H2 系統櫃、2028–2029 放量；對應 IQM 室溫 FPGA / AWG / DAC 控制層	合作開發（OCP 以外資料） 推論對應	2026-10 底測試結果；SEEQC 上市進度（IDTechEx 列為計畫 2026）
光聖（6442）	既有記載稱與台灣學術單位合作量子運算；對應光纖、連接器、被動元件	推論 間接	量子相關營收是否單獨揭露
鷹家（7915）	連接器、線纜組件，既有記載含量子運算應用；對應低溫與微波連接器及線材	推論 間接	量子應用料號與客戶認證
聯電、穩懋（3105）、IET-KY（4971）	矽光（含 TFLN）與 InP 雷射 / 光元件，對應 Xanadu、Nu Quantum 的光子晶片與雷射需求；兩家簡報均未點名任何代工廠	推論 Xanadu 目標 2028 年後	光量子廠是否公布代工夥伴
廣達、緯穎、鴻海	Dell HQCC 需 GPU 伺服器與低延遲網卡；若 Dell 擴大量子相關出貨才可能受惠	推論 量子占 Dell 營收極小	Dell 是否揭露 HQCC 出貨
台達電、光寶科	IDTechEx 提電力穩定與備援需求，對應量子機房電源	推論 須另查證	是否出現量子機房電源案

不應引為本主題佐證的項目：力旺（3529）的 PUF 與量子運算題材屬後量子安全，與 OCP 量子基礎設施無關。另外，IQM 簡報末頁僅以國名列出含台灣的合作地區，並未點名客戶或廠商。

非台廠的競爭與生態位：量子硬體廠（IQM、Xanadu、Quantinuum、IonQ、QuEra、Infleqtion、Pasqal、Rigetti、D-Wave）、控制電子（Qblox、Zurich Instruments、Equal1）、GPU 與互連（NVIDIA NVQLink、AMD Backline）、伺服器（Dell）。台廠可能的切入點是結構件、控制電子與光學被動件，而非整機。

7　風險與反證條件

風險	說明	反證條件 / 觀察點
時程延後	邏輯位元路線圖全為公司目標；IQM 自述首次現場交付較首次示範晚 12 至 18 個月；容錯量子電腦量產年份無任何場次提出	Halocene 2026 年底是否如期交付；LUMI-IQ 2027 是否交付
技術路線未定	超導、光量子、離子、中性原子進度「意外接近」（IDTechEx），誰勝出決定供應鏈環節；光量子需要的光網路與偵測器指標目前未達標	Nu Quantum 測試床速率與保真度數據；Xanadu 損耗是否如路線圖下降
題材與營收脫節	2026 年上市潮與題材熱度高，但台廠量子營收占比低個位數且在 2027 年後；IDTechEx 2030 年代市場僅數十億美元	千附、金寶量子營收占比與毛利是否單獨揭露
數據口徑	4 μs 為示範值；IDTechEx 家數為圖讀；Xanadu 損耗單位不明；各家邏輯錯誤率定義與編碼不同（IQM 10^{-5} 至 10^{-9}、Xanadu 約 10^{-16}），不可互比	取得完整測試條件與定義後再比較
供應鏈替代	IDTechEx 提及中國業者申請科創板，供應鏈自主化可能壓縮台廠空間	是否出現中國量子廠的在地供應鏈採購
單一來源	光量子與量子網路只有 Xanadu、Nu Quantum 各一場；機房運維數字只有 IQM 一場	第二來源（其他展會或法說）佐證

結論：量子運算進資料中心是長線主題。OCP 這五場最有價值的資訊不是量子本身，而是它指出了瓶頸位置：冷凍、控制、即時互連、網路與電力。對台股而言，目前可驗證的只有千附與金寶兩家小營收貢獻，其餘需等簡報之外的訂單與法說證實。

來源清單

場次	標題（OCP 2026 簡報）	用途
IDTechEx	Quantum Computing Market in 2026: Trends, Opportunities, and Challenges（Noah El Alami）	基礎設施需求、QCRL、上市名單、市場預測
IQM	Toward Quantum Supercomputing with IQM Quantum Processors（Khadijeh Sona Najafi）	整合區間、NVQLink 實測、機房運維、參考架構、路線圖、部署
Dell Technologies	The Classical Infrastructure of Fault-tolerant Quantum Computing（Smriti Bajaj）	HQCC、QIO、NVQLink 示範、里程碑
Xanadu	Scaling Photonic Quantum Computers（Jonah Force Hill）	Aurora、路線圖、光量子優勢
Nu Quantum	Quantum Networking for Scale-Out: Nu Quantum's Entanglement Fabric（John Jarman）	糾纏網路、QPI、目標與測試床
券商報告	康和證券，千附精密個股報告（2026-09-09）	千附量子腔體出貨與營收占比（OCP 以外資料）

本報告所有圖片皆取自上述 OCP 2026 簡報；金寶、光聖、鴻家等公司敘述來自 OCP 以外之公司公開說明與法說資料，僅作對照。本報告為研究整理，非投資建議。