# CPO、NPO、XPO、LPO 誰勝出？

## OCP 2026 峰會的光互連證據與時程：路線按位置分工、NPO 之爭、可靠度實測口徑、雷射光源與台股映射

報告日期：2026–10–19

資料基礎：OCP Global Summit 2026（美國聖荷西，2026–10–12 至 15 日）與光互連相關的 37 場議程：22 場簡報（含廠商一手規格與實測數據）、15 場影片字幕（無投影片，數字皆為講者口述），另參考群益投顧對鴻騰 XPO 演講的 memo（2026–10–12）。

讀法說明：「口述」指僅有影片字幕、無投影片佐證的說法；「自述」指廠商自己提供、未經第三方驗證的數字；「模擬」「實測」「推算」分別標明。台灣廠商的敘述一律標示證據強度（實際出貨 / 合作開發 / 展示 / 僅 logo / 推論），不把展示或 logo 寫成訂單。本報告為研究整理，不構成投資建議。

## 核心結論

**八個結論（整體信心：中）**

1. **不會單一路線勝出，而是按位置分工。**scale-out 同時有 OSFP 可插拔、XPO、NPO、CPO；scale-up 在機櫃內能用銅就用銅，跨機櫃才上光。Celestica、Astera Labs、Capital Group、Dell、Micas、NVIDIA 與 Meta 的說法在這個骨架上一致。
2. **最大的分歧在 NPO，且是 NVIDIA 對 hyperscaler。**NVIDIA 兩場口述稱 Spectrum-X CPO 已量產、NPO 會損失效能、「多供應商」是自欺；Meta、Microsoft、Oracle、Alibaba、華為則支持或要求 NPO。LightCounting 的判斷（hyperscaler 偏 NPO、neocloud 與 Oracle 偏 CPO）與 Oracle 本場立場並不完全吻合，本報告並列、不裁定。
3. **可靠度數據是本屆最硬的資產，但口徑互不相通。**Meta 51.2T CPO 第二階段「全部中斷」年化鏈路中斷率（ALIR）0.2%、MTBI 450 萬；Oracle 800G LPO 與 FRO 一個月內至少中斷一次的比例為 3.2% 對 5.7%；Meta 限量部署的 LPO 中斷少約 2 倍。三者的單位、期間、樣本全不同，不可並排比較（第 3 章有口徑對照表）。
4. **時程：scale-up 光學 2027 年底至 2028 年起量，2030 年前後才是規模化。**Capital Group、Micas、Celestica、華為多場方向一致；LightCounting 口述預測 2031 年 1.6T 埠約一半、3.2T 埠約 75% 走 CPO＋NPO，光模組市場 2026 年成長約 120%。
5. **標準爆炸本身是議題。**OCI-MSA、Open CPX、XPO MSA、IPEC / Open NPO、UPO、USFP 並行；NVIDIA 質疑 NPO 多供應商的理由之一，正是 NPO 的 MSA 就有四個且都很新。
6. **雷射光源兩派未收斂。**外部雷射（ELS / ELSFP：Lumentum、Ayar Labs、Broadcom 陣營）對內建雷射（Nokia、Lumilens、海思路線；Micas 稱 hyperscaler 訊號偏內建）。Meta 的 CPO 故障有 83–85% 來自外部雷射模組上的一顆表面黏著零件，已改設計。
7. **scale-up 光學的真正門檻是 link flap 與爆炸半徑，不是頻寬。**Microsoft 與 Marvell 主張成功指標是「作業不中斷」而非鏈路可用率；共用雷射使單點失效波及 100% 的鏈路，需冗餘與 shuffle 把爆炸半徑壓到 25%。
8. **台廠的實質內容只有鴻騰與緯穎。**鴻騰（6088.HK）有 XPO 連接器與冷板的一手簡報；緯穎（6669）與 Ayar Labs 共同開發 ELSFP 冷板並實測、展示 CPO 光學 scale-up 機櫃（無量產時程）。廣達、台達電只出現在 Broadcom 夥伴 logo 圖，貿聯只出現在 Credo 生態圖；光聖、上詮、波若威、聯亞、華星光、智邦在光學場次完全沒有出現，其受惠方向只能以推論表達。

### 投資重點表

| 重點 | 投資含義 | 相關標的與證據等級 | 信心 |
|---|---|---|---|
| 路線按位置分工，無單一勝者 | 可插拔、XPO、NPO、CPO 各自有窗口；供應鏈映射應看「哪個位置的出貨量先起來」，不要押單一路線 | 路線中立的連接器、光纖、液冷件（推論） | 中高 |
| NPO 增加可拆連接器、保偏光纖、FAU 與冷板整合 | 若 hyperscaler 的 NPO 路線成立，被動與機構件的單機價值提高；若 NVIDIA 的 CPO 全焊路線擴大，則受益者轉向 CPO 專用 FAU / 製造 | 光聖、上詮、波若威、貿聯（推論，無一手證據） | 低 |
| XPO 以單模組取代 8 個 OSFP，帶動連接器與液冷件價值 | 連接器與冷板單機價值上升，但 USFP 可能分流，且 XPO 目前只有模擬與展示 | 鴻騰 6088.HK（展示，無客戶訂單） | 中低 |
| 外部雷射模組的熱與冷板整合是機櫃商的新工程題 | 機櫃系統商在 CPO 時代的角色是熱、托盤、光纖管理，而不是光引擎核心 | 緯穎 6669（合作開發＋展示） | 中 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| InP 雷射產能偏緊，Nokia 稱客戶要求 2030 年前約 10 倍 | 雷射磊晶與 III–V 代工間接受益，但 Nokia 為自家 6 吋產線背書，屬廠商說法 | 聯亞 3081（推論） | 低 |
| 可靠度、遙測與 flap 韌性成為採購門檻 | 能提供現場可靠度數據與遙測的廠商取得議價優勢；單靠規格領先不夠 | 無台廠直接證據 | 中 |

## 第 1 章 路線地圖：哪個位置用什麼

光互連的討論常被縮寫淹沒。先給各路線一句定義，再看它們各自被放在哪個距離與位置。

| 路線 | 一句話定義 | 典型位置 / 距離 | 本屆代表說法 |
|---|---|---|---|
| DAC / ACC / AEC | 被動銅纜 / 類比等化銅纜 / 含重定時器的主動銅纜 | 機櫃內；被動 DAC 在 224G 僅約 1 公尺內 | Celestica：AEC 2–5 公尺 |
| FRO | 全重定時可插拔光模組，模組內含 DSP | 10–500 公尺（scale-out 主流） | Meta 以 FRO 為可靠度對照組 |
| LPO / LRO | LPO 去掉模組內 DSP，由主機端 SerDes 負責等化；LRO 為半重定時（只留一側 DSP） | 2–10 公尺以上（LPO）、10–500 公尺（LRO） | Oracle：800G 用 LPO，1.6T 改走 LRO |
| XPO | 高密度液冷可插拔：單一模組頻寬等於 8 個 OSFP（224G 時 12.8T），液冷冷板整合在模組內 | 列 / 多櫃，面板密度優先 | FIT、Celestica、Dell、Microsoft / Arista |
| NPO | 光引擎移到 ASIC 旁的板上或插座上，電通道縮短但光引擎仍可拆換 | 機櫃間 scale-up、scale-out 試點 | Meta、Microsoft、Oracle、Alibaba、華為支持 |
| CPO | 光引擎與 ASIC 同一封裝，雷射通常外置（ELS） | 交換器與加速器封裝 | NVIDIA、Broadcom；Meta 實測 51.2T |
| OCI | OCI-MSA 定義的「寬而慢」光 PHY：NRZ、多波長 WDM、單光纖雙向，與矽晶片整合 | scale-up | Microsoft、Broadcom、緯穎×Ayar Labs |
| IPO | Alibaba 提出的介於 NPO 與 CPO 之間的做法：光引擎置於交換器封裝頂面，以彈性體連接器接上，可拆 | scale-up | Alibaba 已用 Tomahawk 6 實機通過流量 |

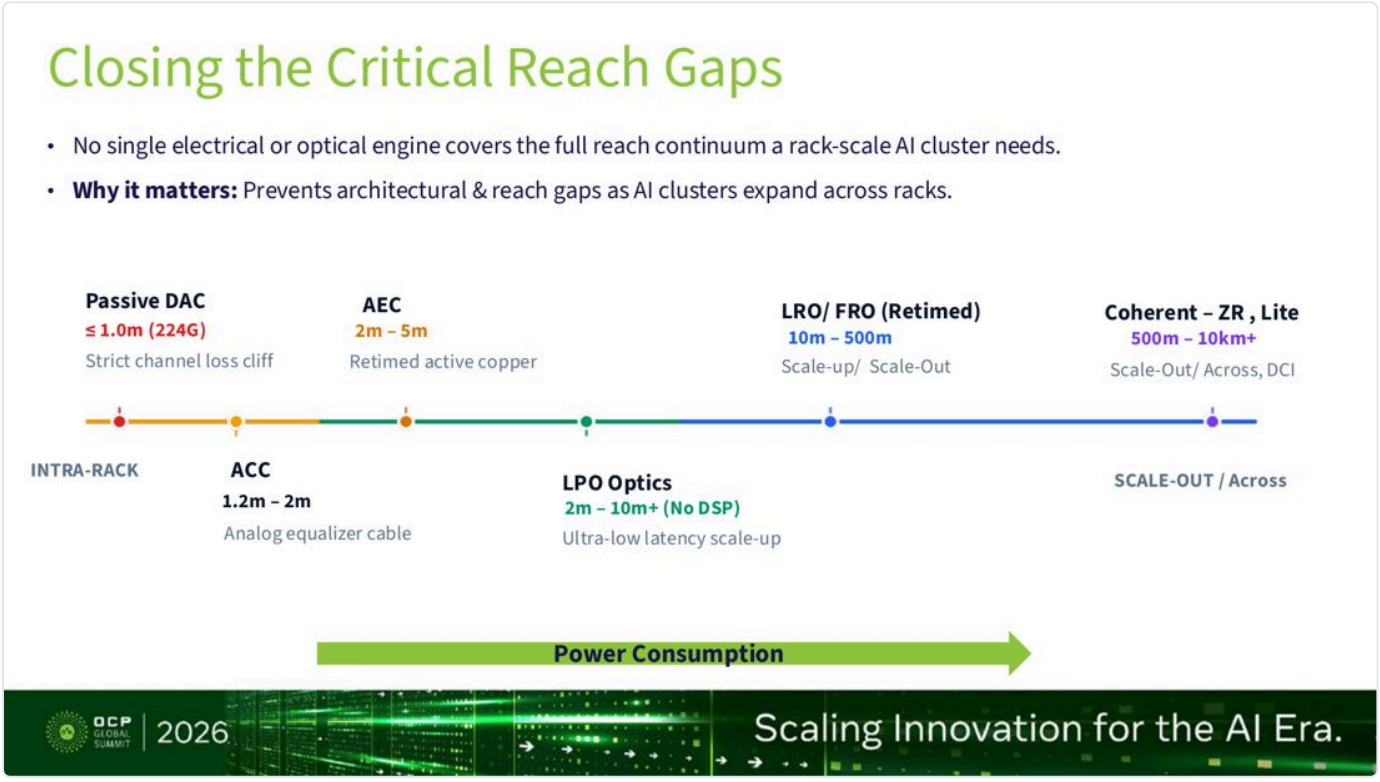



**圖 1：互連距離光譜。**被動 DAC 在 224G 僅約 1.0 公尺內、ACC 1.2–2 公尺、AEC 2–5 公尺、LPO 2–10 公尺以上（無 DSP）、LRO / FRO 10–500 公尺、Coherent ZR / Lite 500 公尺至 10 公里以上，功耗由左至右遞增。沒有任何單一電或光引擎能涵蓋全部距離。來源：OCP 2026，Celestica〈The Interconnect Inflection Point〉。

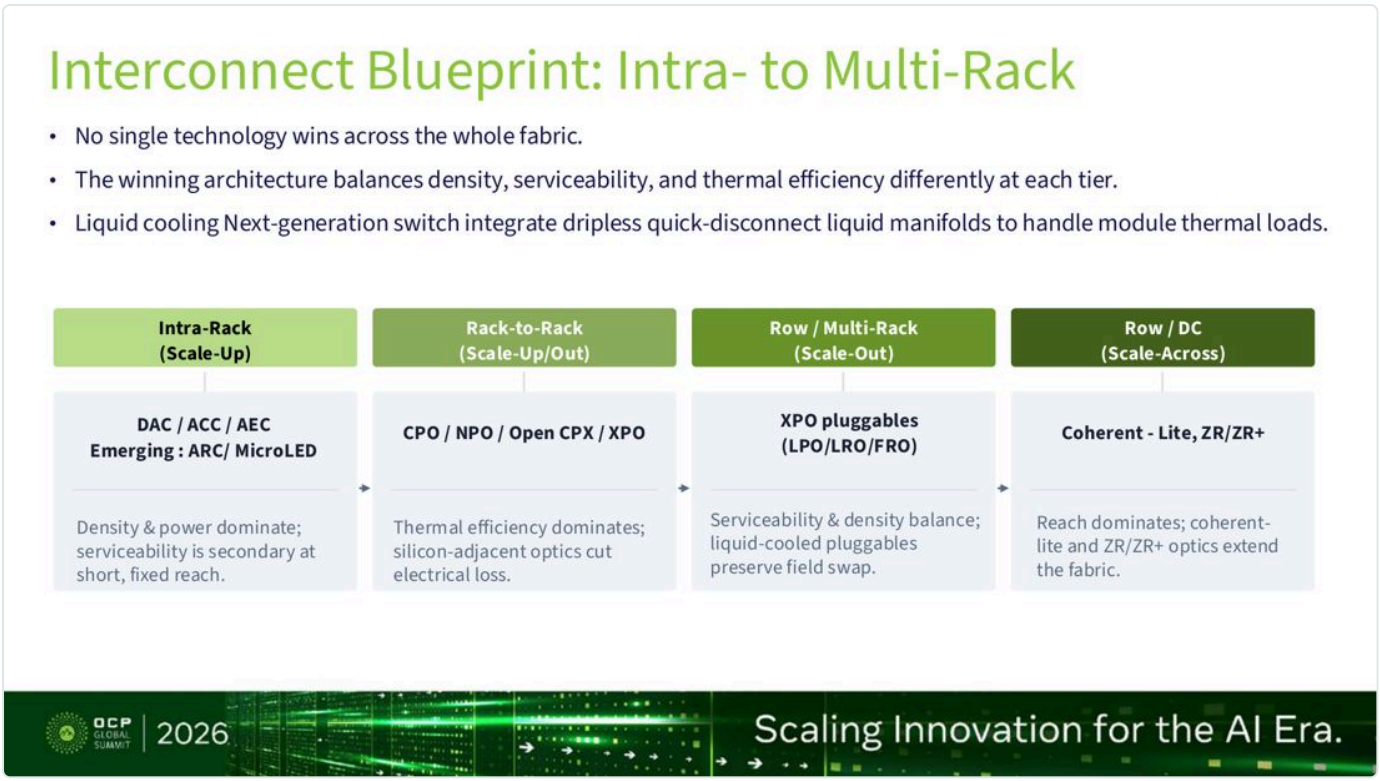



**圖 2：互連藍圖四層。**機櫃內以 DAC / ACC / AEC 為主（新興 ARC、MicroLED）；機櫃間為 CPO / NPO / Open CPX / XPO（熱效率優先）；列 / 多櫃為 XPO 可插拔（LPO / LRO / FRO，可現場更換）；列 / 資料中心之間為 Coherent-Lite 與 ZR / ZR+。來源：OCP 2026，Celestica〈The Interconnect Inflection Point〉。

## 銅光分界點：各家口徑

| 來源 | 銅光分界 | 口徑 |
|---|---|---|
| Dell | 200G/lane 被動銅僅數公尺；400G/lane 以上預期不到 1 公尺；結論是「銅光混合」而非全面換光 | 系統商觀點，無實測 |
| Astera Labs | 144 顆 XPU 以下的 pod 用銅背板；72–576 顆為銅加 NPO 混合 pod；超過 576 顆才用全光 NPO / CPO | 廠商架構論述，無產品時程 |
| Capital Group | 機櫃之間最先轉光（2027 年底至 2028 年），機櫃內銅背板最後且只部分轉換；準則是「能用銅就用銅」 | 投資人框架（口述） |
| NVIDIA（Gilad Shainer） | scale-up 機櫃內盡量用銅，靠液冷與 800V 供電提高單櫃密度以延長銅的壽命；跨機櫃才用 CPO | 口述 |
| Meta | scale-up 光學（NPO / CPO / OCI）尚未成熟到取代銅背板；先把 NPO 放進 scale-out 當試點 | 採購團隊立場（口述） |

結論：兩個不同來源、不同立場的陣營（NVIDIA 與 Meta）在「機櫃內銅優先」這點上一致，這也是本報告把「按位置分工」列為第一結論的原因。光學的增量因此來自跨機櫃距離與 scale-up 域擴張（單層網路從 72 顆擴到 512 至 1,000 顆以上），而不是機櫃內替換。

# 第 2 章 NVIDIA 對 hyperscaler：NPO 之爭

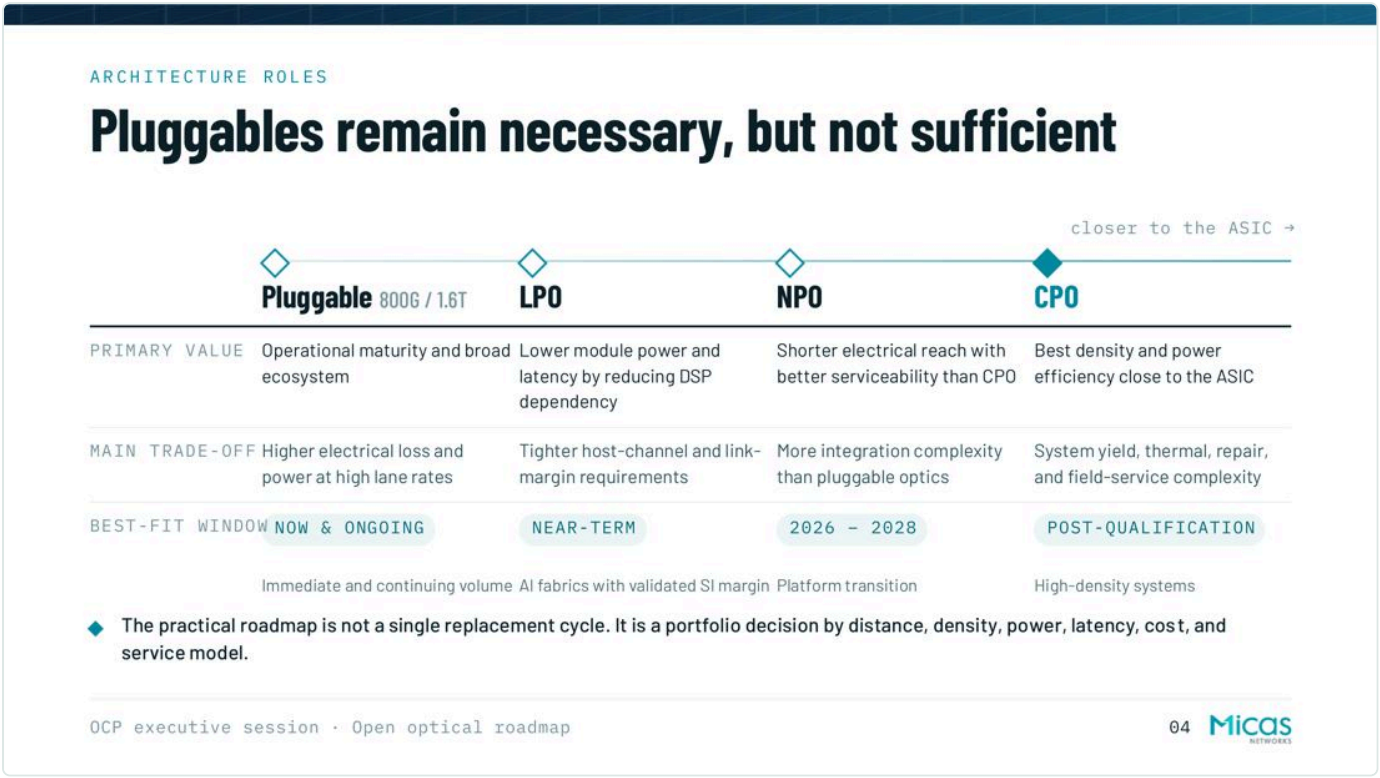



**圖 3：Pluggable、LPO、NPO、CPO 四型比較（Micas Networks 的看法）**。可插拔：運維成熟、生態廣，但高 lane 速率下電損與功耗高，窗口「現在與持續」；LPO：降低模組功耗與延遲，但對主機通道與鏈路餘裕要求高，窗口「近期」；NPO：電通道較短且比 CPO 好維修，但整合複雜度較高，窗口 2026–2028；CPO：密度與功耗最佳，但系統良率、熱、維修複雜，窗口「認證之後」。結論句稱實務路線不是單一替換，而是依距離、密度、功耗、延遲、成本與服務模式的組合決策。來源：OCP 2026，Micas Networks〈From LPO to NPO to CPO〉。

NPO 的爭論不是技術細節，而是兩種商業模式的對撞：NVIDIA 賣整合好的 CPO 交換器，hyperscaler 想要可拆、可多供應商採購的光引擎。下表並列雙方說法；不裁定誰對。

| 議題 | NVIDIA（兩場，皆口述） | hyperscaler 與其他 | 判讀 |
|---|---|---|---|
| CPO 量產 | Spectrum-X CPO 已量產、已開始出貨；32 顆光引擎全部焊死；功耗最多降 5 倍、MTBI 提高 10 倍、離散元件減至 1/4 | Broadcom：TH6 Davisson CPO 世代為 2026；Meta 實測的是 Broadcom 系 51.2T CPO，不是 NVIDIA 產品；Lumentum 簡報圖仍標 Spectrum-X 整合矽光 2H25、Quantum-X 2H26 | NVIDIA 為自述，無出貨客戶與數量佐證，寫成「NVIDIA 自述已量產」 |
| NPO 效能 | Gilad Shainer 場：NPO「會損失部分效能」；socket 增加成本、面積與訊號損耗、傷散熱 | Meta：102.4T（200G/lane）下 NPO 省電與 CPO 相當；Genuine Optics：NPO 與 CPO 僅差 1–4 pJ/bit；Meta 同時指出 448G/lane 時線性驅動失效、需 retimer | 兩邊皆自述。NVIDIA 另一場只說 NPO「比看起來難」，未再提效能損失，強度較低 |
| 多供應商 | 「若為了多供應商，是騙自己」：各家原型不同，MSA 有四個且全新，互通尚無實證 | Ciena、Genuine、Ligent、Alibaba 主張可多供應商；Lumilens 自承趨向客製化共同設計 | 現況偏 NVIDIA 說法：互通尚未實證，Ciena 稱模組已送樣但未見互通結果 |
| 可現場維修 | 「頗可疑」：需工廠無塵室組裝，故障只能整台寄回；socket 不等於可現場更換 | Meta CPO 場：外部雷射模組可現場維修以緩解維修疑慮；Alibaba：NPO 為產線可換、不能現場換 | 雙方對「可維修」的定義不同：換雷射、換光引擎、換整台。需統一口徑 |

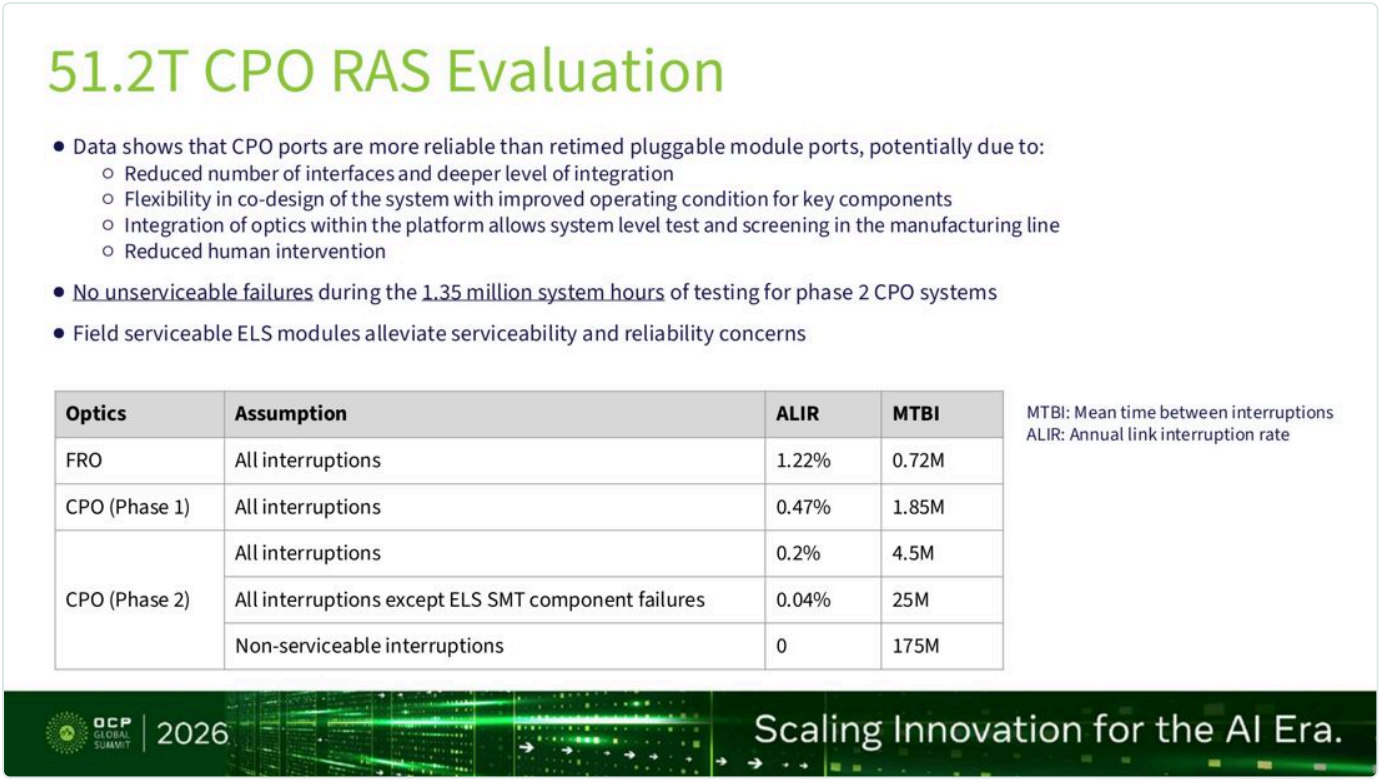
| | | | |
|---|---|---|---|
| Meta 立場 | — | 先把 NPO 放進 scale-out 當試點，因為有可插拔與 CPO 當備案；102.4T 交換器設計為 CPO 與 NPO 並行；痛點是 NPO 缺邊界條件標準，責任歸屬難定 | 試點，不是全面承諾；無年份 |
| Microsoft 立場 | — | NPO 是通往 CPO 的橋；要求 FIT 小 10 倍、MTBF 大 10 倍，並要有不停流量的故障處理營運模型 | 門檻是需求，不是實測 |
| Oracle 立場 | — | 要求 NPO 的可靠度與功耗至少不輸焊死的 CPO；NPO 供應商生態比 CPO 廣；LightCounting 稱 Oracle 偏好 CPO 整套方案 | LightCounting 說法與 Oracle 本場不一致：本場偏 NPO（附條件），兩說並列 |
| Alibaba / 華為 | — | Alibaba：以 IPO 作為 NPO 與 CPO 之間的低風險路徑，已用 Tomahawk 6 實機通過流量；華為：NPO 為「成熟度與整合度的最佳平衡點」，CPO 終將勝出 | 中國陣營偏 NPO / UPO，與歐美 Open CPX 並行 |
| 外部評論 | — | SemiAnalysis 先前公開評論（2026 年 6 月，非本峰會場次）的說法為 CPO 部署延後、良率有問題、NVIDIA 以 NPO 為備援 | 與 NVIDIA 本屆「已量產、質疑 NPO」的說法衝突，需出貨量驗證 |

**判讀（推論）：**兩邊的利益位置解釋了大部分分歧。NVIDIA 的優勢在整合與垂直供貨，標準分散對它有利；hyperscaler 的歷史慣例是解耦並壓低單一供應商議價力（Capital Group 也這樣預期）。因此 NPO 能否起量，取決於互通是否能在 2027 年前被實證，而非效能差距本身。NVIDIA 同時提供可插拔、CPO，並表示會經 ODM 與 NVLink Fusion 支援 NPO，所以「NPO 全面落敗」的說法也缺乏依據。

## 第 3 章 可靠度實測：口徑對照

本屆最有價值的資料，是三家超大規模業者首次公開量化的光鏈路現場數據。但每家用不同指標：Meta 用年化鏈路中斷率（ALIR）與平均中斷間隔（MTBI），Oracle 用「一個月內至少出現一次中斷的鏈路比例」，Meta 的 LPO 則用中斷次數倍數。**把它們放進同一張排名表是錯的。**

### 3.1 Meta 51.2T CPO：目前最硬的 CPO 現場數據（單一來源）




| Optics | Assumption | ALIR | MTBI |
|---|---|---|---|
| FRO | All interruptions | 1.22% | 0.72M |
| CPO (Phase 1) | All interruptions | 0.47% | 1.85M |
| CPO (Phase 2) | All interruptions | 0.2% | 4.5M |
| | All interruptions except ELS SMT component failures | 0.04% | 25M |
| | Non-serviceable interruptions | 0 | 175M |

**圖 4：Meta 51.2T CPO 的 RAS 評估表。**對照組 FRO（可插拔 Minipack3）ALIR 1.22%、MTBI 0.72M；CPO 第一階段 0.47% / 1.85M；第二階段「全部中斷」0.2% / 4.5M，扣除外部雷射模組表面黏著零件故障後 0.04% / 25M，「不可維修中斷」為 0（175M 單位）。簡報稱第二階段 135 萬系統小時無不可維修故障。ALIR＝年化鏈路中斷率；MTBI＝平均中斷間隔（單位簡報未標，依樣本量推論為裝置小時）。來源：OCP 2026，Meta〈Integrated Optics at Scale for AI Infrastructure〉。

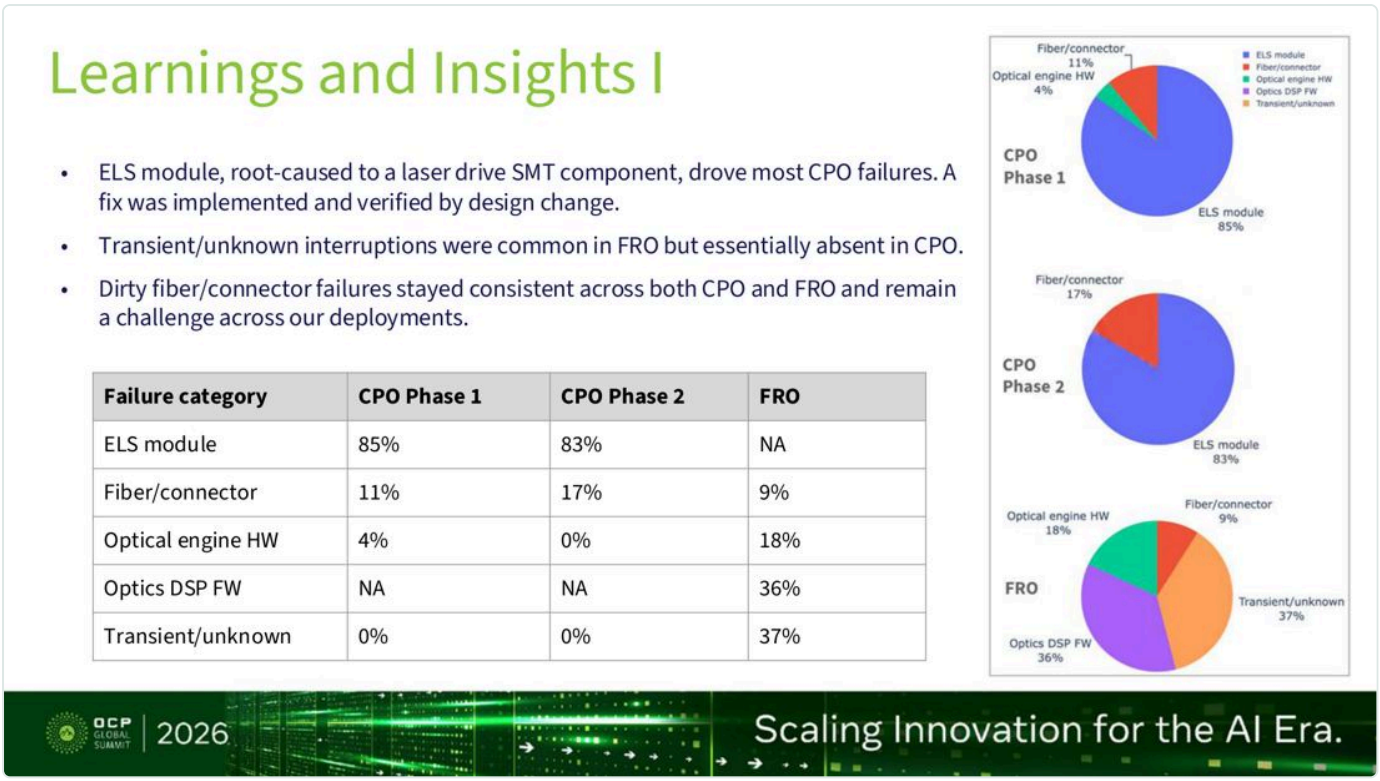



**圖 5：Meta CPO 與 FRO 的故障分類。**外部雷射模組（ELS）占 CPO 故障 85%（第一階段）與 83%（第二階段），根因為雷射驅動電路上的一顆表面黏著零件，已改設計並驗證；光纖與連接器占 11% / 17%（FRO 為 9%）；FRO 的光引擎硬體 18%、DSP 韌體 36%、暫態不明 37%，CPO 幾乎為 0。來源：OCP 2026，Meta〈Integrated Optics at Scale for AI Infrastructure〉。

另外兩點值得記下。第一，Meta 發現 pre-FEC BER 不能預測鏈路健康：CPO 平均 BER 約 9e-8，遠差於 FRO 的約 1e-9，但中斷率仍較低（中斷判準為單一無法更正的碼字）。這代表以 BER 當驗收門檻可能誤導。第二，測試規模：FRO 對照組 1,792 埠、約 800 萬裝置小時；CPO 第一階段 8,960 埠、約 5,000 萬裝置小時（40℃ 壓力環境）；第二階段 38,400 埠、約 1.75 億裝置小時（15–35℃ 正常環境）。第二階段樣本量大，但環境溫度也較寬鬆，不能與第一階段直接比較。

## 3.2 Oracle：800G LPO 對 FRO，及污染

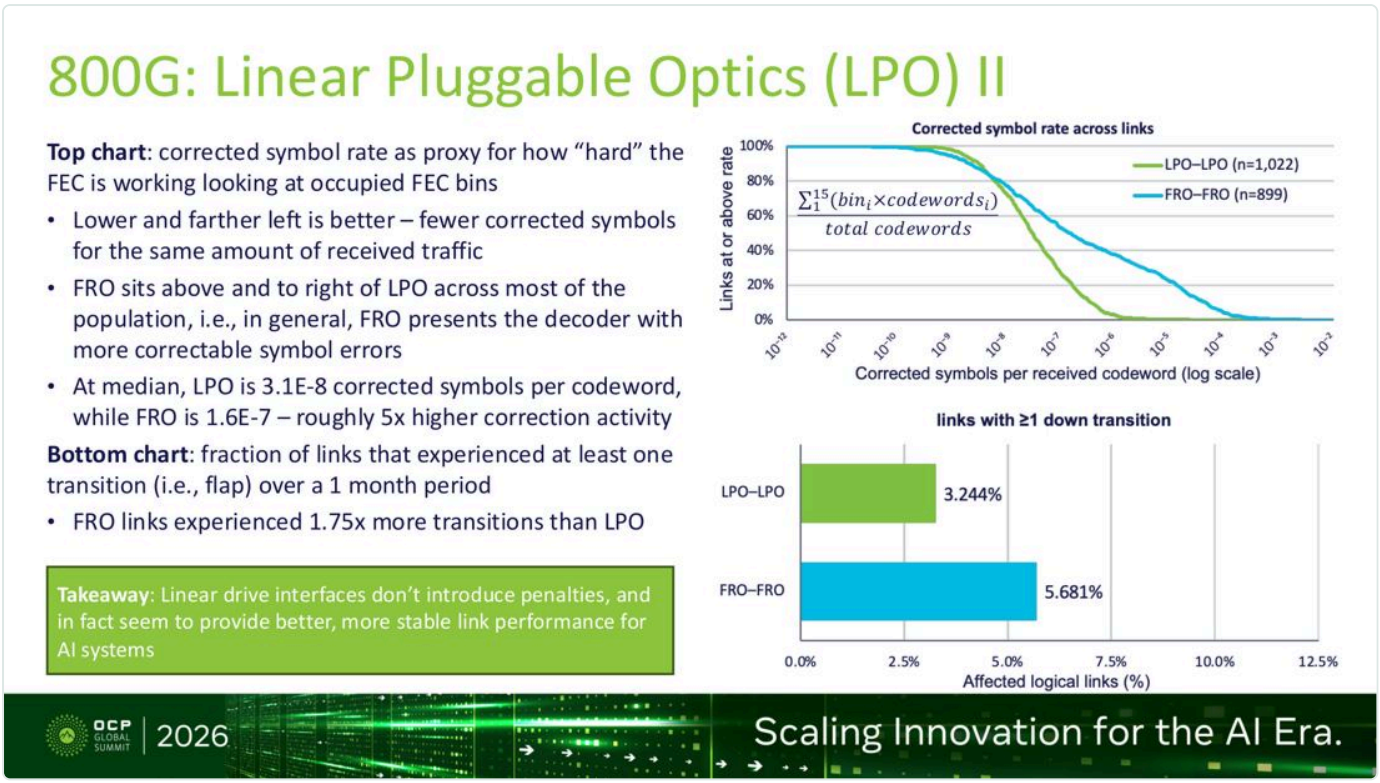



**圖 6：Oracle 800G LPO 與 FRO 的比較。**上圖為每個接收碼字的已更正符號率分布（LPO 鏈路 n=1,022、FRO n=899），LPO 中位約 3.1E−8、FRO 約 1.6E−7；下圖為一個月內至少發生一次下行轉換（flap）的鏈路比例：LPO 3.244%、FRO 5.681%（約 1.75 倍）。注意：本圖樣本（1,022 / 899）與同一簡報前一頁 BER 分布的樣本（約 15.7 萬 / 20.2 萬條）不同，引用時須註明。來源：OCP 2026，Oracle〈Lessons learned from GW-scale AI deployments〉。

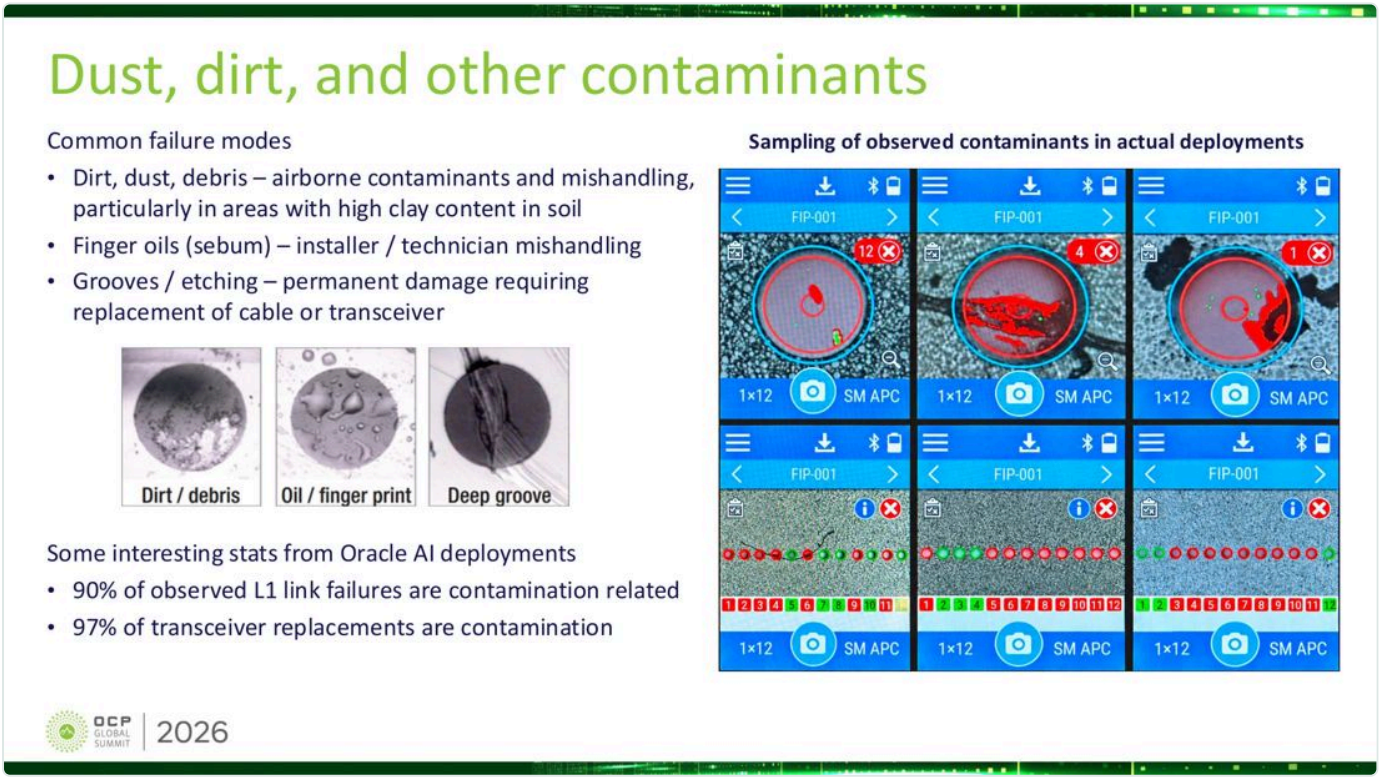



**圖 7：光纖端面污染。**左為顯微影像（髒污碎屑、指紋油、深刮痕），右為現場檢測儀對 1×12 單模 APC 連接器的判讀畫面。Oracle 稱其 AI 部署中 90% 的 L1 鏈路故障、97% 的光模組更換源於污染（無分母，僅為 Oracle 自述）。來源：OCP 2026，Oracle〈Lessons learned from GW-scale AI deployments〉。

Oracle 的其他數據：64×800G 交換器機箱功耗，全 FRO 中位 1,528 W（n=2,184），半數埠為 LPO 時中位 1,270 W（n=1,237），差 258 W，其中模組本身只占 5–7 W×32，其餘來自風扇與系統。1.6T 時 LPO 難以達到訊號完整性與互通，改走 LRO（26 dB 通道 16 W、約 10 pJ/bit，多家 3nm DSP 互通已展示）。這代表「LPO 勝」只在 800G 成立。

### 3.3 口徑對照表

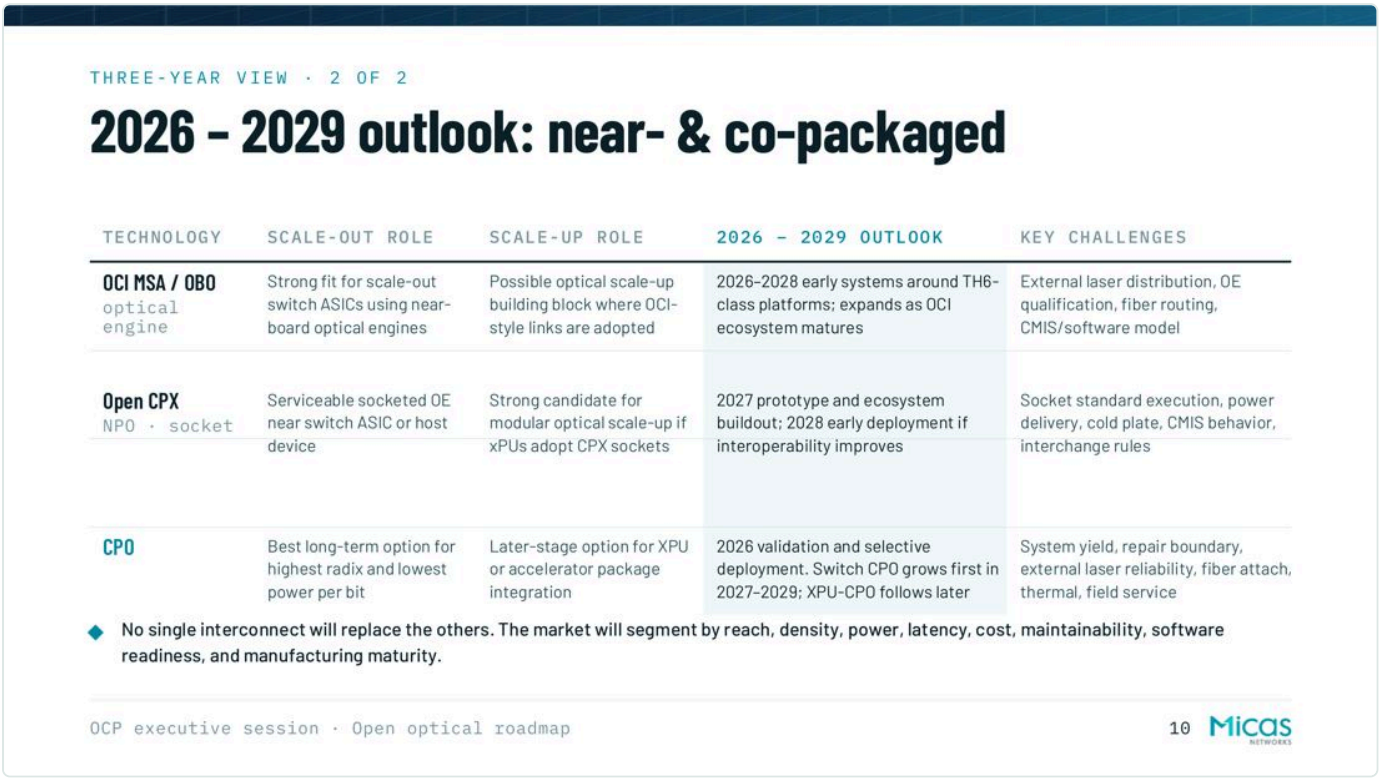
| 來源 | 指標定義 | 樣本與期間 | 數值 | 不可直接比較的原因 |
|---|---|---|---|---|
| Meta CPO | ALIR（年化鏈路中斷率）、MTBI；中斷判準為單一無法更正碼字 | 51.2T；第二階段 38,400 埠，約 1.75 億裝置小時，15–35℃ | 全部中斷 0.2% / 4.5M；扣 SMT 零件 0.04% / 25M；不可維修 0 / 175M | 400G FR4 埠、年化、單一客戶、廠商未具名；對照 FRO 為同一批 Minipack3 可插拔 |
| Meta 可插拔基準 | 同上（FRO 對照組） | 1,792 埠，約 800 萬裝置小時 | ALIR 1.22% / MTBI 0.72M | 另有 0.55M（Samtec 簡報引述的 2x400G 可插拔基準，簡報稱為 OCP 2025 年資料）與 0.71M（OFC 2026 場合流通的數字）兩個版本，年份與版本不同，不可混用 |
| Meta LPO | 中斷次數倍數（LPO 相對 retimed） | 約 4,000 個 100G/lane 模組，DSF 網路一跳雙端，4 個月；另有實驗室 2.96M link-hours | 中斷少 2.0 倍、服務影響故障少 2.6 倍；近 60 天 8.4 倍；實驗室零模組歸因故障 | 限量部署，100G/lane；Meta 稱優勢來自架構（無 DSP）而非模組層級 |
| Oracle LPO 對 FRO | 一個月內至少一次中斷的鏈路比例 | 800G；BER 分布 15.7 萬 vs 20.2 萬條，flap 圖 1,022 vs 899 條 | 3.244% vs 5.681% | 期間為月、非年；兩頁樣本不一致；1.6T 已改走 LRO |
| Broadcom CPO | 裝置小時內 link flap 次數 | 超過 100 萬裝置小時 | 0 次 link flap；稱可靠度為可插拔的 10 倍 | 廠商自述，未見 flap 定義、客戶與環境；樣本量比 Meta 小約兩個數量級 |
| NVIDIA CPO | MTBI | 未提 | MTBI 提高 10 倍（口述） | 引 Meta 簡報與「數億小時」實績，無自家樣本 |
| Credo ZeroFlap ALC | MTBF / MTBI | 設計目標 | 1 億小時（與其引用的銅同量級） | 廠商自述的設計目標，非現場實測 |
| Microsoft 門檻 | FIT、MTBF | 需求 | NPO / CPO 要 FIT 小 10 倍、MTBF 大 10 倍 | 是要求值；簡報內 Flap-FIT 例（1 萬 FIT、1,000 GPU pod 約 0.8 小時 MTBF）明確標示非現場數據 |
| Marvell 模型 | flap 頻率推算 | 2025 年模型：約 300 萬 GPU、超過 1,000 萬條光鏈路 | 約每 48 秒一次 flap | 簡化模型，非現場數據 |
| Oracle 污染 | 失效原因占比 | Oracle AI 部署 | 90% L1 鏈路失效、97% 模組更換與污染有關 | 無分母、無期間 |

**這組數據改變了什麼**

- CPO 不再只是廠商宣稱：Meta 給出可獨立檢驗的大樣本，且主要故障是雷射模組的一顆零件，而不是 CPO 結構本身，與「CPO 無法維修」的疑慮方向相反。

- 但這是 Broadcom 系 51.2T、Meta 自己的環境，不能外推到 NVIDIA 的 Spectrum-X CPO，也不能外推到 200G/lane 的 102.4T 世代。
- LPO 的證據在 800G 與 100G/lane 成立（Oracle、Meta），但 1.6T 退場，Oracle 的數據因此是「舊世代的證明」。
- 污染與連接器仍是 CPO 與 FRO 共同的弱點：Meta 的 CPO 光纖 / 連接器故障占 11–17%，與 FRO 的 9% 差異不大；Oracle 推出擴束光連接器（EBO）降低約 20 倍插拔力。

# 第 4 章 時程與市場預測


THREE-YEAR VIEW · 2 OF 2

2026 – 2029 outlook: near- & co-packaged

| TECHNOLOGY | SCALE-OUT ROLE | SCALE-UP ROLE | 2026 – 2029 OUTLOOK | KEY CHALLENGES |
|---|---|---|---|---|
| OCI MSA / OBO optical engine | Strong fit for scale-out switch ASICs using near-board optical engines | Possible optical scale-up building block where OCI-style links are adopted | 2026–2028 early systems around TH6-class platforms; expands as OCI ecosystem matures | External laser distribution, OE qualification, fiber routing, CMIS/software model |
| Open CPX NPO · socket | Serviceable socketed OE near switch ASIC or host device | Strong candidate for modular optical scale-up if xPUs adopt CPX sockets | 2027 prototype and ecosystem buildout; 2028 early deployment if interoperability improves | Socket standard execution, power delivery, cold plate, CMIS behavior, interchange rules |
| CPO | Best long-term option for highest radix and lowest power per bit | Later-stage option for XPU or accelerator package integration | 2026 validation and selective deployment. Switch CPO grows first in 2027–2029; XPU-CPO follows later | System yield, repair boundary, external laser reliability, fiber attach, thermal, field service |

◆ No single interconnect will replace the others. The market will segment by reach, density, power, latency, cost, maintainability, software readiness, and manufacturing maturity.



**圖 8：2026–2029 近封裝與共封裝展望（Micas Networks）**。OCI MSA / OBO：2026–2028 在 TH6 級平台出現早期系統；Open CPX 的 NPO：2027 原型與生態建置，若互通改善則 2028 早期部署；CPO：2026 驗證與選擇性部署，交換器 CPO 2027–2029 先成長，XPU 內 CPO 較晚。關鍵挑戰：外部雷射分配與可靠度、光纖貼合、散熱、現場服務。來源：OCP 2026，Micas Networks〈From LPO to NPO to CPO〉。

## 4.1 時程總表

| 項目 | 時點 | 來源 | 性質 |
|---|---|---|---|
| OCI–MSA 成立 | 2026–03–12；創始成員 Meta、Microsoft、OpenAI、AMD、Broadcom、NVIDIA | Broadcom、Microsoft | 規格發布 |
| Open CPX v1.0 | 2026–09 前發布（6.4T / 7.2T） | Ciena（口述） | 規格發布 |
| Open CPX v2 / v3 | 2027–06（200G/lane，12.8T / 14.4T）；2027 年底至 2028 年初（N×400G） | Ciena（口述） | 預測 |
| XPO | MSA 2026–03；Micas：2027 工程探索；Celestica：下一個 102.4T / 204.8T 設計週期試用 | Celestica、Micas | 規格 / 預測 |
| USFP（名稱待確認） | 2027 量產 | NVIDIA（口述） | 預測 |
| Spectrum–X CPO | 已量產（自述） | NVIDIA 兩場（口述） | 自述，無第三方佐證 |
| Broadcom CPO | TH6 Davisson（102.4T，200G/lane）2026；第四代 2028 | Broadcom、Celestica | 世代時間軸 |
| Meta 102.4T CPO / NPO 交換器 | POC 實機；量產時點未提 | Meta | 送樣前 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3.2T / 6.4T / 12.8T NPO | 3.2T 即將量產；Genuine 6.4T 2027 年初 GA；12.8T 早期研發 | Alibaba、Genuine（口述） | 預測 |
| 華為 Open NPO | 2026-12-30 向 OCP 貢獻；SuperPOD L1—L2 的 NPO 2027—2028；XPU 直出光 2028—2029 | Huawei | 規格 / 預測 |
| Credo | 2027：6.4T NPO、1.6T ALC；2028—29：CPO | Credo | 路線圖（自述） |
| OCI 400G / 800G 世代 | 400G：2027（原簡報帶問號）；800G：2030 年之後（帶問號） | Microsoft、Broadcom、Celestica | 規格時點預測，與部署時點不同 |
| 跨機櫃光學放量 | 2027 年底至 2028 年 | Capital Group（口述） | 預測 |
| Celestica 銅轉光遷移 | 2027—2030 | Celestica | 預測 |
| Google OCS 介面 v0.8 | 2026-09 初草案 | Google | 規格草案 |

### 4.2 市場預測（口述，無投影片）

| 項目 | 數字 | 來源與口徑 |
|---|---|---|
| 光模組市場成長 | 2026 年約 +120%（上次超過 100% 為 2000 年）；2027 年約 +70—80%；講者表示成長率已在高峰 | LightCounting（口述） |
| CPO＋NPO 滲透 | 2031 年口徑：1.6T 埠約占一半；3.2T 埠（2029—2030 起，講者稱超過 1 億個埠）占 75%。講者未給 CPO 與 NPO 各自的出貨量；3.2T 的 lane 速率與年份不明 | LightCounting（口述，預測） |
| 收發器占 capex 比重 | 目前約 5%，2029—2030 降到 3.5—4%（多平面架構與更高速率使每 GPU 收發器數量下降） | LightCounting（口述） |
| scale-up 光學納入預測 | 2029—2030 年 | LightCounting（口述） |
| 光學市場規模 | 約 500 億美元，2030—31 年約 1,000 億美元；scale-up 若有 10—20% 改用光，等於再造一個現有市場 | Source Photonics（口述，推估） |
| hyperscaler capex | 2027 年超過 1 兆美元，2030 年超過 2 兆美元（含 neocloud、AI 實驗室、主權與企業） | Capital Group（口述） |

LightCounting 回顧 2018 年的 CPO 預測：首批部署時點（2026—27）判斷準確，但出貨單位低估約 10 倍，原因是當年不知道 scale-out 後端網路與 scale-up 這兩個高量應用。這提醒讀者：本屆所有「量」的預測對 scale-up 的假設最敏感。Capital Group 則點出投資上的陷阱：技術方向最容易判斷，時機最常出錯，能撐過下一代架構的贏家最難挑；觀察指標是量產規模下的光纖貼合良率、早期部署的可服務性、標準進展，以及銅在 200G 與 400G 能否守住。

## 第 5 章 密度與新外形：XPO、Open CPX、USFP、OCI

可插拔的反擊來自面板密度：50T 交換器時前面板已被 OSFP 塞滿，400T 級要塞進 1RU 時任何可插拔都做不到（Ciena 口述）。XPO 是目前最具體的答案，Open CPX 則把「可插拔」搬到 ASIC 旁的插座。

## 5.1 XPO：一個模組等於八個 OSFP

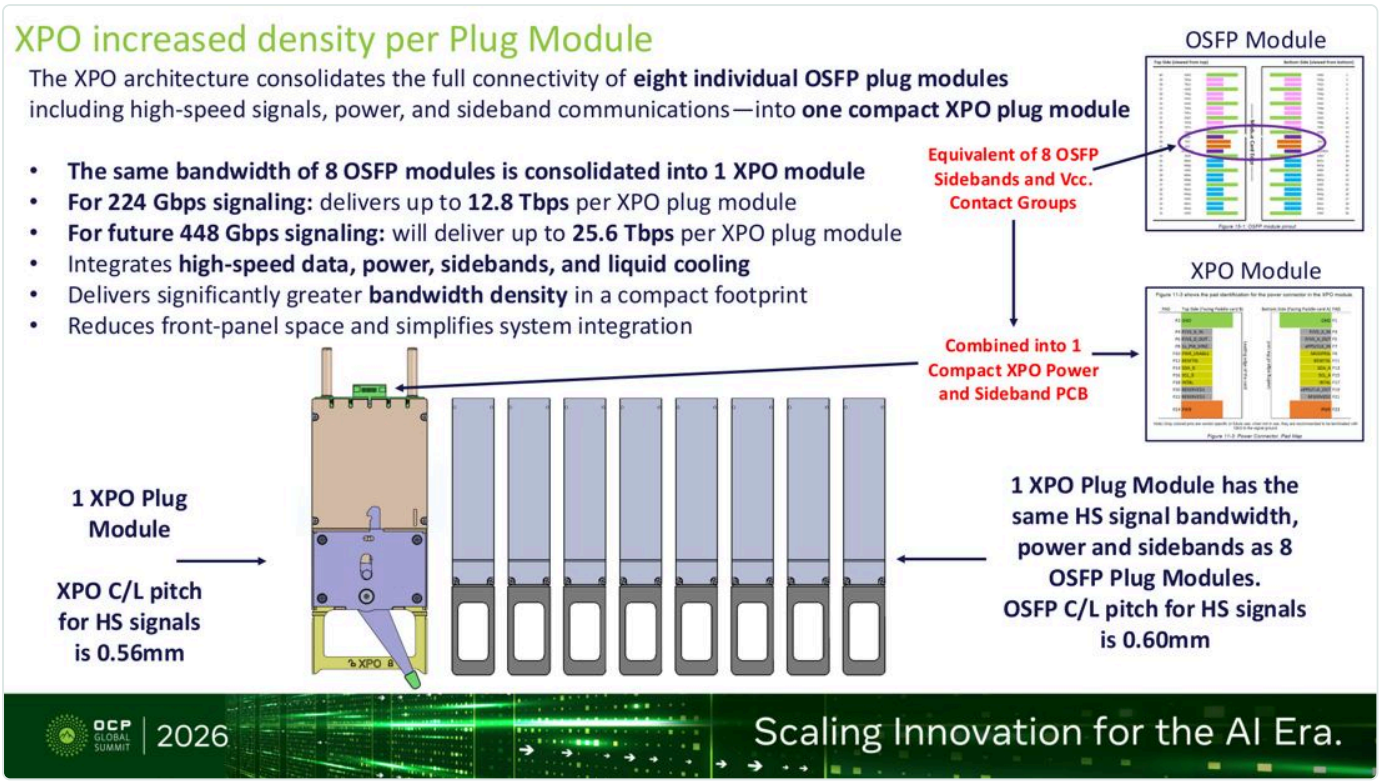



**圖 9：1 個 XPO 模組對 8 個 OSFP 模組。**XPO 把 8 個 OSFP 的高速訊號、電源與邊帶合併為一個模組與一片電源 / 邊帶 PCB；224G 時單模組 12.8 Tbps，未來 448G 為 25.6 Tbps；高速訊號 pitch XPO 為 0.56 mm、OSFP 為 0.60 mm。來源：OCP 2026，Foxconn Interconnect Technology（鴻騰）〈XPO: A High-Density, Liquid-Cooled Optical Interconnect Architecture〉。

- 面板：8 個 OSFP 約 190×16.5 mm，1 個 XPO 約 60.79×21.10 mm，密度約 4 倍；1OU 交換器放 128 個 XPO 埠仍標示「審慎評估中」，非定案。
- 規格（Arista 陣營口徑）：204.8T / 1RU（200G/lane）、409.6T / 1RU（400G/lane）、液冷最高 500 W / 模組（25.6T coherent-lite）；光學中立，可換載 DAC、ACC、AEC、LPO、LRO、FRO、coherent-lite。
- Microsoft 與 Arista 的測試箱（212 Gbps SerDes、通道預算 15.42 dB，**模擬平台**）排序為 FRO 餘裕最大、LRO 次之、LPO 受 Tx 限制（加速器側 BER 約 1E-7，FRO 在 22 dB 時約 1E-12）。Microsoft 的結論只是「值得為 scale-up 探索」，並未宣布採用或時程。
- Amphenol 的 XPO 連接器：64 條高速通道、單一 48V 電源、整合液冷、MPO-16 相容、線性模組低於 90 W。

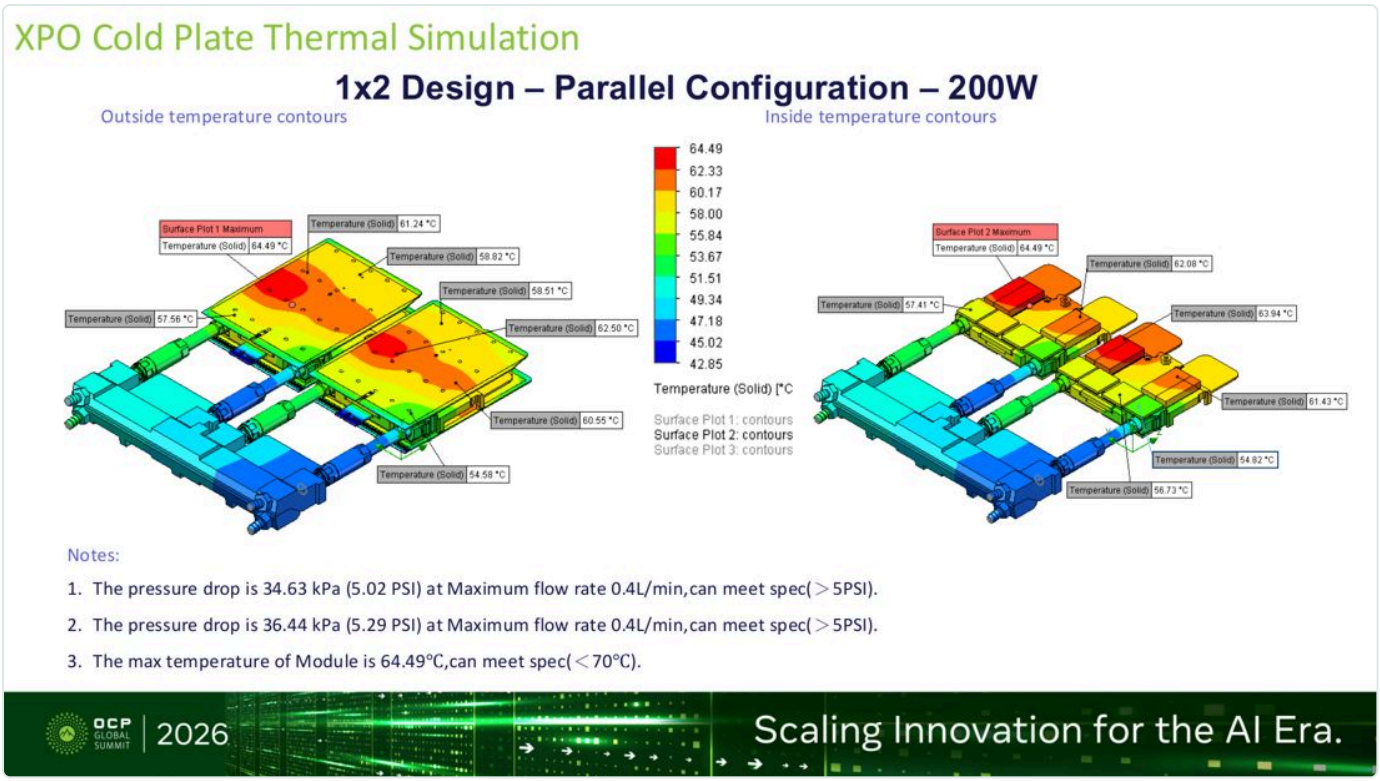



**圖 10：XPO 冷板熱模擬（模擬，非實測）。**1×2 並聯、200 W：外部與內部溫度分布最高 64.49℃（規範低於 70℃）；壓降 34.63 kPa（5.02 PSI）與 36.44 kPa（5.29 PSI），圖註標示最大流量 0.4 L/min。原圖中流量與 5 PSI 規格的對應有歧義。來源：OCP 2026，鴻騰〈XPO〉。

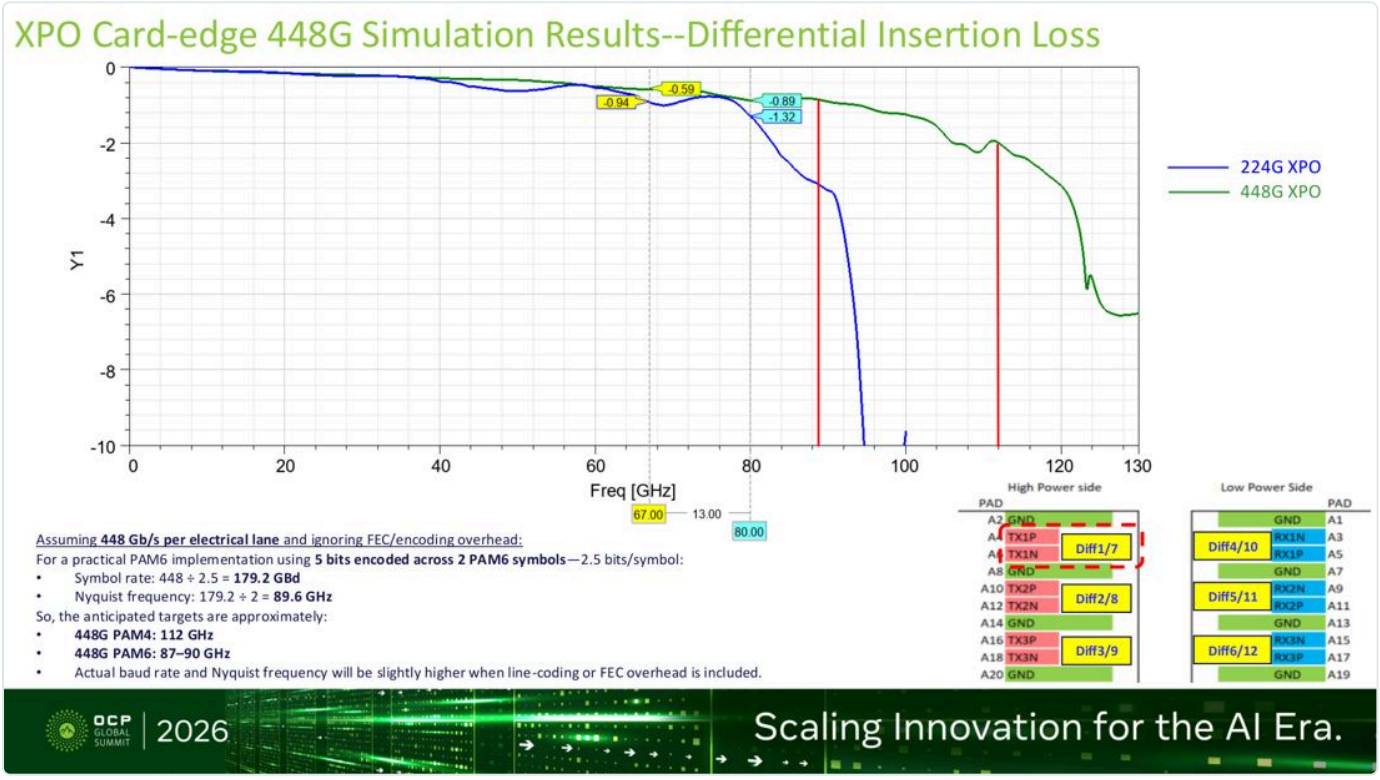



**圖 11：XPO 卡緣 448G 與 224G 差分插損（模擬）。**80 GHz 處 448G 版約 –0.89 dB、224G 版約 –1.32 dB；224G 版在約 90 GHz 之後急降，448G 版在 112 GHz（PAM4 的奈奎斯特頻率）約 –2 dB；兩條紅線標示 PAM6（89.6 GHz，87–90 GHz）與 PAM4（112 GHz）。來源：OCP 2026，鴻騰〈XPO〉。

## 5.2 群益 memo 與鴻騰一手簡報的差異（必須修正）

群益投顧於 2026–10–12 發布的鴻騰 XPO 演講 memo，與鴻騰本人的簡報在多項數字上不一致。以下以一手簡報為準，並註明哪些只能由口述驗證。

| 項目 | 群益 memo | 鴻騰一手簡報（或其他一手資料） | 處理 |
|---|---|---|---|
| 冷板流量 | 4 L/min | 簡報 p11 標示最大流量 0.4 L/min（模擬） | 以 0.4 為準，memo 為筆誤；原圖與 5 PSI 規格對應有歧義 |
| 448G PAM4 插損（112 GHz） | 約 −5 dB | 簡報 p18 模擬曲線約 −2 dB；PAM6（89.6 GHz）約 −0.85 dB | PAM4 修為約 −2 dB（模擬）；memo 的「PAM6 低於 1 dB」屬實 |
| Pre-FEC BER | $10^{-10}$ 至 $10^{-12}$ | 簡報 p14：8 對 loop-back（EXFO BA-1600，106.25 GBd PAM4）為 1.07E-12 至 7.25E-10，post-FEC 全為 0 | 修正為簡報數字；測試為 224G |
| XPO MSA 成員數 | 「25 家增至 150 家以上」 | 鴻騰簡報只致謝、無成員數；Microsoft / Arista 簡報 p6 列 20 家核心光模組成員 logo | 150+ 家僅出現在 memo（口述來源），無法由簡報驗證 |
| 電源電壓 | 50V | Amphenol 簡報為 48V；鴻騰簡報無數字 | 待查，並列兩者 |
| 單一連接器介面插損 | — | −0.465 dB 為推算：量測 −3.93 dB 扣回路纜線 −3.0 dB 得 −0.93，再除以 2 個介面（224G，OFC 2026 展示，53.125 GHz） | 標明為推算值 |
| 1OU 128 埠 | — | 簡報稱仍在審慎評估 | 評估，非定案 |

## 5.3 Open CPX、USFP 與 OCI

- **Open CPX：**2026-03-12 成立（Ciena 稱成員逾 60 家，口述），v1.0 規範 6.4T 與 7.2T 可插拔介面，同時承載銅與線性光；Type 1 較小、高速與電源可在不同面，Type 2 為單一 pin field。Ciena 並提出「ELXPO」：用一個 XPO 外形的液冷雷射模組餵 10–20 個 CPX 模組，解決外部雷射塞滿前面板的問題。模組送樣方包括 Coherent、TeraHop、Ciena、Intel（口述）；Samtec、Molex、TE、Amphenol 被稱「都在做」插座與連接器（口述，非訂單）。
- **USFP（名稱未確認）：**NVIDIA 與 Cisco 於峰會前一日宣布，共同定義並主導 MSA；TE MegaLane 與 Amphenol 為連接器夥伴。規格說法有落差：一場稱略小於 OSFP、最高 100 W，另一場稱 4 倍密度、功耗至少降 30%、先 16 lane（6.4T）後 32 lane（12.8T）、支援 200G 與 400G/lane，2027 量產。TE 在其簡報中聲明這只是參考，並非已授權的 OCP 規格貢獻。USFP 若成真，可能分流 XPO；兩者目前並無公開的互通關係。
- **OCI-MSA：**Gen1 為 NRZ、WDM 多波長、單光纖雙向（Microsoft 簡報稱 8 波長一組標準雷射；Broadcom 簡報稱每方向每光纖 4 波長，兩場表述待對齊）。Broadcom 比較 200G 全鏈路：DAC 7 pJ/bit 傳 2 公尺、整合 OCI 7 pJ/bit 傳 500 公尺、前面板 DR LRO 可插拔 23 pJ/bit 傳 500 公尺（廠商自述，邊界未定）。頻寬世代：200G 現在、400G 2027（帶問號）、800G 2030 年之後（帶問號）。

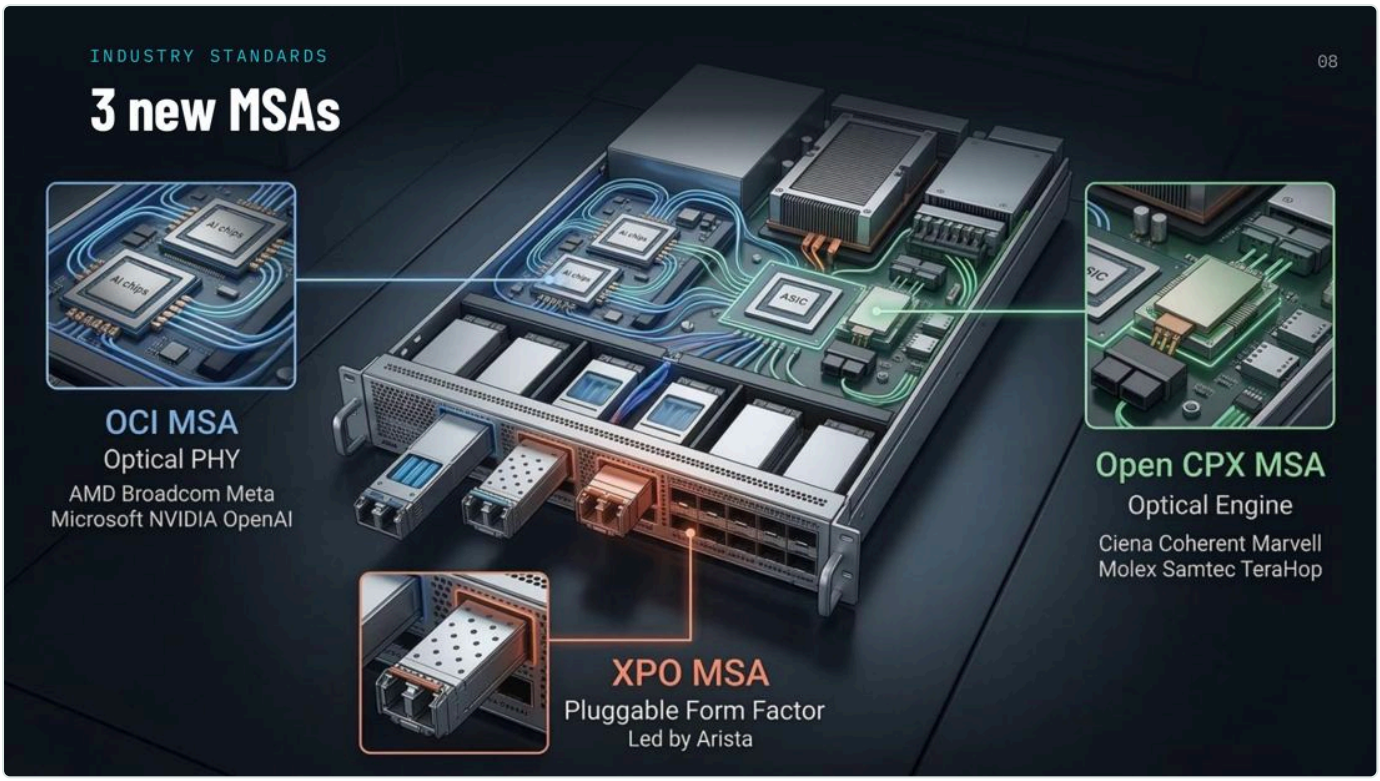



**圖 12：三個新 MSA（Micas Networks 的示意渲染，非實體照片）。**OCI MSA（光 PHY：AMD、Broadcom、Meta、Microsoft、NVIDIA、OpenAI）、Open CPX MSA（光引擎：Ciena、Coherent、Marvell、Molex、Samtec、TeraHop）、XPO MSA（可插拔外形，Arista 主導）。成員名單為 Micas 簡報所列，不代表供貨或訂單。來源：OCP 2026，Micas Networks〈From LPO to NPO to CPO〉。

| 標準 | 範圍 | 陣營 / 成員（各簡報自述） | 狀態 |
|---|---|---|---|
| OCI-MSA | scale-up 光 PHY、ELSFP 光源、光纖線束 | Meta、Microsoft、OpenAI、AMD、Broadcom、NVIDIA | Gen1 規格；2026-03 成立 |
| Open CPX | 可插拔 NPO 插座與光 / 銅引擎 | Ciena、Coherent、Marvell、Molex、Samtec、TeraHop；Lumentum 自稱成員 | v1.0 已發布 |
| XPO MSA | 高密度液冷可插拔外形 | Arista 主導；20 家核心光模組成員 logo（含 FIT、Eoptolink、Coherent、Lumentum） | MSA 2026-03 |
| IPEC / Open NPO | NPO 電連接器（72 對差分、12V 電源）等 | 華為主導；IPEC 約 55–60 成員、Open NPO 專案 40+ | 2026-12-30 前向 OCP 貢獻 |
| UPO | 6.4T 與 12.8T NPO（中國） | Alibaba 提及 | 細節未公開 |
| USFP | OSFP 後繼可插拔 | NVIDIA、Cisco；TE、Amphenol 連接器 | 名稱待確認，2027 量產（口述） |

標準分散的後果：Genuine 指出連接器也有地緣差異，LGA 在亞洲（尤其中國）占優，CPX / Mezzanine 在歐美，意味著連接器與 FAU 供應商可能需要雙邊認證。

## 第 6 章 雷射光源：外部雷射與內建雷射之爭

CPO 與 NPO 共同的新風險，是把雷射從模組內搬出去之後，雷射本身成為單點。Meta 的數據已說明：CPO 故障有 83–85% 來自外部雷射模組。這使得「雷射放哪裡」成為與路線選擇平行的第二條軸。

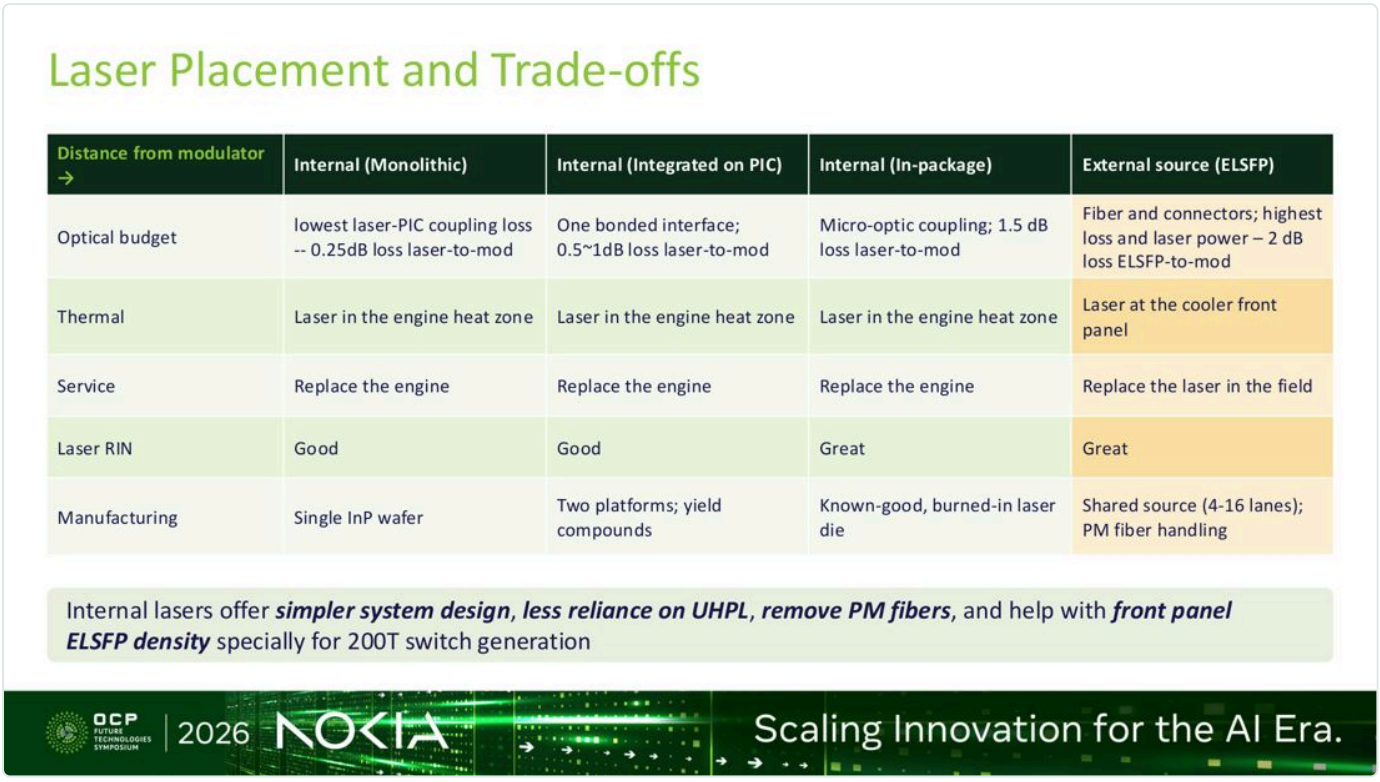



**圖 13：雷射位置與取捨（Nokia）。**雷射到調變器的損耗：單石 0.25 dB、PIC 整合 0.5–1 dB、封裝內微光學耦合 1.5 dB、外部 ELSFP 2 dB（含光纖與連接器）。前三者雷射在引擎熱區、壞了要換引擎；外部雷射在較冷的前面板、可現場換雷射，但需要保偏（PM）光纖，且為 4–16 lane 共用光源。Nokia 的結論：內部雷射可簡化系統、減少對超高功率雷射的依賴、免保偏光纖，對 200T 交換器世代的前面板 ELSFP 密度尤其有利。來源：OCP 2026，Nokia〈Architecting Near-Packaged Optics for AI Datacenters〉。

| 陣營 | 說法 | 證據 | 口徑 |
|---|---|---|---|
| 外部雷射（Lumentum） | 400 mW 超高功率雷射已量產並成為 CPO / NPO 基準；800 mW 與 16 波長（200 GHz 間距）在 OFC 展示 | 簡報：50℃ 晶片面功率超過 350 mW、PCE 超過 20%、線寬小於 500 kHz；影片另稱 400 / 800 mW | 量測點不同（晶片面 vs 講者口述），16 波長每波約 350 mW 未確認；NVIDIA 為 2025 年宣布的合作對象，但簡報未說明供貨關係 |
| 外部雷射（Ayar Labs × 緯穎） | 機櫃級 ELSFP：8 通道×23 dBm、主動 TEC、多供應商雷射晶粒 | 100 多顆實測（50℃ 晶粒、–20 dB 背反射、45℃ 進水）：平均 23.4 dBm（σ 0.32 dB）、SMSR 53 dB、線寬 0.16 MHz、RIN –158 dB/Hz，皆優於規格 | 實測、共同開發；雷射晶粒供應商未具名 |
| 外部雷射（Oracle 觀點） | ELS 光功率高、爆炸半徑小、可現場升級，但保偏光纖與環氧壓力、介面多、插損大、BOM 高 | OIF 的 ELSFP 分兩級：100 mW（20 dBm）與超高功率（23–26 dBm）；牆插效率目標約 20%；Terahop 稱 CW 雷射 FIT 低於 0.1，超高功率預期更高需驗證 | 運維視角；跳模（mode hopping）必須在製造端篩掉 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 內建雷射（Nokia、Lumilens） | 省保偏光纖、連接器與跳線，免 400 mW 外部傳輸損耗，尺寸更小 | Nokia：6 吋 InP 平台（Sunnyvale 3 吋、San Jose 與 Arizona 各 6 吋），稱客戶要求 2030 年前 InP 產量約 10 倍；Lumilens 無量測數據 | 廠商自述；內部雷射故障需整盒返廠、不可現場升級 |
| Micas（系統商） | 「hyperscaler 客戶訊號」偏好內建雷射 NPO 以簡化服務 | 無數據 | 系統商轉述，未具名客戶 |




**圖 14：100 多顆 ELSFP 的量測分布（–20 dB 背反射、50℃ 晶粒溫度）**。平均輸出功率 23.4 dBm（目標 23 dBm）、SMSR 53 dB（規格大於 40 dB）、線寬 0.16 MHz（規格小於 1 MHz）、平均 RIN –158 dB/Hz（規格小於 –150 dB/Hz）。簡報稱每一顆都在規格內且有餘裕。來源：OCP 2026，Ayar Labs 與緯穎〈Rack–Ready High–Power ELSFPs〉。

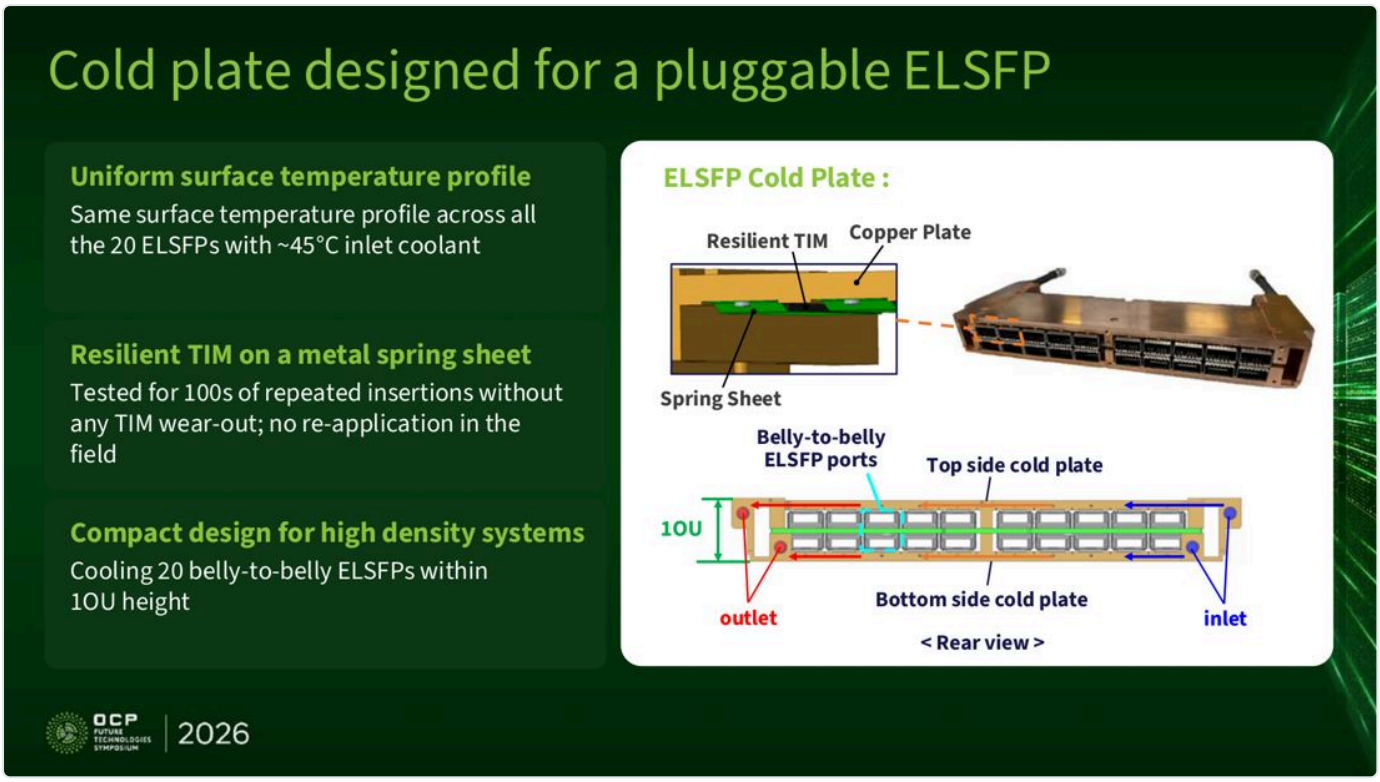



**圖 15：專為可插拔 ELSFP 設計的冷板。**金屬彈片上的彈性 TIM（數百次插拔無磨損）、上下兩層銅冷板，在 1OU 高度內冷卻 20 個背對背 ELSFP；進水與出水口分在兩端。20 顆熱驗證：雷射晶粒 50±1℃、進水 45℃、流量 1.3 LPM。來源：OCP 2026，Ayar Labs 與緯穎〈Rack-Ready High-Power ELSFPs〉。

> **判讀：**雷射兩派並非互相取代，而是對應不同的服務模式。可換引擎的 NPO 使引擎內建雷射重新可行（Nokia 的論點：引擎在主機熱區之外），外部雷射則是「最熱最密」場景的對沖。對 InP 供應鏈而言，無論哪一派勝出，雷射數量與功率需求都在上升，這是 Nokia 6 吋擴產敘事的基礎；但「10 倍」是 Nokia 轉述客戶要求，無第三方驗證。

## 第 7 章 scale-up 光學的韌性：link flap 與爆炸半徑

scale-up 域內的 GPU 不像交換器能容忍鏈路中斷。Microsoft 與 Marvell 主張：光學的成功指標不是鏈路可用率，而是「AI 作業不中斷」。

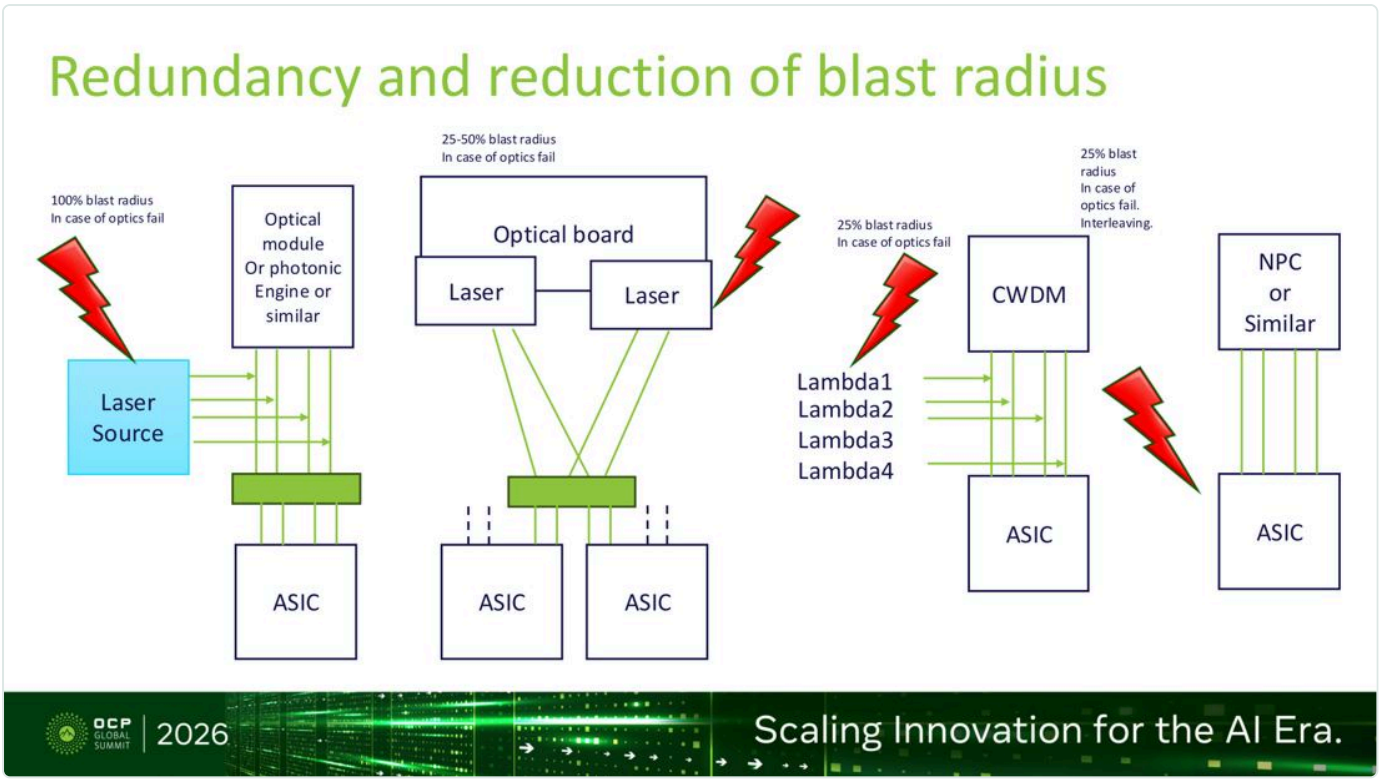



**圖 16：冗餘與爆炸半徑。**共用雷射源餵光模組或光子引擎：單點失效波及 100%；光板上雙雷射：25–50%；CWDM 4 波長：25%；NPC 類做 4 路交錯（interleaving）：25%。Microsoft 的解法是在雷射源、光子引擎與 ASIC 之間設冗餘與光纖 shuffle（交叉接線）點。來源：OCP 2026，Microsoft〈Optical Scale-Up AI Systems〉。

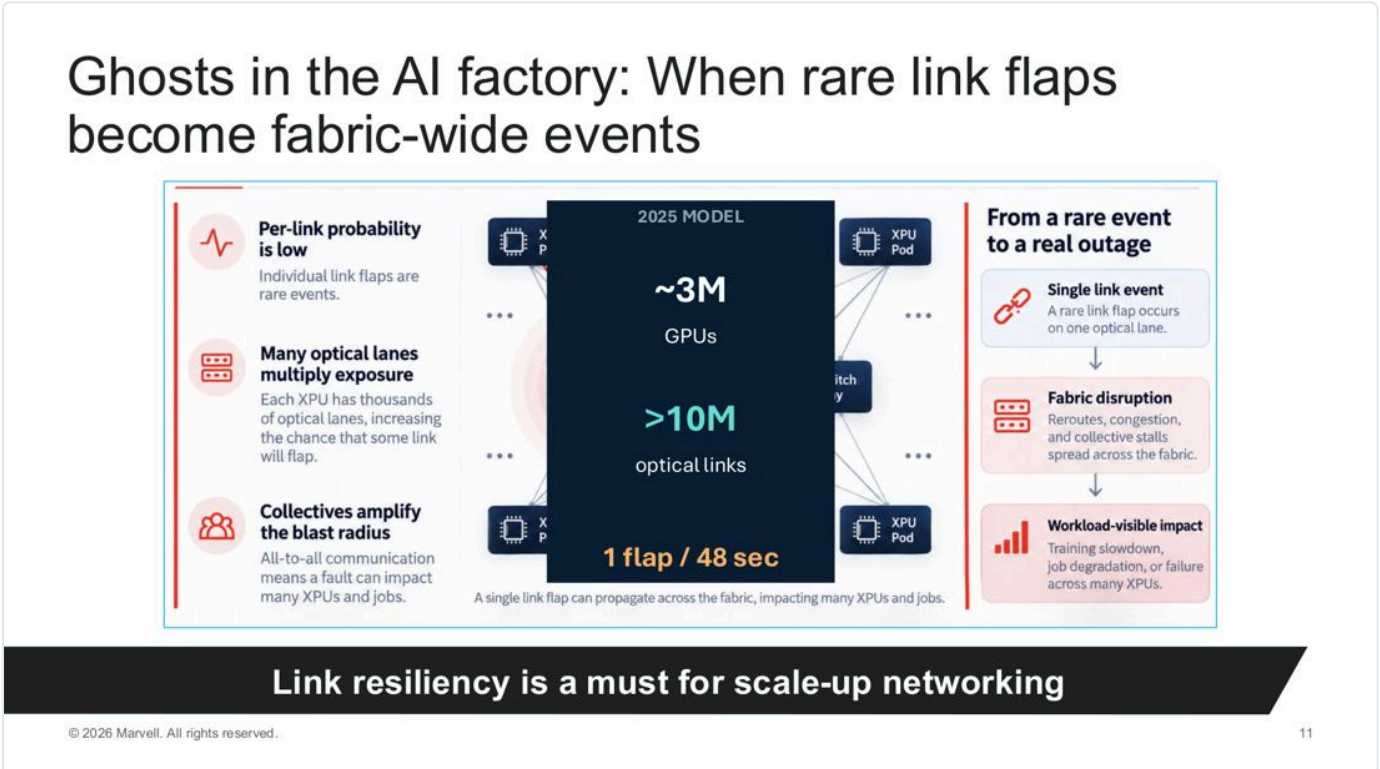



**圖 17：單一 flap 如何演變為全域事件（Marvell 的簡化模型，非現場數據）。**2025 年模型：約 300 萬 GPU、超過 1,000 萬條光鏈路，等於約每 48 秒一次 flap；單鏈路機率低，但每個加速器有數千條光 lane，集合通訊再放大爆炸半徑。來源：OCP 2026，Marvell 與 Microsoft〈Scale-up optical reliability and GPU/system resiliency to optical link flaps〉。

- **目標值：**Marvell 把「可能 flap 的鏈路低於 1%」列為工作中目標；pre-FEC BER 目標低於 1e-9；結論句是 scale-up 光 I/O 要和今天的被動銅一樣可靠。

- **端點韌性：**800 Gbps 4-lane 端點，單一 lane flap 時若是 1×800 模式即作業中止，若是 4×200 模式可降為 3×200 或 2×200；4 條 lane 同時 flap 則端點阻斷，需在及時內移到另一張 NIC。若各 lane 在不同故障域，同時 flap 機率約為單 lane 機率的四次方。
- **恢復時間階梯（Marvell RELIANT）：**實體層即時、鏈路重試近乎瞬間、鏈路層小於 1 毫秒、應用層約 500 毫秒、系統層超過 1 秒。Ranovus 的分析指出，重傳會推高尾延遲，重試超過上限即 flap，因此重點是壓低 burst error，而非平均 BER。
- **光整合的代價：**從 QSFP、OSFP 走向 32–64 lane 的 OBO、XPO、CPO，每個 flap 故障域含更多 lane、共用雷射與連接器。Microsoft 要求光廠提供雷射與模組長期可靠度、連接器對灰塵與組裝變異的容忍度、頻內與頻外遙測，以及 pod 規模 PoC 的 flap 統計。
- **遙測移位：**Oracle 指出 LPO、NPO、CPO 去掉 DSP 後，重定時、等化、FEC、診斷與遠端遙測都消失，必須把這些能力移到交換器端；OCP 可靠度工作組正在做遙測標準。
- **Meta 的 NPO 痛點：**NPO 缺邊界條件標準，光模組廠與交換器廠需密切共同設計，採購常在整合、訊號完整性與鏈路可靠度上遇到責任歸屬問題。這是 NPO 比 CPO 更難商業化的另一個原因。

這一章對產業鏈的含義：scale-up 光學的導入速度，可能由遙測、冗餘與驗證服務決定，而不是由頻寬決定。Celestica 的「驗證死結」說得直接：量產需要規模驗證，規模驗證需要真實部署；它建議先用 XPO 與可插座 NPO（液冷、可換、最少重新設計）做第一階段，再做多供應商互通與認證，最後才是光運算 fabric 規模化。

# 第 8 章 OCS、寬慢光學與長距

## 8.1 OCS：先有控制面標準

光路交換器（OCS）在本屆的新訊息是介面標準：OCP OCS Interface Spec v0.8（2026 年 9 月初草案，採用 OpenConfig YANG 與 gNMI），讓機械式、波束偏轉與矽光等不同 OCS 技術以同一 API 接入。核心貢獻者包含 Google、Lumentum、iPronics、Telescent 與 Huber+Suhner；這是共同撰寫規格，不等於採購承諾，簡報沒有硬體量產節奏。Marvell 簡報舉例：V7 級 pod 若 144 櫃×96 個光埠＝13,824 條光纖，可由 48 個 OCS 承接（單一來源，簡報未點名廠商）。Google 稱 OCS 耗電低於傳統電封包交換器的 5%（Google 自述）。

## 8.2 寬而慢：Credo、Lumentum、Ligent

| 廠商 | 方案 | 關鍵數字 | 口徑 |
|---|---|---|---|
| Credo | µEmitter 陣列（紅光 µLED、藍光 µLED、µVCSEL）取代銅背板與 AEC | 紅光 µLED 低於 1 pJ/bit、2 公尺內；藍光與 µVCSEL 低於 2 pJ/bit、10–50 公尺；稱較銅背板省 60%＝每櫃 6 kW；1.6T ALC 50 公尺、12 W；2027 放量 | 廠商自述，非第三方實測 |
| Lumentum | 1060 nm VCSEL，從 1.6T 可插拔放大到 12.8T CPO | HTOL 5,000 小時（115℃ 烘箱）漂移近乎平坦；與 Astera Labs 以 PCIe 光互連 PoC 展示，光引擎路徑低於 2.5 pJ/bit | 自述；系統邊界未定義，Lumentum 自己呼籲業界統一 pJ/bit 定義 |
| Ligent | 矽光 3.2T 與 VCSEL 3.2T 兩條 NPO | 矽光 32 通道×100G，典型 23 W，約 500 公尺；VCSEL 3.2T 實測 4.5 W | 自家 demo，客戶未提 |

三家都在做「光學靠近晶片、去掉 DSP」，差別在 reach 與功耗邊界。Oracle 提醒：slow-and-wide 的 1–2 pJ/bit 需扣除 reverse gearbox 吃掉的部分，且一般 scale-up / scale-out 是 5–10 pJ/bit，因此各家 pJ/bit 不能直接比。

### 8.3 長距：coherent-lite 與 ZR

列 / 資料中心之間以 coherent-lite 與 ZR / ZR+ 為主（Celestica 的第四層），XPO 的 500 W 液冷模組規格也包含 25.6T coherent-lite。NVIDIA 稱 scale-across 已連接數十公里，年底前將連接相距數百公里的數百座資料中心（口述）。這一段本屆證據偏薄，未見台廠或硬數據，不展開。

## 第 9 章 台股供應鏈映射與觀察清單

先給結論：**本屆光學場次中，台廠有實質內容的只有鴻騰與緯穎。**其餘名單不是 logo 就是完全缺席。下表依證據強度由強到弱；每個欄位的「證據強度」均不是訂單。




**圖 18：Broadcom TH6-Davisson CPO 夥伴圖（僅 logo，不代表訂單或出貨量）。**FAU：Corning、Twinstar；ELSFP：Eoptolink、O-Net、TFC、FIT、Source Photonics、Aperion、Ligent；製造：TSMC、SPIL；CPO 機櫃單元：Celestica、nexthop.ai、Micas、HPE、Supermicro、Jabil、Delta、QCT。眾達-KY 不在 ELSFP 名單上。來源：OCP 2026，Broadcom〈CPO, OCI〉。

| 公司（代號） | 角色 | 證據強度 | 依據與限制 | 觀察指標 |
|---|---|---|---|---|
| 鴻騰 / FIT（6088.HK） | XPO 連接器、整合冷板與模組結構；400G/lane 連接器聯合場次；Broadcom ELSFP 夥伴圖列名 | 展示 / 合作開發 | 一手簡報：224G 連接器 OFC 2026 展示實測、448G 僅模擬；致謝 Arista；Microsoft / Arista 簡報列為 XPO MSA 核心成員 logo。無客戶、出貨與量產時程揭露。群益 memo 數字多處需修正（見 5.2） | XPO 客戶揭露；448G 實測；USFP 是否分流 XPO；Broadcom ELSFP 出貨 |
| 緯穎（6669） | 與 Ayar Labs 共同開發 ELSFP 冷板（L11 液冷機櫃、L10 運算托盤、冷板）；CPO 光學 scale-up 機櫃（1,024 ASIC pod 參考設計） | 合作開發＋展示（實測 100+ 顆 ELSFP） | 1OU 容納 20 顆 ELSFP；CPO 托盤 16 個 ELSFP、單托盤 805×537×46.5 mm；熱模擬 SoC 112℃（規格 125℃）；展位 C74 現場展示。簡報未提量產年份，雷射晶粒與 ASIC 供應商未具名 | CPO 機櫃量產時程；Ayar Labs 光引擎出貨；ELSFP 熱介面是否被 OCP 標準化 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 廣達 QCT（2382）、台達電（2308） | Broadcom CPO 機櫃單元夥伴圖 logo | 僅 logo | 夥伴圖未註明訂單或出貨；不可寫成 CPO 機櫃出貨 | 是否有 CPO 機櫃樣品公開 |
| 貿聯-KY（3665） | Credo 生態圖列為 integrator（疑另有 Foxlink） | 僅 logo | Credo 工作組生態 logo，終端客戶欄只寫「Hyperscaler」佔位 | Credo ALC 2027 放量時是否有具名量產 |
| 眾達-KY（4977） | 以 ELS / ELSFP 為路線中立受惠者 | 推論 | Broadcom 夥伴圖 ELSFP 名單**不含**眾達，而是上述七家；先前市場把眾達歸入 Broadcom 陣營的說法，應視為市場點名而非本屆證據 | ELSFP 認證名單；OIF 兩級規格 |
| 光聖（6442）、上詮（3363）、波若威（3163） | NPO 與 CPO 的 FAU、保偏光纖、被動與連接器 | 推論 | 本屆無一手證據。Broadcom 圖上 FAU 為 Corning、Twinstar。推論邏輯：NPO 多一層可拆連接器與光纖佈線，ELS 需要保偏光纖；但 NVIDIA 全焊路線與 Meta 稱「可拆光纖」的 CPO 需求，可能使需求轉向 CPO 專用 FAU | Open CPX v1.0 後的送樣名單；NPO 連接器認證 |
| 聯亞（3081） | InP 磊晶與雷射上游 | 推論 | 本屆無一手證據；間接線索：Nokia 6 吋 InP 擴產與客戶「約 10 倍」需求（Nokia 轉述）、Lumentum 高功率雷射需求 | InP 擴產進度；Lumentum 800 mW 量產 |
| 華星光（4979）、智邦（2345） | 光模組 / 網通系統商 | 推論 | 光學場次均未出現；僅能以同業角色類比（例如 Micas 這類交換器系統商） | 光學客戶揭露 |

## 非台廠競爭者與意涵

- **美：**Broadcom（CPO 世代、OCI）、NVIDIA（MRM 加 TSMC COUPE 的 CPO、USFP）、Lumentum（ELS、OCS、VCSEL）、Ayar Labs、Credo、Marvell、Astera Labs、Ciena、Coherent、Nokia（6 吋 InP）、Samtec、Molex、TE、Amphenol、Corning。Broadcom 生態的 FAU 是 Corning 與 Twinstar，製造是 TSMC 與 SPIL，意味台廠位置較偏製造與機櫃，而非光引擎核心。
- **中：**Ligent、華工正源、海思、Accelink、立訊（OPTAMAX、NEXUS 背板、448G CPC 模擬）、Eoptolink、O-Net、Source Photonics。LGA 與 UPO / Open NPO 偏中國陣營，與歐美 Open CPX 並行，台廠 FAU 與連接器可能需要雙邊認證。
- **日韓：**本批光學場次未見具名廠商。

## 觀察清單

| 觀察項 | 為什麼重要 |
|---|---|
| Open CPX v1.0 後的送樣名單 | 檢驗 NPO 多供應商互通是否出現實證，直接回應 NVIDIA 的質疑 |
| USFP 正式名稱與成員 | 決定 XPO 是主流還是被分流 |
| Meta NPO scale-out 試點結果 | hyperscaler 的 NPO 是試點還是全面採用 |
| NVIDIA CPO 交換器出貨量與客戶 | 把「自述已量產」轉為可驗證數字 |

| | |
|---|---|
| Lumentum 800 mW 量產與 ELSFP 良率 | 外部雷射功率世代；外部雷射仍是 CPO 故障主因 |
| InP 擴產（Nokia 與同業） | 雷射供給是否限制 CPO / NPO 起量 |
| 鴻騰 XPO 客戶揭露、448G 實測 | 由展示轉為訂單的第一個訊號 |
| 緯穎 CPO 機櫃量產時程 | 目前只有展示，無年份 |

## 第 10 章 風險與反證條件

| 反證情境 | 為何會削弱論點 | 會看到的訊號 |
|---|---|---|
| CPO 良率與量產快於預期 | NPO 的窗口（Micas：2026–2028）縮短，hyperscaler 轉向 CPO 的速度可能超過預期，被動與可拆連接器的需求被 CPO 專用 FAU 取代（Capital Group 也列為會改變看法的事） | NVIDIA 或 Broadcom CPO 出貨量被第三方證實；光纖貼合良率公開 |
| 銅在 448G 撐得更遠 | 跨機櫃之外的光學增量縮小；Credo、Ciena 都有銅方案（Ciena redriver 在 1.5 pJ/bit 達 3.5 公尺），「能用銅就用銅」的邊界可能外移 | 銅壽命延長；機櫃內全銅 scale-up 在更高速率下仍可行 |
| 標準分裂拖慢導入 | NPO 的 MSA 至少五個管道並行，互通若無實證，hyperscaler 難以放量，NVIDIA 的質疑成立 | Open CPX、OCI、IPEC 之間出現收斂或互認；失敗則是各自為政 |
| 可靠度門檻過高 | Microsoft 要求 FIT 小 10 倍、MTBF 大 10 倍，Oracle 要求不輸焊死 CPO；NPO 的 socket 連接器可能帶來訊號完整性飄移與遲發性缺陷（Oracle：SMT 微裂、ESD 潛伏缺陷可能 3–4 個月後才顯現） | NPO 試點出現重複返廠；Meta 的 NPO 數據遲遲未公開 |
| 單一來源數據被推翻 | Meta CPO 數據為單一來源、Broadcom 系；Oracle LPO 兩頁樣本不一致；Marvell 為簡化模型 | 第二家 hyperscaler 公布 CPO 現場數據；Oracle 補充樣本說明 |
| 需求端 capex 反轉 | 光學成長快於 capex 的前提在 capex 轉負時不保護（Capital Group）；LightCounting 自述 2026 為成長率高峰 | hyperscaler 下修 capex、庫存與重複下單反轉 |
| 台廠證據不足被誤讀 | logo 與缺席不等於訂單或受惠；把推論當事實會高估台股曝險 | 台廠在後續法說或 MSA 名單中是否具名 |

本報告的所有台廠評論，除第 9 章表中標為「展示」「合作開發」者外，均為推論，且不構成買賣建議。

## 來源清單

所有場次均為 OCP Global Summit 2026（聖荷西，2026-10-12 至 15 日）。「簡報」為含投影片的場次；「影片」為僅有影片字幕的場次，其數字為講者口述。

| 講者 / 機構 | 場次英文標題 | 形式 |
|---|---|---|
| Meta | Integrated Optics at Scale for AI Infrastructure: From 51.2T CPO Validation to Meta's 102.4T Integrated Optics Switch | 簡報 |
| Meta | Operating Linear Pluggable Optics at Hyperscale: From Link Management to Production Reliability | 簡報 |
| Meta | Beyond Pluggables: Building the NPO Ecosystem for scaling AI | 影片 |
| Oracle | Lessons learned from GW-scale AI deployments | 簡報 |
| Oracle | Toward NPO Deployments in AI Fabrics | 影片 |

| | | |
|---|---|---|
| Microsoft | Optical Scale-Up AI Systems: Architectures, Standards, and Resiliency Strategies | 簡報 |
| Microsoft / Marvell / Ranovus | Scale-up optical reliability and GPU/system resiliency to optical link flaps | 簡報 |
| Microsoft / Arista | System-Level Evaluation of XPO for High-Density Optical Interconnects in AI Infrastructure | 簡報 |
| Microsoft | How can Near Packaged Optics continue the eco-system success of pluggable optics | 影片 |
| NVIDIA | Revolutionizing Networking for Gigawatt AI Factories | 影片 |
| NVIDIA | Optics for NVIDIA Spectrum-X Multiplane Network Architecture | 影片 |
| Broadcom | CPO, OCI | 簡報 |
| Celestica / Broadcom / OpenAI | Designing the next AI fabric: When compute meets optics | 簡報 |
| Celestica | The Interconnect Inflection Point: Evolving Intra- and Multi-Rack Scale-Up AI Networks | 簡報 |
| Micas Networks | From LPO to NPO to CPO: The open optical roadmap for AI infrastructure | 簡報 |
| Foxconn Interconnect Technology（鴻騰） | XPO: A High-Density, Liquid-Cooled Optical Interconnect Architecture for Next-Generation AI Networks | 簡報 |
| Amphenol / FIT / Luxshare / TE | 400G/lane Optics Module Connectors | 簡報 |
| Ayar Labs / Wiwynn（緯穎） | Rack-Ready High-Power ELSFPs: A Co-Development to Support CPO Deployment in AI Scale-Up and Scale-Out | 簡報 |
| Wiwynn（緯穎） / Ayar Labs | Optical Scale-Up AI architecture with Co-Packaged Optics with Open Rack-Scale Infrastructure | 簡報 |
| Lumentum | External Laser Source Architectures for Deployable CPO-Based AI Networks；Slow and Wide 12.8T VCSEL solutions | 簡報（兩場） |
| Lumentum | Optical sources for CPO and NPO interconnects | 影片 |
| Nokia | Architecting Near-Packaged Optics for AI Datacenters: Key Technology Choices and Trade-offs | 簡報 |
| Credo | Wider. Slower. Better: Optics That Can Beat Copper | 簡報 |
| Astera Labs | Light on the Horizon: Architecting Scale Up Fabrics with NPO & CPO for the Next-Gen Data Center | 簡報 |
| Dell | Beyond Copper: Optical Opportunities for AI Scale-up Fabrics | 簡報 |
| Samtec | CPO solution for AI that checks all the boxes | 簡報 |
| Huawei | Open NPO Standards: Building the Optical Interconnect Ecosystem for SuperPOD；NPO Standardization: IPEC and the Global Landscape | 簡報＋影片 |
| Google | Standardizing OCS Interfaces for Seamless Integration | 簡報 |
| Ciena | OpenCPX: A standardized pluggable NPO socket family ready for AI-scale deployment | 影片 |
| Alibaba | Rethinking AI Scale-up with optics: from pluggable to (n)PO | 影片 |

| | | |
|---|---|---|
| Genuine Optics | The case for NPO today | 影片 |
| Ligent | Beyond Pluggable Optics: The Emerging Role of Near-Packaged Optics in AI Infrastructure | 影片 |
| Lumilens | NPO to Enable Scale-up & Scale-out Interconnects for AI Networks | 影片 |
| Source Photonics | Revolutionizing AI Scale Up with Pluggable NPO: Opening Remarks | 影片 |
| LightCounting | Market Forecast for CPO/NPO | 影片 |
| Capital Group | NPO Through an Investor's Lens: How Investors Underwrite an Architectural Transition | 影片 |

券商與外部評論：群益投顧，OCP 2026 鴻騰 XPO 演講 memo（2026-10-12）；SemiAnalysis 公開評論（2026 年 6 月，關於 CPO 延後與 NVIDIA 以 NPO 為備援，非本峰會場次）。上述券商說法均以自行歸納呈現，未逐字引用。