群益 OCP 法人參訪團 專題演講 memo

10/12（一） 1405-1425

XPO (eXtra Dense Pluggable Optics): A High-Density, Liquid-Cooled Optical Interconnect Architecture for Next-Generation AI Networks presented by FIT

◈Terry Little - Foxconn Interconnect Technology

資料彙整：Andrea

---

1. FIT（鴻騰精密科技）正式推出 XPO（eXtra Dense Pluggable Optics，超高密度可插拔光學）平台，為下一代 AI 基礎設施提供全整合、超高密度且原生液冷的可插拔互連架構。

2. XPO 高密度模組與內部結構

- 8 合 1 整合度：單一 XPO 模組整合了 8 個傳統 OSFP 模組的完整頻寬、電源與邊帶通信（Sideband）。在 200G/lane 下可提供 12.8 Tbps 總頻寬，未來 448G 可達 25.6 Tbps。
- 雙層 Paddle Card 與內置冷板：模組內部採用上下雙層電路板（Paddle Card A/B），並將液冷板（Cold Plate）直接內置於模組中央（Liquid-Cooled First）。
- 獨立電源與邊帶板（Power Board）：簡化原本 8 個 OSFP 模組重複的 64 個電源與邊帶引腳，整合為單一 50V 電源板與穿透式電源連接器（Pass-Through Power Connector），大幅縮減體積並降低系統複雜度。

3. 前面板密度與散熱空間優勢 (Front Panel Density & Thermal Advantages)

- 前面板空間大幅節省：傳統 8 個 OSFP 連接埠需佔用約 190 mm 寬度，而單一 XPO 模組寬度僅 60.79 mm（Signal Pitch 為 0.56 mm），前面板頻寬密度提升約 4 倍。
- 液冷優先（Liquid Cooled First）：將冷板從交換機移至可插拔模組內部，省去交換機內部佔用垂直空間的散熱器，可在 1OU、2U 或 10U 機箱中實現極高的連接埠密度。

4. 可插拔光學多功能性 (Pluggable Optics Versatility)

- 相容多種光學技術：XPO 平台獨立於具體光學技術，可靈活支援 LPO、LRO、DSP 模組及未來的矽光子（Silicon Photonics）技術，並兼顧單模與多模光纖 。
- 保護交換機系統投資：將多變的光學引擎封裝於交換機外部的可插拔模組中，未來升級光學技術時無需替換整個交換機主體。

5. 224 Gbps 連接器與無地線雙軸纜線設計 (224 Gbps Connector & Cable Design)

- Direct Wire Attach 技術：採用 30/32-AWG **無地線雙軸纜線（Drainless twin-ax cable）與 92 Ω 控制阻抗設計，搭配全覆蓋金屬箔屏蔽，極小化纜線尺寸並有效降低 EMI 與串擾。
- 高密度傳輸對：單一連接器模組整合 8 個 Cable Wafer，共提供 128 對差分對（64 Tx / 64 Rx）。

6. 熱模擬與機械爆破壓力測試 (Thermal & Mechanical Simulations)

- 散熱模擬表現：針對 200W 功耗（1x2 並列配置、4 L/min 流量）進行模擬，模組最高溫度控制在 64.49°C（低於 70°C 的規範限值），壓降僅 5.02 PSI。
- 機械強度與安全性：冷板採用軟銅材料，在 200 PSI 內壓測試下最大應力為 30.87 MPa，遠低於材料屈服強度（49.8 MPa），確保高壓液冷運作時的安全與可靠度。

7. 224 Gbps 實測性能驗證 (224 Gbps High-Speed Test Data)

- 極低插損（Insertion Loss）：在 OFC 實測展示中，經過 De-embedding 後，配對連接器（Mated Connector）在 53.125 GHz (224G) 下的插損僅為-0.465 dB，信號品質優異。
- 優異的誤碼率（BER）：配合 Wilder Tech 224G HCB 進行 8 對差分對 Loop-back 測試，Pre-FEC BER 分布在 $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 之間，Post-FEC BER 皆為 0。

8. 下一代 448 Gbps 架構展望 (Fast-Forward to 448 Gbps XPO)

- 突破傳統懸臂樑限制：傳統 Cantilever Beam 接觸幾何在高頻（>80 GHz）會面臨嚴重的殘枝效應（Stub Effect）與急劇衰減（Roll-off）。
- 維持相同 Card-Edge 規格：448G 設計目標為維持相同的 0.56 mm Pitch Card-Edge 外形尺寸，並優化接觸點幾何結構。
- 模擬性能優化：
- 插損（IL）：在 PAM6（89.6 GHz）下插損小於 1 dB；在 PAM4（112 GHz）下維持在約 -5 dB，無急劇衰減。
- 回波損耗（RL）與阻抗：阻抗匹配大幅提升（448G 達到 89 Ω 匹配），高頻下的反射損耗顯著優於 224G 傳統懸臂樑結構。

9. 結語與行動呼籲 (Closing & Call to Action)

- 推動 448G 標準化：448G XPO 是邁向下一代 AI 網路的關鍵路徑，需同時支援 PAM4 與 PAM6 調變模式。
- 生態系迅速擴張：XPO MSA 成員數量已從 2026 年 3 月的 25 家激增至 150 家以上，且 IEEE 已成立 802.3dv 工作小組專注於 450G 規格。
- 展會現場展示：現場動態液冷展示與 XPO 到 CPC/EVO 的實機架構。