

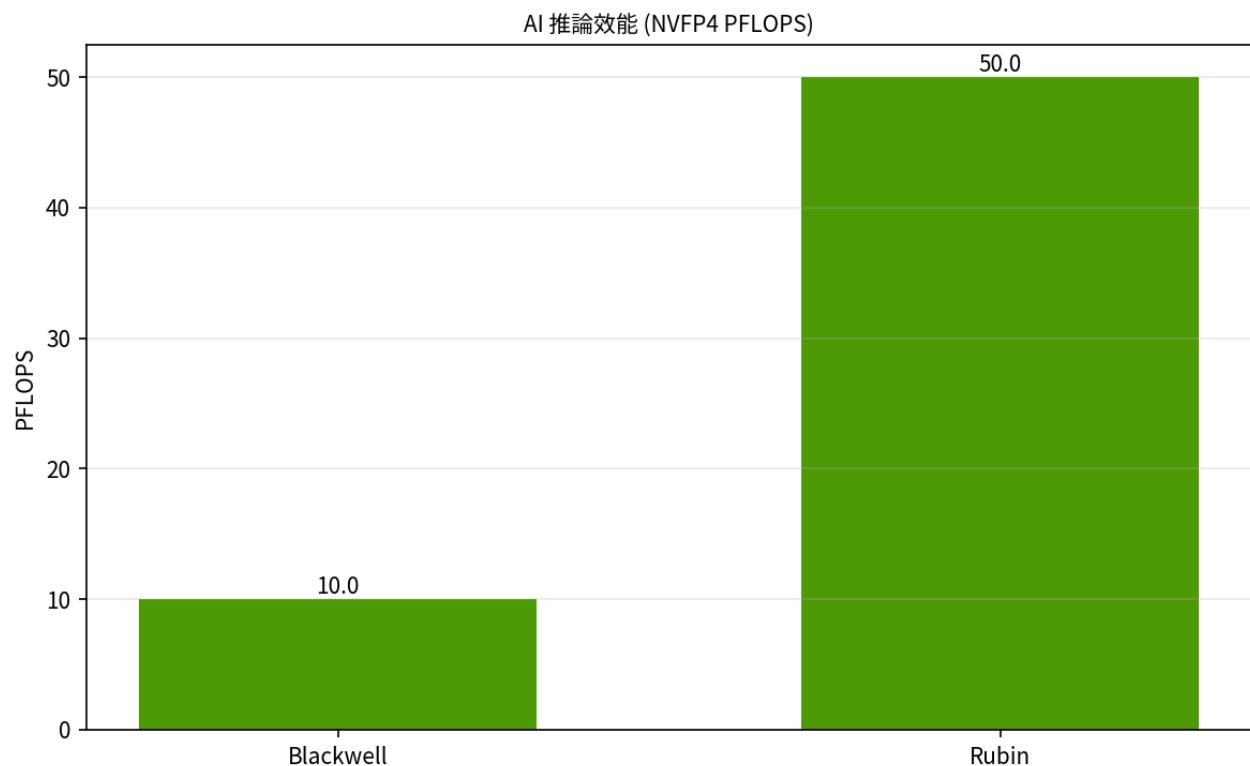
# NVIDIA CES 2026 : Vera Rubin 平台深度解析

## 定義 AI 工廠 (Defining the AI Factory)

### 執行摘要：運算單元的典範轉移

NVIDIA 2026 年推出的 Vera Rubin 平台重新定義了資料中心的基本單位：從「晶片」轉變為「機架」。Vera Rubin NVL72 不僅僅是一台伺服器，它是一台重達 2 公噸的超級電腦，運作起來就像一個單一的「運算單元 (Computing Unit)」。憑藉每顆 GPU 50 PFLOPS 的算力以及每秒傳輸 260 TB 數據的神經系統（相當於全球網際網路總流量的 2 倍以上），它完美解決了下一代推理模型面臨的「記憶體牆 (Memory Wall)」問題。

## 1. 運算層：Vera Rubin Compute Tray (運算盤)



### 基礎建構模組

「運算盤 (Compute Tray)」是機架的核心建構模組。每個 Tray 都是一個獨立的高性能節點，專為處理 AI 工廠的大規模資料編排與吞吐而設計。

### 運算盤規格參數

- 2 顆 Vera CPU：採用 NVIDIA 自研 Olympus 核心 (Arm 架構)。效能是 Grace CPU 的 2 倍。
  - 專為資料編排、程式碼編譯與壓縮而設計。
- 4 顆 Rubin GPU：Blackwell 的繼任者。
  - 單顆提供 50 Petaflops (NVFP4) 推論效能 (是 Blackwell 的 5 倍)。
- 1 顆 BlueField-4 DPU：整合 64 個 Grace 核心。
  - 負責 100% 的安全、存儲與管理工作，確保 GPU 算力專注於 AI。
- 8 顆 ConnectX-9 NIC：單埠 800G (每顆 GPU 總出口頻寬達 1.6 Tb/s)。
  - 為每顆 GPU 提供專屬的高速 Scale-out 通道，解決吞吐瓶頸。

## 2. 機架層：Vera Rubin NVLink72 Rack

### 巨型 GPU (The Giant GPU)

當 18 個運算盤與 9 個交換器盤組合在一起，便形成了 NVL72 Rack —— 這是一個由 72 顆 Rubin 晶片互連組成的「巨型 GPU」。

### 機架規格與「神經系統」

- 規模：18 個運算盤 (總計 72 顆 Rubin GPU) + 9 個 NVLink Switch Trays。
- 交換架構：NVLink 6 交換器盤 (封包交換、無阻塞架構)。
- 總頻寬：約 260 TB/s (All-to-All 雙向頻寬)。
- 對比：這比全球網際網路的總流量還要大 2 倍以上。
- 複雜度：220 兆個電晶體 (整台機架半導體重量接近 2 公噸)。
- 神經系統：這 9 個交換器盤就像機架的「大腦」，讓任一顆 GPU 都能以 3.6 TB/s 的速度與其他 GPU 直接對話。

### 3. 網路層：Spectrum-X Ethernet Photonics

#### Spectrum-X 與光子技術

為了將成千上萬個機架連接成一座「AI 工廠」，NVIDIA 引入了突破性的光子技術：

- 512 Lanes & 200 Gb SerDes：全球首款支援 200G 電氣信號的乙太網路交換器。
- CPO (Co-packaged Optics)：將光學引擎直接與交換器晶片封裝在一起。
- 捨棄傳統的可插拔式光模組。
- 功耗降低 3.5 倍。
- 可靠性提升 10 倍 (徹底解決 Link Flap 連線不穩問題)。

## 4. 技術深度解析：為什麼需要 8 張網卡？

在一個 Tray 中配置 8 顆 ConnectX-9 NIC 對應 4 顆 Rubin GPU，絕非偶然，而是為了維持「運算」與「通訊」完美對稱的精密架構設計。

### 工程邏輯解析

#### 1. 實現 1:1 的頻寬平衡：

- 每顆 Rubin GPU 需要 1.6 Tb/s 的對外頻寬。
- 透過 8 張網卡，每顆 GPU 分配到 2 個 800G 通道。
- 結果：每顆 GPU 都有專屬的高速出口，確保大規模擴充時不塞車。

#### 2. 匹配 PCIe 6.0 的吞吐量：

- PCIe 6.0 x16 提供約 128 GB/s (接近 1024 Gb/s) 的頻寬。
- 必須使用 800G/1.6T 等級的網卡才能餵飽這種「線速 (Wire Speed)」。

#### 3. 可靠性與多租戶隔離 (Multi-tenancy)：

- 冗餘設計：單張網卡故障不會導致整個 Tray 癱瘓。
- 流量隔離：物理上將「模型並行」與「數據並行」的流量分開處理。

## 5. 技術深度解析：Spectrum-X 的 512 通道與 32 光收發器之謎

要理解如何透過僅僅 32 個光收發器 (Optical Transceivers) 實現 512 條通道 (Lanes) 的吞吐量，關鍵在於「單一模組的通道密度」以及 NVIDIA 在「共封裝光學 (CPO)」技術上的突破。

表 1: Spectrum-X 核心頻寬數學 (The Core Math)

參數 (Parameter)	數值 (Value)	邏輯說明 (Logic)
總通道數 (Total Lanes)	512	機架對外的總吞吐通道
光收發器數量 (Transceivers)	32	透過 CPO 繫湊排列於 ASIC 四周
單模組通道數 (Lanes/Mod)	16	$512 \text{ Lanes} \div 32 \text{ Mods} = 16 \text{ Lanes}$
單通道速率 (Rate/Lane)	200 Gb/s	採用 PAM4 高速訊號技術
單模組頻寬 (BW/Mod)	3.2 Tb/s	$16 \text{ Lanes} \times 200 \text{ Gb/s} = 3.2 \text{ Tb/s}$
總交換容量 (Total Capacity)	102.4 Tb/s	$32 \text{ Mods} \times 3.2 \text{ Tb/s} = 102.4 \text{ Tb/s}$

Spectrum-X Architecture: 32 CPO Engines

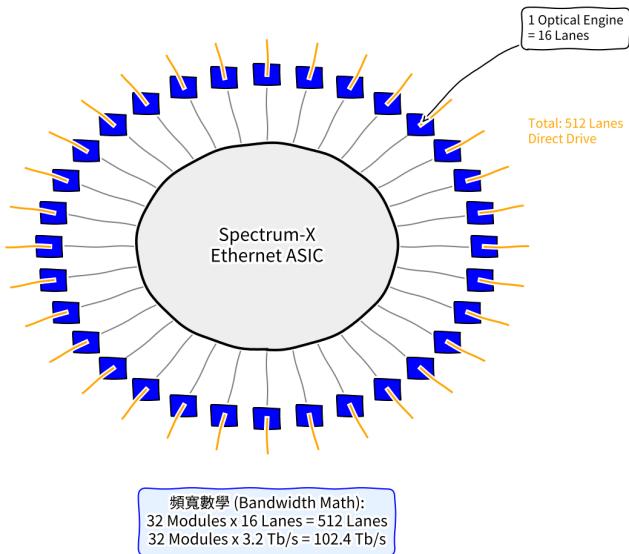


圖 2. Spectrum-X 32 CPO Engines 架構示意圖

### 技術解析：CPO 與架構優勢

#### 1. 物理實現：從 Pluggable 到 CPO (Co-packaged Optics)

- 在 200G SerDes 的極高速率下，訊號在 PCB 上傳輸超過幾公分就會產生劇烈損耗。
- NVIDIA 將 32 個光引擎直接封裝在交換器晶片 (ASIC) 基板上，取代了傳統面板上密密麻麻的插拔式模組。
- 每個 3.2T 收發器直接對接 MPO/MTP 高密度光纖，實現光訊號直出。

#### 2. 戰略優勢：為什麼要濃縮到 32 個？

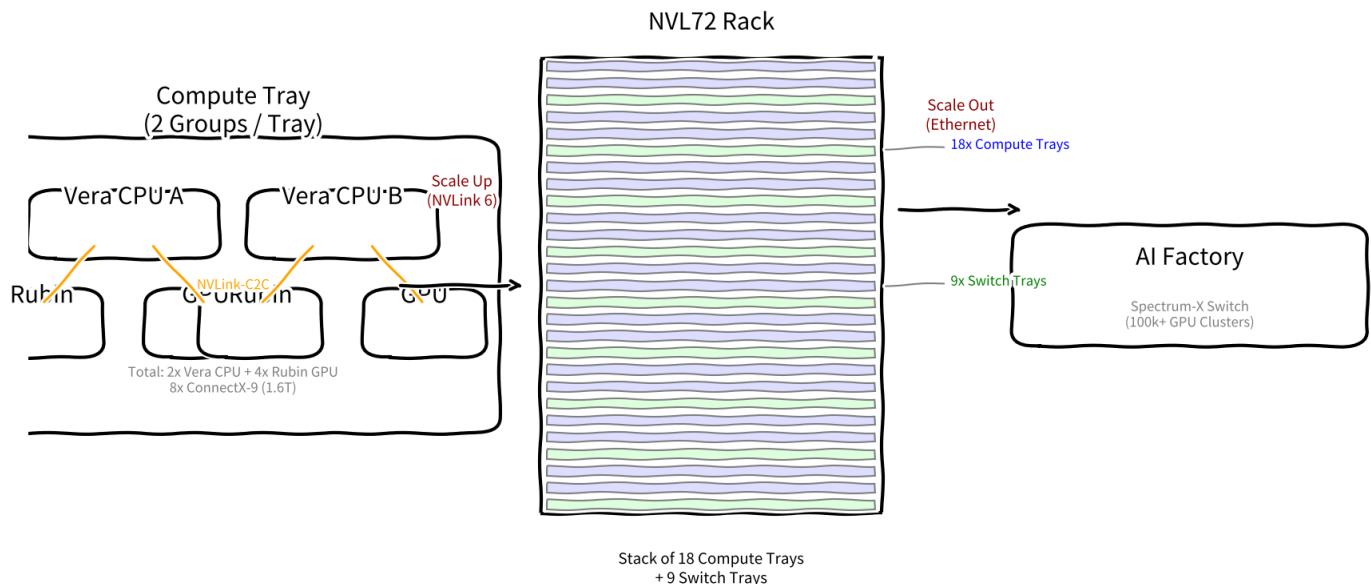
- 功耗降低：減少了電氣重驅動晶片 (Retimers)，節省約 40% 能源。
- 散熱空間：騰出空間給液冷散熱塊 (Cold Plates)，實現「無風扇」設計。
- 可靠性：大幅減少故障點 (Points of Failure)，對萬卡叢集的穩定性至關重要。

### 3. 與 ConnectX-9 的完美對接

- 每個 3.2T 光模組透過分支線纜 (Breakout Cable) 分成 2 個 1.6T 埠。
- 正好對接 2 張 ConnectX-9 網卡 (單張 1.6T)。
- 一台 Spectrum-X 交換器可穩穩連接 64 個 CX9 節點。

## 6. 從 Tray 到 AI Factory 的擴展 (Scaling from Tray to Factory)

Vera Rubin 擴展架構：從 Tray 到 Factory (Rack View)



這張圖展示了 Vera Rubin 平台如何從單一個「運算盤 (Tray)」透過 NVLink 6 向上擴展 (Scale Up) 成一個機架，再透過 Spectrum-X 向外擴展 (Scale Out) 成擁數十萬顆 GPU 的 AI 工廠。

## 7. 系統架構圖

### 輝達 CES 2026 重磅發布：Vera Rubin 平台開啟實體 AI 新紀元

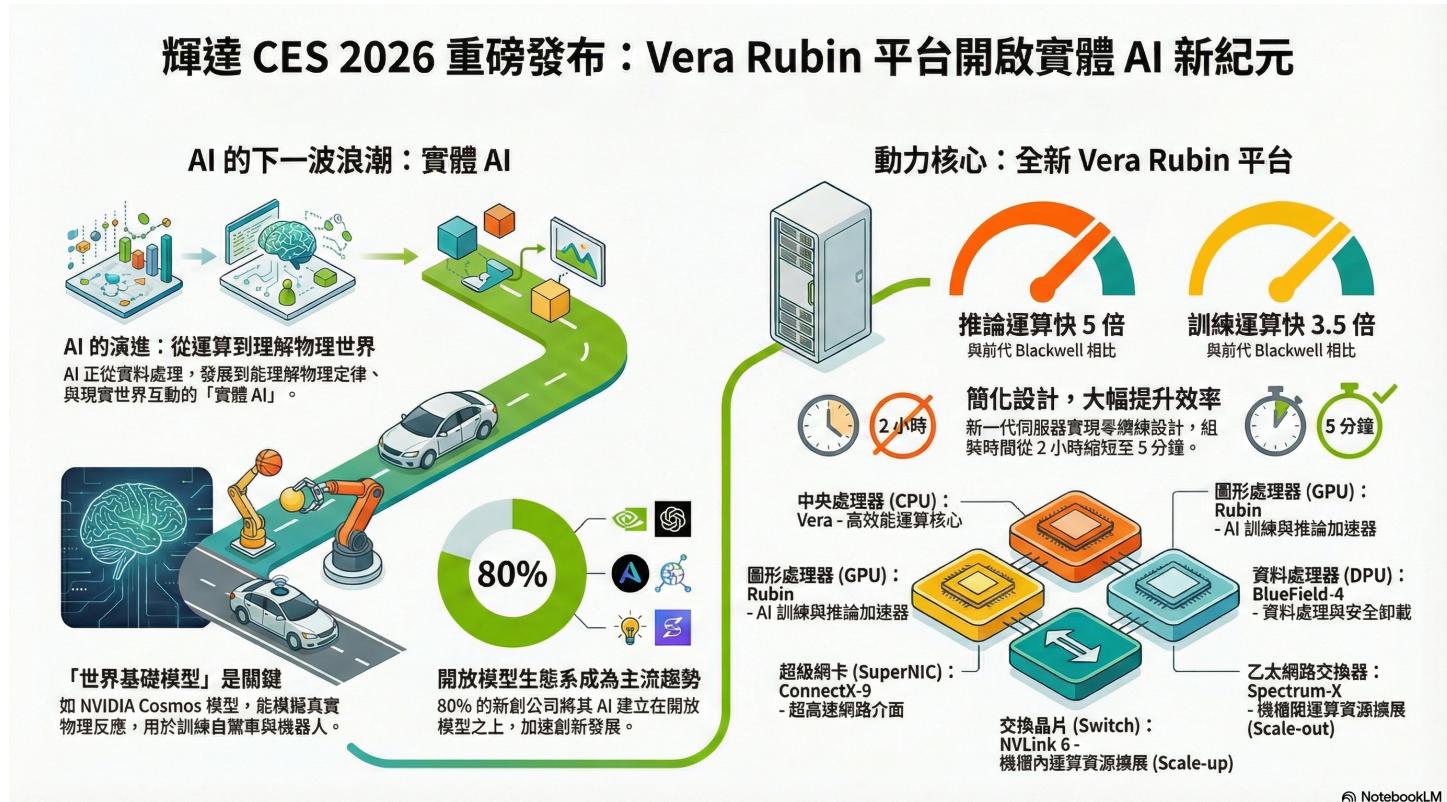


圖 1. NVIDIA AI Flow & Ecosystem Visualization (來源: CES 2026)