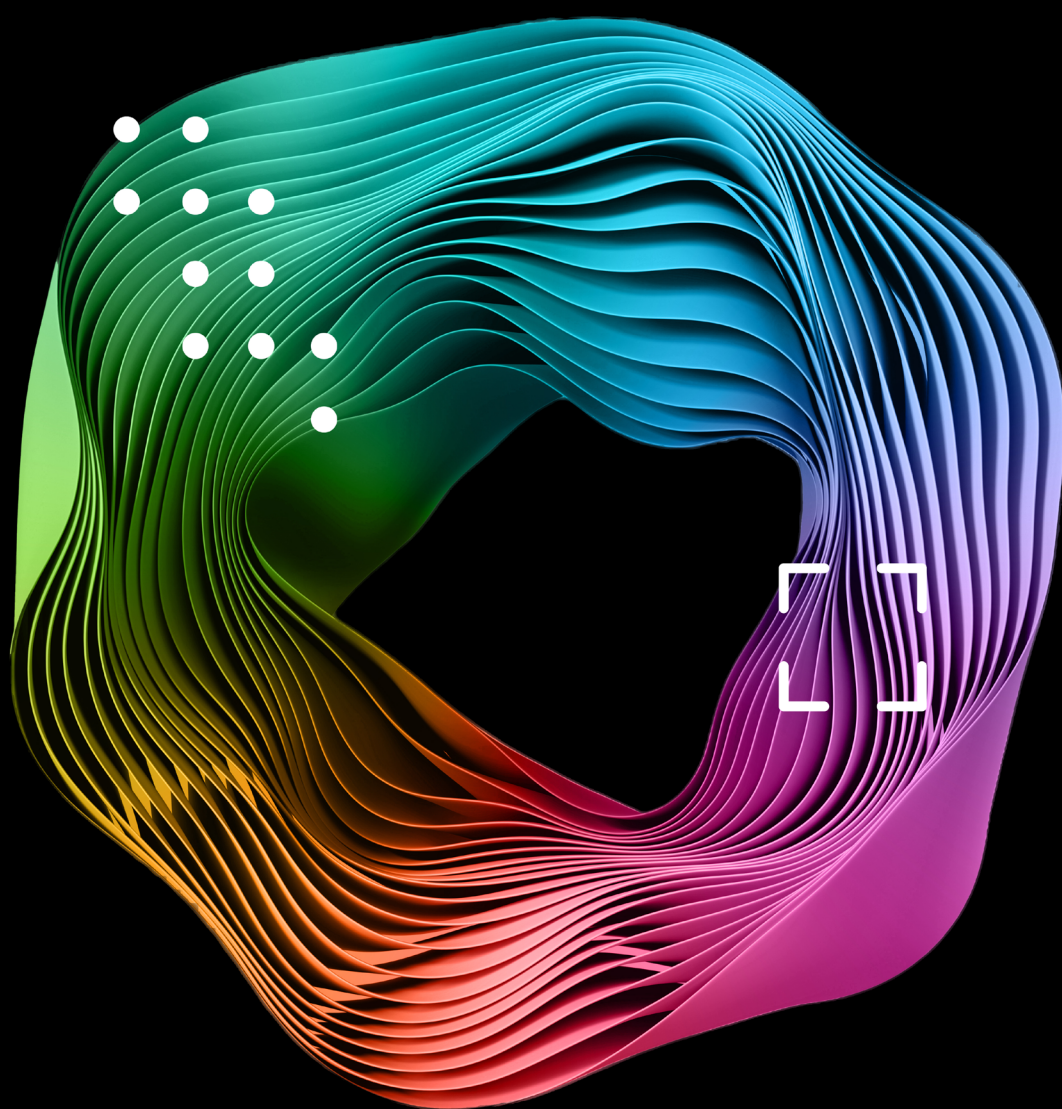
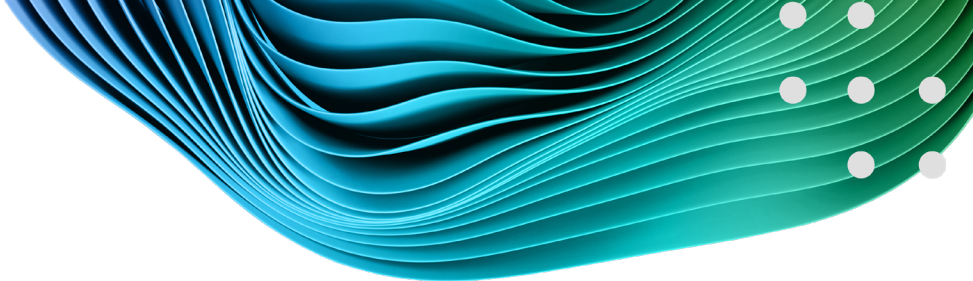


Deloitte.

勤業眾信



Physical AI :
加速發展的關鍵時刻



目錄

前言

01 在地觀點

Physical AI 與機器人新賽局：從場域落地走向行為治理

02 打造未來競爭的利器：Physical AI 發展已屆成熟

關鍵時刻正是現在：各要素交匯驅動的全面性典範移轉

一場速度為王的全球競賽，治理標準則緊追在後

現實世界中的 Physical AI 應用

03 Physical AI 規模化發展：工業機器人成關鍵推手

價值驗證戰場

Physical AI 所涵蓋的技術組合

克服轉型過程中的瓶頸

04 釋放價值的關鍵：技術與營運成熟度雙軌並進

技術應用成熟度：四個成熟度階段

營運成熟度與轉型準備度

治理環節逐漸受到重視

駕馭轉型旅程：慎防三種失敗模式

05 每位企業領導者現在應放在心上的三個問題

前言

Physical AI進入製造現場：從場景落地走向生產方式革新

2026年7月，NVIDIA宣布FANUC、安川電機等日本製造與機器人業者擬加入 NVIDIA Cosmos Coalition，共同推進 Physical AI 模型及其在製造與機器人領域的應用。此一發展揭橥機器人產業下一階段的競爭方向：過去著眼於設備能否精準執行預設任務，未來則進一步考驗機器能否感知環境、理解情境，並因應實際狀況調整行動。國際機器人聯合會 (IFR) 亦將 AI 自主化及 IT/OT 整合列為重要趨勢。對長期厚植製造、精密機械與硬體供應鏈能力的臺灣而言，Physical AI 值得關注之處，不只在於能否製造更多智慧設備，更在於能否將 AI、資料、軟體與實體設備納入既有作業體系，使智慧由單一設備延伸至流程、場域與營運決策，進而重新定義臺灣既有的工業優勢。

Physical AI沒有單一導入答案，應從營運問題尋找切入點

企業真正需要回答的，不是哪一個產業「最適合」Physical AI，而是哪一項營運問題值得採取新的技術取徑，以及改善效益能否支撐投入成本。不同產業自有不同切入方式。例如，汽車製造可透過虛擬環境模擬機器人的行走、取件與裝配，在部署前驗證產線配置；半導體製造則可從晶圓與物料搬運、設備上下料、巡檢即異常處理流程切入，觀察自主感知與決策機制如何嵌入既有系統；精密製造可結合感測資料與 AI 模型，使設備依據工件、環境與製程狀況調整作業；營建場域，工程機械若能辨識施工環境，並據以輔助操作與判斷，同樣具有 Physical AI 的應用潛力。由上述案例可見其端倪，Physical AI並非僅存在於「高科技產業」，而是更廣泛存在於工廠與各類實體場域中可被改善的作業問題，也是最早可能實現商業價值的場域。其應用疆界亦不侷限於如上所陳，材料、塑化乃至其他成熟產業，只要能從製程中辨識效率、品質、安全或成本等具體課題，同樣可能找到適切的切入點。

半導體值得借鏡的，不只是產品，而是「如何生產」

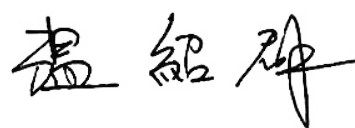
半導體製造長期面對資本密集、製程複雜及良率與成本管理等要求，也因此持續透過自動化、資料分析、製程控制與智慧製造提升效率。其值得借鏡之處，在於產業競爭力並非僅取決於「生產什麼」，也取決於「如何生產」。高科技產品若仍以低效率方式生產，未必能充分轉化為企業優勢；反之，即使身處成熟產業，若能持續改善精度、品質、良率與成本，同樣可能拉開競爭差距。Physical AI 對臺灣製造業的啟示正在於此。企業無須先將自身變成所謂「AI產業」，而是思考如何在既有精密硬體基礎上，加上能整合感知、資料與決策的「AI指揮中心」，使設備與實體場域協同運作，讓既有製程做得更準、更穩、更有效率。產品未必改變，但生產方法可以改變，而這往往才是企業競爭力持續累積的關鍵。

Digital Twin的價值，在於降低Physical AI進入現場的試錯成本

當機器由固定執行走向更高程度的自主判斷，企業也需要在不影響既有生產的情況下驗證新的作業方式。Digital Twin 提供了一項重要取徑：隨著 AI、即時資料與模擬能力發展，可支援機器人的模擬、訓練與決策，使部分實體試錯提前在虛擬環境完成。例如製造廠內物料搬運，可將設備、搬運系統、物料與即時運作狀態反映至虛擬環境，先模擬不同搬運路徑、設備狀態與調度方式可能造成的衝突或延遲，再評估實際部署策略。重點不是把既有自動化一概視為 Physical AI，而是觀察 AI 的感知、預測與決策能力如何逐步進入實體系統，降低部署與試錯成本。

臺灣下一步：從技術導入走向生產方式的典範移轉

臺灣下一階段面對 Physical AI，真正值得深究的問題，不在於還有哪些技術可以採用，而是這些技術能否改變企業原有的作業模式，最終反映於生產效率、品質、資本運用與獲利能力。Physical AI 本質上仍是一項企業投資決策，從設備、資料、模型到系統整合與人才皆需投入，所以企業若視之為畏途，其來有自。但僅當產能、良率、設備利用率、成本等營運效益可以被辨識與衡量，技術投入方能真正轉化為企業價值。惟臺灣要將既有製造優勢進一步轉化為 Physical AI 能力，仍有若干課題亟待克服，關鍵落在如何把長年累積的製程 Know-how，轉化為機器可學習、可驗證且可複製的資料與技能。相較於文字與影像，機器人學習搬運、組裝等任務，涉及感知、控制與環境互動，資料取得與場域驗證成本更高；如何建立足以支撐模型訓練、實境驗證與持續迭代的環境，將是臺灣由製造場域優勢走向 Physical AI 整合能力的關鍵挑戰。若臺灣能立基於過去被視為純熟甚至「傳統」的工業能力，把單點技術應用轉化為流程、現場與營運模式的革新，其所帶動的便不只是另一輪自動化設備投資，而可能成為臺灣產業由製造優勢走向智慧生產與系統整合能力的一次典範移轉。



資深執行副總經理 Rick Wen

能源、資源與工業兼工業產品與營建產業負責人



【在地觀點】

Physical AI 與機器人新賽局： 從場域落地走向行為治理

Physical AI 正走進真實世界

隨著 Physical AI 快速發展，AI 正逐步突破數位世界的界限，透過機器人、自主移動機器人（AMR）、智慧感測器及邊緣運算等技術，開始直接感知、理解並與實體環境互動。換言之，Physical AI 的本質，是讓 AI 感知環境、做出決策，並在現實世界產生實體後果。

未來競爭關鍵，不只在硬體性能，而在 AI 是否真正理解真實世界的運作規則。多數企業仍把焦點放在機器人、無人載具與感測器，但若 AI 不理解資料、設備、人員與決策之間的關係，再先進的設備也可能只是昂貴的自動化工具。因此，Physical AI 的投資順序應從「先買設備」轉向「先定義場域」。

真正的門檻，是把場域知識結構化

企業真正需要投入的，不只是設備導入與技術建置，而是將設備、流程、人員、作業規範及決策邏輯等場域知識結構化，建立 AI 能夠理解、推理與學習的世界模型。大型語言模型即使掌握大量網路知識，仍未必理解工廠如何運作、工程師如何判斷異常，以及一項決策會牽動哪些後果；這些關係往往存在於現場人員長年累積的經驗之中。

Palantir 的本體論（Ontology）提供了一個可參考的思路：將「資料 × 設備 × 人 × 決策」之間的關係結構化，再把人類決策邏輯數位化，交由模型判讀。這也說明，影響 Physical AI 決策品質的，不只是模型能力，更是企業能否提供一套可理解的世界結構。

人形機器人與無人載具：兩條落地路線

從產業發展來看，當前通用人形機器人与無人載具，是 Physical AI 最具代表性的兩個落地方向。人形機器人首先回應勞動力短缺。既有工廠、設備介面與工作流程多依人的身形建置，加上廠房設備汰換週期長，人形機器人較容易進入既有環境，執行搬運、取放、巡檢與協作等任務。

中美路線的分歧更具啟示性，也呈現兩種商業化思維：中國廠商多從特定場景與重複性任務切入，追求快速落地；特斯拉 Optimus 則採通用型、軟體驅動路線，強調在非結構化環境中的泛化能力。這正是自動化與 Physical AI 的分界：前者執行已知任務，後者必須感知變化、處理例外並應對未知。

無人載具則適合承擔複雜環境中的感知、移動與自主決策，應用可延伸至物流搬運、巡檢維護與高風險任務。Shield AI 在台布局並與在地企業合作，反映台灣從複合材料、電子零組件到晶片的供應能力，已具備進入無人系統生態系的基礎。

當機器人開始自主行動，治理成為落地條件

當 AI 開始參與實體世界運作，風險型態也產生本質改變。AI 的判斷可能直接影響設備控制、生產流程、物流運輸及人機互動；錯誤不再只是答案不準確，更可能造成生產中斷、資產損失、人員傷害或公共安全事件。數位世界的 AI 失控通常產生錯誤輸出，物理世界的 AI 失控卻可能直接演變為安全事故。

Deloitte 認為，Physical AI 所帶來的核心挑戰，在於如何確保 AI 在不同環境、不同情境以及各種例外條件下，仍能維持安全、穩定、可控且符合預期的運作行為。

因此，企業需要治理的，不只是 AI 能否做出正確判斷，更重要的是能否安全地採取行動。治理重心也將從模型治理，延伸至涵蓋自主決策與實際行為的行為治理。在架構設計上，可借鏡 Agentic AI 的分工邏輯：程式碼掌控確定性流程，AI 聚焦影像辨識、異常判讀與語意理解；高風險決策則保留規則驗證、人員監督與緊急停止機制。

企業還必須釐清機器人可控制哪些設備、哪些作業需要人工核准、決策是否可追溯，以及偏離預期時能否即時介入。治理不是創新的煞車，而是機器人由試驗走向規模化部署的前提。

此外，企業也應積極推動 AI 治理與國際標準及法規接軌。除了 ISO/IEC 42001、ISO/IEC 23894 及 NIST AI RMF 等 AI 治理框架外，也應同步整合 ISO 10218、ISO/TS 15066 及 IEC 62443 等機器人安全、功能安全與 OT 資安相關標準，建立涵蓋 AI 系統、機器人與自主設備的整體治理機制。

台灣的機會：從硬體供應走向整合能力供應

台灣真正難以取代的優勢，不只在晶片、馬達與電子零組件，更在真實製造場域累積的營運知識，包括無塵室作業規範、精密組裝經驗，以及資深工程師的異常判斷邏輯。這些正是 Physical AI 稀缺的訓練資料。

台灣的機會因此具有雙重意義：在硬體層面，成為全球 Physical AI 的「身體」供應者；在知識層面，若能把場域決策邏輯結構化，工廠便可從技術使用者升級為能力共同開發者。下一步，企業應同步盤點未數位化的決策知識、選定高價值機器人場景、建立治理與技術架構，並把握供應鏈重組契機，從零組件供應走向系統及場域整合。

Physical AI 代表的不只是 AI 技術的下一階段，更是企業營運模式的重要轉折。唯有在創新、安全與韌性之間取得平衡，AI 才能真正成為長期競爭力的基礎，而非新的風險來源。

陳威棋

資深執行副總經理 Ike Chen
勤業眾信 科技與轉型服務

白哲豪

副總經理 Warren Pai
勤業眾信 科技與轉型服務

● ● ● ● ● 打造未來競爭利器： ● Physical AI 的發展已屆成熟

綜觀全球，2025年標誌著物理 AI（Physical AI，即物理系統與 AI 技術之深度融合）正式跨越科幻與現實的邊界，並走入主流商業化布局。隨硬體效能大幅躍升且成本結構持續優化，輔以能夠「學習如何學習」的軟體，讓這項長久以來存在於人們對未來之想像中的科技，逐漸轉變為具體可行性的實體應用。

儘管現階段僅 5% 企業表示 Physical AI 正促使其進行組織轉型，但另有 41% 的受訪者預期該技術將在未來三年內重塑其組織架構與營運流程。本報告核心即在探討對現狀之影響與未來預期之間的落差。此差距正凸顯出採取行動的急迫性：目前僅有 3% 的企業將 Physical AI 廣泛整合至日常營運中，但此比例預計將在未來兩年內迅速提升至 18%。¹率先投入布局的企業不僅能在營運方面取得領先，能為組織建構可於未來十年內鞏固競爭優勢的學習系統。



5% → 41%

預期 Physical AI 將推動組織轉型的企業比例 –
現在 vs. 未來3年內



3% → 18%

將 Physical AI 廣泛整合至日常營運中的企業比例



41%

指出成本和資源需求是部署 Physical AI 時面臨的主要障礙

本報告將聚焦於以下兩大重點：第一點，說明 2025–2026 年作為關鍵轉折點的原因，包括 Physical AI 為何在此時間點取得突破性進展並步入實際應用，以及當前的競爭態勢和治理架構如何共構有利環境，加快該技術在各產業領域的滲透及普及。第二點，也是更重要的一點是，本報告為有意導入 Physical AI 的企業領導者提供實用的結構化

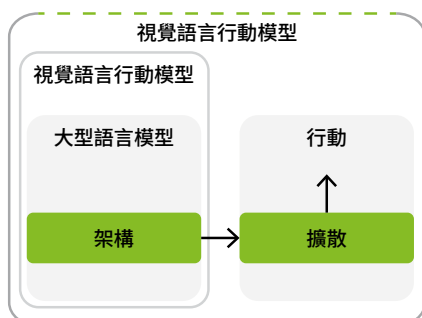
行動指南，例如精準識別切入點、如何規劃投資順序，以及企業組織需事先具備何種基礎，才能徹底發揮這項技術的潛力。本報告主要著眼於 Physical AI 和工業機器人領域，主要基於該技術目前在上述領域的價值已在實際應用中獲得驗證。此外，從實際部署中即時獲取的寶貴洞察也可供企業借鑑。

圖1：Physical AI 說明

Physical AI 是指內建於或用於控制實體硬體（如機器人、自動駕駛車輛、無人機和智慧製造系統）的 AI 系統，具備與現實場域互動並產生實際影響的能力。Physical AI 有別於純粹的數位 AI，能透過感測器感知環境、作出即時決策，並執行可產生具體效果的行動。Physical AI 主要透過三大領域的技術，實現數位智慧與物理現實的深度耦合。

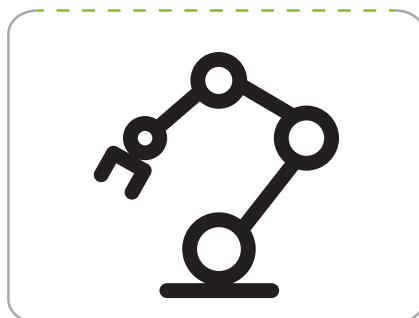
整合感知與理解能力

（「眼睛」與「大腦」的結合）



具備規劃與執行能力的閉環系統

（「大腦」與「手」的結合）



協作能力與湧現式智慧

（「個體」與「群體」的結合）



AI 驅動的機器人能將數位智慧與各種機器型式結合，藉此賦予物理智慧，進而能夠在不同應用環境中執行不同任務。

如何運用AI落實機器人應用？

機器人

經過編程的機器人能夠執行物理動作、在環境中移動，還能操作現實世界中的物體。

邊緣裝置

位於網路入口端的硬體，能就地處理資料以降低延遲。

進階人工智慧



代理型 AI (Agentic AI)

代理型 AI (Agentic AI) 系統無需人力持續介入，即可迅速作出決策。

進階人工智慧 (續)



Generative AI

使用以大型資料集訓練的演算法，生成全新的原創性內容。



電腦視覺

實現即時感知的關鍵技術，可讓機器人／機器藉由觀察人類行為進行訓練，以及針對物理空間「繪製」環境地圖以進行模擬。



機器學習

一種能使電腦從經驗中學習並自我改進的演算法。



深度學習

基於神經網路運作原理的技術，能針對複雜的資料模式進行建模，以偵測是否存在異常狀況。



AI-驅動的機器人

AI 驅動的機器人能將 Physical AI 與機器人技術相結合，在跨產業應用中發揮強大功能。

主要機體類型



人形機器人

人形機器人複製了人類的特徵與功能，有助於增加勞動力並提高生產量。



任務專用型

任務專用型機器人在外形設計上較具彈性，且較常用於執行重複性高的流程與任務。



四足機器人

四足機器人類備優異的穩定性、敏捷性和適應性，能在充滿挑戰的環境中靈活移動。



自主移動機器人

這類機器人內建智慧導航技術，能在各種應用場景中自由移動和運作。



自動駕駛車輛

自動駕駛車輛在設計和智慧程度方面與其他機器人類似。



無人機

無人機屬於飛行器，可透過 Physical AI 及其他技術實現自主飛行。

關鍵時刻正是現在：各要素交匯驅動全面性典範移轉

Physical AI 能夠從理論上可行轉變為具商業價值的實際應用，是由於多項技術同步發展而取得關鍵突破所致。

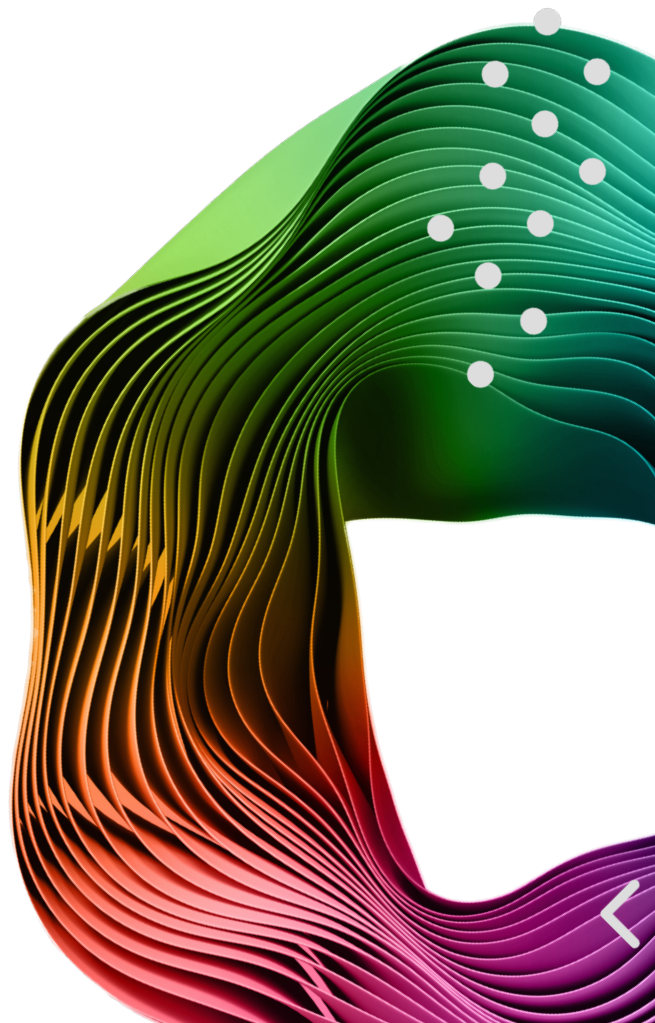
硬體成本與效能：近年來，多模態感測器的精確度提升了 60%，且成本大幅下降，使自動化任務的應用範圍隨之擴大。² 在力量控制方面的進步也讓複雜度更高的任務得以實現自動化，例如柔性抓取的成功率如今已突破 95%。此外，邊緣運算正依循工業相機早期的商品化發展軌跡，隨著商品化程度提升而持續優化其單位算力成本。

從模擬中學習的軟體：目前的 AI 模型已能於高擬真度的數位孿生（即工廠的虛擬複製環境）中進行訓練，並將從中學習到的行為以可靠方式應用至現實場域。³

隨新型開源物理引擎提升訓練環境的擬真度，更有助於顯著降低建置成本。這種涵蓋模擬訓練、雲端迭代和邊緣執行的三方運算架構，正逐漸確立為業界之標準。

加速創新的開放生態圈：AI 公司 Hugging Face 推出了售價 299 美元的桌上型機器人，並於 2025 年達成百萬使用者的里程碑，同時以開源模式釋出所有硬體設計與軟體架構。⁴ 此外，可用於自主化系統的開放式推理視覺語言行動模型，在數量上亦呈增長趨勢。此變化顯示過去受限於專有系統的技術，現已供全球研究者自由使用。與此同時，跨具身學習（cross-embodiment learning）領域的突破進一步提升機器人的訓練成效及靈活性，讓其能在無需重新訓練的情況下，將從某個平台習得的技能轉移至截然不同的機器人形態。⁵

在這些要素相互交匯之下，多項具體成果應運而生。目前，全球企業領導者皆開始審慎評估如何將 Physical AI 整合至核心營運之中。以工業機器人的裝機量來看，2024 年全球部署了超過 50 萬台，且年度裝機量更預計將在 2028 年之前達到 70 萬台規模。其中，協作式工業機器人的佔比持續攀升，在 2024 年已達到近 6.5 萬台的水準。⁶ 花旗《全球視野與解決方案》（Citi GPS）報告指出，目前全球約有 4.05 億台的各類機器人投入生產，且預計於 2035 年增長至 13 億台；⁷ 可以預見的是，搭載某種形式 Physical AI 技術的機器人數量將持續增加。



一場速度為王的全球競賽，治理標準則緊追在後

除科技上的進展外，周邊生態系統逐步完善亦是促使 Physical AI 加速發展的關鍵因素。在資本投資、超大規模平台、國家產業策略與新興標準的相乘效應下，該技術獲得了持續且強勁的發展動能。如同雲端運算和數位平台曾帶來的產業變革，及早導入 Physical AI 的先行者不僅能加速部署腳步，更有機會率先定義產業架構、規範與供應鏈標準，成為其他後進者的遵循依據。

事實上，挹注於相關技術的資本規模前所未見。單以美國為例，機器人新創公司在 2025 年的前 11 個月便成功籌資超過 103 億美元，較前一年增加了 61%。此外，美國啟動了規模達 5,000 億美元的 AI 運算中心基礎設施計畫；歐盟則透過「InvestAI」計畫承諾投入 2,000 億歐元發展 AI；而中國大陸則在其《2025 年政府工作報告》中，將「具身智慧」(embodied intelligence) 正式列為未來重點發展的策略性產業。

治理機制的進程亦同步推進。歐盟《人工智慧法》於 2026 年起逐步生效，先前已透過相關的自願性守則引導企業接軌。中國大陸則在推動國家層級的設計制度之際，亦鼓勵地方政府打造具差異化的產業聚落。國際標準化組織 (ISO) 和國際電工委員會 (IEC) 則於 2025 年發布了首個國際人工智慧標準。⁸上述轉變意義重大，隨著 Physical AI 從實驗階段邁向實際部署，監管機制的逐步成形，而這其實代表對技術成熟度的肯定，而非對技術創新的束縛。

現實世界中的 Physical AI 應用

一般大眾對於 Physical AI 的認知主要來自虛構作品，而非工廠內的真實應用。近年來，人們對該技術的預期受到日常生活中的經驗所影響，如半自動掃地機器人、除草機的普及，以及從新聞報導中得知有關自駕車和人形機器人的最新進展。而對於製造業和工業領域的企業領導者來說，在物理系統中嵌入智慧能力的概念也並非全然陌生。Physical AI 的技術普及化，使組織內部的抗拒心態，也讓相關風險看起來更具可控性，從而提高企業組織的嘗試意願。換言之，人們逐漸將 Physical AI 視為數位轉型在現實世界中的具體延伸。

Physical AI 的影響力已跨越產業與應用場域 (圖 2)。在製造業方面，比亞迪旗下的西安工廠達成近 97% 的自動化率，廠內由 AI 引導的機器人和自主移動機器人能夠針對即時的物理訊號作出回應，讓該工廠成為了名副其實的機器人工廠。⁹倉儲和物流領域的業者亦大規模使用 Physical AI 驅動的機器人從事拾取和包裝作業，並逐步提高配送環節中的機器人使用率。¹⁰在中國大陸和美國，自動駕駛與無人駕駛計程車服務已正式商轉，許多其他地區也開始推行先導計畫和小型試驗項目。此外，在醫療照護產業中，機器人則可進行院內的藥品分發工作，讓護理人員能有更多時間投入更有價值的工作；英國約克大學開發的 AI 診斷原型機器人，甚至已能為患者提供初步的分診服務。¹¹

對多數企業領導者而言，目前 Physical AI 所產生的實質影響仍屬有限。根據 Deloitte 《State of AI Survey 2026》，僅有 5% 的企業提到 Physical AI 正為其產業帶來變革；相較之下，提到傳統 AI 和機器學習的受訪者比例則為 45%。¹² 儘管如此，Physical AI 的發展前景依舊不容置疑：有 10% 企業預期該技術將在未來一年內產生變革性影響，另有 31% 企業認為此類變革將在未來三年內發生。

從 Physical AI 的採用程度來看，採用率最高的是消費產業與生技醫療產業（兩者均為 22 %），隨後則為科技、媒體及電信產業（18 %），以及能源、資源與工業產業（16 %）。目前，工業機器人領域是 Physical AI 最能具體展現應用價值的場域，亦是後續導入任何相關技術時具備高度借鏡意義的實務範例。

圖2：Physical AI 和機器人技術可執行各式功能

Physical AI 驅動的機器人可透過一套核心功能，在不同的產業和領域中落實各種案例應用。





● ● ● ● ● 看見 Physical AI 的實際價值： ● 工業機器人

工業機器人被視為 Physical AI 驗證其價值的重要場域，此項技術必須在真實運作情境中展現可衡量的投資報酬率，進而提升市場與使用者的信任度。企業若能於工業環境中成功部署 Physical AI，使系統具備可靠的感知、決策與行動能力，將有助於建立兼顧技術與營運面的韌性基礎。雖然此基礎至關重要，但透過製造流程創造價值並非企業導入 Physical AI 的最終目標。事實上，相關成功部署經驗將有助於推動更廣泛的數位轉型。整體而言，企業可藉由生產現場累積的洞察，進一步規劃部署藍圖，找出最適合的數位智慧與實體資產整合模式，並推動系統化擴展，將相關經驗延伸應用至整體價值鏈之中。

上述價值主要從三個不同的層面向外擴散（圖 3）：

營運價值：聚焦核心製造業務

傳統機器人多依賴固定程式運作，並擅長執行控制度高的重複性作業。但以 Physical AI 與 AI 編排平台相整合驅動的機器人既不會因長時間運作感到疲累或降低專注力，亦無須仰賴人工重新進行設定。此類機器人可自主因應環境中可預測的變動因素，進而為工廠營運創造正向效益，包括：降低精密作業中的人為錯誤、顯著縮短停機時間、提升資源利用率、實現更高程度的自動化，以及建構具備自我優化能力的智慧生產現場。

價值外溢效應：跨價值鏈進行整合

在研發領域中，Agentic AI 可結合數位孿生進行原型設計和測試，進而縮短新品上市週期。在物流領域方面，整合即時資料的 AI 機器人則可提升供應鏈敏捷性，甚至具備動態庫存管理能力。此類機器人於設計至交付各階段的高度協同運作，不僅可減少浪費和人為錯誤，亦能提升整體反應能力並加速新品上市速度。

顛覆式創新：催生新的商業模式

Physical AI 可催生全新的生產模式，例如「工廠即服務」（Factory-as-a-Service, FaaS）。在此模式下，產線可依需求進行彈性調整與部署，以提供小批量生產或客製化製造服務。「營運即服務」（Operation-as-a-Service, OaaS）則是另一種新興模式，企業可將自身工廠累積的營運智慧與管理能力，提供予有相關需求的對象。此類模式的核心特徵，在於企業競爭優勢將逐漸由有形資產轉向無形的演算與智慧能力。換言之，過去需仰賴大量資本投入所建構的先進製造能力，正逐步轉變為可按需提供的生產服務。

圖3：Physical AI：從營運改善邁向商業模式重塑

Physical AI 的影響將不僅限於製造優化與創新，更將重塑價值在整體供應鏈中的流動方式，並促成新商業模式的形成。

在 Physical AI 部署下三種商業價值層次



Physical AI 所涵蓋的技術組合

Physical AI 和工業機器人並非單一技術，而是一套深度整合的技術組合（圖4）。理解此六個層面及其相互依存的關係，有助於企業做出更明智的投資決策，並降低因預期落差所導致的高成本風險：

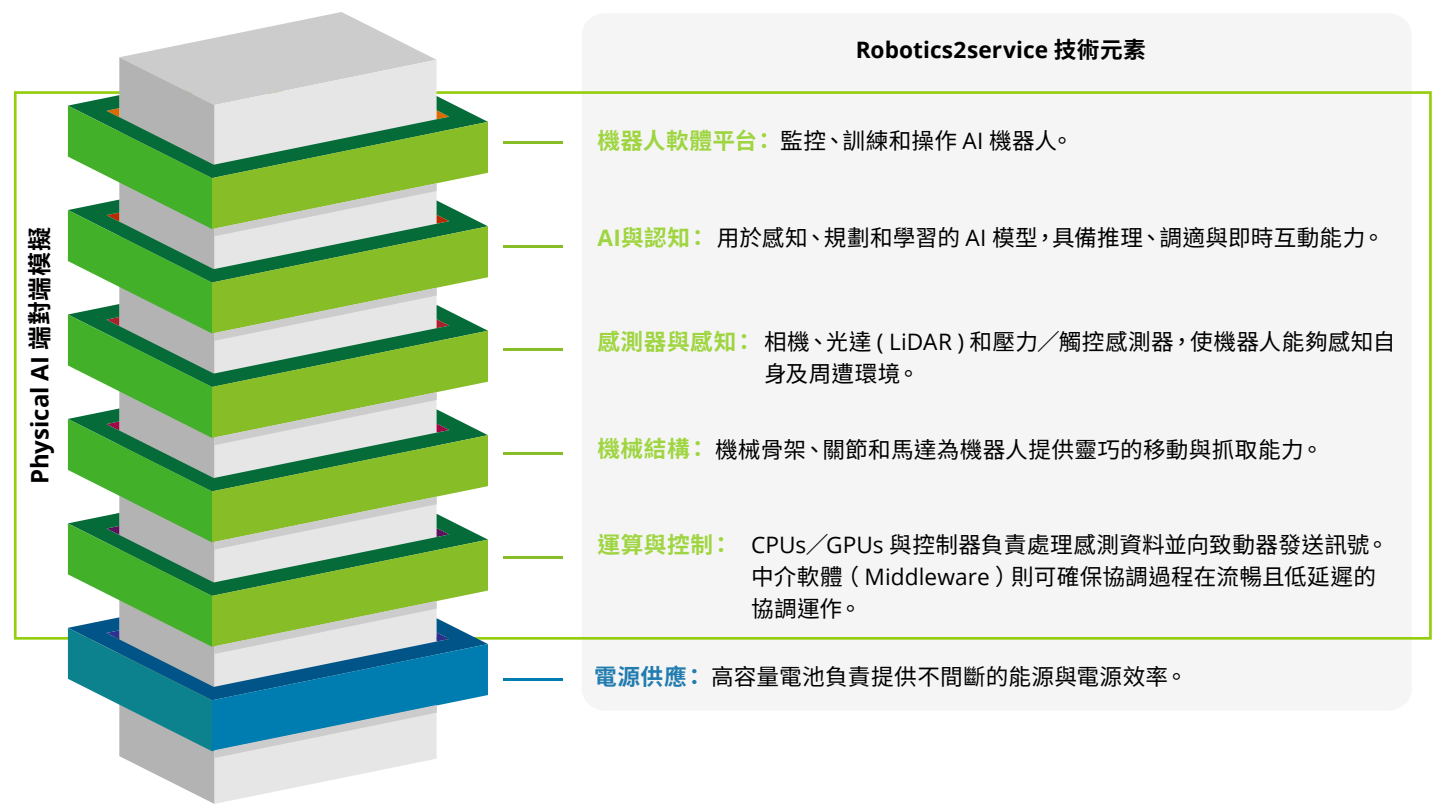
- **平台**：在實體部署前進行 AI 模型訓練與工作流程模擬的數位孿生環境。
- **AI與認知**：負責進行推理和決策的「大腦」，能控制並調整機器人与現實世界間的互動，包括環境理解、任務及動作規劃等面向。
- **感測與感知**：系統的「眼睛、耳朵和皮膚」，主要由相機、力矩感測器和聲波偵測器組成，這些感測器取得的資料將相互整合，以創建可即時反映現實世界的模型。

- **機械結構**：機器人的「身體」（包括關節式機械手臂、人形機器人和自主移動機器人），此部分決定了其物理能力與動作自由度。採用模組化設計加上先進規劃排程系統（advanced planning and scheduling），使機器人在面對不同任務時能快速重新設定，讓生產活動更具彈性。
- **運算與控制**：邊緣運算將 AI 大腦與機械本體互連。這種低延遲的資料處理環境可確保機器人以流暢、精確且安全的方式運作，尤其是在人機協作的應用場景中。
- **電源與致動**：人們往往低估此項限制因素。由於 Physical AI 屬於高耗能應用，因此在規模化部署的過程中，需仰賴穩健的電池管理技術和可靠的電源供應。

此技術組合的關鍵優勢在於各層間的協同作用。整體而言，其運作機制近似於一套生物系統：感測系統提供視覺與觸覺能力，認知系統相當於大腦負責決策與推理，機械系統構成身體，而運算與控制系統則如同神經系統，負責整合感知與行動，協調各模組之間的即時反應。

一旦掌握此技術組合，即可將原本高效但相對孤立的自動化系統，升級為兼具智慧、適應性與自我學習能力的物理系統。然而，任一層級存在缺陷（例如數位孿生擬真度不足、邊緣運算能力不足，或感測資料未經標準化），即使模型本身再先進，亦將限制AI層可發揮的最大效能。

圖4：Physical AI 機器人的技術基礎



克服轉型過程中的瓶頸

儘管 Physical AI 的潛力逐漸浮現，但企業若有意從以機器人驅動的工廠階段升級為具備自主的端對端營運模式，仍須克服轉型過程中可能在技術面和營運面上遭遇的瓶頸。

Deloitte《State of AI Survey 2026》顯示，企業在部署 Physical AI 時所面臨的障礙包括：成本和資源需求（41%）、識別用例方面的挑戰（36%）、人才和技能方面的差距（33%），以及技術或資料本身的可得性（31%）。¹³這些障礙可進一步歸納為兩類挑戰，而不同挑戰所適用的解決方案也不盡相同。

“

「在 Physical AI 技術組合的演進過程中，仍存在一些根本性的挑戰，企業領導者對此往往難以直接干預或有效應對。本報告認為，對於多數工業和製造業領導者而言，現階段最適切的作法是在相關研究和先導計畫中，扮演好知情觀察者與策略夥伴的角色。」

技術瓶頸（常超出多數企業組織的控制範圍）：

科技公司和學術界是引領技術發展的主導力量，技術面的主要限制因素則包括 AI 在物理「常識」所累積的知識有限，亦即系統目前無法直觀理解物體在新情境下的表現。

模擬與現實間的差距亦是限制因素之一，即在數位孿生中訓練的模型，未必總是能完全轉化並無誤地將習得經驗應用至現實世界。其他挑戰亦不容忽視，例如：與人類共處相同空間的自主系統往往需通過較嚴謹的安全認證；此外，先進感測器和邊緣運算的高昂成本亦使諸多應用情境因此受限。

對大多數領導者來說，較為恰當的作法是在先導計畫中扮演好知情觀察者與策略夥伴的角色，而非試圖憑一己之力解決此類限制。

營運瓶頸（完全掌握在企業組織手中，同時也是多數組織眼中的決定性因素）：

企業能否跨流程、技術和人員採取協調一致的行動，是克服營運瓶頸的關鍵核心。然而，在自動化程度較低、變動性高，且精實標準化流程尚未健全的環境中，AI 可發揮的空間相對受限，因此，具備充分的自動化基礎與否，便成了營運方面的挑戰。

第二項限制因素是數位基礎設施的準備度，包括可程式邏輯控制器（Programmable Logic Controller）、資料採集與監控（SCADA）系統和製造執行系統，而企業需確認這類系統能否與 AI 編排平台相整合。此外，在缺乏工業物聯網互連能力的情况下，Physical AI 便無法進行大規模運作。

人才匱乏則是另一項瓶頸。兼具營運和資料科學能力的混合型專業人才十分稀缺，且往往需要數年的栽培時間。而在邁入規模化部署階段後，運算和電源供應也不再只是工程方面的考量：能夠順利取得高效能晶片和高韌性電力基礎設施者，將可望在有效部署及營運 Physical AI 上取得成功。

以上瓶頸與技術限制不同，只要領導者能在深思熟慮後採取行動，便能夠予以解決。

“

「不論現在或未來，企業能否有效部署和擴展 Physical AI 應用的關鍵，其關鍵始終在於組織本身的準備成熟度。而這些核心因素皆掌控在企業領導者手中。成功部署不僅仰賴實際導入與應用，更需依據營運情境持續調整與優化，兩者缺一不可。」

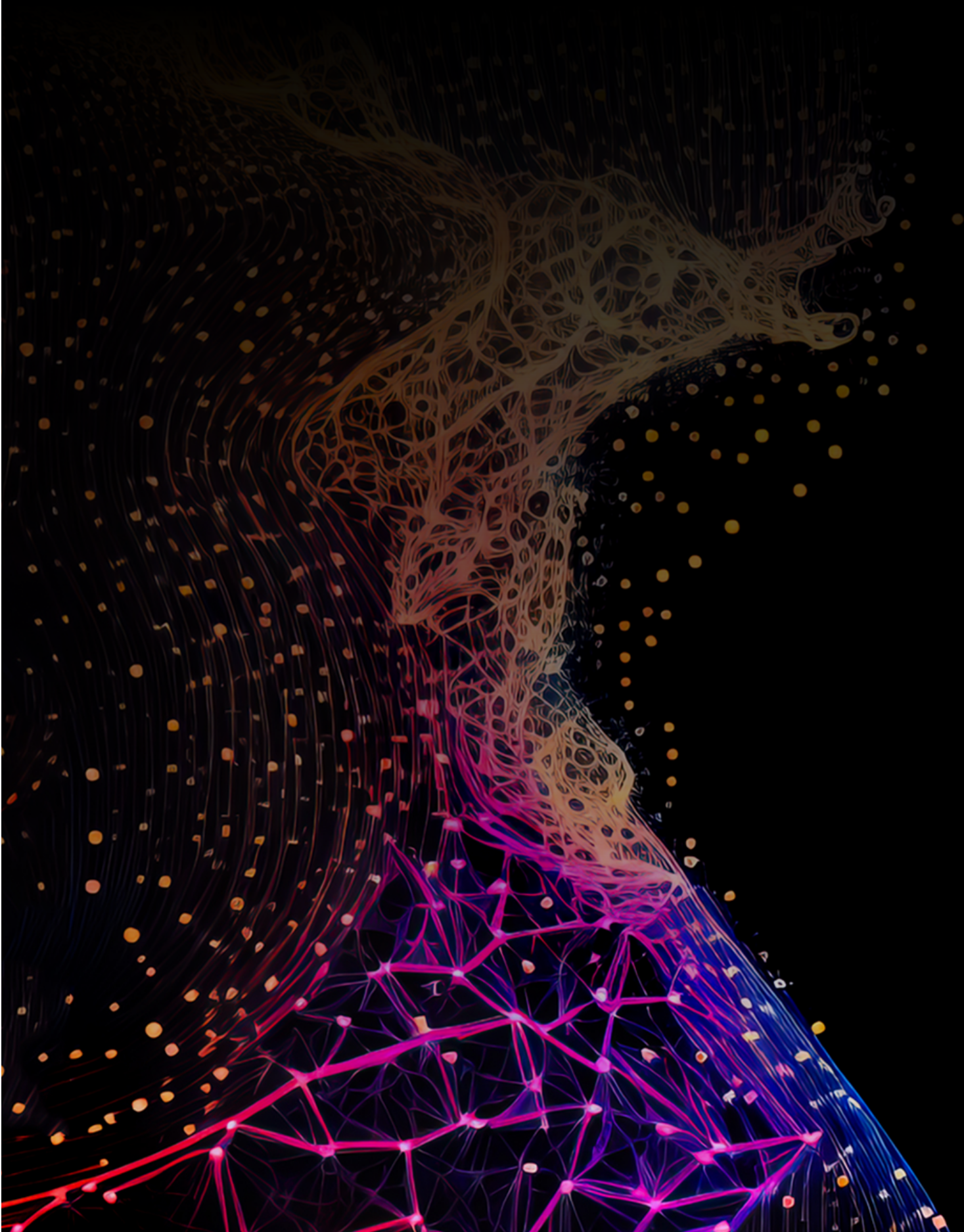
從本章節中可歸納出以下關鍵洞察：技術瓶頸主要由科技產業負責解決，而營運瓶頸的解方則掌握在企業自己手中。實際上，企業能否從 Physical AI 的應用中獲取價值，取決於其能否在部署新技術的同時，以該技術為核心重塑組織流程、技能與營運模式。

● ● ● ●
● 釋放位
●

唯有在企業組織能夠進行有效整合的情況下，先進技術方能轉化為實質價值。同理，營運成熟度須與現代技術深度結合，才能確保技術價值獲得最大程度的釋放與利用。

操作員的技能或是建立數位孿生模型，皆須透過持續性的實務累積。

技術應用成熟度	階段1：自動化	階段2：數位協作	階段3：數位孿生	階段4：Physical AI
邁向下一階段成熟度的關鍵路徑 - 範例說明 -	- 工業4.0 / Physical AI 策略 - 數位核心系統（企業資源規劃系統、倉儲管理系統、製造執行系統、產品生命週期管理／產品資料管理、分散式控制系統） - 使用機器人進行自動化製造 - 資料基礎與治理 - 設計自動化「人機協作流程」 - 供應鏈自動化	- 建立標準化的流程 SOP - 數位精實製造 - 物料流規劃與可見性 - 整合「數位線程」（Digital Thread）的架構設計 - 設計數位核心與機器人協作技術	- 建構機器人孿生、視覺孿生、產品孿生，並進行數位孿生的應用與整合 - 建構工業知識圖譜 - 模擬整合式供應鏈與製造過程 - 基於新技術的組織轉型	- 部署 Physical AI驅動的機器人 - 微調視覺語言行動模型 - Physical AI 綜合資料 - Physical AI 代理應用
				
營運成熟度與轉型準備度	標準化	精實營運	組織與人才結構	
關鍵路徑中的主要特徵 - 範例說明 -	- 執行人類規範的 SOP - 將量化參數編碼於機器設定中 - 整合式系統中的數位化建模；介面標準化 - 自主系統配置適用的自描述標準	- 被動式問題解決能力；對浪費的基本觀察 - 單件流、拉動式系統；用於作出即時回應的 Andon 系統 - 透過數位模擬和模型驅動的持續改善，進行精實成熟度預測 - 透過 AI 驅動的異常狀態解決機制自主進行自修復操作	- 透過熟練的人員手動執行；透過監督人員管理員工 - 操作員擔任設備使用者；管理人員負責管理人機系統 - 混合型「跨領域專業人才」的出現；整合 OT／IT 團隊 - 員工攜手 AI 共同創新；AI 生命週期治理	



技術應用成熟度：四個成熟度階段

由規律的機械系統演進至兼具自主性與適應性的物理系統，其結構化過程主要依循四個階段進行。各階段均具備明確的目標狀態、關鍵路徑和先決技術，並具體標誌著機器在與現實世界互動時所展現出的感知、決策和行動能力。精準掌握此架構，是企業決定策略優先順序，明確建構目標、規劃執行路徑、時程的戰略核心原因。

階段1 - 自動化：機器以精確、高效且可重複的方式，執行預先定義的作業順序。雖然此系統不具備外部環境的感知能力，但能在嚴格控制的條件下維持運作。在此階段，機器仍需仰賴人工介入進行設定、切換或排除異常狀態。成熟的自動化系統具備高度資本密集特點，且仰賴專業的工程技術。此階段的成熟度與是否內建機器智慧無關，而是著重系統中的機械是否具備運作精確度與控制邏輯，其中的先決條件主要包括：程式邏輯控制器、伺服馬達、專用工具、安全系統和基本的人機介面（Human-Machine Interface）。目前多數組織仍處於此階段，且生產現場仍存在相當高比例的人工作業環節。完成第一階段的價值流程整合，是企業推動後續所有技術部署的前提，而試圖跳過此階段則是實務上最常見且代價最高昂的錯誤決策之一。

階段2 - 數位協作：機器開始有能力感知周遭的作業人員和背景環境，原本的實體防護也由協作式安全架構取而代之，使人機可以順暢無礙地共享工作空間。此階段的核心驅動力來自生產現場數據與上層系統的接軌、感測器的相互整合以及不斷發展的控制軟體。另一方面，現有機器透過新增能力（例如新的感測器、作業系統和軟體升級）獲得強化，而工廠內部也開始導入新型的協作機器人。此階段的先決條件主要包括：協作機器人、2D／3D視覺攝影機、力矩感測器、工業物聯網閘道和邊緣運算節點。在第二階段中，營運可見度將大幅提升，而此階段所產生的數據（如週期時間、錯誤率和操作員互動）將成為驅動第三階段的核心決策資產。

階段3 - 數位孿生：實體營運與虛擬鏡像間實現持續進行雙向同步。在此階段，每台機器、工件和流程均具備即時反應其當下狀態的數位影子（digital shadow）。而模擬技術亦從離線設計工具，演化為執行預測、優化與進行調試的實際運轉環境。

這是技術成熟度模型中最具挑戰性的階段，企業除了需將營運技術與IT加以整合外，還需進行資料基礎設施方面的投資，並確立組織內部對數位孿生擬真度的認可。此階段的先決條件主要包括：數位孿生平台、物理引擎、高頻寬低延遲的連接能力、時間序列資料庫、製造執行系統，以及企業資源規劃整合層。第三階段是通往Physical AI的大門。若數位孿生平台未能通過實務驗證，於模擬中訓練的AI模型將無法於實際應用中發揮預期效能。

階段4 - Physical AI：系統具備感知非結構化環境、透過推理決定最佳行動，並自主執行決策的物理系統。在此階段，大腦（通用智慧）、眼睛（感知）和身體（物理實體）三者各自獨立，具備各自獨立運作且高度協同的特性。

Physical AI 不僅能廣泛執行不同任務，更可透過現實和模擬經驗進行深度學習並持續演進。在此階段，人類的角色也從操作員轉變為監督者、異常狀態處理者與共同創新者。

此階段的關鍵轉變在於智慧與實體形態間的解耦。Physical AI 系統能將通用智慧從特定的物理形態中分離，並透過模擬訓練和機群學習（fleet learning）持續優化，從而終結了逐一為機器人編寫技能程式的傳統模式。這代表在一台機器上學習得的能力，可無縫轉移至不同類型的機器人和任務之中，且過程中僅需進行少量的重新訓練，藉此顯著縮短部署時間並提高再利用率。這種通用化能力使機器人技術得以從專用的自動化系統，升級為可擴展的物理智慧。

雖然通往此前沿領域的路徑尚未獲得充分驗證，但領先的採用者已能初步勾勒出部署輪廓。此階段的主要先決條件包括：具身任務適用的AI基礎模型、強化學習架構、機群編排平台、邊緣AI加速器，以及自動化資料標記流程。第四階段並非部署進程的終點，而是定義了全新型態的運作模式：生產現場不再是由個別機器人構成的工廠，而是能在實際運行過程中具備自我進化能力的學習型生產系統。

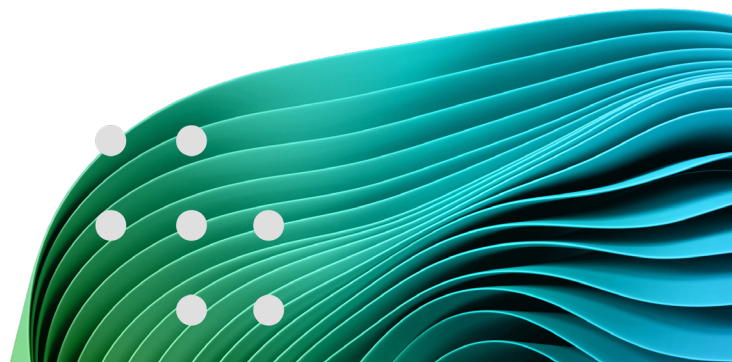


圖6：物理 AI 成熟度路線圖



營運成熟度與轉型準備度

技術應用成熟度決定了部署上的可能性，而營運成熟度則決定了可實際執行的實效。在缺乏基礎紀律、標準流程與人才結構的企業中，即使是最先進的 Physical AI 系統亦難以轉化為實質產出。從營運的角度切入，以下三大息息相關的面向須與技術發展階段同步推進。

面向1：標準化是可擴展性的戰略基石

Physical AI 的成功需建立在高度的一致性之上。零件、流程或介面中的任何差異皆會對傳統自動化設備與 AI 模型造成干擾，並干擾傳統自動化機器和 AI 模型的運作。在此脈絡下，標準化並非意指僵化，而是建立可控且留有紀錄的動態變化，進而轉化為供系統學習的數據資產。在技術成熟度較低的階段，流程知識高度依賴操作員的經驗留存，且生產品質取決於人員中個體差異。隨著技術成熟度逐漸提升，透過標準化紀錄建構環境的可預測性，為協作機器人和視覺系統提供可靠的運行基礎。而在數位孿生階段，標準主要由機器負責強制執行。設備透過統一資料結構的通用協定實現即時通訊，而虛擬分身則可在該環境下與實體資產進行大規模同步。等到邁入 Physical AI 的應用後，相關標準開始演進為兼具適應性和可自描述性：設備能在連接就緒時自動進行設定，而工件則備有其自身的製程參數。

面向2：消除浪費是實現智慧製造的先決條件

將充斥浪費的流程自動化，等同於將現有問題固化在流程中。精實原則則是打造健全營運流程的關鍵，例如繪製價值流程圖、建立流程透明度、降低程序間的依賴性並根除底層痛點。在透過精實原則建構的最佳化系統中，Physical AI 將顯著放大流程的運作成效。而在精實成熟度初期，自動化作業即使能提升各環節的速度，但大多也會與等待和運輸的時間相互抵消。隨著精實成熟度的增加，拉動式系統能創造兼具可預測性和可見性的價值流程，同時也構成了部署感測器和實現自動化協作的先決條件。在數位孿生階段，精實營運的可預測性會隨之提高，且更仰賴模型作為驅動力量。到了 Physical AI 部署階段時，營運流程的自主化程度將變得更为明確：此時的 Agentic AI 不僅能偵測異常狀況和診斷根本原因，還可透過經模擬驗證的策略採取適當的應對措施。持續改善的文化也可作為促進理解的橋樑，幫助員工將 AI 視為解決問題的輔助工具，而非取代其工作的競爭對象。

面向3：組織與人才轉型是最困難、也最容易忽略的面向

Physical AI 的導入具備多項先決條件，包括建立新的角色地位、技能組合、決策權責與職業發展路徑。當前，企業領導者應思考的關鍵問題包括：如何延攬同時具備營運和資料科學能力的跨領域人才？如何打破工程技術與 IT 間的組織孤島？應由哪些角色共同負責數位孿生與機器人系統的治理與管理？此外，員工是否已準備好從傳統執行者轉型為為系統監督者，並持續參與 AI 系統的優化與迭代？

每一波科技時代的演進，皆仰賴新型態的人才與人力資源配置。隨著自動化系統導入，原本依賴操作員經驗與記憶的作業標準，逐步轉移至機器參數設定。例如，過去仰賴人工經驗判斷的「扭緊至適當程度」，如今已轉化為主軸控制器中預先設定的 45 牛頓米扭矩值。隨之而來，操作員的角色也從直接創造附加價值，轉變為支援與促成附加價值的實現。

當前的數位孿生技術，正逐步將流程知識從傳統操作手冊轉移至自動化系統中；具備跨領域能力的混合型的專業人才亦逐漸崛起。此類人才不僅理解流程背後的物理原理，也能掌握程式碼與系統運作邏輯。如今，Physical AI 正引領下一階段的演進。在此階段中，操作員將轉型為自主系統的監督者；管理者將負責協調與管理智慧代理機群；現今的跨領域專業人才，則將成為未來人機工作流程的建構者，而第一線人員也將更積極參與用例發掘與應用開發。在 Physical AI 驅動下，企業組織將逐步擺脫傳統層級分明的人力結構，進一步演進為由人類與 AI 協同組成的網絡型組織，透過持續學習及優化營運流程。

治理環節逐漸受到重視

這三個營運面向並非一成不變的待辦事項，而是企業能力需隨著各階段的技術進展而不斷演進。此外，治理機制的重要性亦正逐步受到重視。隨著 Physical AI 開始進入實際生產場域，新型態風險亦隨之浮現，包括人身安全、系統自主性、課責機制及營運控制等議題。由於此風險發生的速度如同高速運作的機器般，超出了人們可直接干預的範圍。因此，企業必須建立更完善的治理與風險管理架構。目前，產業領導者正著手建立企業級 AI 治理機制，包括規範資料使用與 AI 應用原則、制定可用於評估模型可解釋性的標準，以及建立明確的權責架構。現階段的治理趨勢，多以「限制性規範」為核心，即明確界定 AI 不得使用的情境與範圍。在高風險情境獲得妥善管控後，市場與使用者對 AI 信任度亦將逐步提升，進而推動治理模式從「限制導向」逐漸轉向「風險控管導向」。

隨著技術持續成熟，相關治理挑戰的焦點也將逐步改變。未來，企業關注的重點將不再僅是限制 AI 的自主性，而是在明確治理邊界與防護機制下，定義如何於特定場域中安全且有效地運用自主能力。

3.4 駕馭轉型旅程：慎防三種失敗模式

即便是擁有完善策略的企業組織，也難免會遭遇相同的失敗模式。在 Physical AI 的整個部署生命週期內，企業應以「在現實世界中持續發揮業務影響力」這項單一目標為核心，協調組織內部的技術、流程與人才，藉此守護投資價值，並縮短轉型所需時程。

部署期間的營運干擾因素

部署 Physical AI 時，往往伴隨各類干擾因素，例如生產計畫調整、員工作業模式改變，以及既有價值流程平衡被打破等。若企業未能事先透過模擬驗證並採取分階段導入方式，此類不穩定性不僅引發組織阻力，也將延長營運恢復穩定所需的時間。因此，企業可於技術推廣過程中建立完善且嚴謹的變革管理機制，確保在各階段轉型節點中，仍能兼顧產能、品質與營運穩定性。

達到損益平衡所需的時間過長

從初期投資到首次實現價值的過程，往往是企業最容易感到不確定與徬徨的階段。此時，若企業能將 Physical AI 的部署拆解為多個可獨立推進的價值模組，便有機會在未來數個季度內（而非數年後）逐步實現具體且可衡量的財務回報。

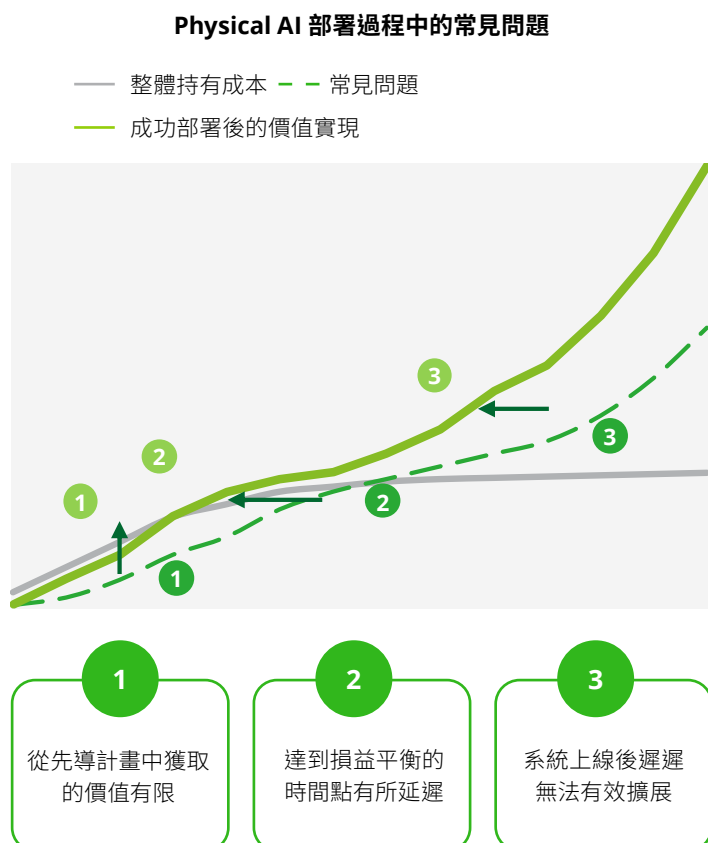
早期成功案例不僅有助於提升利害關係人的信心，也能為後續階段的投資提供更充足的資源支持，進一步推動部署計畫由單純的成本投入，轉變為具備自我循環能力的價值創造引擎。

系統上線後無法有效擴展

許多大規模投入 Physical AI 部署的企業（正如其過去大舉投資數位化專案時的情況）發現，其應用往往難以從先導計畫擴展至更大規模的營運範圍。除了機器人和程式系統外，企業亦需在實際導入過程中建立相應的藍圖、培訓課程與治理模型，以便有效運作、調整並擴展這項能力。換言之，技術須化身為兼具可重複性和可擴展性的引擎，並在後續每次部署中扮演關鍵的推進力量。

圖7：增強對 Physical AI 價值實踐能力的信心

企業須建立強大的組織與技術基礎以成功推展 Physical AI 的商業應用。



關鍵成功要素



持續推進 Physical AI 的部署工作之際，也應致力實現以下目標：

- 1 對營運流程進行最佳調整，並採取有效的變革管理措施（包含流程、營運、人員），藉此將「波動」情形降至最低。
- 2 更快實現「損益平衡」，具體作法包括精準評估先導用例、為進階應用提供流暢的部署支援，以及跨供應網絡增進協同效應。
- 3 加速採用和推廣進階 Physical AI 解決方案或應用，從而在更短時間內達到「有效擴展」的目標。

每位企業領導者現在應放在心上的三個問題

Physical AI 已非「是否部署」或「何時部署」的問題，而是與「準備就緒度」密不可分。根據調查，41% 的企業領導者預期 Physical AI 將在未來三年內帶來變革。此外，該技術的整合應用預計將在兩年內成長六倍。這些數據顯示，企業可建立營運基礎的時間窗口正快速縮小。¹⁴

如同其他快速發展中的技術，Physical AI 的許多影響仍有待顯現。儘管如此，部分明確且高度結構化的未來發展路徑正開始受到矚目。隨著 Physical AI 的採用率和市場能見度持續提升，其應用價值也日益具體化，並加速擴展至各產業和價值鏈之中。因此，企業若遲遲未能採取行動，所錯失的不只是營運效率的機會，更包括作為先行者所帶來的學習機會與競爭優勢。

對工業和製造業領導者而言，以下三個問題應成為其在部署 Physical AI 時聚焦的重點：

企業組織的技術成熟度處於哪個階段？

達成第一階段目標（實現具一致性且符合精實原則的數位化自動系統）是後續行動的先決條件。若生產現場仍依賴個人經驗，且存在不受控制的變動因素，則即使相關技術具備潛在價值，現階段就投資 Physical AI 仍可能為時過早。

企業的營運基礎是否有利於部署物理AI？

請有效評估營運成熟度的三個面向：標準化、精實成熟度和人才結構。真正能夠發揮 Physical AI 價值的企業，往往並非先導計畫最為吸睛者，而是營運基礎最為嚴謹者。在缺乏營運成熟度的情況下，部署該技術將無法為組織帶來實質效益。

企業是否正在打造合適的人力結構？

人才瓶頸是真實且長期存在的問題。兼具營運和資料科學能力的混合型人才雖可扮演生產現場與伺服器機房間的橋樑，然而此類人才的培育週期往往長達數年。企業若能即刻組建跨職能團隊，並賦權第一線人員用例探索工作，其日後將有望隨著技術規模的擴大更快取得顯著進展。

目前能夠透過生產現場學習如何駕馭 Physical AI 的先行者，將有望定義下個十年的競爭規則。前沿科技領域的轉變使現在成為打造未來的絕佳時機。

報告作者

Scott Xiaozhen Sun

Asia Pacific Physical AI Centre of Excellence leader
scottsun@deloittecn.com.cn

Joe Zhuo Deng

Supply Chain & Network Operations, Physical AI Centre of Excellence, manager
jdeng@deloittecn.com.cn

Chris Lewin

AI & Data Asia Pacific leader
chrislewin@deloitte.com

詞彙表

自主移動機器人 (Autonomous Mobile Robots, AMR)	內建感測器、環境建模能力和智慧技術的自主導航機器人，無需固定路徑即可在動態環境中安全搬動材料並執行任務。
單件式生產拉動模式 (Batch-size-one-pulling)	以需求為導向的生產模式，由於每個產品單元均依特定客戶的實際訂單內容進行生產，因此有助於生產高度客製化的產品，同時大幅減少庫存與浪費問題。
邊緣裝置 (Edge Devices)	在機器上或在鄰近地點（而非在雲端）就地進行資料處理的工業硬體，這類裝置可縮短控制延遲時間，更具備即時分析與自主決策的能力。
企業資源規劃 (Enterprise Resource Planning, ERP)	企業專用的整合型管理軟體，可幫助企業透過共用的記錄系統，協調財務、供應鏈、製造和採購等核心業務流程。
大型語言模型 (Large Language Model, LLM)	透過海量文本進行訓練的深度學習模型，能夠理解、生成人類語言並使用人類語言進行推理，此模型構成了許多當代 AI 技術與多模態系統的認知基礎。
製造執行系統 (Manufacturing Execution System, MES)	這套軟體能夠即時監控、管理並優化生產現場的產線運作，從而縮小企業資源規劃系統與實際生產流程間的落差。
新產品導入 (New Product Introduction, NPI)	將產品從概念構想階段推進至設計、驗證、量產和上市的結構化流程。
產品生命週期管理 (Product Lifecycle Management, PLM)	用於管理產品資料、流程與決策的數位化架構，其涵蓋了從概念構想、設計、製造、上市到退場的完整產品生命週期。
監控與資料採集系統 (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)	由硬體和軟體組成的系統，可即時監測與控制工業現場的運作。
視-語言-行動-模型 (Vision Language Action model, VLA)	結合視覺和自然語言理解能力的多模態 AI 模型，能直接透過決策產生可執行的物理動作，進而使機器人在現實世界中根據上層指示，進行感知、推理並採取行動。
視覺語言模型 (Vision Language Model, VLM)	整合視覺感知和語言理解的多模態 AI 模型，可賦予系統使用自然語言的能力，使其能解釋圖像或影音內容並據此進行推理。

能源、資源與工業產業服務團隊



溫紹群 資深執行副總經理 Rick Wen
能源、資源與工業兼工業產品與營建產業負責人
rickswen@deloitte.com.tw



莊碧玉 資深會計師 Eva Chuang
能源與化學產業負責人
evachuang@deloitte.com.tw



李介文 執行副總經理 Cathy Lee
策略、風險與交易服務
cathylee@deloitte.com.tw



林孟衛 資深合夥律師 David Lin
電力、公用事業與再生能源產業負責人
davidmlin@deloitte.com.tw



張惟桔 資深會計師 Maggie Chang
稅務諮詢服務
maggiewchang@deloitte.com.tw



許瑞軒 資深會計師 Stephen Hsu
礦業與金屬產業負責人
stehsu@deloitte.com.tw



徐瑩瑩 資深會計師 Judy Hsu
稅務諮詢服務
judyyhsu@deloitte.com.tw

專案聯絡

林孟儒 Karen Lin
主任
karenmlin@deloitte.com.tw

吳叔訓 Eliot Wu
能源、資源與工業產業專案組長
eliowu@deloitte.com.tw

沈均蓉 Jill Shen
能源、資源與工業產業專員
jilshen@deloitte.com.tw

參考資料

1. Deloitte, State of AI in the Enterprise, January 2026
2. <https://www.deloitte.com/cz-sk/en/issues/generative-ai/state-of-ai-in-enterprise.html>
3. NVIDIA, Train a Quadruped Locomotion Policy and Simulate Cloth Manipulation with NVIDIA Isaac Lab and Newton, 29 September 2025, [Train a Quadruped Locomotion Policy and Simulate Cloth Manipulation with NVIDIA Isaac Lab and Newton | NVIDIA Technical Blog](#)
4. Arxiv.org, OpenVLA: An Open-Source Vision-Language-Action Model, 5 September 2024, <https://arxiv.org/abs/2406.09246>;
5. NVIDIA Physical AI at NeurIPS: Alpamayo-R1 and the Cosmos Ecosystem, 12 December 2025, <https://introl.com/blog/nvidia-physical-ai-alpamayo-cosmos-neurips-2025>
6. TechCrunch, Hugging Face opens up orders for its Reachy Mini desktop robots, 9 July 2025, <https://techcrunch.com/2025/07/09/hugging-face-opens-up-orders-for-its-reachy-mini-desktop-robots/>
7. Gemini Robotics 1.5 brings AI agents into the physical world, 25 September 2025, <https://deepmind.google/blog/gemini-robotics-15-brings-ai-agents-into-the-physical-world/>
8. IFR, World Robotics 2025, September 2025
9. CitiGPS, The Rise of AI Robots: [Physical AI is Coming for You](#) https://www.citifirst.com.hk/home/upload/citi_research/rsch_pdf_30297368.pdf
10. AI Impact Assessment Guideline (ISO/IEC FDIS 42005:2025); AI Explainability Guideline (ISO/IEC TS 6254:2025); AI Risk Management Guideline (ISO/IEC 23894)
11. Sustainability Magazine, How BYD is Harnessing AI to Accelerate Global EV Production, 9 October 2025, <https://sustainabilitymag.com/news/how-chinas-byd-is-using-ai-to-scale-global-ev-manufacturing>
12. Forbes, The Rise of AI-Powered Robotics, And The Future of Work, 15 April 2025, <https://www.forbes.com/sites/jackkelly/2025/04/15/the-rise-of-ai-powered-robotics-and-the-future-of-work/>
13. <https://www.york.ac.uk/news-and-events/news/2024/research/ai-robotics-emergency-room-waiting-time/>
14. Deloitte, State of AI in the Enterprise, January 2026
15. Deloitte, State of AI in the Enterprise, January 2026
16. Deloitte, State of AI in the Enterprise, January 2026



Deloitte.

Together makes progress

Deloitte泛指Deloitte Touche Tohmatsu Limited (簡稱“DTTL”),以及其一家或多家會員所網絡及其相關實體(統稱為“Deloitte 組織”)。DTTL(也稱為“Deloitte全球”)每一個會員所及其相關實體均為具有獨立法律地位之個別法律實體,彼此之間不能就第三方承擔義務或進行約束。DTTL每一個會員所及其相關實體僅對其自身的作為和疏失負責,而不對其他行為承擔責任。DTTL並不向客戶提供服務。更多相關資訊www.deloitte.com/about了解更多。

Deloitte 亞太(Deloitte AP)是一家私人擔保有限公司,也是DTTL的一家會員所。Deloitte 亞太及其相關實體的成員,皆為具有獨立法律地位之個別法律實體,提供來自100多個城市的服務,包括:奧克蘭、曼谷、北京、邦加羅爾、河內、香港、雅加達、吉隆坡、馬尼拉、墨爾本、孟買、新德里、大阪、首爾、上海、新加坡、雪梨、台北和東京。

本出版物係依一般性資訊編寫而成,僅供讀者參考之用。Deloitte及其會員所與關聯機構不因本出版物而被視為對任何人提供專業意見或服務。在做成任何決定或採取任何有可能影響企業財務或企業本身的行動前,請先諮詢專業顧問。對於本出版物中資料之正確性及完整性,不作任何(明示或暗示)陳述、保證或承諾。DTTL、會員所、關聯機構、雇員或代理人均不對任何直接或間接因任何人依賴本通訊而產生的任何損失或損害承擔責任或保證(明示或暗示)。DTTL和每一個會員所及相關實體是法律上獨立的實體。

