

從工業機器人到營建現場

移動、操作與人機協作的實戰挑戰

Construction Robotics × AI × BIM × Human

報告人：楊泓斌

2026 國際永續智慧建築暨智慧建材展

Build for NEXTGEN

民國70年至114年 | 全國出生人數

台灣一年少生31萬人

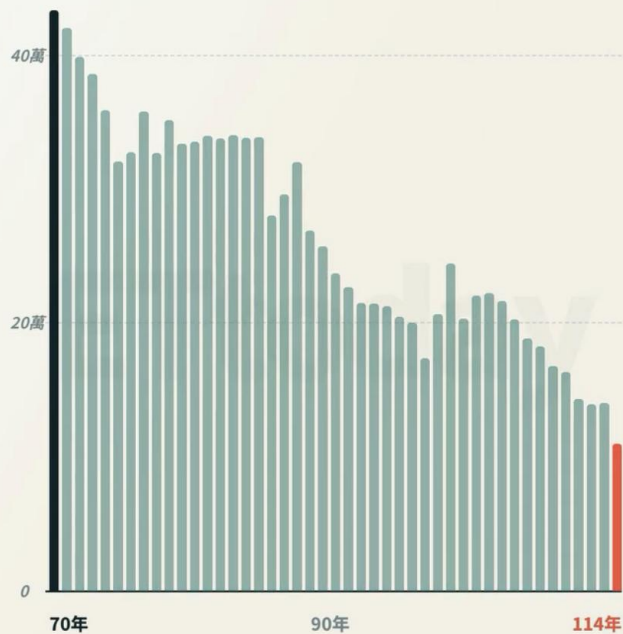
民國70年

415,808人



民國114年

105,676人



一年出生人數

減少310,132人 | -74.6%

ETtoday新聞雲 數據專題

資料來源 | 內政部

指標	1981	2026	變化
人口	1,797萬	約2,336萬	+30%
新生兒	41.4萬	約10萬	-75%
總生育率	2.45	約0.82	-67%
平均壽命	約72歲	約81歲	+9歲
高齡人口(65+)	約4%	約21%	5倍
名目GDP	490億美元	約9,900億美元	20倍
人均GDP	2,700美元	約4.2萬美元	16倍
台股加權指數	約1,500點	約45,000點	30倍以上
半導體產值	幾乎剛起步	全球第一	質變
營造業GDP	約600億台幣/季	約1,873億台幣/季	3倍以上
建築市場規模	約千億台幣	約7,500億台幣	大幅成長
出口	約200億美元	約5,000億美元	25倍
平均月薪	約9千元	約4.8萬元	5倍
房價(台北)	約5萬/坪	約90萬/坪	18倍

行政院科技顧問組民國70年起產「生產自動化計畫」、「產業自動化十年計劃」

- 從 工廠到工地
- 從 工業機器人 → 營建自動化 → 營建機器人
- 機器人進到工地的挑戰
 - Mobility / 移動
 - Manipulation / 操作
 - Human-Robot Collaboration / 人機協作
 - BIM × AI × Robot
 - Demo vs. Deployment
- 台灣營建機器人的可能

工廠場域 (高度結構化) FACTORY FIELD - Highly Structured



固定且規律特徵
平整與穩定地面
動態障礙可預測

動態障礙可預測
受控溫濕環境

均勻人造光源

工地場域 (高度非結構化) CONSTRUCTION SITE FIELD - Highly Unstructured



隨進度劇烈變化
崎嶇與變化地面
動態障礙不可測

動態障礙不可測
大量粉塵揚塵

變動自然光源
大量粉塵揚塵

場域 workflow 解析

工業自動化成功的條件，恰好是工地最缺乏的條件



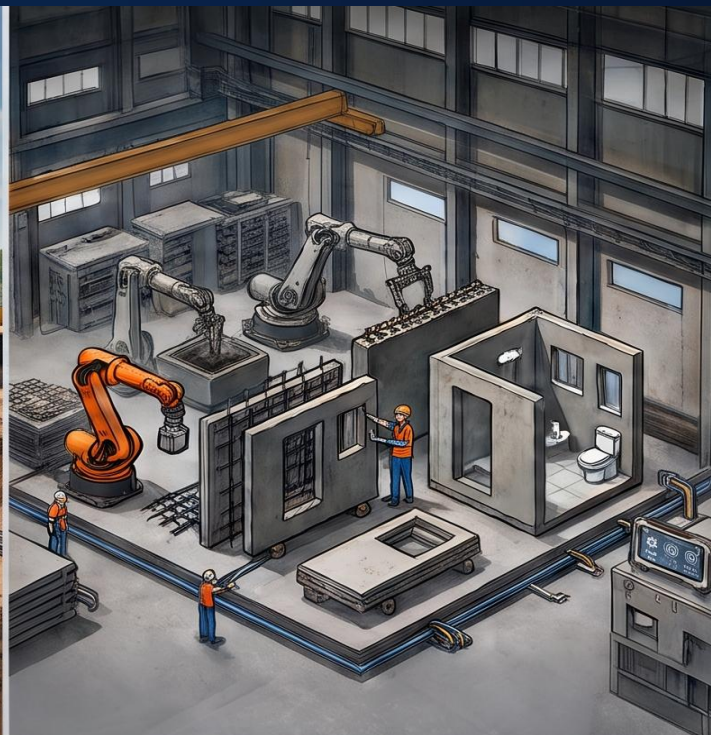
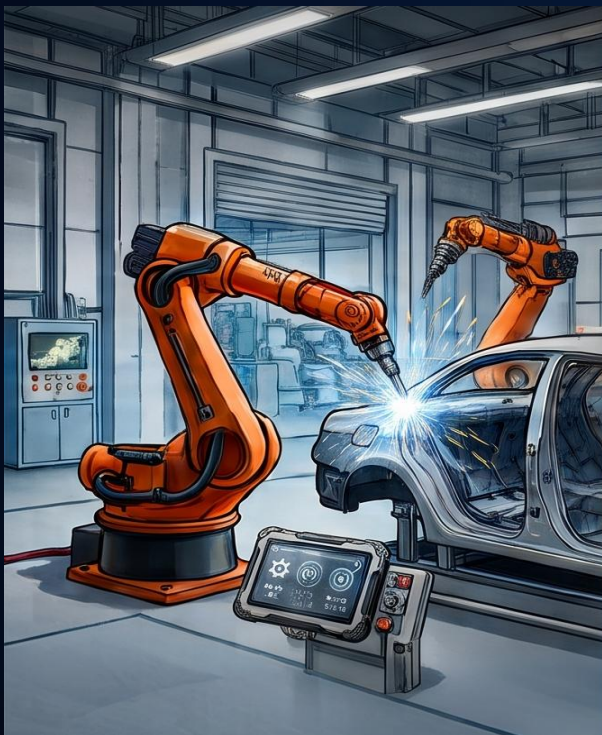
固定 → 規則 → 可預測 → 可控制



移動 → 非結構化 → 動態 → 多工種 → 高度不確定

Factory ≠ Construction Site

從工業機器人 到 營造業現場自動化



1. 工業機器人

2. 營建自動化

3. 預鑄工法

4. 建築機器人

什麼樣的機器人，才有機會真正進入工地？

Factory → Construction Site

機器人離開工廠，真正的挑戰才開始

從「可控制」走向「不可預測」

01 | 移動

Robot 怎麼走？

02 | 操作

Robot 怎麼做？

03 | 協作

Robot 如何與人一起？

04 | 落地

如何形成可複製生產力？

一台施工機器人的能力模型

五個層級，任何一層不可靠，都可能讓現場任務失敗

施工機器人不是「一個產品」而是一個整合系統

Sensor + Compute + Software + Actuator + Construction Workflow

05 Decision | 決策

04 Manipulation | 操作

03 Mobility | 移動

02 Localization | 定位

01 Perception | 感知

大腦

人機交互能力

- 識別
- 反饋
- 交互

軀體與四肢

運動控制能力

- 動力系統
- 關節機構
- 靈巧的手
- 旋轉關節
- 線性關節

眼、耳、 鼻、皮膚

環境感知能力

- 視覺
- 位置
- 聽覺
- 觸覺
- 嗅覺



Optimus - Gen 2

Challenge 01 | Robot 要先學會「走」

工地不只是平面地圖



泥地



斜坡



樓梯



電纜



材料堆置



人員

Navigation in Construction = Perception + Localization + Planning + Avoidance

進入工地前的準備

AI 驅動的智能配置

系統根據BIM模型與施工需求，
自動推薦最佳模塊組合。



任務導向：可配置的功能模塊

「即插即用」的執行器與工具頭，透過標準化接口，
快速切換以執行不同建築工序。



一個平台，實現多元化的施工作業能力



核心基礎：通用移動平台

標準化移動底盤是機器人系統的基礎，集成動力、
導航與控制系統，提供穩定的移動能力。



履帶式

適用於崎嶇不平的早期施工現場。



輪式

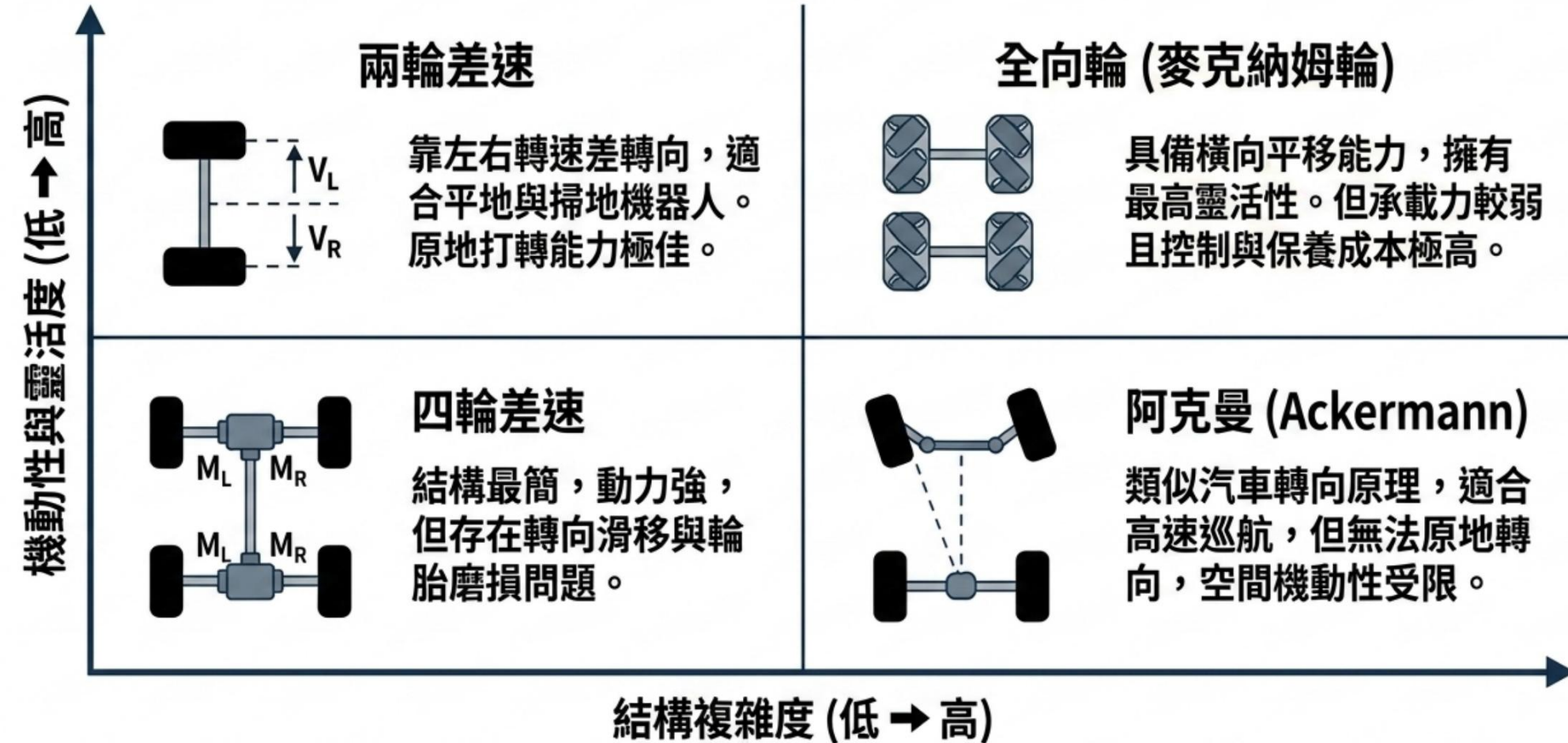
適用於室內或已封頂的平整樓層。



全向輪

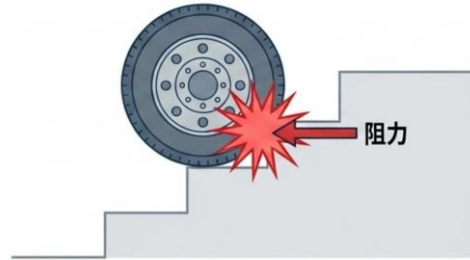
實現狹窄空間內的精準移動與轉向。

底盤架構：機動與複雜權衡



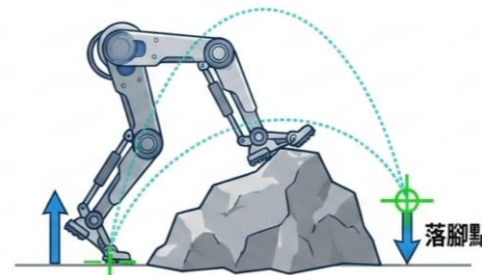
連續地面支撐 (輪式/履帶式)

受限於幾何形狀，依賴連續的地面接觸。面對階梯或不規則隆起時，容易發生剛性卡死，或需要極大動力才能克服障礙。



離散分佈落腳點 (足式/仿生)

無需連續支撐，機器人可在擺動腿的三維空間內靈活尋找落腳點，從根本上解決了非結構化地形形的空間適應性問題。

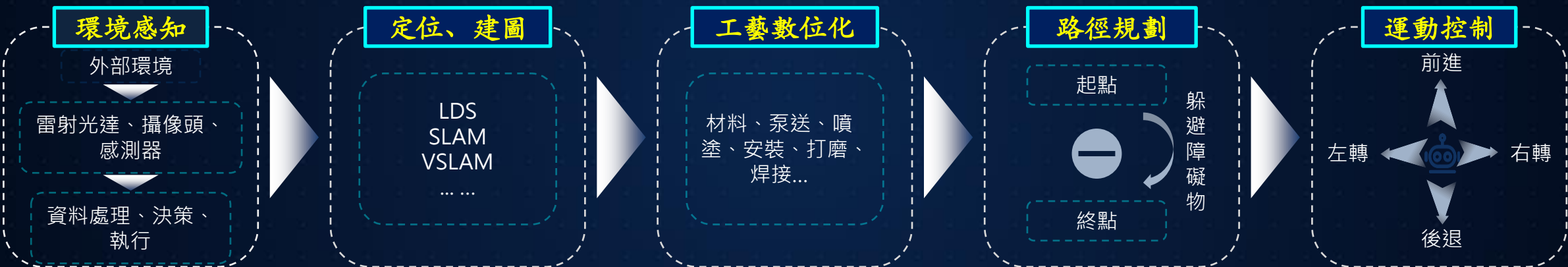


底盤應用矩陣

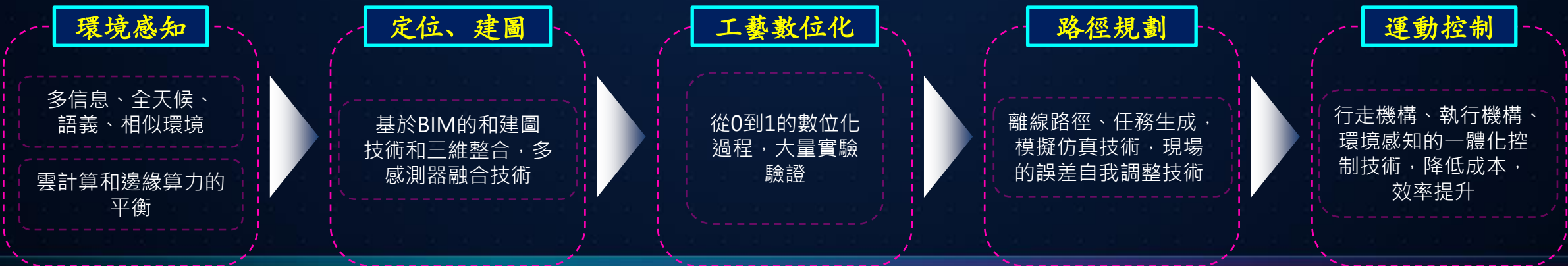
指標 (Metrics)	輪式 (Wheeled)	履帶式 (Tracked)	四足 (Quadruped)	雙足人形 (Bipedal)	爬壁式 (Wall-climbing)
平地移動效率	● 優異	○ 較差	◐ 中等	◐ 中等	● 優異
崎嶇地形適應力	● 極強	● 極強	● 極強	○ 極強	● 極強
絕對負載能力	● 最高	● 最高	○ 較弱	○ 較弱	○ 較弱
控制演算法難度	○ 最低	○ 最低	◐ 複雜	● 複雜	● 複雜
建置與維護成本	○ 最低	◐ 中等	◐ 偏高	● 昂貴	● 偏高
底層應用 (Representative Applications)	 工廠搬運 / 倉儲 / 送餐		 消防救援 / 特種農用		 電力巡檢 / 災區搜救
					 高空作業 / 橋樑檢測 / 玻璃清潔

建築機器人的技術邏輯

實現複雜的工地上行走、避障、移動作業，需要的步驟和核心技術



各個步驟和核心技術 攻克要點



Challenge 02 | 會走 還得會工作

Robot 到了現場，接下來要做什麼？

從「到達位置」到「完成任務」

真正困難的是 操作：抓取、接觸、施力、調整與完成

人類的一個動作，機器人是一條完整流程

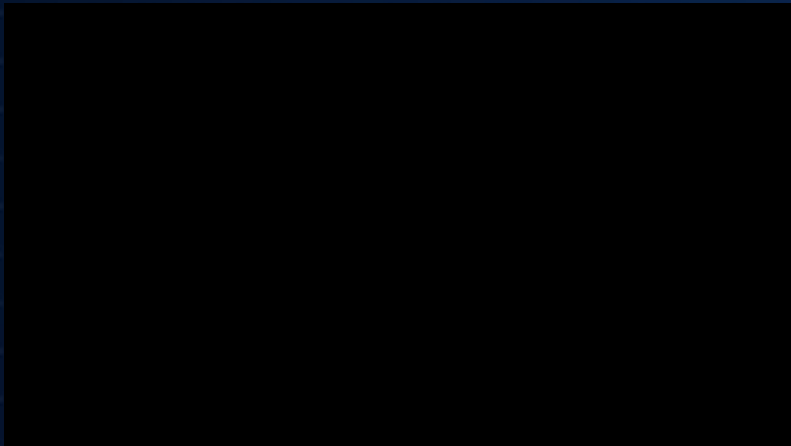
以「搬運東西」為例



Construction Manipulation = Perception + Planning + Control

建築工藝數位化

建築機器人 = 建築工藝數位化 + 機器人



- 伺服電流限制值 (額定80%-150%) A
- 各級行程限制 (行程範圍-5mm) mm
- 點動速度限制 (<=30mm/s) mm/s
- 自動速度限制(額定轉速的80%-100%) mm/s
- 底部泵料時間 ms
- 底部振動延時開時間 ms
- 泵機停止高度 mm
- 振動停止高度 mm
- 抹頭去底部後退距離 mm
- 抹灰後下降後退距離 mm
- 往復布料速度 mm/s
- 往復布料距離 mm
- 往復布料起點停止
- 往復布料終點停止
- 抹灰高度 mm
- 抹灰速度 mm/s
- 抹灰底點偏移值 mm



工藝參數化



工藝
數位化控制



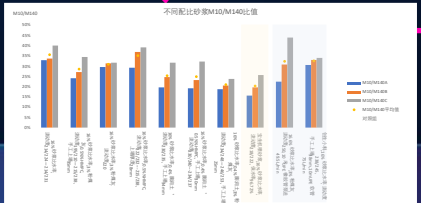
建築工藝
數位化流程



工程驗證



建築工藝
拆解、優化



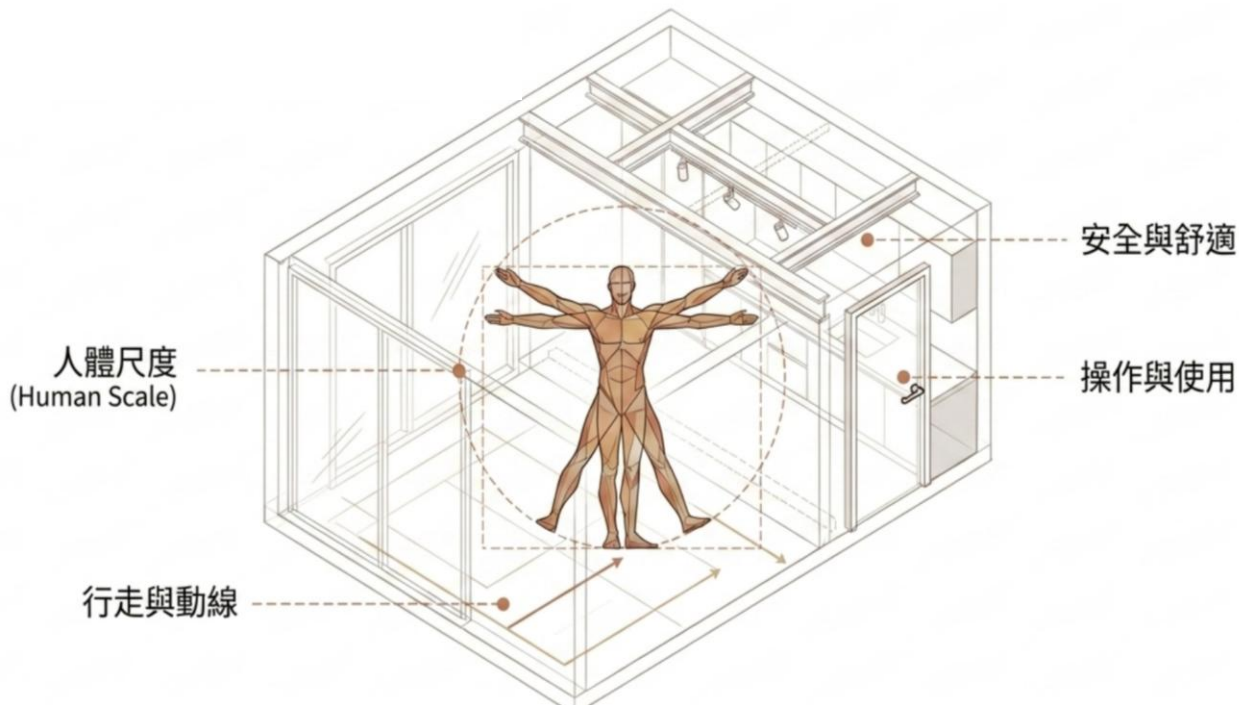
Challenge 03 | 以人視角的延伸

建築是為人存在的物理空間

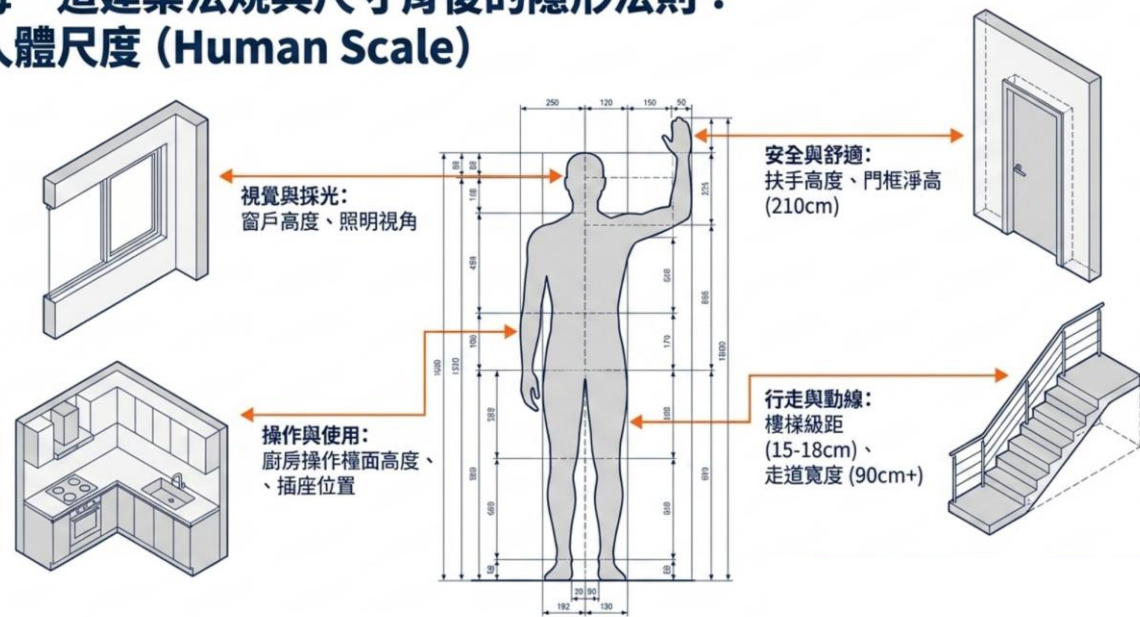
人體尺度、行走與動線、視覺與採光、操作與使用
安全與舒適、社交與交流、地域、文化與生活習慣

營造工程是在人施工條件下發展出來的系統

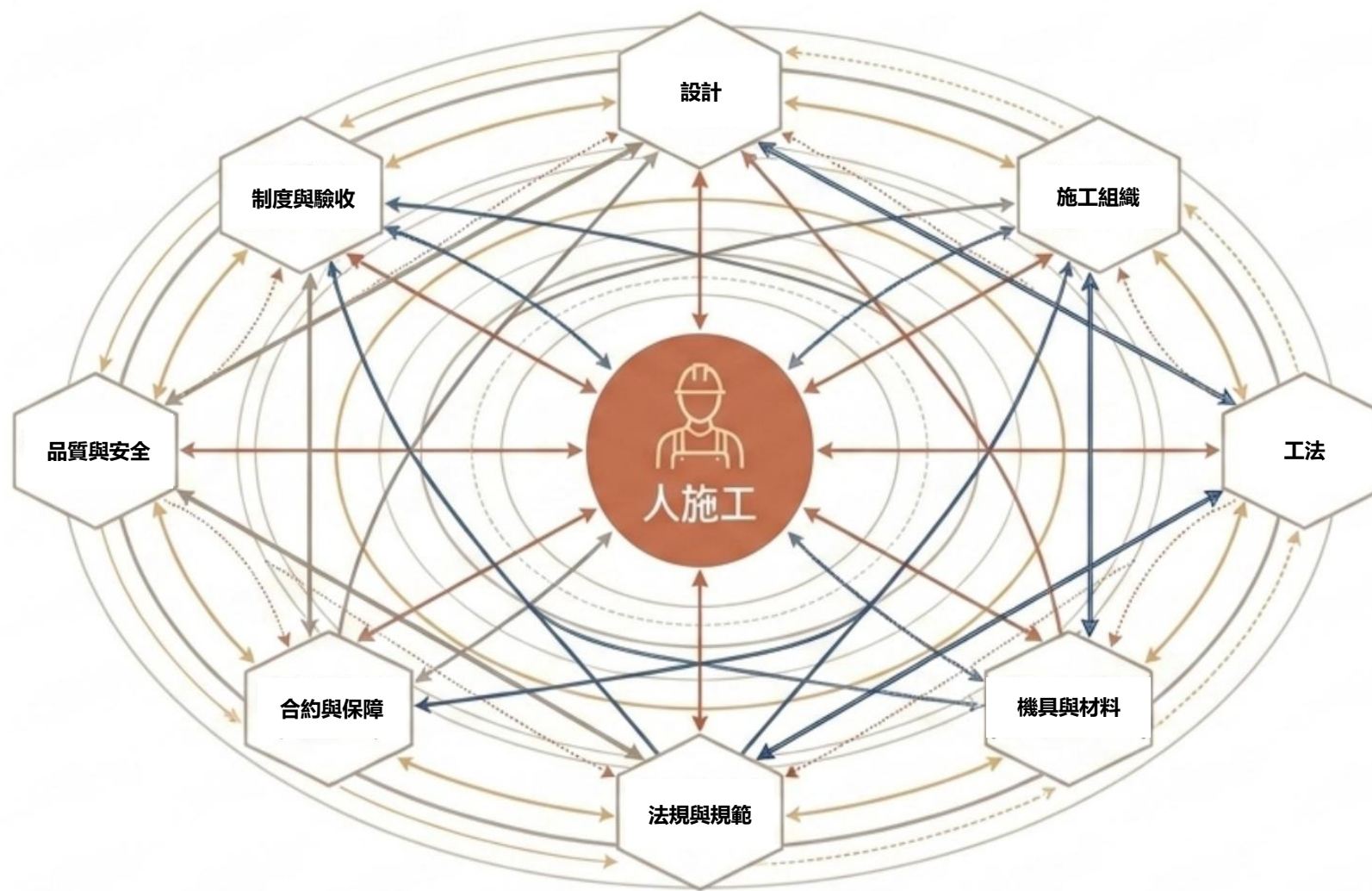
人設計、為人而存在



每一道建築法規與尺寸背後的隱形法則： 人體尺度 (Human Scale)



人施工、演化為複雜的工程生態圈



一套高度依賴“以人為主要施工者”所建立的路徑依賴與制度

Challenge 04 | 真正的對手不是人

而是「人類面對例外情況的即時處理能力」

Robot : Error → Stop

Human : Error → Judge → Adjust → Continue

人機協作是將會是施工現場的核心

人類 vs. 機器人

人類核心優勢

判斷 應對突發狀況與非標準化環境

協調 跨工種溝通與界面整合

應變 處理無法預測的現場干擾

創意 解決工程圖說未定義的模糊地帶

機器人核心優勢

重複 零疲勞維持一致性品質

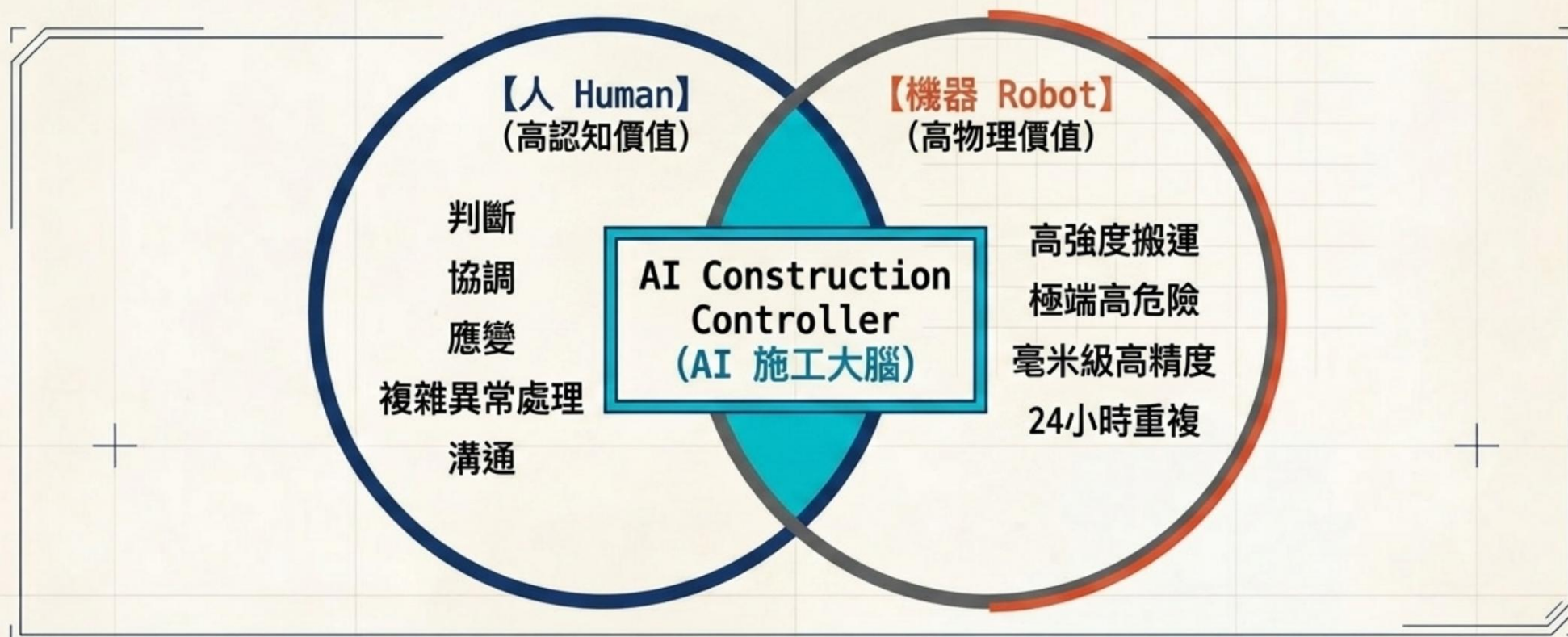
搬運 承受高強度與高風險勞動

精度 毫米級的數位模型實體化

數據 長時間運作並同步生成數位孿生

人機協作 (Human x Robot)

不是消滅人，而是將人與機器的極端優勢重新組合。
未來不是 Human vs. Robot，而是 Human x Robot。

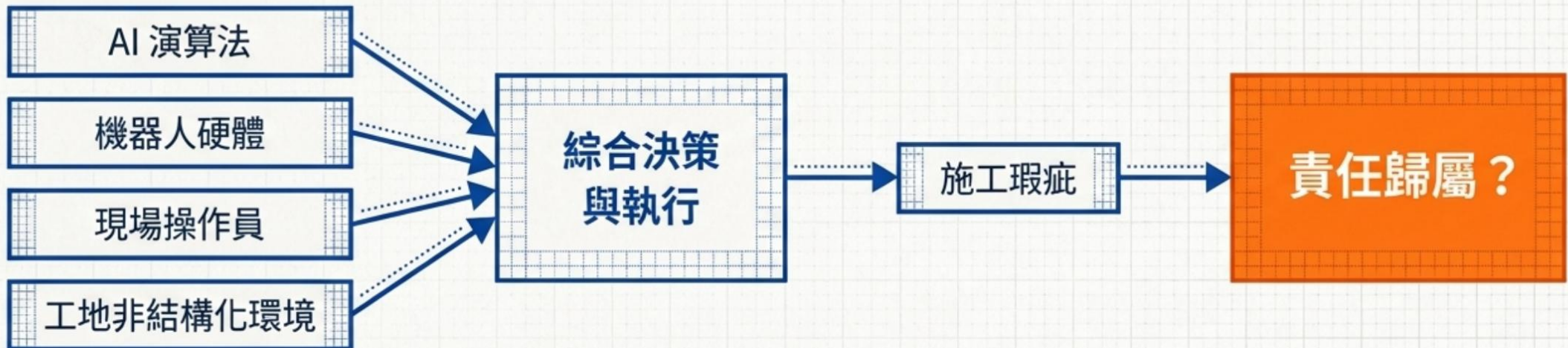


施工者改變，責任鏈重構

傳統責任鏈



機器人責任鏈



機器人不是「工具升級」，而是「施工者角色」的徹底改變。
缺乏針對 AI 自主決策的工程保險與合約框架。

人類 + 機器人 產生的衝突

法規

- 傳統：以「保障人員勞安」為核心。
- 衝突：機器人安全邊界與人機協作範圍如何合法劃分？

規範

- 傳統：基於「人工操作工具」的標準。
- 衝突：AI 自主運算與機械手臂操作的精度標準完全不同。

驗收

- 傳統：事後由人工進行抽測檢查。
- 衝突：機器人具備實時量測能力，傳統事後驗收成為流程瓶頸。

保險

- 傳統：針對「工人意外」與「人為疏失」。
- 衝突：演算法錯誤或感測器失效導致的損失，屬硬體、軟體還是營造廠責任？

新的遊戲規則

BIM × Robot: 從模型走向施工閉環

BIM 不只是「給人看的圖」，而是機器人的任務來源與反饋入口

BIM

設計 / 任務

Task Planning

任務拆解

Robot Planning

路徑 / 動作

Execution

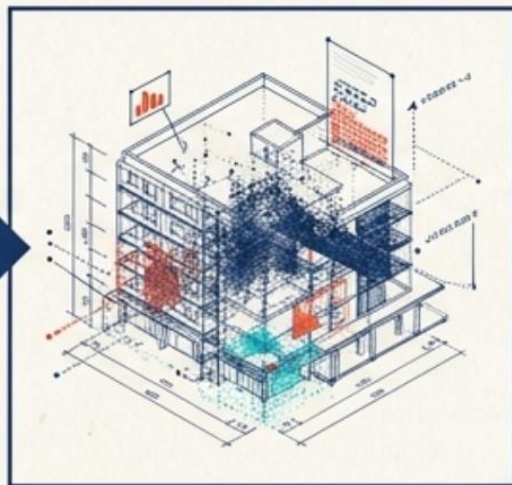
現場執行

Site Data

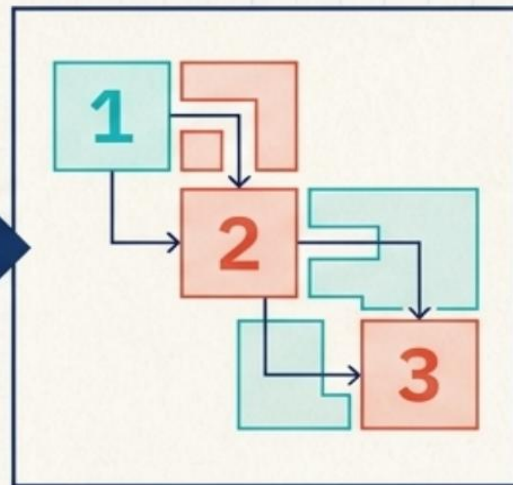
掃描 / 影像



Digital Model
(傳統 BIM 模型)



Spatial Understanding
(空間語意理解)



Task Planning
(工序與任務拆解)



Robot Navigation
(路徑導航與作業地圖)

Data → Decision → Action → Feedback

AI 到底改變什麼？

在營造工地，它將將像「理解與決策權」



AI 的價值：讓 Robot 從「執行命令」走向「理解情境」

從 Demo 到 Deployment: 五個階段

同一台機器人，實驗室與工地是兩個不同世界
技術可行只是第一關

01 Technical

技術可行

02 Construction

施工可行

03 Safety

安全可控

04 Economics

經濟效益

05 Business

可複製商業模式

九九八十一難，成為模式

建築機器人 SOP 三階段演進圖

從模仿人 → 理解工作 → 超越人

01 模仿人的 SOP Human-like SOP

人怎麼做，機器人就怎麼做



範例：地坪施工程序（人的 SOP）



特點與目標

- 以人工作業流程為基礎
- 動作模仿、工具替代
- 目標：讓機器人員備施工能力



02 歸納機器人的 SOP Robot Standard SOP

找出機器真正需要的流程



人 vs 機器人 SOP 對比（範例）



特點與目標

- 大量數據收集與分析
- 移除人類限制因素（疲勞/習慣/工具限制）
- 建立機器人標準作業流程（Robot SOP）
- 目標：提升效率、穩定性與一致性



03 適用型機器人 SOP Robot-native SOP

發揮機器人優勢的最佳作業方法



機器人擅長的優勢



特點與目標

- AI 自主決策與路徑規劃
- 機器人自己決定「怎麼做」
- 依目標自我優化與自適應施工
- 目標：超越人類效率與品質

工程師定義目標

達成品質/數量/時間/安全

↓
機器人自主達成最佳解

技術基礎
與關鍵能力



演進總結



模仿人
讓機器人會做



理解工作
讓機器人做得更好



超越人
讓機器人自我進化

人定義目標，
機器人自己決定怎麼做

建築機器人：機械・機構設計・型態的演進

從模仿人到超越人，發展機器人最擅長的设计與型態



01

Human (人)

以人為中心的设计思维

機械・機構・型態 = 適應人
依賴人的能力、工具與環境限制

機械設計

- 人力驅動 / 電動工具
- 功率受人體限制
- 依賴手持工具

機構設計

- 關節自由度符合人體
- 動作範圍受人體結構限制
- 需配合人工作業習慣

型態特徵

- 手持 / 背負 / 推拉為主
- 體積小、結構簡單
- 靈活但效率受限

設計重點

安全性
 人機舒適
 成本
 操作便利

02

Robot (機器人模仿人)

以人為參考的機器人设计

機械・機構・型態 = 模仿人
模仿人的動作與流程，替代人力執行

機械設計

- 電動 / 液壓驅動
- 功率提升但仍模仿人動作
- 工具端效能提升

機構設計

- 多關節機構模仿人手臂
- 自由度接近人體
- 需考慮作業姿態與可達性

型態特徵

- 機械手臂 + 移動平台
- 型態接近人工作業方式
- 需在狹小空間操作

設計重點

精準度
 安全防護
 穩定性
 持續作業

03

Robot-native (機器人原生)

以機器人為中心的设计思维

機械・機構・型態 = 發揮機器人優勢
突破人類限制，發展最適合機器人的形態與能力

機械設計

- 高功率密度驅動系統
- 模組化 / 高整合設計
- 能源效率最優化
- 多工具快速切換

機構設計

- 機器人專屬自由度設計
- 超出人體可達性
- 連續性 / 柔性機構
- 適應複雜環境

型態特徵

- 非對稱 / 非人形設計
- 低重心、穩定性高
- 自主導航與避障
- 長時間自主作業

設計重點

效率最大化
 自主智慧
 節能永續
 系統整合

三階段 關鍵差異 對比

	Human (人)	Robot (機器人模仿人)	Robot-native (機器人原生)
設計核心	以人為中心	模仿人類動作與流程	以任務目標為中心
機械能力	人體力量級	高於人體	遠超人體限制
自由度	符合人體結構限制	接近人體自由度	超越人體、專為任務設計
作業效率	受體力與工具限制	穩定、可重複	最佳化、長時間、高一致性
環境適應	依賴人類經驗	需預設環境與路徑	自主適應複雜環境
智能化程度	低 (人為決策)	中 (半自主)	高 (自主決策、學習優化)

演進目標



人定義目標，
機器人以合適的型態完成工作

不是問「Robot 能不能做」

更重要的是：Robot「應不應該做」？

Robot Should Do?

高頻率

每天 / 每週大量發生

高危險

高處、粉塵、重物、危險環境

高負荷

搬運、打磨、長時間作業

高重複

動作標準、規律

高精度

需要穩定品質

優先自動化：高頻 × 高危 × 高負荷 × 高重複 × 可標準化

什麼任務值得導入 Robot?

用一套可量化的篩選框架，避免「為了機器人而機器人」

維度	核心問題	關鍵特徵
頻率	每天 / 每週做幾次？	高頻
人力	需要幾個人？	人力密集
危險	是否高風險？	危險 / 高處 / 粉塵
重複	動作是否規律？	高度重複
標準化	工法是否穩定？	可標準化
ROI	多久回本？	可量化
複製性	能否跨工地？	可規模化

台灣營建機器人評估?

	產品方向	臺灣市場需求	缺工痛點	ROI	技術難度	工地落地	競爭程度	3-5年潛力
1	智慧搬運機器人	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
2	室內噴塗機器人	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★★★★
3	Epoxy／地坪施工機器人	★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★	★★★	★★★★★
4	牆面打磨機器人	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★★★
5	外牆噴塗／高空施工機器人	★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★	★★★	★★★★★
6	測量／放樣機器人	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★★★	★★★★	★★★★
7	AI品質檢測機器人	★★★★★	★★★	★★★★	★★★	★★★★★	★★★★	★★★★★
8	建材樓層配送機器人	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★	★★★★★
9	鑽孔／開孔機器人	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★	★★★★
10	鋼筋綁紮機器人	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★★	★★★	★★★	★★★★★
11	焊接機器人	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★
12	拆除機器人	★★★	★★★★★	★★★★	★★★	★★★★★	★★★★	★★★★
13	砌磚機器人	★★	★★★	★★★	★★★★★	★★	★★★★	★★★
14	3D列印建築機器人	★★	★★	★★	★★★★★	★★	★★★	★★★★
15	人形建築機器人	★★★	★★★★	★★	★★★★★	★	★★★★★	★★★★★

營建業中不適合人施工的場景

You I-change

高危險環境	有毒有害環境	極端物理環境	狹小封閉空間	高重複性/低價值工作
 高空外牆施工	 環氧樹脂施工	 高溫焊接作業	 管道內作業	 大面積地坪施工
 拆除工程	 防水塗料噴塗	 屋頂高溫作業	 風管內作業	 重複性牆面施工
 深開挖工程	 噴漆作業	 低溫環境作業	 電纜溝作業	 研磨/打磨作業
 地下室/隧道作業	 石綿拆除	 高濕環境作業	 水箱內作業	 清潔作業

拒絕局限空間高風險危機 迎向低風險智能施工

TCRI Epoxy (環氧樹脂) 地坪塗佈自動化施工機具

潛在的致命危機

士林區地下室工安意外

114年8月，7名工人在地下室進行環氧樹脂防水工程時，因空間密閉且通風不良，吸入過量有毒氣體，導致5人當場昏迷送醫急救。

人工塗佈作業在局限空間中，會使揮發性有機物(VOCs)迅速蓄積，讓前線勞工無時無刻暴露於中毒的高風險之中，成為營造現場的隱形殺手。

士林區公安意外! 7工人地下室吸入過量"環氧樹脂"5人昏迷

民視新聞網
2025年8月1日

加入為 Google
偏好來源

f

LINE

↔

0



士林區公安意外! 7工人地下室吸入過量"環氧樹脂"5人昏迷

民視新聞網

防水工程吸入揮發性氣體 7工人身體不適送醫

來源：勞動部職業安全衛生署

不可挽回的悲痛教訓

112年11月，生物池甲苯中毒致死：勞工作業於深達 7.6 公尺的生物池槽內，因通風不良且未連續監測，VOCs 濃度 高達 175ppm。勞工吸入甲苯中毒昏迷，並在狹窄的施工架救援過程中跌落池底，釀成 1 死 1 傷的重大職災。

事件：從事生物池環氧樹脂塗佈作業發生甲苯中毒致1死1傷災害

一、發生經過

112年11月24日勞工陳員、徐員從事生物池槽環氧樹脂噴布作業時，陳員因吸入甲苯導致中毒昏迷，由徐員抱著陳員爬上樓梯，池槽上方負責調料及看顧機台的王員、鄭員見狀一同進行救援，惟因施工架樓梯狹窄，移動到一半時陳員的腳卡住，於是徐員爬出施工架向外求救。救援人員抵達時，陳員、王員則跌落至池槽底部地板，經送醫搶救後，陳員宣告不治、王員經治療後出院。



二、原因分析

1. 直接原因：從事生物池環氧樹脂塗佈作業時，吸入甲苯中毒。
2. 間接原因：
不安全狀況：
 - (1)現場雖設有通風設備，惟風管未接近有機溶劑發生源，未能有效通風換氣。
 - (2)局限空間從事有機溶劑作業，作業前及作業期間未連續確認有害物質濃度。
 - (3)局限空間作業未置備可以動力或機械輔助吊升之緊急救援設備。

傳統人工塗佈的痛點與盲區

高度毒害暴露

環氧樹脂施工過程中必然釋放甲苯等有害溶劑。在通風受限的地下室或儲槽內，人工施作意味著長時間浸泡在有毒環境中，嚴重威脅勞工神經系統與生命安全，即便佩戴防護具亦難完全避免風險。

救援極限困境

局限空間出入口狹窄，一旦發生缺氧或氣體中毒昏迷，傳統人力救援不僅耗時，更可能導致救援者接連中毒（如生物池事件）。高風險的環境需要從根本上隔離人員進入。



TCRI 環氧樹脂塗布機



以自動化設備取代人力，讓施工人員遠離毒氣危害，從源頭降低工安風險。專為現代化工業與商業地坪量身研發，一機包辦「塗佈底塗、塗佈中塗、塗佈面塗」核心工藝，大幅改善解決勞動安全與效率瓶頸。

拒絕職業傷害，提升營建品質的新指標



安全，是營建工程不可妥協的底線。自動化不僅是效率的躍升，更是對勞工生命的絕對尊重。





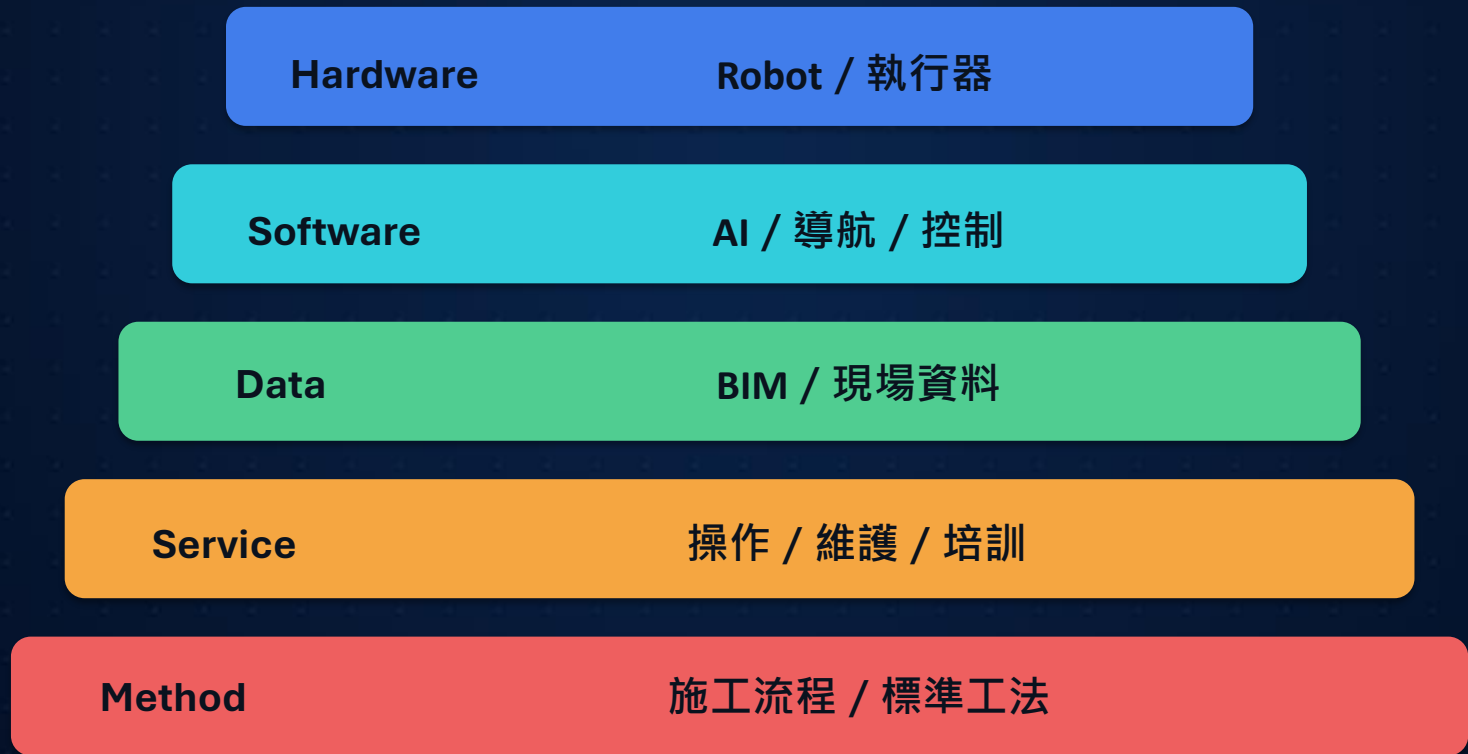
底塗



面塗

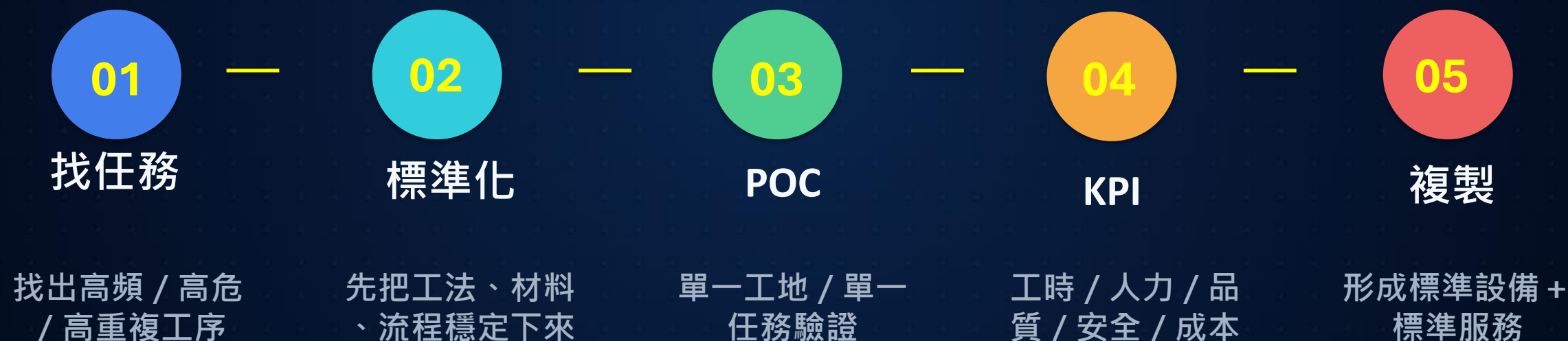
不只是一台 Robot

真正的競爭力，來自「設備 + 軟體 + 服務 + 施工方法」



Robot-as-a-Service / Construction Automation-as-a-Service

從 0 到 1：營建機器人導入路徑



最後才是 Scale：跨工地、跨客戶、跨工種

三個結論

把「機器人」重新放回「施工生產力」的脈絡

01

可靠比自主更重要

第一階段先解決可重複、可預測、可衡量的任務

02

Human + Robot

不是取代工人，而是重新分配人與機器的工作

03

System > Robot

真正價值不是一台機器，而是一套可複製的施工自動化系統

**The Future of Construction
is not Human vs. Robot.**

It is Human + Robot.

讓機器人進入工地，不是為了取代人
而是讓人不必再做機器更適合做的工作

感謝聆聽

Q&A | 你認為下一個值得自動化的施工工序是什麼？

Thank you

Q&A

Mobile × Manipulation × AI × BIM × Human

從一台機器人，到一套施工自動化系統。

Q&A | 你認為下一個值得思考的議題是什麼？

Thank you

1. 快去生小孩
2. 轉行
3. All in TSMC
4. 接受他、面對他

感謝聆聽
一起面對



Line ID: hbyang
0921566548