



ROSO 营建機器人 研究：邁向營建 自動化與智慧化的一小步

盛郁庭*／逢甲大學建築專業學院 副教授

營建產業面臨勞力不足、安全風險高與效率不彰等問題。ROSO 研究團隊以「材料、AI 運算設計、機器人建造」為核心，開發 TACO BIM 系統，將 BIM 模型直接轉換成機器人路徑，推動預鑄與現場施工兩大應用。在預鑄領域，2023 年完成《韻水漫漫》，為台灣首例無模板水泥 3D 列印公共裝置，具備低碳、高效與設計自由的特色。在現場施工方面，團隊研發「黑武士」系列機器人，結合 SLAM 與智慧調度，能適應複雜工地並投入實際施作，提升效率與安全。ROSO 強調跨域合作，結合建築、工程、機械與 AI，並透過產學合作與新創推動，逐步推進營建自動化「智慧工地」的願景。

關鍵詞：營建自動化、TACO BIM、水泥 3D 列印、施工機器人、營建機器人

前言與產業背景

前言與產業背景營建產業長期面臨三大挑戰：人力短缺、施工安全與生產效率不足如表 1。台灣近年人口結構改變，年輕世代投入營建工作的比例逐漸下降，現場勞力需求卻持續增加，導致施工單位仰賴外籍勞工比例偏高。另一方面，工地為高危險工作環境，根據統計，營建業事故率始終位居各行業前段。同時，營建作業工序繁複、工期壓力龐大、專業技能培養期長，導致施工品質與效率難以穩定維持。

在全球趨勢上，歐美與日本等國已逐步導入 BIM、人工智慧（AI）與機器人自動化技術，藉由資訊整合、感測與自動化施工，發展「智慧工地」模式。然而，營建自動化並非單純取代人力，而是將高風險與重複性的任務交由機器執行，讓人力得以專注於規劃、決策與創造性工作。ROSO 研究團隊正是在此背景

下展開，致力於使工地轉型為安全、智慧且具創造力的新環境。

表 1 营建產業三大挑戰

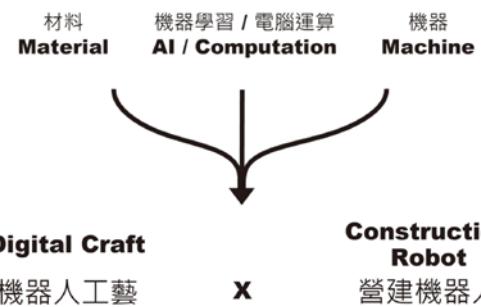
挑戰面向	現況說明	影響
人力短缺	勞動力老化、年輕世代投入不足	工期延長、施工成本上升
施工安全	高空、重物、粉塵等高風險環境	工安事故率居高不下
生產效率	傳統工序仰賴人工，效率難提升	品質不穩定、進度落後風險

ROSO 研究發展脈絡

ROSO 成立於逢甲大學建築專業學院，專注於數位設計與營建機器人的跨領域研究。團隊長期關注機器人建造技術在建築、藝術與營建產業的應用，探索「材料」、「AI 運算設計」與「機器人建造」三者交互作用下的潛力。一方面挑戰機器人藝術在建築應用的極限，另一方面則針對工地實際問題開發專用施工機

* 通訊作者，ytsheng@O365.fcu.edu.tw

器人，致力於提出解決方案。這些努力逐步推動營建機器人於「智慧營建」領域展現新的契機。在國科會科研創業計畫支持下，ROSO 也衍生成立新創公司，將研究成果持續推進到產業應用中。ROSO 試圖將這兩種觀點整合—從實驗到應用，從設計到產業以推動營建機器人在「智慧營建」領域展現新的契機與視野。更進一步地，在國科會「科研創業計畫之萌芽計畫與拔尖計畫」補助下，衍生成立新創公司，持續研發與實際執行業務與產業中。



How robot will explore new possibility for architectural materialization?
How Robotics Will Transform the Global Construction Industry?

圖 1 ROSO 研究核心方向

智慧營建：TACO BIM 機器人建造系統

工業機械手臂近年已跨足建築、設計與藝術等領域，開啟新應用契機。不同於傳統大量生產（Mass Production）的模式，建築與設計領域更強調大量客製化（Mass Customization），追求少量、多樣且使用者友善（User Friendly）。因此，現場需要一個能快速生成機器人運動軌跡與控制流程的系統，以因應多樣化任務。同時，如何簡化複雜的控制語言，降低第一線施工人員的操作門檻，也是推動自動化的關鍵。

ROSO 自主開發的 TACO 機器人控制系統，結合建築資訊模型（BIM），讓設計資料可直接轉換為機器人運行路徑，實現一體化的資訊傳遞。此舉不僅提升施工效率，也在「大量製造」與「快速客製」間找到平衡，為產業開啟一條由自動化驅動的新路徑。ROSO 進一步針對「預鑄機器人」與「現場施作機器人」進行實測，驗證技術可行性，並希望藉此重新定義工地師傅的角色，從勞動者轉型為能監測與協作機器人的工程師。

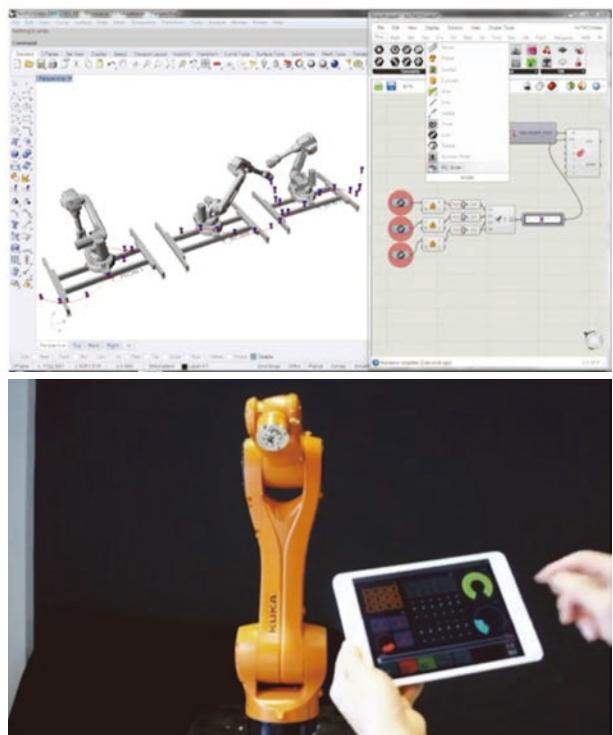


圖 2 (上) 免程式碼機器人控制解決方案；
(下) 遠端面板即時控制機器人



圖 3 智慧工地 TACO BIM 系統圖

營建自動化機器人研發成果

營建機器人預鑄工法於景觀工程 – 水泥 3D 列印

ROSO 主持人於 2016 年開發出第一代機器人水泥列印系統，其核心概念為「免拆模模具」。透過機械手臂的自由運作，可以直接生成具多樣曲面變化的構造模具，無需傳統拆模程序。此系統的目標在於量產建築單元，但在推動過程中也面臨幾項挑戰，包括：

- 3D 水泥列印材料的準備：如何確保配比穩定、性能符合結構需求。
- 可泵送性與流動順暢度：影響列印過程的穩定性與施工連續性。



圖 4 機器人水泥 3D 列印自由造型模具

- 機器人運作範圍：限制了可製作建築單元的最大尺度。
- 可堆疊性：確保列印單元能有效成型，並滿足結構穩定性與施工效率。

綜合前期的研究經驗，並持續改良後，ROSO 於 2023 年首次將水泥 3D 列印工法應用於台灣大型實際工地。《韻水漫漫》(Flowing Rhymes) 不僅是全台首座無模板水泥 3D 列印公園景觀裝置，同時也是台灣第一件大型水泥 3D 列印街道家具。此作品由 ROSO 與趙建銘建築師共同完成，成為台灣水泥 3D 列印發展的重要里程碑。該作品展示了水泥在無需模板的情況

下，依然能塑造自由曲面。從設計角度來看，水泥 3D 列印意味著更高的創作自由度，能將設計推向新的層次；對使用者而言，則帶來全新的視覺與觸覺體驗，徹底顛覆傳統水泥「生硬」的印象。在施工與結構層面上，每一塊單元皆可於工場預先製作，再透過編號在工地現場快速定位與吊裝完成，大幅縮短工程師的施作時間。更重要的是，水泥 3D 列印的材料利用率接近 100%，幾乎沒有廢料；透過結構分析與支撐路徑優化，亦能有效減少水泥用量，並形成多個空腔以降低結構自重。這些特性不僅提升施工效率，也在「淨零碳排」的時代背景下，展現了永續營建的巨大潛力。



圖 5 (左) 韵水漫漫平面圖；(右) 韵水漫漫單元圖



圖 6 水泥列印大量客製單元



圖 7 機器人執行 3D 水泥列印



圖 8 3D 水泥列印快速乾式組裝



圖 9 韻水漫漫行成三維向度自由之曲面起伏



圖 10 作為免拆模水泥列印預鑄柱子的可能性嘗試

現場施工機器人

ROSO 的工地施作機器人發展，靈感部分來自於自動化倉儲系統的運作邏輯。在倉儲領域中，機器人能透過即時定位、路徑規劃與分工協作，大幅提升效率並降低人力負擔。將這樣的模式借鏡於營建現場，轉化為適應複雜工地條件的施工流程。不同於工廠或倉儲的可控環境，工地充滿不可預測的挑戰，因此我們透過感測器融合、SLAM 定位與智慧調度，讓施工機器人能逐步具備「如同自動倉儲般的協調能力」。這不僅讓施工任務更有秩序與精準度，也能營造一個更安全、更高效的建造環境，使工人能專注於監測與決策，將繁重、危險的工作交由機器人執行。



圖 11 學習倉儲自動化的工地自動化的願景圖

現場施工機器人 - 黑武士

目前 ROSO 開發的移動式施工機器人「黑武士」已經過多次迭代，並已經實際進入工地承接案件當中，而機器人進入到工地現場當中，需要具備的移動性和空間感知能力與傳統自動化廠的移動底盤機器人並不相同。在營建工地上，需要面對的是惡劣充滿積水粉塵的、動態開放變動的環境、在建築工地中迷失的方向，因此，當進入到工地中的機器人，需要具備適應工地地形的移動系統、空間感知系統、適應工地環境的機械手臂，與聰穎整合各系統的大腦。因此，「黑武士」便是在此架構下，逐步整合多項技術並統合於 TACO BIM 系統軟體中。



圖 12 ROSO 噴漆機器人

現場施工機器人系統

營建機器人的運作並非單純依靠機械手臂本身，而是建立在一個由設計、控制、感測與介面共同構成的整合系統之上。首先，設計端透過 Rhino 與 Grasshopper 等數位工具進行幾何建模與運動軌跡規劃，這些資料隨後被轉譯並傳輸至伺服器，作為機器人運作的基礎語言。控制器負責將這些軌跡資料轉化為機器人能理解的程式指令，精確驅動機械手臂完成施工動作。與此同時，感測器持續扮演關鍵角色：視覺系統可即時監測環境與物件位置，力回饋模組能測量施工過程中的受力狀態，測量感測器則用以校正定位與精度。這些數據不斷回饋至系統中，確保施工過程能在誤差累積前即時修正，維持穩定與可靠性。另一方面，為了使工地人員能更直觀地操作與監控機器人，系統也搭配了平板等人機介面，讓使用者能快速進行任務調整或即時干預。這樣的架構意味著營建機器人是一個持續循環的協同系統：設計模型驅動施工，感測數據回饋修正，人機介面維持操作彈性。唯有透過這種多層次的整合，機器人才能在充滿變數的工地環境中，實現定位、靈活應變與智慧化建造的目標。

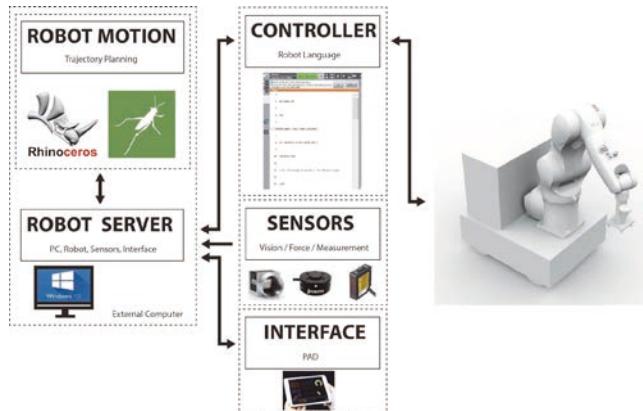


圖 13 現場施工機器人系統圖

現場施工機器人核心定位技術組成

「黑武士」施工機器人的核心功能，在於能夠在任務執行過程中透過視覺與空間感知，形成完整的機器人空間定位系統，讓它理解自身在環境中的位置。為達到這一目標，「黑武士」採用了 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping，即時定位與建圖) 技術，使其能在複雜且不規則的工地環境中導航，並完成施工任務。

1. 感測器輸入

- 搭載 LiDAR 光達掃描環境，獲取高密度的點雲資料。
- 深度相機 捕捉影像與深度，辨識障礙物與施工區域。

2. 地圖生成

- 系統會整合這些感測數據，建立工地的 2D/3D 地圖。
- 因應工地灰塵、雜亂環境，SLAM 系統會進行點雲過濾與配對，優化地圖之穩定性。

3. 定位與路徑規劃

- 在建構的地圖上，黑武士可判斷自身位置，並即時修正累積誤差。
- 在牆面施作中，系統可結合路徑規劃演算法，決定最佳作業路徑，讓黑武士能透過指令到達大致之指定施工位置。

ROSO 現今營建機器人現場施作團隊

再奠定了核心技術基礎後，ROSO 已不再停留於實驗室，而是開始透過實際案件，將機器人帶入工地第一線進行施作。透過真實場域的任務，我們得以不斷驗證、學習與修正，讓技術持續進步。目前 ROSO 已開發出多款施工機器人如圖 15：黑武士 2 mini 號，專

為住宅與小尺度空間設計；檢測工地機器人，負責環境掃描與紀錄；以及 黑武士 2 號，針對地下室與大型廠房能進行高強度作業。這些機器人逐漸從研發走向工地應用，並在不同任務中展現效能。

同時，ROSO 也陸續簽署了與西門子 (Siemens) 及台中市政府的合作意向書，共同推動營建自動化之施工機器人在更廣範圍的落地應用。而在國內，ROSO 已經開始透過實際承接建設與營造案件，讓機器人真正走進工地第一線，在持續施作的過程中，邊做邊修正，逐步形成一支多樣的機器人施工團隊，持續朝營建自動化的方向前進。



圖 14 (上) 黑武士 1 號於實驗室做定位測試；
(下) 相機跟隨機器人 (eye-in-hand) 工具頭的模式



圖 15 ROSO 營建機器人現場施作團隊
(左：黑武士 2 mini 號；中：檢測工地機器人；右：黑武士 2 號)

一場智慧營建跨域動態合作的實驗場

ROSO 的團隊由建築設計團隊、工程師、機械專家與機器學習研究者所組成，核心精神在於跨領域協作。營建自動化並非單一專業即可完成，而是必須整合設計思維、結構安全、演算法運算與精密控制等多方面的知識與經驗。跨域合作最大的挑戰在於「語言」差異：建築師關注空間與形式，土木與結構工程師強調安全與耐久，數學與電腦科學專家則重視資料運算與模型效能，機械與控制工程師則專注於硬體精度與穩定性。ROSO 的工作日常，就是讓這些不同的專業語言在同一基準下有效對話。

每一項研究成果與實際應用，都是這種跨域磨合的結果。ROSO 採取動態組織的方式，依據專案需求靈活調整團隊組成，讓研究與應用能夠回應建築與營建產業的複雜需求。在這樣的作模式下，機器人不僅是單純的施工設備，而是跨域整合成果的具體展現。透過實際工地施作與持續修正，ROSO 將跨域協作轉化

為推動營建自動化與智慧化的動力，使每一次的驗證都能成為未來營建模式的新提案。

參考文獻

1. 中華民國土木技師公會全國聯合會，〈衰退的火車頭工業（營造業）應突破困境〉，《技師報》，第 948 期，2015 年 2 月 7 日，pp. 8-1。網址：<http://www.twce.org.tw/modules/freecontent/include.php?fname=twce/paper/948/8-1.htm>
2. 科技產業資訊室。 (2018 年 5 月 24 日). IFR: 工業機器人 2017 年約 34.6 台，年成長 15%。取自 <http://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=14472>
3. About PRETTYGOODLIFE.COM SHOWROOM, <http://glform.com/environments/prettygoodlife-com-showroom/>
4. About Rhinoceros 3D and Grasshopper, https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D
5. 建設機器人相關案例：
Spray-painting robot makes painters redundant(2016): <http://www.constructionmanagermagazine.com/international/spraypainting-robot-makes-painters-redundant7ant/>
6. Dormehl, L. (2017). SAM is a construction robot that can lay bricks 6 times faster than you can: <https://www.techexplorist.com/meet-sam-construction-robot-works-500-faster-humans/5357/>



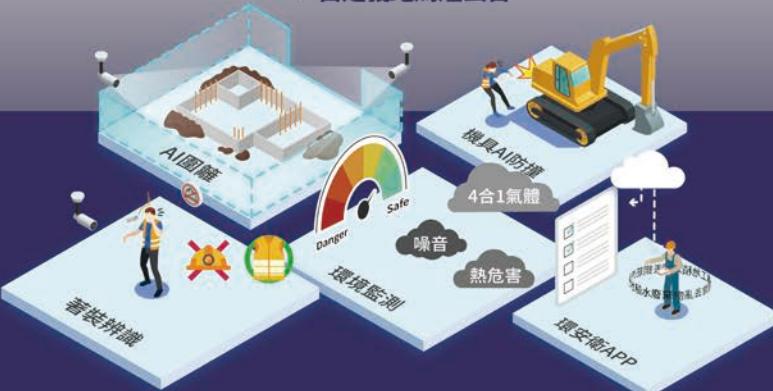
移動式智慧門禁屋

- 以貨櫃模組打造
- 整合智慧門禁 + 人員辨識與數據管理
- 一次吊裝到點，插電即用
- 隨工區轉移皆可靈活部署，確保工地安全高效
- 可加裝警衛亭與降溫設備



整合型工區管理戰情大屏

- 工地 CCTV 影像串接
- 溫度濕度及熱危害換算
- 人車門禁即時數據、統計數據
- 自定義跑馬燈公告



更多 智慧工地 科技降災服務及簡報邀約
歡迎來電洽詢



艾凡斯頓科技有限公司 電話 :02-2771-0178
信箱 :SALES@EVANSTONAIOT.COM
EVANSTON TECHNOLOGY LTD.
地址 : 臺北市大安區忠孝東路 4 段 221 號 12 樓