

驅動建築產業創新之數位轉型先 導研究計畫— 以社會住宅應用為例

內政部建築研究所業務委託成果報告

中華民國 112 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

驅動建築產業創新之數位轉型先 導研究計畫— 以社會住宅應用為例

受委託單位：國立成功大學

計畫主持人：鄭泰昇

共同主持人：曾光宗、陳上元

研究人員：龔智群、張復堯

研究助理：賀昭恩、謝慈芯、劉岱恩

葉宗帆、陳建安

研究期程：中華民國 112 年 5 月至 112 年 12 月

計畫經費：新臺幣 128 萬 2 仟元

內政部建築研究所業務委託成果報告

中華民國 112 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

目次

目次.....	I
表次.....	IV
圖次.....	V
摘要.....	XIV
ABSTRACT.....	XVII
第一章 緒論.....	1
第一節 計畫緣起.....	1
第二節 建築產業數位轉型所面臨的挑戰	1
第三節 研究目標.....	3
第四節 研究步驟、架構與流程	5
第五節 進度說明.....	6
第二章 相關文獻與發展現況	7
第一節 數位轉型的 world 發展趨勢	7
第二節 生成式人工智慧的發展現況	22
第三節 台灣發展人工智慧應用的階段性挑戰	25
第四節 先進國家推動數位轉型相關策略	27
第三章 數位工具、平台與前瞻數位技術盤點	32
第一節 AI 人工智慧的發展與應用.....	32

第二節	XR 技術的發展與應用.....	37
第三節	3D 掃描技術的發展與應用.....	43
第四節	Robot 機器人的發展與應用.....	46
第五節	Digital Twin 的發展與應用.....	48
第四章	數位轉型論壇與產業需求調查	53
第一節	台北 AI 建築師論壇	55
第二節	高雄 AI 建築教育論壇	57
第三節	台南 AI 建築師論壇	59
第四節	台北 AI 智慧建造論壇	61
第五章	創新數位轉型模擬設計案例實作	63
第一節	現況流程分析	66
第二節	實作案例演練	69
第三節	演練成果分析	106
第六章	結論與建議	107
第一節	結論	107
第二節	後續研究與出版	110
第三節	具體建議事項	110
附錄一	AI 建築師論壇-台北場	112
附錄二	AI 建築教育論壇-高雄場	122

附錄三	AI 建築師論壇-台南場.....	131
附錄四	AI 智慧建造論壇-台北場.....	139
附錄五	期中審查意見與回覆.....	147
附錄六	期末審查意見與回覆.....	153
參考書目		157

表次

表 1-1：預定進度表	6
-------------------	---

表 2-1 機器人參與程度表（圖表來源:Emaminejad & Akhavian, 2022）	19
--	----

圖次

圖 1-1	數位轉型的效益與價值(圖片來源：本計畫繪製)	2
圖 1-2	數位轉型涵蓋的科技技術層面(圖片來源：本計畫繪製)..	3
圖 1-3	研究步驟、架構與流程圖(圖片來源：本計畫繪製).....	5
圖 2-1	60 年代 Eastman 教授以 AI 研究為建築自動衍生的濫觴 ..	7
圖 2-2	人工智慧 AI 在建築應用研究的發展歷程	9
圖 2-3	2023 年 6 月 SimilarWeb 網站流量和 APP 使用者數	11
圖 2-4	激光掃描器的工作原理。(圖片來源:Wu et al., 2021).	13
圖 2-5	3D 掃描的工作流程(圖片來源:Wu et al., 2021).....	15
圖 2-6	現實-虛擬連續體的呈現 (圖片來源: Milgram & Kishino, 1994)	16
圖 2-7	營建現場之人機協作架構圖(圖片來源: Zhang et al., 2023)	19
圖 2-8	從 BIM 到建築環境中的數字雙胞胎的演進(圖片來源:Deng et al., 2021).....	21
圖 2-9	自行訓練語言模型 (圖片來源: AARG AI 建築研究室, 2023)	23
圖 2-10	以生成式 AI 執行平面設計(圖片來源: AARG AI 建築研究室, 2023)	24
圖 2-11	人工智慧的階段性挑戰(圖片來源：本計畫繪製)	26
圖 2-12	美國政府提供的公民數位服務(圖片來源：擷取自網路)	27

圖 2-13	英國的政府數位服務團隊 (GDS) 進行數位服務系統研發	28
圖 2-14	與 AEC 相關可開發應用程式類型與優先順序 (圖片來源: Arup)	29
圖 2-15	日本政府機構數位化架構 (圖片來源: 擷取自網路)...	30
圖 2-16	中國碧桂園集團的 BIM 技術應用實踐 (圖片來源: 擷取自網路)	31
圖 3-1	AI 人工智慧軟體 Midjourney 自動生成建築風格設計 (圖片來源: 擷取自網路).....	33
圖 3-2	Stable Diffusion + ControlNet 自動生成建築室內設計 (圖片來源: 劉岱恩繪製).....	35
圖 3-3	利用風格化小模型 LoRA 製作建築相關圖面	35
圖 3-4	Adobe Firefly 應用展示 (圖片來源: Adobe 官方網站)..	36
圖 3-5	擴增實境設計協作模擬圖 (圖片來源: 擷取自網路)	38
圖 3-6	混合實境 Hololen 2 設計協作模擬實作 (圖片來源: 成大建築 IA Lab).....	40
圖 3-7	混合實境中的協作設計流程實作 (圖片來源: 成大建築 IA Lab)	40
圖 3-8	從 WWDC 2023 捕獲的使用角色模板的三個不同的空間平台 (圖片來源: WWDC, 2023).....	42
圖 3-9	個人化編輯模式 (左), 允許每位用戶打開私人窗口 (右) (圖片來源: WWDC, 2023).....	43
圖 3-10	3Dscan 應用流程 (圖片來源: 張復堯繪製).....	44

圖 3-11	3D 掃描之應用可能(圖片來源:擷取自網路).....	44
圖 3-12	整合工業機器人的建築生產流程 (圖片來源:成大 RAC-Coon 數位智 造工坊).....	47
圖 3-13	博智林公司的機器人輔助施工案例(圖片來源:大陸碧桂園集團)	47
圖 3-14	數位孿生在建築產業之應用(圖片來源: 成大建築 IA Lab)	49
圖 3-15	SHoP 建築師運用 Digital Twin 預先檢視設計與營造細節(圖片來源: ShoP).....	50
圖 3-16	數位孿生的組成(圖片來源: 謝慈芯繪製)	50
圖 3-17	虛擬新加坡都市規劃示意圖(左) / 虛擬新加坡太陽能發電潛力分析 (右).....	51
圖 3-18	美國舊金山金門大橋的結構監測	51
圖 4-1	數位轉型論壇系列(圖片來源: 本計畫繪製)	53
圖 4-2	台北 AI 建築師論壇報名者職業統計(圖片來源: 本計畫繪製)	54
圖 5-1	數位轉型下的建築生命週期管理(一) (圖片來源: 本計畫繪製)	63
圖 5-2	數位轉型下的建築生命週期管理(二) (圖片來源: 本計畫繪製)	64
圖 5-3	軟體列表示意圖 (圖片來源: 本計畫繪製)	65
圖 5-4	數位轉型導入前瞻工具技術之建築生命週期模擬分析...	68
圖 5-5	將 Google Earth 地形數據複製到 Revit 流程圖(圖片來源:本計畫繪	

製).....	69
圖 5-6 透過 GPS Visualizer 轉換 GIS 點位資料格式(圖片來源:本計畫繪製)	70
圖 5-7 於 QGIS 導入 csv 點位資料 (圖片來源:本計畫繪製)....	70
圖 5-8 將經緯度點位資料轉換為 XY 軸相對距離資料結構 (圖片來源:本計畫 繪製).....	71
圖 5-9 在 Revit 當中以 Import csv 生成 Toposurface (圖片來源:本計畫繪 製).....	71
圖 5-10 進行周遭建築量體、景觀配置的 Dynamo 腳本 (圖片來源:本計畫繪製)	72
圖 5-11 A: 導入 Revit 地形並轉換為 Surface (圖片來源:本計畫繪製)	73
圖 5-12 B: 導入 CAD 檔案中的 Polyline (圖片來源:本計畫繪製)	73
圖 5-13 C: 生成混凝土建築物量體(圖片來源:本計畫繪製).....	74
圖 5-14 C-1: 將各個量體平面依附至現有的地形上(圖片來源:本計畫繪製)	74
圖 5-15 C-2: 將幾何物件從 Dynamo 轉換至 Revit 中(圖片來源:本計畫繪製)	74
圖 5-16 D: 生成鐵皮建築物量體(圖片來源:本計畫繪製)	75
圖 5-17 E: 生成雙斜屋頂建築物量體(圖片來源:本計畫繪製)...	75

圖 5-18 E-1:量體平面的 Bounding Box (圖片來源:本計畫繪製)	75
圖 5-19 E-1: 以 Bounding Box 定義斜屋頂幾何(圖片來源:本計畫繪製)	75
圖 5-20 F: 生成街廓量體(圖片來源:本計畫繪製)	76
圖 5-21 G: 生成景觀樹木(圖片來源:本計畫繪製)	76
圖 5-22 G-1: FamilyInstance.ByCoordinates 生成方法(圖片來源:本計畫繪製).....	76
圖 5-23 自動化 Revit 基地模建置(圖片來源:本計畫繪製)	77
圖 5-24 生成量體示意(圖片來源:本計畫繪製)	77
圖 5-25 限制性條件量體建置示意圖(圖片來源:龔智群繪製)...	78
圖 5-26 使用 ChatGPT 協助製作建築計劃表單(圖片來源:本計畫繪製)	79
圖 5-27 進行初步建築量體配置的 Dynamo 腳本(圖片來源:本計畫繪製)	80
圖 5-28 A: 界定基地可建築範圍(圖片來源:本計畫繪製)	80
圖 5-29 B: 生成住宅大樓量體(圖片來源:本計畫繪製)	81
圖 5-30 B-1: 生成住宅大樓: Method 1(扭轉) (圖片來源:本計畫繪製)	82
圖 5-31 B-2: 生成住宅大樓: Method 2(正交) (圖片來源:本計畫繪製)	82
圖 5-32 C: 以 30000-35000 平方公尺取樣(圖片來源:本計畫繪製)	82
圖 5-33 D: 生成幼兒園量體(圖片來源:本計畫繪製)	82
圖 5-34 D-1: 定義量體配置中心點(圖片來源:本計畫繪製)....	83
圖 5-35 D-2: 去除不符合條件的平面矩形(圖片來源:本計畫繪製)	83

圖 5-36	D-3: 依照高度生成建築量體(圖片來源:本計畫繪製) ..	83
圖 5-37	E: 生成店面單元量體(圖片來源:本計畫繪製)	84
圖 5-38	F: 生成基地內通路量體(圖片來源:本計畫繪製)	84
圖 5-39	F-1: 配置道路參考線(圖片來源:本計畫繪製)	84
圖 5-40	F-1: 配置道路參考線(圖片來源:本計畫繪製)	84
圖 5-41	F-1: 配置道路參考線(圖片來源:本計畫繪製)	84
圖 5-42	計算建蔽率與建築面積(圖片來源:本計畫繪製)	85
圖 5-43	計算容積率與樓地板面積(圖片來源:本計畫繪製)	85
圖 5-44	計算綠覆率與綠化面積(圖片來源:本計畫繪製)	85
圖 5-45	計算住戶與店家單元數量(圖片來源:本計畫繪製)	86
圖 5-46	將建築量體幾何轉移至 Revit 中(圖片來源:本計畫繪製)	86
圖 5-47	將景觀與道路幾何轉移至 Revit 中(圖片來源:本計畫繪製)	87
圖 5-48	以 Dynamo 配合 Generative Design 使用生成方案(圖片來源:本計畫繪製)	87
圖 5-49	Generative Design 生產量體方案分析圖表(圖片來源:本計畫繪製)	88
圖 5-50	將方案由 Dynamo 轉換至 Revit 環境(圖片來源:本計畫繪製)	88
圖 5-51	由 Generative Design 生產的設計方案(圖片來源:本計畫繪製)	89
圖 5-52	各方案數值分析表(圖片來源:本計畫繪製)	90

圖 5-53 使用 Solar Analysis 進行方案太陽熱輻射分析(圖片來源:本計畫繪製).....	90
圖 5-54 以一個方案的單棟標準層平面演示平面生成(圖片來源:本計畫繪製).....	91
圖 5-55 Excel 空間機能表單示意(圖片來源:本計畫繪製).....	91
圖 5-56 進行初步平面配置的 Dynamo 腳本(圖片來源:本計畫繪製)	92
圖 5-57 匯入空間機能表單的 CSV 檔案(圖片來源:本計畫繪製).	92
圖 5-58 初始配置點位亂數(Random)設定(圖片來源:本計畫繪製)	93
圖 5-59 將 Revit 樓板幾何形體匯入 Dynamo (圖片來源:本計畫繪製)	93
圖 5-60 以 ConvexHull 節點運算凸多邊形 (圖片來源:本計畫繪製)	93
圖 5-61 使用 Engine.Execute 節點執行 DynaSpace 生成 (圖片來源:本計畫繪製).....	93
圖 5-62 DynaSpace 生成空間關係圖 (圖片來源:本計畫繪製)..	94
圖 5-63 將空間關係圖轉換為矩形平面 (圖片來源:本計畫繪製)	94
圖 5-64 將空間關係圖轉換為矩形平面的 Dynamo 腳本 (圖片來源:本計畫繪製).....	95
圖 5-65 Generative Design 生產平面方案分析圖表 (圖片來源:本計畫繪製).....	96
圖 5-66 依照空間分割線轉換為 Revit 牆體元件 (圖片來源:本計畫繪製)	96

圖 5-67 使用 Pinterest 於網路上搜尋訓練用圖片(圖片來源:擷取自網路)	
.....	97
圖 5-68 使用 Brime 網頁裁切圖片(圖片來源:擷取自網路).....	97
圖 5-69 使用 Stable Diffusion 的 Preprocess 功能準備訓練用圖片(圖片來源:本計畫繪製).....	98
圖 5-70 使用 Preprocess images 預處理後的圖片集(圖片來源:本計畫繪製)	
.....	98
圖 5-71 Kohya 使用介面(圖片來源:本計畫繪製).....	99
圖 5-72 Stable Diffusion 使用介面(圖片來源:本計畫繪製) .	100
圖 5-73 Stable Diffusion + ControlNet 參數設定(圖片來源:本計畫繪製)	
.....	101
圖 5-74 外觀風格探索成果圖(圖片來源:本計畫繪製)	102
圖 5-75 BIM 設計元件配置示意圖(圖片來源:龔智群繪製)....	103
圖 5-76 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)	104
圖 5-77 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)	104
圖 5-78 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)	104
圖 5-79 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)	104
圖 5-80 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)	104
圖 5-81 Hololens 多人協作調整模型(圖片來源:謝慈苾繪製) .	105

圖 6-1 數位技術在建築/工程/營造 AEC 產業的五個發展歷程(圖片來源：成大建築 IA Lab)	108
圖 6-2 比較建築生命週期中特定工作項目在數位轉型前後的執行方式差異	109
圖 6-3 由大型的建築工程營造業帶動中小型公司轉型為知識軟體服務業	111

摘要

關鍵詞：數位轉型、BIM、人工智慧、機器人、AEC 產業

一、研究緣起

「數位轉型」(Digital Transformation) 是近年來世界諸多先進國家提升產業與國家競爭力的關鍵，目標乃是有效運用資通訊技術、優化既有流程並進而創造新價值。台灣過去幾年來，以「數位國家、智慧島嶼」為總政策綱領，規劃精進相關的數位轉型國家政策，特別強化產業創新，導入智慧科技，以促進產業整體結構的數位轉型，提升數位經濟價值。另一方面，少子化導致未來人力短缺，人工智慧與機器人逐步取代重複繁瑣的工作，數位轉型的推動更是十分重要。因應產業數位轉型的國家政策、解決缺乏人力資源的問題，建築、工程、營造(Architecture, Engineering, Construction, AEC)產業如何於前瞻數位科技的帶動下穩健轉型與提升，滾動式修正與推動策略，成為數位轉型政策規劃必要的環節。

二、研究計畫內容

1. 數位轉型相關技術、價值與課題研究

(1) 數位工具、平台與前瞻數位技術盤點

- AI 人工智慧的發展與應用(ChatGPT+Midjourney 自動衍生設計構想)
- XR 技術(混合 AR+VR+MR) 的發展與應用(沈浸式設計/施工檢討)
- 3D 掃描技術的發展與應用(Lidar 行動設備掃描與 3D 建模)
- Robot 機器人製造的發展與應用(非工地現場預製)
- Digital Twin 數位孿生的發展與應用(虛實共構、模擬與預測)

(2) 數位轉型於建築與營建工程的價值與需克服的課題與挑戰

2. 數位轉型需求調查與創新案例分析

- 調查、訪談、分析全國建築產業數位轉型的挑戰、實現價值、未來需求與展望，以及政府或社會機制應提供的環境或配合事項
- 舉辦二場建築產業數位轉型 AI 建築師論壇(北中南部)
- 舉辦二場建築產業數位轉型專家學者座談會

3. 數位轉型政策研擬與創新策略規劃

- 收集分析先進國家推動數位轉型相關策略，了解該國政府如何確認數位技術將會帶來那些社會效益，以及政府如何透過公共工程創造新技術發展的環境條件。

- 建築產業數位轉型政策分析與策略規劃，擬定建築產業數位轉型先導之推動架構，例如從政府需求面（尤其是公共工程）、產業供給面（設計、施工、維管，以及供應鏈）提出雙方應有的行動計畫。

4. 建築產業創新數位轉型模擬設計案例實作

- 以社會住宅為例，進行本土化數位轉型建築作業流程模擬，以及設計模擬案例實作

三、成果及效益

1. 數位轉型相關之工具、平台與前瞻數位技術盤點
2. 數位轉型於建築與營建工程的挑戰、價值與課題分析
3. 舉辦四場國內建築產業數位轉型相關之論壇/座談會
4. 建築產業創新數位轉型建築作業流程模擬與設計案例操作
5. 建築產業數位轉型政策分析與策略規劃建議

四、主要建議事項

建議一：BIM 技術延伸整合應用：建築數位轉型標竿計畫

延伸建築資訊模型（BIM）技術，結合當代的前瞻數位技術，深入探討每一項前瞻技術與 BIM 結合的發展，籌劃一個標竿計畫，實驗建築數位轉型與技術整合的創新建築作業流程

- (1) AI + BIM：應用 AI 催化設計創意、AI 與人類協同作業模式、創新設計流程
- (2) XR + BIM：提供延展實境擴增模式，強化建築設計、營造和監測能力，實現更直觀的設計過程和更準確的施工。
- (3) 3D Scan + BIM：捕捉既成建築空間的精確數據，用於後續設計和改進工作。整合這些數據到 BIM 中，以實現更精確的模型和分析。
- (4) Robot + BIM：人機協作模式，以機器人取代執行重複性高或危險的任務，提高效率和安全性。
- (5) Digital Twin + BIM：優化設計過程、預測建築性能、實現建築物的監測維護以及提高建築物運營效率。

建議二：AI 在建築展業應用的本土化研究：建立本土化公共工程的開放人工智慧 ChatGPT

- (1) 搜集並建立公共工程的圖面、法規、技術圖說等大數據資料，與學術機構、軟體技術廠商合作進行 AI 軟體的開發
- (2) 開發能夠辨識建築圖文、並與人聊天互動的生成式 AI 人工智慧技術
- (3) 以深度學習技術進行生成式 AI 系統自我學習
- (4) 研發台灣本土化具備公共工程知識、AEC 產業應用的 ChatGPT

建議三：AEC 產業數位轉型：從建築工程營造業轉型為知識軟體服務業

台灣的建築工程（AEC）產業結構多樣，包括大型工程顧問公司、中小型事務所和建設公司，以及小型設計公司。大公司有充分的資源進行 AI 技術導入，新世代所建立的小型的建築師事務所，為天生的 AI 使用者，而原有的中小型公司可能因效益與成本的限制，數位轉型將遭遇瓶頸困難，預期 AI 人工智慧發展將衝擊 AEC 產業，若無法順利數位轉型，將與使部分中小型公司消失，其業務由大型顧問公司或小型事務所取代。

為了輔導台灣以中小型事務所為主的建築產業，應積極籌劃建立政府主導的數位轉型輔導機制，以獎勵方式投資資金給大型工程顧問公司，先驅動大型工程公司數位轉型，委由資訊公司開發生成式的 AI 軟體，以使其提供知識數據服務，除了公司內部使用，也開放這些 AI 軟體，釋放給中小型事務所使用，以母雞帶小雞的方式，由上而下推動台灣本土化的 AI 應用發展。

綜上所述，研究聚焦於逐個深入探討多個數位技術在建築領域的應用。並強調本土化數位轉型的重要性，提出政府主導的數位轉型輔導機制、以及與學術、產業機構合作的策略，這些都有助於推動台灣建築業的數位轉型。

ABSTRACT

Keyword: Digital Transformation, BIM, Robot, AEC Industry

"Digital Transformation" is the key to many advanced countries in the world to enhance their industrial and national competitiveness in recent years. The goal is to effectively use information and communication technology, optimize existing processes and create new value.

Over the past few years, Taiwan has taken "Digital Country, Smart Island" as its general policy guideline, planned and refined relevant national policies for digital transformation, especially strengthened industrial innovation, and introduced smart technologies to promote the digital transformation of the overall industrial structure and enhance the economy value. On the other hand, the promotion of digital transformation is even more important when the construction industry is facing shortages of workers and materials.

In response to the national policy of industrial digital transformation and to solve the problem of human resource shortage. How the AEC (Architecture, Engineering, Construction) industry can steadily transform and improve driven by forward-looking digital technology, rolling corrections and promotion strategies, become an integral part of digital transformation policy planning.

Research project content includes:

1. Inventory of digital tools, platforms, and forward-looking digital technologies.
 - Development and application of AI artificial intelligence, XR, 3D scanning technology, robots, and digital twin.
2. Digital transformation demand survey and Innovation case analysis.
 - Surveys, interviews, and analysis of innovative organizations in the digital transformation of the national AEC industry.
3. Digital transformation policy research and Innovation strategy planning.
 - Policy analysis and strategic planning, drafting an executable framework.
4. AEC industry innovation digital transformation simulation design case implementation.
 - Taking social housing as an example to simulate the construction operation process.

The expected result includes:

1. Collation and analysis of tools, platforms, and forward-looking digital technologies.
 2. Two forums on the digital transformation of the domestic AEC industry.
 3. Analysis of Three Innovation Cases of the Localized AEC Industry.
 4. Construction Operation Process Simulation and Design Case Operation.
- AEC Industrial Digital Transformation Policy Promotion Planning Suggestions.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

「數位轉型」(Digital Transformation) 是近年來世界諸多先進國家提升產業與國家競爭力的關鍵，目標乃是有效運用資通訊技術、優化既有流程並進而創造新價值，台灣過去幾年來，以「數位國家、智慧島嶼」為總政策綱領，規劃精進相關的數位轉型國家政策，特別強化產業創新，導入智慧科技，以促進產業整體結構的數位轉型，提升數位經濟價值。因應產業數位轉型的國家政策，建築、工程、營造(Architecture, Engineering, Construction, AEC)產業如何於前瞻數位科技的帶動下穩健轉型與提升，滾動式修正與推動策略，成為 AEC 產業數位轉型政策規劃必要的環節。

目前全世界有二個重大的挑戰，加速數位轉型發展的契機：

1. 新冠肺炎疫情自 2020 年在全球各地爆發後，嚴重衝擊經濟並改變了工作、生活、社交、經濟模式，世界各國在新冠疫情衝擊下，加速推升數位轉型的進程，為避免在疫後復甦潮成為被淘汰者，各國均加強啟動數位轉型計畫，積極導入數位技術、數位工具和數位流程，布局下世代競爭力，數位轉型不僅是技術上的轉變，也包括文化、組織架構和管理策略等方面的改變。
2. AI 人工智慧的發展，引爆這一波生成式人工智慧(Generative AI)的急速竄起，尤其近期的 ChatGPT 引起全球各界的矚目，直接衝擊建築師的設計創意，未來勢必也帶動 AEC 產業數位轉型，成為銳不可擋的趨勢，不管是政策、產業、教育皆有必要先前部署，進行先導型研究，思考如何利用 AI 進行建築、營造、工程 AEC 產業數位轉型。

第二節 建築產業數位轉型所面臨的挑戰

內政部建築研究所近年來推動「建築資訊模型」(Building Information Modeling, BIM)不遺餘力，以 BIM 技術逐漸帶動國內 AEC 產業升級，國內過去幾年經過產官學界的推廣與努力，逐步看到台灣 BIM 技術發展的成果，台灣在 BIM 技術與策略發展優勢，也成為引導 AEC 產業走向數位轉型的第一步。

面臨後疫情時代的挑戰，必須以 BIM 技術發展為基礎，跨越到 AEC 產業的數位轉型計畫，加速推升 AEC 產業數位轉型的進程，進行下一階段數位轉型的超前部署，檢視以 BIM 技術推動數位轉型的發展，目前遭遇到三個瓶頸：

1. 單一聚焦於 BIM 建模技術，忽略其他前瞻技術的發展：BIM 的 3D 建模技術逐步推廣應用到設計、施工、營造、設施管理等建築生命週期的不同階段，雖然已經頗具成效，然而近期的 AI 人工智慧在設計的應用、XR 延展實境技術、Robot 機器人製造技術、Digital Twin 數位孿生技術環境，已經開創出產業應用的新局面，如何盤點並整合 AI 人工智慧、XR 延展實境與 Robot 機器人等前瞻技術，延伸 BIM 的技術平台，整合 AI、XR、Robot 技術應用，整體思考 AEC 產業的數位轉型超前部署，乃是當務之急。
2. 產業文化與組織流程沒有跟上 BIM 技術的發展：BIM 推展至今的效益，看法見仁見智，主要的原因是一方面組織流程沒有跟上，BIM 技術推廣比較合適的建築生產模式是「整合專案交付」(Integrated Project Delivery, IPD)，在業主的號召下，互信的專業合作夥伴從一開始即加入整合專案，然而 IPD 的精神在國內現有的公共工程招標程序不容易推展，加上一般建築師、技師、營造廠、承包商之間的慣性作業流程不易改變，導致 BIM 的產業效益不容易彰顯，少數能夠成功推廣的多是組織流程的同步修正配合；二方面在國內推廣 BIM 創新產業的力道不足，BIM 停留在 3D 建模、碰撞檢測、法規檢討的技術服務，加上國內建築營造產業創新服務的內需太少，相較其他國家相比，BIM 技術延伸所產生的新創公司稍嫌不足。
3. 推動 BIM 政策必須兼顧數位正義：推動 BIM 的實際獲利者是業主與大型工程顧問公司，因為參數化、透明化的 BIM 作業流程，在設計階段加以 3D 建模、模擬與偵測錯誤，可以改進工程效率與提升施工品質，惟台灣 AEC 產業多以中小企業為主，當中小型建築師事務所必須耗費龐大經費購買軟體，負擔更多的設計服務，創造價值後的利益無法共享，導致整體建築作業流程受益不平等的關係，當建築師無法立即獲得數位轉型的利益，自然產生排斥的心態，如何在推動數位轉型之際，同時兼顧數位正義，達到價值共創、利益共享的目標，是推動 AEC 產業數位轉型必須考量的重要因素。

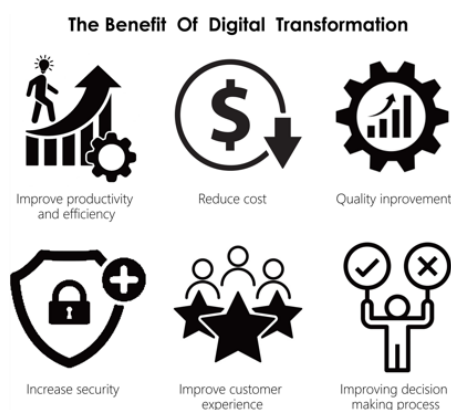


圖 1-1 數位轉型的效益與價值(圖片來源：本計畫繪製)

第三節 研究目標

本計畫研究目標乃是「驅動建築產業創新之數位轉型先導研究」，在既有的 BIM 技術基礎下，推動建築產業創新之數位轉型，基於以上的產業現況分析，本計畫的目標涵蓋數位平台、數位創新、數位正義等三個向度，包括：

1. 數位平台-超越 BIM、邁向數位轉型平台：在既有的 BIM 技術基礎下，盤點前瞻數位科技技術，得以應用在規劃、設計、施工、設施管理等建築生命週期，讓科技的聚焦，超越 BIM 單一工具的開發，邁向數位轉型平台的整合應用。
2. 政府與民間部門數位創新-組織創新、流程智慧化：調查國內 AEC 產業數位轉型的標竿，包括大型顧問公司與小型新創組織，探討組織創新、流程智慧化的成功因素，召開全國 AI 建築師論壇、建築產業數位轉型會議，分析全國 AEC 產業數位轉型的契機，以及先前部署 AI 前瞻數位技術應用的可能性。
3. 數位正義-創造價值、共享利益：數位轉型最重要的是創造價值，並且所創造的價值利益得以共享，本計畫研擬 AEC 產業數位轉型正義的政策，特別是推廣 AI 技術普及化，倡議創新的數位商業模式，讓建築產業的每一位成員感受到數位賦權所帶來的競爭力。

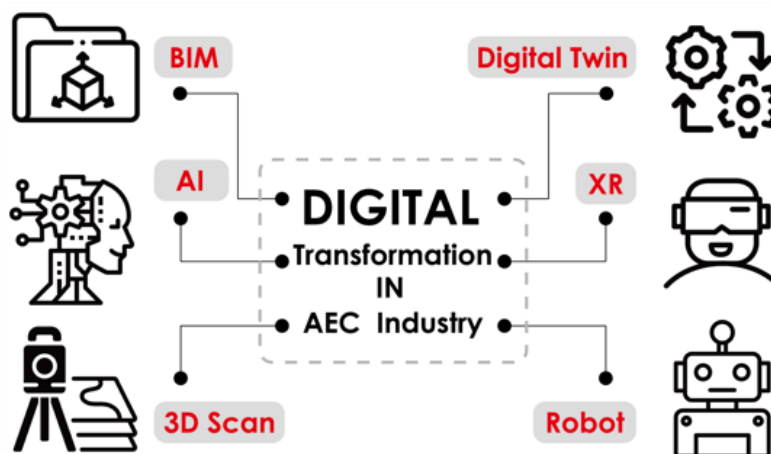


圖 1-2 數位轉型涵蓋的科技技術層面(圖片來源：本計畫繪製)

三、本研究計畫之重要性

內政部建研所在 109 年所擬定的「建築產業跨域創新發展策略」，期望透過建築數據中心、建築資訊系統、智慧管理雲端平台、智慧營造、以及智慧建材等五個面向的軟體與硬體技術。以解決目前營建產業嚴重缺工、數位轉型遲緩、技術發展落後、新冠肺炎對經濟影響等不利困境。

本計畫承襲上述策略的方向，以 BIM 技術做為建築數位轉型推動的平台，在建築生命週期的不同階段中，依照條件適時引進當今最先進的數位工具。其中包含 AI、3D Scan、XR、Robot、以及 Digital twin 等相關技術，期望達到更智慧化的建築流程，並且研擬如何達到共享利益的策略。

本研究計畫之重要性包括：

1. 深入調查台灣建築產業數位轉型的創新組織，以及先前部署前瞻數位技術案例，特別是聚焦於 AI 的普及化應用。
2. 針對台灣實務的建築作業流程，探討導入 AI、3D Scan、XR、Robot、Digital twin 等相關技術的潛力，進行數位轉型技術本土化的智慧化作業流程研究。
3. 先導進行 AEC 產業數位轉型政策分析與策略規劃，擬定可執行之推動架構。

第四節 研究步驟、架構與流程

本計畫將致力於兩個部分，第一則是要調查台灣營造業執行建築的現況。具體了解事務所、營造單位、政策方面、以及其它相關專業者執行建築設計的模式。關注於BIM為何無法普遍化使用，以及其它數位工具要如何有效的導入使用。第二則是要盤點與細述所有可使用於建築作業流程的相關數位技術，並且以一個完整的建築案例為例，依照導入技術後的作業模式，模擬一套完整的建築設計。整體研究架構與步驟如下圖所示。

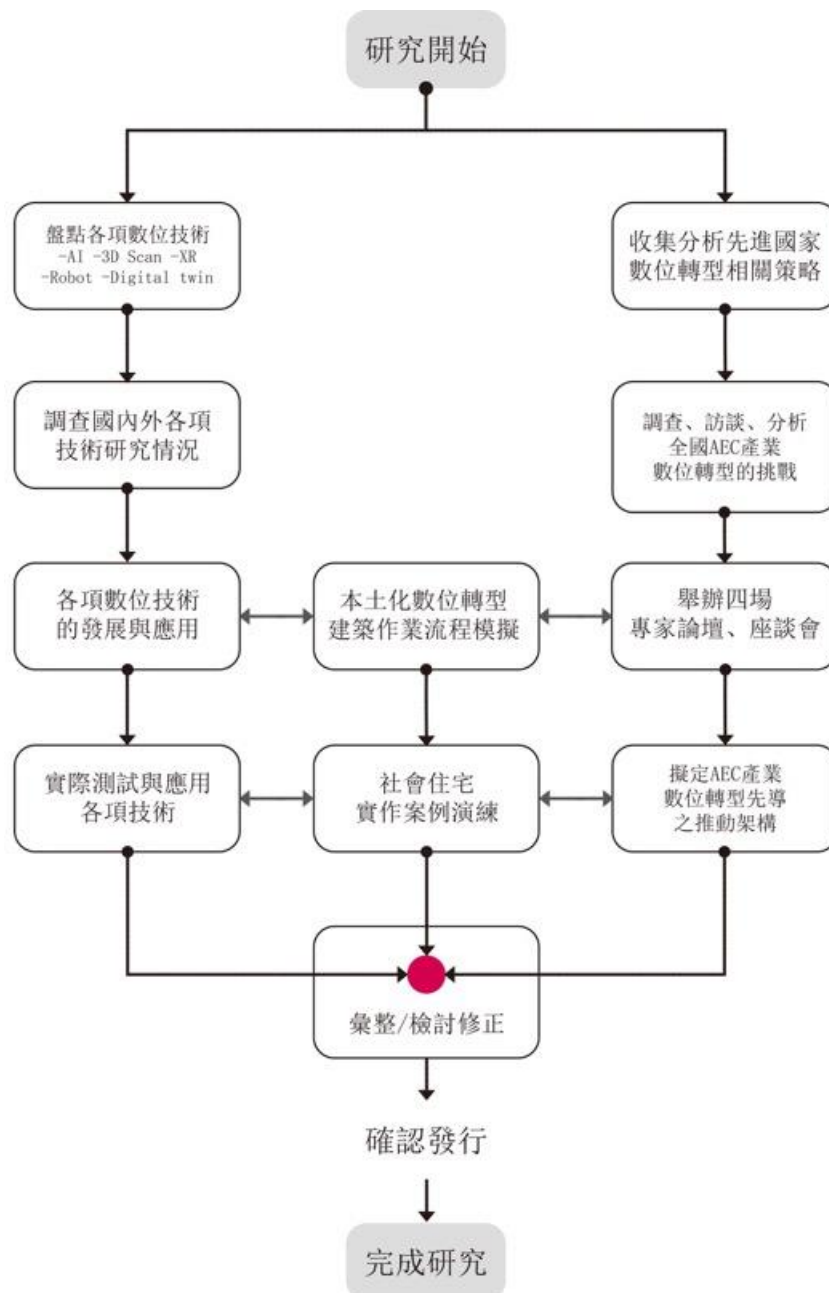


圖 1-3 研究步驟、架構與流程圖(圖片來源：本計畫繪製)

第五節 進度說明

表 1-1：預定進度表

	預定進度
	執行進度

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	工 作 內 容 進 度 概 述
函送研究進度計畫書			 						於 112/07/08 送達
文獻蒐集、研擬調查方針	 								相關技術、應用文獻彙整
AI+BIM 專家訪談		 							訪談事務所與相關公司
社會住宅實際案例調查		 							以一個社會住宅案件模擬建築設計流程
期中報告資料彙整與辦理審查			 						於 112/08/23 進行期中審議會議
辦理 AI 建築師論壇	 		 						已於 112/05/04 在國震中心，以及 112/08/25 於台南建築師分別舉辦，共兩場
辦理專家座談會									已於 112/05/27 在高雄大學，以及 112/10/06 於國震中心分別舉辦，共兩場
函送期末報告書							 		於 112/11/13 送達
期末報告審查會議							 		預計於 112/11/24 進行
函送成果報告書							 		預計於 112/11/30 前送達
預定進度 (累積數)	5 %	2 0 %	3 0 %	5 0 %	7 0 %	8 0 %	9 0 %	1 0 0 %	

第二章 相關文獻與發展現況

第一節 數位轉型的世界發展趨勢

1. AI + BIM 的演進

過去五十年來，探索 AI 在建築科學研究發展歷程，可以大致歸納為五個階段(鄭泰昇, 2022)：

(1) **設計認知(Design Cognition)**：第一階段是在 60 年代人工智慧剛萌芽階段，少數學者開始構思如何利用人工智慧研發一個自動化作設計的建築平面系統，相關的研究論文可以推到諾貝爾獎得主 Herbert Simon 教授在 1969 年出版的經典作「人工科學」(The Sciences of the Artificial)(Simon, 1969)，書中以人工智慧應用於建築設計的認知過程演繹為例，引導出未來人工智慧的應用，當年 Herbert Simon 教授在卡耐基美隆大學任教，同為大學同事的建築系 Chuck Eastman 教授受到 Herbert Simon 研究的啟發，於 1969 年首度於第一屆的人工智慧國際會議發表” Cognitive Processes and III-Defined Problems: A Case Study from Design” 研究論文，成為建築界第一個以人工智慧思考建築設計自動衍生的濫觴(Eastman, 1969)，Chuck Eastman 教授接續於 1973 年在「人工智慧期刊」(Artificial Intelligence) 發表自動化空間規劃的研究(Automated Space Planning)(Eastman, 1973)，以一個廁所平面為例推演的自動衍生設計的可能性，此篇論文成為人工智慧在建築設計自動衍生研究的經典作，同時 MIT Media Lab 主持人 Nicholas Negroponte 也倡議「建築機器」(Architecture Machine)的概念，強調未來電腦將與人密切整合改變建築實務流程(Negroponte, 1973)，開啟了人工智慧在建築設計過程的研究，但是因為電腦運算速度的限制，這一方面的研究一直停留在設計認知的研究，影響層面多停留在設計認知與 2D/3D 繪圖介面的研發階段。

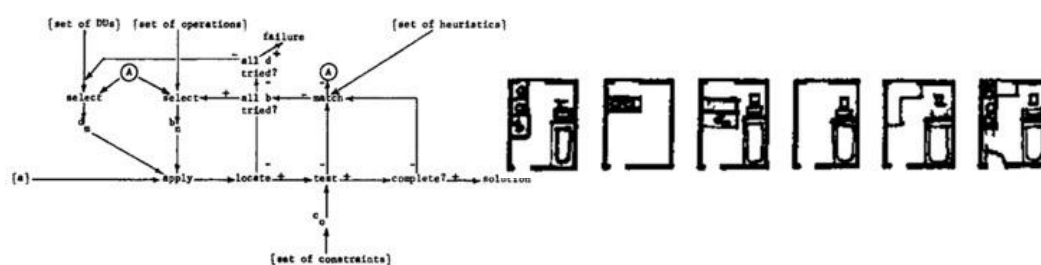


圖 2-1 60 年代 Eastman 教授以 AI 研究為建築自動衍生的濫觴

(圖片來源：Eastman, 1969)

(2) **專家系統(Expert Systems)**: 第二階段是在 80-90 年代人工智慧開始以「邏輯運算」進行推演，在邏輯學的基礎上，進行自然語言處理(Natural Language Processing)、知識庫(Knowledge Bases)等專家系統的建立，Prolog 成為最常用的邏輯程式語言。此階段應用在建築設計多屬於認知推理的過程，將許多設計認知推理的「邏輯」(Logic)轉化為「規則」(Rules)，嘗試將設計導向以知識為基礎的設計邏輯推演(Knowledge-Based Design) (Roseman et.al. 1990)，知識的呈現方式(Knowledge Representation)成為本階段的基本研究議題，包括：(1) 語意性知識(Semantic Knowledge) (2) 程序性知識(Procedural Knowledge) (3) 條件性知識 (Conditional Knowledge) (4) 陳述性知識(Descriptive Knowledge)，此階段的倡議是擷取專家的設計知識轉換成具有人工智慧的專家系統，惟此階段的研究聚焦於規則導向(Rule-Based)的設計知識，做小規模建築設計的推導，例如造型文法(Shape Grammar)利用形狀語法與造型法則(Shape Rules)去衍生出建築幾何(Stiny, 2006)，SEED 計畫研發軟體工具做建築設計初期階段的空間平面自動配置(Flemming and Woodbury, 1995)，多數的研究都僅在學術上的設計案例推演，規則導向的設計方法過於侷限設計師的思維，因此並沒有太多建築實務應用的機會。

(3) **參數化設計(Parametric Design)**: 第三階段是千禧年後的參數化設計思潮興起，許多研究從形態學(morphogenesis)的概念，導引建構新的建築形式生成理論，以電腦演算法(Algorithms)進行建築形式衍生設計與參數操控的設計實驗(Frazer, 1995)(Spiller, 2009)(Jabi, 2013)，許多實驗性的設計演算法、以及數位構築形式如雨後春筍般的產生(Sakamoto, 2008)(Woodbury, 2010)，此階段的設計演開啟了演算法在建築設計的角色，也有人質疑不應該將建築設計交給電腦演算法決定，不論如何，因為當代綠建築與永續概念的深化，以建築性能為導向的建築外殼(Building Skin)設計(Hensel, 2013)、模擬(Simulation)與資料導向設計(Data-Driven Design)，逐步成為建築師面對環境必備的工具與流程 (Scheer, 2014)，永續觀念深化與數位工具模擬整合的需求，也間接促使參數化設計與建築資訊模型整合發展的必要性(Sacks, Eastman, Lee, and Teicholz, 2018)。

(4) **BIM 設計(Building Information Modeling, BIM)**: 第四階段是 BIM 建築資訊模型技術的成熟，使得 AEC 產業逐步導入 BIM 工具平台應用在建築生命週期的管理實務流程，BIM 不僅是一項技術變革，也是設計程序上的變革，愈來愈多的建築設計實務，在建築設計初期階段，採取參數化設計連結 BIM 設計與能源分析工具，成為一種創新務實的永續設計方法 (Levy, 2011)(Aksamija, 2013)(Lin and Gerber, 2014) (Levy, 2011)(Aksamija, 2013)(Rudder, 2013)(Lin and Gerber, 2014)，參數化設計、演算法與 BIM 匯流的結果，開始浮現人工智慧在建築設計自動衍生應用的可能性。

(5) 人工智慧(Artificial Intelligence, AI)：第五階段是 AI 捲土重來的時代來臨，因應大數據分析、影像辨識與機器學習技術的成熟，加上電腦運算速度的增進，讓人工智慧重新開啟自動衍生建築設計的應用，迥異以往不同的運算方式，此階段人工智慧的應用不再單一以規則導向的方法，同時輔助以影像辨識的方式，設計系統環境也從封閉式環境，轉成大數據的開放式網路環境。

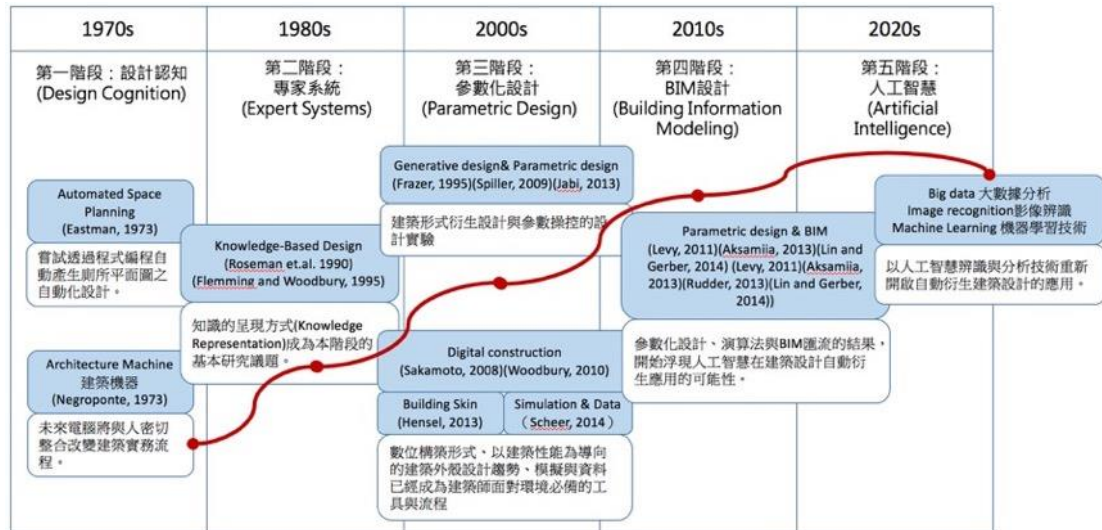


圖 2-2 人工智慧 AI 在建築應用研究的發展歷程

(圖片來源：鄭泰昇，2022)

整體 AI 人工智慧輔助建築設計過去 50 年來的研究發展歷程，如圖 2-2 所示，當 Eastman 教授在 60 年代以 AI 研究為建築自動衍生的濫觴，其在 2018 年出版的經典書籍 BIM Handbook 將 BIM 發展分為五個階段，預期 2030 年的 BIM 發展願景，將朝向 AI BIM 的發展階段(Sacks, Eastman, Lee, Teicholz, 2018)，這與 AI 的國際趨勢不謀而合。

2. 當代前瞻智慧技術的演進

在現代的技術演進中，除了建築資訊模型 (BIM) 之外，其他前瞻的智慧技術也開始在建築和營造產業中改變既有的生態環境。以下將深入探討人工智慧 (AI)、三維掃描 (3D Scan)、數位孿生 (Digital Twin)、擴增實境 (XR)，以及機器人 (Robot) 等技術在建築產業中的應用情況。分析這些先進技術如何帶來革新，並探索它們在建築與營造產業中的實際應用與發展趨勢。

■ AI 人工智慧

人工智慧的發展可以遠推至 AI 的始祖涂林(Alan M. Turing)在 1940 年代開發出德軍密碼解碼器，試圖在不同密碼組合中搜尋出關鍵組合，當時人們認為

這樣的技術充其量只是一個微不足道的研究，無法解決人們日常生活複雜的思考模式，主要是因為過去受限於理論架構、數據收集以及電腦硬體的成長有限，使得應用顯得力有未逮，直至近年來，人工神經網路(Artificial Neural Network, ANN)的興起，加上大數據、物聯網與 GPU 平行運算技術益發成熟精進，才使人工智慧技術有爆發性的成長，而這波人工智慧的風潮，到 2016 年 Google DeepMind 開發的人工智慧圍棋程式 AlphaGo 打敗世界棋王，讓世人見識到人工智慧的威力，這股人工智慧大潮讓各國重新燃起對人工智慧的信心(鄭泰昇, 2022)。

人工智慧的應用發展有三個階段，弱人工智慧(Artificial Narrow Intelligence)、強人工智慧(Artificial General Intelligence)、超人工智慧(Super Intelligence)，弱人工智慧指的是在某些領域具備人的能力，比如聲音識別、圖像識別；強人工智慧具備與人類同等推理(Reasoning)和解決問題(Problem Solving)的智能；超人工智慧具有自我意識、超越人類的智能；趨勢家預言當人工智慧科技奇點(Singularity)來臨，人工智慧的加速發展會創造出比人類還聰明，還更有創造力的 AI 新世界(李開復, 2019)。

當 AI 重新回到眾所矚目的焦點，全球各地都在思考如何利用 AI 解決當地的問題，AI 在建築/工程/營造產業(AEC Industry)的應用發展相對的緩慢，儘管 AI 在全球各個領域銳不可擋的趨勢，但智慧科技的價值仍是以人為本，如何研發以人為本的人工智慧應用(Human-Centered AI)，已經成為當代的一大挑戰。

在 AI 人工智慧方面，近幾年呈現爆炸性的發展，尤其 OpenAI 於 2022 年 11 月推出 ChatGPT 後，整個 AI 產業以極短的週期迭代更新，以 AI 為基礎、可以應用於更多專業應用領域的生成式 AI 產品也以極快的速度被推出並得到高關注度。然而，除了探索 AI 工具的各樣可能，許多人也開始擔心這樣的生成式 AI 產品是否對產業造成衝擊。(ChatGPT 是由 OpenAI 開發的一個人工智慧聊天機器人程式，可以寫出相似真人的知識型內容，僅上線兩個月使用者已達一億。)

除了 ChatGPT 的文字互動內容，也有從提示文字產生圖像的 AI 工具像是 DALL-E 2(2022, Apr), Midjourney(2022, Jul), Stable Diffusion(2022, Aug) 以及輔助插件 ControlNet(2023, Feb)，亦有專門從文本產生影像的技術 Gen-1(2023, Feb)。想像過去耗費數名專業建築人才數十小時製作的圖像或是報告書、簡報，現在在 AI 工具的輔助下，僅需數分鐘即可呈現眼前，並且提供多種版本，供設計師討論修改發想。

根據 a16z 網站製作的圖表，可以看到生成式 AI 前五十名的網站之中，只有大約十分之一為大型科技公司的產品或是被其收購的項目。下表中超過一半的公

司為自主創業，無外部投資，這說明雖然訓練一些大型的語言模型仍仰賴大型科技公司的資金與硬體設備，但訓練出來的成果，透過訂閱服務或是開源資源，小型開發的 AI 產品快速開始獲利是可行且逐漸蔚為趨勢的。小型開發的 AI 產品主要方向可能是訓練新的模型、改善與專業化別人的模型，也有的 AI 產品聚焦於改善使用者介面，銜接應用端與開發端，譬如將 Stable Diffusion 與 ControlNet 等等技術門檻較高的開源資源整合，推出方便室內設計師直接使用的網站、平板電腦軟體(建築學長、AARG interior AI……等等)，使得 AI 在建築界的應用更加便利，更多人也因此更願意使用。

Top 50 GenAI Web Products, By Monthly Visits				
1. ChatGPT	11. YOU	21. NightCafe	31. GPTG5.ai	41. Fliki
2. character.ai	12. leonardo.	22. l1eplicate	32. runway	42. pornpen.ai
3. Bard	13. PIXLR	23. Speechify	33. Playground	43. KAPWING
4. Poe	14. VEED.IO	24. ElevenLabs	34. Kaiber	44. Gamma
5. QuillBot	15. Tome	25. Lexica	35. Hotpot	45. Looka
6. PhotoRoom	16. AI-Novel	26. VocalRemover	36. Stable Diffusion	46. human or not?
7. CIBITAI	17. cutout.pro	27. Writesonic	37. copy.ai	47. PIXAI
8. Midjourney	18. ForefrontAI	28. CHATPDF	38. ZeroGPT	48. WRITER
9. Hugging Face	19. Clipchamp	29. D-ID	39. Smodin	49. NovelAI
10. Perplexity	20. TheB.AI	30. Chub.ai	40. ZMO.AI	50. DeepSwap

Note: This list was generated based on global desktop and mobile web visits with data from SimilarWeb as of June 2023. However, for companies on the list that also have a mobile app, we added an estimate of their app "traffic" (MAU's sessions per MAU per month), with data from Sensor Tower as of June 2023, alongside web traffic to determine their spot on the list. This list does not include app-only companies, and does not include activity happening within a Discord server. Charts are for informational purposes only and should not be used for investment decisions. Past performance is not indicative of future results. None of the above should be taken as investment advice; see afloz.com/disclosures for more.

afloz Consumer

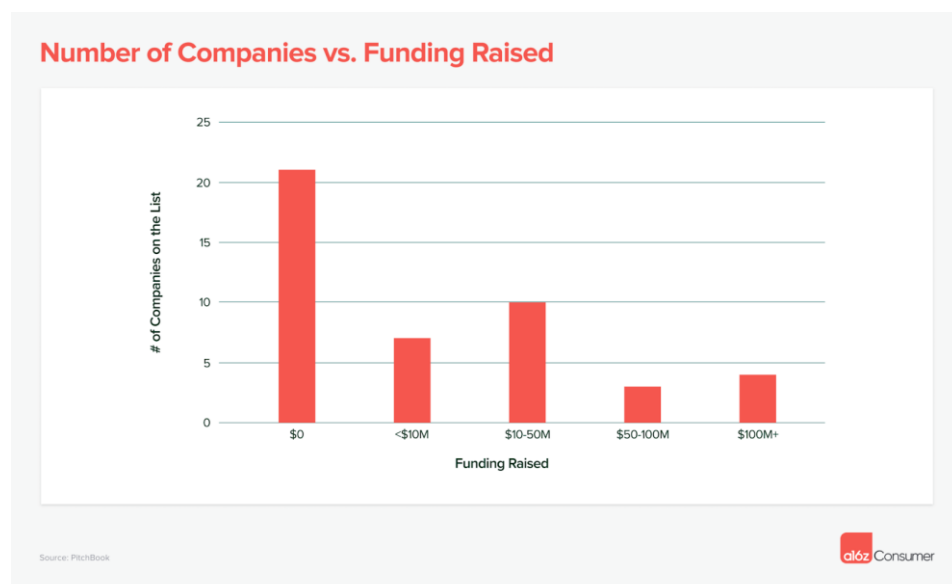


圖 2-3 2023 年 6 月 SimilarWeb 網站流量和 APP 使用者數
(圖片來源:Andreessen Horowitz, 2023)

使當 AI 工具的使用成為一波不容忽視的趨勢，可以預期 A/E/C 產業(建築/工程/營造)會受到這些科技工具導入的影響，不只是現在建築設計的流程面對跨領域、更加靈活的操作，BIM、建築設計管理流程、營造層面、都市管理層面都將在出現消耗時間人力成本與產出成果大幅度優化的選擇下需要重新審視。如何運用 AI 工具的特性，整合進現有產業流程、優化現有業務、減少人力成本，進而達到資源整合與產業創新將是本次數位轉型研究的重點。

■ 3D 掃描技術

3D 掃描技術是一種能夠捕捉真實世界物體或環境的技術，透過此技術，我們可以獲得物體的外觀三維數據，並利用這些數據重建數位 3D 模型。近年來，隨著科技的進步，3D 掃描技術逐漸受到廣大研究者和工業界的關注，因為它不僅提供了高精度的測量結果，還具有充分利用、可視化和後續透過軟體修改的可能性。

現今的 3D 感測器技術主要包括立體視覺感測系統 (SV)、結構光感測 (SL)、飛行時間測距 (ToF) 以及光學雷達 (LiDAR)。其中，LiDAR (Light Detection and Ranging) 是一種遙測技術，它利用光的反射原理來測量物體的距離。近年來，LiDAR 技術已經被廣泛應用於行動裝置上，實現了許多先進的功能，如人臉識別、手勢控制、虛擬實境應用等。

3D 掃描技術與擴增實境 (AR) 技術的結合，已經成為電子商務的新趨勢。這意味著，未來的消費者可以透過行動裝置使用擴增實境技術，同時結合 3D 掃描技術，來體驗更加真實和沉浸式的購物體驗。此外，3D 掃描技術還被應用於開采沉陷監測研究，這種技術可以提供更加精確的地形變化數據，對於預防和控制開采沉陷帶來的危害具有重要意義。

另外，3D 掃描技術還被應用於邊坡位移監測。這種技術可以提供邊坡的三維數據，幫助研究者更好地了解邊坡的變化和位移情況，對於預防和控制邊坡滑坡具有重要意義。此外，基於双目立體視覺的手持式線激光 3D 掃描方法也是近年來研究熱點，這種技術結合了双目立體視覺和線激光掃描技術，可以提供更加精確和高效的 3D 掃描結果。

現今 3D 掃描技術在近年來得到了廣泛的應用和研究，它不僅提供了高精度的測量結果，還具有充分利用、可視化和後續透過軟體修改的可能性。立體視覺感測系統，相關的技術諸如：(SV)、結構光感測 (SL)、飛行時間測距 (ToF) 以及光學雷達 (LiDAR)。而 LiDAR (Light Detection and Ranging) 作為一種遙測技術 dTOF，可以在行動裝置上實現諸多先進的功能，如人臉識別、手勢控制、虛擬實境應用等。隨著科技的進步，我們可以預期，3D 掃描技術將在未來的各個領域中發揮更加重要的作用。早期的 3D 掃描技術

■ 3D 掃描技術的發展

3D 掃描技術的發展歷程可以追溯到 1960 年代。早期的掃描器主要依賴燈光、攝像機和投影機來捕捉物體的三維形態。由於當時的技術限制，精確地掃描物體往往需要花費大量的時間和努力。但隨著時間的推移，這項技術已經取得了巨大的進步。

三維雷射掃描技術在今日已經發展得相當成熟，不再受限於傳統的人工測繪方法。例如，FARO Photon 120 3D 雷射掃描系統可以建立精確的三維模型。此外，隨著科技手段的進步，三維激光掃描技術已經可以替代傳統的單點立面測繪方法，並且提供更為全面的原始數據存檔和成果交付方式。(三維雷射掃描儀在松山菸廠歷史建築應用之研究. 2012. PhD Thesis.)

除了雷射掃描技術，還有其他多種 3D 掃描技術，如結構光、ToF (Time of Flight) 和立體影像測距法。每種技術都有其獨特的優點和缺點。例如自動掃描載具和點雲的處理技術。

回顧 3D 掃描技術的發展歷程，我們可以看到從早期的燈光和攝像機技術，到現代的雷射和結構光技術，這項技術已經取得了巨大的進步。現代的 3D 掃描技術不僅提供了更高的精確度，還大大縮短了掃描時間，使得它在各種領域，如建築、藝術、醫學和工業設計中，都得到了廣泛的應用。

3D 掃描技術從其誕生之初就持續地進化和發展。從早期的技術限制到現在的高度成熟，這項技術已經成為現代科技和工業的重要組成部分。隨著技術的不斷進步，我們可以期待在未來，3D 掃描技術將帶來更多的創新和應用。

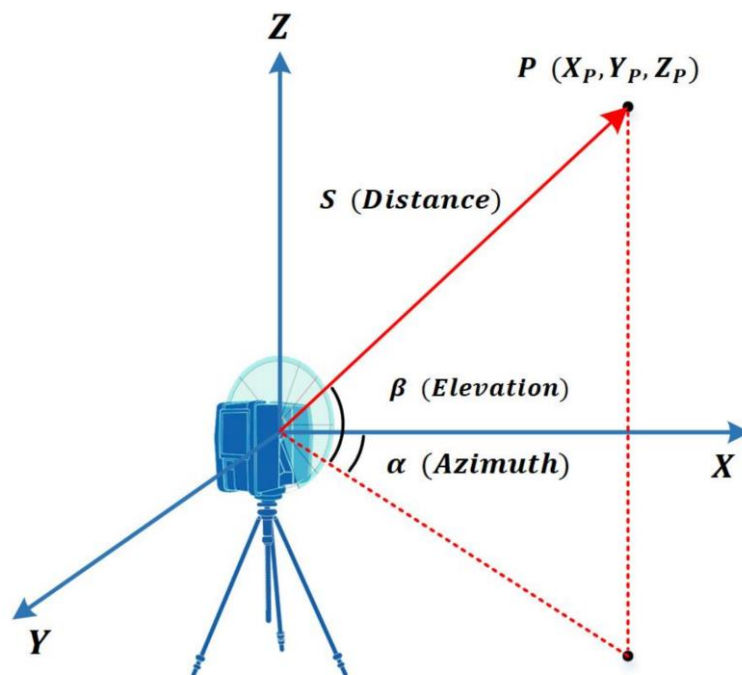


圖 2-4 激光掃描器的工作原理。(圖片來源:Wu et al., 2021)

■ 激光掃描和三角測量

3D 激光掃描器在技術發展的歷程中，已經從其原始的概念進化到現今的高度專業化和多功能化。從 1990 年代初的創建開始，這項技術利用了三角測量和當代的影像處理技術，為各種行業帶來了革命性的變革。1993 年，Cyra Technologies 生產了一種最早由測量師或工程師使用的掃描器。這種掃描器的出現，標誌著 3D 激光掃描技術在商業應用中的正式登場。2001 年，Cyra 被 Leica Geosystems 購買，該公司至今仍是 3D 激光掃描軟體和設備的領導者。

3D 激光掃描技術已經被廣泛應用於各種領域，從建築測量、文物保護到工業製造等。例如，一篇研究中提到了 3D 激光掃描雷達在挖掘機器人上的應用，這種掃描雷達由二維激光掃描雷達數據採集器和 3D 激光掃描雷達控制器組成，能夠對挖掘面進行 3D 重建。這種技術的應用，不僅提高了工作效率，還大大提高了測量的精確性。

3D 激光掃描技術還在航空航天領域得到了應用。研究指出，這種技術可以用於全角度激光掃描，對於大型飛機和宇航器的裝配提供了重要的技術支持。這種非接觸的測量方式，不僅提高了生產效率，還確保了裝配的精確性。

在建築領域，3D 激光掃描技術也發揮了重要作用。例如，一項研究探討了預力混凝土梁扭力實驗中 3D 雷射掃描技術的應用，結果顯示，使用 3D 激光掃描得到的扭角數據與實驗扭角數據非常吻合。這種技術的應用，不僅提供了更為精確的測量數據，還為建築結構分析提供了有力的技術支持。

3D 激光掃描器從其誕生之初就顯示出了巨大的潛力。隨著技術的不斷進步和應用領域的擴大，它已經成為了現代科技和工業發展中不可或缺的一部分。從 Cyra Technologies 的最早產品，到 Leica Geosystems 的領先地位，3D 激光掃描技術的發展歷程充分體現了創新和進步的力量。

■ 3D 掃描的應用

3D 掃描技術已經深入到了我們的日常生活和工作中。從反向工程、原型製作、3D 打印到數位典藏、工程學、藝術和設計，3D 掃描都發揮著不可或缺的作用。這項技術不僅革新了我們捕捉和分析真實世界物體的方式，還使得創建各種應用的數位 3D 模型變得更加容易和有效。

在雷射測量系統中的快速掃描方法已經得到了廣泛的應用。此外，3D 掃描在醫療領域的應用也日益受到關注，尤其是在商業醫療應用中的探索。對於博物館和文化遺產的應用，3D 掃描和複製技術已經成為了當前 3D 成像技術的熱門研究方向。

在服裝設計和人體工程學領域，3D 掃描技術也發揮著重要的作用。從 20 世

紀 80 年代中期開始，人體測量數據的收集已經從傳統的工具轉向了非接觸式的 3D 掃描。此外，隨著 3D 掃描技術在未來的應用預期將大幅增加，它已經被成功地實施在汽車行業的自動化生產線以及反向工程應用中。

3D 掃描技術已經成為當今社會的一項重要技術，它不僅在各種行業中發揮著關鍵作用，還在不斷地推動著技術的進步和創新。隨著技術的進一步發展，我們可以預期，3D 掃描將會在更多的領域中得到應用，為我們的的生活和工作帶來更多的便利和可能性。

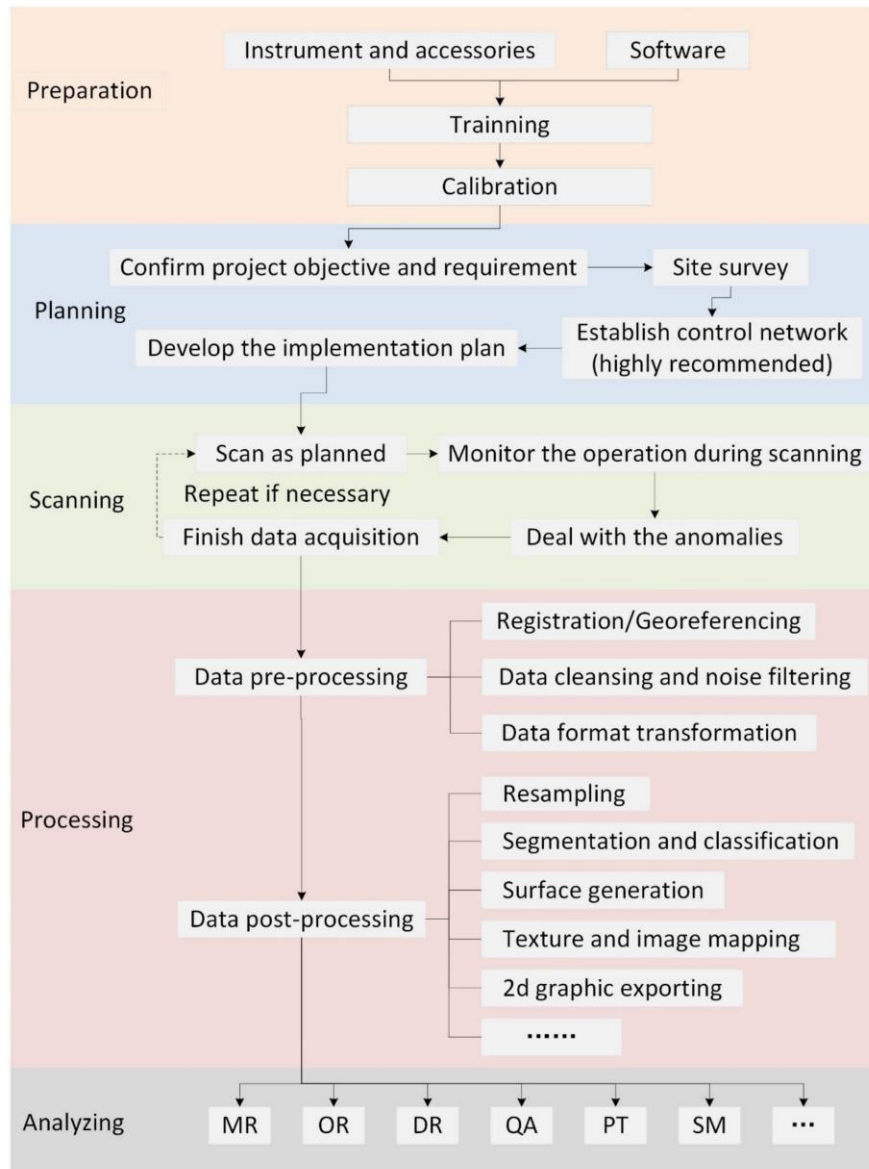


圖 2-5 3D 掃描的工作流程(圖片來源:Wu et al., 2021)

■ 3D 掃描的未來

3D 掃描技術正隨著科技的進步和創新而迅速發展。在過去的幾年中，這項技術已經從一個專業的工具轉變為各種行業和應用中的必要工具。從建築到醫學，

從藝術到製造，3D 掃描已經成為捕捉和重建現實世界的關鍵技術。

近年來的研究已經展示了 3D 掃描技術的多種可能性。例如，一篇綜述文章深入探討了各種 3D 掃描技術，包括近距離、航空、結構從動態和地面攝影測量，以及移動、地面和空中激光掃描。此外，還涵蓋了飛行時間、結構光和相位比較方法，並進行了比較和組合研究。

隨著技術的進步，3D 掃描的速度、精度和便利性都得到了提高。這使得在各種情境中捕捉 3D 數據變得更加快速和容易。此外，隨著物體檢查和反向工程的需求增加，3D 掃描市場也在持續增長。

未來，我們可以期待 3D 掃描技術在多個方面取得重大突破。首先，高精度掃描將成為標準，使得 3D 模型更加真實和詳細。此外，自動化技術將使掃描過程更加簡單和高效。便攜性也是一個重要的發展方向，使得 3D 掃描設備可以更容易地攜帶和使用。

AR/VR 技術的整合也是 3D 掃描的一個重要趨勢。隨著虛擬現實和擴增現實技術的發展，3D 掃描數據可以被用於創建更加沉浸式和互動式的虛擬環境。此外，AI 技術的應用也將使 3D 掃描更加智能和自適應。

基於雲端的處理和存儲解決方案將使 3D 掃描數據更加容易存儲和共享。這不僅可以提高工作效率，還可以促進跨行業和跨地區的合作。3D 掃描技術的未來充滿了無限的可能性。隨著技術的不斷進步，我們可以期待在未來的幾年中看到更多的創新和突破。

■ XR 延展實境

在 XR 延展實境方面，其範疇包括虛擬實境（Virtual Reality，簡稱 VR）、擴增實境（Augmented Reality，簡稱 AR）、混合實境（Mixed Reality，簡稱 MR）以及未來更多相關的延伸發展技術。

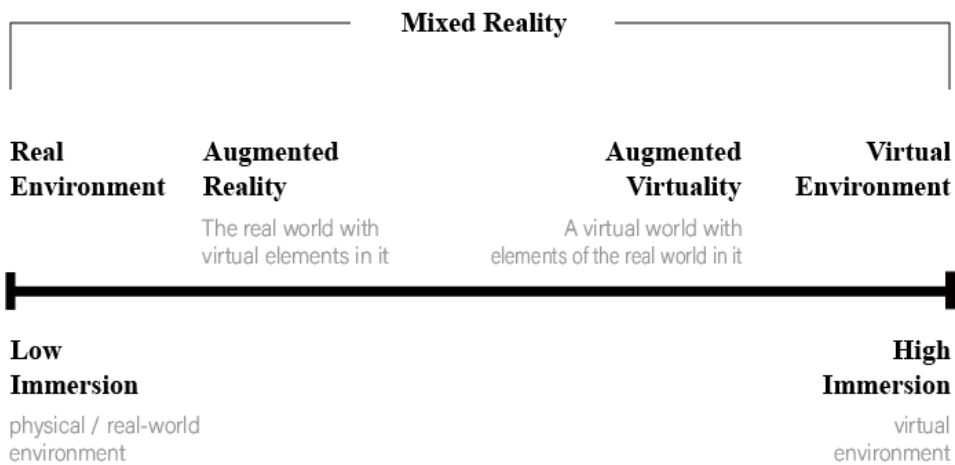


圖 2-6 現實-虛擬連續體的呈現（圖片來源：Milgram & Kishino, 1994）

1. 虛擬實境 (Virtual Reality, VR)：

這是一種模擬現實的技術，可以將使用者完全帶入一個由電腦生成的三維環境中。使用者可以透過戴上 VR 頭盔等設備，在該環境中自由移動和互動。

2. 擴增實境 (Augmented Reality, AR)：

這種技術將虛擬物件或訊息擴增到真實的環境中，使用者通常透過智能手機或平板等裝置的鏡頭和螢幕，或者透過特殊的眼鏡，將虛擬資訊與真實環境結合看到。

3. 混合實境 (Mixed Reality, MR)：

這是將虛擬實境和擴增實境的技術結合起來，創造出一個新的環境和視覺畫面，其中虛擬物件和實際物件可以共存並且進行互動。

XR 延展實境除了單純的視覺呈現以外，面部表情辨識的技術已經成熟，更有廠商設計出 VR 萬象跑步機，以解決前述 VR 使用者在實體空間中也會不斷移動而造成危險的問題。目前也正在研發例如使用者呼氣的感應裝置，以及將虛擬感知重新傳回現實的技術開發。提供了一種新的交互模式，並且逐漸影響了我們的工作、學習和娛樂方式。以下是一些 XR 發展的主要趨勢：

1. 更廣泛的應用範疇：

雖然 XR 最初主要用於遊戲和娛樂，但它現在已經開始在醫療、教育、工業設計、建築、軍事和零售等領域發揮作用。未來，我們可以預見到 XR 的應用將更加廣泛和多元。

• 案例：遠程手術

在醫療領域，XR 技術已被用於協助醫生進行遠程手術。透過 XR，醫生可以在遠程的地方看到患者的身體內部，並指導當地的醫生如何進行手術。此外，XR 也被用於醫學培訓，幫助學生模擬各種手術情境。

2. 更實用的用戶介面：

隨著技術的發展，XR 的用戶介面將變得更加直觀和易用。語音命令、眼動追蹤和手勢識別等技術將使得 XR 體驗更加自然和直觀。

• 案例：虛擬購物

在零售領域，一些公司已經開始使用眼動追蹤技術來改進虛擬購物體驗。顧客可以透過眼動追蹤選擇商品，而不需要使用手或其他控制器。

3. 更高的沈浸度：

透過進步的顯示技術、更精確的運動追蹤，以及觸覺回饋系統，XR 的沈浸度將進一步提高，使得虛擬世界和現實世界之間的界限變得模糊。另外，5G 的

興起也提供了高速、低延遲的連接，呈現更高品質的 XR 體驗。

- 案例：虛擬旅遊

有些旅遊公司提供虛擬旅遊體驗，讓顧客在家中就能夠體驗到遠方的風景和文化。透過高解析度的顯示技術和觸覺回饋，顧客可以感受到真實的旅遊體驗。

4. 社交上的應用：

人們不僅可以個別使用 XR 技術，也可以與他人共享同一個虛擬環境，進行交互。這種“社交 XR”將使人們能夠以新的方式互相連接，無論他們在現實世界中的地理位置如何。

- 案例：虛擬音樂節

在疫情期間，一些音樂節和演唱會轉向虛擬空間。觀眾可以在虛擬環境中與其他觀眾互動，共同體驗音樂和表演。

5. 跨平台的體驗：

隨著各種不同的 XR 設備（如頭戴顯示器、智能眼鏡和手機）的出現，未來的 XR 應用將需要能夠跨越這些不同的平台，提供一致的使用者體驗。

- 案例：虛擬辦公室

有些公司開始使用 XR 技術來創建虛擬辦公室。員工可以使用各種不同的設備，如頭戴顯示器或智能眼鏡，進入同一個虛擬空間，進行會議和合作。

XR 延展實境對建築產業的影響主要可以分成設計層面與呈現層面。這些案例展示了 XR 技術的多樣性和潛力，並預示了其在未來的各種可能應用。隨著技術的進步，我們可以期待更多創新的 XR 體驗出現。在設計層面，建築設計師可以透過 XR 相關設備對於設計初期的內容進行精準的檢視與調整；在呈現層面，非建築專業者可以透過 XR 技術更明確而直接的體驗到案件落成後的空間感受，更有機會在討論過程中對材質、家具等等細項微調，或是透過與 BIM 的結合，從 XR 中獲取物件的資訊。

■ Robot 機器人

過去營建業大多仰賴大量勞工建造，但近年因高齡化等問題逐漸出現缺工的現象，因此越來越多研究朝向機器人自動化營建領域發展，透過機器人與 AI 視覺辨識等智慧化的操作模式，降低營建業的營建成本、處理重複性任務、應用於危險或具有挑戰性的環境等。

AEC 領域中對於機器人應用擁有巨大的潛力，但業內人員對新技術的疑慮和過時工作流程的普遍性仍成為障礙。其中，小型企業占領了該行業的絕大多數

(82.3%)，且小型企業通常採用的技術較為落後。再者，該行業的微薄利潤率(約3-5%)讓人們對採用新技術，尤其是那些有未經證實的成本節約前景和昂貴的程式設計和維護成本的新技術，感到猶豫。(Emaminejad & Akhavian, 2022)

機器人技術進步，促使原本需要大量勞動力的工作逐漸轉為人機協作(human - robot collaboration)，並逐步提升生產效率與安全性。然而，建築領域的HRC現況、挑戰及新趨勢研究不足。(Zhang et al., 2023)

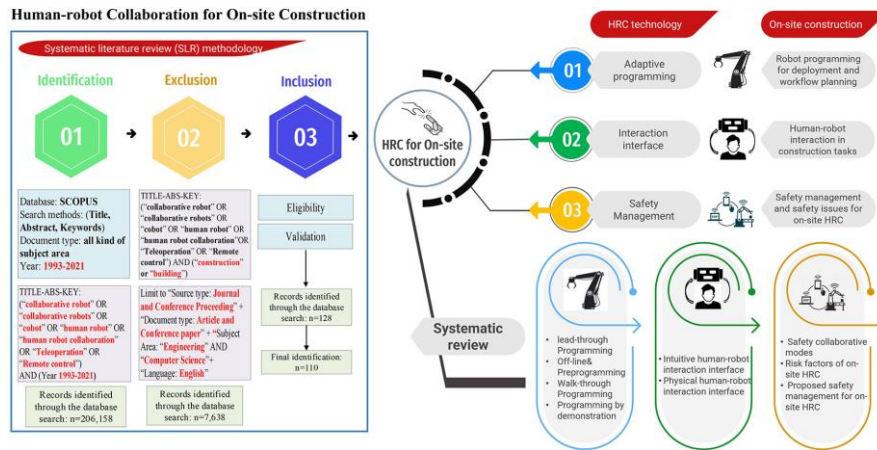


圖 2-7 營建現場之人機協作架構圖(圖片來源: Zhang et al., 2023)

■ 營建業中的機器人和自動化系統的類型

在營建業中有許多類型的機器人技術，每種都有自己的優缺點。一些受歡迎的營建業的機器人和自動化系統包括 3D 打印機器人、自動化車輛和重型設備、機器人助手和外骨骼技術。

Level	Description
Full Autonomy	Robot performs all aspects of a task autonomously
Supervisory Control	Robot does all aspects of task, but human continuously monitors the process. Human can override and set new goals
Executive Control	Human sets an abstract high-level goal. Robot autonomously senses environment, sets the plan, and takes action.
Shared Control with Robot Initiative	Robot does all aspects of the task and can ask human for assistance in setting new goals and plans, if there are difficulties and challenges.
Shared Control with Human Initiative	Robot autonomously senses the environment, develops plans and goals, and takes actions. Human monitors the process and may intervene and set new goals and plans if the robot is facing challenges.
Decision Support	Both the human and robot sense the environment and generate a task plan. Human makes the final choice and commands robot to execute tasks.
Batch Processing	Both the human and robot monitor and sense the environment. Only human sets the goals and plans for the task. Robot executes the assigned tasks.
Assisted Teleoperation	Robot senses the environment and chooses to intervene with task that human assist with all aspects of it.
Teleoperation	Human is responsible for sensing and planning. Robot assists the human with task execution.
Manual	Human does all aspects of the task with no involvement of robot.

表 2-1 機器人參與程度表 (圖表來源:Emaminejad & Akhavian, 2022)

■ 機器人在營建業中的優點

機器人在營建業中的優點包括提高建設現場的安全性、提高效率、提高精度、時間和成本效益。引入機器人技術消除了人為錯誤的可能性，提供了高度準確的結果。

■ 機器人在營建業中的未來

機器人技術和自動化正在改變建築、工程和建設（AEC）行業。建設行業的機器人技術是一個年輕且快速發展的跨學科領域。預期機器人將改善工作條件、減少事故並提高建設生產率。

缺工與淨零碳排的趨勢，產業逐步導入機器人施工、預鑄將成為全球未來的營造趨勢，以 BIM 技術為基礎推動非現場施工/預鑄與自動化營建，背後所隱含的工程建造模式革新與所衍生的設計邏輯轉變是關鍵之所在。

未來可預期一個完全自主的營建系統能夠在無人為監督或干預的情況下運行，或許短時間內不容易實現，但是可以逐步滾動式推動較容易實踐的部分，並引進機器人產業與營建產業的合作，未來甚至運用於救災、資產設施管理更具有挑戰性的環境。

■ Digital Twin 數位雙生

「數位孿生」(Digital Twin) 的概念是由 BIM 發展而來的，建築資訊模型 (BIM) 提供了關於建築元素的幾何和語義信息，涵蓋了建築物生命週期的所有階段，包括設計、施工、運營、維護和終止。然而，BIM 在模擬實時行為和準確預測未來性能方面存在限制。為了克服這些限制，出現了一個名為數字雙胞胎的新概念。

如圖 2-7 所示，Deng 等提出了一個五級分類法來描述從 BIM 到數字雙胞胎的轉變。第 1 級代表 BIM，第 2 級表示 BIM 支持的模擬，第 3 級將 BIM 與物聯網 (IoT) 結合，第 4 級將 BIM 與人工智能 (AI) 技術結合進行預測，第 5 級代表理想的數字雙胞胎。數字雙胞胎的引入可以幫助促進當前 BIM 靜態數字模型狀態的 BIM 建設，並且物理和虛擬的發展可以自動同步。

儘管 BIM 有很多優點，但它在實時更新建築的現狀方面仍有不足，因此很難滿足從設計到施工、運營和維護的整個建築生命週期中信息轉換的即時性需求。為了解決這個問題，「數位孿生」(Digital Twin) 的概念作為一種解決方案出現。

數字雙胞胎的第一個概念是由 Michael Grieves 於 2003 年在其產品生命周

期管理(PLM)課程中提出的。他將數字雙胞胎介紹為“與物理產品相當的虛擬數字表示”(Grieves, 2003)。PLM 的概念理想被描述為在所提議的模型中的一個鏡像空間模型。這個模型中都代表了物理世界、虛擬世界以及它們之間的數據流，這是數字雙胞胎的基本組件。數位雙生(Digital Twin)通過物理世界的實體物體創建一個精確的動態數位模型，使得在虛擬環境中可以模擬和預測實體的行為。在建築、工程和施工(AEC)領域，數位雙生的概念可以廣泛應用。

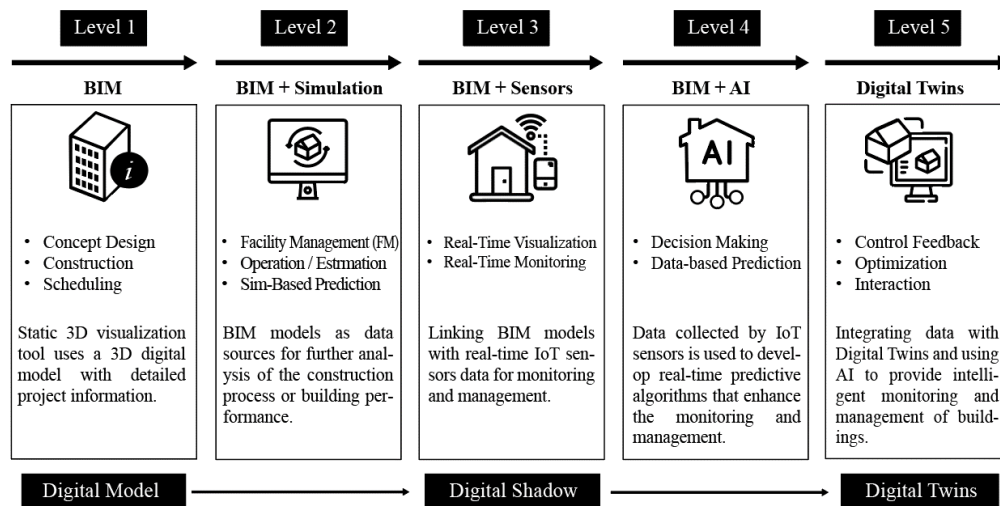


圖 2-8 從 BIM 到建築環境中的數字雙胞胎的演進(圖片來源:Deng et al., 2021)

數位雙生是一個運算模型和真實世界系統的結合，旨在監控、控制和優化其功能，數位雙生旨在於將物理世界的有形資產以數據資料的方式複製在虛擬數位模型上儲存，分析後再加以利用。物理模型和虛擬模型間具有連結性是數位雙生的特性，這樣的連結性藉由即時的感知器(sensor)回傳資料，再透過一連串的处理、分析、判斷後，使虛擬模型能產生回饋，進而優化實體的功能或效能以達到數位雙生的價值。以下以建築工地為例，列舉五點實時數位雙生應用。

1. 自動進度監控

以往在進度監控上需要進行實地觀察，以核實所報告的工作完成百分比並確定項目的階段，其數據通常是由現場人員收集的，因此可能偏主觀。擁有自動化的數據收集可以更容易的進行進度監控，驗證已完成的工作是否符合計劃和規範。

2. 竣工模型與設計模型

使用即時數位雙生，可以隨時追蹤竣工模型並進行更改，及早發現任何差異，並對歷史建模數據進行詳細分析，從而為進一步的決策過程增加額外的資訊。

3. 資源規劃和物流管理

根據建築研究數據，大約 25% 的生產時間浪費在不必要的材料移動和處理上。數位孿生技術提供自動資源分配監控和廢材追蹤，從而實現預測性和精益的資源管理方法，從而避免遠距離移動資源並改善時間管理。

4. 施工模擬與安全監控

數位孿生使得現今可以在施工前，先利用蒐集的資料數據進行分析與模擬，預測可能發生的狀況，並且擬定相對應策略。而數位孿生也可以追蹤實時現場狀況，以防止不當行為、使用不安全材料和在危險區域的活動。相關應用例如在數位孿生平台上導入警示通知系統，讓工地主任知道現場工作人員何時位於工作設備的危險附近，並向工人的可穿戴設備發送有關附近危險的通知。

5. 品質評估

數位孿生技術結合物聯網與影像辨識，還可以通過攝影圖像檢查混凝土的狀況，或是檢查建築工地的柱子上的裂縫及任何材料位移，這將發展出更多的品質檢查，從而有助於及早發現可能出現的問題。

第二節 生成式人工智慧的發展現況

在 2022 的 11 月 OpenAI 公布了 ChatGPT 以後，AI 科技有了顛覆性的躍進，產業快速迭代，更是在 2023 的 3 月時因為 OpenAI 發布多模態模型 GPT-4、相關插件(如 Expedia, Wolfram, Zaiper……)的推出，將這波浪潮推到至高點。

緊接著，AI 繪畫隨著 Midjourney V5 的推出來到了照片時代、微軟接著推出 Copilot，整合平時大家最常使用的微軟文書處理應用程式，以人機協作的方式提高工作效率、百度發布了文心一言、Runway 推出更好的文生影片 Gen-2、Adobe 推出 Firefly 等等優化自家公司的繪圖軟體(Axtonliu, 2023)，許多建立在生成式 AI 技術的相關應用為各個領域帶來突破與改變。

然而，特斯拉(Tesla Inc.)執行長伊隆馬斯克(Elon Musk)、蘋果(Apple Inc.)共同創辦人 Steve Wozniak、Stability AI 執行長 Emad Mostaque 等人發表公開信、呼籲針對比 GPT-4 更強大的系統暫停訓練 6 個月，理由是社會、人類可能面臨潛在風險(Future of Life Institute, 2023)，而同樣的 AI 界相當有名望的科學家 Yann LeCun 和 Andrew Ng 則提出暫停六個月會是一個糟糕的主意。

逐漸的，發展的浪潮隨著技術、硬體設備等限制，整體速度趨緩，彼時至今，

原有 AI 相關軟體仍不斷推陳出新(ChatGPT 在 2023 年 3 月推出了 GPT-4V 版本、DALL-E 3 即將在 2023 年 10 月推出、Stable Diffusion 在知名的 v1.5 模型後推出更進階的版本: SDXL)、更專業化取向的 AI 新科技推出(應用於繪圖的網站 Leonardo.Ai、應用於製作簡報的網站 Sliddev 等等),是時候開始思考如何利用現有的技術整合、進入產業工作流,將既有問題利用 AI 的輔助來解答或優化。

本研究計劃分析目前生成式人工智慧的發展趨勢,包括:

1. 自己訓練自己的語言模型: 本機版知識庫可望應用於建築法規、特殊專家系統

2023 年 7 月 23 日,日本政府已宣布將由微軟公司支援生成式人工智慧 ChatGPT 的技術,用於文書工作與分析,包括製作答覆國會詢問的草稿,其他部會也正考慮採用,相信未來將會有更多國家以及更多政府公部門也將引進 AI 輔助的技術於現有業務。

隨著過去數個月的發展,現階段 AEC 產業已能夠做到不依賴 OpenAI 的 ChatGPT,在本機安裝語言模型並輸入各樣建築相關的文本(法規、規範、需求、設計說明等等),以此幫助對於基地與設計需求的快速消化解讀、查詢相關規範、事務所設計說明仿寫等等文書作業,不符合規範的設計也可以透過 AI 得到提示。衍伸的問題可能包含 AI 因為做不出跳脫規範的設計,設計的多樣性受到侷限,以及目前這些技術在本領域仍屬小眾,人才缺乏。

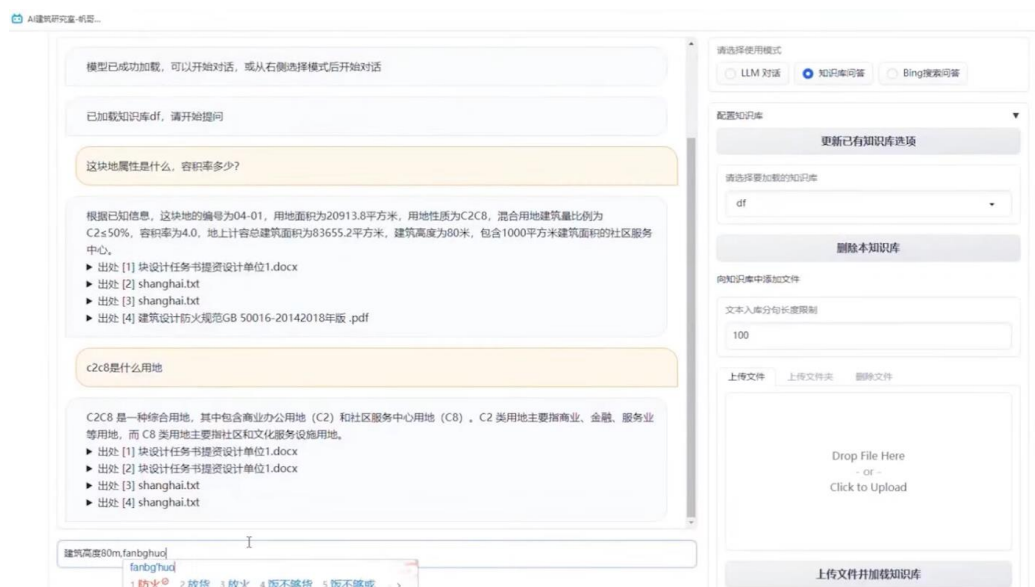


圖 2-9 自行訓練語言模型 (圖片來源: AARG AI 建築研究室, 2023)

2. AI 從理論走向生產力

AI 工具大多不是為了 AEC 產業專門開發，不過隨著發展應用越來越廣，設計師整合不同的 AI 工具，可發展出個人化、由 AI 工具輔助設計的半自動工作流。最常見的是室內設計半自動工作流，將室內設計從風格尋找、平面配置、模型建置到渲染圖的圖面製成進行協助，並且隨著 Stability AI 推出最新模型 Stable Diffusion XL 1.0、Stable Diffusion 原有輔助插件 Controlnet 推出修復細節的模型 Tile 等等，渲染圖的成果已經幾乎難以分辨出是實拍照片、3D 渲染圖還是 AI 生成。

前文提及的「建築學長」、「AARG interior AI」等網站，皆由建築專業背景跨領域資訊類人才所組成的小型團隊在短時間內開發出來的產品，因為熟知 AI 新技術的強項與現況產業的需求，因此開發出來的 AI 產品就是為這個產業量身訂做的，不只能夠解決室內設計業特定方面的問題，更可以開啟此產業嶄新的工作流程。

不過也逐漸觀察到這些 AI 生圖軟體不斷更新的產物趨於一致的現象，大部分的更新皆為優化圖面的細節風格等等，但對於 AEC 產業的其他應用功能仍有待發展與深化。

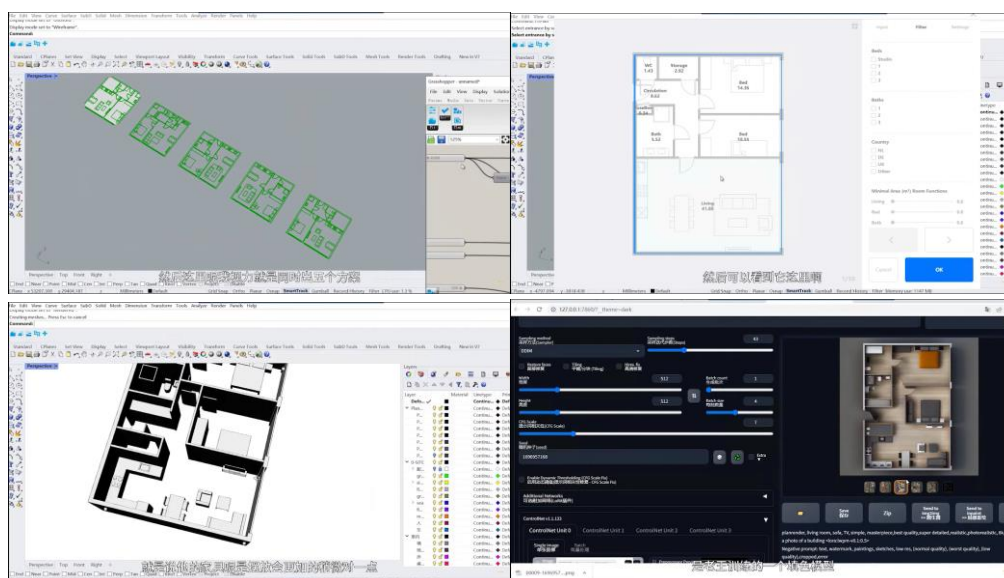


圖 2-10 以生成式 AI 執行平面設計(圖片來源: AARG AI 建築研究室, 2023)

3. 生成式 AI 往邊緣運算發展

2023 年夏季，生成式 AI 研發團隊正逐步將重心轉向邊緣端的開發。我們所熟知的 ChatGPT 與 Midjourney 等生成式 AI 工具都被歸類在需要透過網路傳

輸資料的雲端運算(Cloud Computing)，透過向主要伺服器發送服務請求與輸入需求，運算完成後再將成果經由網路回傳至用戶端。而邊緣運算(Edge Computing)的開發將運算工作移往更接近接收端的運算裝置例如本地主機、智慧型手機等等，能夠節省資料傳輸所需要承擔的頻寬限制與資安風險。

未來能夠更便捷的使用攜帶式設備，即時將現地輸入的資料產出，對於 AEC 產業而言，手機拍照、截圖後生成設計方案不再是妄想。即時的編輯、運算與產出將會大幅度的改變現有的工作習慣。建築師將能夠在現場以簡單的手稿輸入生成式 AI，瞬間產出設計方案與非專業背景的業主討論，達成更有效的溝通。

4. 高效能運算推動理論變成可行技術

以 NVIDIA Research 推出的 Instant NeRF 技術為例(建立在新技術:Neural Radiance Fields;NeRF)，將逆向渲染(inverse rendering)的技術從紙上理論變成可以實踐應用的技術，這要歸功於硬體的升級(電腦的算力、顯示卡規格進化)與相關技術的突破(深度學習技術的進步)。因此在 AI 技術發展的現在，讓一些過去的難題迎刃而解，回頭審視建築產業從設計到製造端有許多未解的難題，或許 AI 的發展不見得直接被應用於現場施工等部分，但對於整體產業相信會帶來好的效益。

第三節 台灣發展人工智慧應用的階段性挑戰

1. 數據資源不足

生成式 AI 的發展需要大量的資料用以訓練模型和進行預測。然而，台灣建築設計領域的資料相對有限，尤其是有關具體建築專案的數據，可能不夠豐富。因此，台灣建築設計產業需要努力蒐集、整理和共享相關的設計資訊。以支持 AI 技術的應用和發展。

2. 技術導入成本

將 AI 技術導入現有的建築設計產業所需要的成本與對應的效益可能不成正比，導致對於 AI 的導入與應用感到陌生與不確定。引入新技術需要進行相應的培訓和轉型，以確保工作流程的順利運作。同時，企業需要了解 AI 技術如何滿足其具體需求，以確保其在實際應用中能夠帶來價值。

目前具有實用性的相關技術正在逐步成形，不過仍處於發展初期，因此對於非軟體專業者而言，學習成本較高。待未來生成式 AI 工具互相整合並以人性化的 UI/UX 包裝，能夠大幅度的降低 AI 技術在 AEC 產業導入的成本。

3. 工具的成熟度

在建築設計領域，需要高度專業的設計工具支援各種複雜的建築任務，例如建模、規劃和分析等。目前生成式 AI 設計工具大多都是產出 2D 圖片，對於特定的設計需求可能無法提供足夠支援。

目前 AI 相關領域的開源技術正處於蓬勃發展的萌芽階段，生成式 AI 相關的應用論文在國際上百家爭鳴，不過大多還處於概念性的實驗原型階段，需要等到技術更加成熟後，才能夠找到實際應用的著力點。因此，台灣設計產業需要密切關注 AI 技術的發展，並積極參與相關的研究和開發，以推動 AI 設計工具的成熟與創新。

4. 保護知識產權

AI 技術的發展帶來一系列的知識產權和創新挑戰。在建築設計領域，一些 AI 應用可能會涉及到專利、版權和商業機密等問題。台灣設計產業需要制定相應的知識產權保護策略，確保 AI 技術的應用不會侵犯到他人的權益，秉持科技倫理原則。



圖 2-11 人工智慧的階段性挑戰(圖片來源：本計畫繪製)

第四節 先進國家推動數位轉型相關策略

全面實現數位轉型已不僅僅是各產業和企業的追求，更是各國必須努力實現的目標。此外，世界各國在建築產業數位轉型方面有不同的政策和取向，各國推動的政策包括基礎建設、研發資金投資、培訓計畫、法規調整等方面，以推動建築行業的數位轉型，以下將對美國、英國、日本和中國的數位轉型政策進行比較。

1. 美國

政府努力增強對公民的數位服務像是 U.S. Digital Service (USDS) 或 18F。專注於改進政府網站、應用程式和整體使用者體驗。Cloud First 政策鼓勵機構優先考慮雲端解決方案，以提高效率並降低資料成本。

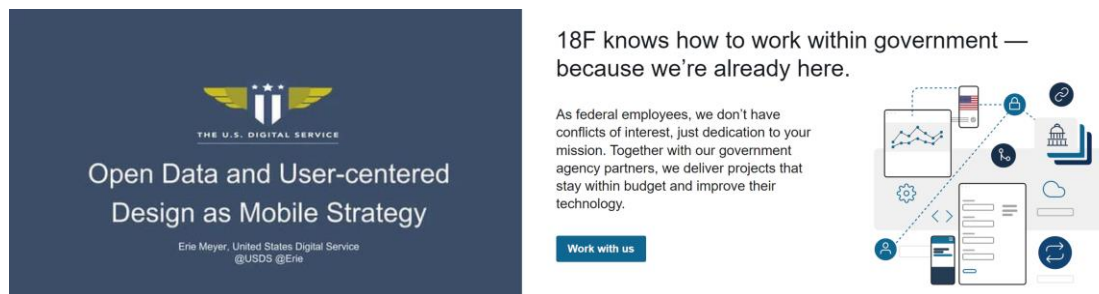


圖 2-12 美國政府提供的公民數位服務(圖片來源：擷取自網路)

鑒於數位空間中的威脅不斷增加，政府也強調網路安全。策略涉及保護關鍵基礎設施、增強聯邦機構的網路安全措施，以及促進公共和私營部門之間的合作。考慮和制定數據隱私相關法律，涉及州和聯邦層面，以保護個人在數位時代的隱私權。

支持開放資料的系統，旨在使政府數據對民眾開放。Data.gov 是一個平台，提供對各種數據集的查找，促進透明度與創新。各單位一直在過度到線上平台，使公民能更方便地訪問服務和資訊。包括線上報稅、社區安全服務等流程。此外，也積極投資數位基礎建設，包括擴大寬頻和改善互聯網的連通性。認為確保所有公民能夠獲得高速互聯網是重要的。

積極推動創新和新興技術的應用，包括人工智慧(AI)、機器學習、區塊鏈和物聯網(IoT)。各機構皆投資於研究和開發，以保持技術發展的前沿。另外，倡導數位正義。努力縮小數位鴻溝，確保所有公民能夠參與數位世界。包括提供數位素養培訓，尤其針對弱勢社區，以及解決科技不平等的地域差距。

在建築營造產業方面，推動數位建設在建築和基礎設施領域的應用，包括使用建築資訊模型(BIM)和其他先進的數位技術改進設計，施工和營運階段的效率。

進行大規模的基礎設施投資，包括建築和交通基礎設施。這些項目包含數位轉型的元素，以提高項目的可管理性、效率和可持續性。

支持培訓和教育計畫，確保建築行業中的專業人才具備數位技術知識和技能。包括在大學和職業培訓機構提供相應的課程和培訓。通過推動數據標準的制定和數據共享機制，促進建築項目中各方之間的訊息交流，有助於減少訊息孤島，提高整個生命週期的協同作業。強調永續和綠建築的重要性。包括在建築和基礎設施項目中促進節能、減少碳足跡和提高能源效率的措施。

2. 英國

提倡全面的數位戰略，旨在轉變公共服務的提供方式，並提升公民的數位技能，促進數位包容。其關鍵組成部分包括改善數位基礎設施、促進創新，確保政府在數位採用方面擔任引領角色。

對數位基礎設施進行重大投資，擴展和改善全國高速寬頻和移動連通性。確保公民能使用可靠的數位服務。數位服務在實施數位轉型倡議方面扮演中心角色。GDS 致力於改善政府網站、線上服務，並推動以使用者為中心的設計。此外，確保公民具備參與數位經濟所需的技能，努力提升數位勞動力。數位技能夥伴關係皆在與行業和教育提供者合作，解決數位技能差距問題。

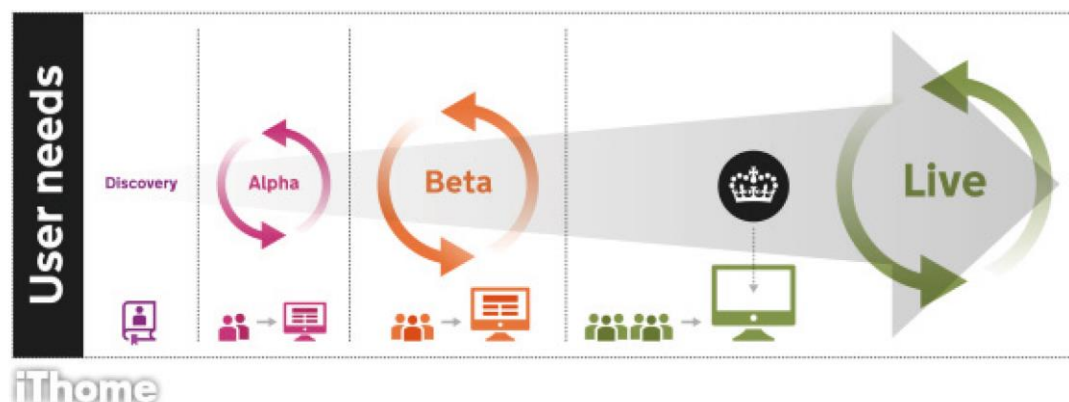


圖 2-13 英國的政府數位服務團隊（GDS）進行數位服務系統研發

（圖片來源：擷取自網路）

接受金融科技(FinTech)應用的先驅，實施開放銀行以促進金融行業的創新。開放銀行能使消費者安全地與第三方提供者共享其財務數據。國家衛生服務(NHS)經歷數位轉型，以改善病患護理和效率。包括採用電子健康紀錄、遠程醫療解決方案以及數位工具支援醫療服務。智慧城市也是推動的目標，利用物聯網技術增強城市生成、改善基礎設施並優化公共服務。

在個人隱私安全保護層面，已實施數據保護法規，包括《通用數據保護規例》

(GDPR)，持續努力集中於強化網路安全措施，以保護關鍵基礎設施和敏感訊息。支持政府科技(GovTech)，促進公共部門的創新。提供資金支持給初創企業和為政府使用開發技術解決方案的企業。英國以研究數位身分辨識的系統，以提高安全性與簡化對數位服務的使用。數位身分旨在為個人提供一種安全和方便的方式，在線上驗證其身分。

在建築營造產業方面，自 2011 年起一直在推動 BIM 的應用，要求在公共建築項目中使用 BIM。這項政策的目標是提高效率、減少錯誤並改進項目管理。發布「數位建築戰略」，旨在促進建築行業的數位轉型。該戰略強調 BIM、數位化工作流程和數據管理的重要性，以提高項目效率、降低成本並提升質量。並致力於推動永續建築，提出相應的政策和標準。包括確保建築物遵循環保標準，鼓勵使用可再生能源和環保建材。

Arup 是一家英國的國際工程和建築顧問公司，提出在 AEC 產業的數位轉型可以創造性能、效率和成本效益方面改進的機會。在 2018 年，Arup 創立數位轉型研究小組，以擬定與制定數位轉型策略。這種自上而下的策略有助於從戰略轉為行動，確保 Arup 團隊中的成員都意識到數位轉型的存在，並將數位化轉移至日常活動的一部分。透過各種工作項目、培訓和研討會，也尋求與外部企業和學術機構的合作。

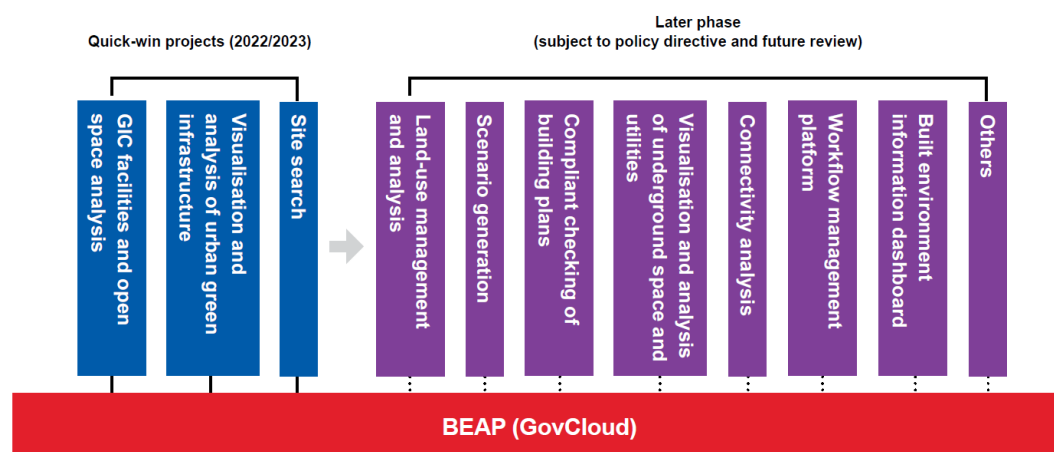


圖 2-14 與 AEC 相關可開發應用程式類型與優先順序 (圖片來源: Arup)

3. 日本

引入“Society 5.0”概念。透過數位工具整合虛擬和實體空間，利用人工智慧(AI)、物聯網(IoT)、大數據和機器人等技術。成立領導數位轉型工作，負責協調和加速各個領域的數位提升。

關於數位基礎設施，包括開發高速互聯網網路和部屬 5G 技術。對支持新興

技術並確保全國網路連通性至關重要。創立創新和研究樞紐，與私營部門合作，促進新興技術的發展，旨在匯聚產業、學術界和政府。

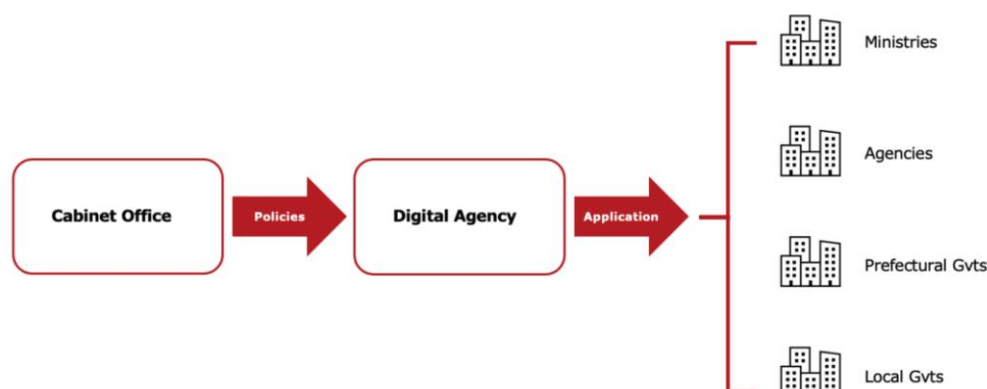


圖 2-15 日本政府機構數位化架構（圖片來源：擷取自網路）

積極在各個行業中採用機器人和人工智慧技術，包括製造業、醫療保健和服務業。努力促進自動化的使用，以提高效率並應對勞動力短缺。啟動項目以開發智慧城市，整合物聯網改善城市生活。包括專注於能源效率、交通優化和整體城市規畫項目。

也致力於提高數位素養，促進勞動力中的數位技能。包括教育計畫，裝備個人應對數位時代需求。同時確保數據的隱私安全。政策和指導方針旨在數據利用和保護隱私之間取得平衡。探索法規改革，包括簡化法規以促進新技術和商業模式的應用。鑒於數位安全重要性不斷提升，日本一直加強其網路安全措施。包括增強關鍵基礎設施抗災能力和應對網路威脅。

在建築營造產業方面，政通過相應的政策和法規鼓勵建築項目建築資訊模型(BIM)的應用，利用 BIM 整合建築和基礎設施項目中的各種資訊，從而提高設計和建造效率。支持建築物資訊共有平台的發展，這有助於建築行業中不同利益相關者之間的訊息共享和協作。促進設計、施工和維護階段的數據流通，提高生命週期效率。

4. 中國

強調數位連通性的重要性，著重於利用數位技術實現現代化治理、產業和公共服務。在 5G 技術的部屬是全球領先者。大力投資於建設 5G 基礎設施，支持高速、低延遲的通信，促進智慧城市和物聯網(IoT)的發展。投資於人工智慧的研發，重點應用於醫療、教育、金融等行業。

積極開發和測試數位貨幣，稱為數位貨幣電子支付(DCEP)。實現更快速、高效的交易。擁有繁榮電子商務生態系統，由阿里巴巴和京東等公司主導。政府支

持數位平台和線上市場的發展，促進零售和服務數位化。整合數位技術，使用物聯網設備、感應器和數據分析改善城市管理、交通和公共服務。新冠疫情加速數位健康技術和遠程醫療的應用。正運用數位解決方案提供遠程醫療服務、健康監測和醫療數據管理。

投資大數據基礎設施和雲端運算服務，以支持數據密集型應用。包括建設大規模數據中心並促進企業和政府使用雲端服務。強化網路安全，提升數據治理。保護個人數據與基礎設施安全。也倡議促進國際合作，與其他國家合作開發與應用數位技術。

在建築營造方面，政府從 2001 年制定政策推動建設領域資訊化，完成企業數位資訊化的普及應用。推動一系列面向基於 BIM 的建築數位化政策，整合人工智慧、大數據等集成應用，研發建築產業互聯網平台。

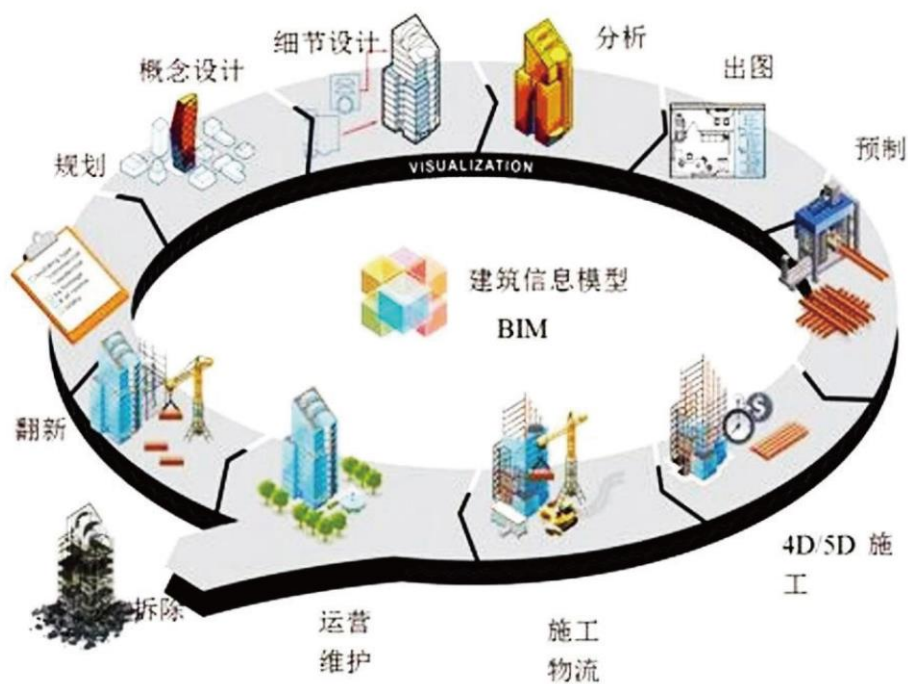


圖 2-16 中國碧桂園集團的 BIM 技術應用實踐（圖片來源：擷取自網路）

不僅是美國、英國、日本和中國，許多國家都意識到了數位轉型對於提升經濟競爭力和促進創新的關鍵性作用。總體而言，這些國家的數位轉型政策在具體細節上存在差異，但都以提高國家整體數位化水平、促進經濟發展為目標。通過以上的深入論述，可以更好地了解各國在數位轉型方面的策略取向和實踐情況。

第三章 數位工具、平台與前瞻數位技術盤點

第一節 AI 人工智慧的發展與應用

1. ChatGPT

ChatGPT 是由 OpenAI 公司開發的人工智慧聊天行機器人(AI Chatbot)，使用自然語言處理(NLP, natural language processing)領域的相關技術訓練的 GPT 模型(Generative Pre-trained Transformer Model)，試圖模擬人類對話中的自然語法，能夠依據不同需求提供建議、回答問題。資料庫的知識量隨著 OpenAI 不斷訓練推出的新版本愈加完整，提供的知識型內容不限於各種語言與各種領域，截至 2023 年七月，GPT-4 已推出。在同一個對話串中，會不斷將前幾次的對話內容重新輸入迭代，使回覆內容更加精準及符合需求。

2023 年 9 月 24 日，ChatGPT 推出了 GPT-4V 版本，除了支援語音輸入與輸出外，更加入電腦視覺中圖像閱讀的功能，對於使用者上傳的圖片能夠有效的解讀。例如上傳教科書上的數學公式照片，詢問解答，甚至是解說網路迷因圖的笑點等等功能。更能進一步搭配 DALL-E 3，生成與對話內容相關的圖片，也因此訓練設計專業的語言模型並產生概念草圖正是 AEC 產業在生成式 AI 領域的下一步。

作為一個人工智慧的語言模型，相信對於建築產業將帶來許多正向影響。在建築設計規劃上，建築計畫的定性定量可透過詢問 ChatGPT 等語言生成工具，根據類型與需求快速得到基礎的參考數值，作為後續調整的基礎。除此之外，一些繁瑣的規劃報告書與基地背景資料整理都可以透過 ChatGPT 整理綱要與重點，一方面提高設計的效率與準確性，亦可節省時間與成本，將建築師寶貴的時間更多用於處理設計的部分。。

2. DALL-E 2

Dall-E 是由 OpenAI 開發的圖像生成模型，透過使用者輸入提示文字(Prompt)產生相對應的圖像。與傳統圖像生成模型不同之處是在於 DALL-E 基於 GPT-3 的語言模型，能夠理解自然語言輸入、文本與圖像之間關係，並且透過擴散模型(Diffusion Model)將素材添加噪點至均勻圖像後，降噪解碼並組合的過程，與同樣是 OpenAI 研發的 CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) 技術進行文字標籤與圖像的配對，來達到高質量、高度具體化的圖像生成，可以透過調整字詞生成各樣風格與特徵的圖樣。Dall-E 主打提供圖像內部修改的「Inpainting」與延伸圖像的「Outpainting」工具，網頁版的使用著介面簡單易上手。

因為要搭配特定語言描述，建議建築師將設計需求和要求先透過 ChatGPT 或是其他提示輔助工具(Prompt helper) 將人類的自然語言轉化為 AI 更易讀的描述方式，再透過 DALL-E 2 產生相對應的圖像，以此來快速轉譯腦中的設計想法，也可以更好地向他人傳達設計意圖。整合此兩種 AI 工具，可以幫助建築師更加快速地產生創新的設計想法與方案，提高設計效率和效果，和業主端較佳的溝通和理解設計意圖，也可以節省資訊落差來回所耗費的時間與心力。

截至 2023 年 10 月，DALL-E 3 已經與 ChatGPT-4V 及 Bing AI 連動，能夠在對話串中生成對應的圖像，相較於單純的文生圖工具，與語言模型搭配使互動性更高，降低了使用門檻。

3. Midjourney

Midjourney 是一個由同名研究實驗室開發的人工智慧程式，可根據文字生成圖像，於 2022 年 7 月 12 日進入公開測試階段，使用者可透過 Discord 的機器人指令進行操作，使用者不需具備高超的繪畫技巧，只要輸入關鍵字，經由人工智慧計算，便能自動生成風格式繪畫作品。相較於其他的圖像生成工具，Midjourney 憑藉高畫質與符合大眾喜好的風格，成為目前最廣泛、最容易上手的圖像生成工具。經過 V5.2 的更新後增加了延伸圖像的「ZoomOut」功能與縮短提示詞的「Shorten」功能，在工作流程的優化上更有幫助。



圖 3-1 AI 人工智慧軟體 Midjourney 自動生成建築風格設計（圖片來源：擷取自網路）

4. RunWayML Gen-1 / Gen-2

Gen-1 是由 RunWayML 推出的影像生成 AI 工具，是由提示文字引導的一種神經網路系統，透過生成擴散模型，將既有影片與提示文字合成新的影片，可以輕易地將願景變為現實，也可以從無到有生成一段影片，相信這樣的工具將大幅影響改變未來訊息傳達以及闡述想法的方式，目前已推出 Gen-2 版本，畫質與功能上有進一步的提升。

在建築產業的應用，可以將未渲染的 3D 模型透過合成方式快速生成渲染影片供討論用，也可以在環境中放置物品，再將提示文字應用於物品，使得在設計在初期即可簡單模擬與週遭環境的關係，以此刺激設計初期的靈感發想與檢討省思，促進設計的推展，設計迭代之間的時間與耗費的作業被大幅簡化。

5. Stable Diffusion + ControlNet

Stable Diffusion 於 2022 年發布，是一個以「潛在擴散模型」(latent diffusion model; LDM) 為基底的一個深度學習圖像生成模型，不同於另外的文字生成圖像 AI 工具，SD 已經開源，搭配一些相關的使用者介面工具，可以直接在本地電腦執行運算。

ControlNet 是由幾位 Stanford 學者在 2023 年 2 月推出建立在 SD 基礎上的插件，讓使用者用簡單的線稿加上提示文字生成全彩度甚至擁有深度的圖像。這樣的成果是利用端到端的神經網路架構(end-to-end deep learning)，對於 GPT-3 這種龐大預訓練模型通過額外輸入條件來增強有任務特定 (task-specific) 的預訓練擴散模型，改善原本文字生成圖像 AI 工具無法控制細節的關鍵問題，以此強化用 AI 生成圖像的效果。

雖然這些工具的配搭目前多使用於平面設計與人物創作上，但仍可從現有概念中看到建築產業在當中應用的潛力，特別是 ControlNet 中的 mlSD 線段識別 (M-LSD straight line detection) 的範例，僅用簡單的線條即可快速生成不同風格的建築渲染圖，不同於以往先建製模型再調整材質以及渲染參數的繁瑣製程，提供室內設計樣式或是配色的想法，建築立面設計以及外觀能快速產出不同表現法的參照圖像，尤其是在競圖或是提案等等需要快速產出的工作階段成為很好的助手。

因為 SD 是開源的，以及其不收費的機制，許多人以其為平台，做出更多輔助的工具，如有好的搭配，我們認為將會是可塑性最大的一個模型，應用各類插件制定個人化的工作流程，達到除了提示(Prompting)之外新型態的設計方式，Stable Diffusion 的高度可控性相對其他生成式工具更適合融入既有的工作流程中。



圖 3-2 Stable Diffusion + ControlNet 自動生成建築室內設計（圖片來源：劉岱恩繪製）

6. 其他風格與客製化工具

• Checkpoint & LoRA

在 Stable Diffusion 中，可以透過訓練個人風格化的 Checkpoint(大模型) 或 LoRA (小模型) 使生成結果更接近建築師想要的樣子，包含透視渲染圖、模型照片、分析圖等等（目前平面圖仍待優化）。Checkpoint 模型主要控制生成圖像中建築主體的設計風格與構圖(例如流線、室內外透視等)，而 LoRA 影響圖像的表現風格(例如模型渲染、水彩、漫畫風格)，都能夠有效幫助建築產業產出溝通通用圖面。

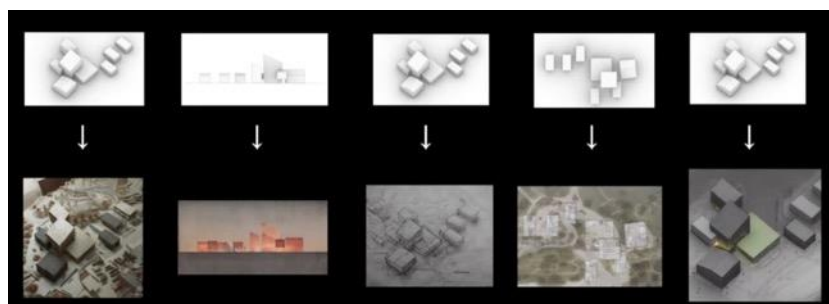


圖 3-3 利用風格化小模型 LoRA 製作建築相關圖面

（圖片來源：<https://www.youtube.com/watch?v=nIgW4pdIeI0>）

• xkool

是一個從建築設計本位出發，用 AI 為建築設計、建造、管理等等協助法規檢討與快速排平面（街廓規劃尺度與建築物內部）的工具，可因應各國法規不同修改其設定，對於資深建築師，是一個用來快速檢查圖面的工具，年輕建築師也可利用它來學習。此外，快速提供配置（街廓的量體與環境配置、建築單體內的房型與服務核的配置）的功能，使得建築師做設計時能快速得到不同種方案，以

便進一步發展設計。

• Adobe Firefly

Adobe 系列原本就是許多建築師、設計師經常使用的工具。2023 年 3 月 22，Adobe 發布了他們的開發的工具 - Firefly，是一個能使用文字生成影像、聲音、向量、影片、3D、筆刷、漸層、影片轉換等內容的 AI 模型。根據 Adobe 發布的範例影片中，「Firefly」將能多方支援創作者在各個階段使用。

順帶一提，目前也出現了可應用於 Adobe 的 Stable Diffusion 工具，可提供使用者直接在熟悉的工作流程加入 AI 工具的輔助，製作上更精準，也節省了跨平台的時間。也有嵌入各軟體中的 AI 工具像是 BlenderGPT、應用於 Houdini 和其他電腦繪圖軟體上的 ChatGPT，有它們的協助，使原本的工作流程得到進化，可以直接用自然語言輸入操控繪圖與模型建置，潛力無可限量。

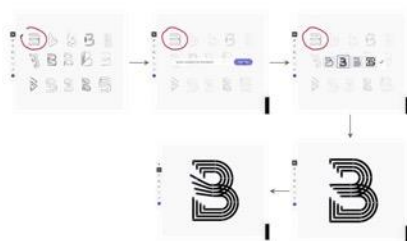


圖 3-4 Adobe Firefly 應用展示 (圖片來源:Adobe 官方網站)

• Text2Materials

Nvidia 團隊在 2023 年的 SIGGRAPH 年度大會上發表了這項震驚全球的新技術，這項生成式 AI 的進階運用，使得設計師及藝術家能夠即時的針對 Omniverse 上的模型調整貼圖與材質，只需要輸入對於目標材質的簡單描述作為提示詞，便能在極短的時間內生成期望中的材質與法向量貼圖等等。開發團隊更將使用者介面與功能整合進行整體優化，讓使用者能夠更人性化、更客製化的針對目標材質進行細微的調整，例如：展示影片中展演了運用此工具能快速、直覺地調整牆面磚紋的比例與細緻度，或是後期利用類似 Inpainting 的功能在特定範圍新增符合風格的獅首紋路於既有的圖畫上。

Text2Materials 未來將有效的幫助 AEC 產業的設計師在各個設計階段節省工作時間，在設計的前期，能夠快速地為素模添加基本材質作為設計發展時的參考，在設計定案發包的後期，也能夠利用 AI 生成的圖像導出後成為實際印刷的樣板。有了即時渲染功能的圖像設計工具，迭代式設計(Iterative Design)的概念變得更加完整，設計師能夠快速的檢視同一個設計在不同光影效果下的樣態，並且能夠同步進行微調。因此搭載物理引擎的渲染軟體不會再被歸納為單純的展示工具，而是會正式成為設計工具。

這項功能其實是由各項現有的技術組合而成。Nvidia 的開發團隊針對設計師與藝術家的需求，將各種情境需要的功能以人性化的 UI/UX 包裝後，產出了這套 Text2Materials 設計工具。相信未來 AEC 產業在各方面，也能藉由現有技術的整合，發展出適合非編碼專業從業人員的各種軟體，加入現有的工作流程中，進而成為主流。

• 3D Gaussian Splatting

NeRF 技術源自於 2020 年 ECCV 研究會議的最佳論文提名之一，透過訓練人工智慧分析點陣照片後，將 RGB 資訊反推回可能的三維座標，並以此建立模型，相較於以往的點雲掃描，NeRF 訓練人工智慧填補輸入照片中無法被直接觀測的模型角落，在最初版本的 NeRF 中，也需要輸入相機拍攝的角度向量資訊。相較傳統的方法，能夠快速將多張 2D 平面照片的資訊整理，進行 3D 立體場景建模，可望應用於國土模型、都市量體模型建置，搭配現今的無人載具、光達與 3D 建模等既有成熟技術，應用於不同尺度的各種用途。

在 2023 年的 SIGGRAPH 年度大會上獲得最佳論文的 3D Gaussian Splatting 技術是 NeRF 技術的優化，對顏色周圍高斯範圍的部分進行光柵化，主要可以解決透過影片生成立體模型時的空洞或是沒有資料的部分。這樣的 AI 技術可以大幅度優化傳統將點雲轉為網格的影像處理，隨著硬體的升級，過去只有理論上可行的思考得以實現，加速訓練時間，提升成果品質與精細度。

第二節 XR 技術的發展與應用

過去幾年來，隨著硬體技術的進步以及軟體創新的快速發展，XR 的技術已經取得了重大突破。例如，高品質的頭戴式顯示器（HMDs）以及優化的運動追蹤技術，使得 VR 的沈浸式體驗變得更加真實。AR 技術，包括進階的計算機視覺和對象辨識能力，讓數位信息可以無縫地與真實世界結合。MR 則進一步融合了虛擬與現實，讓虛擬物體能夠與真實世界的物體互動。以下分別介紹個技術的發展與應用：

1. VR (Virtual Reality, 虛擬實境)

在 VR 方面，目前業界已有部分公司能夠使用初步的 VR 技術，作為展示設計成果的工具，能夠有效地提供非建築專業者更全面的設計呈現。運用沉浸式的技術，業主與設計師都能夠更簡單、快速的體驗設計案例被放大至實際尺度之後，呈現出的空間感受，這也進一步地協助目前在設計端的細節調整，對於甲乙雙方在案件達成共識方面有顯著的幫助。

目前也正在研發更進一步的虛擬互動功能，例如藉由預先設計好的使用者

介面，更換 VR 場景內的牆面材質或調整燈光效果，實現更直接的現場模擬。除了建築方面的模擬，VR 也被運用作為建築物的消防逃生演練等用途，在培訓相關人員方面達到降低成本的效果。

2. AR (Augmented Reality, 擴增實境)

在 AR 方面，與 VR 最大的不同之處在於，AR 是以實際空間作為背景參考，因此會受到使用 AR 技術當下的場域不同而有相對應的影響。此外，相較於具有一定重量的 VR 頭盔等設備，AR 能夠以相對簡易、可及、低成本的設備諸如智慧型手機、平板等設備作為呈現工具，目前業界也開始嘗試使用 AR 技術作為設計討論的工具或是施工現場的檢討。

在室內討論設計的範疇，透過支援 AR 技術設備觀看實體模型，可以虛擬的方式呈現不同以往的模型效果，例如精準地將虛擬模型與實體模型定位之後，透過額外的插件模擬不同時間、季節的光影或植栽效果、更快速的呈現風場的流體模擬，或是將當前設計進程的結構應力分布呈現在畫面中。



圖 3-5 擴增實境設計協作模擬圖(圖片來源:擷取自網路)

3. MR (Mixed Reality, 混合實境)

MR 可以視為 VR 與 AR 技術的統合與延伸，以 Microsoft 推出的 Hololens 系列為例，第二代的 Hololens 搭載五顆高精度的前鏡頭，搭配軟體的運算實現純粹的手部辨識，與 VR 設備相比不再需要把手等裝置與虛擬物件互動，能夠以手勢的方式達成物件的移動與縮放等功能。能夠辨認空間深度的技術也被運用在建築空間的 3D 點雲掃描。

延展實境 (Extended Reality, 簡稱 XR) 已經從遊戲和娛樂的範疇進入到了各種專業領域，其中 XR 技術將成為建築、工程和建設 (AEC) 領域的一項重要創新，它可能徹底改變我們設計、建造和管理物理環境的方式。以下詳細列舉關於 XR 延展實境在 AEC 領域的應用。

1. 虛擬實境 (VR)在建築中的應用：

(1) 建築設計視覺化：

建築師和設計師使用 VR 技術在三維空間中呈現設計概念，讓他們和客戶可以“進入”該設計並在完成前親自體驗它。

(2) 訓練與教育：

VR 可以用於模擬建築環境，提供學生和專業人士實際操作和學習的機會，無論是建築設計、施工還是建築管理。

(3) 建築歷史和遺產保存：

VR 可以重現過去的建築結構和環境，使人們可以親身體驗歷史。

2. 擴增實境 (AR)在建築中的應用：

(1) 建築資訊模型 (BIM) 可視化：

AR 可以使建築師和工程師在實體空間中看到超越二維平面的資訊，並能即時獲得詳細的建築資訊。

(2) 場地分析與規劃：

AR 可以實時地展示不同的設計方案對現有環境的影響，有助於更好地理解 and 規劃場地。

(3) 施工管理：

AR 可以用於實地展示建築設計和結構，幫助施工團隊更準確地理解和遵循設計。

3. 混合實境 (MR)在建築中的應用：

(1) 實時設計與改動：

MR 讓建築師能在真實環境中直接修改和調整虛擬設計，並立即看到結果。

(2) 項目協作：

利用 MR，設計師、工程師、承包商和客戶可以共同參與到設計和規劃過程中，即使他們身處不同的地點。

(3) 設施管理：

MR 可以使設施經理人更有效地管理和維護建築物，通過將虛擬資訊與實體建築結合，可以方便地識別問題並找到解決方案。

隨著 XR 技術的進步，若需要更進一步的達成同一軟體中的多人互動，開發的難度與設備需求都不容小覷。已有遊戲廠商推出 VR 相關線上遊戲，目前學界與業界正在研發多人同步在同一虛擬場景中討論建築設計的技術，運用 VR 頭盔或是 MR 的 Hololens 2 等設備，AEC 專業人員可以透過這些工具在虛擬的場域中

共享作業，以進行設計的協作、討論與調整，以下是利用 MR（混合實境）頭戴式裝置實現多人同步共享協作模擬實作與相關技術。



圖 3-6 混合實境 Hololen 2 設計協作模擬實作（圖片來源：成大建築 IA Lab）

研究設計使用 Hololen 2 實現多人同步共享協作的系統，混合實境的協作流程如圖 3-7 所示，「通訊模塊」專注於「共享視覺呈現」，並促進使用者間的協作。所謂的「共享視覺呈現」，指的是在共同設計過程中，所有使用者共享的視覺界面來實現多人同步協作。

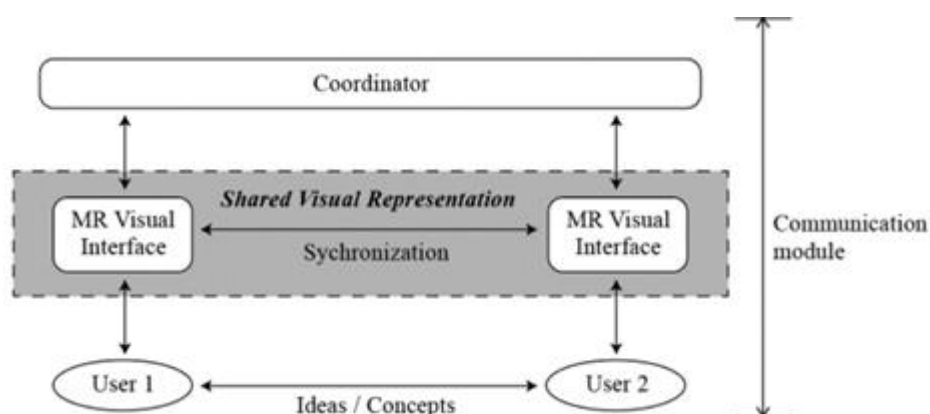


圖 3-7 混合實境中的協作設計流程實作（圖片來源：成大建築 IA Lab）

在共享層面涵蓋多種技術，Autodesk Platform Services 提供了強大的 API，使開發者能夠將 3D 模型整合到他們的應用程序和工作流程中。此外，研究整體系統開發上使用 Unity Engine，這是一種廣泛使用的跨平台遊戲開發引擎，用於創建互動的 2D 和 3D 體驗。為了實現多人協作功能，我們使用了 Photon Unity Networking (PUN) 來實現多人同步顯示，這是一種專為 Unity 遊戲開發設計的網絡框架。Photon Unity Networking 在系統中對於組織任務以及在混合實境中同步多個視覺界面扮演了關鍵角色。它確保每個使用者看到的視覺呈現是一致的，使他們在共同設計過程中能夠無縫地分享想法和概念。

最後使用由 Microsoft Azure 提供的 Azure Spatial Anchors 來支持混合實境體驗中的空間映射和物件位置追蹤，結合 Azure cloud 在混合現實環境中有效地存儲模型對象的位置，並通過整合 Photon Unity Networking 協調「共享視覺呈現」，實現多個用戶之間共享，使得使用者間的有效溝通和協作成為可能。允許使用者訪問和操作共享數據，將模型視覺化和分析，並能在真實時間內協作，導致在共同設計過程中有更高效率的決策和管理。

混合實境 (MR) 透過結合這些技術，可以提供了一種具有高度互動性且直觀的設計方式，使各專業人員能夠在建築生命週期中全面互動和模擬模型。此外，這種直觀性使得不同的專業人員能夠更輕易地進行討論和合作，進一步改進設計和解決可能出現的問題。透過 3D 模型的視覺化，使用者可以對空間環境有更深入的理解，建築師、工程師和承包商都可以同步查看並互動與設計模型，幫助各個專業人員更有效地協作，從而提高團隊的協同效率。

在探討 XR 技術進步的領域，特別著重於在這近幾年推出的卓越創新，尤其是在協作式擴展實境的領域。當我們探索研究和開發的交叉點時，此部分揭示了已經出現的尖端技術，並強調了它們的重要性、意義和在協作式 XR 中的變革潛力。

1. Microsoft HoloLens 2：啟用遠程協作 (Microsoft, 2023)

Microsoft 已經為 Microsoft HoloLens 2 推出了一項升級，其中 Microsoft Dynamics 365 Guides 將全息指示無縫地與來自 Microsoft Dynamics 365 Remote Assist 的實時視頻通話融合在一起。這項進步提供了流暢的用戶體驗，便於在任務執行和協作努力之間輕鬆切換。這種對信息和同事的流暢訪問培養了在工業元宇宙中採取行動時的信心。以下是一些附加好處：

- Teams 用戶現在可以將屏幕共享為全息圖。
- HoloLens 2 用戶可以訪問 Teams 日曆並直接加入會議。
- 通過文件共享和文字聊天簡化了討論。
- 知識可以從桌面共享到 HoloLens 2。

對於建築、工程和建設 (AEC) 部門，這種整合帶來了顯著的好處，增強了項目協調、現場故障排除和團隊之間的實時協作。

2. Apple Vision Pro：分享體驗 (Apple, 2023)

Apple 推出了突破性的 Apple Vision Pro，這是一款混合現實頭戴式裝置，它將數字內容無縫地與物理世界融合在一起，允許用戶在與通過設備投影的應

用程序互動時保持真實生活的存在。Vision Pro 為應用程序創建了一個廣闊的畫布，超越了傳統的顯示邊界，並引入了一個完全三維的用戶界面。該界面通過自然輸入進行導航，例如用戶的手、眼睛和聲音，這一切都是由被譽為“世界上第一個空間操作系統”的 visionOS 實現。

由 visionOS 驅動，Vision Pro 使用戶可以與這個沉浸式 3D 界面協調，提供了一種與數字內容互動的創新方式，同時保持與物理環境和其他人的互動。這種虛擬和真實的獨特融合，其中交互感覺自然而直觀，代表了混合現實體驗領域的一個重大飛躍。

在 Apple 的 WWDC 2023 上，進行了各種令人興奮的公告，包括空間 SharePlay 體驗的首次亮相。這一突破性功能使開發人員能夠在他們的 visionOS 應用程序中創建共享活動，引入了一個交互式機會的領域。

- 空間 SharePlay 體驗：

它圍繞著共享的上下文，強調鼓勵個人之間有意義的互動的用戶界面(UI)設計。這種共享的上下文增強了沉浸感，允許參與者參與相同的活動並實時互動。

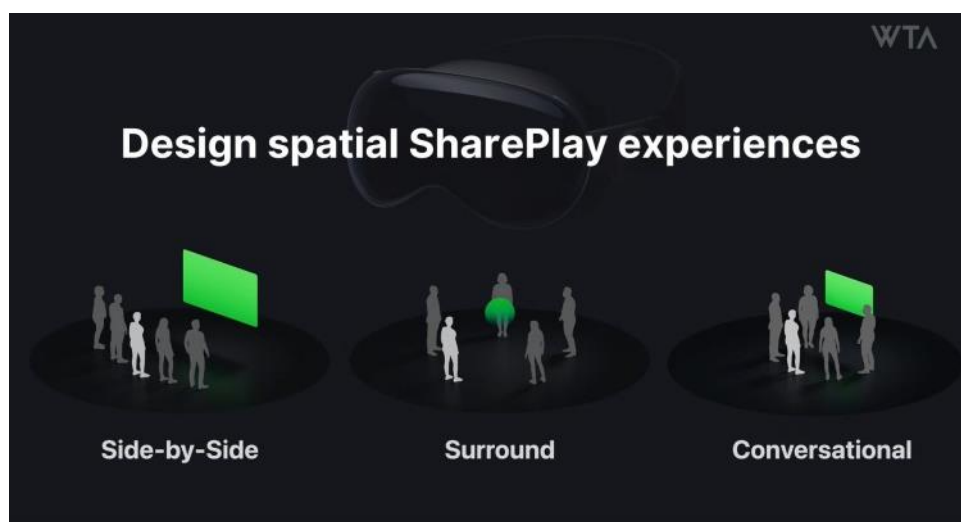


圖 3-8 從 WWDC 2023 捕獲的使用角色模板的三個不同的空間平台（圖片來源：WWDC, 2023）

- 空間人物模板：

這可能作為用戶在共享活動中的互動的藍圖。這些模板為用戶與其他用戶和共享內容的互動提供了指導或規則，增強了參與感和互動性。

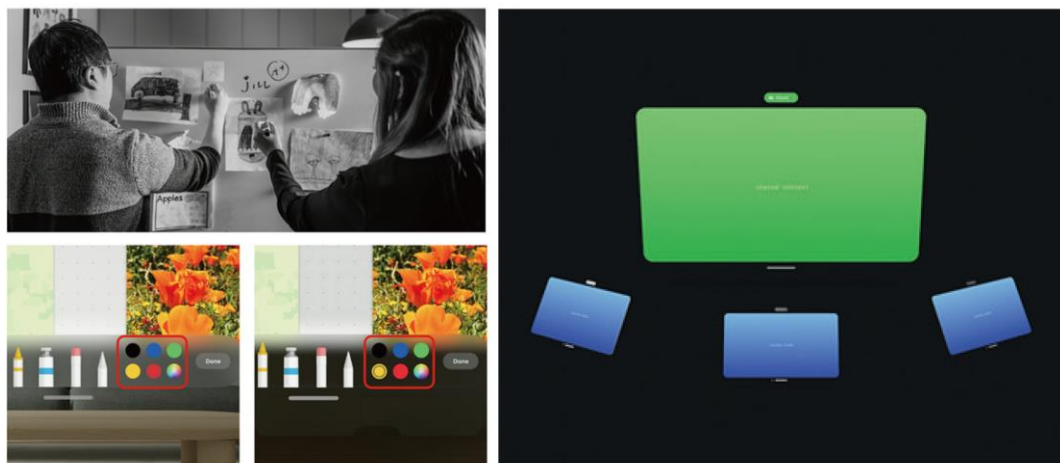


圖 3-9 個人化編輯模式（左），允許每位用戶打開私人窗口（右）（圖片來源：WWDC, 2023）

在現實生活中的協作中，有各種工具可以幫助。因此，在空間設計平台的上下文中，為了確保每個人都覺得他們在同一個空間中，參與者應該有不同的編輯模式和個性化的工具。有時用戶可能希望在協作時查看其他文檔，因此設計用戶打開私人窗口的能力是很重要的。這允許他們在協作時編輯自己的文檔，就像他們在會議室中帶著自己的 iPad 一樣。

第三節 3D 掃描技術的發展與應用

3D 掃描技術在近年來已經取得了巨大的進步，尤其是在 LiDAR 技術的推動下。LiDAR，即光學雷達，是一種使用光學感測器和激光雷射發射器來測量物體距離的技術。它可以對物體、地形、建築物等進行高精度的三維掃描，從而建立出高度精確的三維模型。

LiDAR 技術在手機領域的應用已經越來越普及。它可以協助手機進行更精確的人臉識別，因為 LiDAR 可以測量人臉的距離和特徵，從而提高識別的精度。此外，LiDAR 技術也被廣泛應用於虛擬實境領域，可以提供更真實的三維感知和互動體驗。

然而，LiDAR 技術也存在一些挑戰。首先，其感測器的生產成本相對較高，這使得一些預算有限的用戶難以承受。此外，LiDAR 技術需要消耗較多的電力，這可能會影響到手機的電池續航能力。還有，由於 LiDAR 感測器的尺寸較大，這對手機的設計和製造也帶來了一定的挑戰。

3D 掃描技術的應用已經遠遠超出了手機領域。它是一種能夠創建現實物體高精度 3D 模型的技術。通過拍攝物體的多個快照，並將其融合成一個完整的 3D 模型，這個模型可以在電腦上從不同的角度進行觀看。

3D 掃描技術在各個領域都有著廣泛的應用。在品質控制領域，3D 掃描軟體可以提供更精確的深度感知，從而提高檢驗的品質和速度。在原型製作和 3D 列印領域，3D 掃描可以快速創建物體的數位模型，這些模型可以直接用 3D 列印機進行列印。此外，3D 掃描還被廣泛應用於反向工程、CAD 創建、CFD/FEA 分析、歷史文物保存、工程設計、研究、虛擬實境、醫療保健等領域。

隨著技術的不斷進步，3D 掃描技術的應用將會更加廣泛。未來，我們可以期待 3D 掃描技術在各個領域都能夠發揮更大的作用，從而為人們帶來更多的便利和新的體驗。



圖 3-10 3Dscan 應用流程(圖片來源:張復堯繪製)

其技術可以提供相較於傳統深度感測器更精確的深度感知。LIDAR 感測器可以在黑暗環境中提供更高的精度和更強的對比度，進而改善手機中的影像品質，也可以實現人臉識別、手勢控制、虛擬實境等先進功能。但其感測器生產成本相對較高，因此對於一些預算有限的用戶來說，購買 LIDAR 支持的手機可能是一個不可承受的負擔。並且需要消耗一定電力，可能會影響手機的電池續航能力。另外因尺寸較大，所以對手機的設計和製造有一定的挑戰。

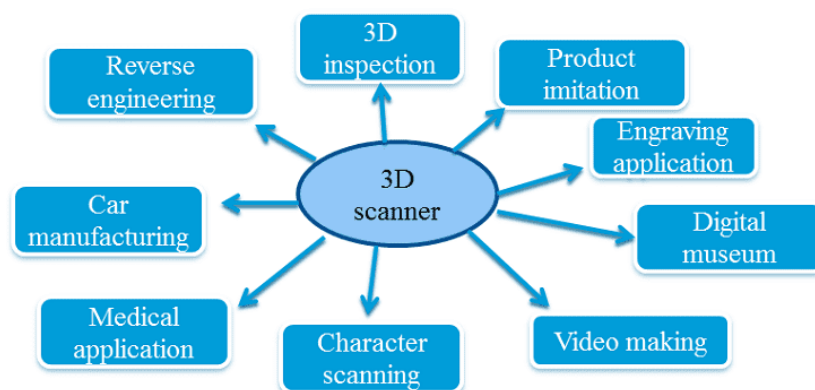


圖 3-11 3D 掃描之應用可能(圖片來源:擷取自網路)

此外，3D 掃描是一種用於創建現實物體高精度 3D 模型的技術。它通過拍攝物體的多個快照並將其融合成一個 3D 模型，這個模型可以在電腦上從不同角度觀看。3D 掃描有許多應用(Jebelli et al., 2022)：

■ **品質控制**：3D 掃描技術在製造業中的應用已經成為品質控制的重要工具。透過 3D 掃描軟體，製造商可以創建製造零件的詳細 3D 模型，這不僅可以提供更精確的尺寸和形狀資訊，還可以與原始設計進行比較，確保生產出的零件與設計完全一致。此外，這種技術還提供了針對特定行業優化的工作流程，如汽車、航空和消費電子產品等，使得檢驗的品質和速度都得到了顯著提高。根據最新的研究文獻，3D 掃描技術在品質控制領域的應用已經從傳統的製造業擴展到了醫療、建築和能源等多個行業。

■ **原型製作和 3D 列印**：3D 掃描技術與 3D 列印技術的結合，為原型製作帶來了革命性的變革。透過 3D 掃描，設計師和工程師可以快速地創建物體的數位模型，這些模型可以直接用 3D 列印機列印出來，大大縮短了從設計到原型的時間。這不僅提高了設計的效率，還使得原型製作的成本大大降低。根據最新的研究文獻，3D 掃描和 3D 列印的結合已經被廣泛應用於汽車、航空和消費電子產品等行業，並且在醫療、建築和藝術領域也顯示出巨大的潛力。

■ **反向工程和 CAD 創建**：3D 掃描技術在反向工程領域的應用已經成為行業標準。透過 3D 掃描，工程師可以快速地創建現有物體的數位模型，這些模型可以直接導入計算機輔助設計 (CAD) 軟體進行修改和改進。這不僅提高了設計的效率，還使得從現有物體到新設計的過程變得更加流暢。根據最新的研究文獻，3D 掃描技術在反向工程領域的應用已經從傳統的製造業擴展到了醫療、建築和藝術等多個行業。

■ **CFD/FEA**：3D 掃描技術在計算流體動力學 (CFD) 和有限元分析 (FEA) 領域的應用已經得到了廣泛的認可。透過 3D 掃描，工程師可以快速地創建物體的詳細模型，這些模型可以直接導入 CFD 或 FEA 軟體進行分析。這不僅提高了分析的效率，還使得從實體模型到數位模型的過程變得更加流暢。根據最新的研究文獻，3D 掃描技術在 CFD 和 FEA 領域的應用已經從傳統的製造業擴展到了醫療、建築和能源等多個行業。

■ **保存歷史**：3D 掃描技術在文化遺產保護領域的應用已經得到了國際認可。透過 3D 掃描，研究人員可以快速地捕捉脆弱的文物和化石到 3D 數位形式，這不僅可以提供更精確的尺寸和形狀資訊，還可以確保這些珍貴的文物得到長期的保存。根據最新的研究文獻，3D 掃描技術在文化遺產保護領域的應用已經從傳統的博物館和考古遺址擴展到了戰場和古代城市等多個場景。

■ **工程**：3D 掃描技術在工程領域的應用已經成為行業標準。透過 3D 掃描，工

工程師可以快速地掃描任何物體，然後將這些數位模型導入建模軟體。

第四節 Robot 機器人的發展與應用

在建築領域，機器人和自動化系統的應用範圍廣泛，每種機器人和系統都有其獨特的優點和缺點。目前，建築領域中最常見的機器人和自動化系統包括 3D 列印機器人、自動化載具和重型設備、機器人助手，以及外骨骼。

3D 列印機器人是近年來在建築領域中最受關注的技術之一。這種機器人能夠根據設計圖紙，自動打印出建築結構的各個部分，然後將這些部分組裝成完整的建築物。這種技術不僅能夠提高建築工程的效率，還能夠減少人工成本和材料浪費。

自動化載具和重型設備則是用於運輸和處理建築材料的機器人。這些機器人能夠自動將建築材料從一個地點運送到另一個地點，並且能夠自動完成一些繁重的工作，如挖掘、搬運等。

機器人助手則是用於協助人工完成一些簡單的工作，如搬運工具、清理工地等。這些機器人能夠減輕工人的勞動強度，提高工作效率。

外骨骼則是一種穿戴式的機器人，它能夠協助工人完成一些需要大量體力的工作，如搬運重物、爬梯等。這種機器人能夠提高工人的工作效率，並且能夠保護工人的身體健康。隨著技術的不斷進步，我們可以預見到機器人和自動化系統在建築領域中的應用將會更加廣泛。準確性、自動化、可攜性、與 AR/VR 的集成、AI 的應用以及基於雲端的處理將會得到進一步的改進。

3D 掃描行業也正在快速發展，這種技術能夠快速、簡單、準確地捕獲 3D 數據，並且能夠應用於各個領域，如品質控制、檢查、反向工程等。雖然目前機器自動化營建研究主要在非常小的規模上進行，但隨著移動式機器人的開發逐漸成熟，並且能夠大幅度降低營建成本，機器自動化營建將會成為未來的發展趨勢。

機器自動化營建的優點主要有以下幾點：

- 高度自主性：高度自主性在現代的機器人技術中扮演著至關重要的角色。為了確保機器人能夠在各種環境中正確、有效地執行任務，我們需要產生可驗證的演算法。這些演算法不僅要能夠確保機器人的行為是正確的，還要能夠在遇到未知的情況時做出合適的反應。透過可擴展的機器人集體，我們可以確保即使一個機器人出現故障時，整體的任務仍然可以繼續進行。這種集體智慧的方式可以產生適當的結果，並確保任務的連續性和效率。
- 感知能力：在建築施工中，感知能力是非常重要的。機器人需要根據當地的

感測器資訊，對建築結構的穩定性進行施工反饋和評估。這不僅可以確保建築物的安全性，還可以在施工過程中提供實時的反饋，幫助工程師做出正確的決策。最新的研究顯示，透過先進的感測技術和機器學習算法，可以更精確地評估建築結構的穩定性，並提供更有價值的施工建議。

■ 數位孿生協作平台：數位孿生技術是近年來的熱門趨勢，它可以在虛擬環境中複製實體物件或系統。透過數位孿生協作平台，我們可以在便利、低維護的軟體中促進 3D 結構的操作和移動。這不僅可以提高工作效率，還可以減少因為誤操作而造成的損失。此外，透過這種平台，工程師和設計師可以在虛擬環境中進行協作，大大提高了設計和施工的效率。

■ 系統集成：系統集成是確保所有的硬體和軟體能夠協同工作的關鍵。透過軟體的協同設計與各種的戰略的組合利用，我們可以大幅增強營建效率。這不僅可以確保施工過程中的各個部分都能夠順利地進行，還可以減少因為系統不兼容而造成的時間和資源浪費。最新的研究顯示，透過先進的系統集成技術，我們可以大幅提高建築施工的效率 and 質量。



圖 3-12 整合工業機器人的建築生產流程（圖片來源:成大 RAC-Coon 數位智造工場）



圖 3-13 博智林公司的機器人輔助施工案例（圖片來源:大陸碧桂園集團）

在當今的建築、工程和施工（AEC）行業中，機器人技術的應用已成為一個不可或缺的趨勢。隨著科技的進步，機器人技術在 AEC 領域中的應用也日益增多，帶來了許多前所未有的優勢。這些優勢不僅包括提高施工速度、確保施工一致性，

還有增強結構完整性，從而確保建築物的強度和營建效率得到顯著提高。

從設計的角度來看，機器人技術的應用已經超越了傳統的設計方法。現代的機器人可以進行三維建模，創建出精確、複雜且具有高度創新性的設計。這些設計不僅美觀，而且功能性強，能夠滿足各種複雜的建築需求。如果僅依靠手工進行這些設計，不僅會消耗大量的時間和人力，而且很難達到如此高的精確度和創新性。

在製造方面，機器人技術的應用也帶來了革命性的變革。傳統建築營造過程往往需要大量的人工參與，而且效率較低，容易出錯。但現在，機器人可以自動化地製造出各種建築組件，如牆壁、地板和屋頂。這不僅大大提高了製造速度，而且確保了製造過程的一致性和品質。

組裝過程同樣受益於機器人技術的應用。在過去，組裝建築組件往往需要大量的人工，而且容易出錯。但現在，機器人可以精確地組裝各種建築組件，如鋼筋和磚石，確保組裝過程的精確性和效率。

機器人技術在施工現場的檢查方面也發揮了重要作用。傳統的檢查方法往往依賴於人眼的觀察，而這種方法既不精確，也不經濟。但現在，機器人可以結合先進的影像辨識技術，自動化地檢查施工現場和結構的安全性和品質。這不僅提高了檢查的精確性，而且大大節省了檢查的時間和成本。

機器人技術在 AEC 領域的應用還包括了自動化的物料運輸、高空作業的自動化、以及與虛擬現實和增強現實技術的結合，提供了更為真實和直觀的建築模擬。這些新的應用不僅提高了 AEC 領域的工作效率，而且為建築師和工程師提供了更多的創新可能性。

機器人技術在 AEC 領域的應用已經從設計、製造、組裝到檢查等各個環節都發揮了重要作用。隨著科技的進步，我們有理由相信，機器人技術在 AEC 領域的應用還會得到更加廣泛和深入的發展。

第五節 Digital Twin 的發展與應用

「數位孿生」(Digital Twin) 的概念是一個革命性的技術進步，它將虛擬世界與實體世界無縫地結合在一起。這種技術的出現，不僅解決了 BIM 在實時更新建築現狀方面的不足，而且還為建築行業帶來了前所未有的機會。

數位孿生技術的核心是創建一個與實體環境完全同步的數位模型。這意味著，無論在建築過程中發生什麼，都可以在數位模型中實時反映出來。這為建築行業的各個階段，從設計、施工到運營和維護，提供了一個全新的視角。

在設計階段，數位孿生技術可以幫助設計師更加精確地模擬建築的外觀和功能，並在虛擬環境中進行多次修改和優化，直到達到最佳設計。這不僅可以提高設計的質量，還可以大大縮短設計時間，降低設計成本。

對於施工階段，數位孿生技術的應用意味著工程師和建築師可以在虛擬環境中實時監控建築的進度，並根據實際情況做出調整。這不僅可以提高施工效率，還可以大大減少因誤差和變更而產生的額外成本。

在運營和維護階段，數位孿生技術可以為管理者提供一個實時的建築狀態儀表板，使得他們可以隨時掌握建築的運行情況，並及時進行維護和修復。此外，通過數位孿生技術，管理者還可以進行能源管理、設施管理等多種高級應用，從而提高建築的運營效率和使用者滿意度。

此外，數位孿生技術還可以用於預測控制。通過分析建築物的當前狀態和未來的發展趨勢，決策者可以做出更加明智的決策，從而最大化建築的價值。以下是五點實時數位孿生在建築工地的應用。

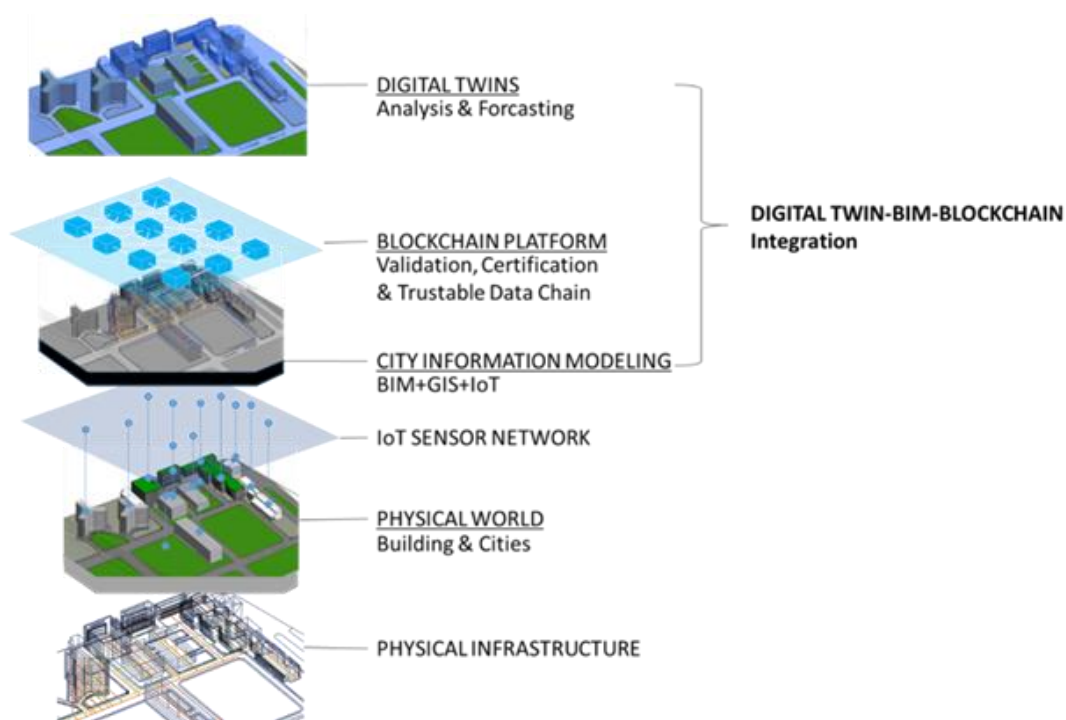


圖 3-14 數位孿生在建築產業之應用(圖片來源：成大建築 IA Lab)



圖 3-15 SHoP 建築師運用 Digital Twin 預先檢視設計與營造細節(圖片來源: ShoP)

在這個數位化和連接性日益增強的時代,物聯網和數位孿生已經成為了推動現代工業和城市發展的主要力量。它們不僅提供了一個全新的方式來理解和管理物理世界,還為我們提供了一個前所未有的機會來優化和創新。

圖 3-16 所示的數位孿生的組成,揭示了其背後的技術架構和工作原理。從物聯網傳感器收集的實時數據,到數字模型中的虛擬複製品,再到高級分析和預測工具,所有這些都是數位孿生的核心組成部分。

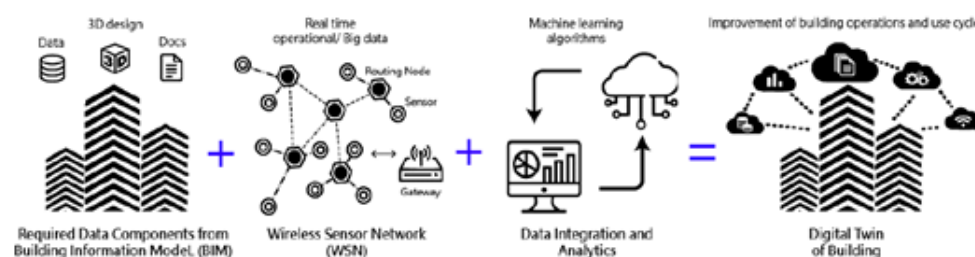


圖 3-16 數位孿生的組成(圖片來源: 謝慈芯繪製)

在 AEC 行業,通過在物理結構中集成物聯網傳感器,可以收集入住率、溫度和能耗等各種參數的實時數據,並將其輸入數字孿生系統。在智慧城市中,數字孿生將物聯網設備、傳感器和基礎設施數據整合到一個虛擬模型中,城市規劃者可以監控和管理交通流量、管理和公共安全等各個方面。這樣就能實現高效的資源分配,優化城市規劃。以下五個例子說明了智慧城市中物聯網數字孿生的功能和優勢:

1. 模擬與分析:

數位雙生利用物聯網 (IoT) 資料,如環境感測器、交通感測器和能源消耗計,來模擬和分析建造環境。規劃者可以評估各種因素對都市區域性能和永續性的影響,例如分析交通流量、能源使用、空氣品質和行人移動等,來優化基礎設施設計、運輸系統和資源分配。

案例：新加坡的虛擬城市模型

新加坡政府開發了一個名為“Virtual Singapore”的虛擬城市模型。這是一個3D數位模型，包含了城市的各種數據，如建築、道路、綠地和公共設施。規劃者使用這個模型來模擬和分析各種都市發展情境，例如新的交通策略或建築項目對城市環境的影響。



圖 3-17 虛擬新加坡都市規劃示意圖(左) / 虛擬新加坡太陽能發電潛力分析(右)

(圖片來源：擷取自網路)

2. 預測規劃與維護：

數位雙生利用物聯網 (IoT) 感測器的實時資料，實現預測規劃和維護。例如，通過監測建築或橋樑的結構健康並預測維護需求，可以採取預防措施來確保公共安全、降低成本和延長基礎設施資產的壽命。

案例：美國舊金山金門大橋的結構監測

金門大橋在美國加利福尼亞州連接舊金山和馬林縣，它裝配了多個感測器，用於實時監控橋樑的結構健康。這些數據被用於預測橋樑的維護需求，確保其安全性和持久。

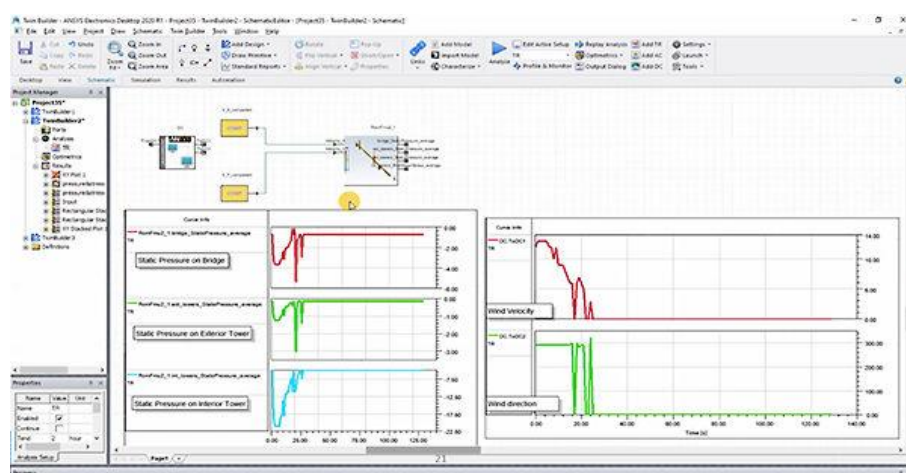


圖 3-18 美國舊金山金門大橋的結構監測

(圖片來源：擷取自網路)

3. 性能監控與優化：

數位雙生利用物聯網 (IoT) 感測器的實時資料，實現建築和基礎設施性能的持續監控和優化，可以進行運作參數的微調、識別改進區域和優化整體性能。

案例：阿姆斯特丹的智慧照明系統

阿姆斯特丹的一些道路和公共空間安裝了智慧照明系統。這些燈具裝有感測器，可以根據環境光線和行人流量自動調整亮度。這不僅節省了能源，還提高了公共安全。

4. 用戶協作：

數位雙生提供一個讓AEC和城市規劃過程中的使用者協作的平台。建築師、工程師、市政官員和社區成員可以訪問和互動虛擬模型，實現更好的溝通、共享理解和有根據的決策。這種協作方法提高了透明度、促進了公眾參與，並導致更包容和永續的城市發展。

案例：巴塞羅那的智慧城市平台

巴塞羅那市政府開發了一個名為“Sentilo”的智慧城市平台。這個平台允許市民、企業和政府部門共享和訪問城市的各種數據。通過這種協作，巴塞羅那已經成功地推動了多個都市創新項目，如智慧停車和廢物管理。

5. 資料驅動的決策制定：

數位雙生將物聯網 (IoT) 資料整合，使AEC和城市規劃領域的決策變得更加資料驅動和基於證據。實時資訊如能源使用、環境條件、交通模式和基礎設施性能，使規劃者能夠做出有根據的決策，優化資源分配，並創建更永續和高效的城市環境。

案例：紐約市的OneNYC計劃

紐約市的OneNYC計劃旨在創建一個更加公正、綠色和永續的城市。為了達到這些目標，市政府使用了大量的數據，如交通流量、能源消耗和空氣品質，來制定和調整政策。這些資料驅動的決策已經帶來了多個成功的結果，例如減少碳排放和提高公共交通效率。

物聯網和數位孿生的結合為智慧城市的發展提供了一個強大的工具，使得城市管理 and 規劃更加高效、智能和可持續。隨著技術的不斷發展和完善，我們可以期待未來的城市將會更加智慧和宜居。

第四章 數位轉型論壇與產業需求調查

■ 數位轉型論壇

台灣的建築領域正處於 AI 技術研究與應用的高峰，深化 AI 在建築、工程和建設（AEC）產業的影響力，形成一種值得關注的新趨勢。為了促進 AI 產業界與學術界之間的交流，舉辦「AI 建築論壇」與「AI 智慧建造論壇」，深入探討台灣 AEC 產業數位轉型的創新組織，以及先前部署前瞻性數位技術的案例。期望增進產業界與學術界之間的合作與交流，鼓勵更多在 AI 領域有志之士踏入 AEC 產業，推動更多創新與進步。

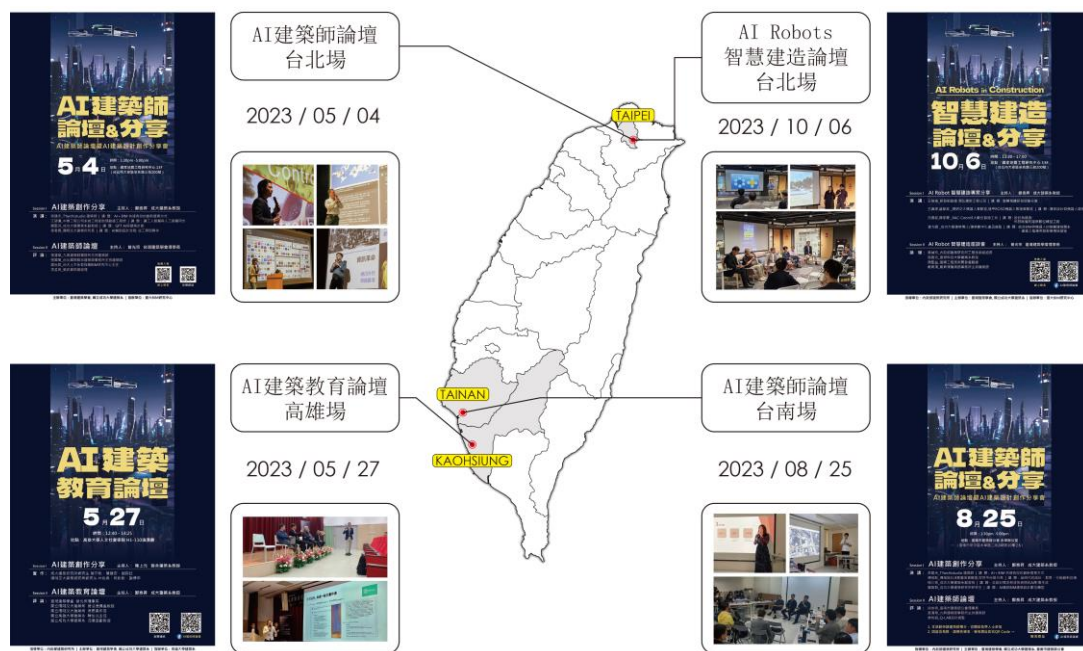


圖 4-1 數位轉型論壇系列(圖片來源：本計畫繪製)

本研究計劃舉辦全國四場數位轉型論壇，邀請具備前瞻技術專家學者演講，並於演講完後舉行專家學者座談會，包括：

第一場：

AI 建築師論壇-台北場(已在 112/05/04 於國震中心舉行)

第二場：

AI 建築教育論壇-高雄場(已在 112/05/27 於高雄大學舉行)

第三場：

AI 建築師論壇-台南場(已在 112/08/25 於台南建築師公會舉行)

第四場：

AI Robots 智慧建造論壇-台北場(已在 112/10/06 於國震中心舉行)

第一場：AI 建築師論壇暨 AI 建築設計創作分享會（台北場）

以 AI 在建築領域的應用為主題，迅速吸引了大批對此議題感興趣的參與者。瞬間，名額限制為 110 位的現場座位被搶，僅在幾天內即額滿。且論壇當日的線上直播觀眾亦居高不下。標誌著建築 AI 的新時代正式開始。

報名參與此論壇的人群主要來自建築設計產業和專業建築師，顯示出 AI 議題已經不再僅僅是學術研究領域的專利，而逐漸影響著建築產業界。

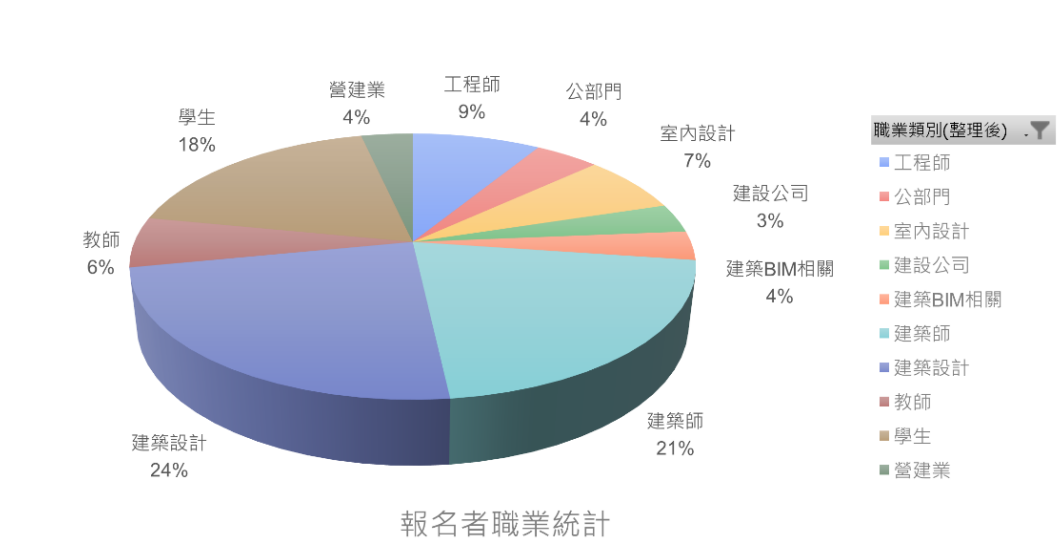


圖 4-2 台北 AI 建築師論壇報名者職業統計(圖片來源：本計畫繪製)

第二場：AI 建築教育論壇（高雄場）

專注於 AI 在學術領域的應用，特別由學生領頭分享最新且前景看好的 AI 應用。報名參與者的主要身分為教授、研究生和學生。

第三場：AI 建築師論壇暨 AI 建築設計創作分享會（台南場）

在南台灣舉辦，規模相對較大，吸引了 135 位現場報名參與者。參與者主要來自建築相關從業人員以及台南建築師公會的建築師。

第四場：AI Robot 智慧建造論壇&分享（台北場）

第四場論壇強調實務和技術導向的 AI 應用，吸引了多位建築和營造領域的專業人士參與，展現了 AI 在產業中的創新和多樣性應用。

這些論壇活動的成功展示了 AI 在建築領域的受歡迎程度和應用多樣性。同時，透過建立 Facebook 社團，及時發布論壇資訊，提供線上直播連結，讓更多地區的人參與其中。這些措施不僅擴大了參與者的基數，也促進了有關 AI 和建築之間的交流。

第一節 台北 AI 建築師論壇

活動名稱：AI 建築師論壇暨 AI 建築設計創作分享會(台北場)

活動時間：2023/05/04(四) 下午 1:30~5:00

活動地點：國家地震工程研究中心 1F(台北市大安區辛亥路三段 200 號)

講者	服務機構及職稱	主題
吳建禾	TYarchistudio 建築師 成功大學建築博士	AI+BIM 快速有效的創新提案方式
江碩濤	中鼎工程公司系統工程部助理 副總工程師	讓工人智慧與人工智慧同步
簡聖芬	成功大學建築系副教授	GPT AI 與建築計畫
侯君昊	陽明交大建築所所長	AI 輔助設計流程:從工具到夥伴
評論者	服務機構及職稱	主題
張清華	九典建築師事務所主持建築師	-
張國章	台北國際聯合建築師事務所主 持建築師	-
謝尚賢	台大土木系教授兼 BIM 研究中 心主任	-
李孟崇	衛武資訊總經理	-

演講摘要：

吳建禾建築師：AI+BIM 快速有效的創新提案方式

強調 AI 和 BIM 在建築領域的應用及挑戰，AI 可快速生成大量設計方案，但建築師仍需控制 AI，將其視為提供創新想法的工具。將 AI 引入 BIM 可有效記錄和修正不同設計選擇，提升設計效率。

江碩濤副總：讓工人智慧與人工智慧同步

討論 AI 與「可行性」、「可適性」、「可製性」結合，提出「五個 R」模型，探索 AI 在識別、修改和創建設計方面的應用。AI 在會議內容轉譯、溝通、語彙轉換和工作參考方面有潛力，可以提高工作效率。

簡聖芬副教授：GPT AI 與建築計畫

分享將 GPT-4 整合進建築設計課程的實踐經驗，學生透過 AI 工具應用於實際設計案例，掌握新工具的優點和局限，並培養發展新工具的能力。

侯君昊所長：AI 輔助設計流程:從工具到夥伴

強調 AI 整合進設計流程，學生應理解 AI 工具的運作原理和數據來源，不僅學習操作工具，更要掌握核心設計理論。AI 的發展歷程和潛力，需審慎並樂觀看待其應用於設計領域的可能性。

評論摘要：

李孟崇總經理：

1. AI 技術的迅速發展引起人們對其潛在影響的焦慮，但也帶來了新的工作機會和需求。人力資源的未來應用中，有四種職業不容易被 AI 取代，建築師屬於創造型工作，跨領域學習將變得重要。
2. 建築師在 AI 應用中應該將重點放在讓 AI 執行例行公事或可預測的工作上，並探討 AI 在產業中的明確應用情境。流程自動化和數位化管理行為可以提高管理效率。

張清華建築師：

1. 建築專業領域中應用 BIM 技術進展緩慢，可能與保留的設計觀念及教育模式有關。然而隨著 AI 的發展，事務所應考慮將 AI 與 BIM 技術相互整合，進行專業運營的改進，並鼓勵更多人參與 AI 領域的應用，以實現更多可能性。
2. AI 所生產的內容可能更公正且符合現實狀況，有機會改變社會結構和制度。因此，應該推動建築領域中的 AI 應用，促進更加健康和進步的發展，並開放機會給年輕且熟悉軟體的專業人士參與。

張國章建築師：

1. AI 應用在實務界的快速發展已經極大地改變了世界，產學合作尤為重要，需要政府支持以應對 AI 帶來的挑戰。
2. 在台灣的建築產業中，BIM 技術推動遇到困難。政府應該與廠商協商並提供支援，讓 AI 技術在台灣建築產業中得到更好的應用，以促進整個產業的數位發展。

謝尚賢教授：

1. 台灣的建築資訊模型 (BIM) 發展滯後，但營建產業並非只依賴 BIM，其發展涉及文化、生態和社會體質。然而，科技進步可能使製造業取代營建業，因此需關注商業模式的適應性。
2. 教育領域中，人工智能作為一種工具對人類產生積極影響，但也引發了人類在教育中的角色和優勢問題。重要的是培養學生的生活經驗和倫理觀念，以應對未來可能的人工智能限制。產學合作為提供實地實踐機會和素養培養至關重要。

第二節 高雄 AI 建築教育論壇

活動名稱：AI 建築教育論壇

活動時間：2023/05/27(六) 12:40~14:25

活動地點：高雄大學人文社會學院 H1-110 演講廳

講者	服務機構及職稱	主題
葉宗帆	成大建築研究所研究生	—
陳建安	成大建築研究所研究生	—
劉奕廷	成大建築研究所研究生	—
林依柔	陽明交大建築研究所研究生	—
熊盼盼	陽明交大建築研究所研究生	—
謝博宇	陽明交大建築研究所研究生	—
評論者	服務機構及職稱	主題
曾光宗	台灣建築學會理事長	—
曾成德	陽明交大建築所講座教授	—
侯君昊	陽明交大建築所所長	—
陳怡兆	高雄大學建築系主任	—
沈揚庭	成功大學建築系副教授	—

實作分享摘要：

成大建研所研究生：葉宗帆、陳建安、劉奕廷

主要探討 AI 工具在建築行業中的應用。AI 工具在建築計畫書方面的應用包括文字資訊整理，能夠幫助建築師高效撰寫計畫書。在方案設計方面，AI 工具在圖像生成方面發揮著關鍵作用，幫助建築師快速擴展設計可能性並評估方案的可行性。

AI 工具在文書處理方面的應用，特別是在計畫書的生成和整理方面。透過與 AI 的協作，可以加速文書作業的進程，並生成計畫書的基本架構。

AI 工具在建築設計中的應用，特別是在快速生產風格設計方面。提到了一些文字到圖片生成工具如 Midjourney 和 Stable Diffusion，以及自行訓練模型的方法。AI 工具的應用使得業主可以更簡單直觀地表達設計需求，並幫助建築師更快速地捕捉並滿足業主的要求。

交大建研所研究生：林依柔、熊盼盼、謝博宇

描述交通大學建築研究所的競圖活動，今年的競賽題目是以 AI 繪圖為起點的建築設計思考。介紹三大部分的競賽提案：「虛擬實境的實踐工具」、「空間生成的輔助工具」以及「跨越時空的紀錄工具」。

探討建築設計領域應用人工智慧的方法，包括課程、設計應用和論文。說明建築設計從以前的電腦輔助設計轉變為機器學習輔助設計的過程，介紹了圖像式的訓練模式，讓機器學習從資料庫中學習設計策略和語言，並進行有效且精準的設計。

介紹建築數位組資訊實驗室的研究方向，主要探索仿生構築流程優化，以更有效率的方式構築結構。此外，研究還涉及使用空氣盒子和事件盒子結合無人機來監測都市中的空氣品質和事件。

評論摘要：

侯君昊所長：

擁抱新科技，但同時深刻了解其核心原理，以做出正確評斷。AI 技術提供最優解是平均值，缺乏創意和極端特性的設計，需注意美學疲勞。教學應培養核心能力，並重視學習和教育方法，探索運用工具解放人力處理其他領域。

陳怡兆主任：

高雄大學建築系高度重視數位課程，鼓勵學生使用 AI，但也強調深厚內涵和基礎對於提供優質答案的重要性。數位化趨勢不可逆，AI 應用可提高學習效率，但也應關注傳統建築教育的手工製作與手繪能力。

曾光宗理事長：

RIBA 強調數位轉型的重要性，可以是解決人力問題的有效方法。AI 與人的關係是互補的，應找到適當定位，數位轉型需長遠規劃與預測。

沈揚庭副教授：

AI 的使用目前相對表面化，應更深入探討其應用角色。AI 應該承擔非人類應負責的任務，節省人力並提高效能。數位轉型應關注 AI 在各領域的應用。

曾成德教授：

AI 應用是基於統計學原理，應用在不需要花費大量心力的領域。應思考 AI 能夠承擔的角色，並尋求更創新的應用方式。AI 應該能夠提供偏激的答案，激發批判性思考。

第三節 台南 AI 建築師論壇

活動名稱：AI 建築師論壇暨 AI 建築設計創作分享會(台南場)

活動時間：2023/08/25(五) 下午 1:30~5:00

活動地點：臺南市建築師公會（臺南市安平區永華路二段 248 號 10 樓之 6）

講者	服務機構及職稱	主題
吳建禾	TYarchistudio 建築師 成功大學建築博士	AI+BIM 快速有效的創新提案方式
傅叔駢	傅域設計, 8 意藝術實驗室, 好好平台執行長	AI 時代的設計、教育、行銷創新加速
柳川肯	成功大學建築系副教授	從概念設計到渲染表現的 AI 影像生成
龔智群	成功大學建築研究所研究生	AI 輔助 BIM 建築設計數位轉型
評論者	服務機構及職稱	主題
徐岩奇	台南建築師公會理事長	-
張清華	九典建築師事務所主持建築師	-
曾柏庭	Q-LAB 設計總監	-

演講摘要：

吳建禾建築師：AI+BIM 快速有效的創新提案方式

AI 和 BIM 的結合可以優化建築空間的各個方面，包括設計、信息管理和建築運營。BIM 能夠全面呈現建築項目的各個層面，而 AI 則可以協助建築師進行信息整合，提高工作效率。

使用 AI 不一定需要程式能力，但需要建立有效的數據庫以實現控制和協助設計。最重要的是，AI 和 BIM 的結合需要注重平台的選擇，以實現協作、準確性和效率。這個轉變是一個逐漸的過程，從傳統方法轉向 BIM，再到 AI 技術的應用，有望提升建築設計領域的效能和創新。

傅叔駢執行長：AI 時代的設計、教育、行銷創新加速

自動化技術的引進在建築和室內設計領域帶來了顯著的效益。借助建築資訊模型(BIM)，包括機電系統的匯合和自動干涉問題檢測。在室內設計中，運用 Revit MEP 和擴增實境技術，提高了工作效率和準確性。將自動化技術引入小型

項目，透過「333」系統，實現了高效的設計和施工流程。自動化技術為建築和室內設計帶來了未來的可能性。

柳川肯副教授：從概念設計到渲染表現的 AI 影像生成

從技術和藝術角度看，需要重新評估 AI 對協作式建築設計的作用。AI 在建築和藝術領域的影響顯而易見，但建築項目需要多方合作。生成式 AI 作為進步的先鋒，重新定義了建築實踐，但建築師仍然是創造力的主導者。在人類和 AI 共同創作的方式中，需要找到平衡點，結合 AI 的洞察力和人類的創意。生成式 AI 能夠改變傳統任務，並增強整個建築過程。

龔智群研究生：AI 輔助 BIM 建築設計數位轉型

案例演示如何運用 AI 技術在建築信息模型 (BIM) 的設計過程中實現自動化和效率提升。從基地定位到設計條件定義、初步量體設計、外觀風格探索、平面配置，再到最終元件配置，AI 工具和自動化流程的結合使設計師能夠更迅速、精確地完成項目，同時生成多種設計圖面，為後續分析和評估提供數據。

評論摘要：

曾柏庭建築師：

AI 在建築領域發揮著廣泛的應用。未來事務所是否會產生新的職位。AI 生成的設計雖然有優勢，但似乎缺乏深度和細節，無法完全取代人類建築師的長期專業學習。平面繪圖仍然不可或缺，因為它包含了人類思維和感知的多個因素。儘管如此，AI 工具可以改進圖像處理和專注力，對設計有積極的影響。建築領域需要進一步探索 AI 的角色，以實現更好的設計和協同工作。

張清華建築師：

探討將人工智能 (AI) 與建築信息模型 (BIM) 相互關聯的議題。建築領域需要協調多個副專業，如空調、消防、機電和結構工程，即便是小型項目也需要這些參與。若未採納 BIM，將難以引入 AI，但專業級的 AI 技術對於在競爭中脫穎而出至關重要。建議建立聯盟，促進技術交流和分享經驗。另外，與業主和顧問的溝通和合作可以通過 AI 技術改進，新的交流和合作方式將帶來更多進步。

徐岩奇理事長：

探討了人工智慧 (AI) 在建築師事務所中的應用，特別關注年輕一代建築師對 AI 的反應。年輕一代對 AI 更敏感，但可能抱持排斥情緒，因為他們的教育體系常常限制了他們的思維範疇。然而，AI 的應用挑戰這些限制，需要建築師持續學習和思考，以適應科技進步。AI 是一個強大的工具，但必須謹慎使用，保持思想和技術的進步，以避免被取代。

第四節 台北 AI 智慧建造論壇

活動名稱：AI 智慧建造論壇與分享會(台北場)

活動時間：2023/10/06(五) 13:30~17:00

活動地點：國家地震工程研究中心 13F(台北市大安區辛亥路三段 200 號)

講者	服務機構及職稱	主題
王瑞禎	潤弘精密工程公司 研發部副總	智慧預鑄研發經驗分享
王識源	陽明交大機器人實驗室、逢甲 ROSO 機器人製造實驗室	運算設計與機器人建造
盛郁庭	陽明交大機器人實驗室、逢甲 ROSO 機器人製造實驗室	運算設計與機器人建造
沈揚庭	RAC-Coon 成大數位製造工坊	設計為建造:科技賦權的建築數位轉型之路
顏家慶	RAC-Coon 成大數位製造工坊	設計為建造:科技賦權的建築數位轉型之路
潘力綱	成功大學建築博士/建築數字化產品總監	結合 BIM 與機器人的智慧建造體系-建築工程應用與教學場域塑造
評論者	服務機構及職稱	主題
蔡綽芳	內政部建築研究所工程技術組組長	-
施宣光	台灣科技大學建築系教授	-
顏聖益	建國工程技術開發處副總	-
戴育澤	戴育澤建築師事務所主持建築師	-

演講摘要：

王瑞禎副總：智能預鑄研發經驗分享

台灣營建產業具有獨特特點，包括「少量多樣」的特性，嚴格法律法規，多工程工種，以及高要求的建築項目。挑戰包括勞工短缺、物價上漲、ESG 議題和減碳要求。實現智慧建造需要智慧組織、設計、製造和施工。預鑄案例面臨模具費用和開模時間挑戰。應鼓勵技術應用和發展，以應對未來建築挑戰，提升競爭優勢。

王識源助理教授、盛郁庭助理教授：運算設計與機器人製造

ROSO X ROLA 是一跨學科研究和設計團隊，專注於結合機器人技術、人工智能和新興科技，探索機器在建築工藝中的應用和潛力。不僅專注於技術開發，還

培養跨領域人才，推動建築的創新。TACO 插件可在 Grasshopper 中模擬和控制機械手臂。"珊瑚·山瑚"藝術品，採用 3D 列印技術呈現出珊瑚的美麗多變樣貌。研究竹複合材料的曲面薄殼構造，利用竹片創造新的建築可能性。

沈揚庭副教授、顏嘉慶講師：設計為建造-科技賦權的建築數位轉型之路

成大數位製造工坊（RAC-Coon）自 2020 年成立以來，一直致力於推動建築行業的數位化轉型，主要關注智能建築。配置兩支國內最大的起重機械手臂，用於建築設計和製造，積累了多個實際案例。工坊建立了從形態生成到自動組裝的機械手臂流程，使用參數化設計和優化算法進行設計優化。

潘立綱總監：結合 BIM 與機器人的智慧建造體系-建築工程應用與教學場域塑造

博智林致力於智慧建造，包括機器人應用、BIM 整合、建築生產工藝優化，以實現建築全週期的數位化。開發多種機器人，涵蓋建築各階段，並透過 BIM 數據整合，實現自動化和智慧建設。此外，博智林還培育智慧建造人才，以促進行業轉型和發展。

評論摘要：

蔡綽芳組長：

BIM 是智慧建造的基礎，但在台灣面臨空間限制和與中國大陸不同的建築產業組織。台灣需要思考如何發揮自身優勢，包括技術發展、文化組織、政策與機制推動，以實現建築智慧營造的目標。

顏聖益副總：

實現智能製造需要整個產業鏈服務流程的改變，升級技術、培訓工作人員、制定新標準和規範，建立監管機制，並與各利益相關者合作。最終，這將實現更智能、模塊化和零碳的建築工程產業。

施宣光教授：

智慧建造的成功需要密切結合 AI 和建築資訊模型（BIM），並應從設計階段開始實施。教育領域應引入數位建造流程，使建築系學生更好地理解智慧製造的概念。學校應建立智慧製造的建築設計典範。

戴育澤建築師：

AI 在建築設計領域的應用成為炙手可熱的話題。建築事務所正探討如何將 AI 應用於設計流程中。政府應建立制度以促進 BIM 模型的有效應用。設計者、營造廠、教育機構對智慧建造的意義有差異，需要共同合作以改變建築產業。

第五章 創新數位轉型模擬設計案例實作

本章節將以「臺南市新都心段社會住宅」做為實例操作，闡述專案現況與流程經過，並以目前階段性成果做為實例演示，本實例是以 Autodesk Revit 做為 BIM 建置主要工具，搭配相應的 AI 以及其他工具輔助，包括整理、分析與生成作業，以模型建置的過程中說明實際操作方式。

使用 BIM 結合其他數位技術（如人工智慧、延展實境、3D 掃描、機器人學和數位孿生）整合進建築生命週期管理。以現有的建築設計流程分析，將現有的建築生命週期的作業流程分為四個工作階段：概念設計(SD)、設計發展(DD)、建造管理(CA)以及設施管理(FM)。

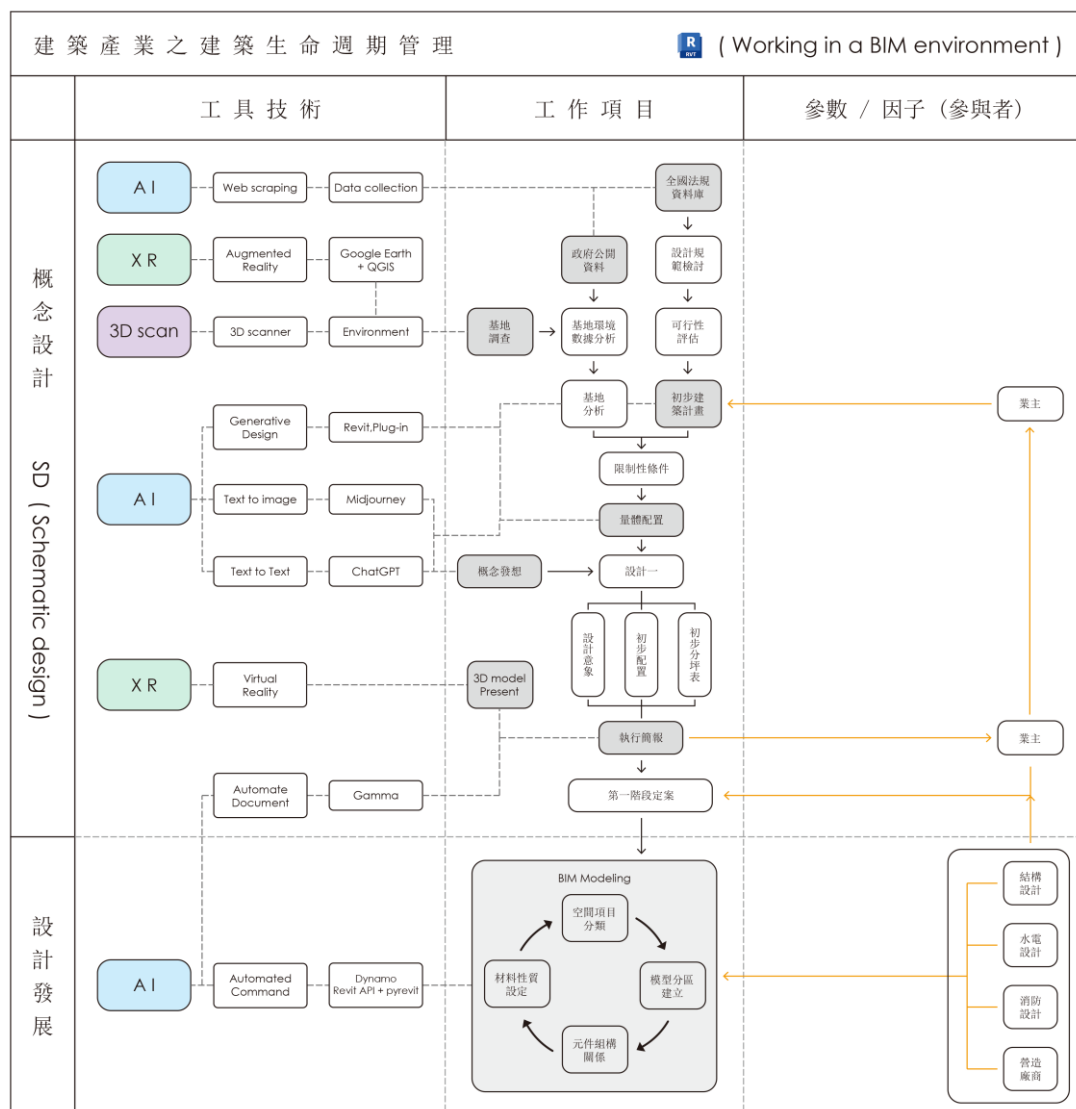


圖 5-1 數位轉型下的建築生命週期管理(一) (圖片來源：本計畫繪製)

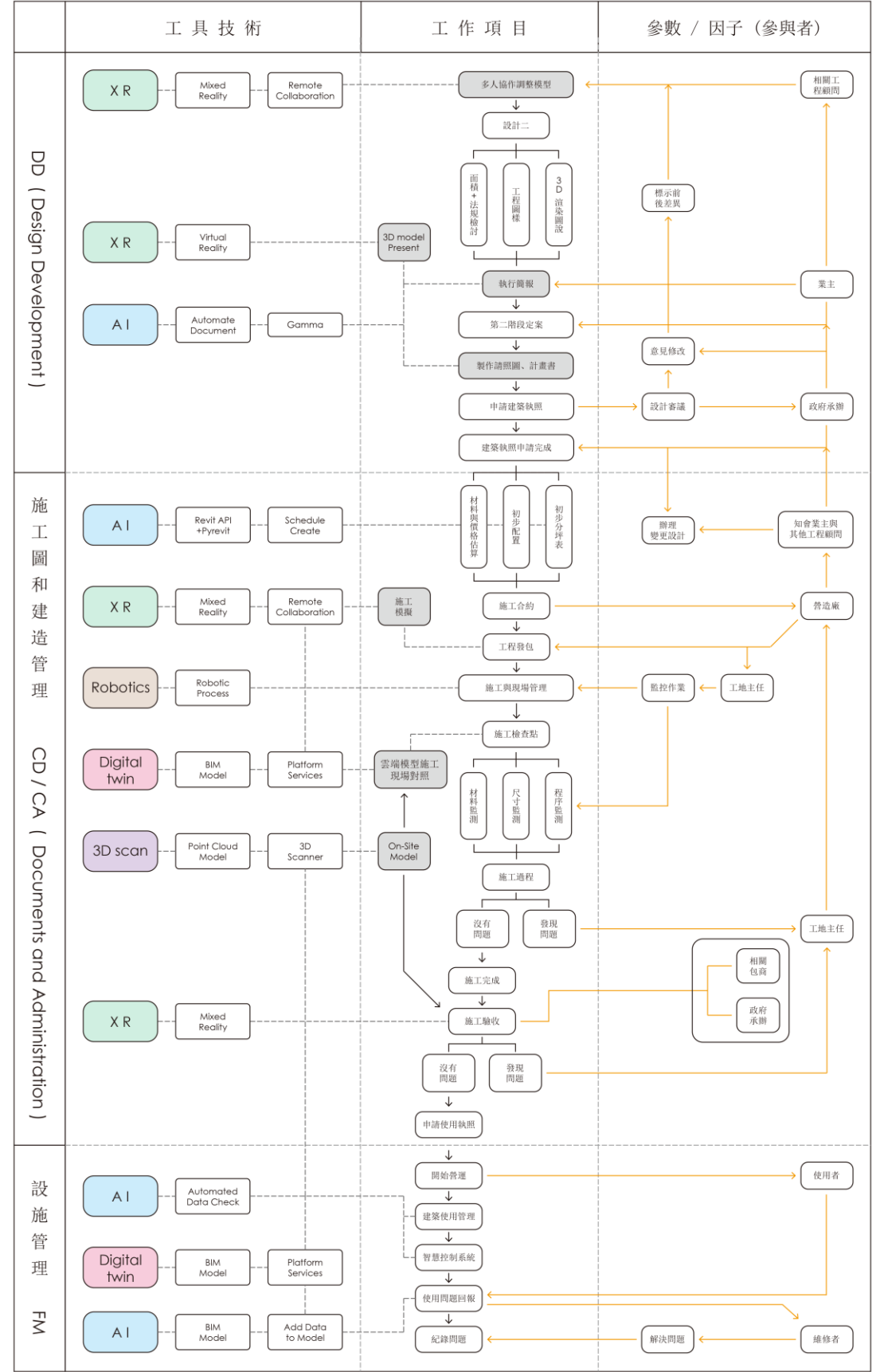


圖 5-2 數位轉型下的建築生命週期管理(二) (圖片來源: 本計畫繪製)

軟體	介面	功能	價格
 Revit	· Autodesk Revit 介面	· 三維設計與模型建構 · 資訊整合與方案檢討 · 自動化流程與插件整合	約USD 1850 / 年
 Dynamo	· Autodesk Revit 插件 · Dynamo 介面	· 視覺化編程工具(Visual programming) · 多類節點支援 · 擴展與套件支援	購買Revit隨附
 Generative design	· Autodesk Revit 插件 · Dynamo 介面 · Generative design 介面	· 透過Dynamo編寫的腳本進行衍生式設計 · 多種生成方法 · 探索結果展示	購買Revit隨附
 pyRevit	· Autodesk Revit 插件 · Autodesk Revit 介面 · Revit 指令列介面 · 需透過IDE介面操作	· 協助使用Revit API進行擴充功能的開發 · 自訂指令介面工具集 · 遙測伺服器與資源庫	Free
 Tracer	· Autodesk Revit 插件 · Tracer 介面	· 分析在Revit中創建的建築模型 · Power BI儀表板 · 大數據處理和視覺化	395 USD
 Power BI	· 此研究透過Autodesk Revit插件Tracer介面使用 · Tracer 介面	· 數據整合 · 互動式報表和儀表板 · 數據分析和視覺化	購買Tracer隨附
 Solar Analysis	· Autodesk Revit 插件 · Solar Analysis 介面	· 在Revit中對建築模型進行太陽輻射分析 · 內建輻射熱研究方法 · 多種分析選項	購買Revit隨附
 CFD	· Autodesk CFD 介面	· 計算流體動力學模擬 · 建築風場分析 · 模擬設定和優化	約USD 7500 / 年
 Google Earth	· Google Earth 介面	· 全球地圖探索 · 三維可視化 · 地理資訊層面	Free
 QGIS	· QGIS 介面	· 地理資料管理與編輯 · 地圖製作和可視化 · 座標轉換和資料輸出	Free
 PyCharm	· PyCharm 介面	· Python開發支援 · 自動完成和代碼提示 · 語法高亮和指示	Free
 Python	· 本研究透過PyCharm 介面使用	· 通用程式語言 · 廣泛應用領域 · 在本研究中主要用於開發自動化工具	Free
 Revit API docs	· 瀏覽器介面	· 定義軟體互動機制 · 針對Revit應用程式編程接口設計 · 類別、方法和屬性	Free
 ChatGPT	· 瀏覽器介面 · ChatGPT 介面	· 人工智慧聊天機器人 · 自動生成文字 · 自動問答和程式語言處理	20 USD / 月
 Midjourney	· Discord 介面	· 基於Diffusion Model的AI圖像生成工具 · Discord機器人指令生成圖像 · 木偶法 (Puppet Method)	8 USD / 月
 Stable Diffusion	· Stable Diffusion 介面	· 高細緻度的圖像生成工具 · 插件整合和個人電腦運行 · 支援特定風格訓練模型和處理連續圖像	Free

圖 5-3 軟體列表示意圖（圖片來源：本計畫繪製）

第一節 現況流程分析

1. 概念設計階段(Schematic Design, SD):

基地調查：

需要瞭解基地的環境條件，包括地形、氣候、周邊建築等。這將有助於確定建築設計的方向，並確保設計與環境相融合。此外，對於當地的地質條件、公共設施與鄰房等也需要進行調查。

限制性條件：

需要考慮的限制性條件可能包括工程預算、相關建築規範、建築工期或其他條件。這些限制性條件將影響設計的選擇，並可能需要設計師做出調整。

建築計畫：

基於客戶的需求和基地調查的結果，制定初步的建築計畫。包括建築的功能、空間需求、空間關係等。在此階段，也需要考慮可持續設計的元素，如節能、水資源管理等。

初步建築配置：

開始進行設計初步量體與平面配置，這可能包括對建築形式、結構系統、材料的選擇等的探索。需要考慮建築的功能、周邊環境、日照、風向等因素。

外觀風格探索：

探索建築物的外觀風格，包括其形狀、材料、色調等，不僅影響其美學價值，對建築物的使用性能和物理特性產生影響，同時考慮到業主的需求和期望。

2. 設計發展階段(Design Development, DD):

設計繪圖：

使用 BIM 軟體平台進行多維的建築設計工具，不僅可以建立立體的建築模型，還能嵌入許多關於建築物的信息，如材料、成本、能耗等。可視化能夠根據模型生成逼真的渲染圖片和動畫，使得能夠更好地理解 and 展示設計。並支援各種模擬功能，如結構、環境、交通等，幫助分析設計性能。

多人協作調整模型：

執行設計除了會有專案小組，更需要與其他工程顧問協作，多人同時進行設計和修改是必須的。使用 MR 在實際環境中疊加虛擬的建築模型，讓所有參與者都能看見並互動，進行即時的討論和修改。

設計彙整：

在設計階段結束時，將完整的建築模型與相關圖面整理和保存。紀錄所有在設計階段進行的修改與調整，包括設計變更的原因、日期、負責人等。彙整所有相關的設計報告，包括對設計概念、目標、要求和解決方案的描述，以及設計決策的理由和依據。

3. 建造管理階段(Construction Administration, CA):

施工模擬：

在建造開始前，可以使用 BIM 軟體進行施工模擬，預測各種施工階段的成果，並避免可能發生的問題。這可以包括模擬材料的使用、施工時間、施工過程中的問題等。

施工計畫安排：

施工計畫是整個建造過程的藍圖。它將根據建築設計和施工模擬的結果，排定各個施工階段的時間和順序，並指定負責各階段的人員。

施工與現場管理：

施工與現場管理涵蓋監督工地的安全、工作排程、工程的進度、質量控制、成本控制等。在此階段，工地主任需要經常與設計師、工人和承包商溝通，以確保施工按照計畫進行。透過雲端技術，建築模型可以與現場的施工進度同步更新，讓所有參與者都能即時瞭解施工進度，並提供及時的回饋和調整。

施工驗收：

在施工完成後，需要進行施工驗收，以確認建築物符合設計要求和建築法規。驗收的內容可能包括建築物的安全、功能、材料的使用等。

4. 設施管理階段(Facility Management, FM):

招租說明：

建築物完成後，需要將其出租給合適的對象。需要詳細制定建築物的營運、設施、使用規定等。使用數據分析確定最佳的定價和銷售策略。

資格審查入住：

為確保租戶或買家具有足夠的資格，需要進行一定的審查。這可能包括檢查租戶的信用、收入等。人工智慧可以在這裡提供幫助，例如透過機器學習來預測租戶的信用風險等。

智慧控制系統：

智慧控制系統如自動調節的照明和溫控系统、能源管理系统等。這些系統可以提供更高的舒適度和效率，並降低能源消耗。

居住問題回報：

建築使用遇到各種問題，如設施故障、維修需求等。需要提供一個有效的回報和回應機制，以確保使用者的需求得到滿足。使用 AI 接收和處理回報，或使用預測性維護來預防故障。

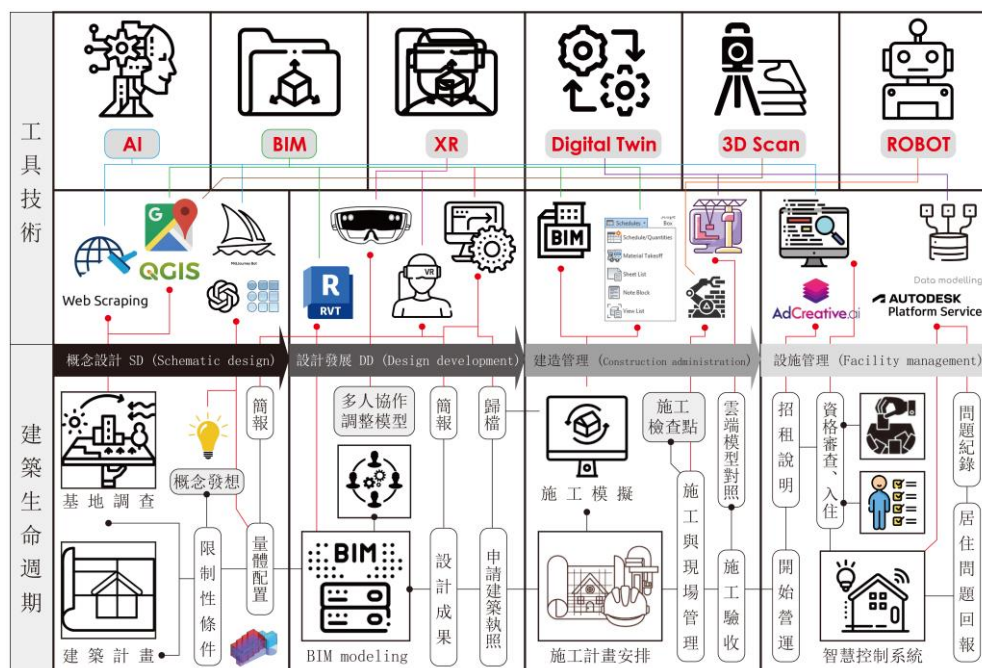


圖 5-4 數位轉型導入前瞻工具技術之建築生命週期模擬分析

(圖片來源:本計畫繪製)

第二節 實作案例演練

以社會住宅為例，進行本土化數位轉型建築作業流程模擬，以及設計模擬案例實作，此處著重於操作「概念設計」與「設計發展」階段。

1. 概念設計階段(Schematic Design, SD):

基地調查：

設計的開始，要先透過建立模型的定位方法，準確地在數位模型當中定義基地的真實位置，以將相關的 GIS 底圖匯入模型中。為了要在模型當中建立基地的周遭環境地勢，利用一組自動化轉換資料的方法，把 Google Earth 的地形資訊轉換為實際的 Revit 地形模型。



圖 5-5 將 Google Earth 地形數據複製到 Revit 流程圖(圖片來源:本計畫繪製)

先利用四個經緯度點位界定基地周遭要建基地模的範圍，在此區域中，以 add path 功能於 GIS 系統中，在固定距離配置座標點位。再將此路徑的所有點位座標，輸出為.kml 格式檔案。使用 GPS Visualizer DEM Database 處理器文件(<https://www.gpsvisualizer.com/elevation>)，將 kml 資料利用 Plain text 工具轉換為 txt 並加上點位的高層數據(convert & add elevation)。

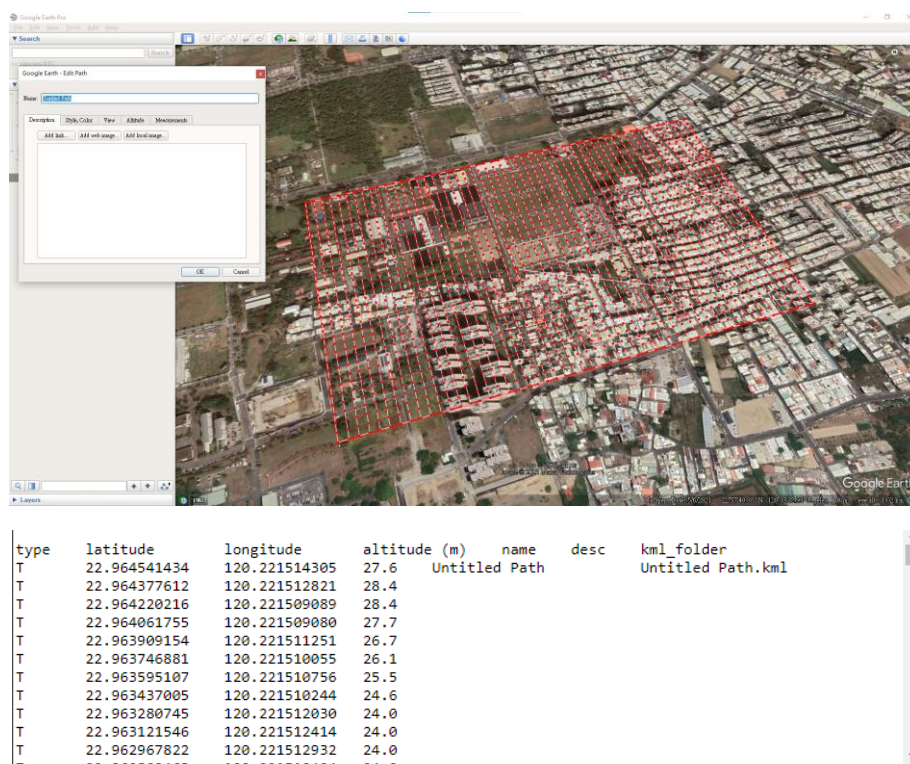


圖 5-6 透過 GPS Visualizer 轉換 GIS 點位資料格式(圖片來源:本計畫繪製)

轉換後再利用 Textpad，將文字檔案內，直欄中的 type、name、desc，以及 kml_folder 刪除。利用 Excel 增加每一個點位的編號，另存為.csv 檔案。再到 QGIS 以 Add Layer-delimited Layer，選取編輯後的點位檔案。將 Geometry Definition 中的 Geometry CRS 設定為"EPSG:4326-WGS 84"。即可導入點位資料進入 QGIS。

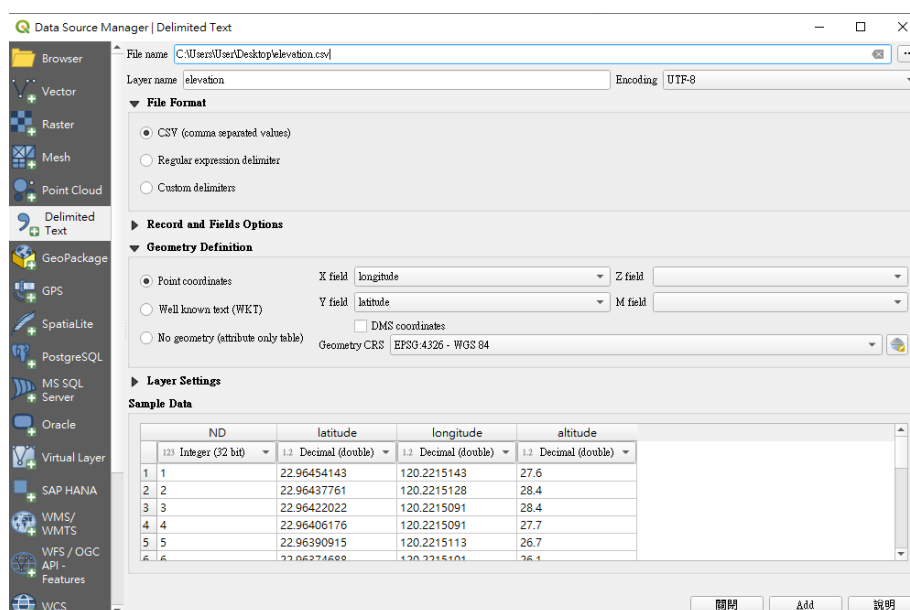


圖 5-7 於 QGIS 導入 csv 點位資料 (圖片來源:本計畫繪製)

接著使用 QGIS 中 Export-Save feature as 功能，將點位資料從經緯度轉換為 XY 軸的相對距離座標。此處的 CRS 要設定在地點的相對時區。以台灣地區而言，需選定"EPSG:32451-WGS 72BE / UTM zone 51N "。並將 Layer-Option 中的 Geometry 設定為 AS_XY。即可導出為 XY 軸相對海拔高度的三欄資料結構。

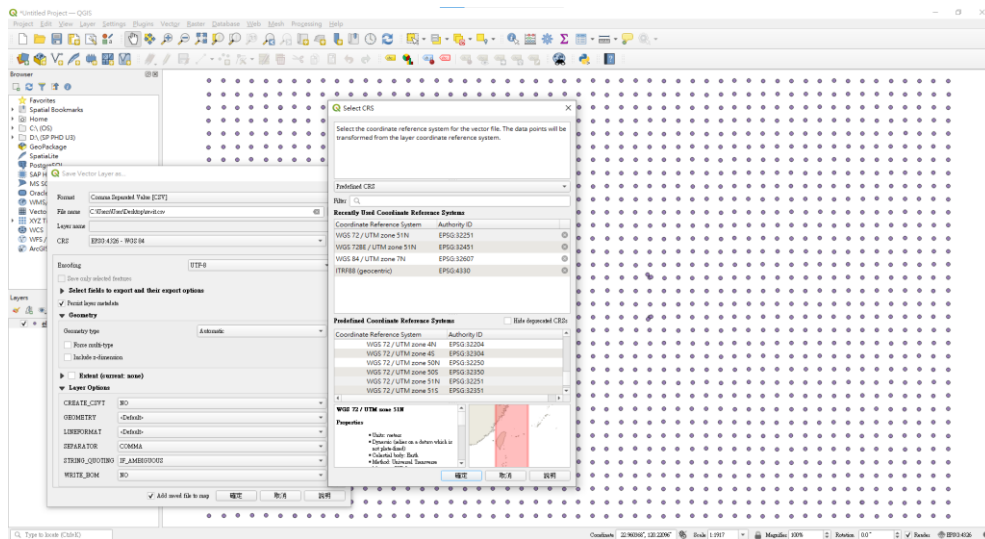


圖 5-8 將經緯度點位資料轉換為 XY 軸相對距離資料結構（圖片來源:本計畫繪製）

完成後的資料須轉存為 CSV。由於此資料的數值為公尺單位，所以需在 Excel 中另外將資料的數值小數點設定為小數點後兩位，才能確保資料是以公分為最小單位存取。進到 Revit 模型中，以 Create from Import csv 生成 Toposurface 的方法，選取對應的 Csv 檔案，即可完成將 Google Earth 選定區域範圍的地形數據複製於 Revit 當中的操作。

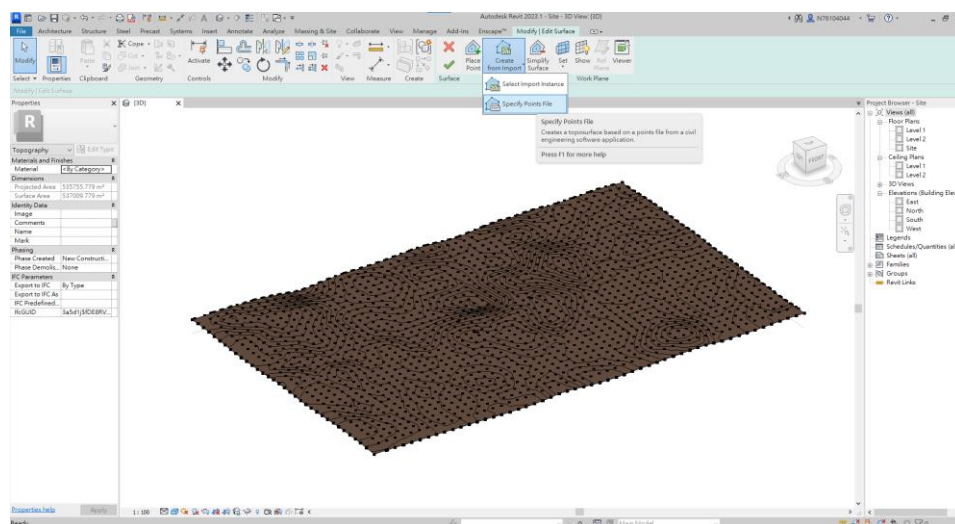


圖 5-9 在 Revit 當中以 Import csv 生成 Toposurface（圖片來源:本計畫繪製）

除了地形之外，景觀環境比如基地周遭的建築物、樹木或是路燈等街道家具

也是設計要考量的事項，會以點位標記的方式將相對應的物件配置於模型中。以一個自動化的作業邏輯將基地整體環境複製於數位模型中，且這個模型是一個對應真實地點的場域。再來運用相關的分析軟體進行基地環境分析。包括日照、太陽輻射熱，或是風流分析。

此處編寫 Revit 的 Dynamo 參數式腳本。以腳本讀取現有的 CAD 地形圖，並分別依照 CAD 圖中，不同建築標記的圖層，分別生成不同材質與樓層的建築量體，由於此模型已有 Revit 地形，於是需設定規則使建築物量體可以依著現有地形配置。

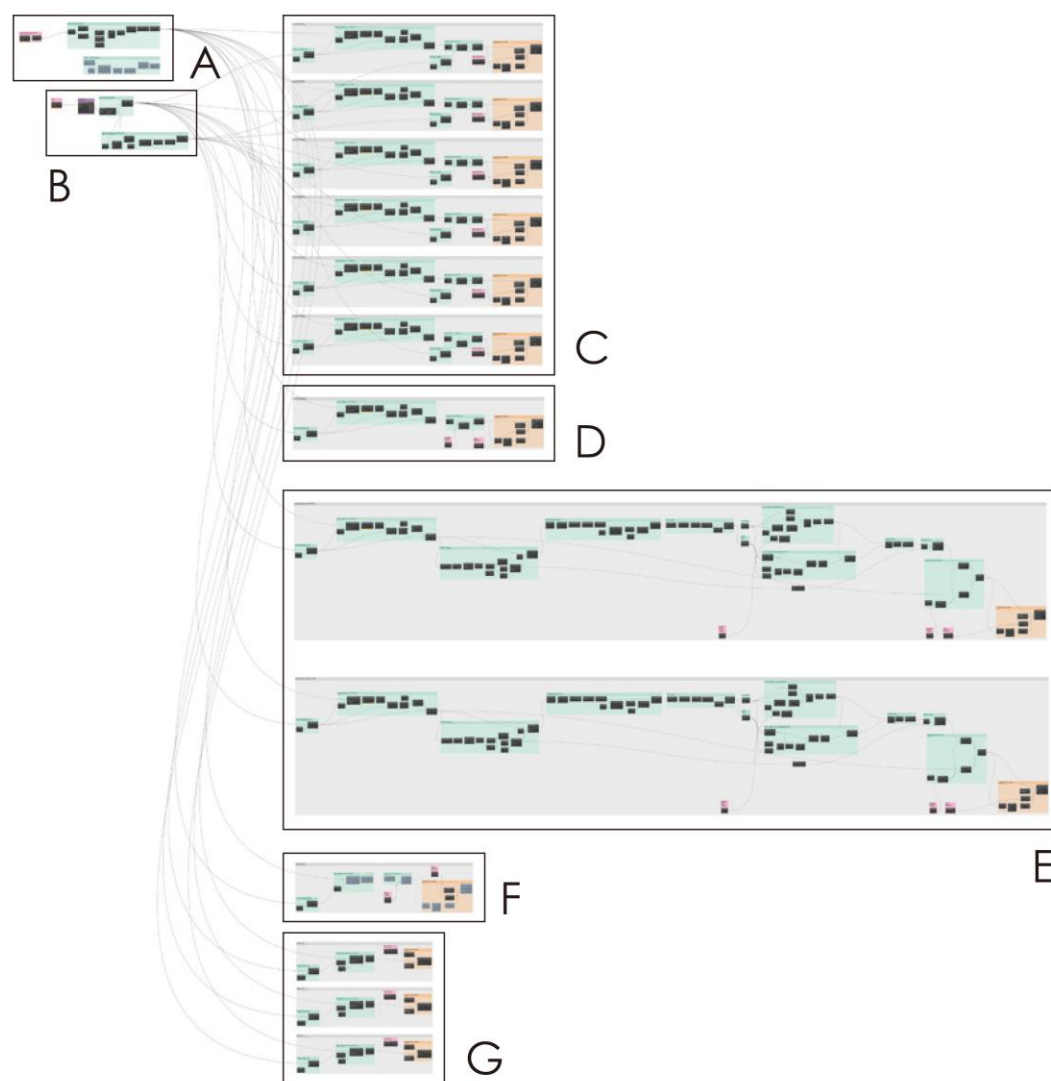


圖 5-10 進行周遭建築量體、景觀配置的 Dynamo 腳本（圖片來源:本計畫繪製）

首先要先將 Revit 中的 Toposurface 以 Select Model Element 讀取進入 Dynamo，由於 Toposurface 為 Mesh 幾何形體，所以須先將 Mesh 拆解為數個三角形的 Surface，再將這些 Surface 組合(Union)為同一個 Surface。即可完成地形

的預處理。

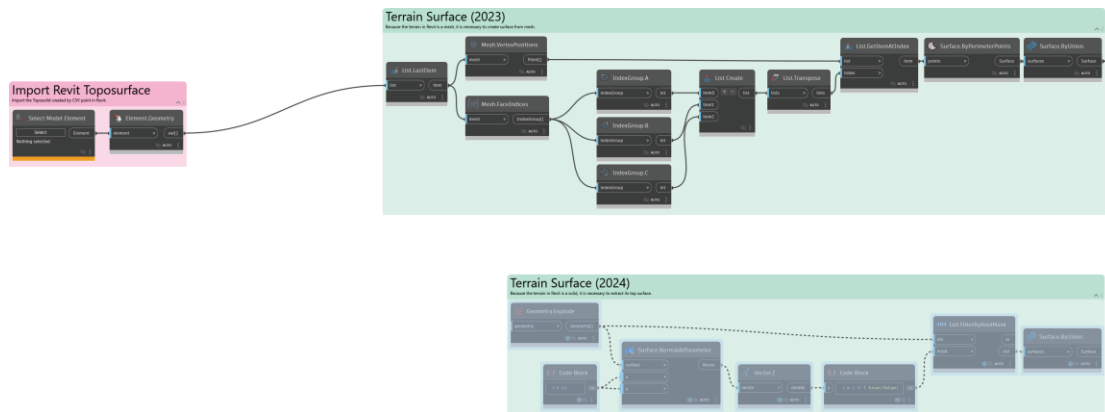


圖 5-11 A: 導入 Revit 地形並轉換為 Surface (圖片來源:本計畫繪製)

導入地形後，以 LinkDWG 插件功能一併導入 CAD 檔案中各圖層的多邊形 (Polyline)，依照不同的量體條件生成建築量體。生成的量體主要分為混凝土(R)、鐵皮(T)以及雙斜屋頂(S)的建築物量體，以下會先分別詳述生成這三項的參數腳本內容：

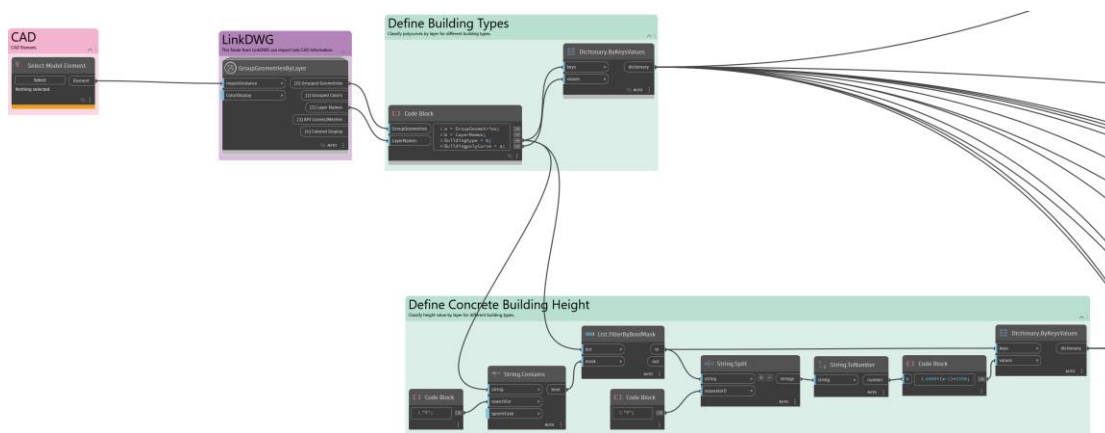


圖 5-12 B: 導入 CAD 檔案中的 Polyline (圖片來源:本計畫繪製)

使用 Dictionary 的功能，以一個數字與一個代號區分量體的種類(ex. 4R)。數字表示樓層數，1 樓樓高為 4 公尺，往上各層為 3.2 公尺。以此定義量體高度。而以材質(Material)區分量體材質。混凝土量體使用"Concrete, Cast In Situ"材質，而鐵皮與雙斜屋頂使用"Steel Building"材質。

除了雙斜屋頂的量體外，配置按照每一塊量體的 Polyline，以 Curve.ExtrudeAsSolid 節點，按照對應的量體高度與材質，即可生成。並計算 Polyline 與地形 Surface 之間的距離，相對移動生成的量體對齊至地形上。

雙斜屋頂量體除以上步驟外，需額外配合 Bounding box 與座標軸的組合應用，將斜屋頂的主軸對齊每一塊量體的長邊，再設定斜屋頂的頂高，以製成斜屋頂，疊在原建築量體之上。

由於 Revit 與 Dynamo 之間的幾何並不是直接相接，任何於 Dynamo 生成的幾何物件都需要額外轉換至 Revit 環境中。利用 DirectShape.ByGeometry 節點，可將 Dynamo 的幾何物件以 Categories、Material、跟 Name 的方式轉換為 Mass，置入 Revit 環境中。

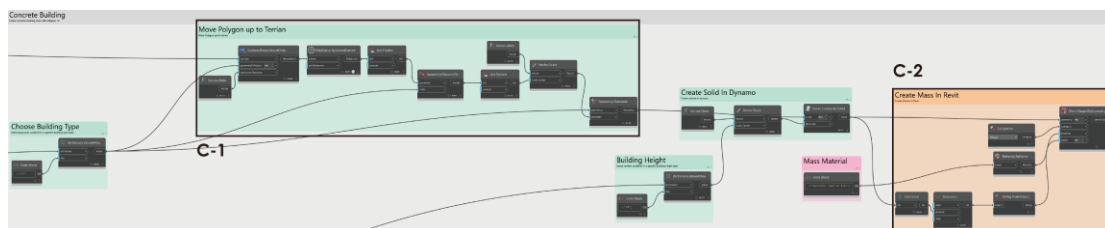


圖 5-13 C：生成混凝土建築物量體(圖片來源:本計畫繪製)

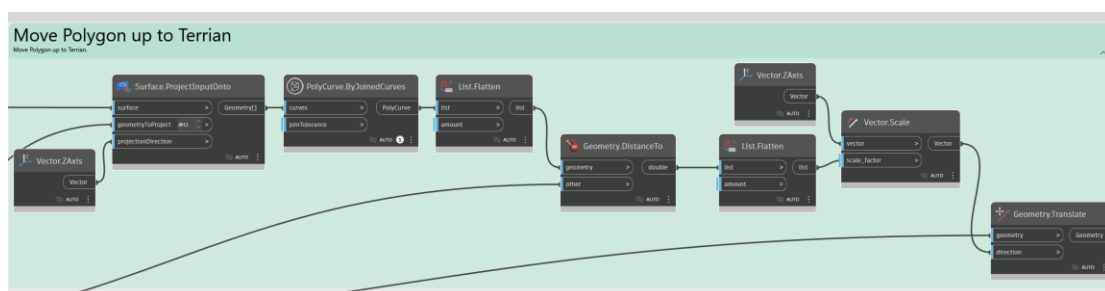


圖 5-14 C-1：將各個量體平面依附至現有的地形上(圖片來源:本計畫繪製)

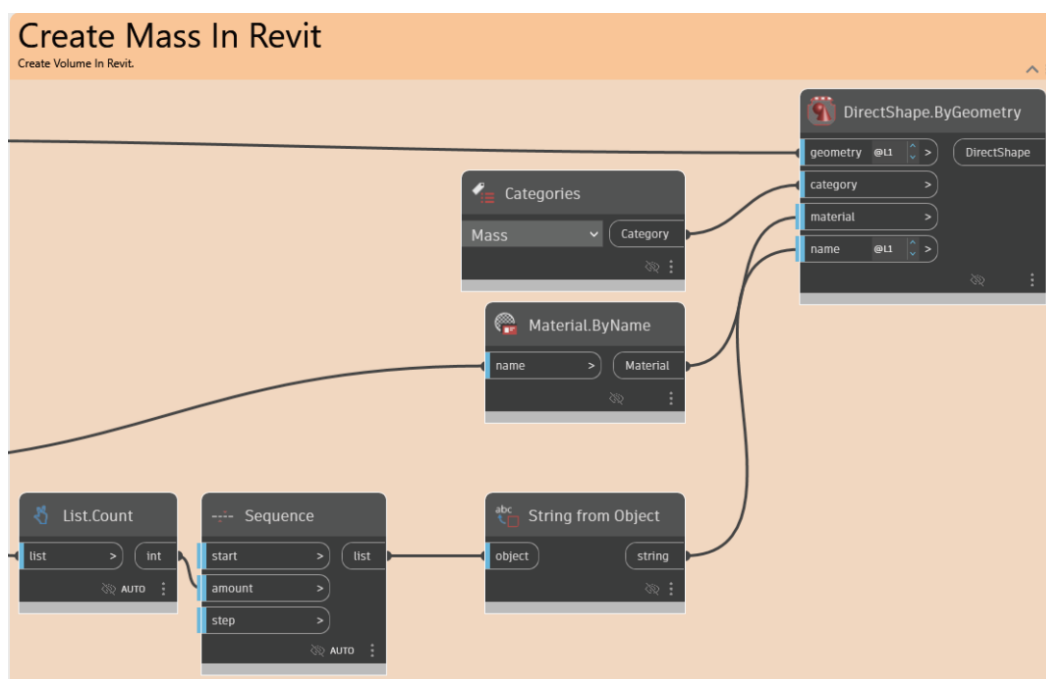


圖 5-15 C-2：將幾何物件從 Dynamo 轉換至 Revit 中(圖片來源:本計畫繪製)

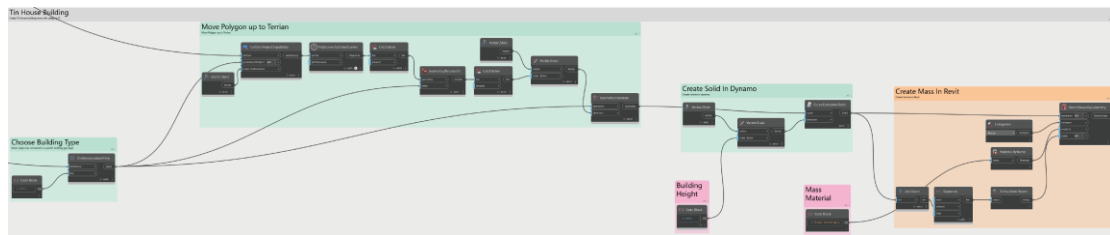


圖 5-16 D: 生成鐵皮建築物量體(圖片來源:本計畫繪製)



圖 5-17 E: 生成雙斜屋頂建築物量體(圖片來源:本計畫繪製)

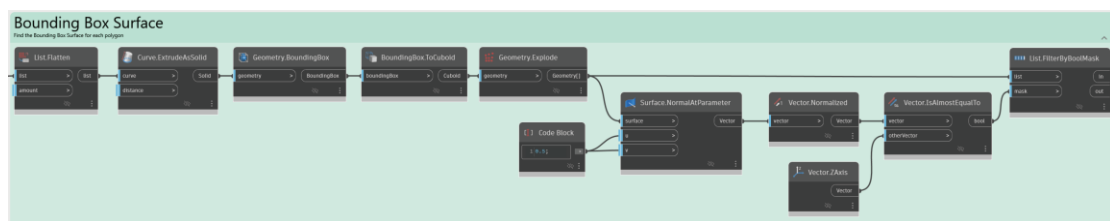


圖 5-18 E-1:量體平面的 Bounding Box (圖片來源:本計畫繪製)

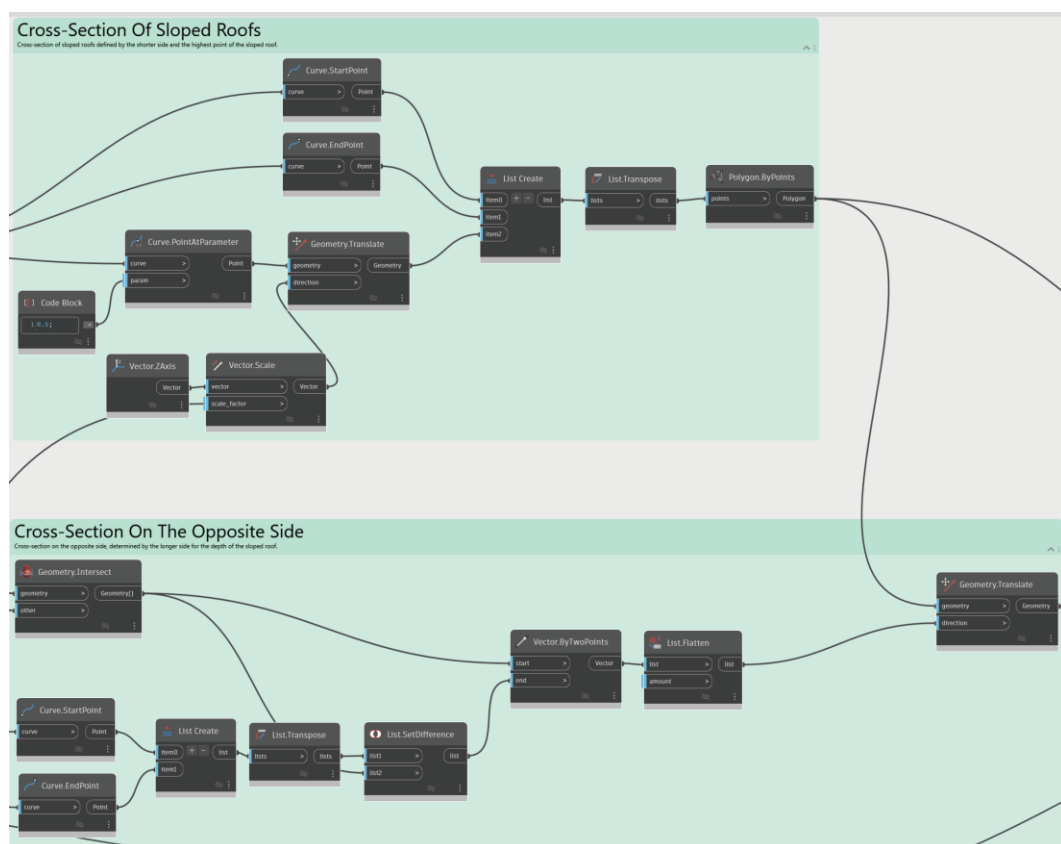


圖 5-19 E-1: 以 Bounding Box 定義斜屋頂幾何(圖片來源:本計畫繪製)

建築物配置完成後，也可以用類似的方式讀取街廓的 Polyline 按照厚度放置街廓量體(Surface.Thicken)。另外，景觀樹木或街道家具則是以點位配置，以 FamilyInstance.ByCoordinates 節點，一個點位對應配置元件的方式。放置樹木、路燈或街道家具等內容。

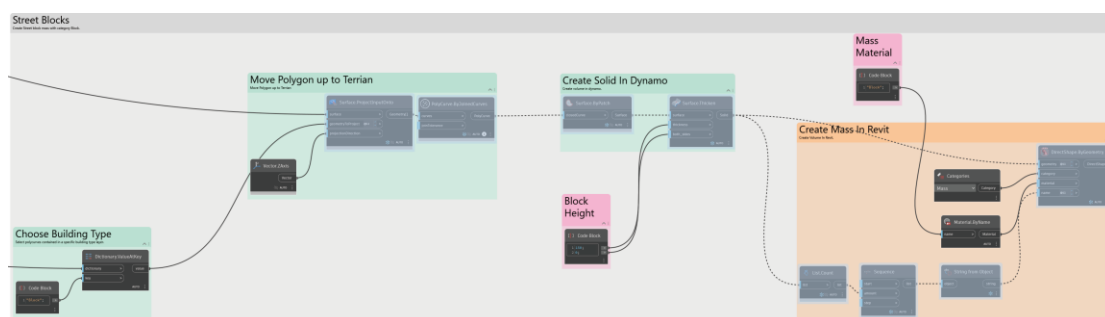


圖 5-20 F：生成街廓量體(圖片來源:本計畫繪製)

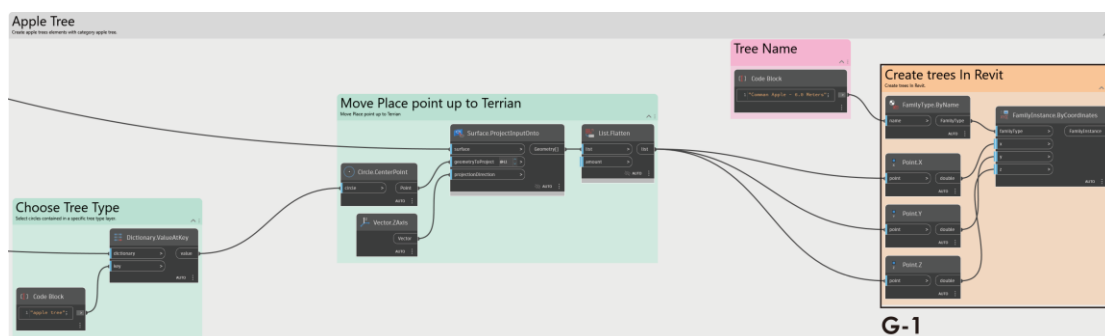


圖 5-21 G：生成景觀樹木(圖片來源:本計畫繪製)

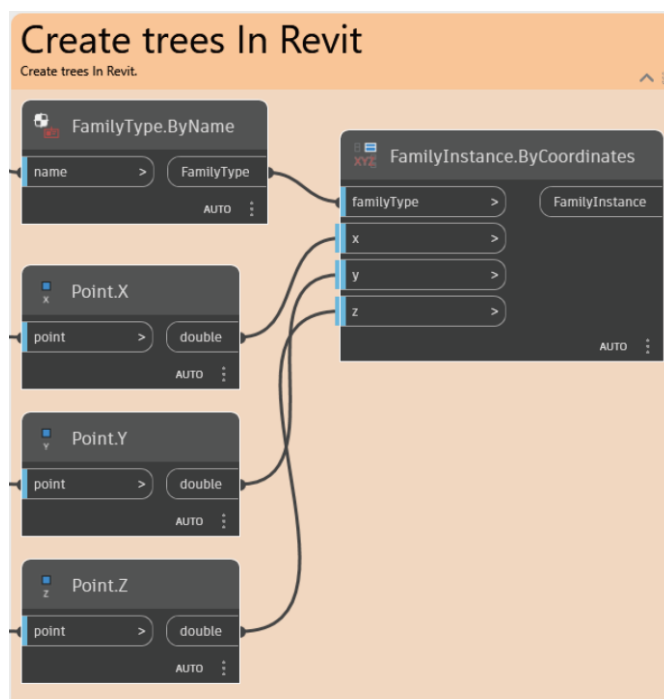


圖 5-22 G-1：FamilyInstance.ByCoordinates 生成方法(圖片來源:本計畫繪製)

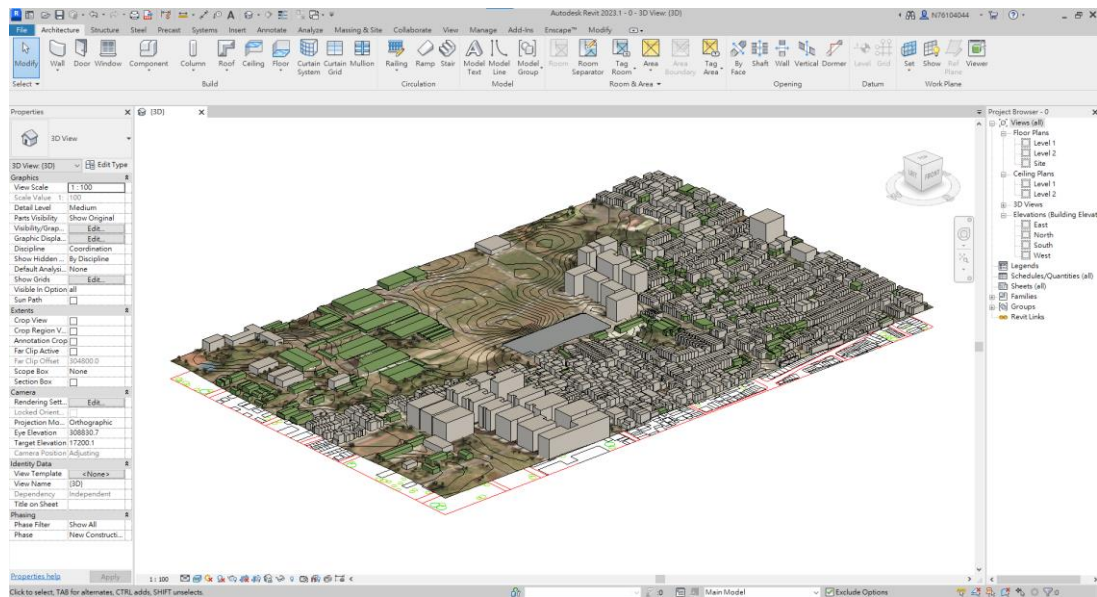


圖 5-23 自動化 Revit 基地模建置(圖片來源:本計畫繪製)

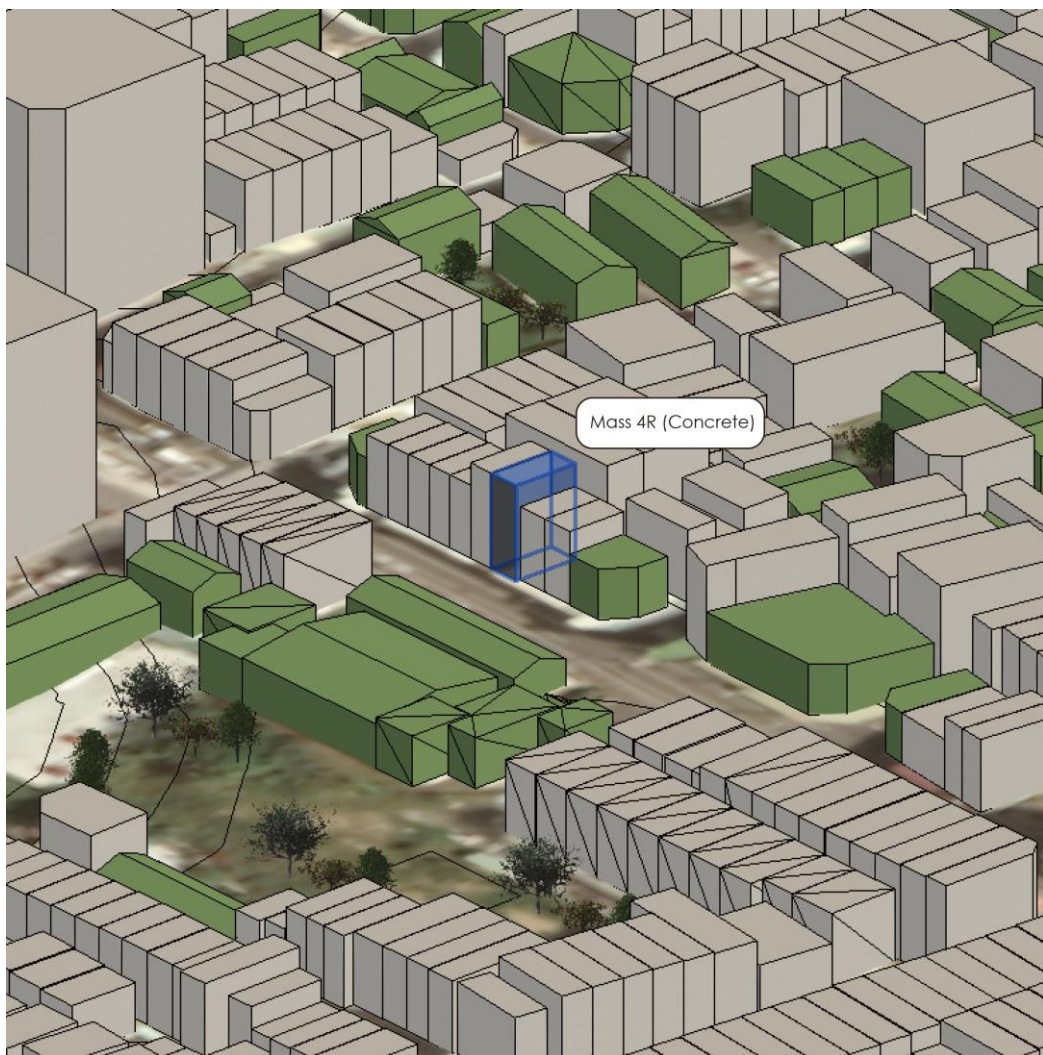


圖 5-24 生成量體示意(圖片來源:本計畫繪製)

限制性條件：

要做兩件事情，一是定義設計的限制，再來是建立一個自動檢查設計有沒有符合條件的機制。首先為了定義設計限制，要先蒐集、整理與分類相關的資料。那其中包含設計規範和業主需求兩個項目。設計規範可以使用爬蟲程式或是 ChatGPT 從各網站中蒐集所需資訊。而業主需求可利用語音轉為文字稿工具將與業主的討論記錄下來，再使用 ChatGPT 修正並擷取摘要。

整理完設計條件後，再根據重要性分為絕對、次要與一般限制。像是涉及建築安全或法規相關的為絕對限制，外觀顏色或景觀設計方面的屬於一般限制。明確定義這些條件之後就可以建立檢查機制的系統。那實際建立機制作法是將限制條件的敘述轉換為數學公式，再編寫參數式腳本生成檢查量體，以不同顏色區分不同種類的限制。有了這些量體，再做設計的過程中，就可以檢查設計本身有沒有與這些檢查量體重疊，以確認是否符合條件。

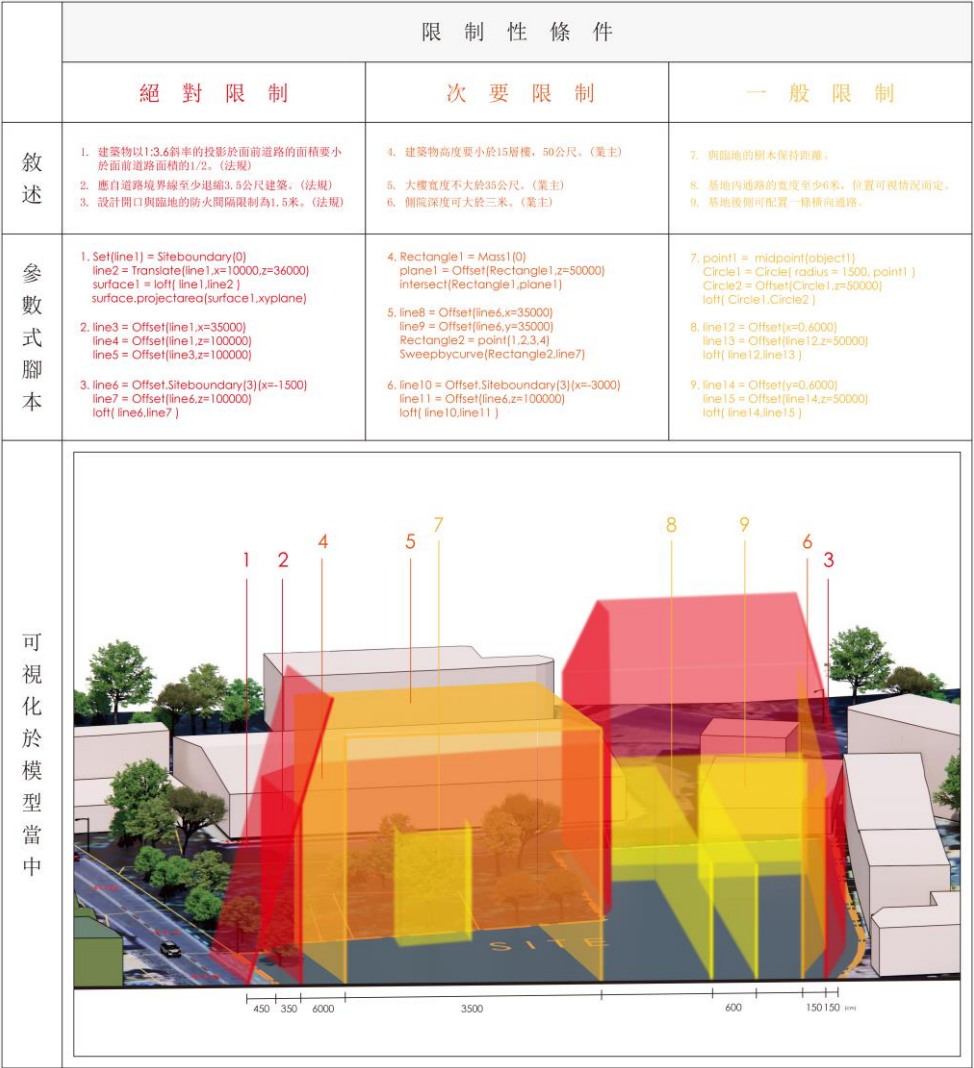


圖 5-25 限制性條件量體建置示意圖(圖片來源:龔智群繪製)

建築計畫：

再來是建築計畫。建築計畫是跟業主討論並確定設計目標後，將基地資料、空間計畫及其他建築相關項目，使用 ChatGPT 協助製作一個建築計畫的 Excel 表單。

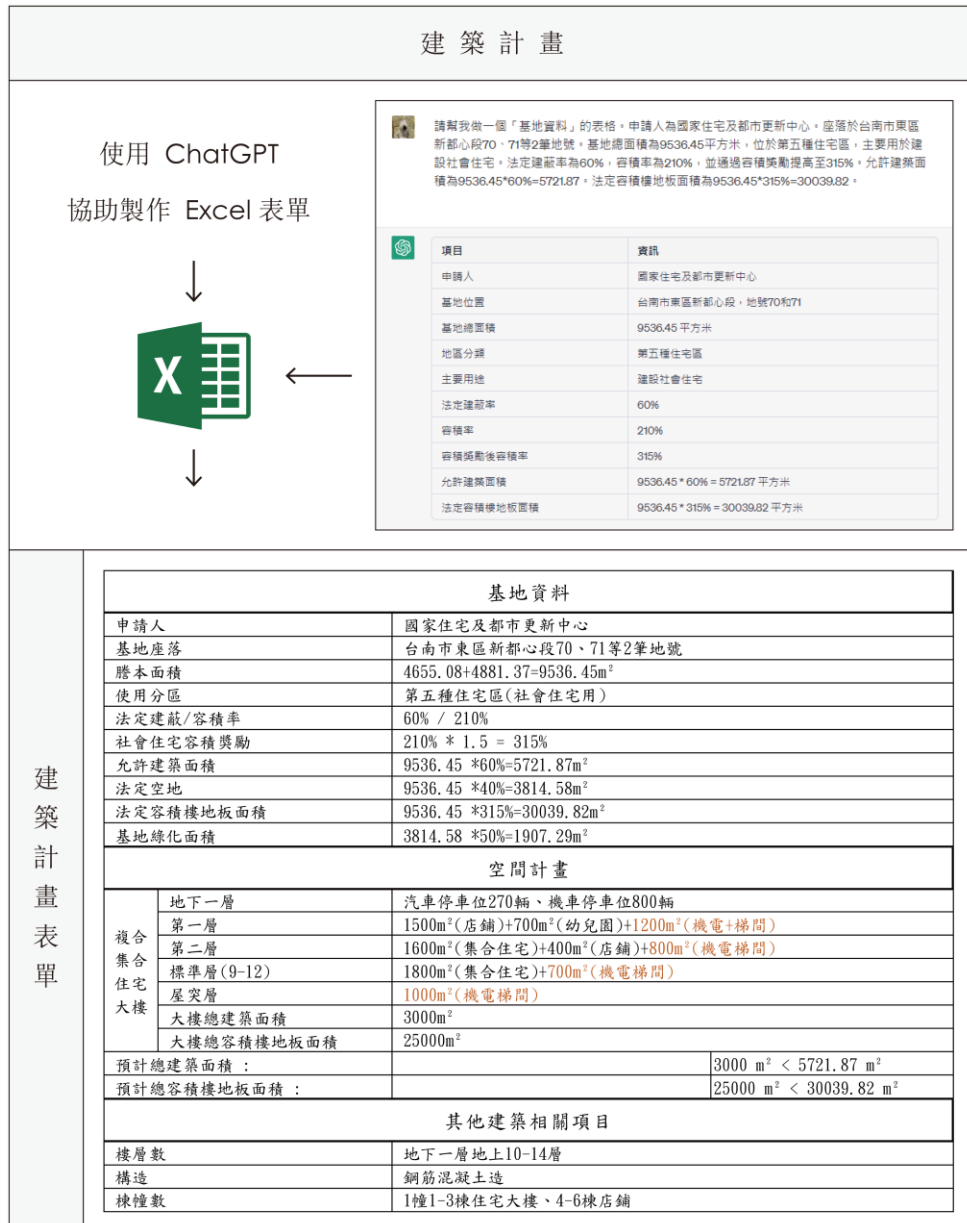


圖 5-26 使用 ChatGPT 協助製作建築計畫表單(圖片來源:本計畫繪製)

初步建築配置：

量體配置考慮限制性條件和建築計畫內容，並根據建築形式的相關原則來制定建築配置。這些原則包括配置尺寸、建築座向和排列方式。首先，根據限制性條件確定可建築範圍。將設計邏輯寫成參數式腳本，以便根據邏輯生成設

計。腳本的執行將得到數個設計方案，再以建築效能評估生成方案。

此處使用 Dynamo 編寫建築量體配置的參數式腳本。再由 Generative Design 插件生產多組設計方案。並藉由 Solar Analysis 插件分析量體方案的建築外殼熱輻射量。

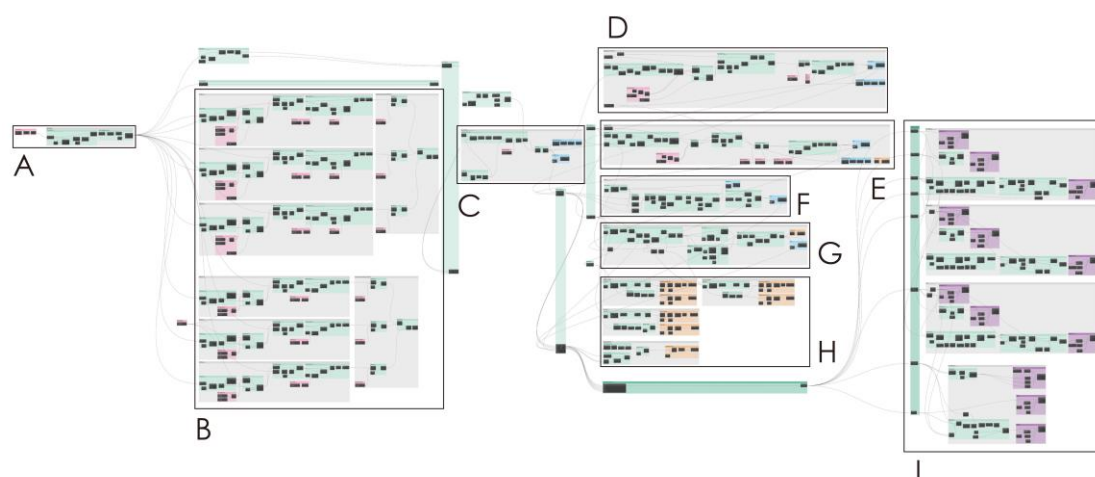


圖 5-27 進行初步建築量體配置的 Dynamo 腳本(圖片來源:本計畫繪製)

以此案而言，要配置的建築量體有主要的住宅大樓，以及次要的幼兒園與店面量體單元。住宅大樓為 2-3 棟，每棟樓層數為 10-15 樓，樓地板面積每棟每層約為 1000-2000 平方公尺。幼兒園量體面積則為 500-1000 平方公尺。店面單元則為每棟總樓地板面積 250 平方公尺，共 4-6 個單元。配置完建築量體後，再為每棟量體配置通路(寬度為 6m)。最後，於剩餘空間配置綠化單元(綠化樹木)。以此設計配置邏輯進行衍生式設計多方案發展。以下將會針對每個項目進行更詳細的技術描述。

此組腳本需先界定可建築的範圍。先從 Revit 中導入基地範圍的邊界線(從 CAD 圖取得)，再向內 Offset 3.5m 作為可建築邊界(基地退縮人行道距離)。

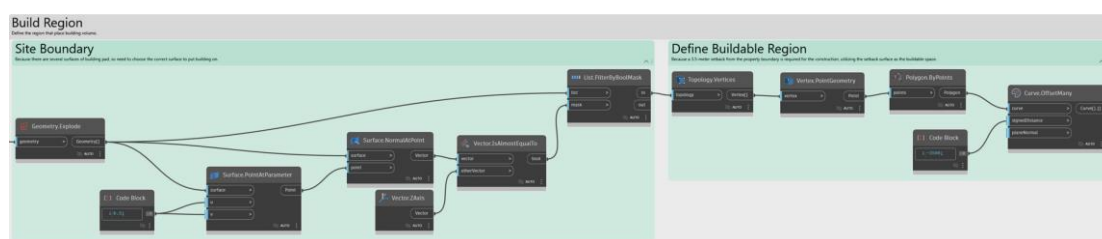


圖 5-28 A: 界定基地可建築範圍(圖片來源:本計畫繪製)

在基地可建築範圍內分別配置數棟主要住宅大樓量體(Main Building)。此處考量模矩化配置。假定柱為 80 公分，而適合配置停車位之柱距為 7.5m。於是以 8.3m 為一模矩單位配置。每棟大樓之寬度與深度皆為 2-6 個模矩數為變數配

置。層高則為 10-15 層(地面層為 4m，二樓以上每層 3.2m)。每棟皆先在可建築範圍內選擇一個配置中心點放置大樓平面矩形。再對應量體高度生成大樓量體。此處為了探索量體的可能性，設定兩種生成方法。方法一為正交方式配置量體，方法二扭轉量體角度，以 0-45 度扭轉。分別生成後再以總和樓板面積為 30000-35000 平方公尺取樣。最後再將量體合併群組，做為住宅大樓配置方法。

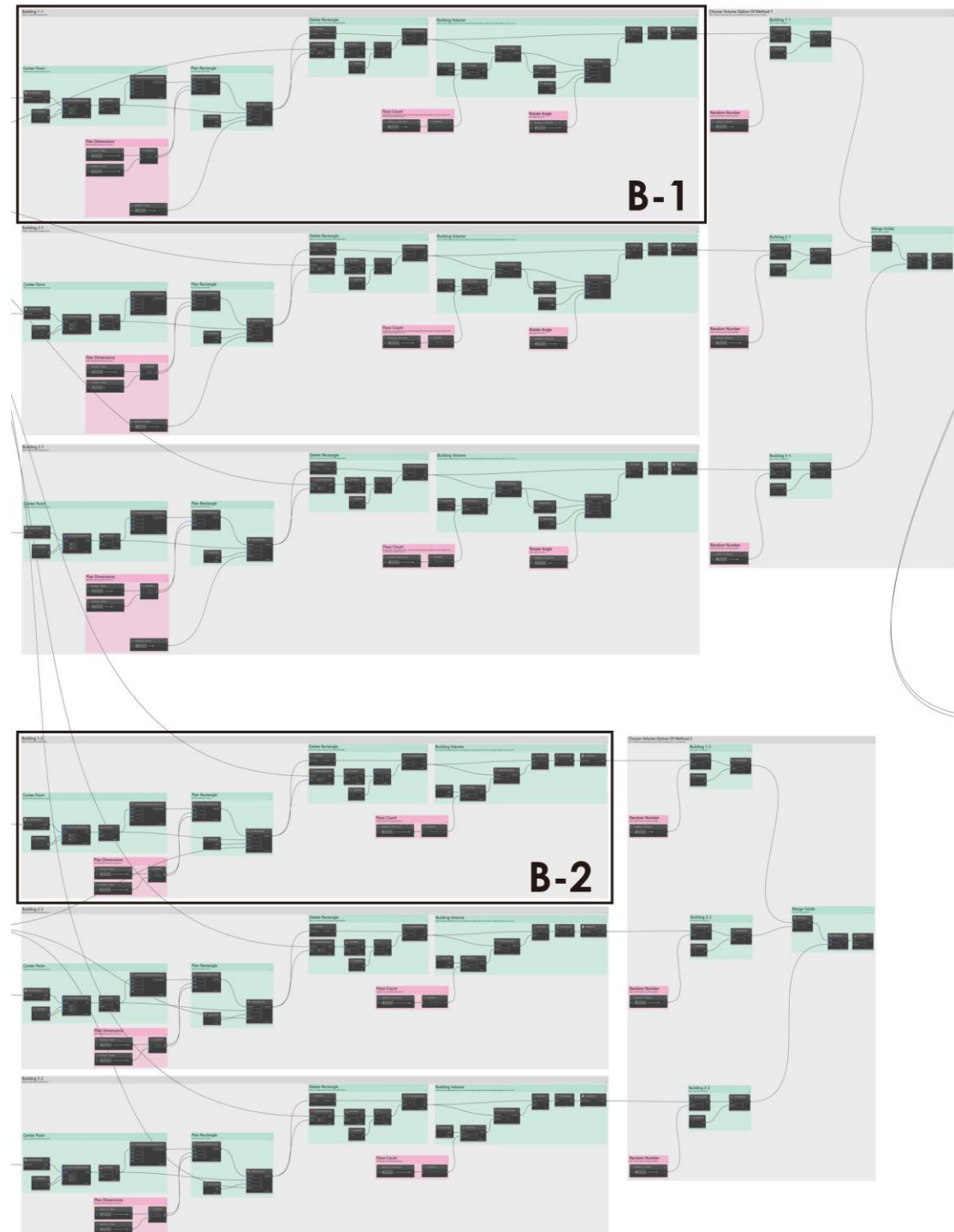


圖 5-29 B：生成住宅大樓量體(圖片來源：本計畫繪製)

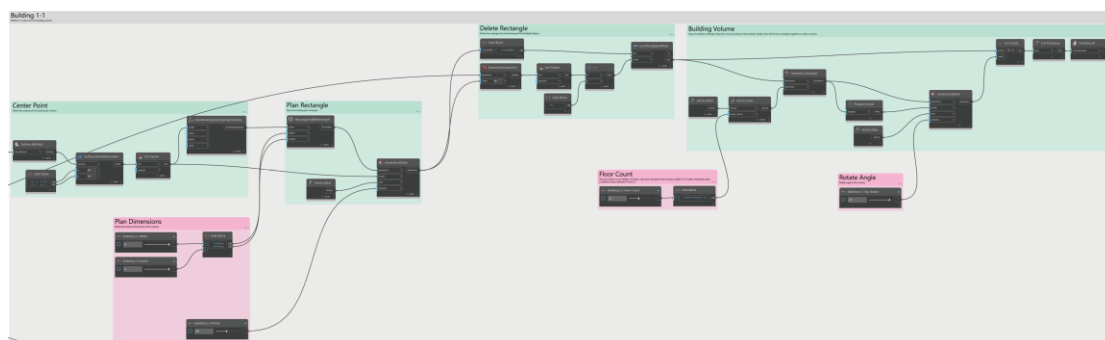


圖 5-30 B-1: 生成住宅大樓: Method 1(扭轉) (圖片來源:本計畫繪製)

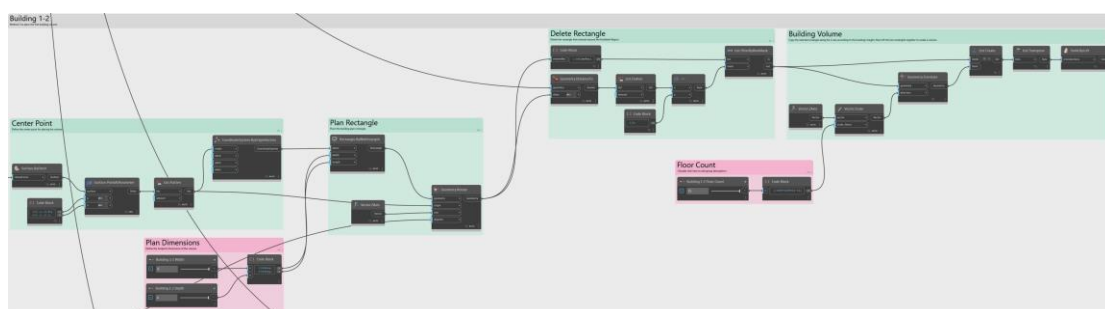


圖 5-31 B-2: 生成住宅大樓: Method 2(正交) (圖片來源:本計畫繪製)

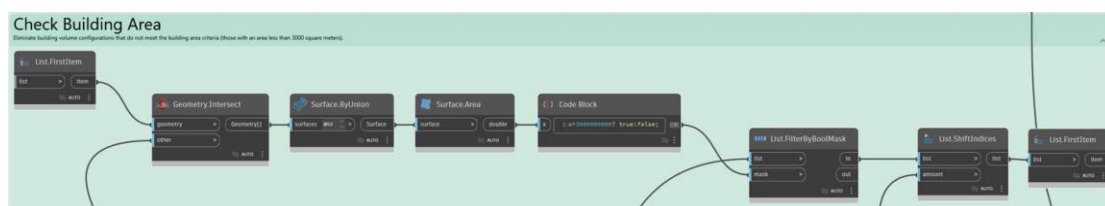


圖 5-32 C: 以 30000-35000 平方公尺取樣(圖片來源:本計畫繪製)

接著配置幼兒園的建築量體(Kindergarden)，腳本編寫邏輯與配置住宅大樓類似，同樣是取一個點位配置矩形，再依照高度 Loft 為量體。但此量體僅以正交方式生成。並且不與住宅大樓重疊一半以上的體積。寬度與深度以相乘 12 個模矩數(模矩單元為 8.3m)為條件。量體高度則固定為 2 層樓(7.2m)。

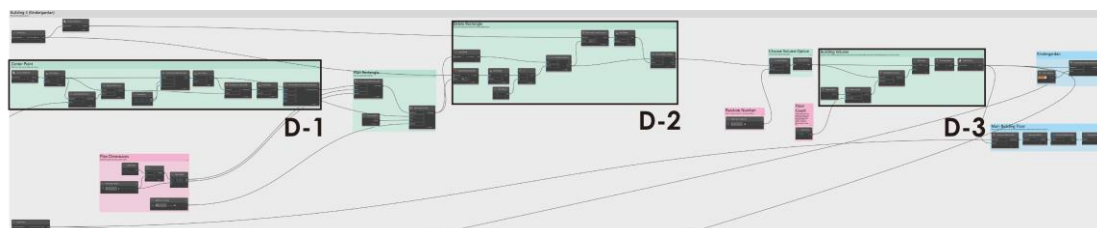


圖 5-33 D: 生成幼兒園量體(圖片來源:本計畫繪製)

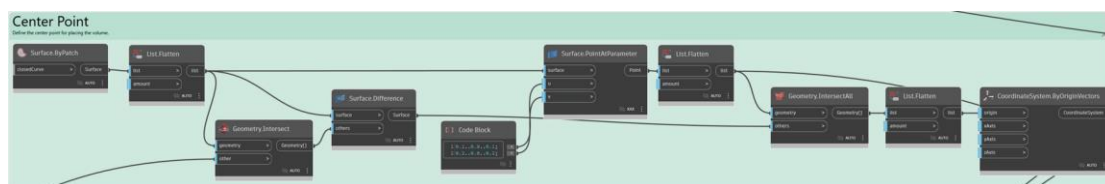


圖 5-34 D-1: 定義量體配置中心點(圖片來源:本計畫繪製)

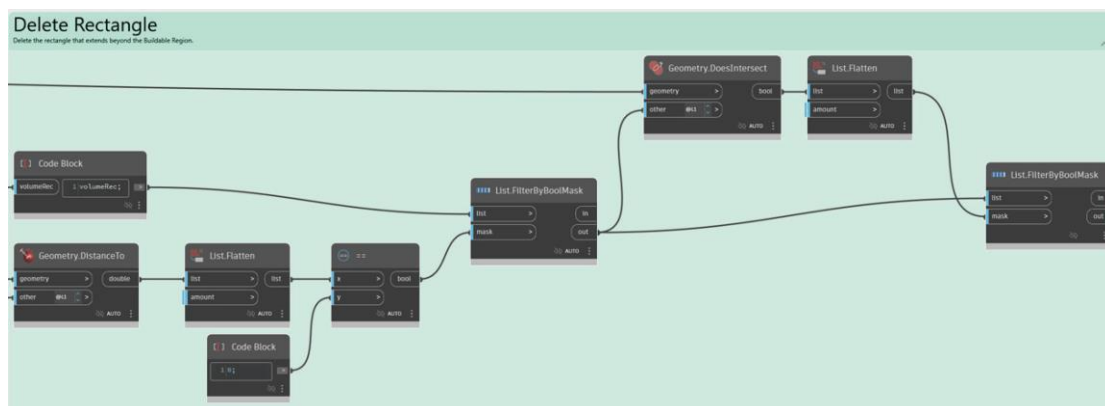


圖 5-35 D-2: 去除不符合條件的平面矩形(圖片來源:本計畫繪製)

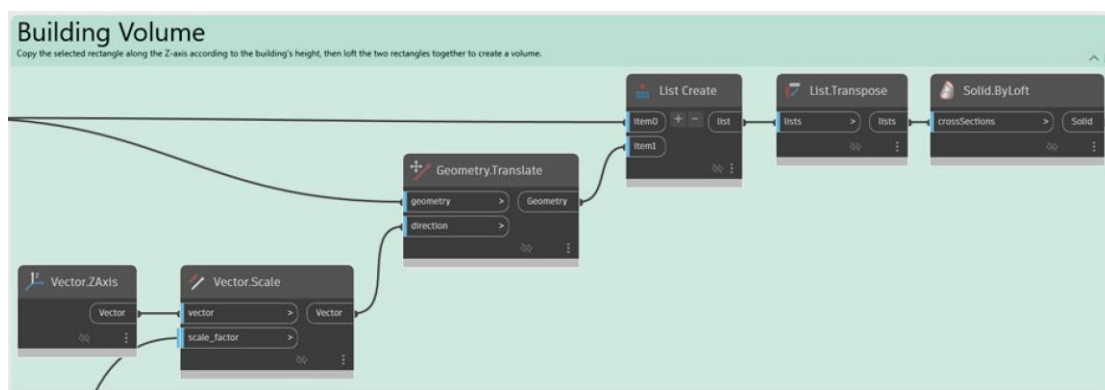


圖 5-36 D-3: 依照高度生成建築量體(圖片來源:本計畫繪製)

最後要配置的建築量體為店面單元量體(Store)，與前項相同，在基地的可建築範圍內(扣除住宅大樓與幼兒園量體)，依照 PointAtParameter 節點定義配置量體中心點。店面單元寬度與深度則是以相乘 6 個模矩數(模矩單元為 8.3m)為條件。去除不符合條件的平面矩形後，再選擇 4-6 個單元。層高為 3-4 層(地面層為 4m，二樓以上每層 3.2m)配置。

三組量體配置完成後，以剩餘空間配置基地內通路以及綠化空間。道路空間則以每個建築量體中心點延伸至基地外的垂直距離配置線(Curve)，將此線定為配置道路參考線，左右各 Offset 3m，並將兩條線 Loft 為道路面。並給予道路 10 公分的厚度，以完成道路量體。而綠化空間則是以基地範圍扣除住宅大樓、幼

建築物量體、道路，與綠化空間定義後。要使用對應腳本將配置內容的數據導出為方案數值。此處共設定 9 個參考數值，分別為：總建蔽率(Building Coverage Ratio)、總建築面積(Building Coverage Area)、總容積率(Floor Area Ratio)、總容積樓地板面積(Floor Area)、綠覆率(Planting Coverage Ratio)、綠化面積(Planting Coverage Area)、店面單元數量(Store Count)，住戶單元數量(Household Count)，以及樹木數量(Tree Count)。

此處先假定公設為 20%，於是容積率將總樓地板面積扣除 20%計算。而住戶單元為 70 平方公尺為一戶計算數量。所有的百分比(%)與面積(m^2)皆以四捨五入取至小數點後兩位計算。

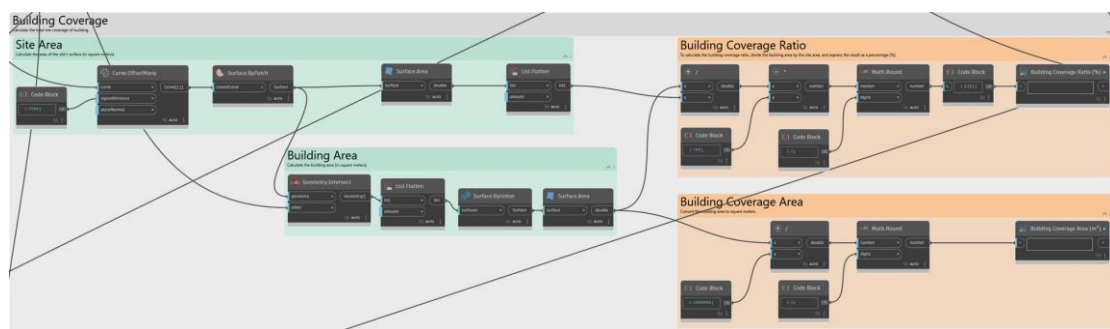


圖 5-42 計算建蔽率與建築面積(圖片來源:本計畫繪製)

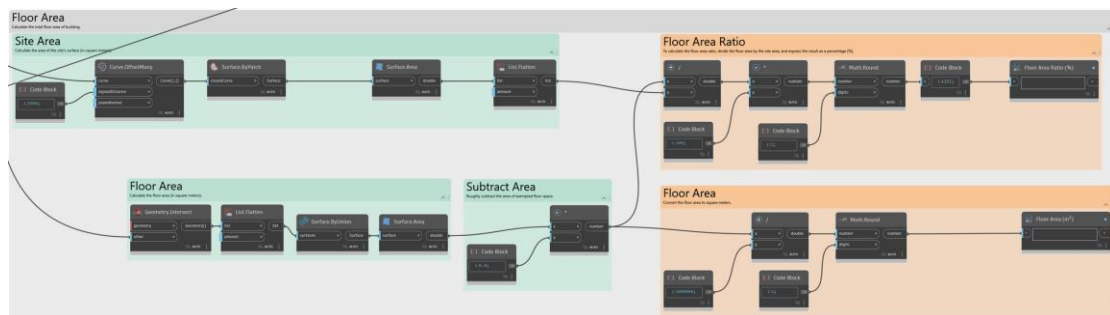


圖 5-43 計算容積率與樓地板面積(圖片來源:本計畫繪製)

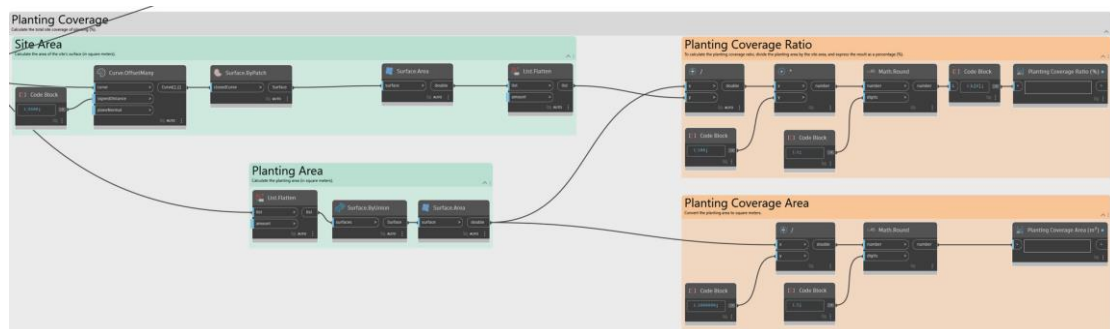


圖 5-44 計算綠覆率與綠化面積(圖片來源:本計畫繪製)

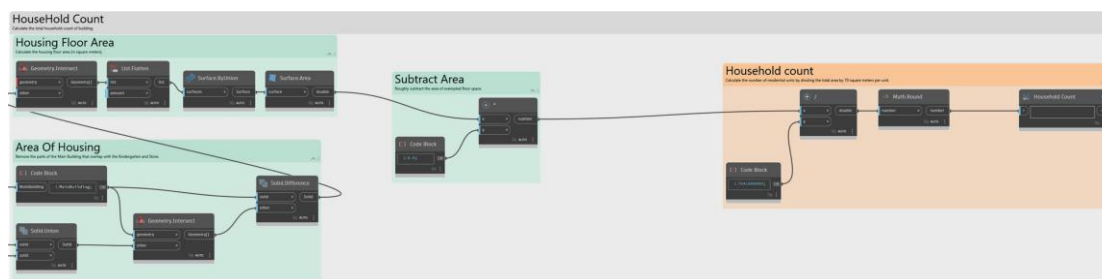


圖 5-45 計算住戶與店家單元數量(圖片來源:本計畫繪製)

除了進行數值估算外，還需進一步將由 Dynamo 腳本生成的幾何形體轉移至 Revit 環境當中。此處需要轉移的項目分為：三個類型的建築量體、各自量體的樓地板與模矩柱、道路與綠化鋪面，以及樹木。與基地模配置時相同，利用 DirectShape.ByGeometry 節點，可將 Dynamo 的幾何物件以 Categories、Material、跟 Name 的方式轉換為 Mass，置入 Revit 環境中。

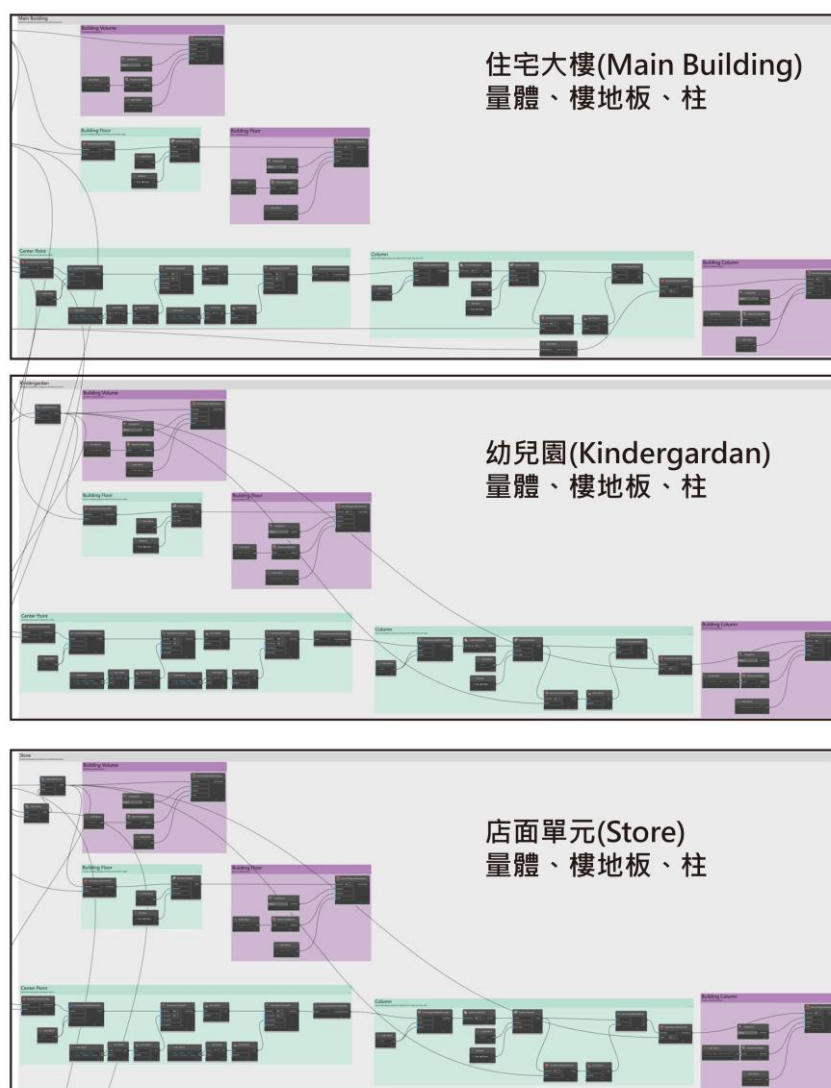


圖 5-46 將建築量體幾何轉移至 Revit 中(圖片來源:本計畫繪製)

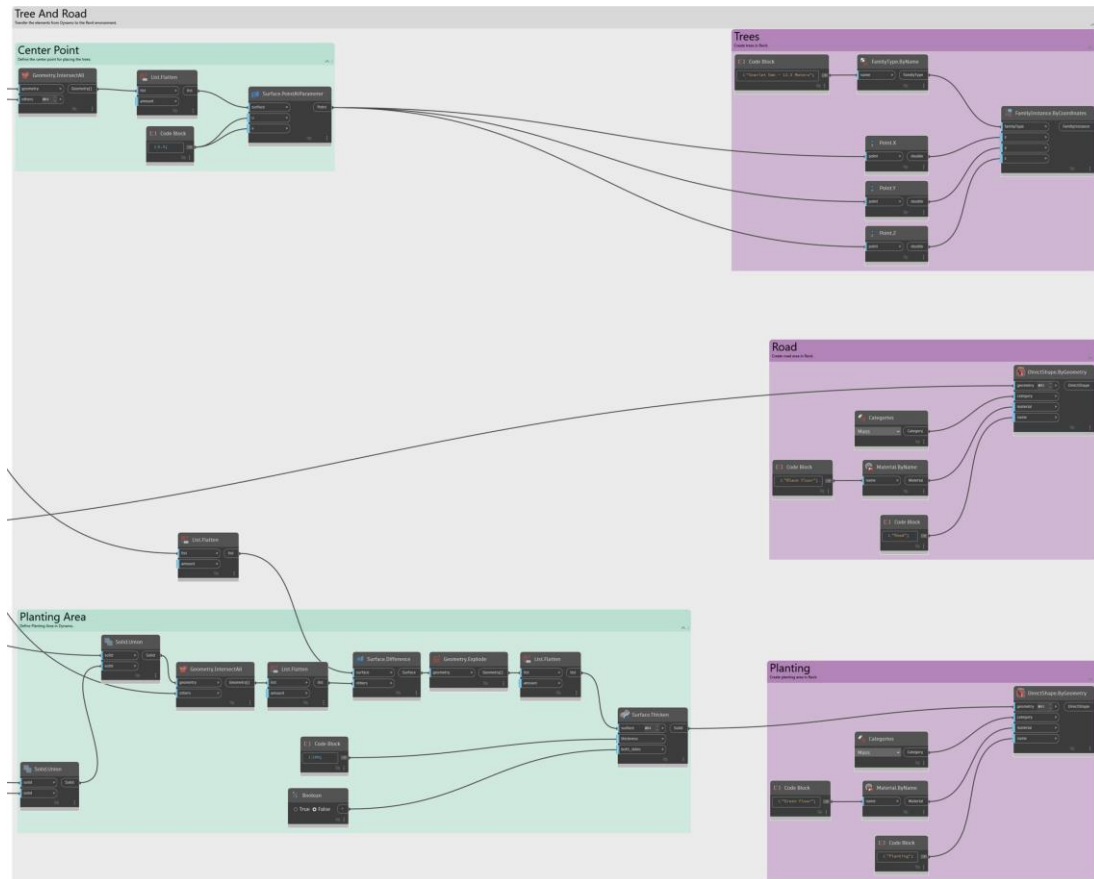


圖 5-47 將景觀與道路幾何轉移至 Revit 中(圖片來源:本計畫繪製)

藉由量體方案生成，方案數據評估，選擇合適的方案轉移至 Revit 環境，此為初步量體配置的 AI 輔助設計方法。而執行多方案生成的插件為 Generative Design 插件。開啟各項 Input 數據區間，以 Random 方式生成多組方案。

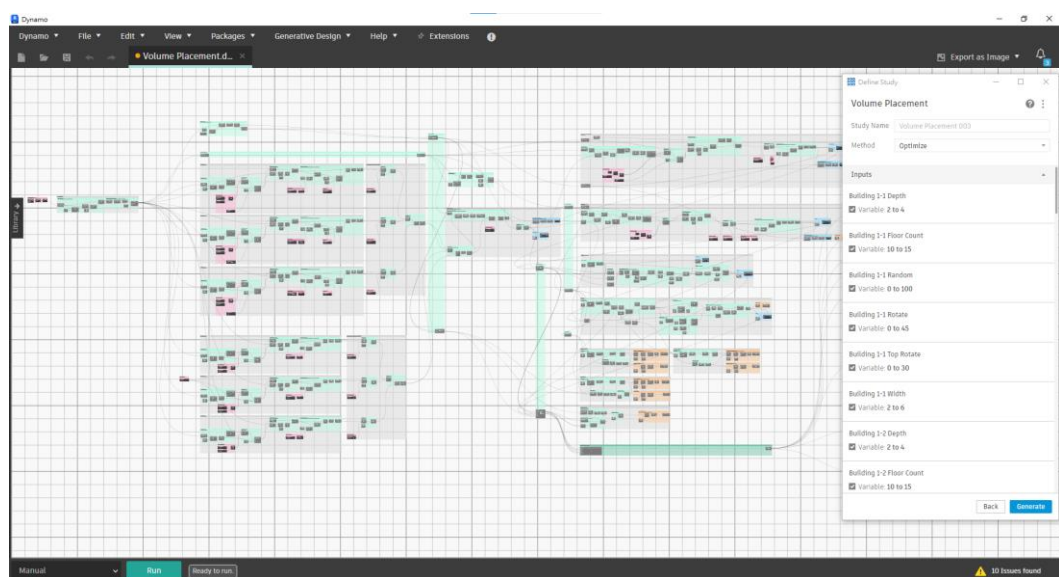


圖 5-48 以 Dynamo 配合 Generative Design 使用生成方案(圖片來源:本計畫繪製)

生產後會產生一個圖表，左上方為符合條件的生成方案。選擇某個方案即可於右上側放大或旋轉檢視此方案的不同視角。左下方則為各項變數值(Input)數據的交叉比對表，可以看出方案的各項指標數據。右下方則有針對選擇方案的指標數據分析表。

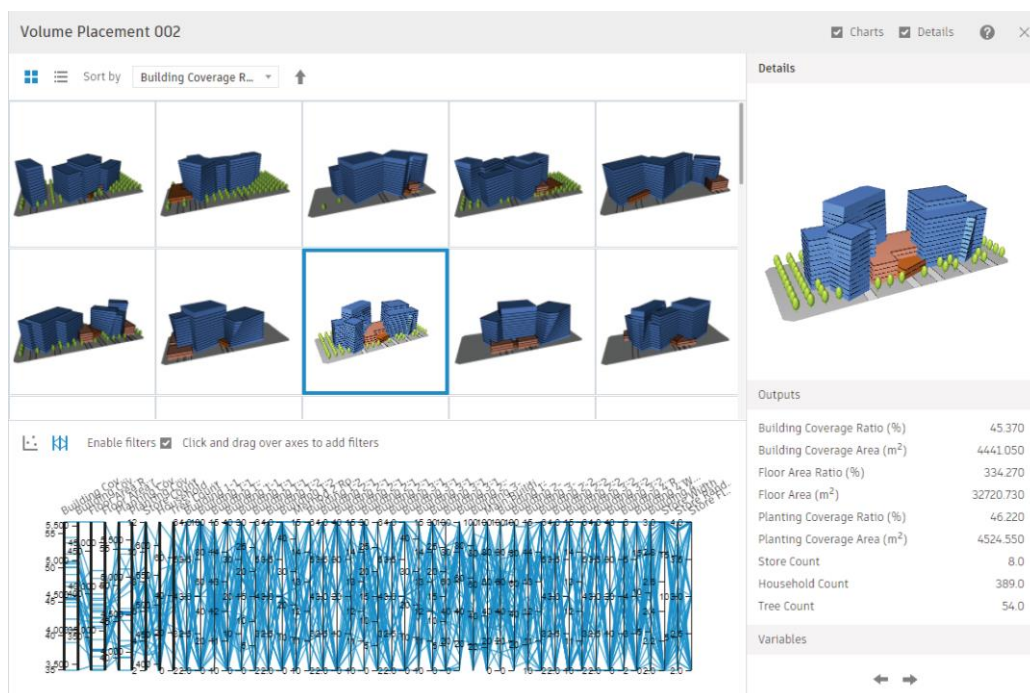


圖 5-49 Generative Design 生產量體方案分析圖表(圖片來源:本計畫繪製)

選定合適的方案後，可將其轉換至 Revit 模型中，利用 Revit 的 Design Option 功能，能夠同時在同一個檔案內儲存多個方案。並以不同顏色區分建築類型。藍色為住宅大樓，紅色為幼兒園，橘色為店面單元。

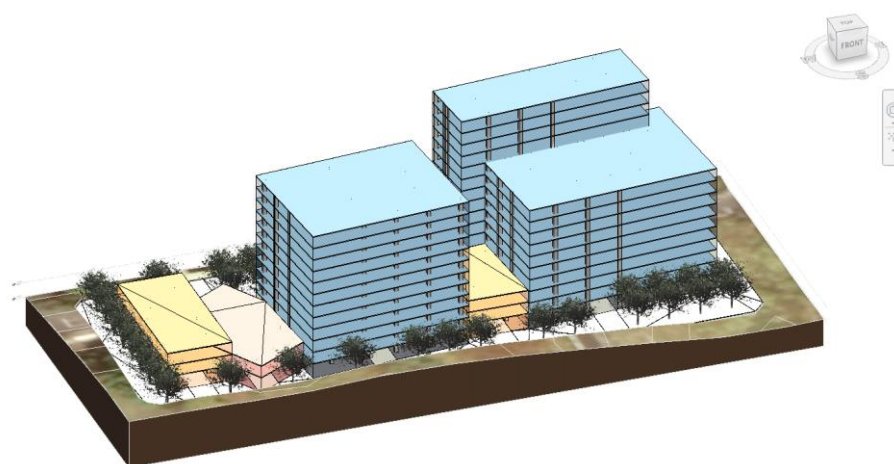


圖 5-50 將方案由 Dynamo 轉換至 Revit 環境(圖片來源:本計畫繪製)

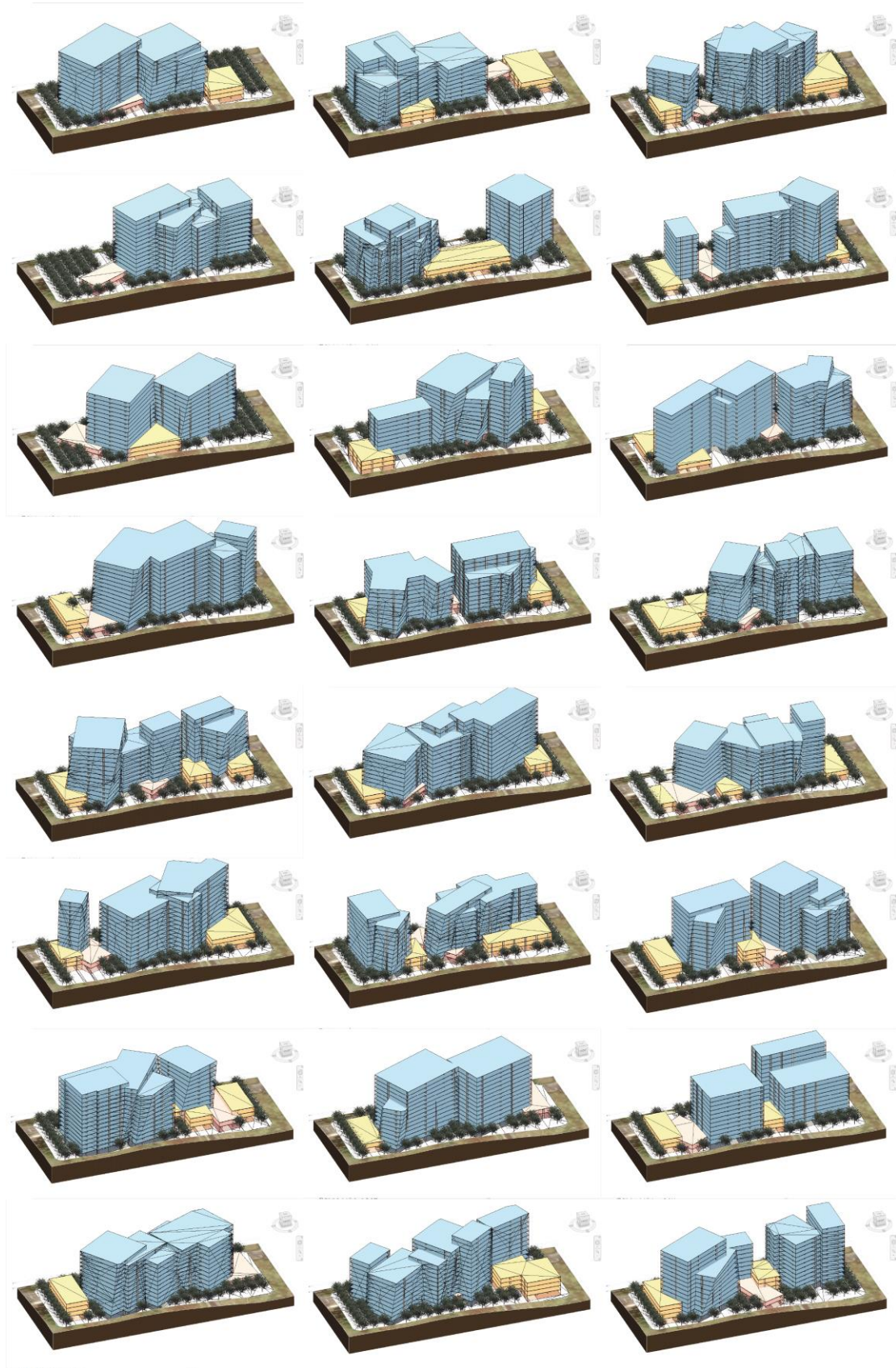


圖 5-51 由 Generative Design 生產的設計方案(圖片來源:本計畫繪製)

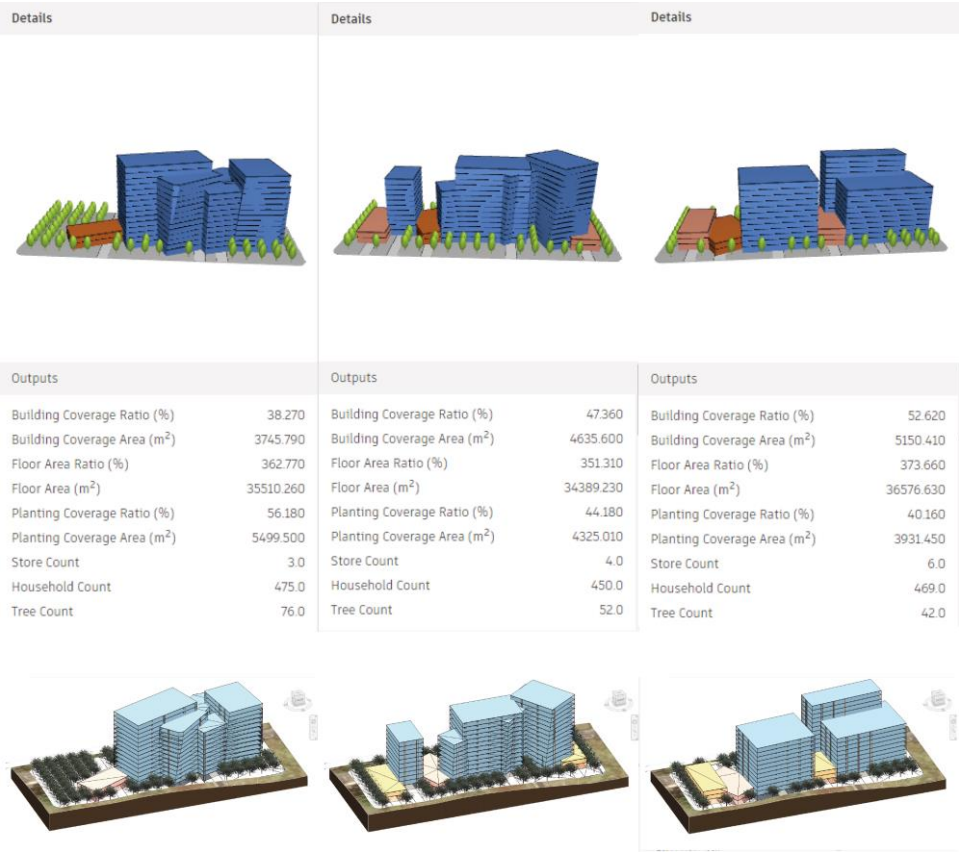


圖 5-52 各方案數值分析表(圖片來源:本計畫繪製)

建築量體配置的主要目標在於透過容積樓地板面積和外牆太陽熱輻射的最佳化方案生成建築形式。為了探索建築配置的多樣性，設定量體扭曲變形相關變數，以賦予量體更豐富的變化，同時仍保留相對幾何規矩的方案。此方法旨在於提高設計方案的靈活性，使最終生成的結果更具創新性和多變性。

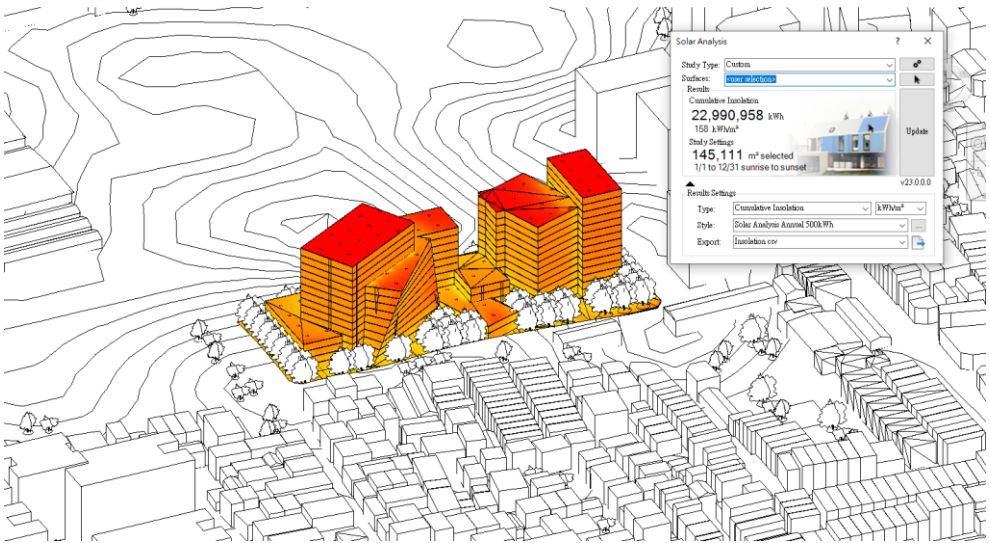


圖 5-53 使用 Solar Analysis 進行方案太陽熱輻射分析(圖片來源:本計畫繪製)

初步平面配置：

先前已經完成了基地外部空間的規劃，另一方面是確定建築的內部空間配置。初步平面配置的發展是基於量體模型，按照參數式的配置邏輯依序生成的。將空間機能表單轉換為平面空間關係圖，再以程式自動化執行平面配置，並匯出各空間所佔的面積與比例。

以其中一個方案的單棟標準層平面演示自動化平面生成過程。需先取出 Revit 模型中單樓層的樓板面，並將其幾何形體匯入 Dynamo 中讀取，做為平面配置的主要範圍。

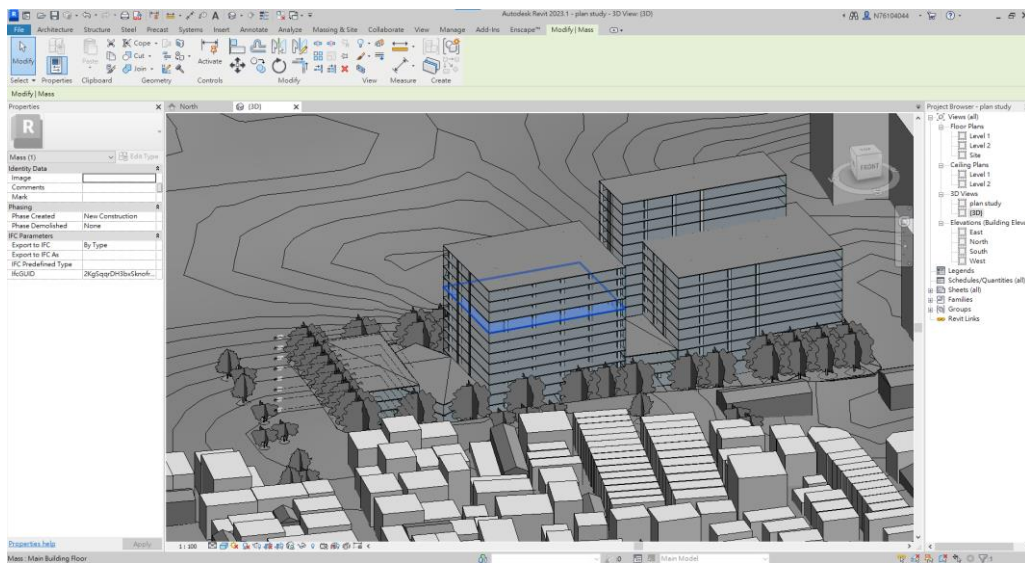


圖 5-54 以一個方案的單棟標準層平面演示平面生成(圖片來源:本計畫繪製)

此處使用 Dynamo 插件 DynaShape 進行初步平面關係圖生成，首先需將所有要放入此平面的空間以 Excel 編輯為空間機能表單，並匯出為 CSV 檔案。再使用 DynaSpace Engine 讀取生成。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	SPACE ID	SPACE NAME	DEPARTMENT	DEPARTMENT ID	QUANTITY	WIDTH	HEIGHT	AREA	TOTAL AREA	PREFERENCE	ADJACENT SPACES	ADJACENT DEPARTMENTS
2	0	Elevator Hall 1	Facility	0	1	5000	5000	25000000	25000000		1	1
3	1	Elevator Hall 2	Facility	0	1	5000	5000	25000000	25000000		1	1
4	2	Staircase 1	Facility	0	1	2500	6000	15000000	15000000		1	0
5	3	Staircase 2	Facility	0	1	2500	6000	15000000	15000000		1	0
6	4	A1 Living room	A1	1	1	5000	5000	25000000	25000000		2,5,6,7,8	
7	5	A1 Kitchen Dining	A1	1	1	3000	4000	12000000	12000000		3	4
8	6	A1 Bathroom	A1	1	1	1500	3000	4500000	4500000		5	4
9	7	A1 Bedroom Bath	A1	1	1	4000	5000	20000000	20000000		4	4
10	8	A1 Bedroom N Bath	A1	1	1	4000	4000	16000000	16000000		4	4
11	9	A2 Living room	A2	2	1	5000	5000	25000000	25000000		2,10,11,12,13	
12	10	A2 Kitchen Dining	A2	2	1	3000	4000	12000000	12000000		3	9
13	11	A2 Bathroom	A2	2	1	1500	3000	4500000	4500000		5	9
14	12	A2 Bedroom N Bath	A2	2	1	4000	5000	20000000	20000000		4	9
15	13	A2 Bedroom N Bath	A2	2	1	4000	4000	16000000	16000000		4	9
16	14	A3 Living room	A3	3	1	5000	5000	25000000	25000000		2,15,16,17,18	
17	15	A3 Kitchen Dining	A3	3	1	3000	4000	12000000	12000000		3	14
18	16	A3 Bathroom	A3	3	1	1500	3000	4500000	4500000		5	14
19	17	A3 Bedroom Bath	A3	3	1	4000	5000	20000000	20000000		4	14
20	18	A3 Bedroom N Bath	A3	3	1	4000	4000	16000000	16000000		4	14
21	19	A4 Living room	A4	4	1	5000	5000	25000000	25000000		2,20,21,22,23	
22	20	A4 Kitchen Dining	A4	4	1	3000	4000	12000000	12000000		3	19
23	21	A4 Bathroom	A4	4	1	1500	3000	4500000	4500000		5	19
24	22	A4 Bedroom Bath	A4	4	1	4000	5000	20000000	20000000		4	19
25	23	A4 Bedroom N Bath	A4	4	1	4000	4000	16000000	16000000		4	19

圖 5-55 Excel 空間機能表單示意(圖片來源:本計畫繪製)

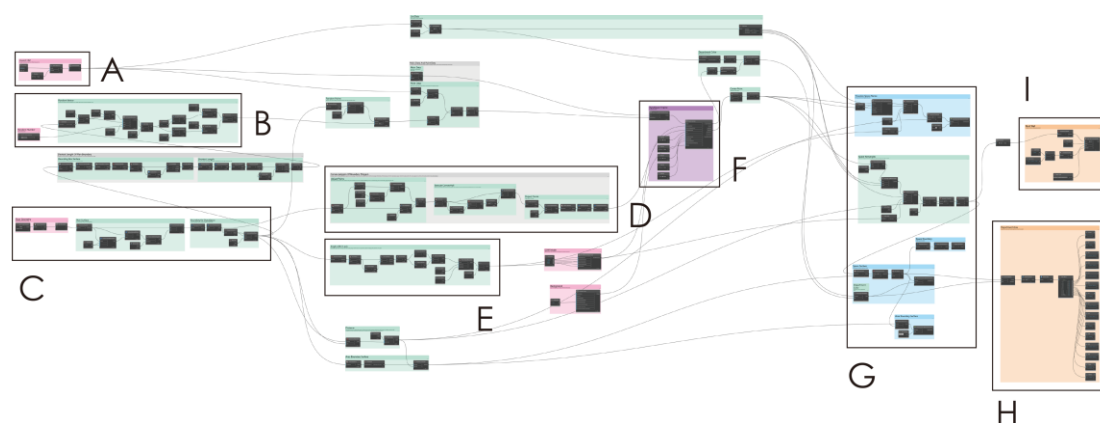


圖 5-56 進行初步平面配置的 Dynamo 腳本(圖片來源:本計畫繪製)

此為初步平面配置的自動化生成 Dynamo 腳本。主要分為 9 個主要步驟。A 步驟讀取 CSV 資料表轉為 List 資料結構。B 步驟為空間的初始配置點位亂數。C 步驟將 Revit 的樓板平面幾何形體匯入 Dynamo。由於 DynaSpace 所能運算的平面範圍需為凸多邊形，D 步驟將 boundary polygon 轉換為 Convex polygon。

E 步驟計算 boundary polygon 長邊與 X 軸的角度，用於後期平面配置對齊的參數。F 步驟為 DynaSpace 運作節點。G 步驟後製平面關係圖為矩形平面配置圖。H 步驟計算各空間(Department)空間量。I 步驟將平面分割線轉換為 Revit 牆面。

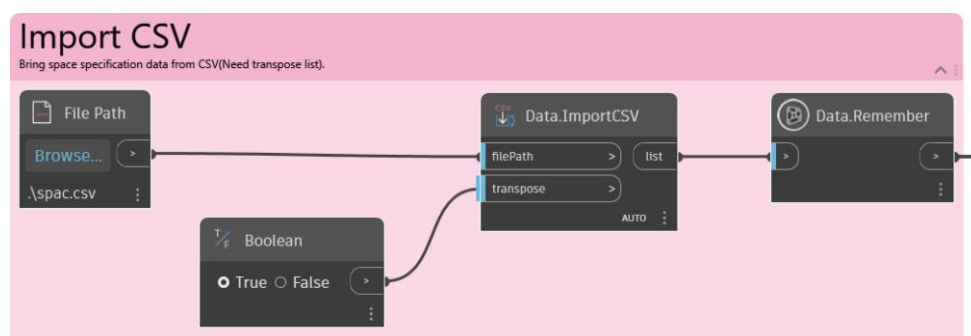


圖 5-57 匯入空間機能表單的 CSV 檔案(圖片來源:本計畫繪製)

進行 DynaSpace 運算需進行多項前置參數的整理，除了 CSV 的空間機能表單以及 Revit 的平面配置範圍外，還需要定義空間的初始配置點位。並且將平面配置的多邊形範圍轉換為凸多邊形。藉由 ConvexHull 節點，運算包含所有原始平面多邊形邊界點位的凸多邊形，並取出凸多邊形的邊界點，以其作為執行 Dynaspace 的 boundary vertices。

此外，依照官方網站的使用說明設定 Silent Mode 以及 Setting 的相關參數，即可使用 Engine.Execute 節點執行 DynaSpace 生成。

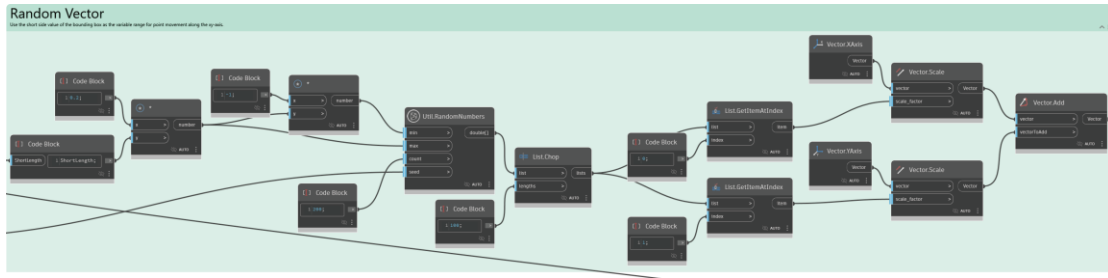


圖 5-58 初始配置點位亂數(Random)設定(圖片來源:本計畫繪製)

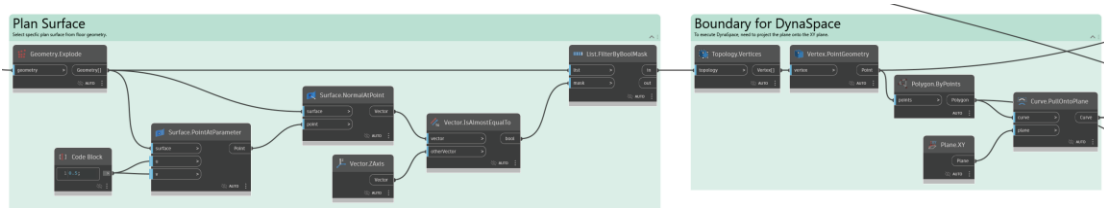


圖 5-59 將 Revit 樓板幾何形體匯入 Dynamo (圖片來源:本計畫繪製)

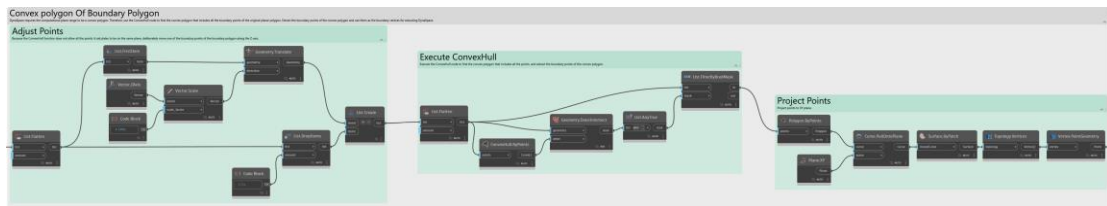


圖 5-60 以 ConvexHull 節點運算凸多邊形 (圖片來源:本計畫繪製)

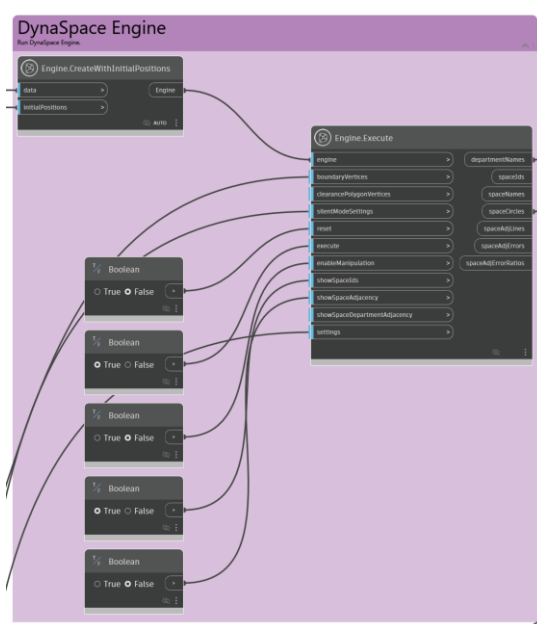


圖 5-61 使用 Engine.Execute 節點執行 DynaSpace 生成 (圖片來源:本計畫繪製)

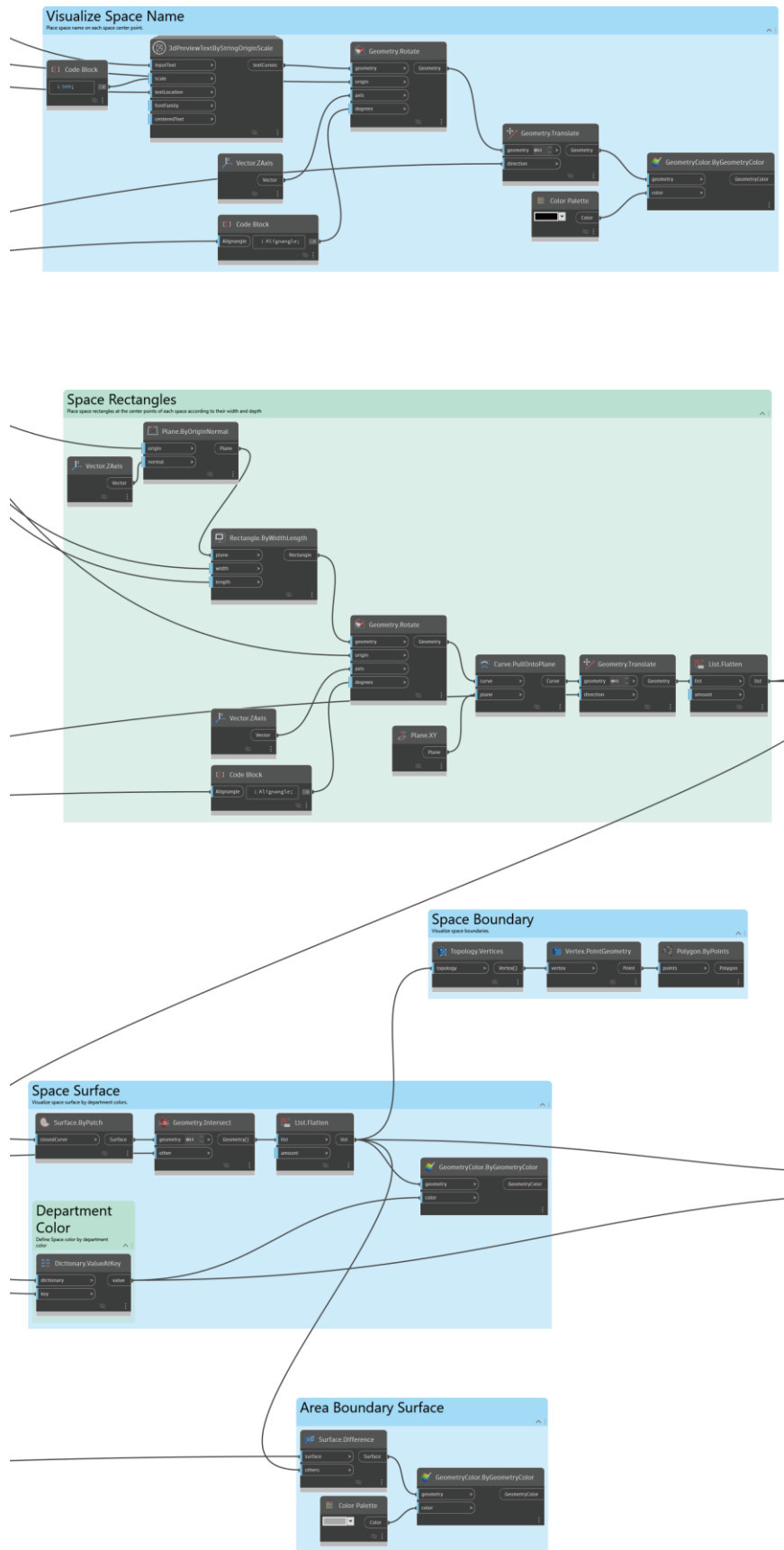


圖 5-64 將空間關係圖轉換為矩形平面的 Dynamo 腳本（圖片來源:本計畫繪製）

最後，取出每組平面的空間面積做為 Output，並依照空間分割線導出為 Revit 牆體元件，即可完成初步平面配置的自動化生成。雖然仍需要後製的相關作業，但此為使用 Dynamo 自動化可執行內容。

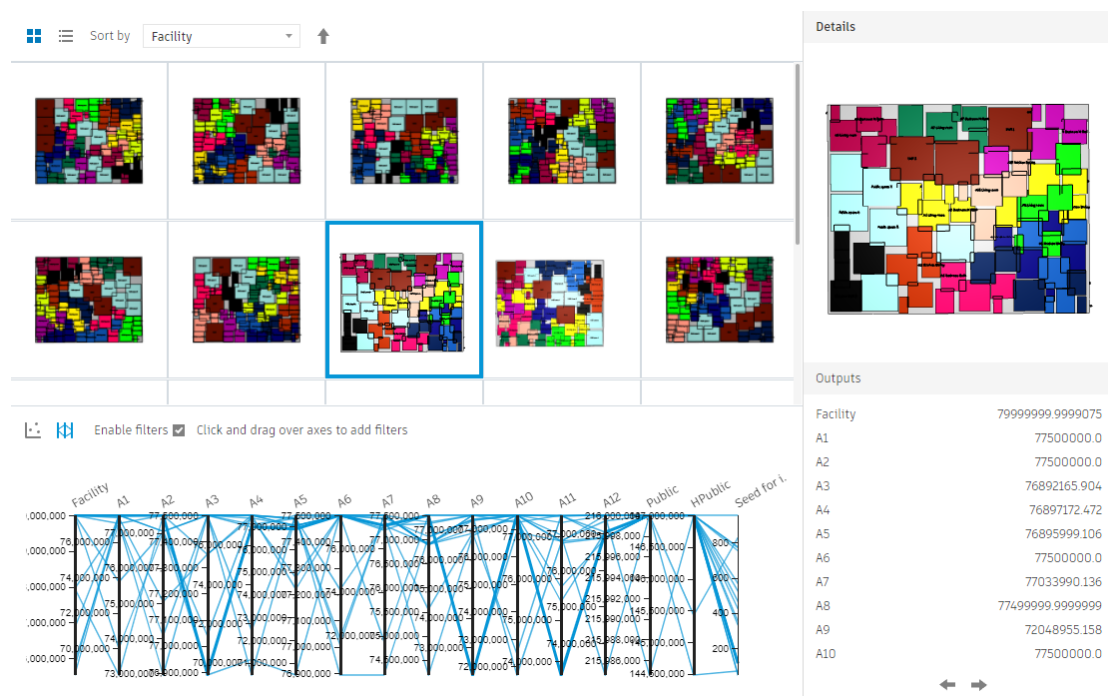


圖 5-65 Generative Design 生產平面方案分析圖表（圖片來源:本計畫繪製）

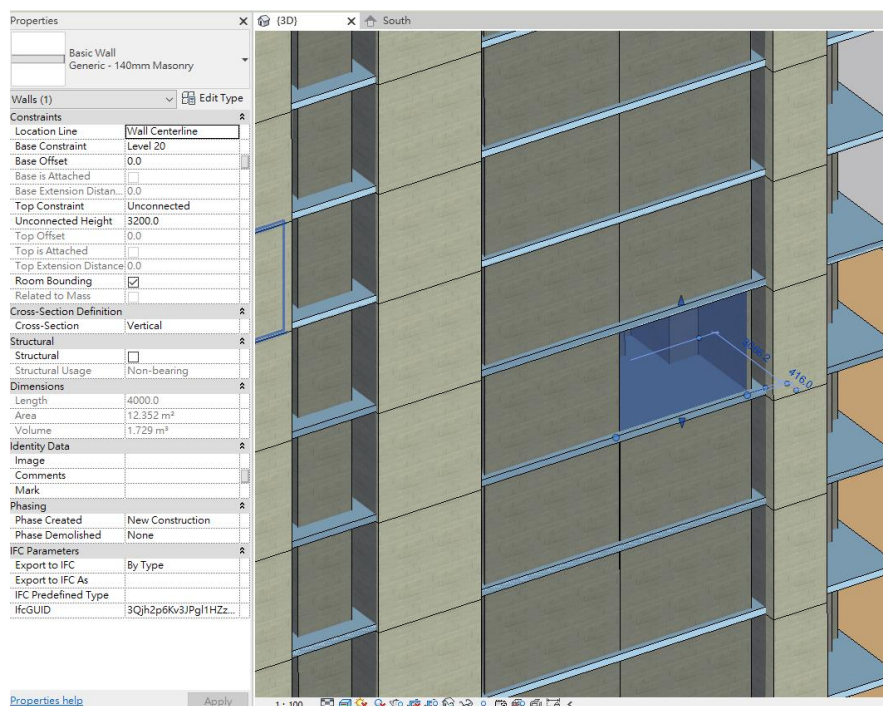


圖 5-66 依照空間分割線轉換為 Revit 牆體元件（圖片來源:本計畫繪製）

外觀風格探索：

首先明確定義所追求的風格，尋找相應風格的圖片。整理分類後再利用這些圖片自主訓練圖像生成模型。模型做完以後再將先前量體配置三個方案的外觀透視圖導入，重新以 AI 生成建築量體的部分，完成設計的外觀風格圖。

圖片是使用網路搜尋以及文字描述生成圖片的方式取得，此處主要蒐集集合住宅的外觀圖片。蒐集完後以風格跟視角分類圖片，並賦予每張圖片提示詞。此處主要使用 Pinterest 於網路上搜尋圖片，使用 Brime 網頁將解析度調整為 512*512 像素後，以 Stable Diffusion 的 Preprocess images 功能對圖片進行預處理。

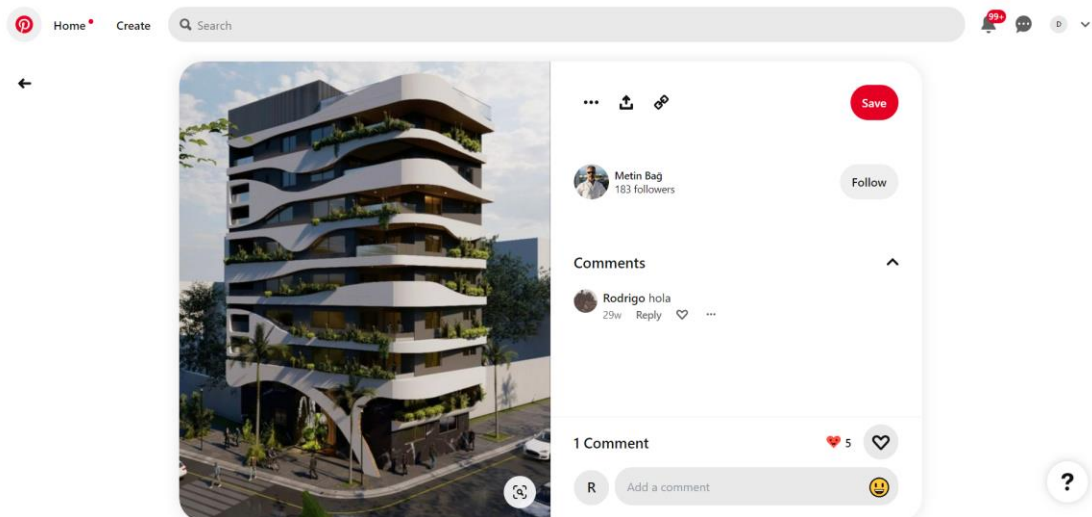


圖 5-67 使用 Pinterest 於網路上搜尋訓練用圖片(圖片來源:擷取自網路)

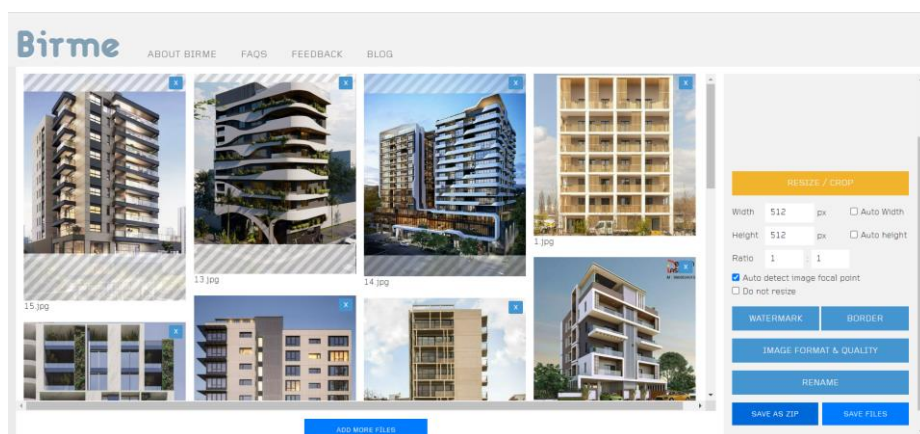


圖 5-68 使用 Brime 網頁裁切圖片(圖片來源:擷取自網路)

將整理好的訓練用圖片放置至同一個資料夾內，在 Stable Diffusion 頁面中選定 Source Directory，並將 Destination Directory 設定為預處理後要放

置的資料夾路徑。若圖片少於 15 張，則勾選 Create flipped copies。則會將所有圖片左右翻轉一次進行訓練。而處理真實圖片的分析方法則選擇 Use BLIP for caption。即可得到預處理的圖片集，每張訓練用圖片會對應一個提示詞文件。

圖 5-69 使用 Stable Diffusion 的 Preprocess 功能準備訓練用圖片(圖片來源:本計畫繪製)

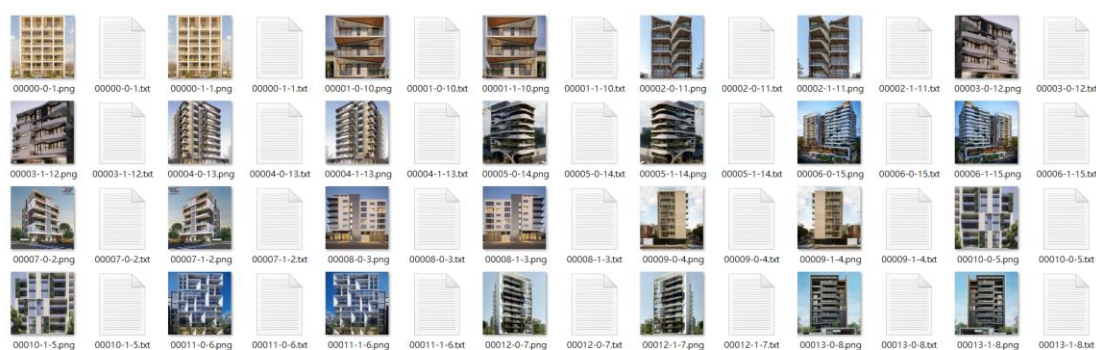


圖 5-70 使用 Preprocess images 預處理後的圖片集(圖片來源:本計畫繪製)

處理完訓練用圖片後，就可以用這些圖片自己訓練生成模型。使用 Kohya 進行 Lora 模型的訓練。先使用 Dataset Preparation 功能，選取預處理後的資料夾，定義每張圖片的訓練步數(Repeats)，並設定一個放置訓練模型資料夾。即可做完訓練初始設定。

The image shows the Kohya LoRA training interface, which is divided into several sections for configuring the training process.

- Presets:** A dropdown menu at the top left.
- Basic Tab:**
 - LoRA type:** Set to "Standard".
 - LoRA network weights:** Path to an existing LoRA network weights to resume training from (Optional).
 - Automatically determine the dim(rank) from the weight file:** A checkbox labeled "DIM from weights".
 - Train batch size:** A slider set to 1.
 - Epoch:** A text input set to 1.
 - Max train epoch:** (Optional) Enforce number of epochs.
 - Max train steps:** (Optional) Enforce number of steps.
 - Save every N epochs:** A text input set to 1.
 - Caption Extension:** A text input set to ".txt".
 - Mixed precision:** A dropdown set to "fp16".
 - Save precision:** A dropdown set to "fp16".
 - Number of CPU threads per core:** A slider set to 2.
 - Seed:** A text input set to 1234.
 - Cache latents:** A checked checkbox.
 - Cache latents to disk:** A checked checkbox.
 - LR Scheduler:** A dropdown set to "constant".
 - Optimizer:** A dropdown set to "AdamW".
 - LR scheduler extra arguments:** (Optional) eg: "lr_end=5e-5".
 - Optimizer extra arguments:** (Optional) eg: relative_step=True scale_parameter=True warmup_init=True.
 - Learning rate:** A text input set to 0.0001.
 - LR warmup (% of steps):** A slider set to 0.
 - LR number of cycles:** (Optional) For Cosine with restart and polynomial only.
 - LR power:** (Optional) For Cosine with restart and polynomial only.
 - Max resolution:** A text input set to 512,512.
 - Stop text encoder training:** A slider set to 0.
 - Enable buckets:** An unchecked checkbox.
 - Minimum bucket resolution:** A slider set to 256. (Minimum size in pixel a bucket can be (>= 64)).
 - Maximum bucket resolution:** A slider set to 2048. (Maximum size in pixel a bucket can be (>= 64)).
 - Text Encoder learning rate:** (Optional) A text input set to 0.00005.
 - Unet learning rate:** (Optional) A text input set to 0.0001.
 - Network Rank (Dimension):** A slider set to 64.
 - Network Alpha:** A slider set to 4. (alpha for LoRA weight scaling).
 - Scale weight norms:** A slider set to 0. (Max Norm Regularization is a technique to stabilize network training by limiting the norm of network weights. It may be effective in suppressing overfitting of LoRA and improving stability when used with other LoRAs. See PR #545 on kohya_ss/scripts repo for details. Recommended setting: 1. Higher is weaker, lower is stronger).
 - Network dropout:** A slider set to 0. (Is a normal probability dropout at the neuron level. In the case of LoRA, it is applied to the output of down. Recommended range 0.1 to 0.5).
 - Rank dropout:** A slider set to 0. (can specify "rank_dropout" to dropout each rank with specified probability. Recommended range 0.1 to 0.3).
 - Module dropout:** A slider set to 0. (can specify "module_dropout" to dropout each rank with specified probability. Recommended range 0.1 to 0.3).
- Buttons:** "Start training" (orange) and "Stop training" (grey).
- Print training command:** A button at the bottom.

圖 5-71 Kohya 使用介面(圖片來源:本計畫繪製)

再來是關於 Kohya 介面參數的設定，LoRA type 使用預設值 Standard。Train batch size 為批次大小，訓練一步數讀的圖片數(顯存 12GB 以上可以嘗試選 2，否則選 1)。Epoch 為訓練週期，配合 Save every N epochs 設定。Mixed precision 為訓練精度，顯存 12GB 可選 bf16，否則選 fp16。Number of CPU threads pre core 配合 CPU 核心數選擇。Learning rate 為學習率，設為 0.0001 即可。而 Text Encoder learning rate 則需設為學習率的一半，為 0.00005。LR Scheduler 為

學習率優化算法，預設值選恆定 constant 即可。Network Rank 為模型精度，顯存 8G 不宜超過 64。Network Alpha 為圖像分辨率，需設定在 4 以內。

自主訓練圖像生成模型後，即可使用 Stable Diffusion 生成建築外觀風格圖。影響 Stable Diffusion 圖像生成主要為 4 個要素。一為 Checkpoint 主模型、二為提示詞、三為附屬模型(Lora)，最後為 ControlNet(以輪廓線生成模型)。先前訓練的模型為 Lora 模型，此處則需配合 Checkpoint 模型的使用生成。

此處演示使用主模型為 architecture_Exterior_SDlife_Chiasedamme (作者為 Hoang_StablediffusionLife，從 Civit AI 網站下載)。將先前由 Generative Design 生成量體方案的外觀透視圖，匯入 Stable Diffusion 後，使用遮罩功能(Inpaint)覆蓋建築物部分重新生成，並進一步套用輪廓線生成(ControlNet)方式，進一步控制生成圖像，使其更加符合外觀要求。

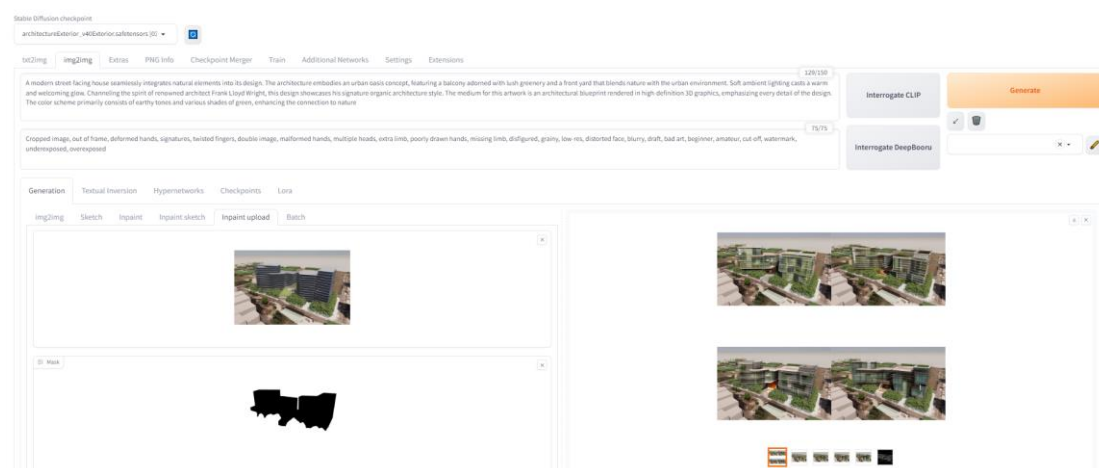


圖 5-72 Stable Diffusion 使用介面(圖片來源:本計畫繪製)

關於 Stable Diffusion 的參數設定。Sampling method 為取樣方法，需對應使用的 Checkpoint 模型設定，Sampling steps 為取樣步數，一般設定為 20-40 之間，值過高會造成過度取樣。Width/Height 為生成圖片解析度，以大多數的 Checkpoint 使用而言，設定生成 512*512 像素為最保守的生成圖像大小。

Batch count 為生成次數，可以設定連續出圖。Batch size 為單次生成數量，一次生成多張圖像可能會造成電腦過載，不建議調整。CFG Scale 為圖像濃度，原則上不需要調整，維持數值為 7 即可。Denoising strength 為噪點強度，數值越高則會與原圖差距越大(0-1)，一般設為 0.7-0.85。

另外，關於 ControlNet 的參數設定，需勾選 Low VRAM 選項。以生成建築圖像而言，大多使用 Canny 的取樣方法，Control Weight 為控制權重，數值建議

維持於 0.7-0.85 之間。

Inpaint area Whole picture Only masked Only masked padding, pixels 32

Sampling method Euler a Sampling steps 20

Refiner

Resize to Resize by

Width 512 Height 512 Batch count 4 Batch size 1

CFG Scale 7

Denoising strength 0.75

Seed -1 Extra

Additional Networks

ControlNet Unit 0 [Canny] ControlNet Unit 1 ControlNet Unit 2

Single Image Batch

Image Preprocessor Preview Close

Set the preprocessor to [invert] if your image has white background and black lines.

☒ Enable ☒ Low VRAM ☐ Pixel Perfect ☒ Allow Preview

☒ Upload independent control image

Control Type

☐ All ☒ Canny ☐ Depth ☐ NormalMap ☐ OpenPose ☐ MLSD ☐ Lineart ☐ SoftEdge ☐ Scribble/Sketch

☐ Segmentation ☐ Shuffle ☐ Tile/Blur ☐ Inpaint ☐ InstructP2P ☐ Reference ☐ Recolor ☐ Revision

☐ T2I-Adapter ☐ IP-Adapter

Preprocessor canny Model control_sd15_canny [fef5e48e]

Control Weight 0.7 Starting Control Step 0 Ending Control Step 1

Preprocessor Resolution 1069

Canny Low Threshold 122

Canny High Threshold 200

圖 5-73 Stable Diffusion + ControlNet 參數設定(圖片來源:本計畫繪製)

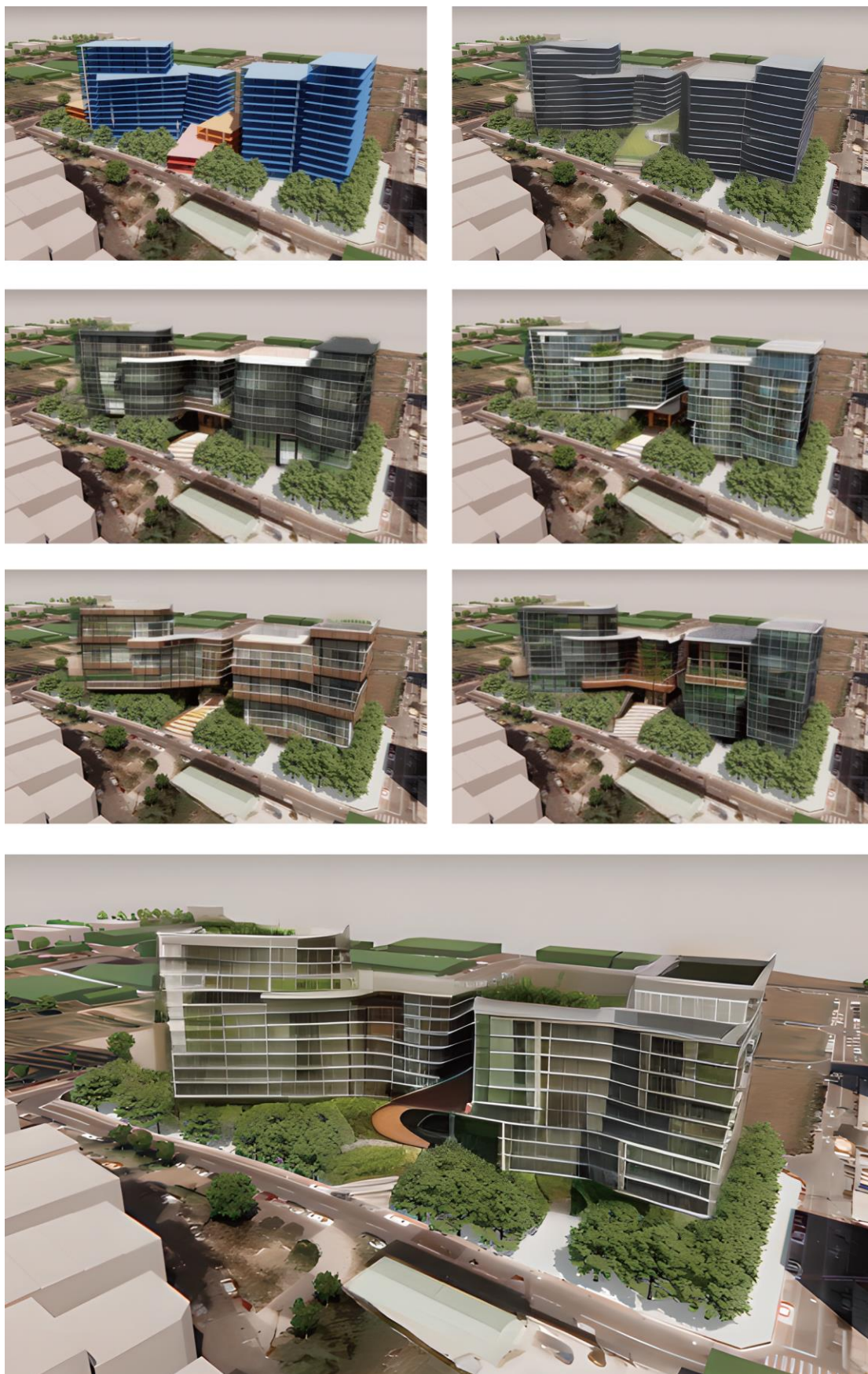


圖 5-74 外觀風格探索成果圖(圖片來源:本計畫繪製)

設計繪圖：

設計階段的平面配置是基於前一節的設計發展。放置平面元件包括柱、樑、牆、門窗、傢俱、房間和樓版這七個項目。依照先前的設計發展，自製自動化配置的指令，以節省人力配置元件的時間。依照此程序將上一節完成的初步平面配置全區量體模型的各層平面，各自轉換為各部分元件的 BIM 模型。最後在微調並手動放置梯間，從而完成全區的元件配置。

立面設計將之前探索的外觀風格圖細化為立面相關的元件，例如線板、格柵或窗戶。步驟是先將外觀風格圖後製為正面平視圖。再擷取線稿，轉為向量，作為配置各種立面元件的參考線使用。那以這種方法完成立面設計。細部設計則是細節的調整階段。目的是處理元件之間的材料媒合或是製作更詳盡的細部元件。使用圖像生成工具探索與發展多種特定細部的形式，再利用立面設計的圖像轉換方法，將發展內容轉為 BIM 元件，配置於模型中。

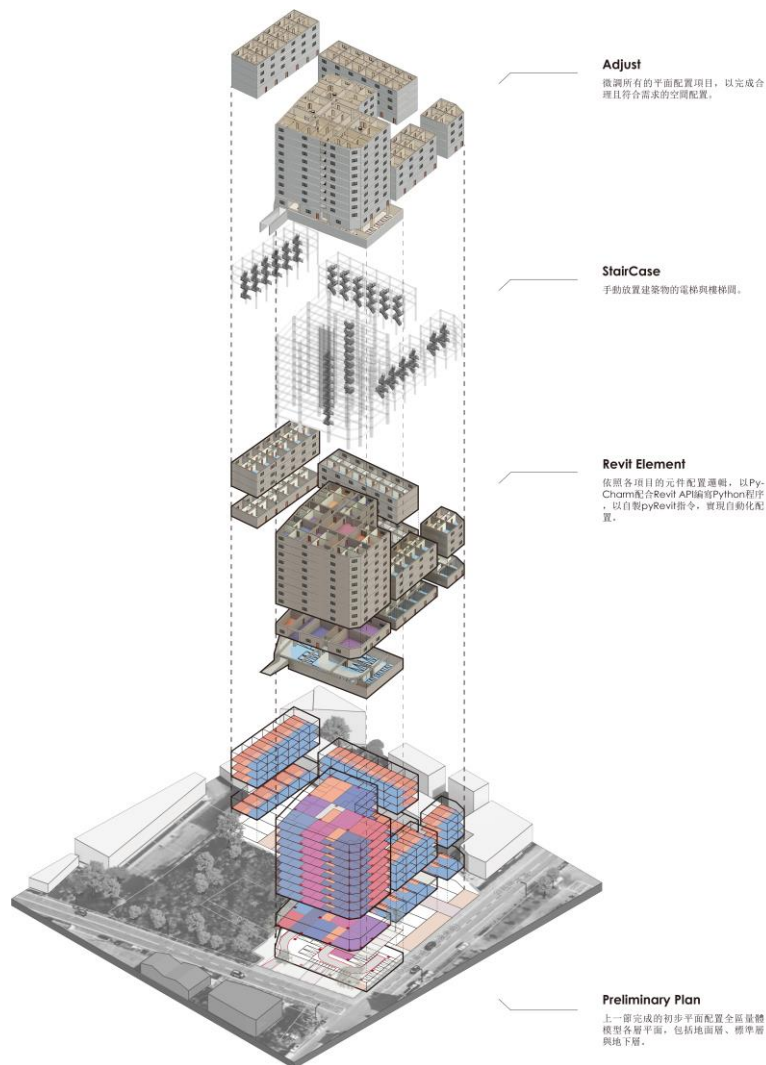


圖 5-75 BIM 設計元件配置示意圖(圖片來源:龔智群繪製)


```
"""Create first Column"""
point = XYZ(0,0,0)
symbol = FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Columns).WhereElementIsElementType().FirstElement()
level = FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Levels).WhereElementIsNotElementType().FirstElement()
element = doc.Create.NewFamilyInstance(point, symbol, level, StructuralType.NonStructural)
```

圖 5-76 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)

```
"""Set Parameter to Level 4"""
all_columns = FilteredElementCollector(doc).OfCategory(
    BuiltInCategory.OST_Columns).WhereElementIsNotElementType().ToElements()

for columns in all_columns:
    columns_Top_Level = columns.get_Parameter(BuiltInParameter.FAMILY_TOP_LEVEL_PARAM)
    Level_4_id = ElementId(348759)
    columns_Top_Level.Set(Level_4_id)
```

圖 5-77 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)

```
"""Create first beam"""
point_start = XYZ(0, 0, 400/30.48)
point_end = XYZ(1800/30.48,0,400/30.48)
line = Line.CreateBound(point_start, point_end)
beam = FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralFraming)\
    .WhereElementIsElementType().FirstElement()
level_2 = doc.GetElement(ElementId(694))
element2 = doc.Create.NewFamilyInstance(line, beam, level_2, StructuralType.Beam)
```

圖 5-78 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)

```
"""Create Wall"""

# ARGUMENT
point_start = XYZ(0, 0, 0)
point_end = XYZ(1800 / 30.48,0,0)
line = Line.CreateBound(point_start, point_end)

# CREATE WALL
wall1 = Wall.Create(doc, line, ElementId(694), 0)

"""Set Parameter to Level 4"""

wall_top_constrain = wall1.get_Parameter(BuiltInParameter.WALL_USER_HEIGHT_PARAM)
wall_top_constrain.Set(float(640 / 30.48))
```

圖 5-79 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)

```
"""Create Window"""

point = XYZ(0, 600 / 30.48, 0)
window_type = FilteredElementCollector(doc).OfCategory(
    BuiltInCategory.OST_Windows).WhereElementIsElementType().FirstElement()
window = doc.Create.NewFamilyInstance(point, window_type, wall2, StructuralType.NonStructural)

"""Set Parameter to 2000 height"""
window_slight = window.get_Parameter(BuiltInParameter.INSTANCE_SILL_HEIGHT_PARAM)
window_slight.Set(float(200 / 30.48))
```

圖 5-80 使用 Revit API+Python 製作腳本(圖片來源:龔智群繪製)

多人協作調整模型：

多人協作調整建築資訊模型是一項利用 MR 技術（混合實境技術）來實現建築設計與工程領域中多人協作的新興方法。其主要目的在於提高建築項目團隊的協作效率，同時增進設計決策的準確性與即時性。傳統上，建築設計與工程領域的多人協作往往需要在現實世界中進行，導致受限於地理位置和時區等因素。透過 MR 技術，不同地點的團隊成員可以同時虛擬進入建築資訊模型中，實現跨地域的即時協作。

多人協作調整建築資訊模型使用 MR 技術依賴於先進的虛擬實境技術與感知互動裝置。團隊成員通過佩戴頭戴式顯示器（如 MR 眼鏡）進入虛擬空間，模型則呈現在眼前，讓使用者感覺彷彿置身於現實環境中。這使得團隊成員能夠直觀地觀察建築資訊模型，對於設計細節和工程問題進行即時討論與調整。

另外，MR 技術還能與其他數位工具整合，例如虛擬標註系統、手勢控制設備等，使得團隊成員能夠輕鬆進行註解、測量、移動模型元素等操作。這些功能的結合有助於加強溝通、協作和設計決策的效率。

多人協作調整建築資訊模型的應用帶來了許多優勢。首先，它突破了時空限制，使得團隊成員可以隨時隨地進行協作，提高了工作效率和靈活性。其次，直觀的虛擬環境使得設計師和工程師能夠更好地理解建築模型，從而降低了溝通誤解和設計錯誤的風險。第三，實時的討論和反饋能夠加速決策過程，促進項目的進展。



圖 5-81 Hololens 多人協作調整模型(圖片來源:謝慈芯繪製)

第三節 演練成果分析

AI 落地本土化的價值為何?是否與不同的產業結構跟建築類型有關?

本研究主要聚焦於探討 AI 在建築設計前端的應用，並強調其整合建築資訊系統的關鍵作用，以實現將 AI 產出轉化為具體尺寸的空間規劃。在實際的建築設計中，許多設計條件（參數）通常不僅僅受限於容積層面的考量。可能更涉及到水電管線、建築結構、消防設施，甚至建築設備等方面。需要更好地處理設計條件與實際情況之間的差距。

AI 輔助設計應用在建築設計實務需要更綜合的考慮，特別是針對各種不同的設計條件。此外，也需要整合施工和營運管理階段的 AI 應用，以在建築生命週期的各個階段提供價值。

人類與 AI 協作共創的模式為何?

上述探討涉及人與 AI 的協作模式，主要依賴於設計者為中心的設計流程。設計並不僅限於事務所的工作，還需要考慮如何引入其他工程顧問的設計要求，或與相關合作夥伴進行協作。針對不同工作項目，都會涉及不同專業者參與設計，各工作項目的利益相關者(Stake Holder)都應該經過更深入的探討。

探索設計是一個反覆迭代的過程。雖然在設計初期制定了設計目標，但經常需要在設計執行的過程中反覆調整。從短期工作的角度來看，生成式工具能夠提供快速的解決方案，從而促使設計者思考和判斷。但人與 AI 的協作共創設計方法仍然以人為主的工作模式為基礎。

如何將 AI 應用於適當的點?應用 AI 催化設計創意的極大值或是 AI 的極度優化

如何透過 AI 協助建築師節省 90%的不想做的事情，並確保對建築師的實際幫助。儘管談論多種工作項目的技術應用整合，但可以確定有一些工作項目特別適合應用 AI 開發工具。創造極大化是針對解決方案(Solution-oriented)的取向，而極度優化是目標導向(Goal-Oriented)，應思考組合使用的平衡點。

以 Revit 而言，利用衍生式輔助設計工具 (Generative Design) 結合圖像生成式 AI(Stable Diffusion)的應用，可以快速根據特定條件生成多組設計方案。此方法可以應用在較小尺度的設計嘗試，包括細部構件、機電設備配置，以及檢討表的自動生成程式。可以在建築設計實務中具有實質性效益。

第六章 結論與建議

第一節 結論

回顧過去十年，數位技術在智慧建築與智慧城市的研究發展歷程，可以大致歸納為五個階段(Deng, Menassa, and Kamat, 2021)(鄭泰昇, 2023)：

1. 建築資訊模型(BIM)：

第一階段是在 BIM 剛萌芽階段，使用 BIM 技術作為「3D 建模視覺化工具」，以及資訊交換的平台，例如：在設計階段，應用於綠建築的作業流程；在施工營造階段，應用 BIM 的 3D 模擬工具，減低工程的誤差並提升工程估價的精確度；在維運管理階段，導入 BIM 模型應用在建築物生命週期各階段，應用 BIM 增進設施維護管理的效率。

2. 建築資訊模型、參數化設計、模擬(BIM + Parametric Design + Simulation)：

第二階段是跳脫出以 BIM 為 3D 建模工具，將 BIM 平台延伸到「參數化設計與數位模擬工具的整合」，BIM 模型提供建築性能與施工模擬的資料來源，例如：光/風/熱的模擬、CFD 模擬、綠建築能源模擬、施工排程與假設工程的模擬等。

3. 建築資訊模型、物聯網、感測網路(BIM + IoT + Sensor Network)：

第三階段是將 BIM 模型與物聯網 IoT 即時感測整合到智慧建築的智慧平台，以便及時觀察、監控、管理建築的空間與設備，應用範圍包括：能源效能管理、室內環境空氣品質監控、空間活動預約系統、安全防範監控等。

4. 數位雙生(Digital Twin)：

第四階段是來到了數位孿生的應用階段，主要是研發一個虛實同步的資料整合的平台，運用數位孿生技術，進行資料 3D 視覺化、即時資訊的監控、性能模擬與預測、自動化決策管理系統。

5. 建築資訊模型、人工智慧、大數據(BIM + AI + Big Data)：

第五階段是進一步加強智慧建築的監控與管理維運系統，導入人工智慧演算法，利用大數據分析，以便於更精確的掌握即時的訊息，擬定適當的策略以及自動化的管理機制。

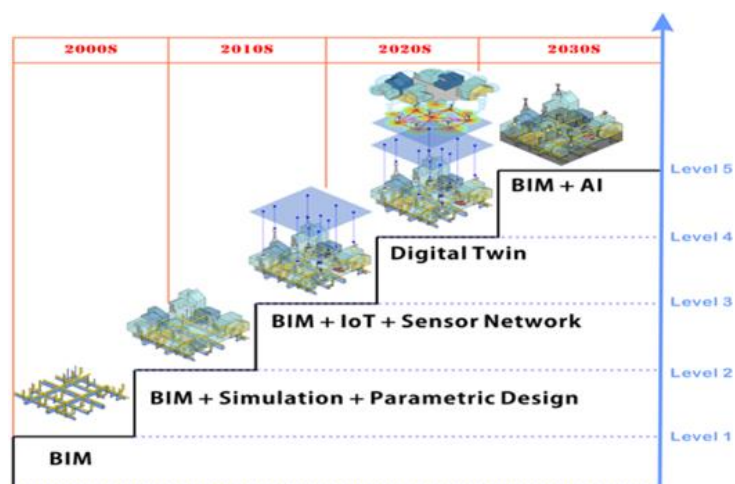


圖 6-1 數位技術在建築/工程/營造 AEC 產業的五個發展歷程(圖片來源：成大建築 IA Lab)

全球格局不確定因素導致建築產業靈活度必須提升，數位轉型透過工具創新與流程的優化，提供敏捷工作流程，本研究計畫提供數位轉型模擬設計案例實作，其所造成的改變，依據建築生命週期的數位轉型，分述如下：

1. 基地調查：

在數位轉型前，工程人員通常需要進行現場探勘以進行基地調查，以收集必要的資料和信息。然而，隨著無人機技術的應用，基地調查方式發生了顯著改變。無人機技術現在可以進行影像偵測並生成高精度的數位模型，從而提供更全面且精確的基地資訊。

2. 發想設計：

在過去，發想設計通常涉及手動製作模型和繪圖，需要花費大量時間和精力。然而，隨著 AI 生成式工具的出現，發想設計的方式已經根本性地改變。這些工具可以利用人工智能生成各種設計選項，大大加速了創意和概念的生成過程。

3. 設計繪圖：

在數位轉型之前，設計繪圖通常由繪圖員操作電腦軟件來完成。然而，隨著 AI 技術的進步，BIM（建築信息模型）的自動化繪圖成為了現實。這意味著藉助 AI，設計圖可以更快地生成，並且更容易實現設計的變更和更新。

4. 討論設計：

數位轉型不僅影響了設計本身，也對討論設計的方式帶來了變革。傳統上，討論設計通常在實體會議室中進行，但現在透過 MR（混合現實）技術，虛擬會議

室成為了協作的新平台。在虛擬環境中，多人可以遠程參與，共同參與設計討論和修改，增強了跨地區和跨時區的協作能力。

5. 彙整設計：

數位轉型也影響了設計彙整的過程。傳統上，彙整設計需要人工參與，但現在 AI 的自動化技術可以用於彙整和整合各種設計資訊，從而提高了效率和準確性。

6. 現場施工：

在數位轉型前，建築施工主要依賴於師傅的手工操作。然而，隨著機器人技術的引入，施工過程發生了根本性的轉變。機器人可以執行複雜的施工任務，提高了效率並降低了人為錯誤的風險。

7. 設施管理：

數位轉型對設施管理也帶來了變革。以 Digital Twin 為基礎的數位平台，結合 BIM 建模技術，可以實現對設施的監控和維護。這種數位化的管理方式能夠更快速地檢測問題並進行相應的處理，從而延長設施的建築物的使用壽命並提高運營效率。

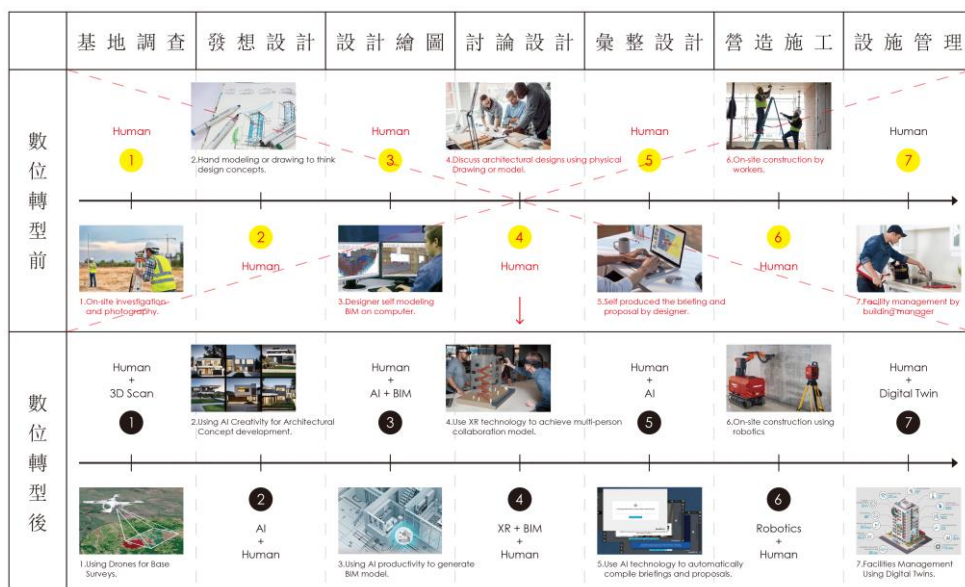


圖 6-2 比較建築生命週期中特定工作項目在數位轉型前後的執行方式差異

(圖片來源:龔智群繪製)

第二節 後續研究與出版

本計畫舉辦全國四次 AI 論壇的影響力，除了引發全國建築界與營造界對於 AI 與智慧建造的關注，國內二大建築雜誌也將出版專輯呼應這一系列的論壇，包括：

1. 建築師雜誌將於明年二月出版「智慧建造」特輯，邀請 AI 智慧建造論壇的主講人撰寫專輯文章。
2. 台灣建築 ta 雜誌將於明年三月出版「AI 建築師」特輯，由鄭泰昇教授擔任客座編輯，邀請 AI 建築師論壇的主講人撰寫專輯文章。

第三節 具體建議事項

根據研究之發現，關於台灣 AEC 數位轉型先導研究計畫探討，本研究小組提出以下後續研究計劃的建議：

建議一：BIM 技術延伸整合應用：建築數位轉型標竿計畫

延伸建築資訊模型（BIM）技術，結合當代的前瞻數位技術，深入探討每一項前瞻技術與 BIM 結合的發展，籌劃一個標竿計畫，實驗建築數位轉型與技術整合的創新建築作業流程

- (1) AI + BIM：應用 AI 催化設計創意、AI 與人類協同作業模式、創新設計流程
- (2) XR + BIM：提供延展實境擴增模式，強化建築設計、營造和監測能力，實現更直觀的設計過程和更準確的施工。
- (3) 3D Scan + BIM：捕捉既成建築空間的精確數據，用於後續設計和改進工作。整合這些數據到 BIM 中，以實現更精確的模型和分析。
- (4) Robot + BIM：人機協作模式，以機器人取代執行重複性高或危險的任務，提高效率和安全性。
- (5) Digital Twin + BIM：優化設計過程、預測建築性能、實現建築物的監測維護以及提高建築物運營效率。

建議二：AI 在建築展業應用的本土化研究：建立本土化公共工程的開放人工智慧 ChatGPT

- (1) 搜集並建立公共工程的圖面、法規、技術圖說等大數據資料，與學術機構、

軟體技術廠商合作進行 AI 軟體的開發。

(2) 開發能夠辨識建築圖文、並與人聊天互動的生成式 AI 人工智慧技術。

(3) 以深度學習技術進行生成式 AI 系統自我學習。

(4) 研發台灣本土化具備公共工程知識、AEC 產業應用的 ChatGPT。

建議三：AEC 產業數位轉型：從建築工程營造業轉型為知識軟體服務業

台灣的建築工程（AEC）產業結構多樣，包括大型工程顧問公司、中小型事務所和建設公司，以及小型設計公司。大公司有足够的資源進行 AI 技術導入，新世代所建立的小型的建築師事務所，為天生的 AI 使用者，而原有的中小型公司可能因效益與成本的限制，數位轉型將遭遇瓶頸困難，預期 AI 人工智慧發展將衝擊 AEC 產業，若無法順利數位轉型，將與使部分中小型公司消失，其業務由大型顧問公司或小型事務所取代。

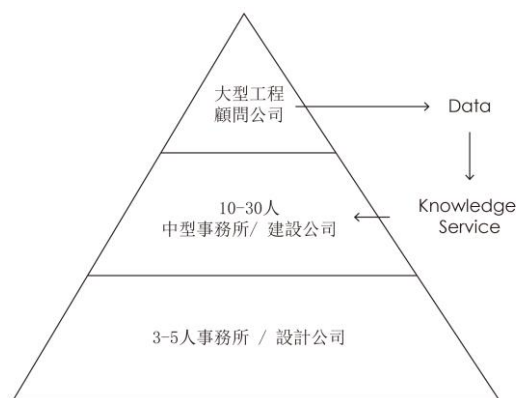


圖 6-3 由大型的建築工程營造業帶動中小型公司轉型為知識軟體服務業

（圖片來源：本計畫繪製）

為了輔導台灣以中小型事務所為主的建築產業，應積極籌劃建立政府主導的數位轉型輔導機制，以獎勵方式投資資金給大型工程顧問公司，先驅動大型工程公司數位轉型，委由資訊公司開發生成式的 AI 軟體，以使其提供知識數據服務，除了公司內部使用，也開放這些 AI 軟體，釋放給中小型事務所使用，以母雞帶小雞的方式，由上而下推動台灣本土化的 AI 應用發展。

綜上所述，研究聚焦於逐個深入探討多個數位技術在建築領域的應用。並強調本土化數位轉型的重要性，提出政府主導的數位轉型輔導機制、以及與學術、產業機構合作的策略，這些都有助於推動台灣建築業的數位轉型。

附錄一 AI 建築師論壇-台北場

活動名稱：AI 建築師論壇暨 AI 建築設計創作分享會(台北場)
主辦單位：台灣建築學會、國立成功大學建築系
協辦單位：台大 BIM 研究中心
活動時間：2023/05/04(四) 下午 1:30~5:00
活動地點：國家地震工程研究中心 1F(台北市大安區辛亥路三段 200 號)



主辦單位：臺灣建築學會、國立成功大學建築系 | 協辦單位：臺大BIM研究中心

AI 建築師論壇海報(台北場) (圖片來源:本計畫繪製)

講者	服務機構及職稱	主題
吳建禾	TYarchistudio 建築師 成功大學建築博士	AI+BIM 快速有效的創新提案方式
江碩濤	中鼎工程公司系統工程部助理 副總工程師	讓工人智慧與人工智慧同步
簡聖芬	成功大學建築系副教授	GPT AI 與建築計畫
侯君昊	陽明交大建築所所長	AI 輔助設計流程:從工具到夥伴

評論者	服務機構及職稱	主題
張清華	九典建築師事務所主持建築師	—
張國章	台北國際聯合建築師事務所主持建築師	—
謝尚賢	台大土木系教授兼 BIM 研究中心主任	—
李孟崇	衛武資訊總經理	—



AI 論壇照片(圖片來源:本計畫繪製)

活動演講與評論內容：

主持人：

藉由一個全國性的論壇來進行討論 AI，目的是讓各方對 AI 在建築領域的應用有更深入的了解。建築學會也在其中扮演著重要的角色，而內政部建研所也期望能夠藉由數位轉型的討論結果做一些給政府相應的政策調整建議。希望這個論壇能夠成為一個開始，未來將陸續在北中南各地舉辦。這次的主辦機構是台灣建築學會和成大，未來也將與其他學術機構合作。

論壇的第一部分，每位講者有 15 分鐘的時間來分享他們的見解。四位講者分別從設計、工程與學術的角度切入，探討 AI 在建築設計上的應用。論壇的第二部分將邀請四位評論者，其中兩位是資深建築師，一位擁有土木工程背景，另一位則專精於建築資訊管理。他們將就論壇中的討論內容進行評論和感想的分享。這次論壇的目標是推動 AI 在建築領域的應用，並且鼓勵學術界和實務界的合作。我們期待這次論壇能夠為 AI 在建築領域的發展帶來新的啟發和可能性。

Section 1 演講

吳建禾建築師：AI+BIM 快速有效的創新提案方式

主要探討了 AI 和 BIM 在建築領域的應用及其帶來的挑戰和可能性。AI 並不是新的創新，而是對流程流暢度的提升。AI 的力量在於其能快速生成大量選擇，並進行構想的延伸，但這並不意味著建築師的工作會被取代。

以實例展示了 AI 如何生成各種設計圖表，只需簡單的文字提示，AI 就能生成出眾多的設計方案。雖然這些方案看起來令人驚艷，但實際落實的時候需要考慮的問題遠比圖像顯示的要多，例如建築結構、物料選擇等。因此，倡導在使用 AI 時，必須學會控制而不是被 AI 控制，AI 應被視為一種能夠提供創新想法的工具，而非解決所有問題的萬能鑰匙。

將 AI 引入 BIM，強調 Information（資訊）與 Modeling（模型化）的重要性。將兩者相結合，可以有效地將大量不同的設計選擇記錄並持續修正，並能進一步提升設計與建造的效率。AI 在建築設計過程中的角色定位應是什麼？以最大限度地利用 AI 的優勢，同時避免其可能帶來的風險。

談論如何結合 BIM（Building Information Modeling）與 AI 技術，優化建築設計過程。進行建築設計時應先設定 BIM 規則，包括各種項目需求（如醫院、幼兒園、學校、住宅等）及設計參數（如牆面材料、地板、天花板燈光等）。其後，透過 Chat GPT 產生 prompt（提示詞）創造出有用的設計指示。再使用 Veras AI 生成圖像，AI 可以在數分鐘內快速產生建築設計模型。

即便未指定任何特定設計需求，AI 依然能自動生成模型。要想獲得更符合需求的結果，仍需要提供明確的指示和限制。此外，即使相同的 prompt 在不同人手中可能導致不同的結果，因為 AI 在處理輸入資訊時會考慮互動關係。

在進行與客戶的溝通時，建議可以使用 AI 生成的多種設計方案讓客戶選擇，這不僅可提高設計效率，也有助於了解客戶的真實需求，進而控制設計的質量和成本。

AI 可以被運用來化繁為簡，並且提升工作效率。將 AI 的用途比擬為能協助理解客戶需求並提供想要的成果，而非單純的渲染工具。強調透過 AI，可以在短時間內產出設計方案並與客戶溝通，只需花費的時間遠少於傳統的工作方式。AI 可以被用來結合 BIM（建築資訊模型），提取和利用重要的資訊，並快速地產出圖說。此外，提及 AI 也能夠在尊重版權的前提下，利用關鍵字從 pinterest 獲取靈感。總體來說，AI 是一種有助於提升設計工作效率和溝通效果的工具。

江碩濤副總：讓工人智慧與人工智慧同步

探討設計過程中的「可行性」、「可適性」和「可製性」以及這三者如何與 AI 技術相結合。無論是在數位轉型的議題中，還是在日常設計中，這三個概念都扮演了關鍵角色。例如，建築設計更看重的是可適性，期望營造出各種舒適、獨特的感受；而日本的設計產業尤其注重可行性和可製性，通過精準流程確保設計的重現性和製造性。

AI 在這其中可以發揮重要的角色。提出「五個 R」模型——「Resource」（資源）、「Recognition」（識別）、「Remodify」（重新修改）、「Recreate」（重新創建）和「Result」（結果）分析 AI 的應用。例如，使用 AI 來收集和識別數據，或者利用 AI 重新定義設計視點，甚至是創建全新的設計成果。

以開會為例，利用 AI 技術將會議內容快速轉譯為文字，並結合 ChatGPT 技術進行重點整理，大大提升了工作效率。這就是「Recognition」與「Recreate」的完美結合。透過 AI 輔助現有的工作，可以幫助有效應對工作量的暴增，提升工作效率。

討論人工智能如何在溝通、語彙轉換、以及工作參考等領域協助建築設計。第一，AI 能模仿特定風格與角度進行設計描述，如以建築師角度談論空間氛圍與場域。但為了針對不同專業觀眾，AI 可以再將描述調整為結構技師可以理解的語彙。這點對於建築師與其他領域人員的複合性溝通非常有幫助。第二，AI 也可以提供有效的設計參考，而不僅僅是搜尋引擎提供的資訊，例如，透過輸入特定條件與規範，AI 可以提供一張符合需求的表格，而非僅僅提供一堆相關搜尋結果。這也強調了 AI 的諮詢能力，能主動引導設計師對設計需求有更深入的理解。

強調 AI 在建築、工程管理以及人力資源方面的潛力。提出 AI 能協助評估建築外牆材料，透過數據生成設計選項，並協助工程容積的管理。此外，AI 也可以回答對於應徵者特質與角色的問題，提供有效的人力資源建議。在建築設計上，AI 能產出大量圖說和影像，協助減輕繪圖的負擔，更有助於管理、溝通和開發自動化程式。此外，AI 可以透過文本和熱能耗辨識來提供設計上的新想法。並提出 AI 在學習和教育上的價值，鼓勵人們利用網路課程來學習和教育。認為 AI 是個易於培養的工具，其學習效率甚至超越人類。但是，要能有效地使用 AI，必須由有經驗的領導人來引領並給予指導。

即使有 AI 的輔助，找到適合的人才仍然是一項挑戰。要避免員工學會新技能後就離職，必須讓他們覺得公司有趣並希望留下來。AI 能提高工作效率，但人力資源的挑戰仍需面對。

簡聖芬副教授： GPT AI 與建築計畫

作為一名教師，分享將 AI 工具（例如 OpenAI 的 GPT-4）整合進建築設計課程的實踐經驗。雖然學校教育有其限制，但還是選擇在學校環境中學習，並將新的知識和實踐方法帶給學生。

用半年時間學習並對 GPT 進行探索，從最初的質疑到最終的認同，並透過實際教學將其應用於實踐。儘管 GPT 在回答問題時可能有時會出現錯誤，但這正是學習和探索的一部分。鼓勵學生透過實際應用，了解這種工具的優點和局限，並從中找到適合自己的使用方式。

在教學實踐中，讓研究所的學生在建築設計課程中使用 GPT，並將其應用到實際的設計案例中，如老人醫院的設計。階段性目標是要進行需求分析並提出建築計畫，在學生對於醫療行為、醫院建築以及老人醫學都不熟悉的情況下，透過文獻閱讀以及實地觀察，並用 AI 工具快速學習上述知識，進行建築計畫的相關任務。學生在這過程中使用 GPT 進行資料收集和整理，並結合真人專業諮詢，以獲得更全面的資訊和見解。

學生使用了兩種 AI 工具，第一種是「text to text」的 ChatGPT，用於資料蒐集和訪談的整理。先將訪談的錄音轉換為文字，再把文字交由 GPT 製作表格，並彙整成報告。但內容還是要做檢核，解決方法包括附上參考資料或是使用 Bing 瀏覽器進一步探索內涵。實際執行從基地分析到設計討論的階段進行資訊整理，例如設計定性定量、空間關係製表。

第二種是「text to image」的 AI 工具則用於設計的視覺呈現。用於設計的視

覺呈現。學生可以用文句描述直接生成設計圖像，或是輸入參照的圖片，再通過文句修整圖像的內容。

最後，雖然有些學生認為已經將 AI 工具「馴化」，而有些學生則覺得自己被 AI 工具「馴化」。不過，這是一種人類智慧的增長方式，透過與新工具的互動，可以發現和學習新的知識和方法。期待在未來能培養出能夠熟練使用 AI 工具的新一代建築人才，為業界帶來新的視角和價值。

侯君昊所長：AI 輔助設計流程：從工具到夥伴

重於如何將 AI 工具整合進設計流程。探討在研究所的教育現場如何定位工具的使用，並培養同學未來有發展新工具的能力，強調學生不僅應學習如何操作特定的工具，更應該理解核心的設計理論與概念，以便更快適應新工具。

引用人類歷史上的四次革命(農業、書寫、工業與資訊革命)，以及現正進行的 AI 革命，AI 工具的發展歷程分為兩個階段：腦力外包與智力擴增。指出初次接觸新工具時可能會有抗拒的反應，但最終會將其視為日常生活的一部分。

主張在教學中，不應僅教授如何操作特定的 AI 工具，而是應該教授核心的設計理論與概念，使學生能更好地適應新工具，包括 AI。舉例說明學生可以通過競賽、課程和研究來使用 AI 工具來產生各種設計概念，以體現 AI 工具的多樣性和可能性。以一個學生競圖為例，該競圖要求學生使用 AI 工具來產生設計，並且必須清楚地說明如何使用 AI 的流程。

在教學層面，針對研究所、大學和高中生分別採用不同的教學方法，進一步深化學生對 AI 的理解。強調了解 AI 的運作原理、數據來源與數據轉換的重要性。

回顧 AI 的發展歷程，從 1966 年全球第一個聊天機器人 ELIZA，到現在所使用的先進統計學，說明了 AI 如何學習並產出預測，從給予資料找到適合的函數產出結果。未來人類創造的數據逐漸變少，機器生成的數據則越來越多，對此需要保持警覺。

在研究方面，已由研究界面轉向探索思考體系，以了解 AI 如何思考，並在建築設計領域中，考慮如何使用 AI 輔助設計思考和決策。以河狸搭建水壩的例子來譬喻 AI 的運作方式：河狸因聽見水流聲會搭建水壩，而 AI 則根據訓練數據產生結果，但兩者皆無法理解其背後的原理。以統計學上政治正確的回答，AI 不懂反叛對於建築設計可能不是健康的現象。把 AI 應用到設計領域更廣泛的可能性上，應要保持審慎而樂觀的角度。

Section 2 評論

主持人：

前半場邀請了四位演講者，其中包括開業建築師、實務界建築師，以及兩位從教學研究或設計課上角度分享經驗的專家。第二場則邀請了四位演講者，其中三位實務界建築師，以及一位來自學術界的教師。在這場論壇中，演講者們將針對上述四位前半場演講者的內容進行說明和討論。

這場論壇的主題源於 AEC (建築、工程、施工) 多面向的議題，包括建築 BIM 工具的使用以及缺工缺料等挑戰。這些議題將引導對於數位轉型的探討。在現今的數位時代，數位轉型在建築領域中扮演著重要的角色，對於公司老闆和有潛力的工作者來說，投入這樣的數位轉型或是 AI 內容變得非常關鍵。

李孟崇總經理：AI 建築師

在 AI 技術的迅速發展下，Chat GPT 作為 OpenAI 的一個免費應用程式，雖然無法訓練或複製，但它帶來了人們對 AI 潛在影響的巨大焦慮。認知服務中微軟的語音和電腦影像服務也是另一重要技術突破。AI 的崛起引發了對其他公司應如何運用它的問題，可能會產生競爭取代的困境。

人力資源的未來應用中，有四種職業被認為不容易被 AI 取代，包括社交智慧型、創造型、感知操作型和全能型。建築師屬於創造型工作，因此跨領域學習將變得至關重要。儘管 AI 技術可以取代部分工作，但它同時也會帶來新的工作機會和需求。人類獨有的經驗、創造力以及與客戶的情感連結和人際互動，都是 AI 無法取代的價值。

未來，建築師的角色將超越傳統設計，邁向更多元的職業可能性。AI 應用中，建築師應該將重點放在讓 AI 執行例行公事或可預測的工作上。整合 AI 技術應包括從基礎資料處理、數據可視化、機器學習到深度學習，探討 AI 在產業中明確的應用情境。在日常作業和專案流程中，建築師應努力實現流程自動化，利用 AI 的生產力來提高管理效率。數位化管理行為可以進行統計和分析，而不需要依賴人力去記憶和管理議題，可以自動化列表管理。

大部分工作都涉及溝通協調、查找資料和整理資料等工作，因此自製 Chat bar 工具在這方面扮演重要角色。許多大型公司都利用輔助工具如 Teams 來協助進行工作。此外，建築師在使用 BIM 的協同顧問時，可以利用 API 製作工具，加快工作流程。議題的定義和追蹤管理也十分重要。在變動的職場中，最關鍵的優勢不再是工作者擅長的事物，而是順應改變和學習的速度。

張清華建築師：

過去的 14 年中，當事務所開始使用 BIM 時，只有少數人採用了這項新技術。現在，正如現在考慮是否要進一步運用新興科技-人工智慧(AI)於事務所一樣，需要將科技與現有的實務工作內容相互整合。過去採用 BIM 技術需要投入大量的時間和經驗，但幸運的是，現今從資訊革命到 AI 革命，建築界願意深入了解 AI 在不同領域的應用。

在建築專業領域中，應用 AI 技術似乎進展緩慢。這可能與設計者認為設計必須優雅且有故事性有關。一般來說，建築設計產業中對科技抱持較為保留的態度，包括建築教育的模式。然而隨著 AI 的發展，不僅事務所的流程可能會改變，教師教授學生的方式也可能會變革。

從建築師事務所的角度，應用 AI 的方法值得深入探討。在專業運營方面，若未先採用 BIM 技術，將很難實現 AI 的應用。建立模型是 AI 發展的先決條件，否則只能局限於靜態圖像。因此，應該盡快進入 BIM 領域，才能充分應用 AI 技術。此外，最好由上而下地推動這項轉變，開放更多機會給年輕且熟悉軟體的專業人士，嘗試各種機會。儘管可能需要更多的時間和努力來解決過去簡單的問題，但這樣的投資是值得的。

AI 所生產的內容可能是最公正且符合現實狀況的，如果有機會改變社會結構和制度的人，希望能提供更多參與的機會，這樣才能實現更多可能性。因此，應該鼓勵在 AI 領域中有興趣的人積極參與，並將其應用於建築的專業領域，以促進更加健康和進步的發展。

張國章建築師：

從實務界的角度探討 AI 的應用。可以看到 AI 的出現已經極大地改變了世界，且變化速度驚人。在這樣的情況下，產學合作變得尤為重要，必須共同探討應對 AI 帶來的挑戰。在過去的 15、16 年裡，積極推動 BIM 技術的導入，並積極與學校合作，參與演講並協助同業的 BIM 應用。然而，若非政府當初要求在所有運動中心統包案中使用 BIM 技術，BIM 的發展恐怕無法如今日般迅速。

當初對 BIM 的推動持保留態度，因為當時許多公司僅是做表面工作，將設計完成後才嘗試製作 BIM 模型，這也導致出現許多 BIM 顧問公司。但在營造廠開始使用 BIM 後，發現其效益非常可觀，吸引了一些具有影響力的營造廠紛紛導入 BIM。然而建築師事務所對 BIM 的應用仍然相對較少，主要是由於後來的統包案時間緊迫，無暇學習。要趕上 BIM 的步伐實在不易。

雖然有許多組織和團體致力於推動 BIM 的發展，但像是元件庫這樣的基礎開發，直到近一兩年才有所成果。這在 BIM 發展的 15 年歷程中，仍顯不足。如

果連這樣的基礎都未能夠完善，現在要導入 AI 技術更是一大挑戰。因此對於國家導入 BIM 的過程，持較為悲觀的態度。

去年 Chat-GPT 3 推出後僅僅兩個月內即累積了 1 億的網路使用者，相比之下，Twitter 累積 1 億用戶花費了 6 年的時間。顯而易見，AI 技術在業界中引起了高度關注，學習速度驚人。因此呼籲學校和學會應該主動尋求政府的支持，例如像新加坡要求公務人員學習相關技術的做法。

政府應該與 BIM 技術的廠商進行協商，包括軟體費用等方面的協助。甚至可以派遣代表團到其他國家進行學習和交流。透過政府力量推動產學合作，找出適合本國 AI 應用的模式。

否則，只會有少數人持續成長，一般人根本無暇學習。學校可以在學生時期灌輸 AI 的基本知識，打下堅實的基礎。而台灣營建展業的從業人員很難有機會去學習這些新技術。應該創造更多的機會，讓普通從業人員也能參與這個領域。

台灣建築產業在數位發展這方面確實相對國外落後很多，雖然有些有心人士可以自行發展，但他們仍只是少數。我期望能夠形成一個更廣泛的機制，讓整個產業都能夠共同成長。這需要政府的參與，透過支持和引導，讓 AI 技術在台灣展業中得到更好的應用。

謝尚賢教授：

在全球範圍內，台灣在建築資訊模型（BIM）的發展相對滯後，但營建產業並非只依賴 BIM 這一工具。其發展涉及其文化、生態以及整個社會的體質。營建產業屬於「特殊製造業」。然而隨著科技的不斷進步，未來「製造業」將變得越來越強大，營建產業的商業模式若不像製造業那麼適用，可能會被製造業逐漸取代。

美國推動 BIM 的初衷是因為相對於其他製造業，營建產業的生產力呈現下降趨勢。其他製造業的生產力相對於營建產業成倍增長，因此引入 BIM 技術作為解決方案。然而，需要指出的是，所有能夠自動化、模組化的領域都可以歸屬於製造業；而僅有實地施工的工作才可稱之為營建業。因此，在營建產業所做的所有努力可能都會面臨被製造業取代的風險。

當前社會面臨兩大重要力量的影響。首先是永續淨零的理念，其實現離不開數位基礎和產品資訊管理。在教育領域，人工智能被視為一種工具，它必將對人類產生積極影響。與過去的工具不同，人工智能能夠自我學習，並在智力層面與人類產生挑戰。然而，這也引發了一個重要問題：在人工智能的幫助下，人類還保有什麼優勢？這涉及到教育的核心問題，即學校應該教授什麼內容，以及是否需要擺脫填壓式的教育模式。

如果 BIM 只教授工具使用，效益並不大，因為工具變化速度很快。另外，學習 BIM 需要先有工作經驗，因此需要產學合作。通過實習機會，學生可以了解學到的知識如何應用。往後懂得使用人工智能和不懂使用人工智能的競爭差距會很大，先前會使用 BIM 和不會使用 BIM 的差距還沒那麼大。

當前一直在試圖使人工智能具有人類的特點，但更令人擔憂的是人類會變得越來越像人工智能。現在學生面對電腦很自在，但面對人卻不行。因此，未來是應該跟隨人類學習還是跟隨人工智能學習，學習的情境將發生改變。許多數據和信息都是由人工智能生成的，所以實際上是在跟隨人工智能學習，而不是人類。如果教育也沿此路線發展，將會改變，人類的思考將受到人工智能的限制，這才是令人擔憂的地方。

生活經驗和體驗變得非常重要，學生需要參與實地實踐，而產學合作則對於土木工程來說，提供了實驗場所和實踐機會。學校需要培養學生的素養和倫理觀念。在思考能力尚未成熟的情況下，使用工具時的倫理道德也非常重要。

李孟崇總經理：

相較於製造業，營造產業的生產力僅達 50%，顯示出極大的改善空間。因此，在成立建築資訊模型（BIM）的團隊時，我們意識到資訊應當數位化。在台灣，大部分建築事務所皆為中小型規模，建築師的主要工作是整合各種資訊。然而，這些事務所無法自主進行調教、研發及深化人工智慧（AI）功能，因為每位建築師都肩負著特定的使命和專案工作要求。

AI 的應用範疇十分廣泛，而開發像 GPT(Generative Pre-trained Transformer) 和 OWN (One-World Network) 這樣的技術成本相當高昂，其訓練過程也必然伴隨著相當高的成本，超出一般事務所所能負擔。因此應該謀求共創創新，透過合作開發，才能實現這些目標。不一定需要深入研究所有技術細節，但至少應該了解如何運用這些技術。只有在組織內部發生改變，將 BIM 數位運用於實際建築項目的專案流程中，並結合自動化，才能產出相對的產值。

在過去，許多建築事務所擁有豐富的經驗和優秀的管理能力，然而卻缺乏數位運用的技術。因此，若未進行組織上的改變，無法達到 BIM 所帶來的效益。

主持人：

台灣在推動 BIM 技術的同時，國外已經推行數年。但 AI 技術台灣與國外同步發展，這是一個絕佳的契機，讓全台灣一同推動進步。政府和產業可以共同合作來推動這項發展，讓全台灣都能夠受益。希望能夠發掘台灣在 AI 或 BIM 領域的專家，減少數位落差，不僅局限於大公司，也要發掘新生代的 AI 專才，可能是設計師、學生或工程師。

附錄二 AI 建築教育論壇-高雄場

活動名稱：AI 建築教育論壇

主辦單位：台灣建築學會、國立成功大學建築系

指導單位：內政部建築研究所

協辦單位：國立高雄大學建築系

活動時間：2023/05/27(六) 12:40~14:25

活動地點：高雄大學人文社會學院 H1-110 演講廳



AI 建築教育論壇海報(圖片來源:本計畫繪製)

講者	服務機構及職稱	主題
葉宗帆	成大建築研究所研究生	—
陳建安	成大建築研究所研究生	—
劉奕廷	成大建築研究所研究生	—

林依柔	陽明交大建築研究所研究生	—
熊盼盼	陽明交大建築研究所研究生	—
謝博宇	陽明交大建築研究所研究生	—
評論者	服務機構及職稱	主題
曾光宗	台灣建築學會理事長	—
曾成德	陽明交大建築所講座教授	—
侯君昊	陽明交大建築所所長	—
陳怡兆	高雄大學建築系主任	—
沈揚庭	成功大學建築系副教授	—



AI 論壇照片(圖片來源:本計畫繪製)

活動演講與評論內容：

主持人：

在整個 AI 浪潮席捲教育界和產業界的背景下，AI 的應用逐漸進入建築界。因此，今年內政部建研所委託台灣建築學會和成大共同執行了一個名為「數位轉型計畫」的專案。本次論壇是數位轉型計畫的一部分，於 5 月 4 日在台北舉行過一場名為「AI 建築師論壇」的活動，該活動邀請了幾位建築師和教授參與。雖然今天的論壇主要著眼於建築教育的性質，但也不限定只討論這方面，現場還有幾位建築師也參與其中。

今天的論壇分為兩個部分。首先，特別邀請了成大建築研究所的三位同學和交大建研所的三位同學分享實作學習經驗。第二個部分則邀請了教育界的幾位前輩和年輕的主任參與，共同探討相關議題。

Section 1 實作分享

劉奕廷研究生：

AI 工具在不同產業中的應用帶來了深遠的影響，建築行業也不例外。探討 AI 工具的背景和運算方式，並探討其在建築計畫和方案設計方面的應用。透過文獻回顧，發現 AI 工具有潛力將整個建築產業變成一個更加完善且統整的體系，這也引發了相關產業的風潮。

探討 AI 工具在建築計畫書和方案設計中的應用。首先，AI 工具在建築計畫書方面的應用主要集中於文字資訊整理。AI 能夠快速且準確地分析大量的文字資料，從中提取出有用的信息並進行整理。這可以幫助建築師更高效地撰寫計畫書，節省時間並提高質量。

此外，AI 工具在最基本的方案設計中發揮著關鍵作用，尤其涉及到圖像生成方面。在建築設計過程中，許多構想需要透過草圖和圖像來展現，自動生成相應的建築圖像，從而幫助快速擴展設計可能性，並快速評估各種方案的可行性。

陳建安研究生：

以成大老人醫院的案例進行演練，探索 AI 工具如何幫助更深入了解之前使用的工具特性。一開始先嘗試提出一些問題，並要求 AI 進行更深入的回答。最初的回答相當籠統。但經過多次嘗試後，發現 AI 工具可以幫助我們進行資訊的架構整理。

具體而言，發現 AI 工具可以協助我們進行架構圖的整理，即使內容可能不完全正確，但可以根據這些內容進行修改以符合需求。此外，這個工具還能幫助

整理文書和報告中的資料。例如，它可以描述醫院老人照護團隊（包括護士和社會工作者）之間的工作模式、空間的組織與需求關係。

主要焦點在文書處理方面，透過與 AI 的協作，加速了一般文書作業的進程。設計前有先進行訪談，於是也探索使用 AI 進行訪談的情境。使用 Whisper AI 來製作逐字稿，然後再使用 Chat GPT 來整理逐字稿。發現這個工具也可以幫助我們生成簡報架構，並且這些架構是基於計畫書的基本架構生成。

通常會使用 Word 來撰寫計畫書，但 Word 無法用編程進行控制，因此轉而使用 Latex 來產生計畫書。Perplexity NLP 的模型可以幫助查找文字的資料來源，再使用 Chat GPT 將其整理成有架構的內容。最後將其轉換為 Latex 格式，再生成計畫書的 PDF。

葉宗帆研究生：

業主現在普遍使用一些工具（例如 MidJourney 或 Stable Diffusion）來表達對建築需求的想法。對於非建築本科的業主或一般人來說，這些工具提供了一種簡單且直觀的方式呈現設計需求。當業主拿著這些生成的圖片來詢問設計師是否能夠將其實現時，要如何適當回應這個需求。

在延續先前的計畫書的基礎上，需要快速生產風格設計。這涉及到一些技術，但此處不會深入細節。可以使用關鍵字或方法來尋找相關資料。目前有許多文字到圖片的生成工具，其中比較常用的是 Midjourney 和 Stable Diffusion。

Midjourney 除了能夠將文字生成圖片外，還推出了更精準的生成方式，即木偶法，這使得圖像到圖像的生產成為可能。它主要應用於人像生成，人物動作以及角色的連續變化。在建築方面，可以用來讓建築主體或角度的設計調整。

另一方面，Stable Diffusion 是一款免費且可以安裝在電腦本機的工具，它利用計算機的效能來進行圖片生成。然而，使用此工具生成的圖像與現有基地之間可能存在無關聯性。要解決這個問題，可以使用 ControlNet，通過顏色差異來捕捉構圖並進行後製處理，以使生成的圖片符合現有基地的量體感和使用現況。這種方法還可以用於快速提案。

此外，可以使用 Checkpoint 和 Lora 來自行訓練模型。前者需要數千張圖片進行訓練，生成的主體架構趨近於特定的設計風格。後者使用僅 20 張圖片進行訓練，主要用於風格渲染。自行訓練模型可以更有依據地幫助滿足特定的設計需求。

新的工具應用後對事務所的設計工作將產生哪些轉變呢？與以前需要建築師手繪設計概念圖，再進行 2D 和 3D 設計相比，現在可以透過快速提案方式更迅速

地捕捉業主的要求，即使業主表達的是較抽象的詞語。由於這些工具的學習門檻不高，大家都可以輕易學習並使用。

AI 對文字和圖像的影響在相關藝術和圖像產業中顯而易見。整個設計流程在情境或環節上都可以受益於 AI 的幫助，強化工作效率。基本上，AI 在設計工作的各個階段都有潛力提供協助。

林依柔研究生：

針對交通大學建築研究所的教學場域，每年慣例舉辦全所競圖活動，邀請國際知名的建築師或學者針對當代最具話題與議題的潮流提出競賽題目。此活動由全所同學，包括數位組、設計組以及學士後的同學組成 10 個小組進行提案，並在十天內完成。今年，由大阪大學環境工程研究所的福田知弘教授發題，題目是以 AI 繪圖為起點的建築設計思考。

此競賽要求使用 AI 生成一組圖或設計起始點，作為輔助系統、主力或敵人，並探討 AI 在建築設計中扮演的角色。十個組別的作品將使用容易取得的生圖工具，例如 DreamStudio、Midjourney、Stable Diffusion，使用 prompt 或 prompt 加原始圖的生成原理進行設計。最終的提案可以歸類為三大部分，包括「虛擬實境的實踐工具」、「空間生成的輔助工具」以及「跨時空的紀錄工具」。

「虛擬實境的實踐工具」是以 AI 生圖的原理為基礎，將文字描述轉化為圖像的工具。透過這組圖像再由空間操作者或設計師進一步變為實際的空間設計。運用 AI 將抽象描述轉化為實際空間圖像的方法，有助於更好地理解個人性的抽象內涵，進而轉換為虛擬實境空間場所。

「空間生成的輔助工具」則是利用既有的原始圖像結合 Prompt 的描述，衍伸出新的圖片，並將這些圖片應用於建築設計。此類操作具有明確的目標，並真實地應用建築原始圖像，例如都市計畫圖、平面圖或剖面圖。主要探討如何在實際設計的基地上加速設計流程發展，並推演各種可能性。

「跨越時空的紀錄工具」將 AI 視為一種可以閱讀並理解歷史文本或語言的工具應用。使用 AI 閱讀既有文本，轉化為圖像，再進一步轉化為空間。這些空間帶有紀念意義及空間機能性，可將歷史與文本記載於空間中，以進行資訊的傳遞與傳承。

謝博宇研究生：

探討在建築設計的學術領域真正應用人工智慧 (AI) 的方法，包含課程、設計應用以及設計論文。過去，建築設計與數位工具的關係往往是一個指令對應一個動作。隨著 AI 的發展，人工智慧背後是依賴機器學習的技術，賦予了傳統的數位工具從資料庫中自我學習的能力，並隨著資料庫的擴增不斷進化。

如今，只要設定設計意圖或需求，這些 AI 工具就能夠針對這些需求定義設計策略。從以往的電腦輔助設計轉變為機器學習輔助設計。其需要探討如何訓練機器以及設計架構，使其能夠從資料庫中有效且精準地學習。這也包含了如何讓 AI 能夠理解以前無法被量化的設計語言。

在建築設計的 AI 訓練方法上，採用了圖像式的訓練模式，訓練完成後再加上特定資訊於其圖片。相較於過去需要逐一定義尺寸並建模的方式，現在則是反過來，將模型資訊餵給 AI，類似培養皿的型態，藉由與空間點位中的線性關係，讓機器理解物件的構成與比例關係。這樣在設計端只需輸入條件，即可獲得 AI 生成的對應方案。

舉例來說，透過設定分割條件，可以訓練 AI 進行物件的分割，並用於施工階段與營造廠協商模具的分配。AI 也可以學習都市環境的綠帶與道路之間的關係，用於都市綠帶的規劃。又或者學習材質的輪廓與纖維關係，探討材料與造型上的生成，進行兩者之間組合的判斷。最後，利用機器學習來優化機具的工作模式與路徑，讓其在不同載種情況下都能適應，做出更好的施工判斷。

熊盼盼研究生：

建築數位組資訊實驗室致力於處理大量資訊與數據，並探索解決不同議題的方法。其中一個主要研究方向是仿生構築流程優化。學習河狸的行為模式，透過深度學習使機器手臂能夠模仿其行為。機器手臂在處理不規則材料時，學會了提取資訊並堆疊材料，逐漸構成所需的結構。這種方法希望能夠發展出一種更有效率的構築方式。

為了達到這一目標，在機械手臂上安裝了照相機，將每一次的行為紀錄進行深度學習。這使得機械手臂能夠根據不同的堆積方式，尋找更合適的操作路徑。仿效了生物的本能行為，並且利用點位方式分析如何最適當地堆疊木材。

空氣盒子用於偵測空氣品質，事件盒子則用於監測都市中的事件。這些設備結合無人機的使用，能夠在更大範圍內蒐集發生的事件。透過對收集到的圖像進行特徵分析，我們能夠辨識煙霧等污染物質，並進行夜間建築立面的監測，包括空氣污染和光害。研究也涉及資料訓練，透過整理和歸納過的資訊，利用網路地圖來追蹤資訊蒐集的過程。

Section 2 評論

主持人：

成大建築系大一的學生中，有些人開始使用 AI 產生的圖片來呈現作品給老師，引發了一個值得探討的問題：AI 是否能夠刺激或輔助創造力？這樣的行為是否應該在學校允許，如果允許的話，學校是否應該鼓勵學生使用 AI 來提升創

作能力？同時，對於在座的建築師而言，是否願意接受使用 AI 進行建築教育的做法？儘管 AI 具有其限制，也應該思考如何面對這樣的技術。

侯君昊所長：

對於陽明交大的建研所而言，擁抱新科技是必然的趨勢，然而，同時也必須深刻了解這些新科技所涉及的内容及用途。在前述的分享中，強調鼓勵學生使用新科技，但同時也要教導學生深入理解其背後所涉及的核心原理，以能夠做出正確的評斷。

AI 技術是在統計學的基礎上提供最優解，即所謂的平均值。然而，建築師通常需要更具有創意和極端特性的設計，以體現美感。目前 AI 所創造的東西往往會產生美學疲勞，因為它們看起來都類似且質量良好，缺乏個性化的特色。

另一方面，學生在使用 AI 的過程中發現，當自身知識不足時很難提出有深度的問題。因此，未來的教學仍需著重於培養核心能力，但同時也要重視如何學習和教育的方法。此外，應探索如何運用工具來加速處理那些過去耗費大量腦力和時間的事務，以便將更多人力用於 AI 目前無法處理的領域。

陳怡兆主任：

在高雄大學的建築系中，數位課程被高度重視，其學分比重等同於設計課程的份量。數位工具應用從 Cad、BIM、Mataverse 到 AI 的發展，每項發展都有相應的論述和討論，以指引未來趨勢和因應策略。在教學過程中，如何善用這些數位工具成為一個重要的議題。

鼓勵學生使用 AI 是必要的，但即便有優秀的工具，若缺乏足夠的內涵和基礎，學生也難以提出優質的答案。AI 的能力是有限的，因此除了提高效率，也需要關注其他面向的發展。這並不是否定傳統建築教育中實踐手作與手繪的模式。即使學生的數位能力很強，若沒有基本的手工製作或手繪能力，仍難以取得理想的成果。

數位化趨勢不會改變，因此需要學校迎合並因應。在不同課程中，AI 的應用能夠帶來更高效的學習體驗，例如在結構課程中，包括結構力學和分析等方面，AI 的應用可能對學生的學習效率有更顯著的影響。如果能夠達到這樣的目標，有望在不同的學習領域中，利用這些工具有效地引導學生取得更好的成果。這也是未來值得期待的方向。

曾光宗理事長：

數位轉型在建築設計與教育上的實驗性作法具有價值。AI 作為解決問題的工具，在建築界扮演著重要的角色。然而，AI 的發展與應用仍需進一步探討。目

前在建築領域，已看到了 Programming、分析和設計等方面的應用。

AI 的整體呈現涉及數位轉型的大議題。英國 RIBA 於 2018 年提出建築數位轉型週期性報告，強調數位轉型的重要性。英國政府的支持，在數位轉型中扮演關鍵角色。然而對於台灣，數位轉型的實現仍面臨挑戰。

近年日本勞動業的就業人口減少了 22%，其中年輕人的就業比例下降了 50%，而高齡者的比例卻增加至 24-36%。這個現象本來被視為營建業和勞工層面的問題。然而，數位轉型卻被認為是解決這些問題的有效方法。台灣目前也面臨類似的問題，因此是否可以效仿日本的做法，透過數位轉型來尋找解決之道。

安藤忠雄認為 AI 與人之間的關係是互補的，人不會被取代。了解 AI 的觀念與人類創造力，可以發現人類的價值所在。找到人與 AI 之間的適當定位，並尋找解決方案。AI 不僅是學術或研究領域的產物，更是產業界需求與問題的反映，這將驅動學術界作出相應嘗試。

展望未來，人類往往高估未來兩年內即將發生的變化，卻低估未來十年內可能發生的變化。因此，數位轉型的實施需要長遠的規劃與預測，才能應對未來的挑戰與變革。

沈揚庭副教授：

AI 在現今逐漸被大眾接受並開始在各行各業產生影響力。然而，目前使用 AI 的方式仍然相對表面化，儘管它能夠快速生成大量優秀的圖像或情境，但這些成果對人類而言亦非不可達成。儘管 AI 能夠提供思考上的啟發，但透過與同儕的溝通，人類也能達成相似的成果。

因此，有必要更深入地探討 AI 的應用。在面對勞工短缺和人口少子化等問題時，應思考 AI 可以承擔哪些角色。不應將 AI 用於無意義的領域，例如只是為了製造極具創意的建築外觀或造型而不考慮其實際可行性。不論是 AI 還是數位製造，應該關注它們能帶來什麼幫助。只有當 AI 真正能夠實現這些目標時，它才有意義地去執行這些任務。

以機械手臂的路徑計算為例，若能透過機器學習自動運算而不需編寫程式碼或手動定義路徑順序，那麼 AI 的應用就體現在處理那些非人類應該負責的任務上。這樣能夠節省更多的人力，同時達到更高的精確度和效能。這正是 AI 真正釋放人類思維能力的例子。因此，在數位轉型的過程中，AI 的角色應該是更好地應用在各領域，而不是單純地將其與人類進行比較。

曾成德教授：

在使用人工智慧的過程中，最不服氣且期待落空的部分是發現它實質上是基於統計學原理，透過大量數據找出符合多個趨勢的事物來呈現智慧。背後的原理

則是某種數學邏輯運算。因此，人工智慧應該用於人類無需花費大量心力的領域，而不是與現有的創意和藝術內容做直接比較。

根據文獻閱讀，了解 AI 工具是如何製作出來的。它所提供的回答往往以政治正確或中庸的方式呈現，缺乏開創性，且設計意圖不一定清晰可辨。如果 AI 能夠產生偏激一點的答案，或許能夠激發批判性思考的機會。

最近，參加了一個有趣的測驗，其要求是辨別 18 幅藝術作品中，哪一幅是由 AI 創作，哪一幅是由人類創作的。主持測試的機構指出，大多數受測者的正確答案率在 40%到 60%之間浮動。這次測試結果引發對 AI 能力的思考，它似乎不僅能提供中庸的答案，而且或許能像設計師在看到 Uniqlo 的廣告時產生關於建築外牆的思考。

這也引發了對研究所同學之間跨學科對話的期望，特別是在非專業背景與專業背景之間的互動。當非建築背景的研究生與建築專業的同學共同探討建築議題時，是否會出現知識和創意上的落差呢？此外，那些原本專攻景觀、多媒體或平面設計等領域的同學，是否能夠為討論帶來新的視野、挑戰或協助？

因此，在某種程度上，認同大學一年級的學生應該學習如何使用 AI，以提高其技能和知識。但同時，他們也應學習建築史和結構以及其他建築知識，特別是在這個數位時代。透過學習和交流，帶來更多創新和啟發，並期待 AI 未來的發展，將繼續在跨學科的交流中發展，為未來帶來更多的可能性。

主持人：

總結探討的議題。首先，AI 是否能夠刺激人的創造力？儘管 AI 開始不到兩年的時間，是否可以預期隨著 AI 工具的進一步發展，其在激發創造力方面將會更具影響力？

其次，需要考慮到事務所是否應該引進專業的 AI 建築師，或者是否現有的專業人能夠學習 AI 建築相關知識。對於產業界而言，一年後是否會出現對 AI 建築專業人才的需求，並且學術界是否有足夠的時間和能力來培養這樣的人才？

另外，應關注台灣的數位轉型和建築產業的前景。在未來十年內，是否會出現人才缺口的情況？建築產業是否會面臨結構性的轉變？如果是，該轉變的方向和趨勢是什麼？在未來，是否會要求一個人具備相當於三個人的工作能力來應對日益複雜的建築任務？

以上所探討的議題是目前需要正視的重要問題。AI 的發展將對創造力和專業人才的需求產生影響，而台灣的數位轉型和建築產業結構性變革也需要思考未來的發展方向和人才培養策略。這些議題將在學術界和產業界引發深刻的討論和反思，需要及早做出相應的應對措施，以確保未來的可持續發展。

附錄三 AI 建築師論壇-台南場

活動名稱：AI 建築師論壇暨 AI 建築設計創作分享會(台南場)

主辦單位：台灣建築學會、國立成功大學建築系、台南市建築師公會

指導單位：內政部建築研究所

活動時間：2023/08/25(五) 下午 1:30~5:00

活動地點：臺南市建築師公會（臺南市安平區永華路二段 248 號 10 樓之 6）



AI 建築師論壇海報(台南場) (圖片來源:本計畫繪製)

講者	服務機構及職稱	主題
吳建禾	TYarchistudio 建築師 成功大學建築博士	AI+BIM 快速有效的創新提案方式
傅菽駢	傳域設計, 8 意藝術實驗室, 好好平台執行長	AI 時代的設計、教育、行銷創新加速
柳川肯	成功大學建築系副教授	從概念設計到渲染表現的 AI 影像生成

龔智群	成功大學建築研究所研究生	AI 輔助 BIM 建築設計數位轉型
評論者	服務機構及職稱	主題
徐岩奇	台南建築師公會理事長	-
張清華	九典建築師事務所主持建築師	-
曾柏庭	Q-LAB 設計總監	-



AI 論壇照片(圖片來源:本計畫繪製)

活動演講與評論內容:

主持人：

AI 技術的引入預計會對建築師事務所的運作和各個方面產生深遠影響，因此這是一個值得深入探討的議題。AI 是否會替代建築師的思維過程，AI 究竟是一個智能大腦還是一個工具。在這個背景下，需要探討如何使 AI 成為協助者，

而不是簡單地將其視為一種取代人力的方式。或許有人擔心因為過於依賴 AI 而被取代。然而，這種擔憂往往源自於那些不常動腦筋的人。需要認真思考，是否真的有一天人們會被 AI 取代，又或者 AI 會成為人類的得力助手。

關於這個問題，過去幾年一直在進行討論。早在 30 年前，當出現了電腦輔助設計 (CAD) 技術時，就開始討論這個焦慮情緒。尤其是在近些年，隨著諸如 Rhino、Grasshopper 等工具的出現，讓人眼花撩亂。所有這些工具與人的關係，都需要深入思考如何正確定位它們。

Section 1 演講

吳建禾建築師：AI+BIM 快速有效的創新提案方式

AI 與 BIM 在實務中的結合有其結構與重要性。AI 在當今已廣為人知，然而，其價值是否僅為生成圖像，背後的資訊則少見。AI 生成圖面雖美觀，但是否能重複生成值得深思。然而建築師需了解如何在實際中應用，並使同事接受並採用此技術。在規劃與設計中，AI 是輔助還是主導？將不同知識及背景關鍵詞融入後，進而應用於室內設計更具威力，其物件資料庫遠大於建築，資訊更詳盡。

控制需慎重思考，不宜僅靠運氣。可在建築設計中快速將手稿轉換為概念草圖，然在指令改變時，AI 亦能產生新奇之想法。AI 生成概念圖輕鬆自如，但使用需時間。趨向簡約，無需過多指令亦可創造有趣效果。AI 可以替建築師加速轉換手稿為概念設計，成為溝通工具，彌補手繪溝通的限制。

AI 與 BIM 結合有助優化建築空間。包括設計優化、資訊導入、建築與空間管理。BIM 覆蓋建築全生命週期，可精確呈現成本、結構、室內裝飾等，有效幫助設計與管理。AI 協助建築師執行資訊串聯，有潛力替代部分人力，不僅是生產圖面，更是提升工作效率。AI+BIM 結合要更注重平台，不斷更新的工具需配合良好平台，以實現協作、準確性與效率。AI 使基地模型、提案設計更迅速。

使用 AI 是否需程式能力？穩定傳遞性不容易，如何簡化 AI 使用是關鍵。使用需建立良好的數據庫，才能實現有效控制，協助設計。BIM 不僅止於模型，應關注架構與資訊整合。在改變傳統角色的同時，AI 不僅是工具，更是平台，幫助實現需求與目標。現有改變需簡化，可解決模型修改困難。從傳統到 BIM，再到 AI，是一個逐漸轉變的過程。

傅叔駢執行長：AI 時代的設計、教育、行銷創新加速

自動化技術的引進，有助於更輕鬆地處理工作，能夠將更多時間用於享受生活。借助建築資訊模型(BIM)，能夠實現建築與工程的無縫整合。這種整合不僅包括機電系統(如水電、消防和空調等)的匯合，還能夠自動檢測干涉問題，而非

逐一進行人工檢查。此外，BIM 還能夠自動識別工程中的衝突點，並在圖面上標記出預留穿管線的位置。

在室內設計領域，同樣可以運用 BIM 技術。舉例來說，可以使用 Revit MEP 軟件在設計中進行實驗。透過以水管為模型，通過調整高度、長度和寬度，使其變換形態，從而打造出展示台等物件。還可以借助擴增實境(AR)技術，在設計和施工過程中進行輔助，以提高工作效率和準確性。可以運用基礎的程式編寫技能，進行設計環境分析，並提前進行模擬，以實現更預測性的設計。

將自動化技術引入小型項目，透過「333」系統，在三天內完成了 3D 圖和三個實例案例。這包括了討論設計細節、修改圖面以及製作施工圖。工作流程非常高效：今天討論，明天設計，後天完成圖面，立即可以開始實際施工。在這一過程中，AI 工具扮演了關鍵角色，能夠快速生成工程圖和 3D 渲染視圖。通常業主會提出特定的設計風格要求，然而這些要求常常會經過修改。這時由 AI 生成的 3D 渲染圖可以快速驗證，且具有準確的尺寸。需要強調的是，這些圖片並非僅僅是示意，它們是按比例且具有實際尺寸的。

隨著時間的推移，一鍵自動完成多項任務的時代即將來臨。建設公司可能會需求各種渲染圖，以往可能需要耗費大量時間請設計師手繪。然而，透過 AI 工具，成本可被大幅降低，且無需過多人力投入。此外，這些工具能夠提供各種不同的設計風格供選擇，並能夠生成施工圖紙，包括細節立面等。使用 Revit 等工具，可以實現 AI 的輔助，並且無需過於複雜的操作。

柳川肯副教授：從概念設計到渲染表現的 AI 影像生成

從技術的角度來看，面臨著自相矛盾的現實。在一個領域中，不得不重新評估人工智能對協作式建築設計的影響。在 AI 對這個領域產生影響的背景下，對於工作安全的擔憂讓人感同身受。面對不斷演進的技術，人類在這個領域的角色持續存在的前景變得不確定。

從藝術家的視角來看，在自由職業藝術領域，生成式 AI 的影響是顯而易見的。而對於建築師這一領域來說，使用 AI 也帶來了相同的改變，同樣引起了對於創造力的共鳴。然而，建築項目需要來自多方的合作，超越了個體的努力。歷史也顯示，在建築項目中，人員逐漸減少。電腦工具的出現徹底改變了團隊動態和項目範圍。生成式 AI 作為進步的先鋒，重新定義了建築實踐。如果能夠將其有機地融入到建築設計中，將會是實質性的一大步。儘管 AI 能夠協助生成，但建築師依然是創造力的主導者。

在人類和 AI 共同創作的方式中，需要找到平衡點。這涉及將基於 AI 的洞察力與人類的創意輸入相結合。通過開放式的詢問、AI 生成的回應以及反覆的交

流，實現了這種平衡。生成式 AI 對傳統任務的轉變包括素描、渲染、形式探索、設計迭代和溝通等方面。人類創意和 AI 潛力的融合，能夠增強整個建築過程。

通過在成功大學建築系的大四設計課上的實踐，嘗試探索生成式人工智能在設計中的角色。學生展示了生成式 AI 如何融入到初步概念設計中。包括通過關鍵畫面的拼貼來營造電影般的建築體驗，從而創造出新穎的建築敘事。透過生成式 AI 的比對和結合能力來增強建築創意，打破傳統類型和美學，挑戰常規思維，促進非傳統思維的發展。

因此，可以將人工智能視為協作夥伴，將人類的創意與生成式 AI 相結合，以實現創新和實驗。人類的直覺和設計意圖的價值不會被取代，而是能夠在這種合作中獲得增強。

龔智群研究生：AI 輔助 BIM 建築設計數位轉型

以一個案例演示應用 AI 於 BIM 的建築設計流程，涵蓋了一個從基地建模到設計完成的完整過程，分為六個主要步驟，首先透過鑑界點座標在 Google Earth 上定位基地位置，並選取一個包含基地及主要幹道的範圍。利用自動化方法將 Google Earth 座標轉換為 Revit 的 XY 軸座標，再根據 CSV 檔案生成 Revit 地形模型。同時，將 Google 街景與 GIS 底圖材質貼附到模型，定義基地經緯度及高程，從而完成基地模型的建立。

接下來進入設計限制的定義。從業主需求著手，通過錄音討論後，將錄音轉為文字檔。利用 Chat GPT 整理內容，以條列式摘要呈現業主需求。同時，經由網路擷取設計規範資料，使用 Python 程式碼將資料下載並整理為設計條件。將文字資料轉入 Chat GPT，生成表格，再將表格轉至 Excel 進行整理。這些整理後的資料將成為後續設計的基礎。

在建立設計條件後，開始進行初步的量體設計。根據限制範圍與設計規範，使用 Dynamo 自動配置各種建築物量體與外部空間。通過自定義的參數邏輯，自動配置建築、道路、景觀等元素。使用衍生式設計插件，生成多個設計方案並進行比較。利用 Power BI 等工具製作數據圖表，幫助評估各方案的優劣，進一步選擇合適的設計方案。

再進入設計外觀風格的探索。透過渲染軟體選取視角，匯出圖像。利用 AI 圖像生成方法，將透視圖轉換為外觀風格的圖像。收集設計風格圖片，利用 AI 生成相關圖像，使用 AI 模型生成相關風格的設計圖。這些風格圖像進一步幫助探索外觀設計。

進入平面配置階段。利用 Dynamo 根據 Excel 資料配置各種室內空間，包括不同層數的住宅與其他用途。將平面配置轉換為 Revit 元件，自動配置樑、牆、

門窗、家具等。利用 AI 幫助生成立面元件，根據設計圖轉換為參考線，再在 Revit 中配置對應的元件。這樣就完成了元件配置的自動化過程。

最後，進入元件配置的最終步驟。利用 Python 編寫 Revit API 腳本，將各種元件根據設計配置到模型中。透過自定義的指令，按序配置樑、柱、牆、門窗、家具等元件。同時，將設計風格圖像轉換為參考線，進一步配置立面元件。這樣就成功將設計風格轉化為實際的 Revit 元件。通過這些自動化的步驟，得以有效地輔助設計工作，同時能夠生成平面圖、立面圖、剖面圖等多種圖面，並進行後續的分析與評估。

Section 2 評論

主持人：

近年來，AI 設計生成原創作品的歸屬問題，已成為引人關注的焦點。在各國紛紛將數位轉型納入國家政策的大環境下，如何將數位轉型與碳中和轉型這兩大議題進行有機融合，亦成為迫切需要探討的課題。此外，針對事務所層面而言，是否能夠透過採用圖像生成技術，進一步訓練出符合特定風格要求的圖像，以及在使用這些圖像時是否存在支付相關費用的問題，以及是否會觸及智慧財產權的議題，均值得深入進行探討。

自從 AI 技術引入後，自動化設計的可能性逐漸浮現。在未來的自動化設計中，建築師的角色將轉變為定義關鍵參數，再進行選擇，隨後將其他任務交由 AI 執行。

曾柏庭建築師：

如今 AI 已經成為日常生活中不可或缺的一部分。不論是舉辦演講時需要準備逐字稿，或者是做競圖動畫，配音也變得更加容易。可以輕鬆地使用 AI 語音來幫助我們完成這些任務，這些應用已經成為生活中不可或缺的一部分。在建築設計方面，AI 也開始扮演著重要的角色，事務所也在嘗試使用 AI 來產生初步的設計提案。

然而，隨之而來的是一些令人困惑的問題。人們普遍關心 AI 是否會帶來更多工作量，或是反之。在事務所數位團隊中，有成員專門從事 AI 相關的工作，也在硬體和軟體方面投入了大量成本。未來可能會調整事務所的人力配置，因為傳統的人力結構可能會有所變化。也許不久的將來，會有一個新的職位稱為 "Prompt Designer"，專門負責撰寫關鍵字。

然而，撰寫出優秀的關鍵詞以進行有效的設計卻充滿了矛盾。個人傾向於相信傳統的教育和培訓，仍然欣賞 Norman Foster、Renzo Piano 和 Richard Rogers

等建築師的結構設計。對於目前 AI 累積數十億張照片，然後僅通過關鍵詞就生成最終視覺圖像的方法感到不太認同。這些圖像似乎缺少了建築專業人士經過五年專業學習的深度，並未真正反映建築結構的細節。這種方式似乎讓設計變得輕率，並缺乏負責任感。

甚至對"風格"這兩個詞抱有保留意見，因為將建築簡單歸類為裝飾或風格，對於那些花費數百年甚至數千年時間學習的建築師而言，這是不公平的。這些建築師學習了數百年的歷史，研究了不同材料、結構和建築技巧的內涵。因此，對我而言，AI 在我們行業中的應用方式是個複雜的問題，需要考慮很多層面。

此外，我認為平面繪圖仍然無法被完全取代，因為人類思維與電腦思維之間存在差異。平面圖並不僅僅是一個邏輯的排列，它蘊含著陽光、空氣和空間氛圍等多個因素。儘管有一天 AI 可能會具有情感，但目前看來，它還無法取代人類在這方面的作用。

AI 無疑是一種不可逆的趨勢，但在建築領域，它在事務所中的角色究竟是主導、被動、輔助，還是如何與人共存，這仍然需要進一步的探索。此外，現在的 AI 工具可以選取圖像中的特定區域，單獨進行調整，使圖像逐漸聚焦。相信這將對事務所執行設計的凝聚力、專注力和論述力產生積極影響。

張清華建築師：

將 AI 與 BIM 相互關聯起來，是一個值得探討的議題。建築領域涵蓋著諸多副委託，例如空調、消防、機電以及結構等，建築師通常負責協調整個項目的承包過程。即便是小型項目，也需要依賴這些副專業的參與。雖然如今的 AI 無法替代結構和機電等工作，但這些專業角色仍然不可或。

然而，無論是 AI 還是 BIM，都只是工具。類似於 1999 年綠建築標章推出時，許多人可能起初對此持保留態度，然而隨著時間的推移，人們逐漸接受並採用了這一標準。同樣地，BIM 的出現不僅關乎軟件，硬體設備的提升同樣不可或缺。對事務所而言，要採納 AI 技術，不僅需要升級軟件，還需要升級相關硬體設施。儘管這涉及額外的成本，但也需要在預算中予以考慮。

若未採納 BIM，便難以引入 AI。然而，若無法運用專業水準的 AI 技術，將難以在競爭中脫穎而出。任何人都能使用 AI，但只有將其應用於專業的軟體平台中，才能獲得更大的優勢。AI 技術中將會涵蓋各種專業領域，不僅僅是所見到的提示詞生成操作，還將包括不同軟體之間的互通。建議建立一個聯盟，促進技術交流，分享在這方面的經驗和技巧。最終關鍵仍在於個人的思維，工具和軟體僅為輔助。只要持續提升，就能掌握這些技巧。

此外，與業主的溝通以及與顧問的合作也可以借助 AI 技術進行改進。近期正在開發一個協作平台，用於建築師之間的合作，以及與業主和顧問之間的互動。業主可以通過這個平台實時了解項目進展情況。同時，模擬技術也能夠讓業主透過平台更深入地了解項目。無論是 AI 軟件的運用，還是其他技術，都能夠極大地提升工作效率。因此鼓勵大家不要排斥科技的發展。新的交流與合作方式能夠帶來更多的進步。

徐岩奇理事長：

在探討人工智慧（AI）所帶來便利性的過程中，開始思考將這些工具引入事務所的可能性。特別是定義關於 AI 與建築師之間的關係。今天參與這場論壇的人，或者是一些年資較長的建築師，或者是年輕一代事務所成員，中間族群似乎較為罕見。

關於涉及 AI 的話題，年輕一代似乎更加敏感與迅速上手。因此，需要引導他們使用這些工具。然而，一開始可能會抱持些許排斥情緒，畢竟新事物的引入常常伴隨著不安感。且年輕人雖然學習能力驚人，但也容易局限於狹隘的應用範疇。AI 所生成的成果往往已超越了人類腦海中所能預設的範疇。換句話說，過去的教育體系建立了思維的框架，而對於世界的想像通常受限於這個框架。然而，AI 的應用似乎迫使打破這些限制。

經常督促學生們深入研究建築史，甚至在指導畢業設計時，鼓勵涉足哲學或現象學的領域。在科技不斷進步的同時，思想也需要持續精進。因為技術的進步背後是深入思考的結晶。如果停止思考，將有一天可能會被 AI 所取代。因此無論是思想還是技術，都需要與時俱進。需要不斷閱讀學習，追求物質和精神的雙重平衡，嘗試拉近 AI 生成影像與建築實踐的距離。AI 當然是一個極好的工具，但我們必須深思熟慮地運用它。

主持人：

英國的 Arup 設計團隊目前僅由 15 名成員組成。雖然案件數量眾多，然而這 15 位設計師負責應對眾多案件的工作。其特點在於每位成員都具備廣泛的技能，彷彿海綿一般，能夠靈活運用各種工具。即便面對新技術，亦能相互教導，或親身前往其他領域學習。

應該避免將學生培養成僵化的知識接受者。應該將各種資訊和軟體直接提供給學生，鼓勵主動學習，不受任何限制。目標是激發討論，正如 OpenAI 在去年所發佈的技術，至今僅有半年的時間，並不足以完全評估未來人工智慧的發展方向。目前正啟動這場關於人工智慧的深入探討，旨在使下一代的能力得以提升，與國際接軌並保持同步，將是努力方向。

附錄四 AI 智慧建造論壇-台北場

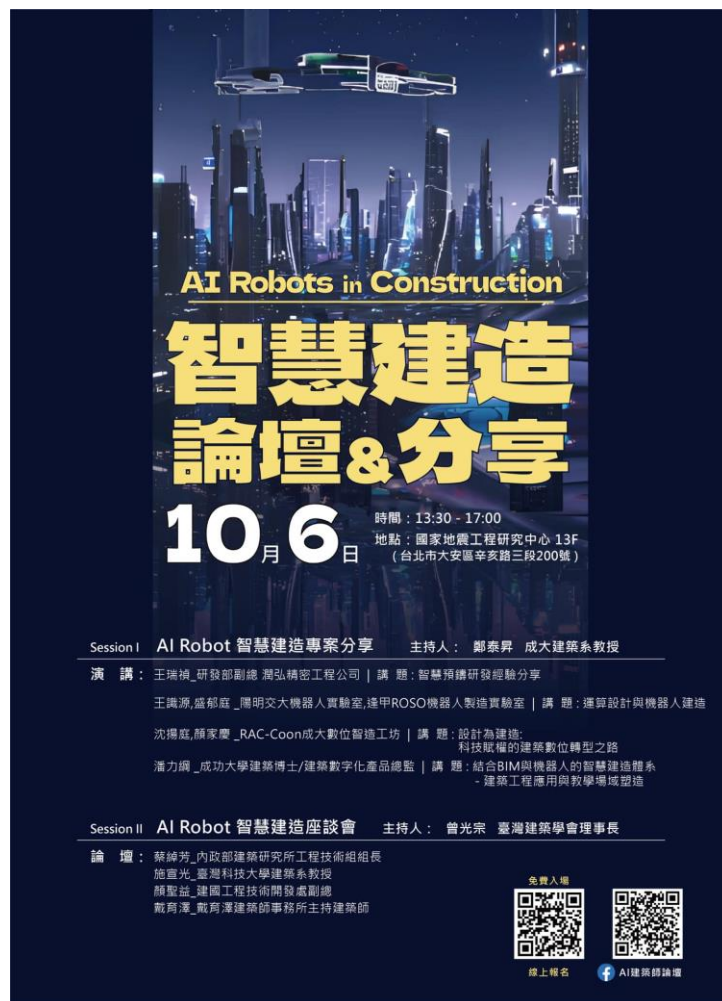
活動名稱：AI 智慧建造論壇與分享會(台北場)

主辦單位：台灣建築學會、國立成功大學建築系

指導單位：內政部建築研究所

活動時間：2023/10/06(五) 13:30~17:00

活動地點：國家地震工程研究中心 13F(台北市大安區辛亥路三段 200 號)



指導單位：內政部建築研究所 | 主辦單位：臺灣建築學會、國立成功大學建築系 | 協辦單位：臺大BIM研究中心

AI 智慧建造論壇海報(圖片來源:本計畫繪製)

講者	服務機構及職稱	主題
王瑞禎	潤弘精密工程公司 研發部副總	智慧預鑄研發經驗分享
王識源	陽明交大機器人實驗室、逢甲 ROSO 機器人製造實驗室	運算設計與機器人建造

盛郁庭	陽明交大機器人實驗室、逢甲 ROSO 機器人製造實驗室	運算設計與機器人建造
沈揚庭	RAC-Coon 成大數位製造工坊	設計為建造:科技賦權的建築數位轉型之路
顏家慶	RAC-Coon 成大數位製造工坊	設計為建造:科技賦權的建築數位轉型之路
潘力綱	成功大學建築博士/建築數字化產品總監	結合 BIM 與機器人的智慧建造體系-建築工程應用與教學場域塑造
評論者	服務機構及職稱	主題
蔡綽芳	內政部建築研究所工程技術組組長	—
施宣光	台灣科技大學建築系教授	—
顏聖益	建國工程技術開發處副總	—
戴育澤	戴育澤建築師事務所主持建築師	—



AI 論壇照片(圖片來源:本計畫繪製)

活動演講與評論內容：

Section 1 演講

王瑞禎副總：智能預鑄研發經驗分享

台灣的營建產業具有獨特的特點，其中之一是其「少量多樣」的特性。且台灣的法律法規相當嚴格，且工程工種眾多，建築項目的生命週期長、規模大、質量要求高，而且具有區域特色。因此，引入新的建造技術到現有的營建產業相對困難。此外，面臨的挑戰還包括勞工短缺、物價上漲、以及 ESG（環境、社會、治理）議題等。此外，還有減碳議題，如精密組件的建造，這些都是推動智能建造所需應對的議題。

要實現智慧建造，需要建立智慧組織、智慧設計、智慧製造和智慧施工。以日本的竹中建設為例，使用 Position Plus 來高效管理建築工地的人員、事務和進度。同時，利用 BIM 數據來簡化機器人操作、監控和管理平台，包括對建築工地塔式起重機的遠程控制。還使用各種機器人，例如自動打標機器人、自動駕駛輔助工地運輸機器人，以及公文傳遞機器人。相比之下，日本的研發能量明顯高於台灣。

此外，建築生命週期的自動化和智能化也是發展的關鍵。在設計階段，應更多地利用建築能耗分析軟體，通過標準建築能源模型、BIM 整合和圖形化設定介面等技術，簡化傳統建築能源模擬流程。在製造端，預鑄製造應用廣泛，允許在工廠進行鋼筋的初步加工，如大小圓螺箍機、萬能加工機、或一筆箍加工機等。此外，工地現場的預鑄施工流程需要更加完善，並且需要自動化的建築維護技術，例如現場自動穿筋機和預制混凝土自動澆置系統。

然而，少量多樣的預鑄案例存在一些挑戰。舉例來說，僅模具費用就佔預鑄製造費用的 6.83%。此外，開模前的工作需要 1-2 個月的時間，因此需要建立更多樣性的設計來應對這些挑戰。潤弘參與的一些相關案例，包括興隆公宅、2021 年的萬華社宅、2022 年的榮總醫護宿舍和南港玉成等。這些項目都使用了預鑄柱樑、陽台板、外牆和 PCS 構造系統，並對多項技術進行了專利申請。台灣的營造業和政府應該共同努力，鼓勵技術的應用和發展，以應對未來的建築挑戰，同時為台灣的營建產業帶來更大的競爭優勢。

王識源助理教授、盛郁庭助理教授：運算設計與機器人製造

ROSO X ROLA 是一個跨學科的研究與設計團隊，其主要目標是運用創新的機器人技術、運算思維與各種新興科技相互融合，將材料(Material)、人工智能(AI)

以及機器(Machine)相互融合的思考，探討機器人如何在建築工藝中探索更多的可能性，並研究建築機器人對建築營造產業可能帶來的轉變。除了專注於研發技術，也透過研究、教育和實際案例，培養跨領域整合人才，以推動建築的想像力和可能性之間的連結與討論。

TACO 是一款免費且具有完整說明的程式插件，專為在 Grasshopper 內直接模擬和控制機械手臂而設計。為使用者提供在參數建模平台中編程和視覺化 ABB 機器人的功能。功能包括單一或多台機械手臂的任務、機械手臂運動學反解器 (I.K solver)、自定義工具、RAPID 代碼生成器以及 ABB IRC5 串流管理。TACO BIM 整合從 Pre-FAB 建築單元客製化預鑄系統，到 Remoting control interface 的遠端控制介面，以及 On-Site 的機器人現場施作系統。

「珊弧·山瑚」是 ROSOxROLA 團隊的一項大規模一體成形 3D 列印裝置藝術品。它運用參數式設計的演化算法，模擬自然界中珊瑚微小細胞之間相互複製、推擠、成長和擴散的規則。隨著列印機的加工，這些規則在時間軸上動態堆疊，逐漸形成了複雜的有機曲面。同時，列印過程記錄了每個發展階段的生成切片。作品採用透明材料，展現了海底珊瑚美麗的多變樣貌和純淨的光澤，其色彩是由與觀眾和光線的互動共同創造的，呈現出一種多彩而相互共生的視覺景觀。

實驗室也嘗試竹複合材料的曲面薄殼構造，採用竹片為基本單元試圖嘗試新的構築可能性，利用 1mm 的三層竹片膠合成 5mm 的竹片版單元，再利用彎曲殼狀型態的結構方式完成型抗的薄殼系統，而這樣的呈現就是透過竹片之間的連接點來設計完成，竹片除了做彎曲試驗之外還利用彼此的摩擦力就達到了彼此間束制成形的特性。

沈揚庭副教授、顏嘉慶講師：設計為建造-科技賦權的建築數位轉型之路

成大數位製造工坊 (RAC-Coon) 自 2020 年成立以來，一直致力於推動建築行業的數位轉型，其主要關注點即是「智慧建造」。工坊配置了兩支國內學界最大的起重機械手臂，並建立了人機協作的實際場域，用於設計和製造。目前已經積累了多個實際構築案例，包括「波簷」(2021 年)、「織蔭」(2022 年)，以及最近完成的作品「落葉之脈」(2023 年)。

工坊試圖建立一套有關自動化機械手臂在建築設計中的流程，從形態生成 (Form Finding) 到自動組裝 (Pattern Deploy)。先確定設計項目的需求，建立數位模型，並使用參數化設計和最佳化算法以優化設計形態。選擇合適的材料並進行模矩化設計，確定設計單元以及單元之間的連接方式。使用機械手臂建立運動路徑和操作序列進行構築。此外，還可以使用其他設備如雷射切割機。最後，制定自動組裝計劃，進行單元組裝，並監控組裝過程以確保準確性和質量。

流程中，機械手臂和參數化設計工具是關鍵技術，需要建立完整的操作和控制系統，以實現高效的設計、製造和組裝。持續監控和質量控制也是重要的工作項目。研究室將此技術流程用於再現中國傳統木結構，此案涉及將技術與傳統工藝相結合，需了解傳統木構造的搭建方法，並為機械手臂的施工製造過程制定計劃，以確保最終的成果尊重和保護原始結構的文化和建築歷史性。

未來在建築領域，機器人技術的應用將不斷增加，可以為多個工地現場項目提供潛在的幫助和創新，但也伴隨一些挑戰。機器人技術的採用和維護成本可能很高，特別是對於小規模建築項目。此外，現場工程師還需要專門的培訓和資源。遵循法規和確保施工安全性也非常重要。利用機器人技術在建築領域可能帶來創新和效率提升，也可以探索新的建築形式。但需要克服技術、成本和法規方面的挑戰，以實現可持續的廣泛應用。

潘立綱總監：結合 BIM 與機器人的智慧建造體系-建築工程應用與教學場域塑造

智慧建築的機器表層需要將空間要素數位化，並配合多智能體的行為控制。要進行移動定位何遠端控制，環境光感測與人員感知，包含自主研發主控電路板。整合為機器表層機構設計，實體與虛擬連動架構，搭配虛擬 Revit 建築模型場景，建立互動表層單元之 BIM 元件族群。與實際現場的建築空間，互動表層單元之時體圓形。透過實虛設備互動之管理監控面板，進行互動式的協和製造。

博智林的智慧建造體系，擁有近 50 款研發中的機建築機器人產品，其中已有 28 款投產應用。這些機器人產品涵蓋了主體結構階段、二次結構階段、機電安裝、裝飾裝修階段、外牆施工階段、地下室以及園建施工。此外，透過整合通用物流機器人和智能升降梯，實現了智慧營造的施工方式。

整合了建築資訊系統(BIM)的各個層面，從設計應用中的設計插件和建模服務，到 BIM 的協同合作平台。這還包括 BIM 的算量應用，如成本算量和構材使用損耗，以及 BIM 的施工應用，如智慧工地、生產管理和材料物資管理。這些元素被整合為博智林的 BIM 集成化數據體系，應用於房地產建築專案的各個階段和業務場景，實現了建築全週期的 BIM 應用，包括數據創建、數據採集、數據傳遞和數據複用。

博智林智能建造體系致力於實現類似汽車生產的建築方式。進行新型建築工業化體系的研發、生產和應用，並建立了基於 BIM 的建築產業互聯網平台，以實現建築規劃、設計、生產、施工和運維權生命週期的智能化。在規劃階段，使用無人機傾斜攝影技術進行地形測繪和土方計算，以及 AI 智能強排進行初步設計規劃。在設計階段，將功能模塊和構件標準化，並根據設計邏輯靈活組合成建築

單體，由模型生成圖紙，以保證圖模一致。

透過BIM集成設計，實現機器人工作地圖、作業面規劃、路徑規劃，以及建築立面深化。模矩設計，將構件拆分等要素前置集成封裝，實現建築工程全產業鏈全要素標準化。生產環節在依託標準化設計的基礎上實現多元化裝配式構件生產，並結合集成裝配式產品，以確保項目的安全、高質、快捷施工。

在施工階段，推出多款建築機器人產品，包括機器人混凝土施工、地坪施工、砌磚抹灰施工、油漆和牆紙施工、牆地磚施工以及外牆噴塗等，覆蓋了全部施工工序。透過計畫排程系統，實現BIM數據訊息的打通，從而實現建築機器人多編組穿插作業。在運維階段，基於數位孿生交付成果，實現了智能化集成應用系統。透過數據集中管控，能夠快速定位問題，自動預警，並基於BIM實現智慧運維。

此外，博智林也積極推動智慧建造產教融合人才培養方案，幫助建築企業實現數位化轉型。致力於培養智慧建造人才，將人才培養與市場需求相對接，為智慧建造的發展提供人才後備保障。建立跨學科的課程體系和教師團隊，並打造了技術技能人才培養服務平台，加強產教融合和校企合作，建設實訓基地，以技能為本位，就業為導向，並配合多項教輔工具，以實現教學場域的塑造。

Section 2 評論

蔡緯芳組長：

建研所算是智慧營造背後關鍵的推手，然而，儘管已經推廣了多年，建築資訊模型（BIM）在一些方面似乎沒有取得太大的成果。BIM是建築數位轉型的基礎，因為它利用數據進行整合、分析、預測和監控。智慧建造的實現必須首先透過BIM將各種數據和工作流程整合在一起。數據是一種寶貴的資源，儘管它是看不見的資源。

中國大陸在建築行業的快速發展是不容忽視的，這部分原因在於其相對更多的資源和空間用於發展。相比之下，台灣是一個空間有限的環境，其建築產業組織與中國大陸存在顯著不同。在這種情況下，需要思考如何發揮台灣的優勢，以實現建築智慧營造的目標。

除了一直要推動技術發展以外，這其實也是文化組織產業必須要思考，包含政策與機制的推動，這也是需要努力的方向。整個建築生命週期的生態都會有影響。在台灣要如何走向數位，又或者是要走向數位的哪一個方向。目前建研所有個案件是如何定義出預鑄化的構件原型。這些都是可以幫助整個智慧營造發展的一些推動。

此外，關於低碳建築標準的制定，包括低碳工程中材料的使用和規範的制定，

需要大家集思廣益來推動。從設計到建設階段，以及中小型建築事務所如何找到適合使用 BIM 的模式，這都是台灣數位發展需要思考的基礎問題。

顏聖益副總：

要使 BIM、機器人和數位工具等技術實際應用於施工現場，實現智能化、模塊化和零碳的建築工藝，需要經歷一系列產業演變和改革。無論是鋼筋混凝土、鋼結構還是木結構，當不再依賴傳統的材料和施工方式時，可能存在著新材料的潛力。

模矩化是關鍵，BIM 實際上是一個高度模矩化的綜合系統，它為生產和製造端提供了有用的工具。然而目前在台灣，模矩化的實施仍然在小規模多樣化的情況下進行，這並不高效。當前的發展像是「預鑄模矩化」和「自動鋼筋綁扎機」在自動化方面具有重要幫助。在設計階段，必須考慮後續施工問題，採用綜合方法以整合設計工作。

從技術角度來看，未來的目標是實現預製鋼筋籠，這可以解決現場裝配尺寸誤差或人力成本的問題。這是當前建國工程在實踐模矩化概念的嘗試。建築師在設計時應考慮後續施工問題，複雜的自由曲線設計實際上可以通過 BIM 模型分析，找到模矩化分割的切入點，可以在工廠預製的部分盡早製造，找到最有效且最不容易出錯的施工方法。通過數位方式，將設計成果轉化為實際的過程。

智能製造是可以實現的。然而，今天討論的所有內容實際上很難引入行業，需要改變整個產業鏈的服務流程才有可能實現。為了實現這一願景，需要升級技術、培訓工作人員，制定新的標準和規範，建立適當的監管機制，以確保安全和可持續性。此外，還需要與不同利益相關者合作，包括政府、建築師、施工商和材料供應商，共同推動這一變革。這需要時間和協同努力，但最終可以實現更智能、模矩化和零碳的建築營造產業。

施宣光教授：

智慧建造實際上需要與設計緊密結合。將人工智慧(AI)與建築信息模型(BIM)相結合以實現智慧建造是關鍵，而這一整合應該從設計階段開始執行。數位化建造流程的推動需要從教育領域入手，目前的建築系教育往往過於專注於建築設計，這需要改進。將數位建造引入學生的設計課程，為學生提供了優秀的教學示範。探討如何讓未來的建築系學生更好地了解智慧製造的議題。

淡江大學的陳珍誠教授是台灣學界探索智慧建造的重要學者之一。探討如何將技術研發流程應用於設計領域。為此，學校應該建立一個智慧製造的建築設計典範。建築系學生常常感到建築設計這門課程讓他們喘不過氣來，但如果能夠將真實的數位構建與設計課程結合起來，就可以實現更好的學習效果。

中國大陸花了 30 年的時間超越了台灣 60 年的技術發展，甚至超越了西方國家花了 120 年甚至更多時間的智慧建造成果。20 年前，智慧建築領域的發展理念才剛剛傳播到事務所，人們一直在思考和緊隨技術的步伐，好像怕跟不上。然而，事實並非如此，只要踏實一步一步地前進，就能慢慢迎頭趕上國際發展的步伐。

智慧建造與設計的整合至關重要，從教育開始推動數位化建造流程，並引導學生更好地理解智慧製造的概念。學校應該建立智慧製造的建築設計模式，以提高學生的學習效果。同時，應該認識到中國大陸在智慧建造領域的快速發展，學習能夠導入台灣環境的技術應用。

戴育澤建築師：

近期，AI 在設計領域的應用成為了炙手可熱的話題。對於建築事務所而言，如何真正引入 AI 應用到設計流程中，成為當前迫切需要探討的目標。事務所目前主要關注 BIM 平台的應用，取代了以往的 CAD，不再需要手繪 2D 圖。透過 BIM，建築模型剖面的一個操作就能生成相關的圖紙，然而，如果缺乏有效管控，這些圖紙可能會在未經充分確認的情況下交付給業主。這引發了一個問題，為什麼引入先進的數位技術後，圖紙卻變得粗糙。

對於建築事務所而言，BIM 已經成為一種標誌，但未來社會住宅等案件的要求都包括交付 BIM 模型。這要求設計端、營造廠、以及維護管理端都能夠操作 BIM。然而，這些模型往往僅被視為交付的一部分，而未被充分應用。政府應建立流程與制度，例如透過社會住宅項目作為示範，利用政策、法令和獎勵措施，建立整體生態系結構。

設計者、營造廠、教育機構，對智慧建造發展帶來的意義可能存在差異。對於設計者而言，智慧建造可以提供更多的數據和工具，以改進設計過程。對於營造廠而言，智慧建造意味著使用現代技術和工具，如建築資訊建模（BIM）、自動化設備和監控系統，以提高建造效率、降低成本、減少浪費和提高工人的安全性。在教育領域，智慧建造可以為學生和專業人士提供更多的學習機會。但他們需要共同的觀點和看法，以真正改變產業生態。因此，我們需要明確這些共同觀點，這將成為引領改變的關鍵。

當討論數位建造時，不僅僅是要提高現有建造方式的效率，更要思考這些技術是否能實現過去無法實現的工法或製造方法。個人傾向於思考如何透過這些技術來創造新的模式，而不僅僅是解決問題。此外，應謹慎將大陸的實踐方式套用到台灣，需找到適合台灣環境的營造模式。數位建造的應用不僅僅關於提高效率，更應該關注如何創新和改變建築設計和建造的方式。透過明確共識和緊密合作，可以實現這一目標，使建築行業在數位時代中持續發展。

附錄五 期中審查意見與回覆

內政部建築研究所委託之專業服務案 期中審查建議回覆表		
計畫名稱	驅動建築產業創新之數位轉型先導研究計畫-以社會住宅應用為例	
執行期間	112 年 5 月 24 日至 112 年 12 月 31 日	
期中報告	112 年 8 月 23 日	
計畫主持人	成大建築系 鄭泰昇 教授	
預期成果	1. 數位轉型相關之工具、平台與前瞻數位技術盤點。 2. 數位轉型於建築與營建工程的挑戰、價值與課題分析。 3. 舉辦四場國內建築產業數位轉型相關之論壇/座談會(二場專家學者座談會、二場數位論壇)。 4. 建築產業創新數位轉型建築作業流程模擬與設計案例操作。 5. 建築產業數位轉型政策分析與策略規劃建議。	
審查委員	審查委員意見	廠商回應
李仲昀	1. 從數位設計角度出發，探討 AI 在公共部門的應用潛力，尤其是結合 Dynamo 和參數化設計，建議提供更詳細的報告，以豐富國內數位設計的參考價值。 2. 考慮 AI 在不同階段的應用，包括模型建立、規劃、工程成本控制、招標、採購、施工和數位製造流程。利用 AI 來提取和傳遞參數信息，以供後續階段使用。 3. 鑒於國內建築業實現淨零碳目標的趨勢，政府實施能耗評估和低碳建築政策，需要在建築設計和運營管理等多個方面強化合作和溝通。AI 技術可能在整合和優化邏輯判斷方面發揮關鍵作用，尤其隨著淨零碳趨勢的增強，	1. 會提供更詳細的 Dynamo 技術報告。 2. 數位轉型是長期以來的議題，但是否應該與淨零轉型結合在一起。個人強調淨零轉型的目標主要在於減少建築對環境的影響，而數位轉型則更側重於降低作業工作流程的成本。因此，儘管本計畫未探討淨零轉型，但在設計過程中進行環境效能分析是必要的。

	建築設計和管控變得更加複雜和重要。	
林祐正	1. 近年來國外建築產業數位轉型執行逐年提高，本計畫執行成果將有助於國內數位轉型推廣。 2. 建議補充說明數位轉型在國內外建築產業之應用現況。 3. 請補充說明國內建築產業數位轉型發展之困難及挑戰。 4. 請詳細論述國內建築產業數位轉型策略規劃及建議。	1. 會後續進行更深入的研究與論述。
洪迪光	1. 對於人工智慧生成的設計作品的版權認定，需要進一步研究，特別是當生成作品與他人作品相似時，可能引發侵權和抄襲問題。設定生成方式時必須謹慎考慮，並確定版權歸屬。在生成複雜作品時，需要專業人士的驗證，以確保品質和正確性。台灣的法規和地方情況必須納入數位轉型研究考慮，並需要檢討法規以適應使用人工智慧的情況，以減少誤差。機器在營建領域的自動化對施工安全性至關重要，特別是面對勞工和材料短缺情況。技術成熟度和應對工地現場複雜性是需要關注的問題，引發廣泛討論。	1. 建築師和工程師與 AI 的合作也將走向這種情況，隨著使用時間的增長，將更好地了解如何運用 AI。儘管缺乏足夠的基礎，但這種合作關係的運作方式將隨著實踐而逐漸清晰。此外，對於未來創意是否具有爭議性，也難以提前作出確切預測。
楊智斌	1. 本案的執行進度尚符預期，惟後期時間短，工作項目多，建議留意。 2. 本期中報告的文書編輯建議強化，P. 18 19 與 P 34 35	1. 針對內容會再修正與後續進行更深入的研究與論述。

	重複，P. 32 格式有問題、P. 34 圖名與編號有問題，部分圖沒有引用來源等。 3. 第二章的相關文獻與發展現況，建議可以回顧近來常見的文獻回顧或文章，增加分析的廣度。 4. 第三章相關技術的盤點，建議可以了解國內實務界或學術界的現況。 5. 產業需求調查，目前停以論壇方式進行，如何歸納成明確的需求，建議可以思考。 6. 第五章提出的流程具有價值，惟如何應用，實作及文字表達讓讀者理解，建議強化。	
蘇瑞育	1. 在應用設計中，人工智慧的流程分散且孤立，迫切需要建立全面的指南和流程，以提供參考和借鑒。清晰的指南和流程對於解決這個問題至關重要。 2. 生成式人工智慧在建築和室內設計等領域廣泛應用，但在其他工程領域（如土木工程和橋樑設計）中受到語義識別的限制，應用範圍有所受限。需要深入探討這些限制和潛力。 3. 平衡原創和借鑒之間的問題以及選擇合適的關鍵詞組合對於結果的多樣性有重要影響。因此，在使用指南中需要更深入的解釋和指導。 4. 期待研究團隊開發將 ChatGPT 連接至私有數據雲	1. 會後續進行更深入的研究與論述。 2. 土木工程領域應用較少一事，建築界的圖像資料較為豐富，而土木界則逐漸迎頭趕上，這歸因於文本生成的興起。雖然過去已經存在資料庫，但未來的資料庫不再僅止於儲存數據。未來的資料庫將能夠解讀圖像內容。因此，建議大型企業應運用 AI 來解讀其公共工程圖面，並自動為新進人員生成文本解釋，而不僅僅依賴於圖面。這個概念的重要性不容忽視。

	的方式和流程，以提高生產效率和效益。這對中小企業將具有參考價值。此外，考慮到 ChatGPT 的付費模式，值得探討是否存在其他開源的生成式人工智慧方法。	
周光宙	1. 研究項目多元、具體、開創性，並在實務中可行，取得符合預期的階段性成果。 2. AI 和碳排是當前產業重要趨勢，建議將 AI 應用於碳排計算、能效分析以提高其價值和效益。	1. 會後續進行更深入的研究與論述，在設計過程中進行環境效能分析是必要的。
謝博全	1. 提到研究過程過於偏向設計應用，需要更多關於非 Autodesk 工具的考慮，並希望看到更多延伸應用的說明，特別是在數位雙生和物聯網領域。 2. 強調在社會宅案例中使用 ChatGPT 協助模型設計，期望在期末報告中看到更完整的說明，尤其是有關本土化數位轉型建築作業流程的信息。 3. 希望在期末報告中看到更完整的彙整，特別是關於研究流程圖和實際應用各項技術及數位轉型推動架構的成果。	1. 會後續進行更深入的研究與論述。
黃郅堯	1. 強調BIM和AI是數位轉型的工具，而不應該被神化或過度誇大其作用。重要的是回歸數位轉型的初衷，並不斷提高營建品質。 2. 同意與民間產業加強合作，特別是解決工作量增加的問	

	題，並推進實際數位轉型的發展。	
林自勤	1. 第五章中的「台南市新都心段社會住宅」實例操作內容需要更詳細的特性說明，以及該章節中的通用性流程應該明確顯示如何應用於該住宅工程。 2. 基地資料有不正確的地理位置和未呈現樓層示意圖的問題，需要進行修正。 3. 補上研究計畫摘要中的缺失部分。	1. 針對內容會再修正與後續進行更深入的研究與論述。
林明煌	1. 強調 AI 在建築設計中的潛力，特別是自動生成方面，但也指出了工程建模的困難。建議考慮引入空拍機技術，以簡化建模過程，降低工程人員的工作負擔，並提高效率和準確性。	1. 會後續進行更深入的研究與論述。
蔡綽芳	1. 在社會住宅規劃中確立模範化建設標準的重要性，提出借鑒像日本的「模矩」概念或台灣的停車位尺寸作為基準。同時，指出這種模範化標準不僅適用於設計階段，還可以擴展至建築的整個生命週期，包括製造和自動化施工，有望推動自動化的發展。建議在模擬分析中納入模矩的概念。	1. 會後續考量以停車位尺寸作為模矩的基礎，進行更深入的研究與論述，
王榮進	1. 數位轉型和智慧施工對建築業至關重要，但實際應用卻有限。建議需要共同參與和思考，特別是針對預鑄工法的建築物設計。	

	2. 傳統建造業通常根據設計圖施工，而日本的方法則依項目思考如何降低成本，鼓勵建築師從預鑄的角度設計建築。 3. 新加坡的社會住宅建設需要模範採用預鑄工法，但需要建立整體產業體系，專注於各自的專業，包括設計、生產和施工。 4. 建議將建築構件的生產專業化和自動化，以建立一個完整的產業鏈，類似鋼構行業，讓不同專業機構分別負責設計、生產和施工，而不需要由同一公司負責所有。	
--	---	--

附錄六 期末審查意見與回覆

內政部建築研究所委託之專業服務案 期末審查建議回覆表		
計畫名稱	驅動建築產業創新之數位轉型先導研究計畫-以社會住宅應用為例	
執行期間	112 年 5 月 24 日至 112 年 12 月 31 日	
期末報告	112 年 11 月 24 日	
計畫主持人	成大建築系 鄭泰昇 教授	
預期成果	1. 數位轉型相關之工具、平台與前瞻數位技術盤點。 2. 數位轉型於建築與營建工程的挑戰、價值與課題分析。 3. 舉辦四場國內建築產業數位轉型相關之論壇/座談會(二場專家學者座談會、二場數位論壇)。 4. 建築產業創新數位轉型建築作業流程模擬與設計案例操作。 5. 建築產業數位轉型政策分析與策略規劃建議。	
審查委員	審查委員意見	廠商回應
溫琇玲	1. BIM 是建築產業數位轉型的基本工具，除了建 BIM 模之外，還須從建築全生命週期去考量，例如建築數據庫、智慧管理平台、智慧營造等各面向的推動。 2. 本計畫內容彙整了許多世界先進的前端科技，應用這些科技或工具如何協助我國建築產業數位轉型，建議要有更多實務上的說明。	1. 本案在期中與期末報告中運用不同的案例實作，顯示本計畫所研發的人工智慧設計流程可以成功應用於各種社會住宅，甚至其他公共工程。
江志雲	1. 請確認轉換 Google Earth 的 Data，若商轉是否有權益利益衝突問題？ 2. Revit 的 2024 新版，在數地地形方面有重大改變，請參考。	1. 會參考意見調整論述。
施宣光	1. 目前主要聚焦在設計端，建	1. AEC 產業正經歷結構性轉

	議在後續計畫中擴展研究範圍至整個建築產業，探討數位轉型對產業結構和供應鏈商業模式的可能影響。同時透過政策引導，促使產業實現數位正義的可行途徑。 2. 建議分析不同專業者之間的商業運營模式，特別關注技術革命對其可能帶來的轉變，進行前瞻性研究。	型，不只是在設計創意發想階段，成大內部也在探討包含如何在設計工程討論會議中應用自動化生成會議紀錄並與 BIM 直接連結，進而產生計畫報告書。這些變革不僅影響 AEC 產業，也將對所有產業帶來改變。
謝博全	1. 這些技術應納入大學教育課程，特別針對事務所和室內設計公司進行培訓。這有助於在台灣低設計費且競爭激烈的環境中，提高效率和價值的能力，對臺灣建築事務所行業產生積極影響。 2. 在報告書第三章第五節中談到 Digital Twins 的發展與應用，建議計畫團隊思考在數位雙生的管理上如何配套應用 AI 工具，以提升效能並擴展應用範疇。 3. 對於目前使用 BIM 工具，例如 Revit 的 Dynamo 參數腳本做空間組合的生成，是否研究限制僅適用於 Autodesk 工具？有必要探討這項研究是否局限在特定的 Autodesk 工具上，或者是否有可能應用於其他類似工具。	1. 會參考意見調整論述。 2. 臺灣不只是學術界在人工智慧的進展，許多建築事務所已成立 AI 專案小組，積極備妥應對 AI 帶來的設計轉型，從本計畫的幾個 AI 建築師論壇可以得到印證。
邱奕聖	1. 利用 AI 技術實現建築行業的數位轉型，所面臨的問題和挑戰是什麼？未來應該使用什麼資源來解決這些問題？目前的技術水平能夠達到什麼程度？在規劃設計方面，	1. 面對工地缺工和建築事務所缺乏人才的雙重困境，數位轉型及淨零轉型等新技術的引入使所需技能變得更加多樣。臺灣需為未來人口減少後，事

	可以期望降低多少成本？ 2. 利用 AI 技術，目前可以完成哪些建築項目內容，並且在規劃階段減少多少時間？	務所或設計公司將失去 1/3 的人力的情況做好準備，而剩下的 2/3 人力則需透過 AI 引入提升生產效能。
張渝欣	1. 本案以社會住宅為例，這類住宅屬於出租型，並具有社會性質，其中至少百分之 40 的空間是供一般民眾使用。針對這方面的特點，相應的報告內容建議是否能在實際應用中，專注於社會住宅的特性，並在興建的過程中提供相對應的說明和應用。	1. 會參考意見調整論述。
陳俊宏	1. 簡報在數位轉型說明上獨有見解，結合實際案例，充分說明作業流程符合課題。	
吳念穎	1. 數位轉型結合最新技術的做法很好。 2. 在考慮整合新技術時，需要關注與營建工程施工相關的職業安全問題。	1. 會參考意見調整論述。
劉同誠	1. 數位化與 AI，已經成為建築產業在提案、設計、建造、使用、拆除之建築週期中不可或缺的一部分，藉由本計畫推廣建築產業創新，實為政府推動建築產業創新之重要工作。本案研究內容廣泛，不僅僅包含社會住宅應用，可以做為未來各項公共建設發包前中後之操作參考。 2. 數位轉型在設計階段或有先驅者已經進入領域，提供產業界進入轉型之參考或教程。而製造部分，在目前營建產業在臺灣各種特殊條件	1. 數位轉型將整合淨零轉型和未來的金融轉型。這三大轉型中，AI 將扮演關鍵角色。目前實作案例著重於容積的最佳化，未來將逐漸加入碳足跡和預鑄等設計最佳化生成條件。 2. 臺灣可以發展一個 TaiwanAEC_GPT 人工智慧平台，臺灣站在轉型的有利位置，特別是在本土化 Data 方面。集結所有社會住宅的 Data 建立一個大型資料庫，透過機器學

	下，較難以達成計畫目標。如何將營建產業導入智慧化，應為政府面對目前缺工料漲、ESG 與減碳各項議題中，突破目前困境之重要議題，建議將 AI 智慧建造部分，納入本案結論與後續研究建議，作為委託單位之推動參考。	習，可成為臺灣 TaiwanAEC_GPT 的重要本土化資源。這對於 AEC 數位轉型來說是一個難得的機會。
吳韻吾	1. 本案執行研究完整深入，宜配合既有成果持續發展。 2. 建議未來推廣對象增加各大學院及老師學生儲備人才。	
蘇育瑞	1. 本計畫的數位轉型資料收集的範圍相當豐富，但更側重於 AI 領域方面的研究。而日本在推動營建數位轉型側重於提高生產力，以後我國的營建數位轉型發展也應建立特定目的。 2. 本計畫的 AI 建築師論壇資料整理相當完整，給未參與論壇者也能了解論壇的重點論述。 3. 第五章利用 Dynamo 腳本的圖片礙於篇幅解析度皆不足，無法讓人了解內容，附圖已經沒有意義，建議別種呈現方式，或附檔案參考。	1. 會參考意見進行調整。

參考書目

- Autodesk, State of Design & Make, Annual Global Report, <https://www.autodesk.com/insights/research/state-of-design-and-make>, 2023
- Bijin Jose, "Alice, Racter and Jabberwacky: A timeline of AI chatbots before ChatGPT and Bard.", 2023
- "ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue.", <https://openai.com/blog/chatgpt/>, 2022
- Damir Yalalov, "Gen-1: AI Generates New Videos From Existing Ones by Combining Prompts and Images.", 2023
- Diffusion Model <https://arxiv.org/abs/2209.00796>
- CLIP by OpenAI <https://arxiv.org/abs/2103.00020v1>
- <https://github.com/simonsanvil/DALL-E-Explained/blob/main/README.md>
- 小庫科技 <https://www.xkool.ai/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=eilmigjwL4>
- <https://ynews.page.link/ABDtn>
- <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20230727002561-260408?chdtv>
- <https://www.youtube.com/watch?v=g5IzgtvrT5o>
- <https://www.youtube.com/watch?v=L1jeNWOT5rg1>
- <https://www.youtube.com/watch?v=7QWYyFq9ZvI>
- <https://www.inside.com.tw/article/32288-stability-ai-releases-its-latest-image-generating-model-stable-diffusion-xl-1-0>
- Panda, "Adobe 發表生成式 AI 模型「Firefly」，輸入指令即可生成各種創作", 2023
- <https://www.4gamers.com.tw/news/detail/57393/adobe-firefly>
- Microsoft, <https://dynamics.microsoft.com/zh-tw/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/>
- Deng, M., C. C. Menassa, and V. R. Kamat, "From BIM to Digital Twins: A Systematic Review of the Evolution of Intelligent Building Representations in the AEC-FM Industry", *ITcon* Vol. 26, 2021.
- Petersen, K. H., Napp, N., Stuart-Smith, R., Rus, D., & Kovac, M, "A review of collective robotic construction." *Science Robotics*, 4(28), eaau8479, 2019
- Melenbrink, N., Werfel, J., & Menges, A., "On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building." *Automation in construction*, 119, 103312, 2020
- Gharbia, M., Chang-Richards, A., Lu, Y., Zhong, R. Y., & Li, H., "Robotic technologies for on-site building construction: A systematic review." *Journal of Building Engineering*, 32, 101584, 2020
- 鄭泰昇(客座編輯), 《建築\元宇宙》專輯, 建築師雜誌, 2023 年 1 月.
- 鄭泰昇, 《AI 人工智慧輔助 BIM 衍生設計之研究》, 科技部補助專題研究計畫成果報告, 2022 年.
- 鄭泰昇, 《數位學生次世代智慧城鄉應用服務系統平台研究》, 科技部補助專題研究計畫, 2023-2024 年.
- 鄭泰昇, 《BIM 導入台灣綠建築設計案例實作研究》, 內政部建研所, 2014 年 12 月.
- 鄭泰昇, 《台灣 BIM 元件通用格式與建置規範研究》, 內政部建研所, 2015 年 12 月.
- 鄭泰昇, 《BIM 雲端作業之先導應用與 AEC 產業 4.0 升級策略規劃研究》, 內政部建研所, 2016 年 12 月.
- 杜怡萱、顏嘉慶, 《成大建築系的數位轉型之旅》, 台灣建築學會, 2022 年 4 月
- 顏嘉慶, 《整合工業機器人的建築生產流程》, 建築師雜誌, 2021 年 7 月
- 龔智群, 《人工智慧輔助 BIM 建築設計流程》, 2023 年 7 月