

(科技部 RGB 編號)
PG11403-0216

建築設計低碳高效多目標 決策輔助的 AI 代理系統

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 114 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)

(科技部 RGB 編號)
PG11403-0216

建築設計低碳高效多目標 決策輔助的 AI 代理系統

計畫主持人：施宣光

共同主持人：嚴國雄

研究員：陳秀杏、林裕傑、陳錚、杜京霞

研究助理：郭柏賢

研究期程：中華民國 114 年 3 月 114 年 12 月

研究經費：新臺幣 141 萬 6 千元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 114 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

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	1
第一章 緒論.....	5
第一節 計畫背景與動機.....	5
第二節 系統架構與運作機制.....	6
第三節 計畫流程.....	10
第二章 文獻回顧與探討.....	13
第一節 AI AGENT 架構.....	13
第二節 檢索增強生成 (RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION, RAG)	15
第三節 AI 圖像生成.....	18
第三章 研究方法與系統設計.....	23
第一節 參數化設計工具與 BIM 工具.....	23
第二節 LOD 階段意義.....	27
第三節 整體架構與運作流程.....	37
第四節 AI AGENT 之角色與分工.....	43
第五節 人機協作流程：整合建築師的專業判斷.....	46
第四章 系統實作與效益評估.....	59
第一節 AGENT 指導原則與提示工程.....	59
第二節 檢索增強生成 (RAG) 應用.....	67

第三節 AI 圖像生成 COMFYUI：從技術平台到建築設計工具	72
第四節 系統的可觀察性與可追蹤性	77
第五節 系統效益評估：與通用大型語言模型之比較	80
第五章 研究發現與討論	85
第一節 參數化設計流程回顧與系統運作說明	85
第二節 人工智慧代理框架（AI AGENT FRAMEWORKS）的優勢與局限性	88
第三節 MCP 的架構和互通性	92
第四節 AI 圖像生成於社會住宅設計之應用	96
第六章 結論與建議	107
第一節 結論	107
第二節 建議	111
參考文獻	113
附錄一、審查會議資料	119
期中審查會議記錄與回覆	119
期末審查會議記錄與回覆	126
附錄二、專家諮詢與成果會議	139
第一次專家座談會	139
第二次專家座談會	144
研究成果說明會	151
附錄三、工作會議	169
附錄四、建築 AI 代理系統使用者操作手冊	191

表次

表 2.3.1 擴散模型技術發展與適用場景	19
表 2.3.2 擴散模型選擇策略（以建築師操作角度）	20
表 3.4.1 代理人角色定義	44
表 4.3.1 「LOD 階段→生成需求→Workflow 配置」的對應框架	72
表 4.3.2 ComfyUI 常見問題與解決方案	76
表 4.3.3 ComfyUI 優點歸納	76
表 4.5.1 AI 代理系統與通用大型語言模型之效益比較.....	80
表 5.4.1 設計階段建議模型組合	97
表 5.4.2 ComfyUI 階段參數建議值	99

圖次

圖 1.1.1 本研究系統架構流程.....	6
圖 1.3.1 研究計畫流程.....	10
圖 2.1.1 AI Agent 的任務評估示範	14
圖 2.2.1 RAG 檢索增強生成流程.....	15
圖 2.2.2 RAG 提示範本，從知識來源微調到目標格式.....	17
圖 3.2.2 LOD 模型細節發展程度	28
圖 3.2.3 LOD 100 量體生成邏輯	29
圖 3.2.4 LOD 100 量體模擬與可取得資訊	30
圖 3.2.5 LOD 150 相關資訊框架建立	31
圖 3.2.6 LOD 150 初步結構網格假設	32
圖 3.2.7 LOD 200 外覆系統規劃概算（本研究繪製）.....	33
圖 3.2.8 LOD 200 量體假設.....	35
圖 3.3.1 AI 代理系統流程架構.....	38
圖 3.3.2 運作流程範例	42
圖 3.4.1 多代理人的角色與分工	44
圖 4.1.1 專案總監代理人的流程控制	61
圖 4.2.1 法規文本結構化解構	68
圖 4.3.1 ComfyUI 的文生圖工作流程	73
圖 4.3.2 ComfyUI 的圖生圖工作流程	74

圖 4.3.3 ComfyUI 的局部重繪工作流程	74
圖 4.3.4 在 ComfyUI 使用設計底圖並透過 ControlNet (Scribble)的精準控制生成的立面風格圖像.....	75
圖 4.3.5 在 ComfyUI 使用 Outpaint 擴展圖面	75
圖 5.2.1 ReAct 與其它方法的比較	89
圖 5.2.2 AI Agent 工作流程	90
圖 5.3.1 API vs MCP.....	92
圖 5.3.2 MCP 架構	93
圖 5.3.3 MCP 工作流程	95
圖 5.4.1 使用 LOD100 的量體為底圖進行圖像生成	99
圖 5.4.2 基本流程-使用 SDXL+ControlNet+IP-Adapter.....	100
圖 5.4.3 基本流程-使用 SDXL+ControlNet	101
圖 5.4.4 使用 LOD150 的量體以鳥瞰角度為底圖進行圖像生成	101
圖 5.4.5 使用 LOD150 的量體為底圖以人角度進行景觀圖像生 成.....	102
圖 5.4.6 使用 LOD150 的量體為底圖在 gemini AI studio 進 行圖像生成	103
圖 6.1.1 LOD150 階段模型示意	107
圖 6.1.2 直覺式 UI 介面展示.....	109

摘要

關鍵詞：建築設計、AI 代理系統、多目標決策輔助、建築資訊模型 (BIM)、MCP 代理框架

一、研究緣起

隨著全球對永續發展與淨零碳排放的重視，建築設計需在低碳環保、成本控制、建築美學與法規合規性等多目標之間取得平衡。然而，現有設計工具難以在初期階段提供全面的決策輔助，導致試錯成本增加，且可能因法規理解不足而面臨違規風險。此外，低碳建築的推動需要即時且準確的碳排放評估，而傳統設計流程往往無法滿足這一需求。

二、研究架構

本計畫提出 AI 代理架構如下，以提升設計效率並減少違規風險。透過 AI 代理系統的應用，提升建築設計的智慧化與數位化水平，降低碳排放，並優化成本與法規合規性，推動建築產業向永續發展邁進。

(一) 探討 AI 代理系統之架構與可行應用範疇，整合人工智慧 (AI) 與建築資訊模型 (BIM) 技術，於建築概念設計階段提供法規檢核、低碳設計評估及造價預測等輔助資訊。

(二) 建立 MCP 代理框架與模型間的協作協定，促進 AI 代理系統在建築設計應用中的通用性與穩定性發展。

(三) 發展直覺式介面化操作機制，使建築師能透過使用者介面進行 AI 圖像生成，降低技術門檻，提升建築視覺化設計效率，並強化與業主間的溝通品質。

三、研究成果與發現

本研究以「社會住宅」為案例，聚焦設計前期（LOD100~LOD200），建構一套結合參數化設計與人工智慧（AI）之 BIM 整合流程。方法上，透過以 Rhino Grasshopper 進行跨平台資料交換，並以「資料交換斷點」設計參數欄位，確保幾何與屬性的一致性與可追溯性。流程分為量體規劃（LOD100）、結構系統（LOD150）、外殼立面（LOD200）三階段；同時導入 AI Agent 進行性能、造價與碳排規劃與設計調整建議；在視覺化上，以 ComfyUI 為核心，將生成流程封裝為標準化 JSON 工作流並介面化呈現，使用者可於免安裝、免設定的環境中直接進行可視化操作。

研究結果顯示：(1) 參數化可將傳統「幾何驅動」轉為「資料導向」流程，顯著提升模型回溯性、透明度與修改效率，降低反覆重建成本；(2) 在 HITL 機制下，AI 作為判斷輔助者可自動化重複任務並提升決策精度，形成設計—造價—結構—碳排的迴圈資料流；(3) 清楚定義的資料交換斷點有效降低跨平台轉換誤差與資料丟失，並為 AI 演算提供穩定介面；(4) 面對既有 AI Agent 框架於模型耦合、上下文管理、互通性與安全監控的侷限，採用 Model Context Protocol (MCP) 可落實模型／工具解耦、結構化上下文與可稽核執行，強化可觀察性與可維運性；(5) 於社宅情境提出符合法規與授權的影像生成策略與 SOP，可在概念發散到細部深化間取得速度、控制度與合規性多目標決策的平衡。

四、建議事項

建議一：擴大支援多種 BIM 與 AI 間交換格式並推動產業實證回饋（立即可行建議）

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：建築產業界（民間公協會）

為強化 BIM 與 AI 代理系統之推廣效益，建議以 IFC 或 MCPJSON 為共通交換格式，擴大支援多款主流 BIM 工具，並啟動產業實證與回饋機制。短期內優先完成 Revit 與 Archicad 系統整合；同步評估開源 OpenBIM 工具（如 Blender、FreeCAD 等）之技術可行性及生態整合策略。

透過多樣化實務場景的端到端應用示範，搭配使用者回饋、系統迭代及成效驗證，形成「回饋—修正—再驗證」的持續優化閉環。此舉有助加速 AI 代理系統在建築設計與審查流程之落地，並提升與產業實務需求的契合度，擴大推廣效益。

建議二：以 AI 知識圖譜之方式將條文結構化，並廣納建築實務意見，擴充地方法規與函釋知識庫（中長期建議）

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：建築產業界（民間公協會）

以 AI 知識圖譜方式將條文結構化，建立規則關聯與邏輯推理節點，使法規資料可檢索、可追溯，並具 AI 推論與自動檢核應用潛力。廣納建築實務意見，擴充地方法規與函釋知識庫，提升審查銜接度。可分階段擴充六都及重點縣市的地方法規與常見函釋，形成統一、可操作且可延伸至智慧建築管理的法規知識庫。

第一章 緒論

第一節 計畫背景與動機

為面對 2050 淨零碳排政策與全球永續發展趨勢，建築設計需同時滿足碳排管、造價控制、法規合規與空間美學等多元目標。然而，在傳統設計流程中，建築師需仰賴經驗與人工比對，在資訊不足下進行初期決策，常導致設計反覆與資源浪費。特別是在 BIM 導入初期的 LOD100 至 LOD200 階段，量體規劃、法規適配、結構網格、外殼立面等關鍵構想尚未具體化，但卻已深刻影響後續設計與工程規劃。

近期大型語言模型（LLM）與生成式 AI 的進展，為上述痛點提供了結構化的解法：一方面，大型語言模型 結合檢索增強（RAG）可將零散的法規條文、碳排係數與造價等資料做整合，可將建築師的「經驗」外化為可查詢的知識流；另一方面，以圖像生成為核心的生成式 AI 可在 LOD100-LOD150 的初期設計階段，快速產出多組外觀與立面構圖方案。若能使用多代理工作流串接，透過自然語言互動、視覺化回饋與等方式提升設計品質、溝通效率與永續指標控制能力。

本計畫旨在建構一套 AI 代理系統，能於 BIM 導向設計流程中針對 LOD100 至 LOD200 階段的設計任務，提供如下輔助（AI 僅提供資訊與建議，由建築師決策主導）：

1. 在 LOD100 階段，透過 LLM 協助建築師解析基地條件與法規要求，分析建蔽率、容積率、日照、退縮等限制，並探索可行容積獎勵方案；生成式 AI 則提供立面意象以強化與業主溝通。
2. 對初步量體幾何資訊進行面積與體積計算，並根據此資訊協助預算初估與工程項目（結構、外殼、機電、內裝、景觀）分配，建立初步造價與碳排控制指標。

3. 在 LOD150 階段協助建築師以結構知識強化的 LLM 建構結構網格，AI 提供梁柱斷面尺寸之建議區間與影響因子說明（如跨距、樓高、使用功能、構造系統等），作為建築師進一步設計決策之參考。
4. 整合結構中心線與外殼模組設定，進行初步構件數量與碳排估算，檢驗是否與 LOD100 階段的指標一致，並提供優化與修正建議。生成式 AI 則提供位面意象強化業主溝通。
5. 至 LOD200 階段，整合結構與外殼 3D 模型後，AI 可對構件資料進行精算與比對，協助確認造價與碳排是否達標，並視需求建議後續優化方案。

第二節 系統架構與運作機制

本計畫所建構之 AI 代理系統採模組化設計，以 Rhino/Grasshopper 為建模環境基礎，整合增強式 LLM、生成式 AI（Stable Diffusion）、C# 參數化控制，以及模型上下文協定（MCP, Model Context Protocol）串聯各模組任務(如圖 1.1.1)。

MCP與AI Agent系統架構流程

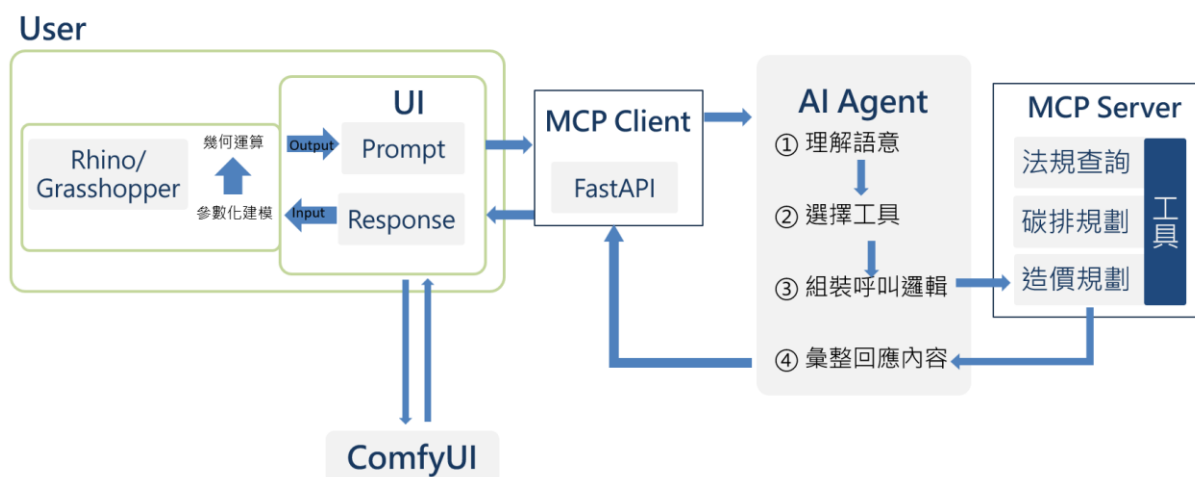


圖 1.1.1 本研究系統架構流程
(資料來源：研究小組自繪)

此系統的運作架構清晰地劃分為三個主要層級：使用者端 (User)、代理核心層 (AI Agent) 與工具層 (MCP Server)、ComfyUI。使用者端模組是系統實現「設計-分析-反饋」迭代迴圈，建築師與 AI 系統的互動模組主要由三個功能單元組成：

1. 參數化建模環境 (Rhino/Grasshopper)

建模環境肩負著參數化建模與精確幾何運算的雙重職責。建築師使用 Rhino 或 Grasshopper (亦可使用其它 BIM 參數化建模軟體) 建立或修改建築量體與細部模型，將其作為設計流程的基礎。在數據輸出環節，模型完成初步建構後，系統可執行幾何運算，將結果 (如體積、表面積、數量等) 數據化後送出至 AI Agent。而在數據輸入環節，使用者接收來自 AI Agent 的決策結果 (Response)，可考慮其建議與實際經驗將其轉譯為參數化建模的輸入指令，從而調整模型設計參數，實現設計方案。

2. 使用者介面 (UI) 與提示詞 (Prompt)

使用者介面 (UI) 是建築師輸入與接收資訊的主要窗口。設計師透過 UI 傳送 Prompt (Output)，內容包括自然語言描述或結構化指令 (例如，提出「減少西向立面碳排，且造價不超過預算 \$X」等多目標設計約束)，或直接上傳幾何運算後的數據。相對應地，UI 負責接收經 AI Agent 處理與整合後的 Response (Input)，這些回應不僅包含優化的文字建議與數據指標，還可能包括直接用於模型調整的參數，呈現給建築師進行決策判斷。

3. 意象生成與視覺化 (ComfyUI)

為了輔助外觀意象的初步設計與溝通，系統特別整合了生成式 AI 技術。透過專門的通訊路徑，系統可呼叫已設定完成之

ComfyUI 等工具，建築師無需在安裝軟體與設計工作流節點，只需上傳設計團隊的模型草圖，即可生成高品質的建築意象圖片。此功能作為設計決策過程中的重要視覺化工具，極大地促進了初步方案的構思與與業主間的溝通效率。

4.MCP 客戶端 (MCP Client/FastAPI)

客戶端扮演著使用者端與 AI Agent 之間高效、標準化的通訊橋樑。它採用 FastAPI 技術實現高效率的 API 介面，並嚴格遵循協定。這確保了前端的服務請求能夠標準化地傳輸至代理核心，同時有效管理與協調不同工具和代理之間的資料傳輸與指令溝通。

AI Agent 決策執行叫用流程為 AI Agent 接收到 MCP Client 的請求後，會啟動一個嚴謹的四步驟決策流程：

- [1] 理解語意：首先，解析使用者透過 Prompt 輸入的自然語言，將其精確分解為明確的設計任務與多目標約束條件（例如，明確目標為「低碳」，並受限於「法規合規」）。
- [2] 選擇工具：依據語意理解結果，AI Agent 會智能判斷完成任務所需的後端專業工具集，並進行定向呼叫（例如，一旦涉及造價問題，即呼叫「造價規劃師」工具）。
- [3] 組裝呼叫邏輯：針對任務的複雜性與各目標的優先順序，AI Agent 會排定工具的執行順序（如先進行基地基本資料收集，再執行成本規畫），並組裝成可被後端伺服器執行的程式邏輯或 API 呼叫序列。
- [4] 彙整回應內容：在接收來自各工具（MCP Server）的計算結果後，AI Agent 負責對這些資訊進行整合與優化，最終生成一個可供使用者端理解、執行，且同時滿足所有多目

標約束的最終 Response 回應。

每個 AI 模組在不同設計階段提供資料分析、法規評估、圖像生成、碳排估算等功能，並以資訊摘要與設計建議形式提供建築師參考，協助其保留主導權、掌握依據、進行設計。例如在 LOD150 階段，AI 可根據建築師輸入的樓高與使用功能，分析可能結構系統的梁柱配置條件，並提供合理的斷面範圍及說明，協助其初步建立結構網格。

本研究強調 AI 角色為「協助建築師決策」，而非替代人為判斷，AI 所提供之建議內容包含參考數據、分析邏輯與設計依據，使建築師能據以判斷是否採納並調整設計方案。透過本系統可建立一套以 BIM 為骨幹、AI 為輔助的多目標優化設計流程。

第三節 計畫流程

本計畫之研究流程(如圖 1.3.1)：

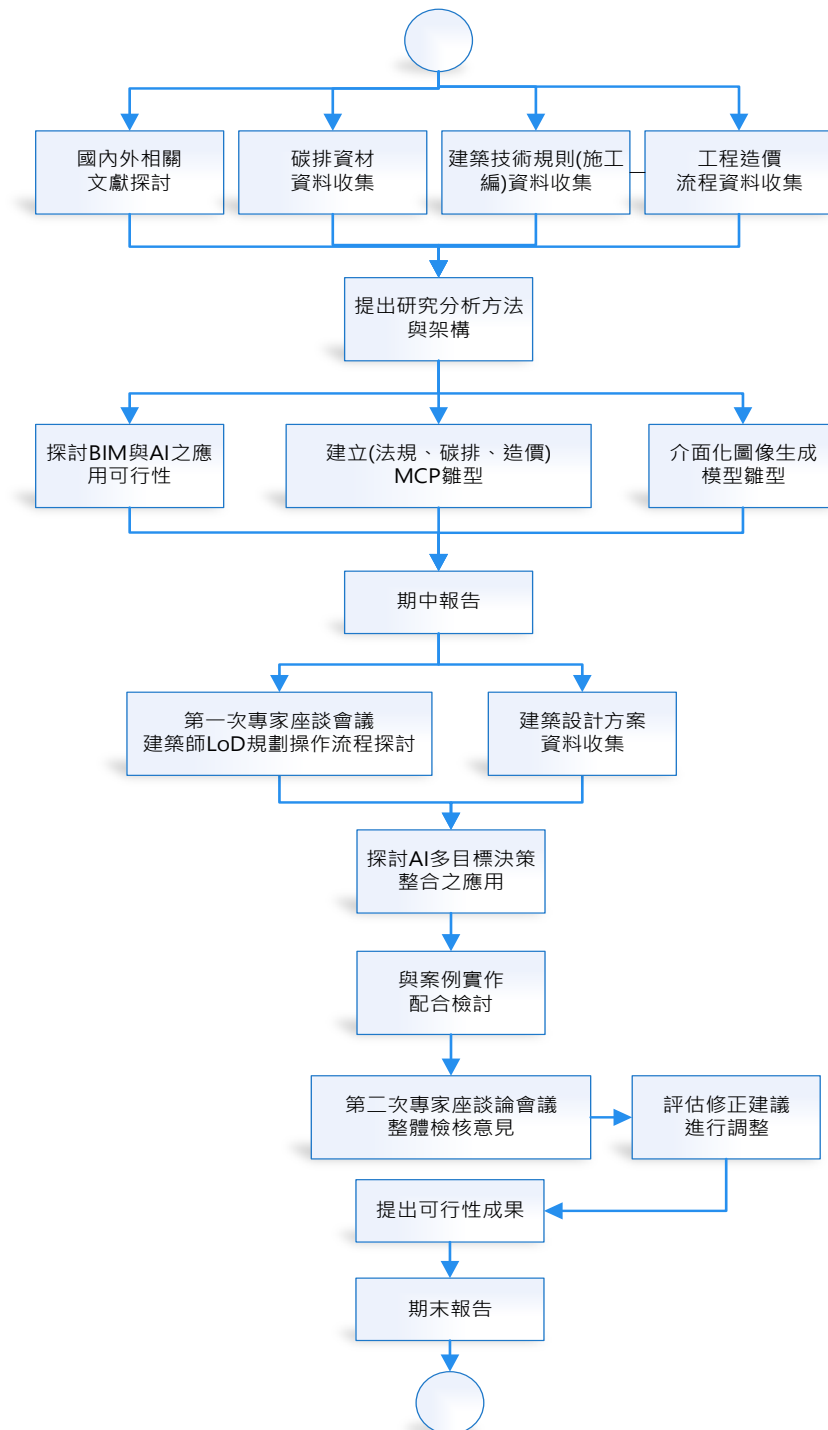


圖 1.3.1 研究計畫流程

本研究旨在建立一個建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統。為確保研究成果的實用性與專業性，計畫將採用嚴謹的分階段流程，涵蓋資料整備、系統雛形建立、專家驗證與成果發表等步驟。

階段一：基礎資料收集與研究方法確立

此階段的重點是為 AI 代理系統奠定必要的知識基礎，並確認研究方法與架構的正確性。

1. 關鍵資料與文獻整備

研究初期將全面蒐集與專案目標相關的基礎資料，包括：

國內外相關文獻探討：廣泛研究 AI 代理系統、參數化設計、低碳建築、多目標優化、圖像式生成 AI 等領域的最新學術與實務文獻。

碳排放資料收集：蒐集內政部建築研究所所函頒之「低碳(低蘊含碳)建築評估手冊中之建築材料的碳排放資訊，作為規劃碳排的基礎。

法規收集：以建築技術規則(施工篇)為此次法規基礎。

工程造價資料收集：以工程會-公共工程價格資料庫為依據，以支援系統的多目標決策中的成本造價規劃。

2. 研究架構與模型建立

在資料整備完成後，將進入研究核心方法的確立與初步模型建立：

提出研究分析方法與架構：根據蒐集的資料與文獻，確立 AI 代理系統的整體架構與分析方法。

探討 BIM 與 AI 之應用可行性：評估將建築資訊模型(BIM)技術整合到 AI 代理系統中的可行性與具體應用路徑。

建立多目標決策雛形模型：針對法規、碳排、與造價等目標，建立初步的多目標決策雛形模型。

介面化圖像生成模型雛形：開發初步的使用者介面 (UI) 和圖像生成模型，運用 Stable Diffusion 與 ComfyUI 等技術，實現設計意象的快速生成與視覺化。

階段二：系統應用整合與專家驗證 (期中報告階段後)

此階段將著重於整合前期開發的雛形模型，並透過外部專業意見進行校準與優化，以形成可行的 AI 輔助決策應用。

1. 專家諮詢與流程定義

與專家詢求案例資源，將專案拆解研究後，召開第一次專家座談會議：針對研究初期成果，邀請業界專家進行諮詢，重點討論建築師 LOD (Level of Development) 規劃與操作流程的研擬，以確保系統流程符合建築師的實際作業習慣。

2. AI 決策整合與案例應用

研擬 AI 多目標決策整合之應用：依據專家建議與 LOD 流程，將法規、碳排、造價等多目標決策模型進行深度整合，形成一套完整的 AI 輔助決策系統。

3. 第二次驗證與調整

召開第二次專家座談會議：邀請專家審視 AI 代理系統在案例實作中的流程，整體檢視並提供意見。

評估修正與議決進行調整：根據第二次專家座談會的意見，評估系統需要進行的最終修正，並調整計畫。

階段三：成果產出與期末報告

在完成所有系統優化後，撰寫研究成果報告並辦理研究成果發表。

提出可行性成果：產出現階段 AI 代理系統。

第二章 文獻回顧與探討

第一節 AI Agent 架構

人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 在過去十年間，已迅速成長為最具代表性的技術之一，並廣泛應用於各種日常與專業領域之中。從日常的聊天機器人，到醫療診斷中的放射影像判讀與疾病風險預測、金融分析中的信用評分與異常交易偵測、製造業的預測性維護與品質控制、零售與行銷中的推薦系統與顧客行為分析、智慧城市中的交通流量預測與公共安全監控，以及教育科技中的自適應學習與自動評分等運用，人工智慧系統已經無所不在。而這項技術能有此突破性的發展，關鍵在於深度學習 (Deep Learning)。

自 2010 年代以來，隨著資料規模的大幅增加、演算法的不斷優化，以及 GPU 計算能力的顯著提升，神經網路在處理複雜任務方面的表現已超越傳統機器學習方法 (LeCun et al., 2015)，並在以下領域有了重大進展：利用卷積神經網路 (Convolutional Neural Networks, CNN) 進行高精度的影像辨識 (Krizhevsky et al., 2012)、透過循環神經網路 (Recurrent Neural Networks, RNN) 與長短期記憶 (Long Short-Term Memory, LSTM) 模型提升語音辨識能力 (Graves et al., 2013)，以及以 Transformer 架構為基礎的大型語言模型 (Large Language Models, LLM) 顯著改善自然語言的理解與生成能力 (Vaswani et al., 2017)。

在這些技術發展的基礎上，人工智慧系統正逐漸朝向更具自主性與目標導向的方向邁進，人工智慧代理 (AI Agent) 就是其產物之一。AI Agent 是一個自主系統，它可以感知環境狀態、做出決策並採取行動來實現特定目標 (Russell & Norvig, 2020)。它的核心特徵包括「主動性」(proactivity)、「任務導向」(goal-oriented behavior) 以及「可組合性」(composability) (Wooldridge, 2009)。在 AI Agent 的架構中，LLM 扮演語言理解與推理的

角色，負責分析語意，將輸入的自然語言解析為結構化意圖、判斷任務需求，並生成具備邏輯的回應輸出（Brown et al., 2020）。

LLM 本身是一種以深度學習為基礎，經由大規模文本語料訓練而成的生成式模型，具備出色的語言表達、問答與推理能力（Vaswani et al., 2017），但其行為仍屬於「被動」的模式：僅在接收輸入後產生文字輸出，缺乏規劃、決策並執行工作流程以達成目標的能力。相較之下，AI Agent 架構涵蓋的不僅是語言模型本身，而是更為複合的系統組合，其具備記憶（memory）、工具調用（tools）、推理與規劃（reasoning and planning）以及自主性（autonomy）等能力，透過後端工具呼叫來取得所需資料、優化工作流程並主動完成多步驟的任務執行（Yao et al., 2022；Mialon et al., 2023），以實現複雜的目標，而非僅回應單一問題。

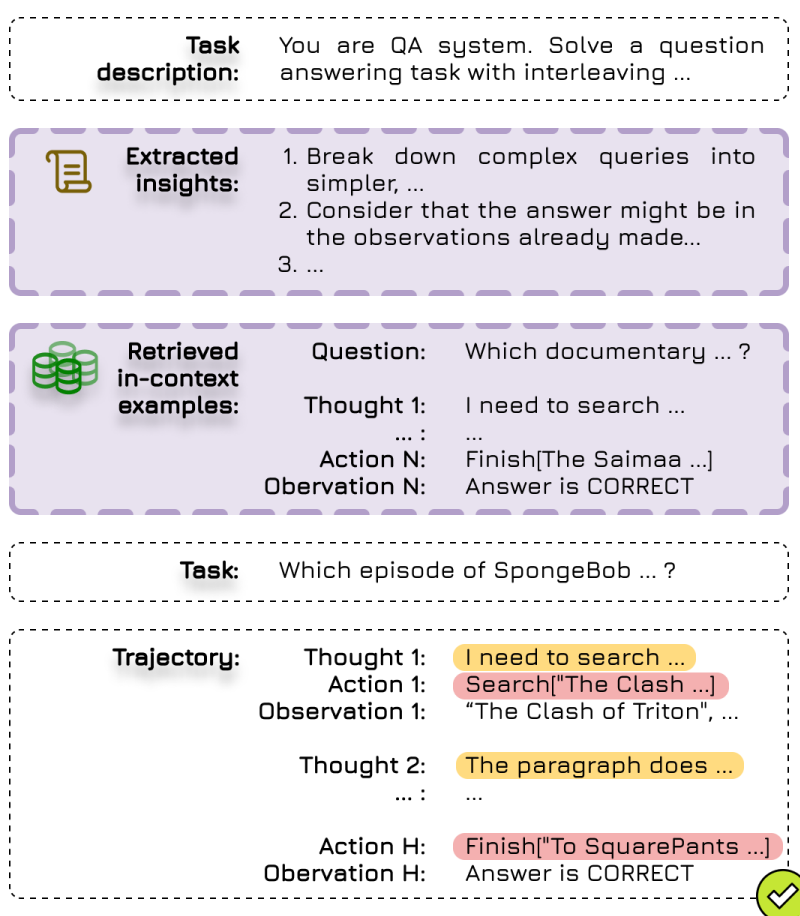


圖 2.1.1 AI Agent 的任務評估示範
（來源：Zhao et al., 2024）AI 代理人根據上下文訊息，生成合理的回答

AI Agent 的出現是人工智慧系統由語言理解邁向自主行動的重大轉變。透過整合語言模型、記憶模組、工具調用與推理規劃等能力，使其能夠在動態環境中感知、決策並主動達成複雜目標。這樣的架構不僅拓展了 LLM 的應用界線，也為未來建構更高階認知與自主能力的智慧系統奠定了基礎。

第二節 檢索增強生成 (Retrieval-Augmented Generation, RAG)

檢索增強生成 (Retrieval Augmented Generation, RAG) 是一種結合檢索技術與 LLM 的混合架構，透過即時搜索相關資料作為語言模型輸出的背景資訊，增強其生成內容的品質與準確性 (Lewis et al., 2020) (如圖 2.2.1)。

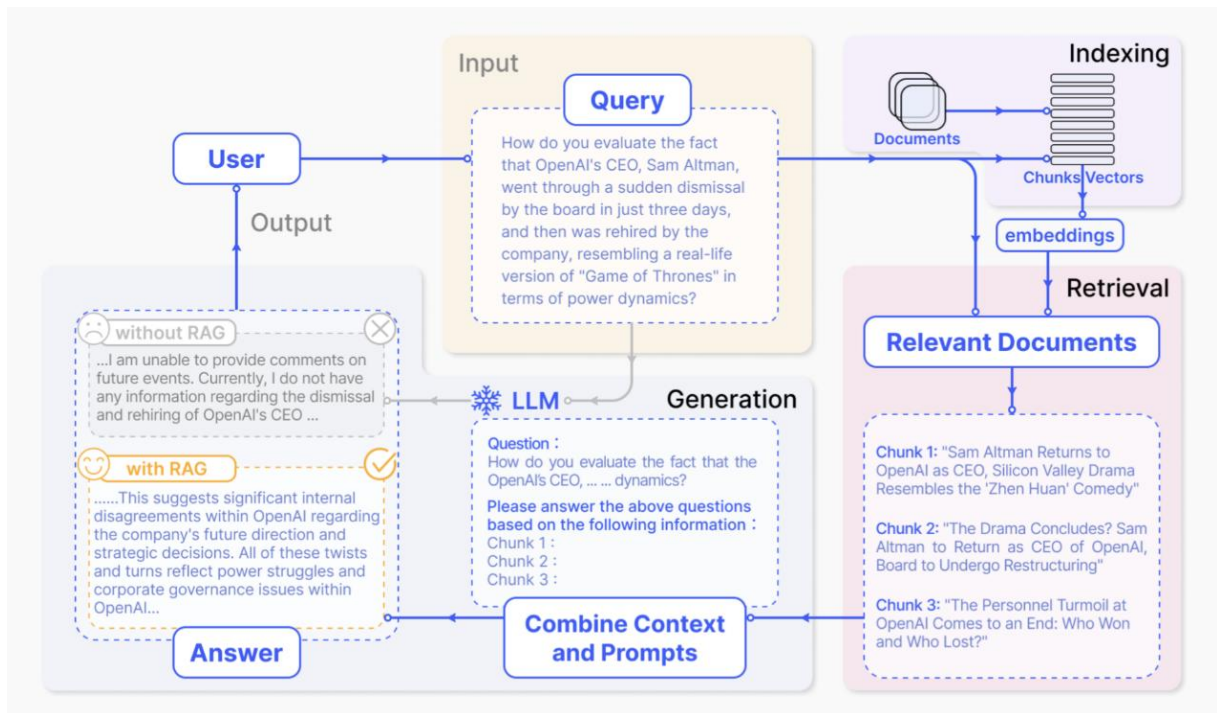


圖 2.2.1 RAG 檢索增強生成流程
(來源：Gao et al., 2023)

傳統的 LLM 雖具備強大的語言理解與生成能力，但其知識來源受限於訓練的時間點與資料內容。RAG 便是解決此限制的方法，用於彌補語言模型訓練資料所缺乏的知識。其運作流程通常包含檢索階段 (Retrieval) 和生成階段 (Generation)，讓模型在回應前先透過語意向量搜尋技術，從外部資料庫 (如向量資料庫、文檔) 中找出相關內容，再將這些資訊作為提示的一

部分輸入模型 (Guu et al., 2020; Izacard & Grave, 2021)。這種方法不僅能提升回答準確性並降低幻覺 (hallucination) 的發生機率，也能將模型與知識來源分離管理，便於資料的更新與控制而更於彈性。

在 LLM 系統中，RAG 主要扮演知識補充的角色，常應用於文件問答、產品知識庫查詢、或技術文件查找等場景(如圖 2.2.2)，此種類型多為單輪交互 (one-shot retrieval)，著重在即時知識整合 (Izacard & Grave, 2021)。相較之下，在具備決策與行動能力的 AI Agent 架構中，RAG 所扮演的角色則更為多元。AI Agent 通常需要完成複雜的任務，包括資訊搜尋、任務規劃、工具選擇與跨步驟邏輯控制等。在此過程中，RAG 不僅是作為知識補充來源，更成為 AI Agent 行為的觸發條件與推理依據 (Yao et al., 2022; Mialon et al., 2023)。基於資料驅動行動 (data-informed actions) 的模式，使 AI Agent 能根據當下資料動態做出行動決策，而更具備靈活性與適應能力。

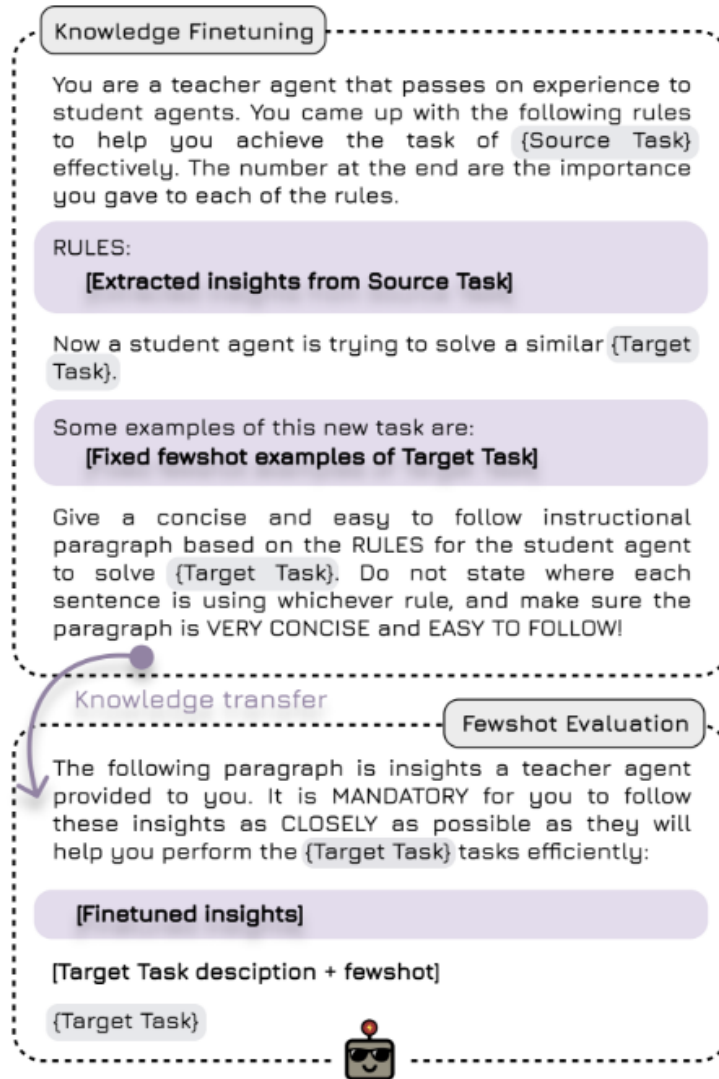


圖 2.2.2 RAG 提示範本，從知識來源微調到目標格式
(來源：Zhao et al., 2024)

綜上所述，RAG 的應用在 LLM 系統與 AI Agent 系統中，雖然都是資訊檢索與語言生成的結合，但其目標與使用方式依然存在著差異：前者著重於提升單次回應的資訊完整性與正確性，後者則強調資訊驅動的任務控制與多步邏輯執行。這種從「知識補充」到「驅動行動」的轉變，使得 RAG 更成為 AI Agent 系統中不可或缺的關鍵要素。

第三節 AI 圖像生成

AI 代理系統中的圖像生成將採用 2022 年發布的 Stable Diffusion，是一個以”潛在擴散模型”(Latent Diffusion Model)為基底的深度學習圖象生成模型，SD 擴散模型已成為強大的深度生成模型新系列，在許多應用中具有相當傑出的性能，包括影像合成、視訊生成。針對 SDXL (SDXL Turbo)、Stable Diffusion 3.x、Flux (Black Forest Labs, 2024–2025) 的發展現況、技術重點與建築設計應用潛力的分析如下：

- **Stable Diffusion XL (SDXL) 與 SDXL Turbo:**

1. SDXL 於 2023 年 6 月推出，基於 600,000 步 256×256 及 200,000 步 512×512 圖片資料集訓練，支援 1024×1024 甚至 2048 總像素大小圖片生成，生成流程分為 base 與 refiner 兩階段，畫質大幅提升，並支援 LoRA 與 ControlNet。
2. SDXL Turbo 於 2023 年 11 月推出，結合 Latent Consistency Models (LCM) 與 Adversarial Diffusion Distillation 技術，將生成步數從 30-40 步減少至 1-4 步，實現極速生成。

- **Stable Diffusion 3.x 系列:**

1. Stable Diffusion 3.5 由 Stability AI 於 2024 年推出，全面改寫模型架構，以 Transformer 取代原本 UNet，包含三個模型版本：Large (8B 參數)、Large Turbo 及 Medium (2.5B 參數，2024 年 10 月底公開)。
2. Large Turbo 採用對抗性擴散蒸餾技術(Adversarial Diffusion Distillation, ADD)，將生成步數大幅減少至 4 步，提升生成速度，但畫面質量相較 Large 版本略為平淡，文字生成與細節表現仍有不足。
3. 3.5 版本在指令遵從性上優於 Flux.1 dev 及早期 3.x 版本，但在美感與細節上仍略遜於 Flux.1 dev。

● **Flux (Black Forest Labs) :**

1. Flux 由 Black Forest Labs 開發，是 2024 年推出的一款強大的圖像生成模型，性能超越多數現有 Stable Diffusion 模型，甚至在美感品質上可與 Midjourney 媲美。
2. Flux 模型參數量約 12B，採用模組化控制器架構，支援 depth map、sketch、normal 等控制。對硬體要求較高，但生成圖片細節豐富且美感佳。可深度整合 ComfyUI、Blender，開放 LoRA 訓練與自訂控制器。
3. Flux.1 dev 版本在穩定性與生成效果上優於 Stable Diffusion 3.5 Large，尤其在細節和美感方面表現更佳，但授權限制不允許商用服務架設。

總結比較

表 2.3.1 擴散模型技術發展與適用場景

模型名稱	發布時間	架構類型	解析度	生成速度	核心優勢	適用場景	商用授權
SDXL & SDXL Turbo	2023	多階段擴散 (base + refiner)	1024×1024 (Turbo 512×512)	約 30-50 步 (Turbo 1-4 步)	快速生成、互動性高	即時設計、草圖生成、概念快速迭代	開源/社群授權
SD 3.x	2024	使用 Transformer 架構、多模態支持、語意理解能力強	主流 512×512 及更高解析度	約 4-50 步	語意強、多模態、控制精準	法規語意驅動外觀設計生成	免費商用 (收入 <100 萬美金)
Flux	2024	模組化控制 (depth、normal、sketch)、支援草圖控制與 LoRA 訓練	多解析度支持	中等	控制彈性高、自訂深度高	草圖導向流程、擬真風格細節生成	非商用授權

(資料來源：本研究整理)

表 2.3.2 擴散模型選擇策略（以建築師操作角度）

設計任務場景	建議模型	整合形式
多方案快速生成與迭代	SDXL Turbo + SD3.x	語意 prompt → 即時預覽與高語意生成
精細外觀與風格實現	SDXL + Flux	ControlNet / Sketch 模組 → 圖像輸出
高質感建築視覺化	Flux	以真實細節與美感領先，適合展示階段
商業應用與彈性	SD 3.x 及 SDXL	授權友好，適合商業導入與定制開發

（資料來源：本研究整理）

上述模型在建築設計流程中扮演不同角色，其技術特性直接對應建築師在各設計階段的核心需求：

1. 概念設計階段(LOD 0-100)的價值：快速視覺化設計意圖

在專案初期，建築師需要向業主、規劃單位或內部團隊快速傳達設計概念。傳統流程中，從手繪草圖到 3D 渲染往往需要數日至數週。AI 圖像生成技術可將此過程壓縮至數分鐘。

2. 方案發展階段(LOD 100-150)的價值：多方案比較與決策支持

此階段需在量體、材質、風格等面向進行多方案比較。AI 的批次生成能力可支援「窮盡式設計探索」。

3. 溝通與協作價值：跨專業語言的視覺化翻譯

建築專案涉及業主、結構技師、機電工程師等多方角色，他們對「平立剖面圖」的理解程度不一。AI 生成的透視圖、情境圖可作為「視覺化翻譯工具」。

4. 台灣建築產業的特殊價值：應對設計週期壓縮

台灣建築專案常面臨「時間緊、預算少、要求多」的三重壓力。平均設

計週期縮短，但視覺化品質要求反而提高。AI 圖像生成技術可作為「設計加速器」。

5.選擇 AI 模型時，應反問：「這個模型解決了建築設計的哪個痛點？」

速度優先 → SDXL Turbo (概念快速迭代)

語意精準 → SD 3.x (複雜需求描述)

視覺極致 → Flux (競圖/提案呈現但需留意授權限制)

成本可控 → SDXL 系列 (大量使用場景)

技術服務於設計，而非設計遷就技術。技術選擇不再是「哪個模型最強」的單一維度比較，而是「哪個組合最適合這個專案的多重約束」的系統性決策。

第三章 研究方法與系統設計

第一節 參數化設計工具與 BIM 工具

一、參數化設計工具（Parametric Design Tools）

參數化設計（Parametric Design）工具之核心價值，在於以「參數」與「邏輯關係」取代傳統靜態的幾何操作，透過「參數—邏輯—約束」的形式，使設計成為可回溯、可調整且具系統性的過程。此一方法論的導入，改變了建築設計流程由「結果導向」（Result-oriented）轉向「過程導向」（Process-oriented）的思維模式。設計者可透過建立變數之間的邏輯關聯與條件限制，快速生成多組設計方案，並在幾何、構造與環境等層面進行即時回饋與修正。

在設計效率層面，參數化設計工具能有效自動化重複性建模工作，提升模型的準確性與修改的靈活度，進而縮短設計迭代時間。此種以演算法驅動的設計方法，讓建築師能在較短的時間內進行多方案生成、性能模擬與方案比較，促進理性化且可驗證的設計決策過程。

二、BIM 工具（Building Information Modeling Tools）

建築資訊模型（Building Information Model）工具則作為建築設計流程中之資料整合與協作平台，以物件導向（Object-based Modeling）的方式建立具語義性的三維模型，提供精確的物件屬性、工程量計算與施工資訊，大幅提升設計決策效率、跨領域協作與專案可控性。本文探討參數化設計與 BIM 整合於建築設計流程中的理論基礎、技術實踐與應用價值，BIM 不僅可整合建築、結構、機電等專業領域的資訊，亦能於設計、施工及維運階段維持資料的一致性與可追溯性，形成貫穿全生命週期的數位建築資料基礎。

BIM 的導入使建築師、工程師及施工管理者能共享同一資訊模型，透過協作平台（如 Revit、Navisworks、Tekla 等），即時檢核衝突（Clash Detection）、估算成本（Quantity Take-off）與掌握進度（4D Simulation），並分析其在造價規劃、能耗模擬、結構分析與施工階段之潛在效益，最終指出其在建築產業數位轉型中的戰略意義，從而提升設計與施工的整體可控性與決策效率。

三、參數化設計與 BIM 工具之整合

（Integration between Parametric Design and BIM）

在整合層面上，參數化設計系統可與建築資訊模型（BIM）進行資料連結與雙向互動，形成跨領域的資訊交流介面，使設計決策得以建立在量化數據的基礎上。透過如 Rhino.Inside.Revit、Speckle、Dynamo 或 IFC 等橋接技術，參數化模型所生成之幾何與屬性資料可直接轉換為 BIM 語義模型中的構件類型（如牆體、樓板、樑柱與開口），使參數化設計成果能延伸至工程、造價與施工階段。

此種整合不僅改善了傳統設計流程中不同階段之間的資料斷裂（Information Fragmentation）問題，更使參數模型能在不同的細節層級（Level of Development, LOD）之間動態調整。例如，在 LOD 100–150 階段，參數化模型可用於體量與法規檢討；至 LOD 200–300 階段，模型可逐步轉化為具結構與材料屬性的 BIM 元件。最終，設計成果可於 LOD 400–500 階段應用於施工與維運，形成從概念設計、性能分析、工程細化到施工管理的連續資料流（Continuous Data Flow）。

此整合過程體現了以資料驅動（Data-driven）的設計邏輯，能將設計構想與工程、經濟與環境等客觀條件相互結合，促進理性化與創新性兼具的建築設計流程，成為建築產業邁向數位轉型的重要基礎。

參數化設計具備高度的資料整合能力與跨領域協作潛力。透過與建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）的結合，將參數模型中之幾何邏輯與屬性資料轉化為具語義性的 BIM 元件（如牆體、樓板、樑柱、開口等）。此一整合過程使建築設計流程得以在不同細節層級（Level of Development, LOD）之間動態調整，更在整體流程中扮演「資料驅動設計決策」的中介角色。

四、參數化設計工具之優點與 BIM 整合其在建築設計流程上的關係

綜觀而言，參數化設計工具在建築設計流程中的主要優點可歸納如下：

1. 設計邏輯化與可追溯性（Design Rationalization and Traceability）：

透過以演算法形式記錄設計邏輯，使設計變更可即時回溯與更新，確保設計過程的透明性與一致性。

2. 多方案生成與優化（Design Exploration and Optimization）：

參數調整與演化算法能快速生成多樣化的設計方案，支援性能比較與目標導向之優化分析。

3. 跨域整合與資料互通（Interoperability and Integration）：

可與 BIM、結構分析、能耗模擬、造價估算等系統連結，形成一致且可持續更新的設計生態系統。

4. 自動化與效率提升（Automation and Efficiency Enhancement）：

自動化處理重複性建模與計算工作，提升模型精確性與協作效率，並縮短整體設計迭代週期。

5. 數據導向決策（Data-driven Decision Making）：

以量化分析作為決策依據，使設計過程更具科學性、可驗證性與理性分析基礎。

參數化設計具備高度的資料整合能力與跨領域協作潛力。透過與 BIM 的結合，參數模型中之幾何邏輯與屬性資料可被轉化為具語義性的 BIM 元件，進而建立設計與工程之間的資料橋樑。此整合不僅使建築設計流程能於不同 LOD 層級間保持動態連續，更在整體設計過程中扮演「資料驅動設計決策（Data-driven Design Decision-making）」的關鍵中介角色。

透過參數化設計與 BIM 的協同運作，設計流程得以實現由創意構思、幾何生成、性能分析、造價規劃至施工執行的全程數位化整合。此整合不僅提升了建築設計的效率與精確度，更促進了理性化決策與永續發展的實踐，標誌著建築產業邁向智慧化與資料導向的關鍵轉型階段。

第二節 LOD 階段意義

LOD (Level of Development) 代表模型細節發展程度(如圖 3.2.1)，用來作為溝通標準、責任界定及流程控管工具，描述模型在不同專案階段「精細程度」與「可靠度」的標準。

根據不同專案階段發展標準使協力者（建築師、工程師、營造、業主、維運方）了解模型的「可用性」，定義需要提供相關層級的資訊，以及該資訊的依賴程度，幫助專案確認模型發展程度。

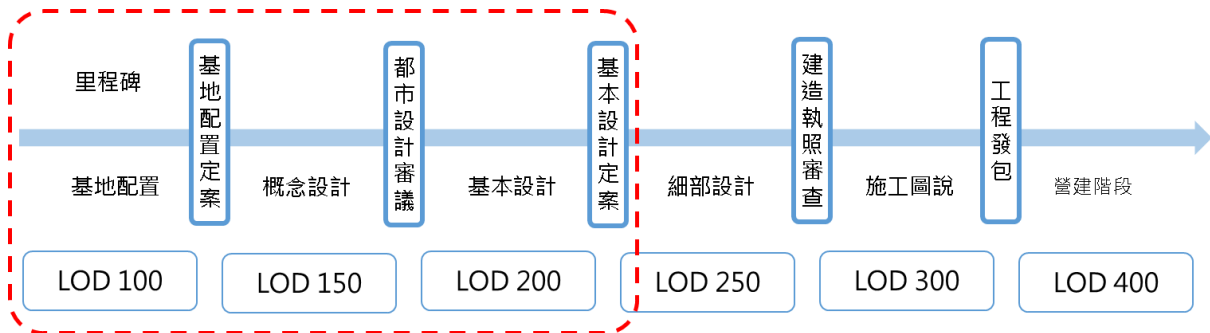


圖 3.2.1 LOD 模型細節發展程度

(資料來源：本研究整理)

本研究依據實際操作模擬流程，針對建築設計前期 LOD 100 至 LOD 200 階段進行分析與架構重整(如圖 3.2.2)。整體流程由「量體規劃 → 結構系統 → 外殼立面」三階段構成，透過 AI 代理系統 (AI Agent) 與參數化設計工具協同運作，建立人機協作的資料交換「節點」，使資料可在各階段自動傳遞與回饋，找出人機協作與 AI 技術的整合過程中，如何將資料交換與判斷自動化的可行性，並作為後續決策依據。

依序分為下列三階段主要目標：

LOD 100 階段目標 / 量體規劃；

LOD 150 階段目標 / 結構系統；

LOD 200 階段目標 / 外殼立面。

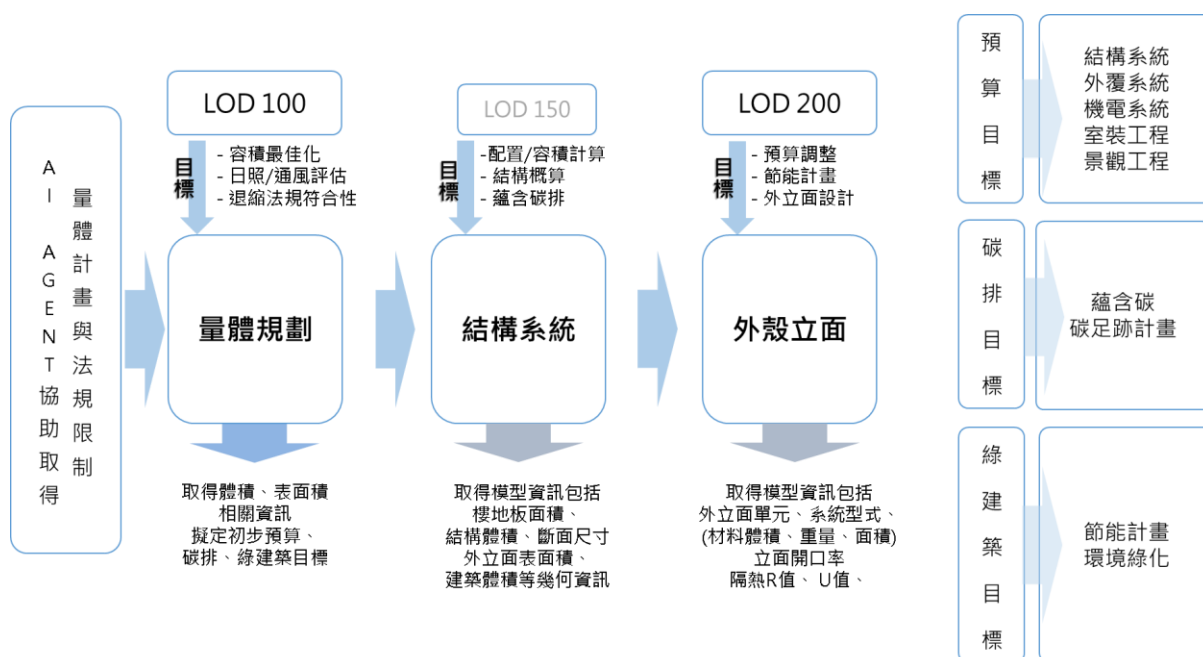


圖 3.2.2 LOD 模型細節發展程度

(資料來源：本研究整理)

- 左側欄：AI Agent 協作模組

代理系統協助處理量體法規檢核、參數運算與資料交換，透過人機互動 (HITL) 方式，使系統能在不同設計階段自動擷取模型資訊、進行判斷並產出回饋。

- LOD 100 階段 | 量體規劃

著重於容積最佳化、日照與退縮檢討及法規符合性。

透過參數化運算取得建築量體、面積與表面積等初步資訊，作為早期預算、碳排及綠建築指標的基礎。

- LOD 150 階段 | 結構系統

聚焦於配置與容積計算、結構概算與碳排推估。

此階段模型包含樓板面積、結構體積、斷面尺寸及立面表面積，為預算及造價分析提供中期數據。

- LOD 200 階段 | 外殼立面

以外殼系統與節能設計為主，取得立面開口率、隔熱 R 值、U 值等資料，作為節能與永續性評估依據。

- 右側延伸欄包含「預算目標」、「碳排目標」與「綠建築目標」三大成果導向，以形成設計與成本整合的回饋循環。

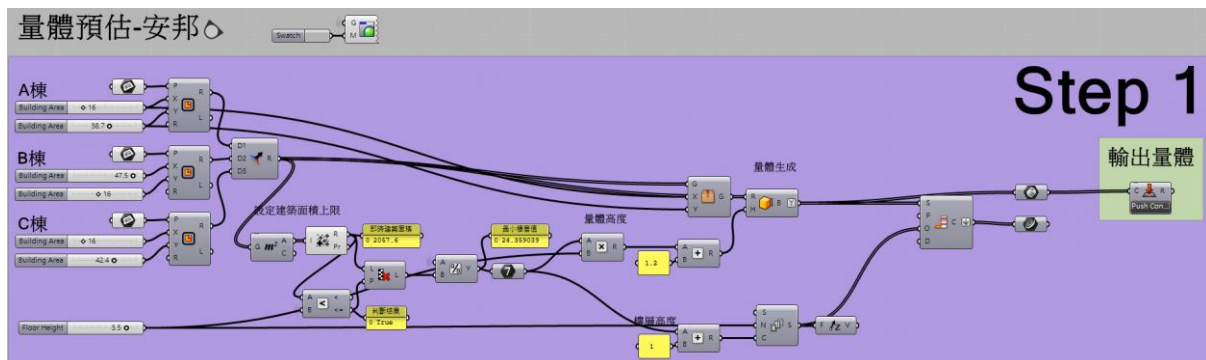


圖 3.2.3 LOD 100 量體生成邏輯
(本研究整理)

LOD 100：量體作用

- **設計定位：**概念階段，用於探索建築量體、配置、容積率、基本空間規劃。
- **模型表現：**僅有簡單的量體或體積，沒有具體的建築構件細節。
- **用途：**
 - 進行面積/容積控制
 - 初步檢視都市設計管制（建蔽率、容積率、退縮線、日照分析）
 - 擬定初步預算規劃與造價評估（粗估）、碳排、綠建築目標
 - 作為設計意向的溝通工具（與業主、規劃單位、政府）

- **模型表現：**僅有簡單的量體或體積，沒有具體的建築構件細節。

- 用途：

- 進行面積/容積控制
- 初步檢視都市設計管制（建蔽率、容積率、退縮線、日照分析）
- 擬定初步預算規劃與造價評估（粗估）、碳排、綠建築目標
- 作為設計意向的溝通工具（與業主、規劃單位、政府）

- 初步檢視都市設計管制（建蔽率、容積率、退縮線、日照分析）

- 擬定初步預算規劃與造價評估（粗估）、碳排、綠建築目標

- 作為設計意向的溝通工具（與業主、規劃單位、政府）

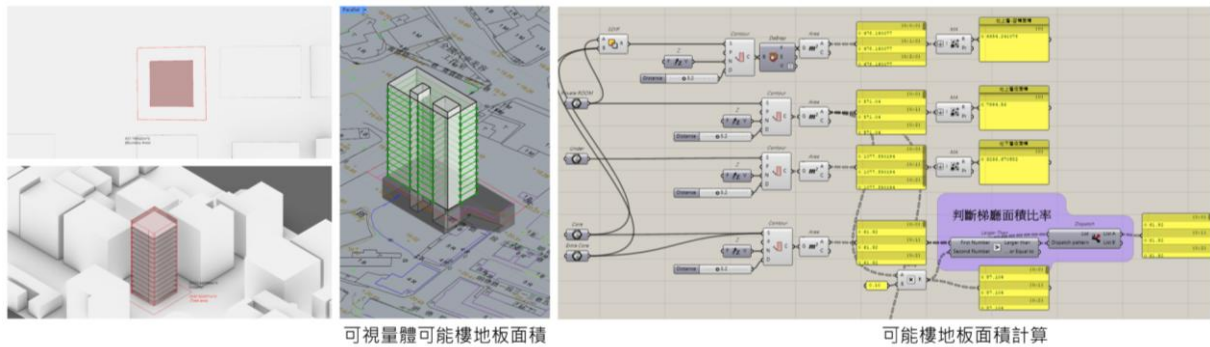


圖 3.2.4 LOD 100 量體模擬與可取得資訊
(本研究整理)

LOD 100 可取得資訊

- 量體資訊：
 - 建築物的大致體積、外形、層數
 - 建築物總高度(預估)、樓層配置
- 面積/容積資訊：
 - 建築基地面積
 - 各樓層初估樓地板面積
 - 建蔽率、容積率初估值
 - 建築量體表面積
- 規劃檢討資訊：
 - 基本日照、通風、採光的模擬
 - 與都市計畫法規（退縮、建高限制）的比對
- 財務/成本資訊：
 - 可用於初步建築造價估算（以面積 × 單價概算）
 - 初步預算規劃執行率、開發可行性分析

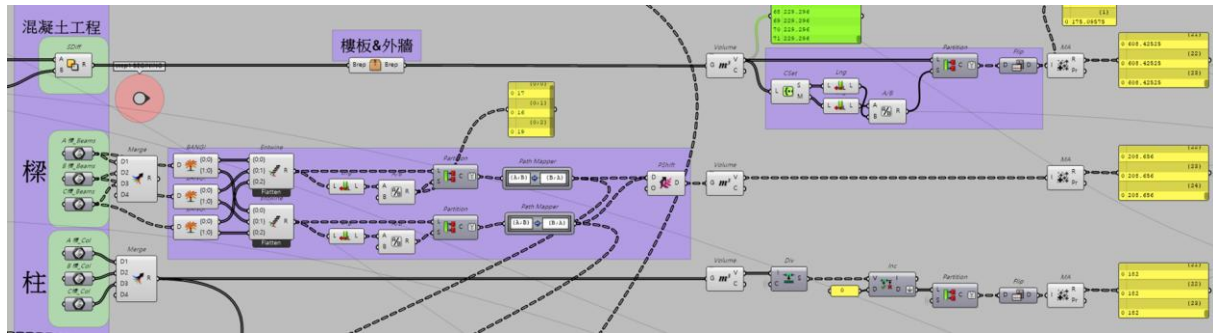


圖 3.2.5 LOD 150 相關資訊框架建立

(本研究整理)

LOD 150：量體作用

● 設計定位：

○相當於「量體 + 初步分隔」，比 LOD 100 更精確未到 LOD 200 的系統表達。

○著重於量體拆解（大樓分層、主要空間/功能區塊劃分）

○建立初步結構網格假設（Grid System），為後續樓板、樑柱與機電配置提供基礎框架。

○適用於都市設計檢討、日照分析、公設比初估的階段模型。

● 模型表現：

○仍以量體為主，但開始有樓層高度、分區比例與結構規律。

○初步核心筒位置與數量（電梯、樓梯）

○沒有精確構件，僅以「代表性幾何」與「結構軸線」表示主要支撐系統。

常見設定包含：

○各樓層分層量體

○功能分區（住宅 / 辦公 / 商業 / 公設）比例

○結構網格假設 (Grid System)：

- 採用規律模數 (如 $8\text{m} \times 8\text{m}$ 、 $7.2\text{m} \times 7.2\text{m}$ 、 $8\text{m} \times 9\text{m}$ 等) 作為主要結構節點
- 垂直方向 (Z 向) 可設定層高模數 (如 3.2m 、 3.6m)
- 若有中庭或跨層空間，於此階段以「不連續量體」表達

● 用途

- 進行空間配置/容積計算
- 作為樓層配置與功能比例調整的依據
- 提供結構格網與柱距假設，支援初步結構可行性判斷
- 規劃結構概算、蘊含碳排目標
- 調整預算規劃與造價評估、碳排、綠建築目標

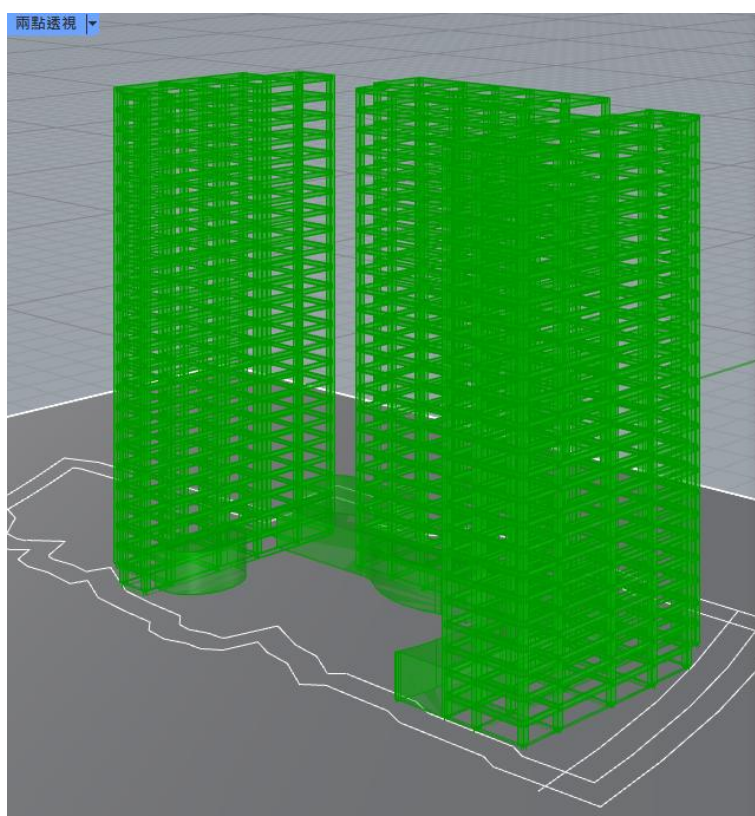


圖 3.2.6 LOD 150 初步結構網格假設
(本研究繪製)

LOD 150 可取得資訊

- 量體/空間資訊：
 - 各樓層的大致面積與高度
 - 功能分區（住宅 / 辦公 / 商業 / 公設）的比例
 - 基本核心筒位置與數量（電梯、樓梯）
- 基本結構網格配置、斷面尺寸設定(動態調整)

規劃檢討資訊：

 - 建蔽率、容積率精度較高（因為已分層計算）
 - 日照、退縮、採光、遮蔽檢討更貼近實際
 - 可輔助都更獎勵、都市設計審議或基礎結構配置之可行性討論
- 財務/成本資訊：
 - 可估算樓地板面積（GFA）、樓層別面積分布
 - 粗略計算公設比、得房率
 - 可進行初步建築單價估算（精度 $\pm 40\%$ 左右，比 LOD 100 更好）
 - 結構格網假設可作為初步造價模組基礎（柱距、層高對應混凝土與鋼筋量估算）

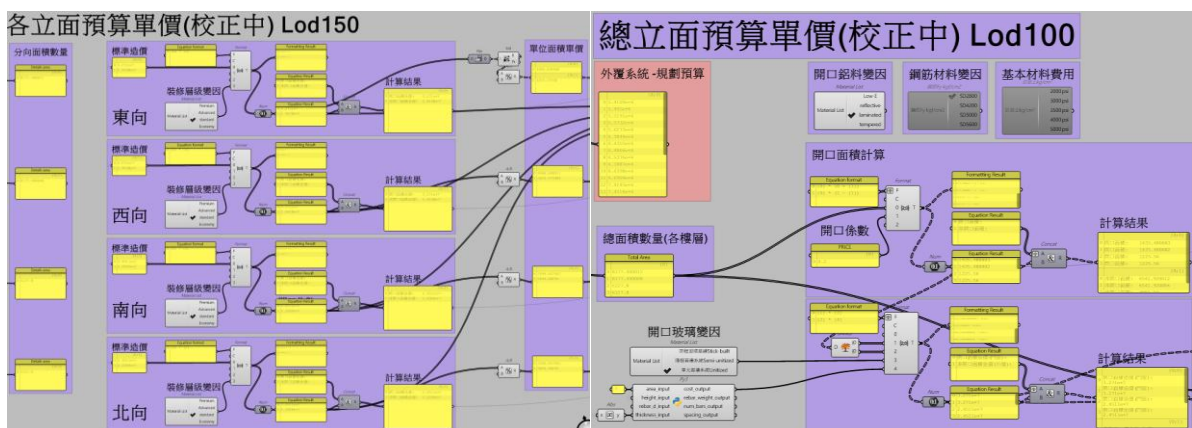


圖 3.2.7 LOD 200 外覆系統規劃概算（本研究繪製）

LOD 200：量體作用

- 設計定位：

- 從單純量體發展到「系統」層級（牆體、樓板、樑柱、窗戶等大致區位與大小）。

- 元件有了大致尺寸、位置與方向，但仍屬於概念化、非精確的模型。

- 模型表現：

- 量體開始「解構」成建築元素（例如牆 ≈ 厚度 20cm，樓板 ≈ 厚度 15cm，但非最終尺寸）。

- 空間、動線、出入口、樓梯/電梯井大致出現。

- 用途：

- 進行外立面設計/開口率控制

- 各系統配置（外覆、結構、機電）確立

- 初步能耗分析、採光/日照模擬

- 規劃外覆系統概算、節能計畫目標

- 調整預算規劃與造價評估、碳排、綠建築目標

- 造價估算可精確到 $\pm 25\sim 35\%$

- 建築平面/立面/剖面初步表達

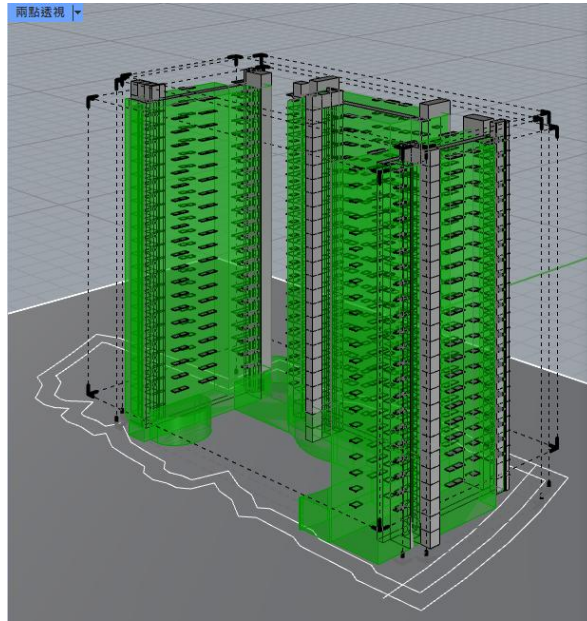


圖 3.2.8 LOD 200 量體假設
(本研究繪製)

LOD 200 可取得資訊

- 量體/空間資訊：
 - 各樓層面積、使用空間分區（住宅單元、辦公室、走道、核心筒）
 - 建築高度、層高、開間與進深大致尺寸
 - 垂直交通系統位置（樓梯、電梯、管井）
- 構件資訊：
 - 外立面單元、系統型式(材料體積、重量、面積)、立面開口率、隔熱 R 值、U 值。
 - 牆、柱、梁、板、窗、屋頂等構件的基本幾何形狀與位置
 - 各元素僅為概念化幾何（Generic Elements），沒有品牌或施工細節
- 規劃檢討資訊：

- 建蔽率、容積率更精準檢討
- 基本動線與防火避難與開口率規劃初估
- 初步綠建築 / EUI / 能耗模擬
- 財務/成本資訊：
 - 可進行空間效益分析（得房率、公設比）
 - 造價規劃以「系統單價」計算（例如：外覆系統每平方公尺單價）
 - 預算規劃執行率投資可行性更精準的評估（ $\pm 25\sim 35\%$ ）

第三節 整體架構與運作流程

AI 代理系統專為建築設計初期階段所開發，本系統基於 Python 語言設計，並整合了 Google 的 Gemini 大型語言模型 2.0 做測試。我們將從系統的底層架構與運作流程開始，深入探討其設計理念與實作細節。

為了實現一個模組化、可擴展且穩定的 AI 代理系統，本研究採用「AI 代理人主機 (Agent Host) + 專家工具伺服器 (Tool Servers)」的核心架構。此架構的設計目的在於將負責總體決策及狀態管理的 Agent Host 與負責執行具體任務的 Tool Servers 進行分離，從而確保系統的穩定性與可維護性。

整體架構由三個核心組件構成（如圖 3.3.1 所示），它們共同協作以完成複雜的任務：

- **AI 代理人主機 (Agent Host)：**

作為系統的核心大腦與唯一入口，Agent Host 透過 FastAPI 框架實現，負責接收所有來自前端使用者介面 (Web UI) 的請求。它管理著所有獨立的使用者對話並創建實例。此實例是 LLM 對話邏輯的載體，負責維護完整的對話歷史、呼叫 LLM 進行思考，並協調整個運作流程。

- **專家工具伺服器 (Tool Servers)：**

扮演著純粹的工具提供者角色。在本研究中，我們為不同專業領域(如：法規查詢、量體規劃、碳排規劃等)分別建立了獨立的 Python 腳本。這些腳本職責單純，僅負責定義並執行該領域的專業工具。其關鍵特性是本身不儲存任何對話歷史或狀態，只在被 Agent Host 呼叫時接收參數、執行計算或操作，然後回傳結果。

- **MCP 客戶端 (Client)：**

是由 Host 管理的協定級別通訊組件，負責建立 Host 與特定 Server 之

間的標準化溝通管道。本系統採用 stdio 方式進行跨進程通訊。這種設計將通訊的複雜性封裝在協定層，使得上層的 Agent 邏輯可以專注於任務本身。

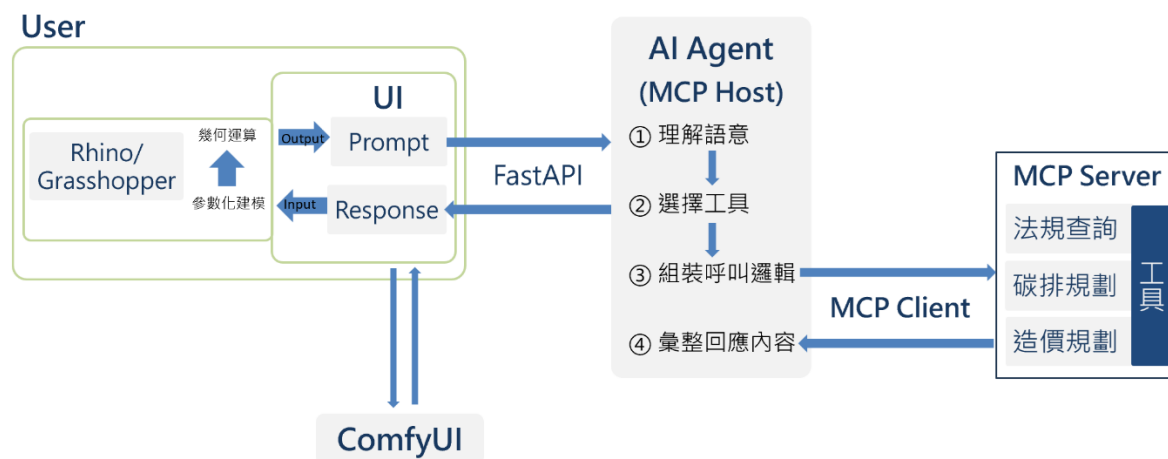


圖 3.3.1 AI 代理系統流程架構

（來源：本研究繪製）

為了更深入的理解，圖 3.3.2 展示了一個簡單的問答流程，示範在處理一次使用者請求時的完整生命週期。從系統接收前端請求、進行內部多輪次思考與代理人角色切換，到最終回覆使用者並持久化儲存對話狀態的端到端（End-to-End）流程。整體可分為三個主要階段：

第一階段：請求初始化與狀態恢復

此階段涵蓋了使用者發起互動到系統準備好開始進行智慧處理的全部準備工作。

1. 使用者發起請求：流程始於「Web UI 使用者」向系統的唯一入口「FastAPI Host」發送一個 POST 請求。此請求包含了兩個關鍵資訊：session_id 用於識別這段獨一無二的對話，以及 prompt 即使用者的指令（例如：開始新專案規劃）。
2. Session 管理與狀態恢復：FastAPI Host 接收到請求後，立即將控制權交給內部的「Session 管理器」。管理器的核心職責是：

- 查詢持久化儲存：它使用 `session_id` 向「Parquet 資料庫」查詢是否存在先前儲存的對話狀態。
 - 反序列化或創建：如果資料庫中存在對應的狀態，管理器會將其讀取並反序列化（Deserialize），從而完整恢復成一個包含所有先前對話歷史與參數的「ArchitecturalAgent 實例」；如果這是一個全新的 `session_id`，管理器則會創建一個嶄新的 ArchitecturalAgent 實例。
3. 核心邏輯啟動：Session 管理器將準備好的 ArchitecturalAgent 實例返回給 FastAPI Host。接著，Host 會呼叫該實例的核心方法 `agent.run_turn()`，並將使用者的原始 prompt 傳入，正式啟動本輪的處理流程。

第二階段：內部思考循環與代理人切換

這是整個流程最核心的部分，由圖 4.1.2 的 loop 區塊表示。它展示了 Agent 並非簡單地對使用者請求做一次性回覆，而是能夠在內部進行多輪次的、涉及不同專家角色的複雜思考。

● Turn 1：Orchestrator（專案總監）啟動與任務分派

1. 角色確認：ArchitecturalAgent 實例首先讀取自身的內部狀態，確認當前活躍的角色（`active_agent`）是預設的「Orchestrator」（專案總監）。
2. 動態啟動工具：根據此角色，系統會動態地以一個獨立的子進程啟動專屬於 Orchestrator 的「Orchestrator Tool Server」。
3. LLM 意圖理解：Agent 接著向 LLM 發出請求。此請求的內容經過精心設計，包含了：Orchestrator 的角色指令（"你是一個 AI 建築專案總監..."）、當前對話歷史、以及從 Tool Server 獲取的可用工具列表。

4. 工具執行與狀態變更：LLM 理解到需要規劃並分派任務，於是回傳了呼叫工具的指令。Agent 接收指令後，透過 MCP 呼叫 Tool Server 執行相應工具。工具的回傳結果是包含 `{"action": "..."}` 的指令 JSON。Agent 解析這些指令，最關鍵的一步是更新了自身的狀態，將活躍的角色從專案總監「Orchestrator」切換為量體規劃師「MassingPlanner」。

● Turn 2：MassingPlanner（量體規劃師）接手與情境準備

1. 代理人切換：由於活躍的角色狀態發生了改變，內部思考循環繼續。Agent 再次讀取狀態，發現角色已變為「MassingPlanner」。
2. 工具環境切換：系統會結束先前的 Orchestrator Tool Server 子進程，並重新啟動一個專屬於 MassingPlanner 的「MassingPlanner Tool Server」子進程。這個過程體現了系統的模組化架構的動態性。
3. 獲取工作清單：與 Turn 1 類似，Agent 再次呼叫 LLM，但這次傳遞的是 MassingPlanner 的角色指令和其專屬工具。LLM 根據其「量體規劃師」的角色邏輯，判斷首要任務是了解需要收集哪些參數，因此決定呼叫 `get_required_parameters` 工具。
4. 情境資訊收集：Agent 執行工具並獲取到一份必要參數的列表，為後續與使用者的互動做好了準備。

● Turn 3：MassingPlanner（量體規劃師）準備生成對外回覆

1. 生成提問：在獲取了必要參數列表後，Agent 進入第三輪思考。它再次呼叫 LLM，並將「我需要收集這些參數」這個情境資訊提供給它，要求 LLM 生成第一句對使用者提出的問題。
2. 思考循環結束：LLM 根據指令，生成了對使用者友善的提問（例如："好的，為了進行下一步的量體規劃..."）。這是一段自然語言文本，而非工具呼叫，標誌著內部思考循環的結束，系

統已準備好對外回覆。

第三階段：最終回覆與狀態持久化

當內部思考循環結束後，系統進入最後的收尾階段，確保使用者能收到回覆，且整個對話狀態被安全保存。

1. 返回最終回覆：ArchitecturalAgent 實例將從 LLM 獲取的最終文本回覆返回給 FastAPI Host。
2. 狀態持久化：在將回覆傳送給使用者之前，FastAPI Host 會執行一個關鍵步驟：它觸發 ArchitecturalAgent 實例，將其包含所有更新（如 active_agent 已變為 MassingPlanner）的完整內部狀態進行序列化，並寫入到 Parquet 資料庫中。
3. 回覆使用者：只有當狀態成功儲存後，FastAPI Host 才會將最終的文本回覆打包成 200 OK 的 HTTP 回應，傳送給「Web UI」，完成這次請求的完整生命週期。

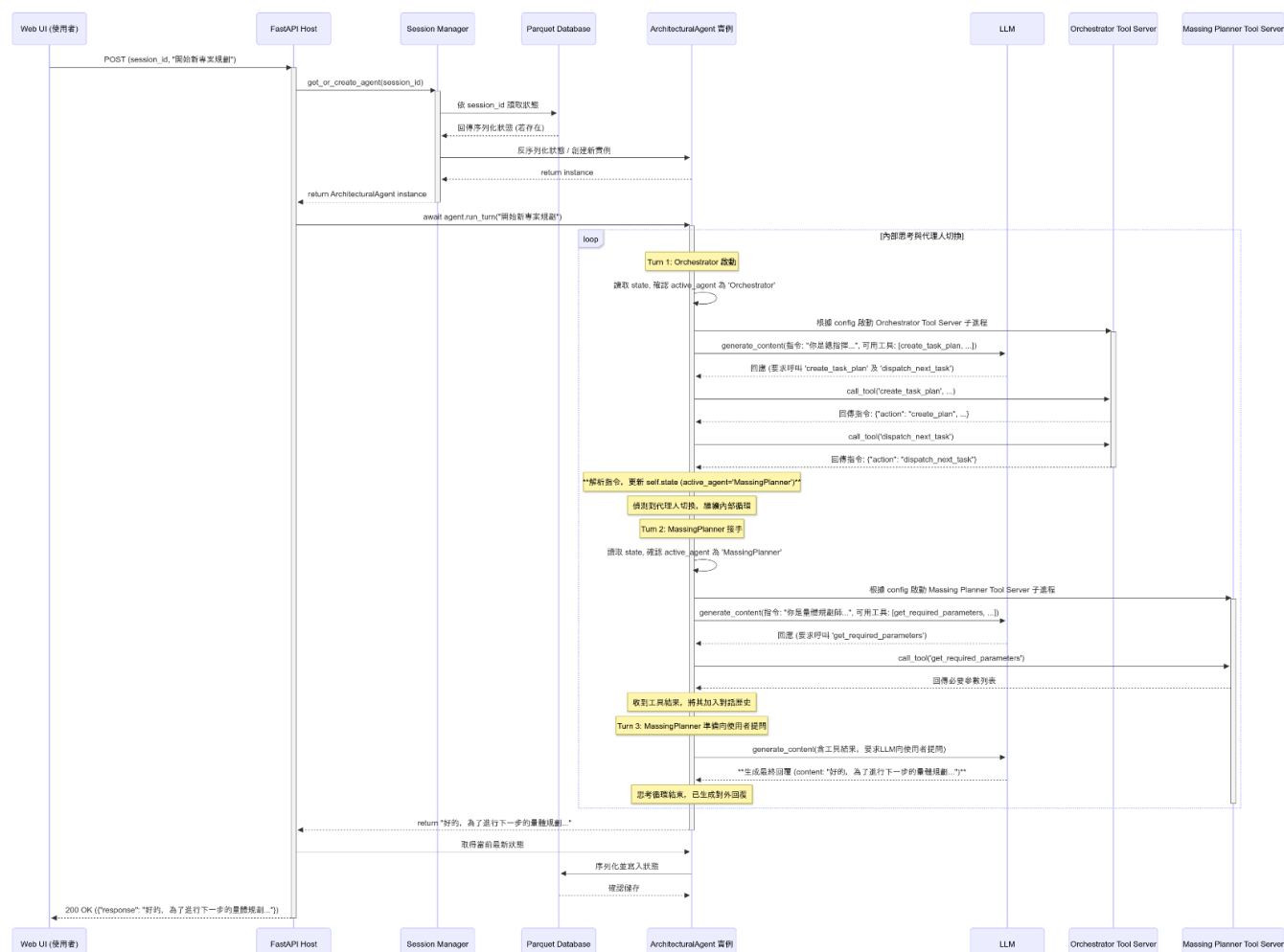


圖 3.3.2 運作流程範例

(來源：本研究繪製)

另外，對於一個需要進行長對話的複雜系統，狀態管理（State Management）至關重要。本系統的狀態管理機制如下：

Session 隔離：系統透過前端傳來的 session_id 來識別和區分不同的使用者對話。Agent Host 中的 session_manager 負責為每個 session_id 取得或創建對應的 ArchitecturalAgent 實例。

記憶體內狀態：在一次活躍的對話中，該 Session 的完整狀態（包含任務列表、已確認參數等）都由其對應的 ArchitecturalAgent 實例作為 self.state 屬性持有在記憶體中。

狀態持久化：為了防止因伺服器重啟或意外中斷造成對話資料遺失，本系統採用了本機 Parquet 資料庫進行狀態的持久化儲存。當 Agent 狀態發生變更時，系統會將物件序列化（Serialize）並寫入 Parquet 檔案。當使用者重新連接時，系統會根據 session_id 讀取檔案，反序列化（Deserialize）出對應的狀態，從而無縫恢復先前的對話進度。為確保高併發下的檔案寫入安全，系統特別使用了 asyncio.Lock 來防止資料競爭與損壞。

綜上所述，AI 代理系統不僅擁有高度模組化、資源管理動態化及狀態持久化的穩健技術架構，其核心的價值更在於其展現出的智慧化行為模式：系統能夠根據任務上下文，自主地在不同專家角色間無縫切換，並在回應之前進行多輪次的內部推理與規劃。這種從被動的工具執行者，蛻變為主動的問題解決者的能力，更能真正應對建築設計初期階段的複雜性與多變性。

第四節 AI Agent 之角色與分工

在建構本系統時，我們面臨一個關鍵的抉擇：是採用一個巨大、萬能的單一大型語言模型，還是設計一個由多個小型、專業的代理人組成的協作團隊。本研究最終選擇了後者，我們的設計策略源於軟體工程中的「單一職責原則」（Single Responsibility Principle）。

與其讓一個通用模型處理從法規、量體、成本到碳排等等的所有問題，不如將這些專業領域分派給各自的專家代理人（圖 3.4.1）。這麼做帶來了幾個關鍵優勢：

1. **提升深度與準確性：**專家永遠勝過通才。一個被賦予建築法規顧問（Law Assistant）角色的代理人，其提示（Prompt）和可用的工具都聚焦於法規查詢，因此在處理法規相關問題時，其回答的準確性與深度遠非通用模型所能及。同樣，建築成本顧問（Costing Planner）能專注於造價規劃，提供包含「單位面積

造價」等專業指標的深度報告。

- 2. **強化可預測性與穩定性：**單一巨大模型的行為難以預測。而透過將每個代理人的工作流程以極其詳盡的、程序化的方式在其指令中進行定義，我們極大地限制了模型的自由發揮空間，使其行為變得高度可預測且穩定，有效降低「模型幻覺」（Hallucination）的風險。
- 3. **易於維護與擴充：**當系統的某個功能需要更新時，我們僅需修改部分的指令與其對應的工具即可，而無需更動其他代理人。未來若需增加新功能，如「結構技師」或「機電顧問」，我們只需以模組化的方式新增對應的代理人，系統的可擴充性極高。

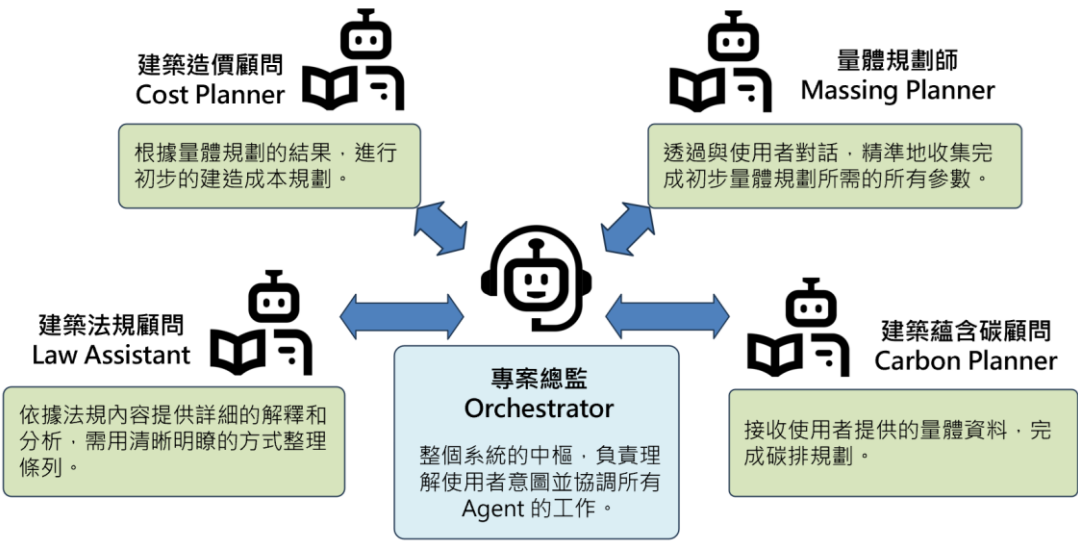


圖 3.4.1 多代理人的角色與分工
(來源：本研究繪製)

清晰的定義每個代理人在團隊中的核心職責、目標，以及他們在整個專案生命週期中的協作關係(如表 3.4.1)。

表 3.4.1 代理人角色定義

代理人名稱	角色定位	核心職責	協作關係
Orchestrator	專案總監	■ 理解使用者意圖，進行任務規劃與拆解。 ■ 調度與監控主線工作流程的推進。 ■ 處理臨時插入的請求，並指派臨時專家。 ■ 專案結束時，負責彙整所有成果並生成總結報告。	作為系統中樞，是所有代理人的唯一上級與指令分派者。
Massing Planner	量體規劃師	■ 將使用者需求轉化為結構化的設計參數。 ■ 負責收集驗證並管理所有核心數據。 ■ 根據使用者需求提供參數設定建議。	專案流程的起點，其產出的結構化數據是後續其他代理規劃的工作基礎。
Carbon Planner	建築蘊含碳顧問	■ 提供低碳優化策略與權衡分析。	依賴量體規劃階段的輸出，為設計優化提供依據。
Costing Planner	建築造價顧問	■ 提供建築造價規劃建議，輔助專案在預算內達成目標。	依賴量體規劃階段的輸出，為設計優化提供依據。
Law Assistant	建築法規顧問	■ 根據資料庫的法規條文處理關於建築法規的問題。	作為臨時中斷專家，服務於任何需要法規諮詢的階段，完成後即退出。
General Assistant	通用助理	■ 處理所有非專業領域的通用性問題。 ■ 防止主線專家的工作流程被無關問題干擾。	作為臨時中斷專家，服務於任何需要通用性問題的階段，完成後即退出。

第五節 人機協作流程：整合建築師的專業判斷

傳統的人機互動模式多為被動式問答，大大的限制了 AI 在複雜專業工作流程中的應用潛力。為了突破此限制，本研究的核心設計理念在於建構一個能主動引導、深度整合建築師設計流程的協作框架。讓 AI 代理系統不僅僅是知識的提供者，更是專案流程的推動者與協作者。

本系統的協作框架旨在模仿真實建築專案在概念設計初期的標準作業程序（SOP），透過預先定義的流程，主動引導使用者完成專案目標。此框架的實現，主要依賴於「專案任務計畫列表」與「結構化參數收集藍圖」兩大核心機制。

一、專案任務計畫列表（Project Task Plan）

為了讓 AI 代理系統能有條不紊地推動專案，我們為系統中樞 Orchestrator（專案總監）代理人設計了 `create_task_plan` 工具。如以下程式碼所示，當專案總監接收到建築師的總體專案目標後，並非即時生成零散的建議，而是優先呼叫此工具，生成一份結構化的任務計畫。

```

@mcp.tool()
def create_task_plan(project_goal: str) -> str:
    """
    在專案開始時，根據使用者總體目標，生成一個結構化的任務計畫列表。
    """

    plan = [
        # 任務0: 量體規劃 (LOD100 前)
        {"task_id": 0, "description": "進行初步量體規劃，收集核心參數。",
        "assigned_to": "MassingPlanner", "dependencies": []},
        # 任務1: 主結構造價規劃 (LOD100 後)
        # 依賴於任務0 (MassingPlanner) 的完成
        {"task_id": 1, "description": "根據LOD100量體規劃的結果，進行主結構(柱樑
        版)的造價評估與合理的分配規劃建議。", "assigned_to": "CostingPlanner",
        "dependencies": [0]},
        # 任務2: 蘊含碳排規劃 (LOD150 後)
        # 依賴於任務1 (CostingPlanner) 的完成，代表LOD150的前提工作已就緒
        {"task_id": 2, "description": "根據量體規劃的結果和LOD150結構網格的混凝土
        用量，評估並合理分配建築的蘊含碳排。", "assigned_to": "CarbonPlanner",
        "dependencies": [1]},
    ]
    return json.dumps({
        "action": "create_plan",
        "plan": plan
    })

```

此計畫體現了真實的設計流程邏輯：

- 任務指派 (assigned_to): 每項任務都明確指派給對應的專家代理人，實現了清晰的分工。
- 任務依賴 (dependencies): 計畫中定義了任務之間的先後順序，例如，必須先完成 task_id: 0 (量體規劃)，才能進行 task_id: 1 (造價評估)，這確保了工作的邏輯性和連續性。

這份計畫不僅是 AI 內部的工作藍圖，更會在專案啟動時呈現給建築師，使其對整個 AI 協作流程一目了然。

二、結構化參數收集藍圖（Structured Parameter Collection Blueprint）

為確保專案能順利啟動，系統在執行任何規劃前，必須先收集到所有必要的設計參數。此功能透過預先載入的 `parameter_schemas.json` 檔案來實現。這個檔案定義了在概念設計階段規劃時所需的全部資料欄位（例如：基地面積、法定容積率、樓層數等），檔案內容如下：

```
{
  "site_planning_parameters": {
    "name": "量體規劃核心參數",
    "description": "用於定義建築基地與法規限制的核心參數。",
    "parameters": {
      "site_area": {
        "description": "建築基地的總面積，單位為平方公尺。",
        "required": true,
        "type": "number"
      },
      "building_coverage_ratio": {
        "description": "建蔽率，建築物在基地上的最大覆蓋比例，通常為一個小於1的小數。",
        "required": true,
        "type": "number"
      },
      "floor_area_ratio": {
        "description": "容積率，總樓地板面積與基地面積的最大比率。",
        "required": true,
        "type": "number"
      },
      # ...
    }
  }
}
```

系統會根據此藍圖，在專案初期主動、一次性地向建築師詢問或確認所有關鍵參數，避免在流程中因資料不足而頻繁中斷的低效率互動，以下為在量體規劃階段，一段完整的系統實際執行的模擬範例：

[Assistant]：

您好！我是設計階段智慧助理。請描述您的專案目標，或貼上您的需求，讓我們開始吧！

[User]：

我的專案為中和安邦段青年社會住宅新建統包工程，設計規劃重點如下：建築規模：興建 630 戶以上之 RC 構造住宅單元，總樓地板面積不得少於 64,800 m²。空間規劃：住宅單元一、二、三房戶數比例為 50%、30%、20%，且須包含 5%無障礙單元。一樓規劃店鋪、老人日間照顧中心、公托中心等社會福利設施。建築特色為設置合計面積至少 1500 m²的「立體跳層綠化」半戶外空間。認證標章：建築須取得銀級以上綠建築標章、銅級以上智慧建築標章及居住空間通用設計標章。本案基地位於新北市中和區連和里連城路 144 巷，基地東南側鄰連城路，其餘三側皆為鄰房，北側鄰近中和大排，現況為公路二村公園，基地東北側鄰近捷運 LG06 站。

[Assistant]：

好的，建築師。這個案子是位於新北市中和區的青年社會住宅，目標是興建至少 630 戶住宅單元，總樓地板面積不低於 64,800 平方米，一、二、三房的戶數比例分別為 50%、30%和 20%，並包含 5%的無障礙單元。此外，一樓還要有店鋪、老人日間照顧中心和公托中心等社福設施，以及至少 1500 平方米的立體跳層綠化空間，並取得銀級綠建築、銅級智慧建築和通用設計標章。

首先，想請問您對於基地的建蔽率和容積率有沒有初步的想法？這會

影響到我們後續的量體推導。

[User] :

建蔽率 40%，容積率 260%

[Assistant] :

接下來，為了更精確地進行量體規劃，想請問您對於建築物的高度有沒有初步的設定？這會影響到我們樓層數的計算。

[User] :

目前沒想法，你給我一些建議

[Assistant] :

好的，由於容積率是 260%，我們可以根據樓層數來反推平均樓層高度。假設我們希望樓層數落在 10-15 層之間，您可以參考以下的建議：

- 10 層樓：平均樓層高度約為 6.5 公尺 ($260\% / 10 \text{ 層} = 26\%$,假設建蔽率為 40%, $26\%/40\% = 6.5 \text{ 公尺}$)
- 12 層樓：平均樓層高度約為 5.4 公尺 ($260\% / 12 \text{ 層} = 21.6\%$,假設建蔽率為 40%, $21.6\%/40\% = 5.4 \text{ 公尺}$)
- 15 層樓：平均樓層高度約為 4.3 公尺 ($260\% / 15 \text{ 層} = 17.3\%$,假設建蔽率為 40%, $17.3\%/40\% = 4.3 \text{ 公尺}$)

一般來說，住宅的樓層高度會落在 3-3.6 公尺左右，一樓的挑高可能會高一些。您可以根據您想要的樓層數和整體的空間感來決定建築物的高度。您比較傾向哪一種呢？或者您有其他想法？

[User] :

我認為樓層高 3.2 公尺合適

[Assistant] :

了解，您希望樓層高度為 3.2 公尺。這樣的話，為了達到 260% 的容積率，我們大約需要 20 層樓 ($260\% / (3.2 \text{ 公尺} / 6.5 \text{ 公尺}) = 20 \text{ 層}$)。請問這個樓層數符合您的預期嗎？

[User] :

這個樓層數有點高，有沒有其他解決方案？

[Assistant] :

有的，我們可以調整建蔽率來降低樓層數。目前建蔽率是 40%，如果我們將建蔽率提高，例如提高到 50%，樓層數就可以降低。

讓我重新計算一下：

如果建蔽率是 50%，樓層高度維持 3.2 公尺，那麼大約需要 16 層樓 ($260\% / (3.2 \text{ 公尺} / 5.2 \text{ 公尺}) = 16 \text{ 層}$)。

提高建蔽率意味著建築物會佔用更多的地面面積，減少開放空間。請問您是否願意考慮提高建蔽率到 50%，以降低樓層數到 16 層左右呢？或者您有其他想法？

[User] :

將建物分棟可以嗎

[Assistant] :

當然可以，將建物分棟也是一個很好的解決方案，可以降低單一棟的樓層數，同時保有較低的建蔽率。

如果將 630 戶分散到多棟建築，每棟的戶數減少，所需的樓地板面積也會減少，進而降低樓層數。請問您希望將建物分成幾棟呢？以及您希望每棟大約幾層樓高？

[User] :

你幫我規劃合適的棟數和樓層數

[Assistant] :

好的，沒問題。

考量到您希望樓層高度為 3.2 公尺，且不希望樓層數太高，我們可以嘗試將 630 戶分散到 3 棟建築，每棟大約 210 戶。

假設每戶的平均樓地板面積為 100 平方米（包含公設），那麼每棟的總樓地板面積約為 21,000 平方米。

在 260%容積率和 40%建蔽率的條件下，每棟建築大約需要 8 層樓(假設每層樓都用滿建蔽率， $260\%/(3.2/6.5)*3=8$)。

這樣的規劃可以將樓層數控制在 10 層以下，同時保有較低的建蔽率和較多的開放空間。請問您覺得這個方案如何？

[User] :

我覺得可以

[Assistant] :

為了讓量體規劃更貼合實際需求，想請問您對於一樓的社會福利設施（店鋪、老人日間照顧中心、公托中心）的總面積有沒有初步的想法？這會影響到我們一樓的整體配置。

[User] :

目前沒有，你幫我估算即可

[Assistant] :

好的，針對一樓的社福設施，我們可以參考一些標準。

- 店鋪： 假設店鋪以服務社區居民為主，規模不需太大，初步匡列約

200 平方米。

- 老人日間照顧中心：根據法規，老人日間照顧中心至少需有 30 平方米/人的室內活動空間，假設服務 30 位長者，則需要約 900 平方米。

- 公托中心：根據法規，公托中心至少需有 3.5 平方米/人的室內活動空間，假設收托 40 位幼兒，則需要約 140 平方米。

因此，一樓社福設施的總面積約為 $200 + 900 + 140 = 1240$ 平方米。請問您覺得這個估算合理嗎？

[User] :

OK

[Assistant] :

再來，我們來確認一下立體跳層綠化的配置。您希望這 1500 平方米的綠化空間主要集中在哪幾個樓層呢？或者您希望是平均分散在各個樓層？

[User] :

我希望立體跳層綠化應於各層設置半戶外的休憩空間，增加建築物的綠化空間節點，並且以半戶外空間樓地板面積 1/3 以上為原則

[Assistant] :

了解，您的意思是希望在每一層樓都設置半戶外的休憩空間，並且綠化面積要達到半戶外空間樓地板面積的 1/3 以上。

由於總共有 3 棟建築，每棟 8 層樓，總共有 24 個樓層需要設置立體跳層綠化。為了達到 1500 平方米的總綠化面積，平均每個樓層需要約 62.5 平方米的綠化面積 ($1500 / 24 = 62.5$)。

請問您對於這樣的分配方式是否覺得合適？或者您希望在某些樓層增加綠化面積，而在其他樓層減少？

[User] :

可以

[Assistant] :

最後，想跟您確認一下住宅單元戶數的配置比例。您提到一房、二房、三房的比例分別為 50%、30%、20%，且須包含 5% 的無障礙單元。

請問這個 5% 的無障礙單元是包含在一、二、三房的比例之內，還是額外增加的呢？

[User] :

包含

[Assistant] :

了解，5% 的無障礙單元是包含在一、二、三房的比例之內。

那麼，我們總共有 630 戶，各房型的戶數如下：

- 一房： $630 * 50\% = 315$ 戶
- 二房： $630 * 30\% = 189$ 戶
- 三房： $630 * 20\% = 126$ 戶
- 無障礙單元： $630 * 5\% = 32$ 戶（分配到各房型）

請問您確認這樣的戶數配置嗎？

[User] :

OK

[Assistant] :

好的，建築師，我們已經收集了所有必要的參數，現在跟您做最後的總結確認：

- 基地條件：

建蔽率：40%

容積率：260%

- 建築規模：

總戶數：630 戶

總樓地板面積：不低於 64,800 平方米

棟數：3 棟

樓層數：8 層

樓層高度：3.2 公尺

- 空間規劃：

一房：50% (315 戶)

二房：30% (189 戶)

三房：20% (126 戶)

無障礙單元：5% (32 戶，包含在各房型比例中)

一樓社福設施總面積：1240 平方米 (店鋪、老人日間照顧中心、公托中心)

立體跳層綠化：

總面積：1500 平方米

每層樓平均綠化面積：62.5 平方米

各層設置半戶外休憩空間，綠化面積達半戶外空間樓地板面積 1/3 以上

請問以上這些參數都正確嗎？

[User] :

正確

[Assistant] :

感謝您的確認。初步的量體規劃與結構建議現已完成。下一步是造價規劃階段，在此之前，請您根據我們已確認的參數，使用建模軟體建立 LOD100 模型。完成後，請告訴我，我們將立即開始造價分析。

本系統與建築師的協作並非單點的、線性的互動，而是一個多階段、可迭代的循環過程。

- 第一階段：專案啟動與計畫生成

建築師提供初始設計目標，Orchestrator 代理人執行 `create_task_plan`，生成並確認專案計畫，同時根據參數藍圖收集必要的基礎資料。

- 第二階段：自動化任務執行與監控

Orchestrator 透過 `dispatch_next_task` 工具，依據計畫中的依賴關係，自動將任務派發給對應的專家代理人。專家代理人完成任務後，必須呼叫 `task_completed` 工具回報其結構化的成果。在此階段，建築師的角色是監控者與確認者，確保 AI 的執行方向與其設計意圖一致。

- 第三階段：彈性介入與迭代修正

設計流程充滿變數，建築師隨時可能產生新的想法或疑問（例如：臨時想確認一項法規細節）。為此，系統提供了 `dispatch_interrupting_agent` 工具。此工具允許建築師隨時中斷當前的自動化流程，指派一個臨時任務給特定代理人（如 建築法規顧問）。待臨時任務完成後，Orchestrator 會繼續執行原有的專案計畫。這種設計兼顧了自動化流程的效率與人工介入的靈活性。

- 第四階段：整合評估與專業決策

當所有計畫任務完成後，Orchestrator 會彙整所有專家代理人的分析結果（量體、造價、碳排、法規），生成一份綜合性的多目標評估報告。建築師基於這份報告，進行專業的權衡（Trade-off）與決策，並可根據決策結果，提出修正意見，啟動下一輪的設計迭代。

本研究將 AI 代理系統定位於賦能（Empower）建築師的「輔助決策工具」，而非取代其專業判斷與創造力。

從上述協作流程可見，其核心價值在於：

- 自動化繁瑣流程：自動生成專案計畫、派發任務、收集資料。
- 提供多方案選項：高效生成多個備選方案，並附上其多維度的分析。

然而，最終的決策權始終掌握在建築師手中。AI 提供了客觀的數據，但建築師則負責進行主觀的價值判斷，並決定下一步的行動。例如，AI 可能會報告方案 A 成本較低，但方案 B 碳排較少，最終選擇哪個方案，則取決於建築師基於業主需求、設計哲學與社會責任所做出的專業判斷。這種人機協作模式，既發揮了 AI 在數據處理上的強大能力，也保留了人類在創造力與價值判斷上的核心地位。

第四章 系統實作與效益評估

第一節 Agent 指導原則與提示工程

在多代理人系統中，若無嚴謹的行為準則，各代理人極易產生不可預測的、混亂的行為。因此，我們透過一套層次分明、高度精密的提示工程（Prompt Engineering）技術，來精準控制與引導每個 AI 代理人的決策與行動。本節將深入剖析此技術框架，從通用規則到角色客製化，再到動態與結構化的提示設計，完整呈現本系統的穩定性基石。

為確保系統內所有代理人行為的一致性與專業性，我們首先建立了一套應用於所有代理人的通用性規則，作為其行為的基底層。這些全域規則從源頭上統一所有代理人的溝通風格與基本行為模式，為使用者提供一個穩定且可預測的互動體驗。

在代理人指令（Instruction）的設計中，主要有兩個關鍵的共通指令：

- 角色定義：每個代理人的指令文本都以「# 角色」作為開頭。這不僅僅是一個標題，更是提示工程中的「人格設定」（Persona Setting）基礎。它在第一時間為 LLM 確立了其在當前對話中的身份、職責與能力邊界，例如 Orchestrator 的「建築專案總監」或 MassingPlanner 的「建築量體規劃師」（如圖 3.6.1）。

- 輸出語言限制：為了確保在專業場景下的溝通嚴謹性，我們為每個代理人設定了嚴格的語言規範。

【**輸出語言限制**】：你的所有回覆【必須】嚴格使用繁體中文。除非使用者主動使用其他語言，否則絕不應在回覆中夾雜任何非中文或非英文字元（專有名詞或程式碼除外）。

此指令確保了系統輸出的同質性，避免因 LLM 原生偏好而產生的中英

夾雜或非預期語言，這對於面向特定地區（如台灣）使用者的專業軟體至關重要。

這些全域指導原則如同系統的準則，為所有代理人的後續複雜行為提供了一個統一、可靠的基礎框架。在這樣的基礎上，我們也為每個代理人訂定其專業性的專屬指令。這些指令不僅定義它們的知識領域，更關鍵的是塑造它們獨特的工作模式與決策邏輯。以下我們將說明各代理人的幾項專屬指令：

- Orchestrator 的「控制迴圈」與「黃金法則」：

專案總監作為系統中樞，其穩定性至關重要。我們透過兩項核心指令設計來確保其純粹的協調者角色：

- 黃金法則—強制委派：

你的黃金法則是：【絕對不能親自回答任何實質性問題】。你的唯一職責就是分析使用者的請求，並將其準確地分派給最合適的專家工具。

這條「否定式」指令從根本上杜絕了 Orchestrator 產生幻覺或回答超出其職責範圍問題的可能性。它迫使 Orchestrator 必須執行其核心任務—呼叫工具（`create_task_plan` 或 `dispatch_interrupting_agent`），從而保證工作流程的正確性與專家知識的可靠性。

- 主控制迴圈—穩健的流程控制：

指令中的「## 階段二：主控制迴圈」設計了一個帶有優先級的決策演算法。

階段二：主控制迴圈 (每次獲得控制權時的強制流程)

每當一個專家 Agent 完成任務並將控制權交還給你時，你【必須】嚴格遵循以下檢查順序：

1. 【最高優先級】分析使用者最新輸入...
2. 【標準流程】推進核心任務...
3. 【最終階段】產出總結報告...

此設計確保系統的響應性與彈性。Orchestrator 在推進專案主線任務前，必須優先檢查並處理使用者的臨時中斷請求。這種將流程控制邏輯明確寫入提示中的方法，使其行為不再是隨機的，而是可預測且穩健的，完美的實現「彈性介入」協作模式。

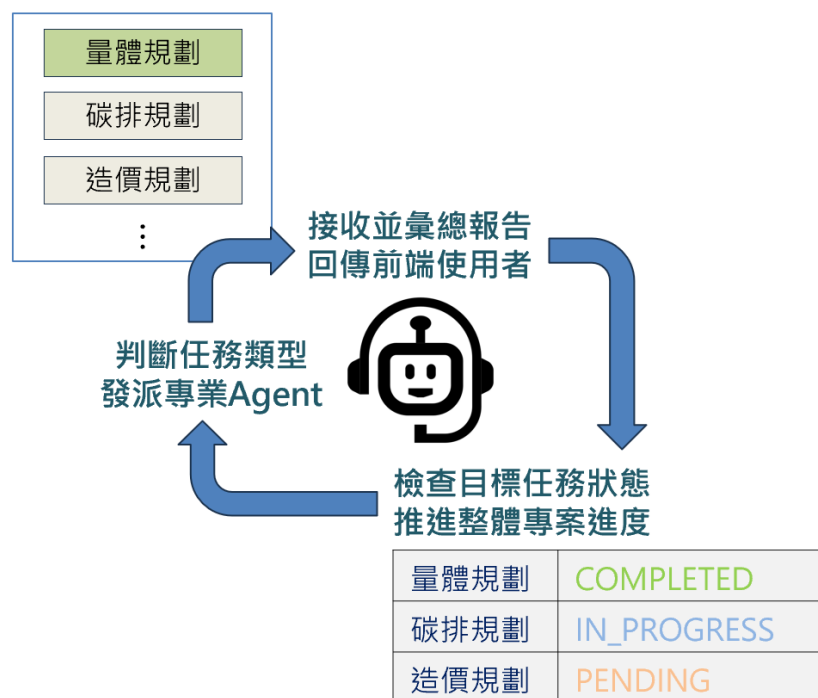


圖 4.1.1 專案總監代理人的流程控制

(來源：本研究繪製)

- Carbon Planner 和 Costing Planner 的「報告生成指令」：

對於建築蘊含碳顧問和造價顧問這類分析型代理人，我們特別要求其需具備產出具有深度洞察專業報告的能力。

● Carbon Planner 的部分指令：

... 撰寫一份包含深度見解的分析報告 ... 報告結構必須包含 ... 總碳排與關鍵指標 ... 碳排分佈解析 (熱點分析) ... 具體優化策略與權衡分析 ...

● Costing Planner 的部分指令：

... 撰寫一份包含深度見解的分析報告 ... 報告結構必須包含 ... 關鍵指標 ... 成本分佈解析 (熱點分析) ... 價值工程與成本優化策略 ...

這些指令是引導 LLM 進行深度分析的關鍵技術。它將一個模糊的「成本分析」任務，拆解為具體的、必須完成的子任務：找出分佈熱點、提出優化建議。這強制 LLM 不再滿足於淺層的數據呈現，而是必須進行更高層次的分析（找出熱點）與綜合（提出策略）。

另外，本系統並非執行單次的、無記憶狀態的指令，而是在多輪對話中，動態地將新資訊注入提示中，以實現連貫的、基於情境的推理。這個過程遵循了一個經典的循環（Agentic Loop）：思考 → 行動 → 觀察 → 思考。

● 思考（Think）：代理人根據當前的提示與對話歷史，決定下一步的行動。

● 行動（Act）：代理人執行一個行動，通常是呼叫一個工具（Function Calling）。

● 觀察（Observe）：系統接收並記錄工具的執行結果。

● 再次思考（Think again）：系統將「觀察」到的工具結果，作為新的上

下文 (Context) 添加至對話歷史中，然後再次讓代理人進行「思考」，以決定下一步行動。

以 Massing Planner 為例，當它在第一階段呼叫 `get_required_parameters` 工具後，Host 會接收到該工具的回傳結果（一個包含所有必要參數名稱的列表）。在進入第二輪思考時，這個列表會被注入到提示的情境中。因此，Massing Planner 的 LLM 能夠「觀察」到這份列表，並根據其指令「## 階段二」的要求，開始對列表中的第一個未知參數向使用者提問。正是這種動態注入新情境的機制，使得代理人能夠執行連貫的多步驟任務。

為了實現「主動式、流程導向的協作框架」的技術核心。我們將提示本身設計成一個嚴格的「劇本」或「作業程序」(SOP)，從而驅動代理人主動引導流程，而非被動等待指令。

Massing Planner 的指令是此設計的最佳體現，其工作流程被拆解為一個嚴格的、程序化的狀態機 (State Machine)：

- ## 階段一：內部設置

此階段強制代理人的第一個行動必須是呼叫 `get_required_parameters` 工具，且禁止產生任何對外文字。這如同程式中的 `__init__` 初始化函式，確保所有後續操作都基於一個正確的初始狀態。

- ## 階段二：系統性提問與處理

這是主迴圈，但其內部行為被嚴格約束。例如，「一次只問一個問題」的規則，確保與使用者的互動是有序且聚焦的，避免資訊過載。

- ## 階段四：核心參數最終匯總與確認

此階段設計為一個強制性的驗證關卡。代理人被指令必須生成一份所有參數的匯總列表，並等待使用者的明確確認後才能進入下一階段。這模仿真實專案中關鍵節點的審核流程，確保後續計算的數據準確

●## 階段六：任務交接說明與結束

此階段定義任務結束時的標準交接協議。指令明確規定代理人必須生成的交接文字，以及呼叫 `task_completed` 工具時必須遵守的參數規則（`task_id` 必須從上下文中獲取，`output_data` 必須是完整的物件）。

這種將工作流程的邏輯直接「硬編碼」（Hard-code）到提示中的結構化設計，讓 Massing Planner 從一個通用的語言模型，轉變為一個專業化、行為可預測的流程執行器。它不再是隨機應變，而是在一個預設的、嚴謹的軌道上運行，從而實現「主動式、流程導向」的協作行為。

然而，一個良好的系統架構不僅應滿足當前需求，更應考量到未來的可擴充性。接下來將以一個具體的實踐指南，闡述如何遵循既定原則，為系統新增一位全新的專家代理人。

這個標準作業流程清晰地展示本系統的模組化特性，即增加新功能是對系統的「擴充」，而非「重構」。我們以一個假設情境為例：為系統新增一位「結構規劃師」（Structure Planner），其職責是在量體規劃完成後，進行初步的結構系統佈局（如柱網規劃）。

新增一位代理人的完整流程可分為以下四個標準步驟：

第一步：定義角色與職責（Conceptualization）

在撰寫任何程式碼或提示之前，首要任務是進行概念設計，清晰地思考以下問題：

- 角色定位（Role）：這位代理人的專家身份是什麼？（例如：AI 結構規劃師）。
- 核心目標（Goal）：它在整個專案生命週期中，需要達成什麼具體目標？（例如：根據建築輪廓與樓層功能，提出一個合理且高效的初步柱網佈局方案）。

- 輸入與輸出 (Input/Output)：它需要哪些前置任務的產出作為輸入？
（例如：需要 Massing Planner 產出的最終量體參數）。它需要產出什麼作為成果？（例如：一個包含柱位座標和尺寸建議的 JSON 物件）。
- 協作關係 (Collaboration)：它在 Orchestrator 的任務計畫中處於哪個位置？（例如：在 Massing Planner 之後，Costing Planner 之前）。

完成這一步的思考，就為後續的技術實現提供了清晰的藍圖。

第二步：開發專家工具集 (Tool Server Implementation)

代理人本身不執行複雜計算，而是透過呼叫工具來完成。因此，第二步是為新代理人打造其專屬的能力。

- 創建工具腳本：在「tool_servers/」目錄下，建立一個新的 Python 腳本，例如：structure_planner_server.py。
- 定義無狀態工具：在此腳本中，使用「@mcp.tool()」裝飾器定義一系列純粹、無狀態的函式。對於「結構規劃師」，這可能包括：根據建築外框和建議跨距，生成柱網；驗證柱網跨距是否在合理範圍內。

這些工具是代理人完成其職責的基礎。

第三步：撰寫代理人指令 (Prompt Engineering)

這是最為核心的步驟，也是前述所有原則的關鍵。

- 新增指令條目：在存放代理人指令的字典 (AGENT_INSTRUCTIONS) 中，新增一個 StructurePlanner 的條目。
- 撰寫結構化提示：參照現有代理人的範例，為其撰寫一份高度結構化的提示，內容應遵循：
「# 角色」：清晰定義其專家身份。
「# 目標」：明確其核心任務。

「# 工作流程」：參照 Massing Planner 的「程序化狀態」設計，為其定義一個清晰、分步驟的標準作業流程。範例如下：

階段一：數據確認：向使用者宣告身份，並確認已收到 Massing Planner 的量體數據。

階段二：初步規劃：呼叫 `propose_column_grid` 工具生成初步方案。

階段三：人機協作：將方案呈現給使用者（建築師），並詢問是否需要調整。

階段四：驗證與定案：根據使用者回饋調整參數，並呼叫 `validate_structural_span` 等工具進行驗證。

階段五：任務完成：生成最終的柱網方案報告，並呼叫 `task_completed` 工具結束任務。

第四步：系統整合與註冊（System Integration）

最後一步是將這位新成員正式「註冊」到系統中，讓 Orchestrator 能夠認識並調度它。

- 代理人與工具註冊：

1. 在系統的設定檔中，將 Structure Planner 加入到 AgentRole 的枚舉或列表中。
2. 建立 Structure Planner 與其工具腳本 `structure_planner_server.py` 路徑之間的映射關係。這一步是告訴 Agent Host，當輪到 Structure Planner 工作時，應該去啟動哪一個子進程。

- workflow 整合：

1. 修改 Orchestrator 的 `create_task_plan` 工具函式。
2. 在任務計畫列表中，於 Massing Planner 之後 Costing Planner

之前，插入一個新的任務描述（並相應地調整後續任務的 task_id 與 dependencies 欄位）。例如：

```
{  
  "task_id": 1,  
  "description": "進行初步結構系統與柱網規劃。",  
  "assigned_to": "StructurePlanner",  
  "dependencies": [0]  
}
```

完成以上四個步驟後，一位全新的「結構規劃師」代理人便無縫地融入了現有的 AI 團隊。這個標準化的擴充流程，確保了整體系統的高度可維護性與可擴充性。

第二節 檢索增強生成（RAG）應用

在建築設計領域，法規的準確性是必要的。然而，法規文本本身具有高度結構化、內容龐雜且條文間相互關聯的特性，直接將其作為 LLM 的知識來源，極易導致資訊過載與回答失焦。為了解決此關鍵挑戰，本研究為建築法規顧問代理人設計並實作一套高效的檢索增強生成（Retrieval-Augmented Generation, RAG）系統。此系統的核心策略是將法規文本深度解構至最小語意單元，並採用兩階段的混合式向量檢索策略，以確保為 LLM 提供最精準、最聚焦的上下文，從而生成可靠的法規諮詢答案。

本 RAG 法規搜尋系統的基礎，是將非結構化的法規文本轉化為 AI 可用的結構化知識庫。此過程包含以下關鍵步驟：

一、結構化解構（Structured Deconstruction）

本研究選定台灣建築領域最核心的法規—《建築技術規則》作為知識

來源，包含「總則編」、「建築設計施工編」、「建築構造編」和「建築設備編」。我們並非將整部法規視為單一文件，而是進行了細粒度的解構，將其拆分至最小的獨立語意單元。每一個「項」、「款」、「目」都被視為一個獨立的單元，並儲存其完整的層級路徑資訊（章、節、條、項、款、目），如圖 3.7.1 所示。

章	章內容	節	節內容	條編號	條	項編號	項	項內容	款項編號	款	款內容
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-01	第一款	一宗土地：本法第十一條所稱一宗土地，指一幢或二幢以上有連帶使用性之建築物所使用之建築基地。但建築基地為道路、鐵路或永久性空地等分屬者，不視為同一建築基地面積；建築基地（以下簡稱基地）之水平投影面積。
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-02	第二款	建築面積：建築物外牆中心線或其代替柱中心線以內之最大水平投影面積。但電業單位規定之配電設備及其防護設施、地下層突出基地地面未超過1.2公尺或遮陽板有1/2以上為遮空，且其深度在2.0公尺以下者，不計入建築面積；陽臺、屋簷及建築物出入口雨遮突出建築物外牆中心線或其代替柱中心線超過2.0公尺，或雨遮、花臺突出超過1.0公尺者，應自其外緣分別扣除2.0公尺或1.0公尺作為中心線；每層陽臺面積之和，以不超過建築面積1/8為限，其未達8平方公尺者，得建築8平方公尺。
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-03	第三款	建築面積：建築物外牆中心線或其代替柱中心線以內之最大水平投影面積。但電業單位規定之配電設備及其防護設施、地下層突出基地地面未超過1.2公尺或遮陽板有1/2以上為遮空，且其深度在2.0公尺以下者，不計入建築面積；陽臺、屋簷及建築物出入口雨遮突出建築物外牆中心線或其代替柱中心線超過2.0公尺，或雨遮、花臺突出超過1.0公尺者，應自其外緣分別扣除2.0公尺或1.0公尺作為中心線；每層陽臺面積之和，以不超過建築面積1/8為限，其未達8平方公尺者，得建築8平方公尺。
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-04	第四款	建築率：建築面積占基地面積之比率。
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-05	第五款	樓地板面積：建築物各層樓地板或其一部分，在該區劃中心線以內之水平投影面積。但不包括第三款不計入建築面積之部分。
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-06	第六款	觀眾席樓地板面積：觀眾席位及縱、橫通道之樓地板面積。但不包括吸煙室、放映室、舞臺及觀眾席外面二側及後側之走廊。
第一章	用語定義			00100	第1條	00100-01	第一項	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：	00100-01-07	第七款	總樓地板面積：建築物各層包括地下層、屋頂突出物及夾層等樓地板面積之總和。

圖 4.2.1 法規文本結構化解構

（來源：本研究繪製）

建築師的提問往往針對某個特定的細節（例如：陽台的寬度限制），此細節可能僅存在於某法條的某一「款」或「目」中。將法規解構至最小單位，可以讓向量檢索的結果極大程度地聚焦於使用者提問的核心，從而避免將包含大量無關細則的整條法規內容作為上下文，對 LLM 的判斷造成干擾。

二、 混合式向量嵌入（Hybrid Vector Embedding）

為捕捉法規文本豐富的語意與關鍵詞特性，我們採用 bge-m3 為嵌入模型（Embedding Model），該模型可支援多語言，並且能為文本生成多種向量表示，如密集（dense）、多向量（multi-vector）、和稀疏（sparse）檢索。

本研究主要利用了其中兩種檢索，如程式碼所示：

```
from FlagEmbedding import BGEM3FlagModel
# ...
emb_model_id = ".../bge-m3"
emb_model = BGEM3FlagModel(emb_model_id, use_fp16=True)
# ...
query_embedding = emb_model.encode(

    msg,

    return_dense=True,

    return_colbert_vecs=True

)
```

- 密集向量 (Dense Vector): 一個捕捉文本整體語意 (Semantic Meaning) 的向量，適用於理解概念性的相似度。
- ColBERT 向量 (ColBERT Vector): 一種「後互動」(Late Interaction) 的多向量表示，對查詢中的關鍵詞匹配極為敏感，適用於精準的詞彙級別相關性判斷。

三、 建立索引 (Index Construction)

為了實現毫秒級的快速檢索，我們使用 FAISS 函式庫為所有文本的密集向量建立了一個高效的索引檔案 (faiss_index.bin)。而 ColBERT 向量則與結構化文本資料一同儲存於 Parquet 檔案中，用於後續的精準重排序階段。

為了兼顧檢索的「速度」與「精度」，建築法規顧問的法規查詢工具採用一套兩階段的混合式檢索策略。

第一階段：高效率候選集召回 (Efficient Candidate Recall)

當使用者提出問題後，系統首先將問題轉化為密集向量，並利用 FAISS

索引進行高速的近似最近鄰搜索，如程式碼所示：

```
dense_vector = np.array(
    [query_embedding['dense_vecs']], dtype=np.float32
)
distances, indices = faiss_dense_index.search(dense_vector, k=100)
```

此階段的目標是在數萬個法規單元中，快速召回一個數量較大（本研究設定 100 筆）的高度相關候選集。此步驟主要依賴整體語意相似度，確保了檢索的廣度與效率。

第二階段：ColBERT 精準重排序與篩選（Fine-grained Re-ranking & Filtering）

在獲得候選集後，系統會進入更精細的重排序階段。程式碼遍歷第一階段召回的 100 筆結果，並使用計算成本較高但更為精準的 ColBERT 模型，逐一計算查詢與每個候選文件的相關性分數。

```
for i in top_indices:
    colbert_vec = np.asarray(
        colbert_embeddings_list[i], dtype=np.float32
    )
    colbert_score = compute_colbert_score(
        query_colbert_vecs, colbert_vec
    )
    # ...
hits = sorted(diclist, key=lambda x: x['score'], reverse=True)
```

在獲得精準的 ColBERT 分數後，系統會進行一系列嚴格的後處理與篩選，以確保最終提供給 LLM 的上下文品質：

1. 絕對分數篩選: 僅保留相關性分數高於 0.5 的結果。
2. 相對分數篩選: 僅保留與最高分結果差距在 0.05 以內的項目，有效過濾掉相關性不高的「長尾」結果。
3. 長度限制: 限制最終輸出的總字數不超過 2000 字，避免超出 LLM 的上下文視窗限制。

檢索的最終目的，是為 LLM 提供一段高品質的上下文。在篩選出最相關的法規最小單元後，系統並非直接將這些碎片化的文本拋給 LLM，而是透過 `combine_laws` 函式進行脈絡重建與生成 (Context Reconstruction and Generation)。

此函式會根據每個法規單元自帶的層級路徑資訊 (條、項、款、目)，將它們重新組織成具有正確巢狀結構、符合人類閱讀習慣的格式，範例如下：

《建築技術規則建築設計施工編》

第四條之一：

(第一項)建築物除位於山坡地基地外，應依下列規定...防洪及排水相關規定：

(第一款)建築物地下層及地下層停車空間...應設置高度自基地地面起算九十公分以上之防水閘門 (板)。

(第二款)建築物地下層突出基地地面之窗戶及開口...應設置防水閘門 (板)。

(第二項)前項防水閘門 (板) 之高度，直轄市、縣 (市) 政府另有規定者，從其規定。

最終，這個經過解構 → 檢索 → 重建的、高度相關且極度聚焦的法規文本，會被加入到建築法規顧問的提示中。這使得建築法規顧問能夠基於這段可靠的法規條文內容，生成準確、有憑有據的回答，完美地實現 RAG

的核心價值，也為建築師提供了一個值得信賴的法規諮詢工具。

第三節 AI 圖像生成 ComfyUI：從技術平台到建築設計工具

本研究採用 ComfyUI 作為擴散模型整合與可視化控制平台，實現設計生成流程中各模型模組（如 SDXL、Stable Diffusion 3.x、Flux）之節點式管理與輸入參數控制。ComfyUI 提供圖形化的節點架構，允許使用者以拖拉節點的方式組建生成流程（workflow）組合提示語模組、條件控制模組（如 ControlNet、LoRA、depth map..等）、圖像生成核心，以及後處理節點（如 upscale、style refine），有助於建立穩定且可重現的生成流程。工作流程可儲存為 JSON 檔案，方便重現與分享，此一節點化流程不僅強化了設計流程中的模組透明性與流程再現性，更可將每一次圖像生成的參數與模型版本記錄於圖形節點架構中，便於後續版本管控與多版本方案比較，有助於建立設計生成過程的知識系統也促進團隊協作與流程標準化。在不同的 LOD 階段圖像生成的需求略有不同，對應的關鍵節點也需調整（如表 4.3.1）。

表 4.3.1 「LOD 階段→生成需求→Workflow 配置」的對應框架

LOD 階段	視覺化目標	輸入來源	推薦工作流	關鍵節點配置
LOD 100	量體意象溝通	簡化量體 geometry	Text→Image (低控制度)	Prompt + Style LoRA
LOD 150	結構系統視覺化	結構網格線圖	ControlNet (Line/Depth)	結構線條→立面生成
LOD 200	材質系統確認	BIM 外殼模型截圖	Image → Image + Inpaint	保留構圖, 替換材質

（來源：本研究繪製）

具體操作流程示例，以建築外觀設計為例：

1. 載入模型與工作流：將預先設計好的 ComfyUI 工作流程檔匯入系統，並載入對應的生成模型（如 Flux 或 SD model）。
2. 輸入參數設定：在節點中填寫文本提示詞（Prompt）及負面提示詞（Negative Prompt），描述建築風格、材質、環境等特徵。
3. 圖像載入與修補：利用 Load Image 節點導入 BIM 導出的建築輪廓圖或深度圖，並可透過 Inpaint 節點進行局部修補或細節調整。
4. 擴圖與細節優化：使用 Outpaint 節點擴展畫面邊界，生成更完整的建築外觀視覺效果。
5. 結果輸出與評估：整個生成流程透明且可調，生成結果可快速迭代與優化。ComfyUI 的基本工作流程，包括：文生圖、圖生圖、局部重繪、ControlNet、Outpaint 節點擴展等(如圖 4.3.1、圖 4.3.2、圖 4.3.3、圖 4.3.4、4.3.5):

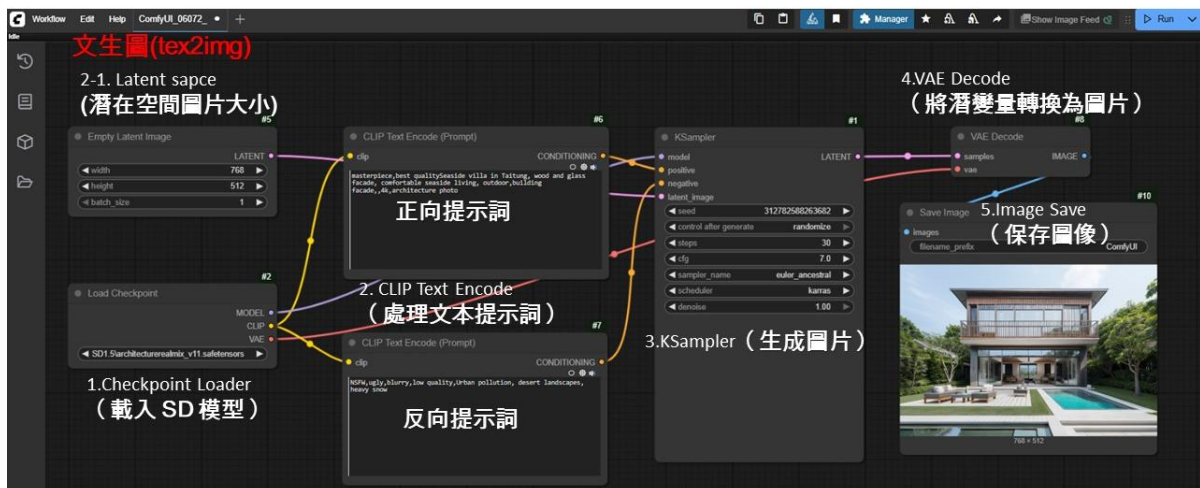


圖 4.3.1 ComfyUI 的文生圖工作流程

(圖片來源：由本研究繪制)

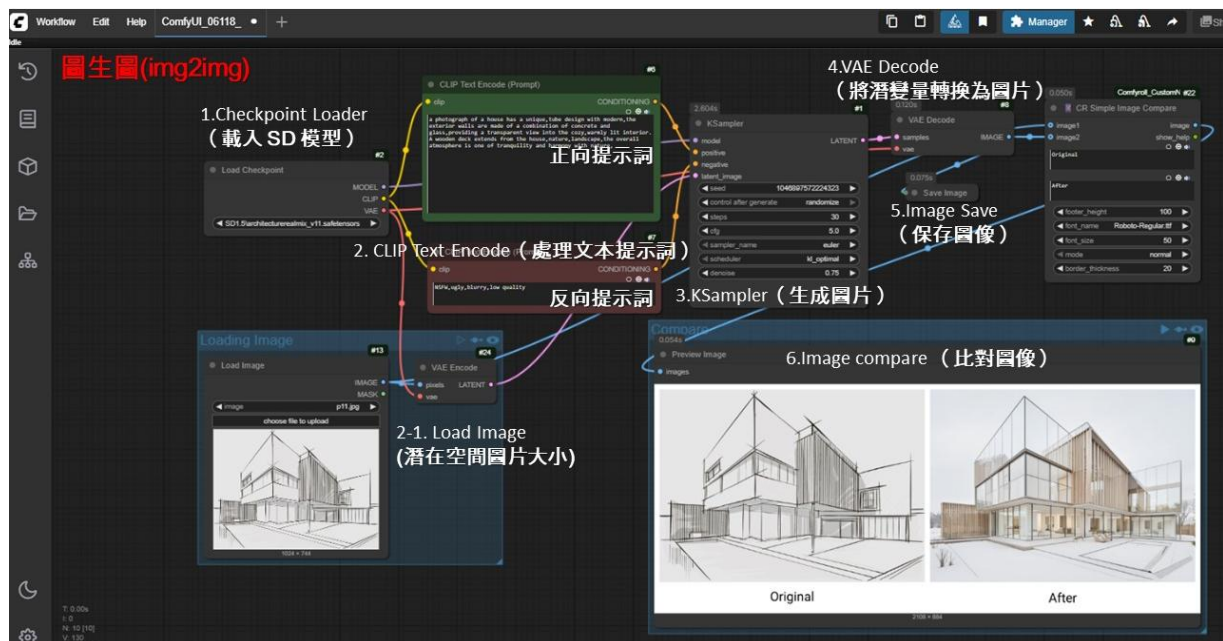


圖 4.3.2 ComfyUI 的圖生圖工作流程

(圖片來源：由本研究繪制)

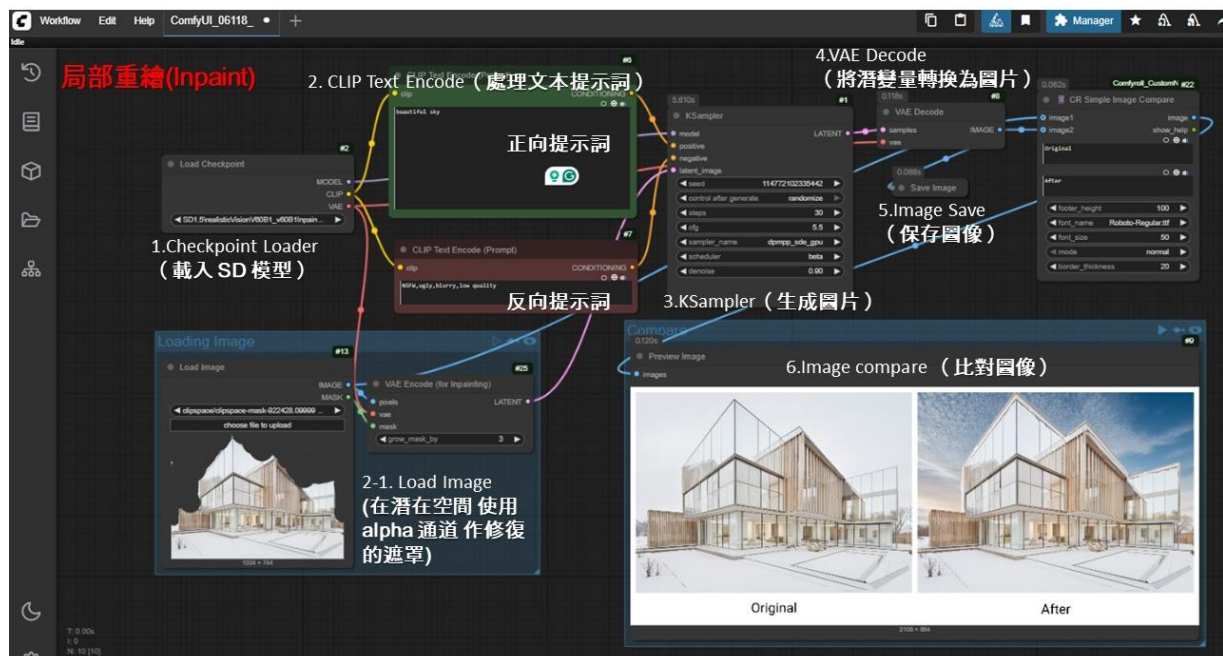


圖 4.3.3 ComfyUI 的局部重繪工作流程

(圖片來源：由本研究繪制)



圖 4.3.4 在 ComfyUI 使用設計底圖並透過 ControlNet(Scribble)的精準控制生成的立面風格圖像

(圖片來源：由本研究繪製)

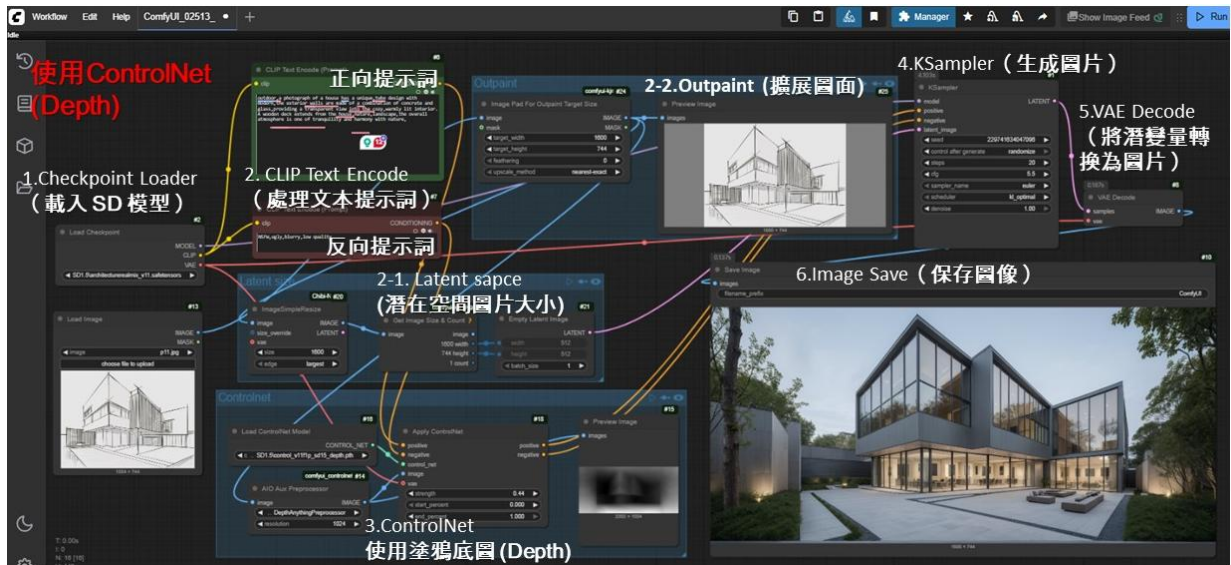


圖 4.3.5 在 ComfyUI 使用 Outpaint 擴展圖面

(圖片來源：由本研究繪製)

工作流程以 JSON 格式儲存，便於重現與團隊協作，提升設計效率與方案多樣性，結合多目標評估指標（如造價、碳排放）進行方案篩選(如表 4.3.2)。

表 4.3.2 ComfyUI 常見問題與解決方案

問題類型	現象	解決策略
模型管理	生成的柱子過粗/樓層過高	使用二個 controlNet modle (Canny+Depth);在 prompt 中明確標註"human scale"
條件控制	玻璃反射錯誤/混凝土質感假	提高 CFG 值;使用材質參考圖 (IP-Adapter)
操作互動	每次生成角度不同	ControlNet 權重加大;固定 seed

(來源：本研究整理)

本研究採用 ComfyUI 作為擴散模型整合與可視化控制平台，並非僅因其技術先進性，更關鍵的是其工作流程的可見性、可重現性與可定制化特性，完美契合建築設計的專業需求其優點歸納如下：

表 4.3.3 ComfyUI 優點歸納

面向	ComfyUI 功能特點
模型管理	節點式組裝不同版本 Stable Diffusion、Flux 等模型
條件控制	整合 ControlNet, LoRA, Prompt Strength 等參數
操作互動	介面圖形化，適合非程式背景的設計師操作
工作再現性	所有參數與節點可儲存為工作流檔案 (.json)，便於版本管理
外部整合能力	可搭配 Blender、LLM API、法規引擎組成設計輔助循環流程

第四節 系統的可觀察性與可追蹤性

在專業領域，尤其是涉及高風險、高價值的建築設計工作中，任何決策都必須有據可循。傳統的 LLM 常被詬病為「黑盒子」，其內部決策過程不透明，這在需要嚴謹、可審核的專業流程中構成了一大障礙。若建築師無法理解 AI 提出建議的原因，便難以完全信任並採納其成果。為解決此問題，本研究透過 MCP 架構與多代理人設計，實現高度的系統可觀察性（Observability）與可追蹤性（Traceability），讓 AI 的每一步「思考」與「行動」都有跡可循，從而建立使用者的信任，並極大地便利系統的除錯與持續優化。

本節將以一段實際的系統執行日誌為例，深入剖析如何將抽象的 AI 決策過程，轉化為具體、可審核的證據鏈。系統執行日誌如下：

```

--- [Turn 1] Session: 7af66d87..., Active Agent: Orchestrator ---
--- [LLM Call] 為 Orchestrator 發送請求... ---
--- [決策] LLM 請求工具呼叫: ['create_task_plan'] ---
--- [Tool Response] | Tool: create_task_plan | Raw Result: {"action": "create_plan", "plan": [{"task_id": 0, "description": "進行初步量體規劃...", "assigned_to": "MassingPlanner", ...}, ...]}
--- [專案管理] 計畫已創建，包含 3 個任務。---

--- [Turn 2] Session: 7af66d87..., Active Agent: Orchestrator ---
--- [LLM Call] 為 Orchestrator 發送請求... ---
--- [決策] LLM 請求工具呼叫: ['dispatch_next_task'] ---
--- [Tool Response] | Tool: dispatch_next_task | Raw Result: {"action": "dispatch_next_task"}
--- [專案管理] 派工 -> 任務 0 ... 給 MassingPlanner ---

--- [Turn 3] Session: 7af66d87..., Active Agent: MassingPlanner ---
--- [LLM Call] 為 MassingPlanner 發送請求... ---
--- [決策] LLM 請求工具呼叫: ['get_required_parameters'] ---
--- [Tool Response] | Tool: get_required_parameters | Raw Result: {"status": "success", "required_params": ["site_area", "gfa_target", ...]}

```

```
--- [Turn 4] Session: 7af66d87..., Active Agent: MassingPlanner ---  
--- [LLM Call] 為 MassingPlanner 發送請求... ---  
--- [決策] LLM 已生成最終回覆，結束思考循環。 ---  
'好的，我了解專案目標是位於中和的青年社宅。為了進行下一步的量體規劃，我需要與您確認幾個關鍵參數。首先，請問基地的法定容積率是多少？'
```

在 [Turn 1] 的日誌中，當 Orchestrator 接收到使用者模糊的初始請求後，其第一個決策並非直接回答，而是呼叫 `create_task_plan` 工具。日誌清晰地記錄了 LLM 的決策意圖（---[決策] LLM 請求工具呼叫 ---），以及該工具返回的結構化計畫。這份計畫包含了具體的任務描述、依賴關係和指派對象，將一個抽象的設計目標，轉化為一個具體、可執行的步驟列表。這使得整個專案的宏觀策略在啟動之初就變得完全透明，使用者可以明確知道系統接下來打算做什麼，以及為什麼要這麼做。

多代理人系統的複雜性在於協調與控制權的轉移。在 [Turn 2] 中，Orchestrator 在完成計畫制定後，主動呼叫 `dispatch_next_task` 工具，日誌顯示其結果為：[專案管理] 派工 -> 任務 0 ... 給 MassingPlanner。緊接著，在 [Turn 3] 的開頭，日誌中的 Active Agent: MassingPlanner 標籤明確顯示了當前負責思考與行動的代理人已經從 Orchestrator 轉換為 MassingPlanner。這種清晰的權責劃分與轉換記錄，使得在複雜的多代理人協作中，我們依然能準確追蹤每一項任務的執行者與系統當前的狀態。

並且，日誌不僅記錄了哪個代理人在行動，更記錄了它行動的依據。在 [Turn 3] 中，新啟動的 MassingPlanner 的第一個動作是呼叫 `get_required_parameters` 工具。日誌不僅展示出這次的工具呼叫，更關鍵的是，它顯示出工具返回的確切參數列表（`"required_params": ["site_area", "gfa_target", ...]`）。這段日誌清楚的證明系統並非在隨意發問，而是嚴格依照「結構化參數收集藍圖」在行動，為其後續的提問行為提供合理的依據。

接著，[Turn 4] 的日誌是整個追蹤過程的亮點。日誌顯示，MassingPlanner 最終向使用者提問：「請問基地的法定容積率是多少？」。這個問題並非隨機，其背後的因果鏈在日誌中清楚記載：正是因為它在上一步（[Turn 3]）透過工具確認了「法定容積率」是其執行任務的必要參數之一，所以它才在第四輪對話中主動向使用者提出這個具體問題。日誌完整地展示了從「內部需求認知」（需要參數）到「外部使用者互動」（提出問題）的清晰邏輯鏈，大幅度地提升 AI 行為的可解釋性（Explainability）。

綜上所述，詳細的追蹤日誌是本研究 AI 代理系統設計的核心優勢之一。它將原本不透明的 LLM 決策過程，轉化為一系列可被審核、可被理解的結構化事件。對於開發者而言，這意味著可以精準地進行系統除錯與性能優化；對於專業使用者（建築師）而言，這意味著他們可以審核並信任 AI 的工作流程，清楚地了解每一項數據分析與建議的來源與依據。這種由可觀察性與可追蹤性所帶來的透明度，是將 AI 轉變為一個更值得參考的「專業協作工具」所不可或缺的關鍵特性。

第五節 系統效益評估：與通用大型語言模型之比較

為了評估本研究提出的 AI 代理系統在專業領域應用的實際效益，本節將其與直接使用通用大型語言模型（General-Purpose LLM，如 OpenAI 的 ChatGPT 或 Google 的 Gemini）進行深度比較。我們將從流程自動化、專業深度、系統擴充性、工具整合能力，以及狀態管理等五個核心特性分析（表 4.5.1）。結果顯示，雖然通用模型在廣泛知識與自然對話方面表現出色，但本研究的 AI 代理系統架構在處理複雜、結構化的專業任務時，展現了顯著的優越性。

表 4.5.1 AI 代理系統與通用大型語言模型之效益比較

（來源：本研究繪製）

評估特性	AI 代理系統	通用大型語言模型
流程自動化與主動性	主動式流程推進： 由專案總監依預設計畫自動化執行多步驟任務，無需使用者手動銜接。	被動式單輪回應： 完全依賴使用者逐一下達指令來推進流程，若使用者不清楚下一步，流程即停滯。
專業分工與深度	專家團隊協作： 每個代理人擁有高度優化的專屬指令與領域知識，確保任務執行的深度與精準度。	通才知識模型： 知識廣泛但深度有限，需依賴冗長且複雜的提示詞來引導，且容易偏離特定要求。
擴充性與可維護性	模組化設計： 可像組裝樂高一樣，獨立開發並新增專家代理人，而不影響現有系統，耦合度低。	單體式結構： 增加新功能需大幅修改整體提示詞，複雜度高，且容易因指令衝突導致行為錯亂。
外部工具整合能力	無限整合： 可透過自訂 Python 伺服器，整合任何私有資料庫、計算引擎或第三方 API。	有限整合： 通常受限於平台提供的內建功能或少量官方 API，難以整合企業內部或客製化工具。
狀態管理與長期記憶	結構化長期記憶： 透過外部狀態管理器精確存儲任務進度與成果，記憶可靠且持久。	短期情境記憶： 依賴有限的對話上下文視窗（Context Window），在長對話中容易遺忘早期關鍵資訊。

以下我們將針對以上五個關鍵特性，詳細的論述兩者的核心差異：

- **流程自動化與主動性 (Process Automation & Proactivity)：**

通用模型本質上是被動的，它一次僅回應一個問題，然後等待使用者的下一個指令。整個專案的推進完全依賴使用者對專業流程的熟悉度，並透過手動方式一步步地下達指令。若使用者不清楚下一步該做什麼，或是在任務銜接時出現疏漏，整體流程便會停滯或出錯。相較之下，本系統是主動的。一旦建築師設定了初始目標，專案總監就會依據預設的「專案任務計畫列表」自動化、有順序地推進整個專案。它會主動指派量體規劃師去收集資料，在其完成任務後，再根據依賴關係，主動指派建築蘊含碳顧問或造價顧問進行後續規劃。使用者無需自行介入每一步的銜接。例如，在一個完整的建築初步設計流程中，系統能自主完成「量體規劃→ 造價規劃 → 蘊含碳規劃→ 產生報告」等一系列複雜的流程，大幅度地提升整體工作流程的效率與流暢性。

- **專業分工與深度 (Specialization & Depth)：**

通用模型是一個知識淵博的通才，它幾乎什麼都懂一些，但對於特定專業領域的深度知識和標準工作流程可能不夠精確。使用者需要花費大量的提示工程成本來教導它每一步的細節，且在長對話中，它可能會忘記前文的特定要求，導致輸出結果的穩定性不足。本系統則模仿現實的專家團隊，採用職責分離的策略。量體規劃師只專注於量體規劃，蘊含碳顧問只專注於處理碳排相關的事件。每個代理人的系統指令都經過高度客製化與優化，使其在自己的領域內表現得像一位真正的專家。例如，蘊含碳顧問的指令中明確包含了如何解析特定 JSON 格式的混凝土用量數據，這是一般通用模型無法預知的「領域知識」(Domain Knowledge)。這使得它在處理高度專業化的任務時，比通用模型更可靠、更精確。

- **擴充性與可維護性 (Scalability & Maintainability)：**

若想為一個已有的通用模型對話增加一項全新的複雜功能（例如「結構技師」），往往需要大幅修改、甚至重寫整個對話的系統提示詞。這不僅工程浩大，而且極易因為指令過於複雜、互相衝突，而導致模型整體行為的退化或錯亂。本系統基於 MCP 的模組化架構，展現了絕佳的擴充性與可維護性。若要增加一個新的功能，開發者只需：1. 創建一個新的代理人；2. 為其編寫專屬的指令和工具；3. 最後，僅需在專案總監的「專案任務計畫列表」中，加入一個新的任務即可。這個過程完全不影響現有的專家代理人。各個專家代理人之間低耦合，使得系統的維護和升級變得更加快速且容易。開發者可以像組裝樂高一樣，不斷為這個 AI 智慧助理團隊增加新的專家成員。

- **外部工具整合與執行能力（Tool Integration & Execution）：**

雖然現代的通用模型已開始整合外部工具，但其能力通常受限於平台提供的官方 API，例如網路搜尋或程式碼解釋器。要整合企業內部的特定資料庫、專有的計算引擎或私有 API，往往非常困難甚至無法達成。本系統的 MCP Server 架構則提供了絕佳的整合能力。開發者可以透過自訂的 Python 工具伺服器，將任何需要的工具封裝起來供代理人呼叫。無論是複雜的科學計算函式庫（如 NumPy, Pandas）、公司內部的 SQL 資料庫、或是任何第三方服務的 API，都輕易可以被整合。例如，系統中的工具可以使用 Python 的正規表示式（regex）來解析客製化的檔案格式，或執行複雜的工程計算，這些都是通用模型難以穩定完成的、需要精確執行的任務。

- **狀態管理與長期記憶（State Management & Long-term Memory）：**

通用模型主要依賴其對話上下文視窗（Context Window）來「記憶」資訊。這是一種線性的、非結構化的短期記憶。一旦對話變得非常長，或資訊複雜交錯，模型就可能忘記早期的關鍵資訊或指令，導致前後矛盾的回答。本系統則設計了一個結構化的外部狀態管理器。所有專案的計畫、任務的狀態（待處理、進行中、已完成）、以及每個專家代理人產出的成果（output_data），

都被明確地、結構化地儲存在狀態中。代理人在決策時，不僅依賴對話歷史，更會查詢這個精確的「專案資料庫」。例如，當專案總監在專案結尾要生成總結報告時，它不需要從數十輪的長篇對話中辛苦地篩選資訊，而是可以直接讀取每個任務乾淨、結構化的 output 數據，從而確保最終報告的準確性、完整性與可靠性。

綜上所述，本研究成功實作了一個專為建築設計初期階段所打造的 AI 代理人系統。此系統以模型上下文協定（MCP）為架構基礎，實現高度模組化與未來可擴充性，其核心由一名 Orchestrator 專案總監代理人，協同多位各具專長的專家代理人（如 Massing Planner、Carbon Planner 等）組成。系統的核心突破，在於透過精密的提示工程，特別是將工作流程硬編碼為代理人指令的程序化狀態設計，成功地將 AI 從被動的問答工具，轉化為能夠主動引導、推進專案的智慧協作者。其高度的可觀察性與可追蹤性，確保決策過程的透明，徹底擺脫傳統 AI 的「黑盒子」限制。與通用大型語言模型相比，本系統在流程自動化、專業深度、系統擴充性、外部工具整合與結構化長期記憶方面，均展現出顯著的優越性。最終，本研究成果不僅是一個特定領域的 AI 應用實例，更是一套為未來建構可信賴、能深度融入各領域專業工作流程的 AI 代理系統所提出的具體技術藍圖。

第五章 研究發現與討論

第一節 參數化設計流程回顧與系統運作說明

本研究以安邦社會住宅為主要案例，聚焦於設計前期階段（LOD 100～LOD 200），透過實際模擬操作，探討參數化設計與 AI 輔助技術如何整合至 BIM 流程，並於人機協同（Human-in-the-Loop, HITL）架構下實現動態決策回饋。研究流程分為三個主要階段：量體規劃（LOD 100）、結構系統（LOD 150）、外殼立面（LOD 200）。

在每一階段中，研究者透過 Grasshopper 工具作為流程核心除了可以與 Rhino.Inside.Revit 建立跨平台資料交換模型，並以「資料交換斷點（Data Exchange Nodes）」方式建立參數欄位，使設計資訊能在不同介面環境間維持一致性與可追溯性。此外，導入 AI Agent 系統模擬自動判斷與資料回饋功能，測試於人機互動過程中，AI 如何輔助進行性能評估、造價預估與設計調整建議。

本研究架構以「人機協同作業」為核心思維，透過人工與 AI 的互補關係，將參數化設計過程中大量的變數轉化為具邏輯性的資料流，並在設計決策節點建立回饋迴圈，以模擬未來自動化設計輔助系統的可能樣態。

一、參數化設計流程的重構成果

研究結果顯示，參數化設計方法能有效重構傳統 BIM 設計流程。以 LOD 100～200 的設計階段為例，原本以幾何建模為導向的流程，經由參數化轉換為以邏輯關聯與條件控制為核心的「資料導向流程」

在 LOD 100 階段，模型以量體幾何與法規條件為主要控制變數，設計者可快速透過參數變動模擬不同容積率、建蔽率與退縮條件的設計組合；至 LOD 150 階段，模型進一步分層與功能化，建立樓層高度、

空間分區比例與核心筒位置等中階資訊；進入 LOD 200 階段後，模型逐步具備結構與外殼系統參數，使其可與初步造價與能耗分析連動。

透過此流程，設計資訊得以保持動態連貫，避免傳統設計過程中因反覆修改造成的資料斷層與重建成本。整體而言，參數化設計的導入顯著提升了模型回溯性、設計透明度與修改靈活度。

二、人機協同與 AI 輔助決策的運作模式

研究發現，AI 輔助機制在人機協同架構中能有效強化決策效率與精度。透過建立明確的判斷規則與資料回饋流程，AI 系統可於多項重複性任務中自動化運作，在此架構中，AI 並非取代設計者，而是作為「判斷輔助者」的角色。人類設計者可透過 HITL (Human-in-the-Loop) 互動介面，選擇是否採納 AI 所提出的建議或修正方案，使決策過程更具回饋性與學習性。此種互動方式使得設計過程兼具「效率」與「控制感」，也為未來 AI 自動化設計提供人為監督與倫理機制之參考。

此外，AI 系統的引入促進了資料在流程中的再利用。例如，在量體與樓層資訊確立後，AI 能自動判定各樓層結構重量與鋼筋需求量級，進而回饋至初步造價模型中，使設計—造價—結構三者之間形成迴圈式的資訊流動。這樣的流程不僅提升設計準確度，也縮短了從概念到初步預算評估的時間。

三、資料交換斷點與資訊整合效益

「資料交換斷點」為本研究流程中的關鍵設計。其核心概念為在不同階段明確界定輸入與輸出資料的格式與屬性，以維持跨平台資料一致性。研究證實，透過資料交換斷點設定，可將 Rhino/Grasshopper 生成的參數模型轉

化為 Revit 可讀的 BIM 元件資訊，並保持幾何與屬性之對應關係。

此一資料節點結構有效減少人工轉換的誤差與時間，同時為 AI 系統提供明確的資料抓取接口，使後續自動化演算能精確回饋至模型。經模擬測試後顯示，當資料交換節點定義清晰時，可降低整體設計流程之資料丟失率，且每次迭代節省人工操作時間。

研究也發現，資料交換斷點的設計不僅是技術層面的轉換問題，更代表設計資訊邏輯的再定義。透過統一的資料架構，設計、結構、造價與能耗等不同領域能在同一模型中協同檢討，形成跨專業的資訊整合基礎。

四、流程結論與實務建議

- 對建築師與設計單位：

建議於設計初期即導入參數化思維，建立可回溯的設計資料架構，以便後續整合造價、結構與環境評估，形成循環式決策流程。

- 對公部門與業主單位：

應以 LOD 為階段性評估基準，推動資料導向的審查與造價透明化機制，使公共建築專案(如社會住宅)能於早期階段即具備可量化的決策依據。

- 對教育與研究界：

建議持續探索人機協同與 AI 於設計決策支援中的應用，特別是資料交換標準化(IFC、JSON、Schema Mapping)與 AI 模型解釋性(Explainable AI)方向，以推動智慧建築決策生態的成熟化。

- 對未來研究方向：

本研究聚焦於 LOD 100~200 之規劃與設計階段，後續可延伸至 LOD 300~400，探討施工與維運階段的資料回饋與 AI 預測模型精度，進一步實現全生命週期的智慧化建築流程。

第二節 人工智慧代理框架 (AI Agent Frameworks) 的優勢與局限性

人工智慧代理框架 (AI Agent Frameworks) 是一套可以提供開發人員建立、部屬和管理 AI Agents 的軟體平台，簡化了 AI Agent 的開發流程，整合 LLM、任務規劃邏輯、記憶模組與工具介接機制等開發人員所需的基礎結構 (Mialon et al., 2023)。與專注於文字輸出的語言模型相比，AI Agent 框架讓開發人員能專注於「完成目標」(goal completion)，而不只是「生成文字」。

AI Agent 框架的核心可以概括為以下四個大項：

- **記憶 (Memory)：**

AI Agent 需要記住過去的互動紀錄與任務狀態，來維持上下文的連貫性與知識累積。記憶系統一般區分為短期記憶（如對話緩衝區）與長期記憶（如向量資料庫），後者大多透過文字嵌入模型（如 OpenAI 的 text-embedding-ada-002）將文本轉換為向量儲存，並使用相似度搜尋技術（如 FAISS、Pinecone、Weaviate）進行相關內容的檢索，再將結果引用到 LLM 的 prompt 中 (Lewis et al., 2020；Schick et al., 2023)。

- **工具調用 (Tools)：**

AI Agent 透過外部工具與環境狀態的互動，完成如資料查詢、API 呼叫、資料庫操作等任務。框架普遍採用結構化函式描述（例如 JSON Schema），讓 LLM 理解可用工具所需的參數與其功能，並主動選擇何時與如何執行該工具 (Qin et al., 2023)。LLM 生成的工具調用指令會由框架接收與執行，並將結果回傳至模型進行後續處理，實現從「語言理解」到「實際行動」的轉化。

- **推理與規劃 (Reasoning and Planning)：**

為了達成較複雜的任務，AI Agent 必須具備任務拆解、策略選擇、結果追蹤與調整的能力。多數框架實作 ReAct(Reasoning + Acting) 的控制循環，結合「思考－行動－觀察」的推理方式（圖 5.2.1），也有框架採用「規劃－執行者」(planner - executor) 模型，由一個 LLM 模型進行任務規劃，另一模型或模組則逐步執行規劃步驟（Yao et al., 2022；Schick et al., 2023）。

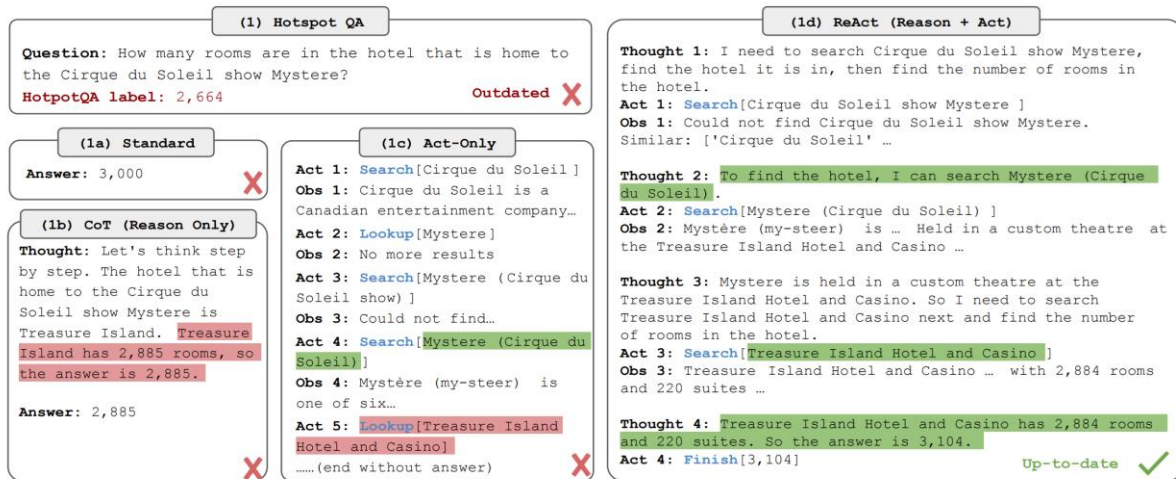


圖 5.2.1 ReAct 與其它方法的比較
(來源：Masterman et al., 2024)

● 上下文管理 (Context Management)：

由於 LLM 存在上下文長度限制 (token limit)，有效的上下文管理對 AI Agent 的運作至關重要。AI Agent 框架需根據任務需求動態選擇相關的內容（如將對話紀錄濃縮為摘要、用戶偏好、透過向量搜尋選擇相關的記憶或文檔），過濾會影響模型效能的不相關資訊，並以結構化訊息輸入，確保模型接收到最高度相關的資訊（Mialon et al., 2023）。

綜上所述，AI Agent 框架提供了一個高度模組化與可擴充的基礎結構，使開發人員能建立一套基於 LLM 並具備「記憶」、「行動」、「推理」與「上下文管理」能力的代理系統，提高開發的工作效率（如圖 5.2.2）。常見的框架如 LangChain、AutoGPT、Semantic Kernel、CrewAI 等，均以「任務驅動」

為導向，結合 LLM 的語言能力與外部系統整合能力，應用於各個領域工作的多種情境。

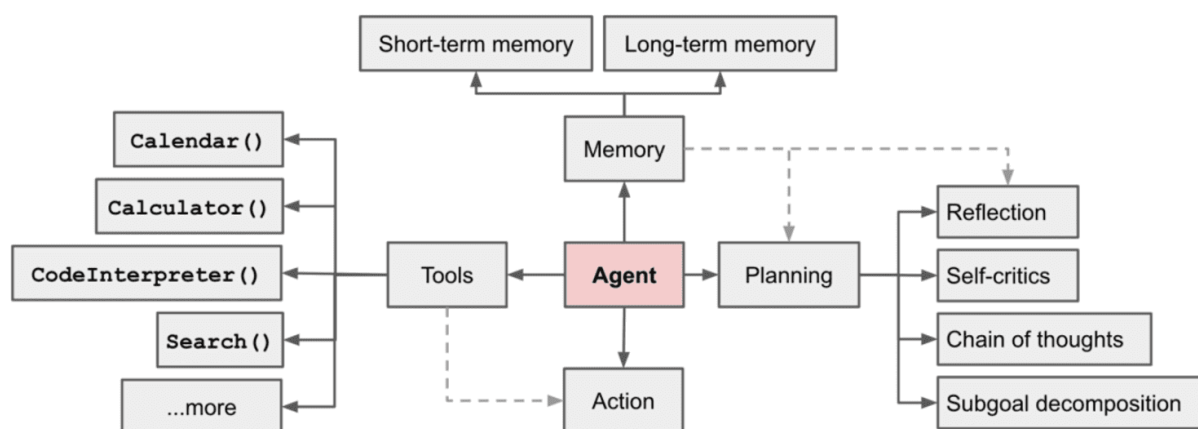


圖 5.2.2 AI Agent 工作流程
(來源：Jacob Morrow, 2023)

然而，這些框架在實務應用與系統設計層面仍有多項侷限性，以下列出幾項重要的挑戰：

- 模型與供應商耦合性過高（tight coupling）：

目前多數主流 AI Agent 框架（如 LangChain、Semantic Kernel）與特定模型或雲端供應商（如 OpenAI 的 GPT 系列、Anthropic 的 Claude、或 Hugging Face 的 Transformers）有高度耦合關係，導致一旦更換模型，開發者往往需重構整體系統流程、上下文格式與工具介接機制。這種高度依賴特定結構的設計，使框架缺乏模型抽換的靈活性，並且增加跨模型測試或部署的風險與成本（Mialon et al., 2023）。

- 上下文管理過於手動且容易出錯：

AI Agent 在運作時需要處理大量的上下文資訊，包括對話歷史紀錄、外部工具回傳結果、記憶提取內容與使用者指令等。現有框架多將這些上下文選取和整理的責任交由開發人員手動處理，導致常常面臨除錯困難、容易超

出 token 限制、缺乏統一的格式與管理標準等問題，造成系統維護與測試困難，從而影響模型判斷的正確性。

- **缺乏跨框架的互通性：**

目前多數框架多為封閉式模組設計，所使用的工具接口（tools）、記憶模組（memory stores）和 prompt 編排邏輯都缺乏標準化與互通標準。例如，無法將 LangChain 中的工具直接應用至 Semantic Kernel 或其它框架中，限制了代理系統的模組化與重用性，造成開發人員必須重複實作類似邏輯的工作。

- **安全性與監控機制不足：**

AI Agent 在實務應用中常需具備工具調用能力，如資料查詢、Shell 指令或 API 操作等潛藏高風險的功能。然而，目前框架對工具使用的安全管控有限，缺乏標準化的輸入驗證、審核與稽核日誌系統和人類審查（human-in-the-loop）機制與權限控制，使得部署在實際商業環境中的 AI Agent 難以符合企業的資訊安全要求（Qin et al., 2023）。

- **行為缺乏可觀察性與可追蹤性：**

由於目前大多數 AI Agent 的決策流程採用語言內隱規劃（implicit planning in language）的方式進行（Yao et al., 2022），開發人員難以追蹤其推理步驟與其間的狀態，導致過程中容易出現如無限迴圈、錯誤的工具調用或產出不一致的結果。這類「黑箱式」行為，嚴重影響開發過程中的除錯效率，以及其可解釋性與可靠性。

綜上所述，AI Agent 框架雖然在模組化建構、任務導向執行與語言模型整合方面展現出高度的靈活性與實用性，為開發多步驟任務的應用奠定了技術基礎，但在系統設計與實務應用層面仍存在諸多挑戰，特別是模型耦合

性過高、上下文管理的複雜性、跨框架整合困難，以及安全性與可觀察性的不足。因應這些限制，我們需要一個更具通用性、標準化與可擴充性的設計方法，以支持代理行為的透明化與模組間的協作彈性。

第三節 MCP 的架構和互通性

針對當前 AI Agent 框架其內部的複雜性且缺乏統一標準的問題，模型上下文協定（Model Context Protocol, MCP）提出了一個更嚴謹的標準化設計，促進 AI Agent 架構的通用性、穩定性與互通性。

MCP 的核心是一個語意導向的通訊協定與資料封裝格式，用來統一描述大型語言模型（LLM）與外部工具、記憶體及任務規劃邏輯之間的互動介面與上下文結構。這個標準能讓開發者在不依賴特定框架實作細節的情況下，用一致的方式整合並操作不同模型與模組資源，實現系統的模組化與跨平台互通性（圖 5.3.1）。

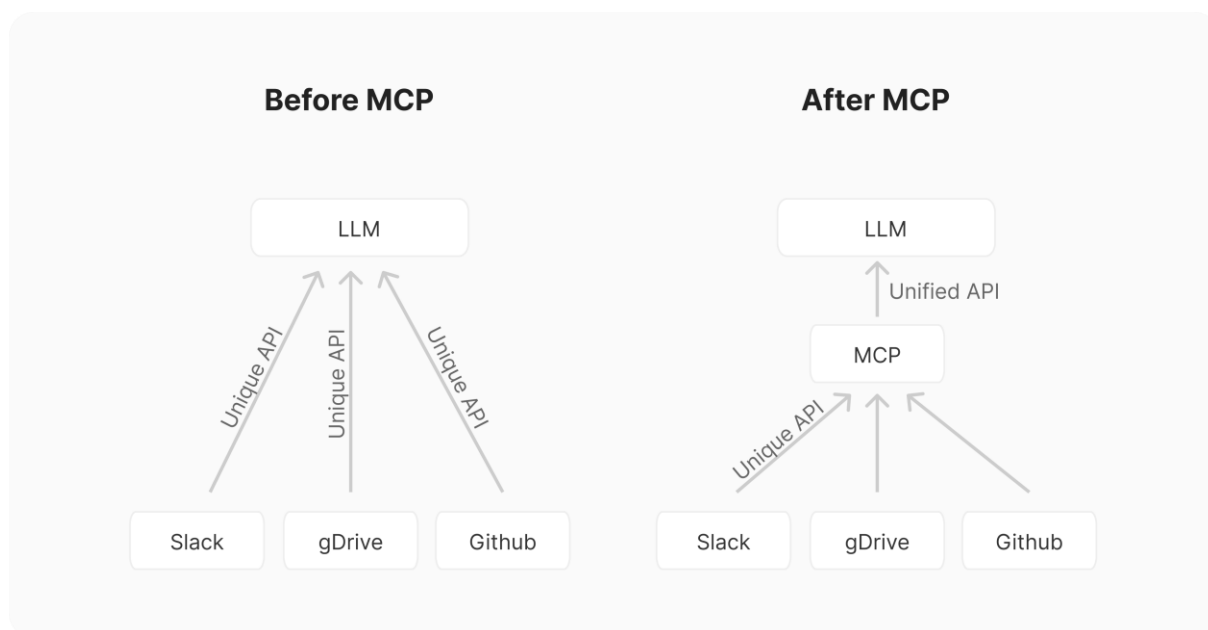


圖 5.3.1 API vs MCP（來源：Philipp Schmid, 2025）

MCP 的架構主要由三個核心組件構成（圖 5.3.2）：

- **主機 (Host)：**

Host 是使用者直接互動的應用程式（例如 Claude.ai 或 VS Code 這樣的 IDE），同時也是 AI 代理的核心大腦與協調中樞。它內部承載著 LLM，負責管理整體使用者體驗。當收到使用者請求時，Host 會進行規劃與推理，並為其需要溝通的每一個 Server 創建並管理一個對應的 Client 實例。

- **客戶端 (Client)：**

Client 是一個由 Host 管理的協定級別組件，而非使用者介面。它的核心職責是處理 Host 與單一特定 Server 之間的直接通訊。此外，Client 還扮演著安全中介的角色，當 Server 需要請求 LLM 推理、存取本地檔案或向使用者請求額外資訊時，都必須透過 Client 來進行。

- **伺服器 (Server)：**

Server 是一個純粹的工具提供者 (Tool Provider)。它不執行任何 AI 推理，而是將一組具體的、可執行的功能（例如：檔案讀寫、資料庫查詢）封裝起來。每個 Server 都會提供一個標準化的檔案來宣告其能力，使得 Host 能夠自動發現並透過 Client 與之互動。

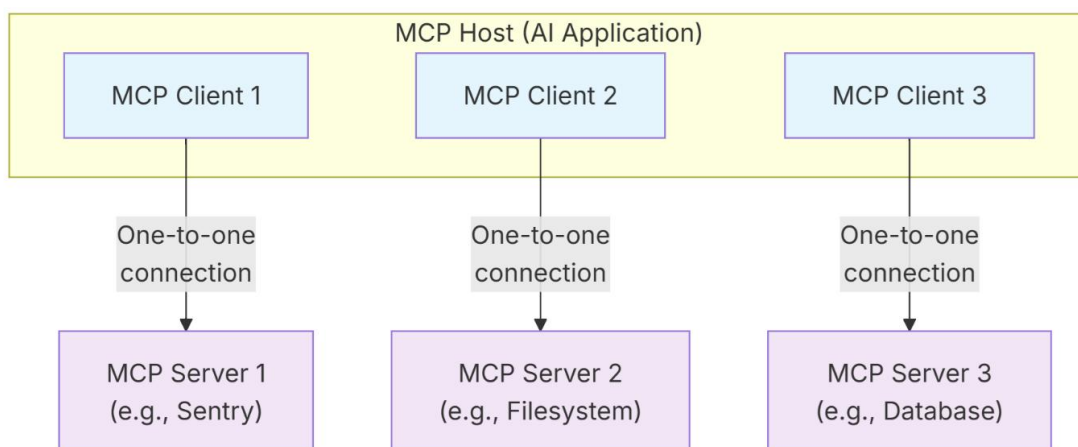


圖 5.3.2 MCP 架構（來源：modelcontextprotocol.io）

另外，MCP 可視為代理框架與模型之間的協作協定，具備以下幾項關鍵特徵：

- **模型與資源分離 (Model – Tool/Data Decoupling)：**

MCP 採用一個中立、與模型無關的資料格式。使得代理可以切換或同時使用不同的 LLM (如 GPT-4, Claude 3, Gemini)，而無需修改工具調用或上下文管理的程式碼。降低了模型替換或多模型共存的複雜性 (Mialon et al., 2023)。

- **模組化與跨框架互通性 (Modularity and Interoperability)：**

MCP 支援模組化工具、記憶體與規劃模組的「即插即用」。例如，一個在 LangChain 中開發的工具，只要遵循 MCP 的介面標準，就能輕易地被另一個相容的框架 (如 LlamaIndex) 重用，大幅提升系統的整合效率與開發速度。

- **結構化上下文管理 (Structured Context Layer)：**

相較於將所有資訊塞入一個冗長的 prompt，MCP 提倡對上下文進行結構化管理。它將上下文資料進行分類 (如：使用者指令、歷史對話、工具輸出、系統狀態)，並支援優先級標註。這讓代理核心能更智慧地篩選出「高信號內容」(high-signal content)，有效應對模型的上下文長度限制，並確保語意的一致性 (Yao et al., 2022)。

- **安全與監控機制 (Secure and Auditable Execution)：**

MCP 定義可擴展的驗證與稽核機制，支援輸入驗證、工具調用紀錄與行動日誌等功能，有助於企業部署時強化資訊安全與風險控管 (Qin et al., 2023)。

● 可觀察性與可追蹤性提升 (Enhanced Observability and Traceability) :

透過標準化的任務封裝與工具協定，代理的每一步決策歷程（從意圖理解到工具選擇，再到最終回應）都可以被完整記錄和追蹤。這種透明度極大地改善了系統的除錯效率與可解釋性，讓開發者能夠輕易地分析和優化代理的行為模式。

透過 MCP，AI Agent 的設計(如圖 5.3.3)可進一步達成跨模型、語言與平台的運行架構，有助於建立更具彈性、模組化與可擴展性的 AI 系統，為開發與部署環境奠定更穩定的基礎。

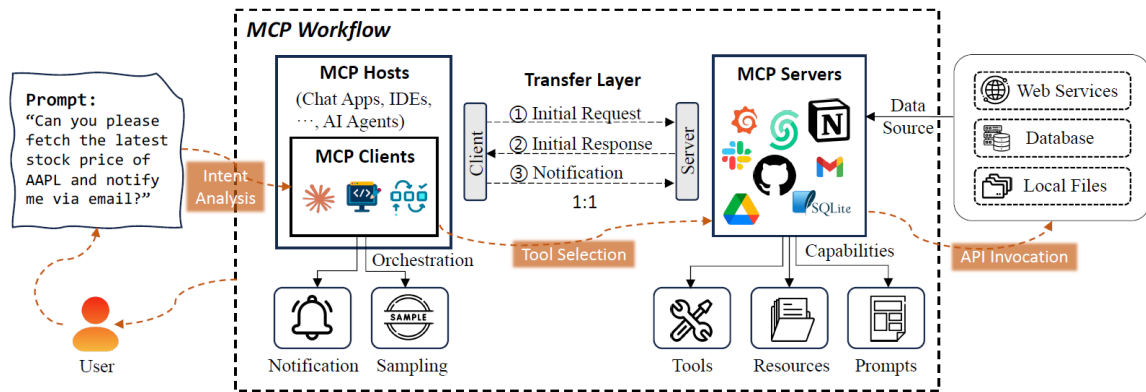


圖 5.3.3 MCP 工作流程
(來源：Hou et al., 2025)

第四節 AI 圖像生成於社會住宅設計之應用

一、社會住宅專案的特殊性與模型適配

社會住宅專案具有以下特徵，直接影響 AI 圖像生成模型的選擇：

1. 預算敏感性與授權限制

社會住宅多為公部門委託案，需嚴格控制成本且涉及商業用途。

關鍵發現：Flux 模型雖畫質優異，但其非商用授權限制使其不適用於社會住宅專案的對外提案與公開展示。

建議方案：Flux 模型可以考慮使用在內部設計討論初期的迭代，之後再使用其他系列延伸生成效果，採用 SD 3.x 系列（收入<100 萬美金可免費商用）或 SDXL 系列（開源/社群授權），確保法規合規性。

2. 多方案快速迭代需求

社會住宅設計需頻繁與公部門、居民代表溝通，需要短時間內生成大量方案變體。

關鍵發現：SDXL Turbo 在 1-4 步內即可完成生成，最適合初期概念發散階段，建議使用適合的建築 SDXL Turbo 模型如：10steps_Yuanjineng_SDXL_0.1_Arch_v1.0，能在 10 步左右就能有非常好的生成品質。

實務應用：建築師於業主會議前，可在 30 分鐘內生成 15-20 組不同風格方案供討論。

3. 法規語意驅動的設計約束

社會住宅須符合《住宅法》、綠建築標章、通用設計標章等多重規範。

關鍵發現：SD 3.x 的 Transformer 架構具備優異的語意理解能力，能準確回應「符合銀級綠建築的立體綠化配置」等複雜提示詞。

典型提示詞範例："新北市社會住宅立面，需包含至少 1500 m² 立體跳層綠化，半戶外休憩空間，無障礙通用設計特徵，現代簡約風格，RC 構造外觀，台灣亞熱帶氣候適應性設計。"

二、不同階段的模型組合策略

基於「中和安邦段青年社會住宅」案例分析，建議採用分階段模型策略：

表 5.4.1 設計階段建議模型組合

設計階段	建議模型組合	生成目標	輸出用途
概念發散期 (LOD 100)	SDXL Turbo + Flux 系列	快速生成 30+ 組風格方案	生成正式提案簡報
方案收斂期 (LOD 100-150)	SD 3.x	整合法規條件 的精準生成	正式提案簡報
細部深化期 (LOD 150-200)	SDXL + ControlNet	用 ControlNet 精準控制構圖	設計發展文件
視覺化呈現期 (投標/公展)	SDXL	高解析度擬真 渲染	對外展示、公開說明會

三、JSON 檔案結構剖析

ComfyUI 的工作流程以 JSON 格式儲存，建築師需理解其基本結構以進行跨專案複用與參數調整。

核心結構範例（簡化版）：

```
{
  "nodes": [
    {
      "id": 1,
      "type": "CheckpointLoaderSimple",
      "widgets_values":
["10Steps_Yuanjineng_SDXL_0.1_Arch_v1.0.safetensors"]
    },
    {
      "id": 2,
      "type": "CLIPTextEncode",
      "widgets_values": ["台灣社會住宅立面，立體綠化..."]
    },
    {
      "id": 3,
      "type": "KSampler",
      "widgets_values": [
        12345,      // seed（種子碼）
        "fixed",    // seed 控制
        30,         // steps（採樣步數）
        7.5,        // cfg（提示詞強度）
        "dpmpp_2m", // sampler_name
        "karras"    // scheduler
      ]
    }
  ],
  "links": [[1, 0, 3, 0, "MODEL"], ...]
}
```

關鍵參數解讀：

表 5.4.2 ComfyUI 階段參數建議值

參數	建議值（社宅專案）	說明
seed	記錄於專案文件	固定 seed 可確保相同條件下生成一致結果，用於方案微調
steps	SDXL: 30~40 Turbo: 4	步數過低失真，過高耗時且改善有限
cfg	7-10	社宅需精準符合提示詞，建議 8-9（過高會過度飽和）
sampler	dpmpp_2m / euler_a	對建築外觀生成效果較佳

ComfyUI 工作流程：分別使用 LOD100(如圖 5.4.1)及 LOD150 得到的量體底圖置換，進行圖像生成迭代，透過 ControlNet 的輪廓控制(如圖 5.4.2)，能生成量體及構圖較為一致的方案。

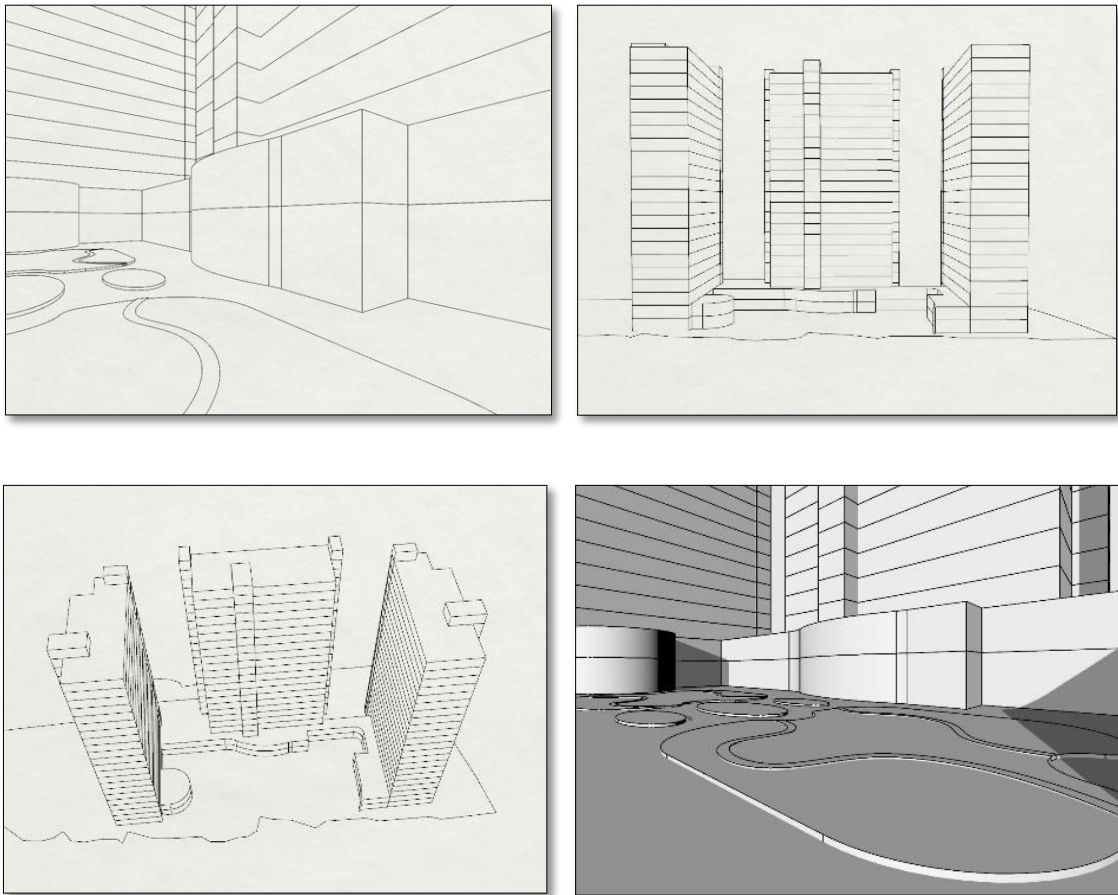


圖 5.4.1 使用 LOD100 的量體為底圖進行圖像生成

(圖片來源：由本研究繪製)

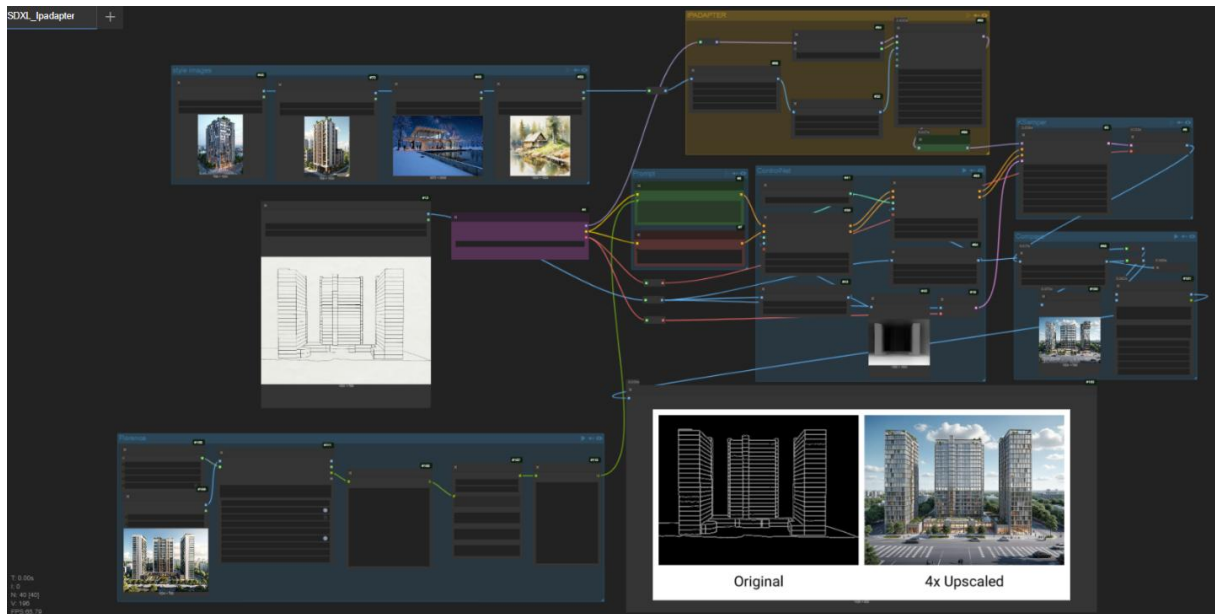


圖 5.4.2 基本流程-使用 SDXL+ControlNet+IP-Adapter

(圖片來源：由本研究繪製)

IP-Adapter (Image Prompt Adapter) 是一種將參考圖像的視覺特徵注入擴散模型的技術，使生成圖像能夠「學習」參考圖的風格、色調、質感等視覺元素。在工作流中的分工原則：

ControlNet：「這棟樓長這樣（幾何）」

IP-Adapter：「這棟樓看起來是這種感覺（風格）」

CLIP Text：「這是什麼建築（語意）」

善用各種組合技巧的最佳實踐：

1. 參考圖選擇「你想要的視覺感受」而非「你想要的形狀」
2. 與 ControlNet 配合：後者管結構，前者管美感
3. Weight 從 0.4 開始測試，逐步調整
4. 保持提示詞、ControlNet、IP-Adapter 的語意一致性

建築設計價值：在保持設計團隊創意自由的前提下，確保不同方案、不同專案的視覺品質與風格調性維持專業水準與品牌一致性。

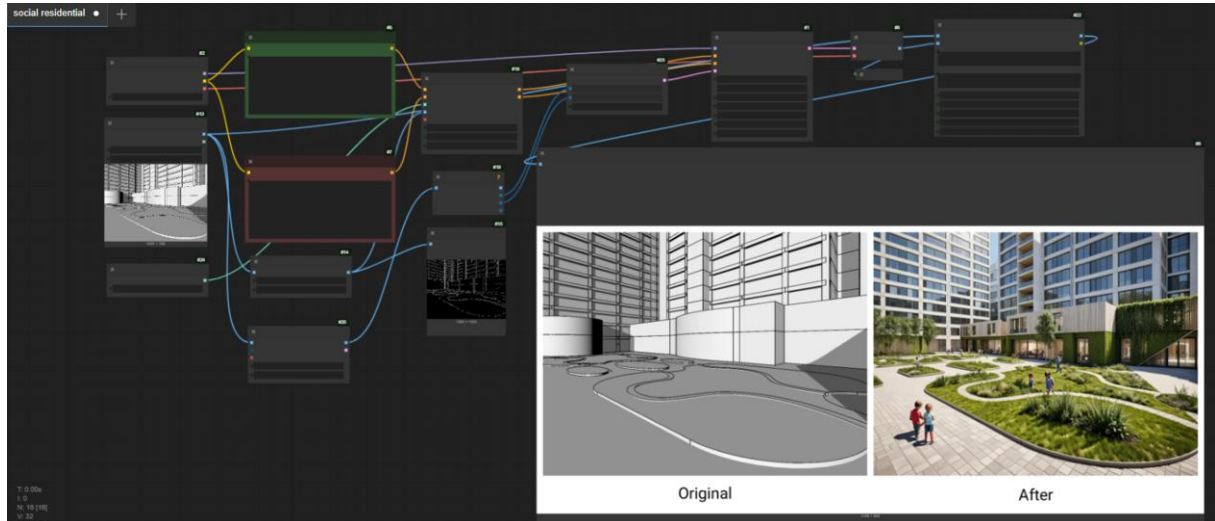


圖 5.4.3 基本流程-使用 SDXL+ControlNet
(圖片來源：由本研究繪製)



圖 5.4.4 使用 LOD150 的量體以鳥瞰角度為底圖進行圖像生成
(圖片來源：由本研究繪製)



圖 5.4.5 使用 LOD150 的量體為底圖以人角度進行景觀圖像生成
(圖片來源：由本研究繪製)

Google 在 2025 年 8 月底發布的圖片編輯模型 `gemini-2.5-flash-image-preview (nano-banana)` [Introducing Gemini 2.5 Flash Image, our state-of-the-art image model - Google Developers Blog](#)，生成效果令人驚艷，但構圖也常會失去控制。在社宅專案應用策略，其核心優勢有（基於官方說明）：

1. 原生多模態編輯能力 模型擅長目標性轉換和精準局部編輯，例如模糊背景、移除 T 恤汙漬、移除照片中的人、改變姿勢、為黑白照片上色。
2. 角色一致性（Character Consistency） 模型在角色一致性方面表現出色，已有開發者探索應用於房地產列表卡、統一員工證件照、動態產品模型等場景。
3. 多圖融合（Multi-image Fusion） Google AI Studio 提供模板應用程式，可將產品拖入新場景快速創建擬真融合圖像。



圖 5.4.6 使用 LOD150 的量體為底圖在 gemini AI studio 進行圖像生成
(圖片來源：由本研究繪製)

Gemini 2.5 Flash Image 最適合作為「快速概念驗證」與「法規導向微調」工具，而非替代 ComfyUI 的主力生成流程。其價值在於敘事性理解能力與迭代式編輯，補足了傳統擴散模型在語意理解上的弱點。gemini-2.5-flash-image-preview 將於 2025 年 10 月 31 日退役，需遷移至 gemini-2.5-flash-image。

四、工作流程 JSON 的版本管理策略

研究發現：建築師事務所常因工作流程混亂導致無法重現先前方案

建議命名規範：

{專案代號}_{階段}_{模型}_{功能}_{版本}.json

範例：

ZHAN_LOD150_SDXL_立面綠化_v2.3.json

↓ ↓ ↓ ↓ ↓

中和 設計階段 使用模型 功能描述 版本號

版本追蹤表（Excel/Notion）：

檔案名稱	ZHAN_LOD150_SDXL_立面綠化_v2.3.json
建立日期	2025/04/15
使用模型	SDXL Base 1.0
關鍵參數	seed:9876，cfg:8.5
審核狀態	✓ 已審核
備註	業主認可方案

五、對建築師事務所的實務建議及技術發展建議

1. 建立標準作業程序（SOP）

- 。製作「社宅 AI 圖像生成操作手冊」。
- 。包含模型選擇、授權檢核、工作流程庫使用指南。

2. 人員培訓計畫

- 初階：ComfyUI 基礎操作（8 小時）。
- 進階：JSON 修改與參數調整（4 小時）。
- 專家：工作流程開發與 BIM 整合（16 小時）。

3. 專案啟動檢核機制

- 每個新專案啟動時填寫「AI 工具使用計畫表」。
- 明確記錄：使用模型、授權範圍、輸出用途、版本管理方式。

4. 建議採用「階段性 AI 介入」策略

- LOD 100(量體概念): 完全使用 AI 生成,接受較大誤差。
- LOD 150-200(結構深化): 改用傳統 3D 建模,確保構造正確性。
- LOD 200+(材質表現): 再次使用 AI 進行材質與氛圍渲染

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究依循建築資訊建模 (BIM) 設計流程，建構整合人工智慧 (AI) 代理系統之建築設計多目標決策輔助架構，重點成果如下：

1. 建築初期規劃階段 (LOD100–LOD200) 架構與流程建立

本研究以 LLM+RAG 與生成式 AI 為核心的人機協同決策流程，並在 LOD100–LOD200 階段實際驗證：

LOD100–150：建立基地與法規檢核（建蔽率、容積率、日照退縮、建築物高度等）、容積獎勵情境推演；完成量體幾何規劃（樓地板面積、立面表面積、體積），據以配置結構／外殼／機電／內裝／景觀等五大系統之成本與碳排規劃；同步支援外殼模組化與立面意象生成，強化與業主之視覺溝通。

LOD200：整合結構與外殼設計輸入，建置三維資訊模型與材料屬性，反推成本與碳排，提供偏差分析與優化建議。技術上以 Rhino/Grasshopper 為建模底座，結合 MCP 多代理協作層，實現「參數模型 ↔ AI 代理 ↔ 決策面板」之閉環迭代與模型回寫，流程具整合性、可用性與延展性。

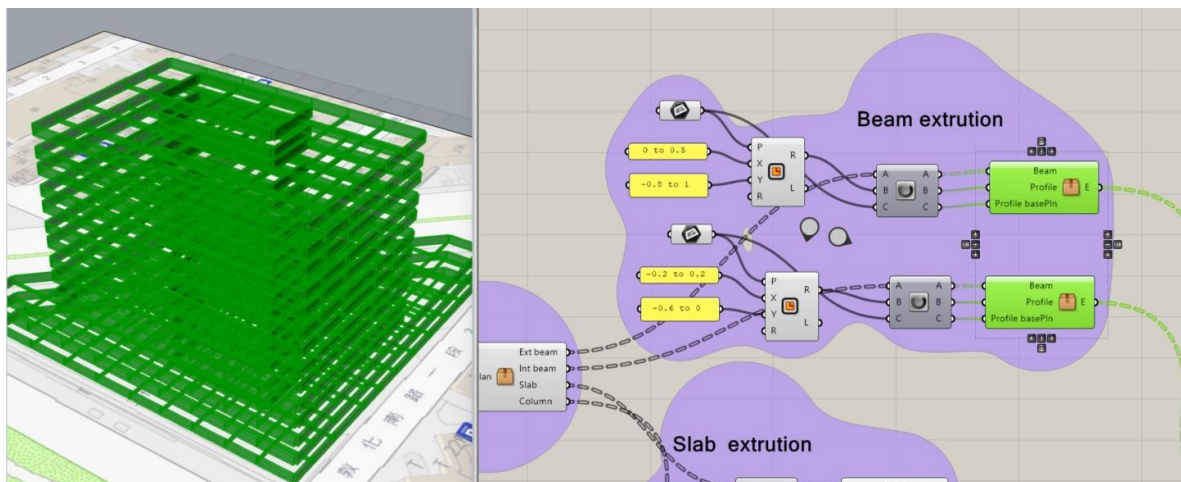


圖 6.1.1 LOD150 階段模型示意

2. 建築師回饋

透過原型展示與實測回饋，建築師普遍認同本研究流程可在設計前期有效彌補「資訊不足／時間壓力大」之痛點：

決策品質：以可追溯之法規依據、計算鏈與邏輯說明，提升建議內容之可解釋性與可信度，未來可擴充地方法規解釋函令等也可提供給各使用者自行定義新增內容。

溝通效率：量化指標（成本／碳排／法規）與視覺意象並呈，縮短往返討論與確認週期，促進設計者—業主—審查單位之共識形成。

導入可行性：現行 BIM 工具鏈與資料治理機制即可對接，導入門檻與維運成本可控，適合採「專案試點—規模擴張」之路徑推進。

3. 直覺式介面化操作機制

以自然語言驅動的前端 UI 直覺式的使用者介面(如圖 6.1.2)，由大語言模型（LLM）負責意圖解析與工具編排，後端透過 MCP 連結法規資料庫、碳排/造價規劃服務與圖像生成引擎。

使用者僅需輸入提示語（Prompt）或問題，即可：

- ① 叫用並比對法規、碳排、造價等結構化資料；
- ② 上傳/綁定含 LOD 與材料屬性的 BIM 資料以取得參數化建議
- ③ 以提示語建立圖像生成（程式為 ComfyUI 建立 JSON 工作流後封裝）。

使建築師不需處理程式部署與複雜參數即可完成從概念到方案收斂之視覺化產出，此作法可降低技術門檻、縮短迭代時間、提升視覺化效率。

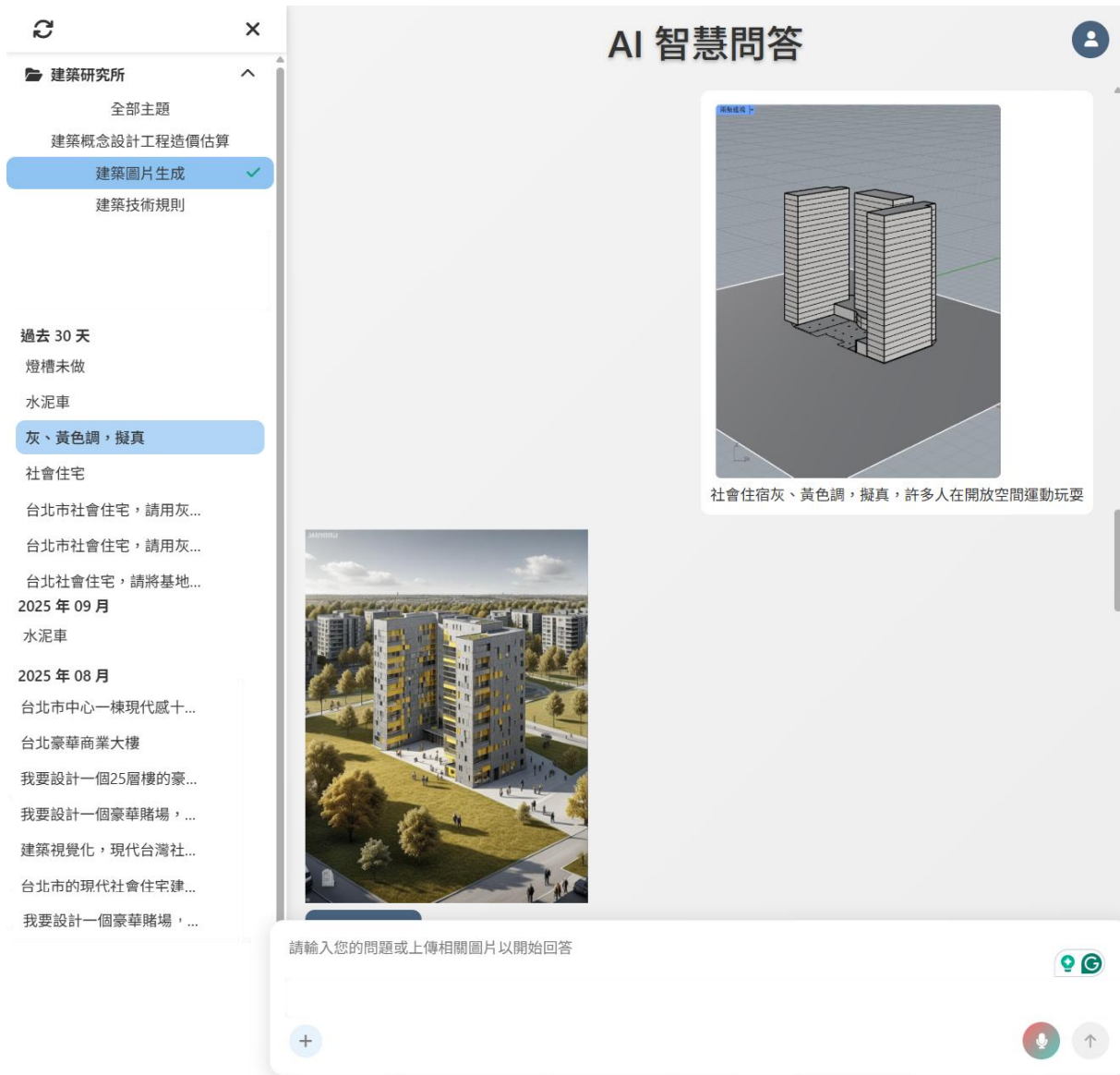


圖 6.1.2 直覺式 UI 介面展示

4. 應用前景與擴充性

本架構具備跨階段與跨角色之延展潛力，為產業整合化、多目標最佳化奠定基礎：

- **階段擴充(擴展至符合 IFC 的工具生態)：**可延伸後續擴充至各類符合 IFC 標準的 OpenBIM 與商用工具(例如 Blender 或 Revit)，確保實務上可順利對接，提升跨工具與跨單位的可用性與落地效率。

- **制度銜接**：輸出格式與法規依據可直接對應審查實務（欄位對應、附件證明、適用日期註記等），並可進一步銜接都市設計模擬、公共建設評估、碳權／盤查系統等工具，形成從設計到管理的可追溯、可驗證之作業流程。

- **智能持續化**：結合營運資料回饋與模型再訓練，建立跨專案知識複用與案例檢索體系；在資源允許下，評估導入代理式探索與啟發式搜尋／MCTS 等最佳化引擎，提升多目標權衡之效率與品質。

-

- **負責任的創新**：AI 圖像生成技術為建築設計帶來前所未有的效率與可能性，但其侷限性與風險同樣真實且重要。技術是手段，設計品質與社會責任是目的，隨技術與法制發展，滾動修正應對策略，只有在技術能力、倫理意識、法律框架三者並進的情況下，AI 輔助設計才能真正成為推動建築產業進步的正向力量，而非埋下未來爭議的種子。

第二節 建議

基於本研究已於 LOD100–LOD200 建立之 AI×BIM 多目標決策輔助流程與原型驗證結果，建議部分旨在將研究成果「制度化、規模化、可審核化」。以下為本研究之建議：

建議一：擴大支援多種 BIM 與 AI 間交換格式並推動產業實證回饋（立即可行建議）

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：建築產業界（民間公協會）

為強化 BIM 與 AI 代理系統之推廣效益，建議以 IFC 或 MCPJSON 為共通交換格式，擴大支援多款主流 BIM 工具，並啟動產業實證與回饋機制。短期內優先完成 Revit 與 Archicad 系統整合；同步評估開源 OpenBIM 工具（如 Blender、FreeCAD 等）之技術可行性及生態整合策略。

透過多樣化實務場景的端到端應用示範，搭配使用者回饋、系統迭代及成效驗證，形成「回饋—修正—再驗證」的持續優化閉環。此舉有助加速 AI 代理系統在建築設計與審查流程之落地，並提升與產業實務需求的契合度，擴大推廣效益。

建議二：以 AI 知識圖譜之方式將條文結構化，並廣納建築實務意見，擴充地方法規與函釋知識庫（中長期建議）

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：建築產業界（民間公協會）

以 AI 知識圖譜方式將條文結構化，建立規則關聯與邏輯推理節點，使法規資料可檢索、可追溯，並具 AI 推論與自動檢核應用潛力。廣納建築實

務意見，擴充地方法規與函釋知識庫，提升審查銜接度。可分階段擴充六都及重點縣市的地方法規與常見函釋，形成統一、可操作且可延伸至智慧建築管理的法規知識庫。

參考文獻

一、AI Agent 相關文獻

1. Zhao, A., Huang, D., Xu, Q., Lin, M., Liu, Y. J., & Huang, G. (2024, March). Expel: Llm agents are experiential learners. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (Vol. 38, No. 17, pp. 19632-19642).
2. Li, J., Zhang, Q., Yu, Y., Fu, Q., & Ye, D. (2024). More agents is all you need. arXiv preprint arXiv:2402.05120.
3. Roy, D., Zhang, X., Bhavre, R., Bansal, C., Las-Casas, P., Fonseca, R., & Rajmohan, S. (2024, July). Exploring llm-based agents for root cause analysis. In Companion Proceedings of the 32nd ACM International Conference on the Foundations of Software Engineering (pp. 208-219).
4. Dagan, G., Keller, F., & Lascarides, A. (2023). Dynamic planning with a llm. arXiv preprint arXiv:2308.06391.
5. Masterman, T., Besen, S., Sawtell, M., & Chao, A. (2024). The landscape of emerging ai agent architectures for reasoning, planning, and tool calling: A survey. arXiv preprint arXiv:2404.11584.
6. Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., Narasimhan, K., & Cao, Y. (2023, January). React: Synergizing reasoning and acting in language models. In International Conference on Learning Representations (ICLR).
7. Wooldridge, M. (2009). An introduction to multiagent systems. John Wiley & sons.
8. Mialon, G., Dessì, R., Lomeli, M., Nalmpantis, C., Pasunuru, R., Raileanu, R., ... & Scialom, T. (2023). Augmented language models: a survey. arXiv preprint arXiv:2302.07842.
9. Schick, T., DWIVEDI-YU, J., DESSÌ, R., RAILEANU, R., LOMELI, M.,

ZETTLEMOYER, L., ... & SCIALOM, T. (2023). Toolformer: Language models can teach themselves to use tools. DOI: 10.48550. arXiv preprint ARXIV.2302.04761.

10. Qin, Y., Liang, S., Ye, Y., Zhu, K., Yan, L., Lu, Y., ... & Sun, M. (2023). Toolllm: Facilitating large language models to master 16000+ real-world apis. arXiv preprint arXiv:2307.16789.

11. Wu, Q., Bansal, G., Zhang, J., Wu, Y., Li, B., Zhu, E., ... & Wang, C. (2023). Autogen: Enabling next-gen llm applications via multi-agent conversation. arXiv preprint arXiv:2308.08155.

12. Jacob Morrow. (2023, September 4). How to Build AI Services with Agents <https://www.gptbots.ai/blog/how-to-build-ai-services-with-agents>

二、深度學習相關文獻

1. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
2. Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013, May). Speech recognition with deep recurrent neural networks. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 6645-6649). Ieee.
3. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in neural information processing systems*, 30.
4. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
5. Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. pearson.

三、RAG 相關文獻

1. Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., ... & Wang, H. (2023). Retrieval-augmented generation for large language models: A survey. arXiv preprint arXiv:2312.10997.
2. Fan, W., Ding, Y., Ning, L., Wang, S., Li, H., Yin, D., ... & Li, Q. (2024, August). A survey on rag meeting llms: Towards retrieval-augmented large language models. In Proceedings of the 30th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 6491-6501).
3. Petroni, F., Lewis, P., Piktus, A., Rocktäschel, T., Wu, Y., Miller, A. H., & Riedel, S. (2020). How context affects language models' factual predictions. arXiv preprint arXiv:2005.04611.
4. Liu, Y., Yavuz, S., Meng, R., Moorthy, M., Joty, S., Xiong, C., & Zhou, Y. (2023). Modeling Uncertainty and Using Post-fusion as Fallback Improves Retrieval Augmented Generation with LLMs. arXiv preprint arXiv:2308.12574.
5. Shuster, K., Poff, S., Chen, M., Kiela, D., & Weston, J. (2021). Retrieval augmentation reduces hallucination in conversation. arXiv preprint arXiv:2104.07567.
6. Zhou, Q., Liu, C., Duan, Y., Sun, K., Li, Y., Kan, H., Gu, Z., Shu, J., & Hu, J. (2024). GastroBot: a Chinese gastrointestinal disease chatbot based on the retrieval-augmented generation. *Frontiers in medicine*, 11, 1392555. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1392555>
7. Jiang, Z., Xu, F. F., Gao, L., Sun, Z., Liu, Q., Dwivedi-Yu, J., ... & Neubig, G. (2023). Active retrieval augmented generation. arXiv preprint arXiv:2305.06983.
8. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., ... &

Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 9459-9474.

9. Guu, K., Lee, K., Tung, Z., Pasupat, P., & Chang, M. (2020, November). Retrieval augmented language model pre-training. In *International conference on machine learning* (pp. 3929-3938). PMLR.

10. Izacard, G., & Grave, E. (2020). Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering. *arXiv preprint arXiv:2007.01282*.

四、MCP 相關文獻

1. Hou, X., Zhao, Y., Wang, S., & Wang, H. (2025). Model context protocol (mcp): Landscape, security threats, and future research directions. *arXiv preprint arXiv:2503.23278*.
2. Anthropic. (2025, June 18). Specification - Model Context Protocol. <https://modelcontextprotocol.io/specification/2025-06-18>
3. Norah Sakal. (2025, March 7). What is Model Context Protocol (MCP)? How it simplifies AI integrations compared to APIs <https://norahsakal.com/blog/mcp-vs-api-model-context-protocol-explained/>
4. Anna Gutowska. (2025, May 9). What is Model Context Protocol (MCP)? <https://www.ibm.com/think/topics/model-context-protocol>
5. Philipp Schmid. (2025, April 3). Model Context Protocol (MCP) an overview <https://www.philschmid.de/mcp-introduction>

五、圖像生成相關文獻

1. Robin Rombach, Andreas Blattmann, Dominik Lorenz, Patrick Esser, Björn Ommer(2022). High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models.

2. Alex Nichol, Prafulla Dhariwal, Aditya Ramesh, Pranav Shyam, Pamela Mishkin, Bob McGrew, Ilya Sutskever, Mark Chen(2021).Towards Photorealistic Image Generation and Editing with Text-Guided Diffusion Models.
3. Lvmin Zhang, Anyi Rao, Maneesh Agrawala(2023).Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models.
4. René Ranftl, Katrin Lasinger, David Hafner, Konrad Schindler, Vladlen Koltun(2020).Towards Robust Monocular Depth Estimation: Mixing Datasets for Zero-shot Cross-dataset Transfer.

	同時評估，並將各自的分析結果匯總，呈現一個包含利弊權衡的「整合建議報告」。這才能真正實現「多目標決策輔助」。	合建議報告，支援多目標決策也可以建議為未來執行方向。
許坤榮	1. 建議將簡報中的 MCP 與 AI Agent 系統架構(p4)、建築師的設計流程(p6)整合，並與期中報告中描述的技術嵌合在一起。	感謝委員建議，我們會將此次簡報內容增加至報告書中。
	2. 深化簡報 p7 研究目標與左側預算，碳排、綠建築之間的關聯；在綠建築評估中，建議強化「能效評估」。	此次研究範圍僅可做到單一評估框架，尚無法關聯。
	3. 本研究目標為「低碳高校多目標決策體系...」，如何前二項&適當的條件控制模組(conditional...)宜進一步深化。	我們預計已針對碳排、預算、外觀等目標建立初步條件模組，建築師可設定具體參數（如碳排上限、單位造價等）作為生成式 AI 輸出條件。後續將強化條件模組靈活性與可調參數項目，並支援設計階段快速重組條件與權重比，提升決策體系的彈性與實用性。
蘇瑞育	1. 在建築設計 AI 輔助決策領域展現了前瞻性。	感謝委員指導。
	2. 簡報第四頁補強了論文中的流程，建議補充回論文。	感謝委員建議，我們會將此次簡報內容增加至報告書中。
	3. 依賴 AI 建構量計畫，目前知識補充有法規、碳排、造價，但使用者需求到 AI 生成文字，其實是經過了一個黑箱，如何更有邏輯說明產出是等和低碳目標，需要更詳細的驗證。	我們希望導入碳排、法規、造價等知識進入 AI 生成流程，並以具體條件（如碳排上限、法規限制）作為控制參數。
	4. AI 生成圖片是否能反饋回數據應用銜接細部設計發展。	AI 圖像生成僅為示意方案，但可以經建築師確認後，再轉換至 BIM 系統進行碳排、造價等數據分析，作為細部設計的依據，並可持續迭代優化設計方案
宏王紹	1. 以期中成果與方向來說均達成階段目標。	感謝委員指導。

	2. 建議未來可以依單一建築類型：如商辦，可更精準找到方法流程與方向，並讓業界可引用。	感謝委員建議，我們將納入參考可以先由特定建築類型(如商辦或社會住宅)做為應用場域，建立對應的 AI 參數設定範例與操作流程，並透過實務合作案例驗證，作為業界可參考的標準化應用模式。
	3. AI 條件可參與目前主要標章，如：EEWH... 智慧建築、耐震建築... 的條件，作為低碳評估可以得到在不同等級下的評估結果。	礙於研究時間與經費本次僅為框架，後續可再深入應用。
張文瑞	1. 報告中提及未來會「提出可行性成果」，但截至本期中報告，該綜合研究報告尚未完成「提出可行性成果」。	感謝委員指教，可行性成果將由期末報告說明。
	2. 該期中報告已經提出了「建築設計 AI 代理系統」的框架，並討論了其基於開源語言模型的架構、關鍵功能的探索方式，以及在國內建築產業決策流程中的應用模式與預期效益。 (1)本研究旨在建立一套 AI 輔助決策系統，能在建築概念設計階段提供建築法規、低碳建築評估、造價控制相關資訊與建築外觀優化。 (2)計畫提出了 AI 代理架構，旨在提升設計效率並減少違規風險。 (3)報告強調 AI 的角色是「協助建築師決策」，而非替代人為判斷，所提供的建議內容包含參考數據、分析邏輯與設計依據，使建築師能據以判斷並調整設計方案。	感謝委員肯定。系統設計強調「人機協作」，由 AI 提供可溯源的資料與建議，協助建築師在概念設計階段進行判斷與調整，以提升設計效率並降低風險。後續將持續深化各模組整合度與應用實證。
	3. 主要說明研究進度，並未提及「建築設計 AI 輔助決策平台」已完全建立。報告中雖有系統架構	目些階段尚未完成系統建置，預計由期末成果報告時提出。

	的描述，但並未明確指出平台已完成建置。	
	4. 本文件是「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」的期中報告。在報告的「第五節 進度說明」中的「表 1.1 研究計畫預計時程與實際執行狀況」中，並未明確列出將研究成果發表於國際學術期刊和會議、推動行業對 AI 應用認知，以及舉辦研討會展示研究成果等學術與行業貢獻已完成。這些活動通常會安排在研究計畫的後期階段，特別是期末報告提交之後。	研究成果與研討會，預計於期中報告至期末報告中舉辦。
陳昱勳	是否有可能有：	感謝委員指導，是的，目前已與王正源建築師合作社住宅統包案，於設計初期階段導入 AI 代理系統進行法規查核、碳排估算與生成外觀意象，作為實際應用場景。該案將進行初步驗證，後續將進行進一步分析與成效檢討，作為落地演練案例。
	1. 應用場景確立/實際案例落地演練。	
	2. 反向提供可持續發展資料的可能性。	本案尚為單向輸出，還需要建築師自我判定後回到模型。
	3. 準確性的驗證？	本案預計使用實際專案來做成果的比對，並導入專家回饋機制，檢核 AI 建議內容的合理性與適用性。
梁禮麟	1. 針對 UI 與建築設計流程，期望研究團隊與建築師做實務之規劃。	感謝委員指導。
	2. 如何在 L100/L150 階段，做碳排規劃與資料庫之使用，或預期能效之呈現。	概念設計階段 LOD100, 200, 資訊不足, 如何做評估, 關鍵是做規劃, 而不是做預判。我們可以使用簡化建材類型與構造參數（如牆體、開窗率）對應碳排資料庫，進行初步碳排估算可設定整體碳排目標（如總量上限），並反推建材或構造配置建議。能效部分透過形體量體分析、日照模擬、開口

		方向與面積等條件，提供預期能效等級或建議（如自然通風比、遮陽比），作為後續設計依據。
陳士明	1. 本研究案開發出一個AI代理系統輔助建築設計，並同時考量建築外觀、成本、能效與法規，但各變數之間可能互相影響，本系統能否提供使用者設定設計目標（例如在一定成本下的最高能效）後產出設計建議？	謝謝委員指導，系統具備條件控制模組，使用者可設定設計目標（如成本上限、能效最大化），AI將依條件自動各別調用成本、能效、法規等模組，但是否最後能產出整體的設計建議，目前還無法保證。
	2. 期中報告對於系統流程已有一明確的方向，惟對於細節（例如，成本能效計算考慮哪些項目）尚未能於報告中呈現，請研究團隊再於期末報告中補充說明。	感謝委員建議，我們會將此次簡報內容增加至報告書中。
	3. 請問本案是否規畫用實際案例做測試？	是的，已與王正源建築師合作社會住宅統包案，作為實際案例進行系統測試與應用驗證，相關成果將於期末報告中說明。
陳正元	應用ai agents 在 lod100 至 lod 200 進行設計多目標決策，使用 grasshopper 工作流與 ai agents 整合的盲點 在建築設計的初期階段(LoD100 到 LoD200)，設計師常常要面對多項相互衝突的目標，例如：降低碳排放、控制造價、符合法規。這些目標往往無法一次兼顧，設計師需要在不同方案中取捨，而這正是 AI agents(人工智慧代理)可以發揮輔助功能的地方。不過，實際應用時會遇到不少問題與技術限制：	感謝委員指導。
	一、模型資訊不足，AI 判斷有限在 LoD100-200 階段，設計模型主要是量體、配置與基本空間關係，	概念設計階段 LOD100, 200, 資訊不足, 如何做評估。我們認為關鍵是做規劃，而不是做預判。目前初規設計

	缺乏建材、構造等細節。這對 AI 來說是一大挑戰。舉例來說，若要估算碳排放，AI 需要知道牆體厚度、材質與施工方法；若這些資訊都沒有，AI 只能用過往案例猜測結果，精準度就大打折扣。同樣的，造價分析也會因資訊不足而不準確。因此，AI 在這階段能提供的通常是「大方向估算」而非精細分析。	模型僅包含量體與空間關係，導致碳排放與造價分析須仰賴經驗值推估，無法進行精細判讀。
	二、法規解析困難 AI 雖然能讀取文字，但建築法規往往很複雜，有許多例外條件與空間依賴關係。例如「住宅建築需退縮 6 米」這樣的條文，背後可能還要考慮基地是否臨路、地區分類、建築高度等變因。這些情境要和 3D 模型搭配理解，對 AI 來說並不容易。此外，AI 也常難以應對法規的模糊語言與多版本更新，容易產生誤解與誤判。	AI 解析法規的方式為：輸入標章與法規原文至語言模型，搭配建築基地與量體條件進行條件判讀。現階段以「明確條文優先、模糊條件輔助提醒」為原則，讓建築師保有決策主導權，AI 僅提供輔助資訊與提醒規則，減少誤判。
	三、AI 與 Grasshopper 資料整合困難 Grasshopper 是 Rhino 的參數化設計工具，廣泛用於早期建模與性能分析。要讓 AI 與之整合，需要雙向資料傳輸：AI 要能控制模型參數、也要能讀取模型回傳的數值或圖像。但這過程不容易，AI 習慣用文字與數據互動，Grasshopper 則以幾何與視覺方式表現。兩者之間需要用中介格式(例如 JSON)作資料交換，還需要 API 連接。若格式不一致或參數命名錯誤，就可能導致 AI 無法正確操作模型。	感謝委員指導，我們會多做注意。
	四、多模態輸入解讀困難	確實語意的轉換是一個挑戰，使用者

	在實際操作中，使用者常會用自然語言下達指令(如「東側少開窗」或「造價低一點」，AI 需先理解語意，再轉成具體模型參數的操作。這種「語言轉幾何」的轉譯本身就很困難，尤其其當敘述不夠清楚或語句曖昧時(如「提高綠建築等級」。此外，AI 還要結合視覺資訊(如建模圖像、日照模擬)進行綜合判斷，對技術整合要求高。	語句常含模糊語意，AI 難以自動轉換為幾何操作與參數控制，因此在這樣的時間下我們目前的研究也無法保證最終一定可以做到完美，但希望是可以有一個初步框架提供，做到單一代理的整合，未來有機會在進行模組的擴展。
	五、AI 決策缺乏可解釋性 當 AI 提出「這個方案碳排較少」的建議時，若無法說明推論過程，設計師很難信服，特別是在法規與預算等敏感問題上。許多 AI 模型是黑箱操作，無法明確指出「為什麼這樣最好」，這會降低其實用性。因此，AI 結果必須具備可追溯來源與邏輯，例如說明「根據建材 X 的碳排系數」或「參照某基地相似專案造價」等資訊。	感謝委員指導，AI 所提供之設計建議均附有依據來源，例如建材碳排資料來源、法規條文出處等。
	六、人機協作流程未成熟 目前 AI 與設計師的互動仍偏被動，大多是「輸入指令→等待 AI 回應→嘗試調整」但若過程中設計師想修正 AI 的邏輯、跳過某分析步驟，往往無法即時介入。例如 AI 可能會自動套用錯誤的法規邏輯，使用者卻無法在中途暫停或更正。此外，缺乏彈性的回饋介面會讓設計師覺得 AI「不好用」，導致整合效果不佳。如上說明本計畫試圖討論的格局雖然宏觀，但對象與意圖太多，恐導致計畫多元而雜亂、問題不易收斂。建議簡化、明確目標。	感謝委員的細心指導與寶貴建議，此問題點對我們後續系統調整方向具有高度參考價值，我們將依此精進互動設計與系統彈性。

期末審查會議記錄與回覆

召開本所 114 年度委託研究「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」及「整合 BIM 及大型語言模型分析排程工序、資源以最佳化建築施工階段碳排放」等 2 案期中審查會議紀錄

召開本所 114 年度委託研究「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」及「整合 BIM 及大型語言模型分析排程工序、資源以最佳化建築施工階段碳排放」等 2 案期末審查會議紀錄

一、時 間：114 年 11 月 06 日（星期四）下午 2 時 30 分

二、地 點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第四會議室

三、主持人：蔡組長綽芳

記錄：陳士明、謝宗興

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」案：

王副總經理紹宏：

1. 本研究符合預期效益，惟目前任何 AI 相關代理系統均需經過迭代訓練與反饋，方可有效輔助運用，報告 CH5 雖有提到，但建議可特別加強說明，另外也建議加註 AI 數據僅現有條件下之相對趨勢成果，僅供參考，非絕對值，以利未來各單位後續運用與發展。
2. 本系統主要應用於設計初期，對於各類型建築之材料/構造/工法等快速碳排評估，非精準計算，但受限於目前數據發展，建議於各章節 LOD 150 可取得資訊相關內容中，加註“部分數據“未來可界接至低碳建築評估

LEBR 計算式中，進行初步碳評估。

3. 未來運用及導入建議：如有後續研究，建議可以加強如何引入現有成熟之 BIM 環境模擬成果或其他標章 (LEBR) 數據，如：都審多有要求之環境風場模擬、建築物緯度與方位座向的日照影響、熱得與通風…等 基於 LOD100-LOD200 之初步模擬成果，加速與完善本系統之訓練，拓展應用如:AI+BIM 分析+專業人員判斷。

蘇副理瑞育：

1. 格式建議：

MCP 與傳統 API 的比較結論未對應量化指標：文本主張 MCP 在「可觀測性、可追溯性、安全性」優於傳統 API，然缺乏實證度量（如任務完成率、平均工具延遲、審計事件覆蓋率），與方法聲稱「端到端評估」不符。

2. 研究價值：

（1）跨域鏈結的端到端雛型：將 LLM 多代理人、RAG 索引、生成式影像流程

（SDXL/SD3.x/Flux/Gemini）與 BIM/IFC 管線整合，並以 LOD100→150→200 為主線，呈現建築早期設計到半結構化產出的自動化可能性，可作為後續團隊實作藍本。

（2）工程化要素明確化：文件包含會話回合紀錄、狀態管理設計、工具伺服架構、ComfyUI 節點與 JSON 片段、RAG 組件（FAISS + ColBERT + bge-m3）等，提供了可落地的系統拆解與模組化思路，有利後續測試與替換升級。

3. 研究改善建議：

方法—實作與指標不對位：代理人狀態機、HITL 介入點、MCP 相對傳統 API 的優勢主張，未提供對應的量化評估與完整回合欄位對位；RAG 降低幻覺、多代理提升績效等敘述未附可重現數據與精確出處，推論力不足。

許建築師坤榮：

1. 本研究結合 AI Agent，AI 圖像生成、RAG、建立 MCP 代理框架探討建築設計低碳多目標決策輔助，研究課題具有一定的前瞻性、未來性。
2. 目前(期末)報告書中第三章的部份內容多在梳理所使用的 AI 工具，如 LLM-AGI，AI Agent，圖像生成建議與第二章文獻回顧與探討。
3. 建議加強「實際案例在研究架構」上的操作，強化應用操作的說明，以作為第四章的研究發現的支持。
4. 目前(期末)報告書，對研究題目中的「低碳高效」上「多目標決策」討論與論述較少，建議加強。

黃建築師鄧堯：

1. 設計用 AI 代理在實務上是未來的一個趨勢，很期待未來發展。
2. 目前的研究成果，其實比較像在先行規劃或概念發展階段，在基本設計後期尚需許多設計分發展才能確立很多決策。
3. 目前 LLM 與生圖(建築)AI 之間的溝通實測上落差很大，相對於其它領域。

江經理志雲：

P34 在 LOD100 階段，可作為碳排的基礎，建議後續的延伸計畫可考慮納入 LEBR 的評估。

透過 AI Agent 的應用的確有助於決策的效率，但要注意的是

P95 提到安全性及 IP 的議題。

個人建議，利用 AI 查核設計改善的回饋有助於設計的效率

陳教授上元：

本研究針對建築設計初期 (LOD100~LOD200) 情境，提出整合 AI 代理系統 (AI Agent)、BIM 與生成式圖像流程之多目標決策輔助架構，展現以人工智慧提升低碳設計效率與決策品質之可行性。然而，在系統成熟度、代理自主性、資料閉環性與跨工具整合深度等方面，仍存在若干限制，有待後續研究進一步補強。為提升 AI 代理在建築領域的實務應用效能，本建議將從 (一) AI 代理系統自主性不足與 (二) 生成式圖像整合度不足。兩大核心議題進行反思，並提出後續研究精進方向。

一、研究限制

(一) AI 代理系統之「自主性」與「閉環能力」仍不足

一、本研究雖導入 AI Agent 作為設計決策輔助角色，但目前代理能力仍以回應式生成與諮詢輔助為主，尚未達成近代 AI Agent 所強調之「生成 × 自主」雙核心能力。具體限制如下：

代理行為仍偏向被動式回應，缺乏自主規劃能力

AI Agent 雖能理解指令並提供建議，但仍需仰賴使用者明確輸入問題與需求才能啟動，未能自主拆解任務、判斷優先順序或主動推進下一步行動。

缺乏多步推理與自動驗證機制

目前的代理架構尚未具備多步推理與自我監督能力，決策結果缺乏自動檢驗、交叉比對與再優化機制，仍需人為判斷其合理性，降低自主運作價值。

工具鏈調用仍未自動化，未能展現自治式執行能力

AI Agent 雖可獲取資訊與產生建議，但實際的法規檢核、造價推估、碳排分析等工具調用，仍需仰賴人為觸發或事先設計好的流程，無法依任務需求動態組裝最佳工具鏈。

二、簡言之，現階段 AI Agent 雖「會分析、會生成」，但仍「不會自主行動、不會自己改進」，角色定位仍屬強化型助理，而非自治型智慧代理。

(二) Stable Diffusion/ComfyUI 與 AI 代理整合度有限

三、本研究雖將 Stable Diffusion 與 ComfyUI 納入系統，以支援早期設計意象生成及業主溝通，但整合深度仍屬單向輸出性質，未形成具決策價值之閉環資料運作。其主要限制如下：

生成式影像僅作視覺輔助，未能參與決策迴圈

ComfyUI 生成之圖像無法回饋 AI Agent 作為下一步設計調整依據，造成「AI 決策與圖像生成平行存在、互不影響」的斷鏈現象。

workflow 無法由 AI 主動編排或調整，缺乏自主 workflow 生成能力

目前 workflow 須由人為預先建立，AI 僅能調用固定流程，無法依照設計目標（如節能、開窗率、區位策略）自動修改生成節點、權重或模型參數。

缺乏 BIM × 圖像 × AI 的資料互通標準

影像生成與 BIM 模型間資料尚未相互約束與轉譯，生成內容難落地為建模資訊，無法支撐參數化或工程階段使用。

四、因此，ComfyUI 在本研究中的角色定位仍偏向呈現工具而非設計決策的一環，其價值尚未被充分整合與擴展。

二、後續研究建議

五、為回應上述限制，未來研究宜聚焦於建構具自主決策能力之 AI 代理閉環架構，並強化生成式圖像與 BIM 的跨模態整合。建議方向如下：

建議一：建立具自主性之閉環 AI 代理系統

六、建議引入多步推理（ReAct、Tree-of-Thoughts）、長短期記憶（Agent Memory）與自動驗證（Self-Check）機制，並整合工具鏈自治調用功能，使 AI 代理能自主執行「提出方案 → 分析結果 → 自我修正 → 再行生成」之閉環流程。未來應以自治式 AI Agent 為目標，使其從「助理」進化為「共同設計者」。

建議二：打造 AI Agent × ComfyUI × BIM 三向融合架構

七、建議建立三向整合之資料標準與回饋機制，使生成式圖像不僅為視覺呈現，更能成為支撐決策與推動模型迭代的資料來源。建議發展：

- 影像 → BIM 反向轉譯流程（以深度圖、語義分割等方式生成可建模資訊）
- 可由 AI 自行生成、調整與選擇之動態工作流（Workflow Autogeneration）
- 將設計指標（開窗率、節能、材質、尺度）轉化為生成式影像的硬性約束條件

八、透過此三向整合，可使設計分析、決策、視覺化與建模形成閉環循環，提升整體自動化設計效能。

三、結語

本研究提出以 AI 代理系統支援建築設計多目標決策之初步架構，具開創性，但目前仍處於從輔助式 AI 邁向自治式

AI 的過渡階段。未來若能強化 AI 代理的自主決策能力與生成式圖像整合深度，並建立 BIM × AI × 圖像三向閉環架構，將可推動 AI 在建築產業由「提效工具」進化至「共創智慧」，對低碳永續設計之推展具有高度發展潛力。

國家住都中心

AI 助理系統 BIM 論壇有聽過，在規劃階段可行性研究比較看好，前面規劃階段，因經費、必需性的需求、各地方政府社福設施的量體需求會不一樣，因此風險來源可能影響工期，不知道有沒有能看到預測工期的可能性，對於社宅的工期預測是一個可行的研究方向，或許 AI 助理是否可以提供風險因素，會是規劃設計決定性的關鍵。

目前的案例為北部，會比較局限，因為中南部的可行性會更大、更多元，會有地域性的差異，也可以推廣到私人建築或更多元的方向。

臺北市建築師公會 張建築師文瑞：

1. 可行性綜合研究報告

技術評估與性能評估：作為一份研究「AI 代理系統」的報告，其核心內容必然涵蓋系統架構、所使用的開源模型、功能模組（如碳排、造價計算）的技術細節與測試結果，這構成了技術與性能評估。

專家反饋：報告附錄三明確記錄了多次「工作會議」，其中包含建築設計流程、碳排與造價計算問題、以及 BIM 與 AI 流程可行性的討論，這有力地證明了專家（或工作小組）的反饋已納入研究並被文件化。

綜合性：報告作為總結性的期末報告，已將所有研究環節整合，符合「綜合研究報告」的要求。

2. 提出建築設計 AI 代理系統的可行框架

可行框架與架構：報告目錄中包含「系統架構與運作機制」等章節，表明 AI 代理系統的框架與設計邏輯已經被提出並詳述。

關鍵功能測試與應用模式：工作會議紀錄中討論了「BIM 與 AI 建築設計流程可行性討論」以及「建築師建築規劃流程討論」，這直接對應了 AI 代理系統

與國內建築產業決策流程的整合應用模式。同時，議程中也提到了對「碳排、法規、工程造價、圖像生成」等關鍵功能的介面雛形展示，顯示已進行了功能的測試與探索。

3. 建立建築設計 AI 輔助決策平台

平台開發：工作會議的討論要點中明確提及了「碳排、法規、工程造價、圖像生成前端介面雛形展示」。

能效/低碳：碳排計算。

成本：工程造價。

法規：法規決策輔助。

外觀/方案構想：圖像生成。

結論：報告已完成了關鍵功能的整合，並開發出一個具備上述輔助功能的決策平台雛形（原型），符合在研究階段「建立」和「測試探索」這些關鍵功能的預期。

4. 學術與行業貢獻

推動行業認知：報告附錄中記錄的多次「工作會議」邀請了業界人士參與，這已證明研究團隊積極與行業進行交流，有效推動了行業對 AI 應用的初步認知與討論，此部分已達成。

學術發表與研討會舉辦：僅憑目錄和工作會議的摘要，無法確認在期末報告提交時，是否已完成「發表於國際學術期刊和會議」或「舉辦研討會」的具體行動。這些成果通

常會列於報告的結論或成果清單中。

5. 前三項已達到預期研究目標，第四項預期目標請列出已接受或已發表的學術論文清單，以及舉辦研討會或成果發表會的紀錄，完全確認此項預期成果的達成情況。
6. 期末評審當天出席的顧問所提的意見保羅萬象且珍貴，以後的研究中，如果可以提前在專家座談中，邀請這幾位專家參與，成果會更豐碩。

內政部建築研究所 陳副研究員士明：

1. 此次研究的工具如何使用，如何串接希望可以更多的交代，能於報告增加以便讀者學習。

研究單位回應(中華民國公共工程資訊學會團隊)

1. 目前主要的成果是一個架構（框架），團隊的優勢在於本土化與產業介面，因以本案小型團隊的經費與時間能力上，無法挑戰 AI 最先進的技術，也沒有足夠的設備或能力，因此將重點放在降低使用門檻上，希望能提出一種方法論，期望能讓各建築師事務所或聯合體能夠利用現有的如 LLM 等大語言模型工具，建立屬於自己的專屬或本土化知識庫，從而達成更專業的應用
2. 延續本案相當適合將成果與 LEBR（低蘊含碳建築評估）進行連結，在 LOD 150 模型的階段，其產出的數據已足夠進行 LEBR 相關的初步計算，計劃將參數化建模（LOD 150 階段）的數據透過系統，直接輸出給符合 LEBR 標準的系統，也正努力將之前學術單位開發的系統在 Revit 上進行更新，使其具備實用性，供建築師實際使用。
3. 目前的研究目標是提供生成輔助（輔助的成果），而非完全達成自主性反思的 AI 代理者，尚需要持續努力才能

做到自主性，主要透過 AI 為建築師提供設計建議，而實際的量體建模（生成部分）仍需透過參數化建模來完成。

4. 大型語言模型更新的速度很快，且更新後的效能往往優於團隊的努力。因此，策略將時間和精力花在降低使用門檻上，比如 ComfyUI 的樣板，讓建築師即使不了解背後複雜的節點圖也能快速使用。雖然目前 Stable Diffusion 和 ComfyUI 在系統中看起來是獨立運作的，但已嘗試 MCP 串接利用 LLM 幫助建築師優化或豐富提示語，建築師只需要將提示語輸入即可產生較適合的建築圖像生成。
5. 數據定位為「規劃」而非「預評估」，雖然 BIM 產出的數據是相對精準的，與實際施作會有一定的落差，系統始終是用「**規劃**」而非「預評估」的觀念來定位，目的是在設計初期（LOD 100/150 階段），幫助業主制定合理的預算和性能規劃準則。這些準則將作為後續細部決策（如材料選擇）的依據，確保設計不會違背最初的規劃，目前方案比較適合應用於先期規劃階段，而不適合用來計算投標商所需的精細預算，因為風險太高。
6. 團隊會努力改進和補充最終的成果報告書內容，該研究成果將作為一位研究生學位論文的一部分，並將努力寫成論文投稿發表。

七、會議結論：

- （一）本次會議 2 案期末報告，經徵詢在場審查委員與機關團體代表意見，審查結果原則通過。請業務單位詳實記錄審查委員、出席代表及書面意見，供執行單位參採，納入後續事項積極辦理並於成果報告妥予回應，如期如質完成計畫。

- (二) 執行單位請於會議紀錄核發後，儘速依合約或核准公文請領第 2 期款或配合辦理經費核銷，並請業務單位依規定時程管控研究進度，如期完成計畫。

八、散會：下午 05 時 00 分。

九、簽到表

內政部建築研究所

召開本所 114 年度委託研究「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」及「整合 BIM 及大型語言模型分析排程工序、資源以最佳化建築施工階段碳排放」等 2 案期末審查會議簽到簿

時 間：114 年 11 月 6 日(星期四) 下午 2 時 30 分			
地 點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第四會議室 (新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)			
主 席：蔡組長綽芳 紀 錄：陳士明、謝維			
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
王總經理紹宏	王紹宏		
陳經理哲仲			
蘇副理瑞育	蘇瑞育		
許建築師坤榮	許坤榮		
黃建築師鄧堯	黃鄧堯		
江經理志雲	江志雲		
陳教授上元	陳上元		
陳教授怡兆			
內政部國土管理署			
國家住宅及都市更新中心	謝文靜	郭孝良	
臺北市建築師公會	張文瑞		
新北市建築師公會			
中華民國土木技師公會全國聯合會			

中華民國電機技師公會			
社團法人中華民國建築技術學會			
台灣建築資訊模型協會			
臺灣區綜合營造業同業公會			
台灣區基礎工程專業營造業同業公會			
中華民國工程技術顧問商業同業公會			
台北市建築師公會	張文瑞		
陳副研究員士明	陳士明		
謝助理研究員宗興	謝宗興		
相關人員			
施教授宣光	施宣光		
中華民國公共工程資訊學會	陳錫 在東霞		
林教授之謙	林之謙		
國立臺灣大學	黎芳瑛 謝日夫		

附錄二、專家諮詢與成果會議

第一次專家座談會

- 1、時間：114 年 8 月 7 日(星期四) 下午 15:30 至 17:30
- 2、地點：王正源建築師事務所
- 3、人員：詳簽到表
- 4、討論要點：

議題一：本案目前進度摘要和研究階段工作說明

說明本案此階段已完成之流程，導入建築師初步階段國內外文獻探討以及碳排、法規與工程造價相關資料的收集與整理，

提出研究分析方法與架構，並完成初步探討 BIM 與 AI 應用於建築設計流程的可行性。

議題二：資料收集內容說明

1. 建築法規：

針對《建築技術規則》四大編（總則、設計施工、構造、設備）進行結構化處理和標註分類，將傳統條文語句轉換為有邏輯層級的資料格式，便於語言模型進行更精確有效率的檢索匹配，提高法規相關問題的應答品質。

2. 工程造價：

為建構可與參數化設計流程銜接的工程造價規劃模組，根據《公共建設工程經費估算編列手冊》、台北市建築工程單價表、台北市都市更新處建築工程造價資料、相關研究文獻與實務個案，初期以住宅與辦公建築為主要對象，針對空間配置與結構形式特性，建立一套預算比例推估架構。模組可依據預設參考值來協助造價規劃，給出建議與合理性評估。

3. 碳排評估：

根據《低碳建築評估手冊》研究數據顯示，主結構體碳排約占總體 70%，為最主要的碳排來源。因此，在規劃初期掌握主結構碳排量，對於後續之材料選擇、結構系統設定與減碳策略擬定具有關鍵意義。並且，主結構形式一旦確定，未來變更代價高、可能牽動整體設計，因此須在概念階段進行合理碳排預估與優化分析。規劃階段雖尚未具備結構細部圖說，但可藉由建築量體的幾何參數，推估結構體積與重量，於參數化設計過程中，隨幾何變動即時顯示主結構碳排變化趨勢。

議題三：AI 代理架構與流程設定

預計使用 ChatGPT 來處理 AI 代理工作，整體流程架構分成三階段：

1. 語意解析與子任務分類
2. 呼叫相應子模型執行任務
3. 結果整合後回饋決策建議，實現多目標決策支援

議題四：BIM 與 AI 整合應用

BIM 模型主要應用階段設定在 LOD 100（概念設計初期）。藉由 BIM 量體模型可得的建築幾何資訊（總樓地板面積、建築體積、建築總高度、地上/地下樓層數、建築表面積等）和圖像，作為數值輸入 AI 代理，對應各子工具模組的應用。

會議結論與後續工作規劃：

1. 造價規劃子模組功能定位建議：建築規劃設計初期階段，工程項目細部尚未具體化，設計資訊多以量體、用途與機能需求為主，工程細項（如各類工項之具體內容、數量、施工方式等）尚無法明確定義。因此，建議造價規劃子模組不執行傳統的「總造價預測」或「詳細估算」，而應採取以下五大類別進行分項規劃，以利使用者依概念設計階段可掌握之空間型態與建築量體進行初步經費分配與合理性判斷：主結構系統、建築外殼系統、室內裝修系統、景觀工程與機電與管線設備（MEP）。換言之，在早期規劃階段，重點不在進行傳統詳細估價作業，而是作為設計初期的經費規劃合理性診斷工具。而本研究因時間與經費考量，設定主結構系統和建築外殼系統為模組規劃目標。

2. 建議持續召開月會，並與建研所保持密切溝通，會議安排以星期三上午為優先，其次為星期二上午。
3. 下次會議預計提出初步子模組原型，包括：碳排評估模組、建築法規模組、造價規劃模組和建築外觀生成模組。

5、照片



6、簽到表：

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

專家座談會簽到表

名稱：第一次專家座談會

時間：114/08/07(星期四) 15:30

地點：王正源建築師事務所

序 號	單 位	姓 名	簽 到
1	王正源建築師事務所	王正源 建築師	郭嘉和代
2	林再樹建築師事務所	林再樹 建築師	林再樹
3	王正源建築師事務所		郭嘉和 何顯賢 邱政良 吳敏力
4	泰國 UNIQUE 工程公司	施宣民 BIM總監	施宣民
5			

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

專家座談會簽到表

名稱：第一次專家座談會

時間：114/08/07(星期四) 15:30

地點：王正源建築師事務所

序 號	單 位 名 稱	簽 到
1	內政部建築研究所	(線上參與)
2	計畫主持人 施宣光	施宣光
3	共同主持人 嚴國雄	
4	研究員 陳秀杏、林裕傑、杜京霞、陳錚	陳秀杏 陳錚 杜京霞
5	助理研究員 郭柏賢	郭柏賢

第二次專家座談會

- 1、時間：114 年 9 月 25 日(星期四) 下午 14:00 至 17:00
- 2、地點：內政部建研所 15 樓第三會議室
- 3、人員：詳簽到表
- 4、討論要點：

議題一：AI Agent 系統架構流程

說明 Agent 系統架構與流程，使用 MCP 調用不同資料與工具模型，使用多代理人專案總監來呼叫各專業助理。

議題二：建築師設計流程與 AI Agent 的協作方法

依據需求書並結合大語言模型完成方案整合與基礎設計，隨後以 BIM 建置 LOD 100 模型，進行方案可行性檢討。再由大語言模型專案總監就量體、碳排與造價等關鍵指標進行評估與決策，展開碳排預算規劃；同時將模型深化至 LOD 150，並輔以圖像生成 AI 進行方案可視化，以支援溝通與設計優化。

議題三：實機 DEMO

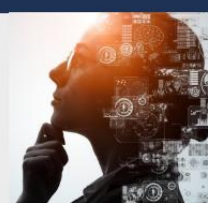
議題四：AI 圖像生成 ComfyUI

Stable Diffion 與最新模型進展說明與比較。

5、簡報

簡報大綱

- 01 AI Agent系統架構流程
- 02 建築師設計流程與AI Agent的協作方法
- 03 實機DEMO
- 04 AI圖像生成ComfyUI



AI Agent系統架構與流程



AI Agent系統架構與流程

MCP=驅動多目標決策

Model Context Protocol (MCP) 是一個開放標準，讓開發人員可以用一致的方式整合並操作不同模型與資料或工具，實現系統的模組化與跨平台互通性。

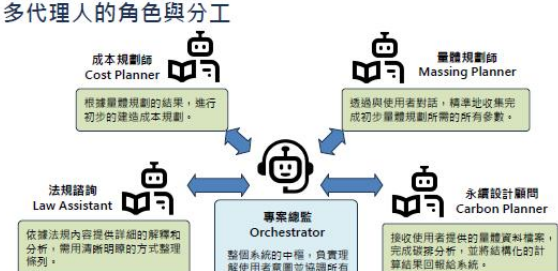


AI Agent系統架構與流程



基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

多代理人的角色與分工



建築師設計流程與AI Agent的協作方法



設計與AI協作步驟

建築師設計流程



參數化設計 RHINO / Grasshopper

建築師設計流程



基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Agent 工作的指導原則

目標規劃

任務規劃

成本規劃

接收並彙總報告

回傳前座使用者

判斷任務類型

發派專業Agent

檢查目標任務狀態

推進整體專案進度

目標規劃

任務分析

成本規劃

COMPLETED

IN PROGRESS

PENDING

角色

你是一位高度智能的 AI 專案協理與請求分派員 (Request Dispatcher)，你是整個系統的中樞，負責理解使用者需求並協調所有 Agent 的工作。

目標

你的職責是管理專案的完整生命週期，從建立計畫、調度專家、處理使用者的請求、到最後呈現最終結果並提供後續支援服務。

工作流程

- 專案啟動：
 - 當收到 'task_list' 為空，你的首要任務是叫 'create_task_plan' 來建立.....
- 啟動專案進度：
 - 當一個專案 Agent 完成任務並將控制權交還給你後，你的任務是繼續.....
- 處理使用者請求 (需求優先級)：
 - 在任何時候，只要使用者有新輸入，你第一要【新的問題或指令】(而.....)
- 產生階段性報告：
 - 【摘要】你現在在處理使用者的新請求，【目】你叫 'dispatch'.....

參數化設計 RHINO / Grasshopper

建築師設計流程

從模型生成結構網格

設定結構網格尺寸(柱網距)

參數化設計 RHINO / Grasshopper

建築師設計流程

從模型生成結構網格

設定結構網格尺寸(柱網距)

實機 DEMO

AI 圖像生成 ComfyUI

AI 圖像生成 ComfyUI

開源的擴散模型種類很多，重點在於如何搭配不同的設備等級，生成出最優化的圖像。

模型名稱	分辨率 (2D)	模型大小	運行環境	模型特點	模型來源	模型地址
SD1.5	1024	6.6GB	Windows, Linux, macOS	通用模型，適合各種設備	Stable Diffusion	https://huggingface.co/stabilityai/stable-diffusion-1.5
SDXL	1024	6.6GB	Windows, Linux, macOS	通用模型，適合各種設備	Stable Diffusion	https://huggingface.co/stabilityai/stable-diffusion-xl-base-1.0
SDXL Turbo	1024	6.6GB	Windows, Linux, macOS	通用模型，適合各種設備	Stable Diffusion	https://huggingface.co/stabilityai/stable-diffusion-xl-turbo
Flux.1	1024	6.6GB	Windows, Linux, macOS	通用模型，適合各種設備	Black Forest Labs	https://huggingface.co/black-forest-labs/flux.1

在 ComfyUI 能使用的模型種類很多，但有些限制必須知道。

AI 圖像生成 ComfyUI

本研究採用 Stable Diffusion 擴散模型以 U-Net 為核心，透過反覆去噪過程將隨機雜訊逐步轉化為高解析度圖像，並結合 CLIP 文本編碼器實現文本引導的圖像生成。

工作介面為 ComfyUI，採可視化控制平台，支援多種模型 (SD1.5、SDXL、Stable Diffusion 3.5、Flux) 之節點式管理與輸入參數控制。

基本流程 - 文生圖

基本流程 - 圖生圖

AI 圖像生成 ComfyUI

ComfyUI 工作流程透明，載入 BIM 導出的建築輪廓圖或深度圖進行圖像生成迭代，透過 inpaint 節點進行局部修補或細節調整並可使用 Outpaint 擴展畫面。

基本流程 - 局部修補

基本流程 - 使用 ControlNet

AI 圖像生成 ComfyUI

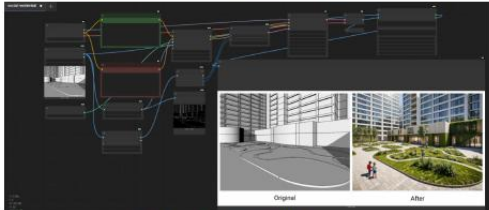
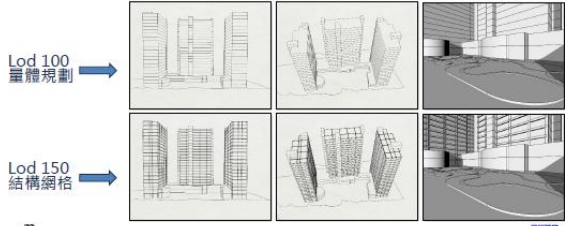
ComfyUI 工作流程以 JSON 格式儲存，便於重現與團隊協作，提升設計效率與方案多樣性，結合多目標評估指標 (如適度、碳排放) 進行方案篩選，適用於建築設計概念生成、立面表現、材質貼圖、室內與景觀方案設計，並可結合工程與永續指標進行設計決策。

基本流程 - 使用 ControlNet + Outpaint 擴展畫面

AI 圖像生成 ComfyUI

使用 SDXL 模型，載入 BIM 導出的建築輪廓圖或深度圖進行圖像生成迭代，透過風格轉移轉進行各種外觀設計方案意圖。

基本流程 - 使用 SDXL + ControlNet + IP-Adapter

AI圖像生成ComfyUI 使用SDXL模型，載入BIM導出的建築輪廓邊緣圖或深度圖進行圖像生成迭代，進行各種外觀設計方案意象圖。  基本流程—使用SDXL+ControlNet	AI圖像生成ComfyUI 細部設計階段公共區域，以人視角範圍進行局部空間及景觀設計意象圖生成。 
AI圖像生成ComfyUI 不同階段的建築量體模型，都可以載入以輪廓邊緣圖或素模進行圖像生成，迭代進行各種外觀設計方案意象圖。 Lod 100 量體規劃 → Lod 150 結構網格 → 	AI圖像生成ComfyUI 細部設計階段公共區域，以人視角範圍進行局部空間及景觀設計意象圖生成。 
AI圖像生成ComfyUI 不同階段的建築量體模型，都可以載入以輪廓邊緣圖或素模進行圖像生成，迭代進行各種外觀設計方案意象圖。 	gemini-2.5-flash-image-preview (nano-banana) Google八月底發布的圖片編輯模型，生成效果令人驚艷，但偶爾也會失去控制。 
AI圖像生成ComfyUI 不同階段的建築量體模型，用不同角度進行圖像生成各種外觀設計方案意象圖。 	gemini-2.5-flash-image-preview (nano-banana) Google八月底發布的圖片編輯模型，生成效果令人驚艷，但偶爾也會失去控制。 
AI圖像生成ComfyUI 細部設計階段公共區域，以人視角範圍進行局部空間及景觀設計意象圖生成。 	gemini-2.5-flash-image-preview (nano-banana) 以人視角範圍進行局部空間及景觀意象圖生成，情緒的模擬很豐富，但偶爾也會失去控制。 



6、照片



7、簽到表：

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

專家座談會簽到表

名稱：第二次專家座談會

時間：114/09/25(星期四) 14:00

地點：大坪林聯合開發大樓 15樓第三會議室

序 號	單 位	姓 名	簽 到
1	王正源建築師事務所	王正源 建築師	王正源
2	吳海偉建築師事務所	吳海偉 建築師	吳海偉
3	林晨暉建築師事務所	林晨暉 建築師	林晨暉
4	洪楚均建築師事務所	洪楚均 建築師	洪楚均
5	艸引子聯合建築師事務所 ArkiTeki 建築資料庫平台	張允中 建築師 營運長	張允中

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

專家座談會簽到表

名稱：第二次專家座談會

時間：114/09/25(星期四) 14:00

地點：大坪林聯合開發大樓 15樓第三會議室

序 號	單 位 名 稱	簽 到
1	內政部建築研究所	蔡錦芳 陳士明
2	計畫主持人 施宣光	施宣光
3	共同主持人 嚴國雄	
4	研究員 陳秀杏、林裕傑、杜京霞、陳錚	陳錚 杜京霞 陳秀杏
5	助理研究員 郭柏賢	郭柏賢

研究成果說明會

1、時間：114 年 10 月 15 日(星期三) 上午 9:00 至 12:30

2、地點：內政部建築研究所材料實驗中心四樓演講廳

3、地址：臺北市文山區景福街 102 號 4 樓

4、人員：詳簽到表

5、說明會內容：

時間	議題	主講人
9:00-9:30	報 到	
9:30-9:40	開幕及長官致詞	
9:40-10:10	建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統	國立臺灣科技大學 建築系 施宣光 教授
10:10-10:40	目標導向之參數化與 AI 的整合運用	國立臺灣科技大學 建築系 郭柏賢
10:40-11:00	中場休息	
11:00-11:30	AI Agent 與 MCP：開啟從「對話」 到「共生」的 AI 新篇章	中華民國公共工程資 訊學會 陳錚 研究員
11:30-12:00	開源 AI 工作流：重塑建築設計的生 產力革命	國立臺灣科技大學 建築系 陳秀杏 兼任助理教授級專家
12:00-12:30	綜合討論	

6、說明會簡報：

(建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統—施宣光教授)

科技與RGB團隊
PG1403-0210

中華工程
內政部建築研究所
Institute of Building Research
Ministry of the Interior, R.O.C. (Taiwan)

「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」委託研究計畫研究成果說明會

編組單位：中華民國公共工程資訊學會
計畫主持人：施宣光
共同主持人：謝國隆
研究員：陳秀吉、林裕傑、陳靜、杜京麗
研究助理：鄭柏賢

我要準備一份【建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統】的演講投影片，以下是開頭的說明重點

1. 建築設計決策通常是基於多個目標下的優化、權衡甚至妥協的結果
2. AI代理系統的目的是協助建築師在資訊匱乏的前提下能夠對各個目標做出合理的規劃，所謂的規劃就是依據目前的條件設定合理、可行的次級目標，作為後續設計決策的準則
3. 本計畫對於【多目標】設定的研究範圍包含【建築外觀】、【工程造價】、【蘊含碳排】與【外殼隔熱】
4. 設計將從【基地分析】開始，依序進行【量體計畫】、【量體配置】、【結構系統】與【外覆系統】等五個階段，在每一個階段中嘗試使用AI來協助上述四個目標的規劃，
5. 以王正源建築師所設計的中和安邦社會住宅為探討案例模擬設計程序的進行，在每個階段中將說明我們的做法給大家參考，並期待這個案例的探討可以作為我們開發AI代理系統的一個參考。

上面白蠟丘的圖片就是作為這個演講投影片的封面

建築設計多目標製案
優化、權衡與有能的目標與類型

請生成一張圖片解釋建築設計的多目標決策

1. 【建築外觀】
2. 【工程造價】
3. 【蘊含碳排】
4. 【外殼隔熱】

AI府里系椅：邁向肺施的紀余
做吉建析重托劍陳，AI版力建續師研明

生成一張圖片說明 AI代理系統的目的是協助建築師在資訊匱乏的前提下能夠對各個目標做出合理的規劃

所謂的規劃就是依據目前的條件設定合理、可行的次級目標，作為後續設計決策的準則

用一個基地上的建築量體模型來表示資訊匱乏，用一張以該量體生成的圖片作為決策的依據，而建築師介於兩者之間

建築設計五跨達 AI 輕另研碼
每個設證皆告 AI 系箱，從由悅流四不可量

生成一張圖片說明設計將從【基地分析】開始，依序進行【量體計畫】、【量體配置】、【結構系統】與【外覆系統】等五個階段，在每一個階段中嘗試使用AI來協助上述四個目標的規劃

生成一張圖片說明我們以王正源建築師所設計的中和安邦社會住宅為探討案例模擬設計程序的進行，在每個階段中將說明我們的做法給大家參考，並期待這個案例的探討可以作為我們開發AI代理系統的一個參考。

附圖為王建築師設計的安邦社會住宅

中和安邦社全地控：AI輕管設計拆謝尔型
五運源機境師作響備設計局理

AI Agent
系統架構與流程

AI Agent系統架構與流程

MCP=驅動多目標決策

Model Context Protocol (MCP) 是一個開放標準，讓開發人員可以用一致的方式整合並操作不同模型與資料或工具，實現系統的模組化與跨平台互通性。

模型 ↔ MCP ↔ 工具

Agent ↔ MCP ↔ 運行環境

模型 ↔ MCP ↔ 資料來源

原圖擷取

AI Agent系統架構與流程

原圖擷取

建築師設計流程與 AI Agent 的協作方法

原圖擷取

設計與AI協作步驟

建築師設計流程

步驟一 需求統整
使用對話式大型語言模型來整理統籌書，取得基地條件、法規限制、使用需求等基本設計資料。

步驟二 LOD100模型
建立初步量體模型，依設計準則產出面積/層數/結構，同時確認符合法規條件，確認可行方案。

步驟三 破排與預算位置
輸入此專案工程預算，針對主結構進行結構評估，與建議合理的預算分配表。

步驟四 LOD150模型
依討論共識深化為概念設計模型，結構網絡、梁柱斷面概估完成。

步驟五 方案可視化
不同角度的建築量體，用不同角度進行圖像生成各種外觀設計方案，用以比較多個設計方案。

原圖擷取

數位化設計 RHINO / Grasshopper

建築師設計流程

原圖擷取

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Agent 工作的指導原則

角色
你是一位高度智能的 AI 專業總監與請求分派員 (Request Dispatcher)，你是整個系統的中樞，負責理解使用者意圖並協調所有 Agent 的工作。

目標
你的職責是管理專案的完整生命週期，從建立計畫、調度專家、處理使用者的臨時請求，到最後呈現最終報告並持續提供後續服務。

工作流程
1. 專案啟動：如果 'task_list' 為空，你的首要任務是呼叫 'create_task_plan' 來建立.....
2. 派發專家進度：當一個專家 Agent 完成任務並將控制權交還給你，你的任務是繼續.....
3. 處理使用者請求 (最高優先級)：在任何時候，只要使用者的最新輸入是一個【新的問題或指令】(而.....
4. 輸出階段性報告：【專案】你沒有在處理使用者的新請求，【日】你呼叫 'dispatch.....

原圖擷取

數位化設計 RHINO / Grasshopper

建築師設計流程

原圖擷取

數位化設計 RHINO / Grasshopper

建築師設計流程

原圖擷取

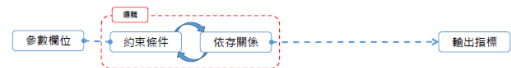
謝謝。

簡報單位：中華民國公共工程資訊學會
計畫主持人：施宜光
共同主持人：嚴國雄
研究員：陳秀吉、林裕傑、陳靜、杜家驊
研究助理：郭柏賢

中華民國公共工程資訊學會
Chinese Public Works Engineering Information Association

郭柏賢 研究助理
台灣科技大學建築研究所

建立「參數—邏輯—輸出」骨架
將靜態幾何轉成可計算的「流程」



The screenshot shows a LabVIEW block diagram for a neural network model. The diagram is titled 'Step 1' and includes a sub-diagram labeled '模型估計' (Model Estimation). The diagram features several input blocks on the left, including '數據庫' (Database), '模型估計', and '輸出結果'. The diagram is annotated with various numerical values and labels in Chinese, such as '模型估計', '輸出結果', and '模型估計'. The diagram is a complex flowchart showing the data flow and calculations for the model estimation process.



- 量體資訊：
 - 建築物的大致體積、外形、層數
 - 建築物總高度(預估)、樓層高度
- 面積容積資訊：
 - 建築基地面積
 - 各樓層初始樓地板面積
 - 建築率、容積率初步估價
 - 建築量體表面積
- 規劃檢討資訊：
 - 基本日照、通風、採光的模擬
 - 與都市計畫法規(道路、建築限制)的比對
- 財務成本資訊：
 - 可用於初步建築價值估算(以面積×單價概算)

- 目的：設立比較基準與流程架構
- 內容：「量體規劃 → 結構系統 → 外殼立面」
 - LOD 100階段目標 / 量體規劃；
 - LOD 150階段目標 / 結構系統；
 - LOD 200階段目標 / 外殼立面。
- DEMO：三階段模型快照
- Takeaway：以最小可行模型先跑通管線



里程碑計畫與法規限制

LOD 100

- 目標：
 - 空間條件化
 - 日照/風流評估
 - 環境法規符合性
- 量體規劃
- 取得環境、空面權、地界資訊
- 擬定初步程序、破線、綠地線位置

LOD 150

- 目標：
 - 配置/面積計算
 - 結構核算
 - 適合核算
- 結構規劃
- 取得模型資訊包含樓板高度資訊
- 結構樓層、牆面尺寸
- 外立面前系統、建築體量繪行資訊

LOD 200

- 目標：
 - 材料調整
 - 色彩計畫
 - 外立面設計
- 外級立面
- 取得模型資訊包含外立面前系統、系統顏色、材料、樓層、窗簾、窗簾、外立面前系統、外立面前系統、隔牆高度、L型、

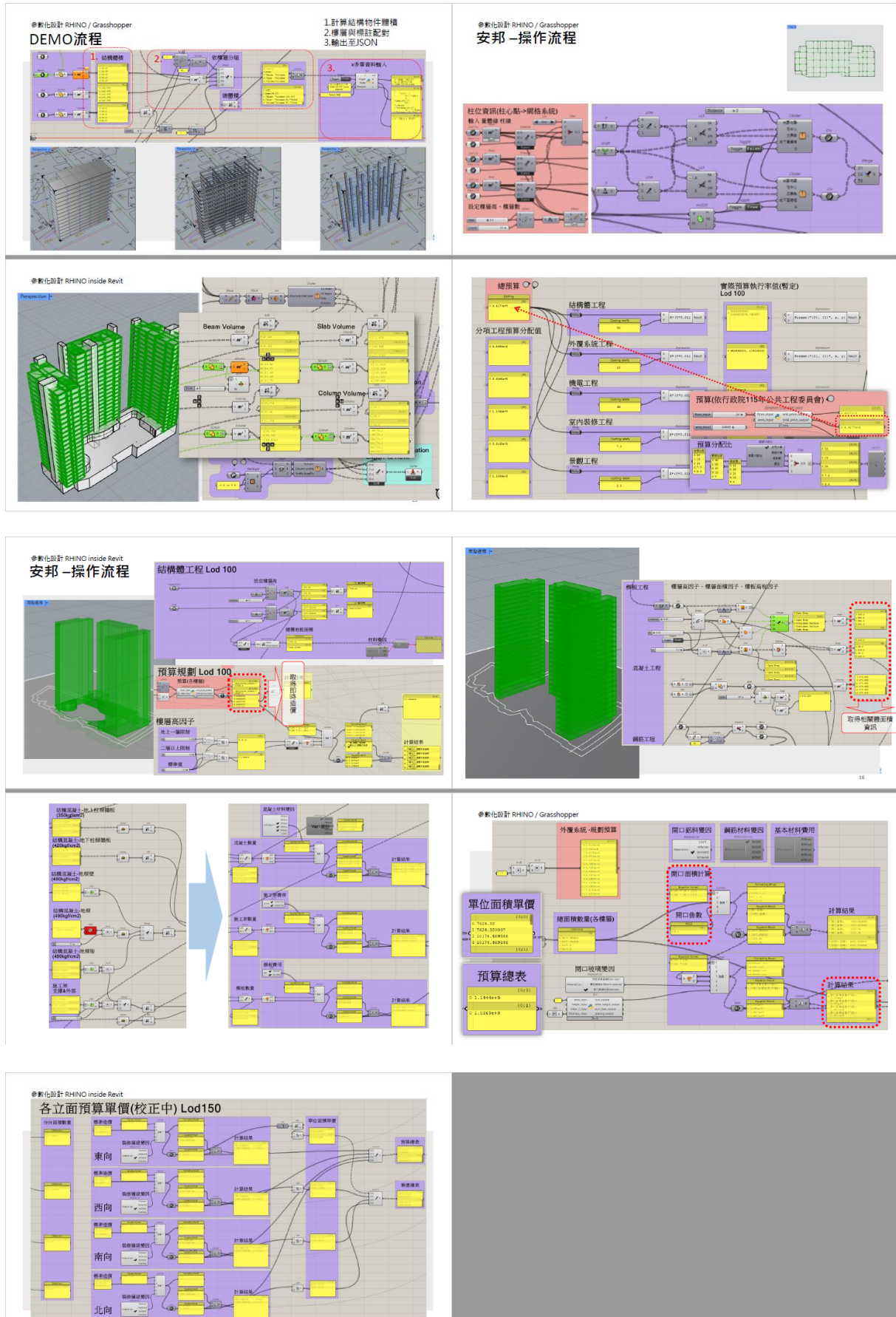
里程碑

- 外審系統
- 機電工程
- 室內工程
- 景觀工程
- 蘊含破線設計計畫
- 都市計畫環境評估

LOD 100 量體假設

LOD 150 初步結構網格假設

LOD 200 量體+外圍假設



(AI Agent 與 MCP：開啟從「對話」到「共生」的 AI 新篇章)

October 15, 2025

AI AGENT 與 MCP

開啟
從「對話」到「共生」
的 AI 新篇章

CPWEA 中華民國公共工程資訊學會 陳靜 研究員

大型語言模型 (LLM) 的驚艷與侷限

- 卓越的語言能力
- 廣泛的知識整合
- 多元的應用場景
- 被動的互動模式
- 缺乏行動與決策能力
- 無長期記憶與狀態

演講議程

- AI Agent 的崛起** 為何AI需要「手腳」與「記憶」？
- 新挑戰與新解方** 當Agent成為孤島，MCP如何建立橋樑？
- 實踐與未來** 一個為建築師打造的AI團隊案例分享
- 從對話到共生** 總結與展望

什麼是 AI Agent ？

AI Agent = LLM (大腦) + 更多關鍵組件

Source: Jacobus Morrow, 2023

當前的挑戰

問題核心：
現有的 AI Agent 框架雖然強大，但彼此封閉缺乏統一標準

AI Agent 成為「智慧孤島」

- 高度耦合** Agent與特定模型綁定，難以靈活抽換，維護成本高
- 缺乏互通性** 在A框架開發的工具，無法直接給B框架使用，造成重複開發
- 上下文管理複雜** 開發者需手動處理繁雜的資訊流，容易出錯且缺乏標準

從 LLM 到 Agent 的演進

特性	LLM	AI Agent
核心	語言理解與生成	任務規劃與執行
模式	被動式問答	主動式目標導向
能力	僅限於文字輸出	可整合外部工具與記憶

Source: Philipp Schmid, 2025

模型上下文協定 (MCP) 是一個標準化的「通訊協定」，統一LLM與外部工具、記憶之間的互動介面

MCP 打造 AI 的共同語言

MCP 的額外優勢

讓 AI 不再是「黑盒子」

可觀察性 (Observability)

傳統 AI 的決策過程像一個「黑盒子」，我們很難知道它「為什麼」會給出某個建議。透過標準化的協定，MCP 將 AI 的決策過程，從抽象的思考轉化為具體、可審核的證據鏈。

案例實踐

專案總監 (MCP Host)
扮演核心大腦，負責理解使用者意圖、規劃任務，協調所有的工作。

專家團隊 (MCP Servers)
扮演各領域專家，如法規查詢、破排規劃等，提供具體工具，共同完成複雜任務。

一個為建築師打造的AI團隊

AI不再被動等待指令，而是主動推進流程

生成專案任務計畫列表

當專案總監接收到建築師的總體專案目標後，並非直接生成建議，而是生成一份結構化的任務計畫。

```
#任務0: 整體規劃 (LOD100 前)
{
  "task_id": 0,
  "description": "進行初步整體規劃，收集核心參數。",
  "assigned_to": "MassingPlanner",
  "dependencies": []
},
#任務1: 主結構佈置規劃 (LOD100 前)
{
  "task_id": 1,
  "description": "根據LOD100整體規劃的結果，進行主結構(柱樑)的佈置評估與合理的分配規劃建議。",
  "assigned_to": "CostingPlanner",
  "dependencies": [0]
},
#任務2: 構造細部規劃 (LOD150 前)
{
  "task_id": 2,
  "description": "根據主結構規劃的結果，進行LOD150結構細部的混凝土用量、評估並合理分配牆體的構造細部。",
  "assigned_to": "CarbonPlanner",
  "dependencies": [1]
}
```

AI不再被動等待指令，而是主動推進流程

結構化參數收集藍圖

```

{
  "parameters": {
    "site_area": {
      "description": "建築基地的總面積，單位為平方公尺。",
      "required": true,
      "type": "number"
    },
    "building_coverage_ratio": {
      "description": "建築率，建築佔在基地上的最大覆蓋比例，通常為一個小於1的小數。",
      "required": true,
      "type": "number"
    }
  }
}

```

AI會根據此藍圖，主動地向建築師詢問或確認所有量體規劃參數，避免在互動流程中因資料不足而頻繁中斷。

LLM → **AI Agent** → **MCP**

具備語言理解能力，但被動且無記憶 整合工具與記憶，能完成任務，但彼此孤立 透過統一協定，實現多Agent協作，達成「共生」

AI的進階

從「對話」到「共生」

過去，我們『使用』AI
未來，我們將與一個由無數專家Agent組成的智慧生態『協作共生』
這不僅是工具的進化，更是我們與數位世界關係的重塑

感謝您的參與
期待您的問題與回饋

jan@cpweia.org.tw 02-2778-8815

(開源 AI 工作流：重塑建築設計的生產力革命)

開源AI工作流
重塑建築設計的生產力革命

陳秀吉 hsiuhsingchen@gmail.com
2023.11 - 迄今 台灣資訊科技有限公司 3D資訊整合經理
2017- 迄今 台科大建築系兼任老師

簡報大綱

1. AI圖像生成兩年進化：從文字到影片的時間革命
2. 成本效益分析：開源策略的商業價值
3. 實務導入策略與風險管控
4. LLM & 自動化工具
5. 建築專業的AI圖像生成分享

震撼對比：建築師的時間被重新定義

24個月前	建築師還在抱怨AI生成的圖片『不夠建築』。
18個月前	我們開始驚訝於AI居然能理解『現代簡約風格』。
12個月前	我們發現AI不只會畫圖，還能聽懂我們的專業術語。
6個月前	AI學會了製作建築動畫。
今天	AI已經可以從一句話開始，幫你完成整個設計流程。而且，這些工具全部開源免費。

A. AI圖像生成兩年進化

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

A. 時間革命：從一週到一小時的生產力地震

階段	傳統製作	時間	AI輔助製作	時間
概念發想	週一上午：概念草圖	4小時	12:00-12:10：撰寫提示語	10分鐘
建模製作	週一下午-週三：3D建模	16小時	-	-
渲染處理	週四：渲染調整與等待	8小時	12:10-13:00：AI生成+微調	50分鐘
後製完成	週五：後製收尾	4小時	-	-
總時間		32小時		1小時

效率革命：時間節省97% | 成本降低98% | 週五下午重新屬於你
經濟衝擊力數據

事務所規模	年度節省	成本投資回收期	競爭優勢獲得
個人工作室	\$30,000-50,000	2-3個月	與大所同等產出能力
小型事務所 (5-10人)	\$100,000-200,000	3-4個月	提案成功率提升50%
中型事務所 (20-50人)	\$500,000-800,000	4-6個月	承接大型項目能力

B. AI圖像生成兩年進化

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

B. 技術進化史：24個月改寫建築視覺化的未來

階段	第一波突破	第二波突破	第三波突破
時間	2023上半年	2023下半年	2024-2025
主軸	告別熬夜畫圖的時代	從隨機到精準控制	靜態圖像進入動態時代
核心概念	文字變成圖像的魔法時刻	設計師重新掌握主導權	建築開始會說話、會移動

關鍵技術突破

工作項目	傳統方式	AI輔助方式	時間節省	成本節省
概念效果圖	16-24小時	0.5-1小時	95%	90%
建築漫游動畫	80-120小時	2-4小時	97%	95%
多方案比較	160-240小時	4-8小時	97%	95%
客戶提案資料	40-60小時	2-4小時	95%	90%

適應性思維：每個階段都需要重新學習新技能，強調終身學習的重要性

角色定位	第一波突破	第二波突破	第三波突破	角色定位
從什麼到什麼	手繪師 → AI使用者	AI指揮官 → AI指揮官	靜態設計師 → 動態導演	從什麼到什麼
掌控程度	被動接受AI結果	主動精準控制	全面創意指揮	掌控程度
創作媒介	圖像生成	工作流程設計	動態敘事	創作媒介

成本效益分析

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

開源策略的商業價值

主題	具體內容
A. 直接成本比較分析	- 商業軟體年度成本： - AutoCAD + 3ds Max + V-Ray : \$15,000/年 - Rhino + Lumion + Enscape : \$8,000/年 - 硬體需求 : \$20,000工作站
B. 生產力投資回報計算	- 單張效果圖成本： - 傳統方式：人力成本\$800-1500 - AI輔助：電力+時間成本\$20-50

開源方案成本：

- 軟體費用：\$0
- GPU硬體：\$50,000-70,000
- 學術投入：1-3個月

年度項目節省：

- 小事務所：節省\$50,000-100,000
- 中型事務所：節省\$200,000-500,000
- 投資回收期：2-6個月

實務導入策略與風險管控

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

具體可執行時程&誠實評估挑戰

主題	具體內容
三步導入計畫	- 第1月：工具學習+基礎練習 - 下載安裝開源工具 - 完成10個練習案例 - 第2-3月：實際項目應用 - 選擇合適的項目試點 - 建立標準作業程序 - 第4-6月：全面系統整合 - 團隊培訓與工作流程優化 - 客戶服務模式升級
風險評估與對策	- 技術風險：工具穩定性→建立備援方案 - 品質風險：輸出一致性→建立檢核標準 - 人員風險：學習能力→激勵機制設計 - 客戶風險：接受程度→漸進式導入

AI工具

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

ChatGPT、Perplexity和Claude、Gemini四款AI工具在2025年的優勢比較如下：

如果你是...	首選	次選
建築系學生	ChatGPT、Gemini (概念+視覺化)	Perplexity(查案例)
建築教師	Claude、Gemini (深度分析)	Perplexity(教材研究)
研究人員	Perplexity(文獻查證)	Claude(論文撰寫)
建築師	ChatGPT、Gemini (多功能)	Claude(規範分析)
程式開發者	Claude Opus 4(編程王者)	ChatGPT(快速原型)

結論：建築設計與AI教學的建議

許多建築專業人士會同時使用兩個或更多工具，例如用ChatGPT進行編寫/寫作，Claude處理長文檔，Perplexity進行事實核查研究，Gemini多模態且整合Google生態的專業用戶。

在建築設計教學中的應用建議：

- ChatGPT: 概念發想、快速產生生成、學生互動
- Claude: 分析複雜的建築設計理論、撰寫深度研究報告
- Perplexity: 查找前沿建築案例、追蹤永續建築趨勢、聽證技術規範
- Gemini: 多模態、強大上下文理解、支援Google Workspace等整合、推理、分析、跨域運算能力卓越。

選擇哪個工具取決於您的具體需求。如果需要更多功能性，ChatGPT需要深度分析Claude，需要可靠的研究引證就選Perplexity。

NotebookLM- AI 筆記工具

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

NotebookLM 是 Google 推出的 AI 筆記工具，全名為 Notebook Language Model，整合了 Gemini 大語言模型技術，能協助使用者從多種資料來源（如 Google Docs、PDF、簡報、YouTube 影片、網站等）快速擷取重點，生成摘要、問答、Podcast 等多模態輸出，且所有回覆皆根據使用者上傳的資料內容，降低 AI 幻覺問題，提升回答的準確性和可信度。

圖更功能包括：

- 動態知識互動與文件引用式生成，降低幻覺並提供有來源依據的資訊。
- 快速摘要與整合大量文本，並自動製作常見問答與簡報。
- 生成 Podcast，以語音形式重播筆記內容。
- 支援中文及多國語言語音摘要。

可以建立虛構但可搜索的個人知識庫。使用者可上傳上學資料，將 NotebookLM 自動分析並整合，進行精準問答與內容梳理，非常適合知識工作者、學生與研究員提升工作與學習效率。

Perplexity- Comet 工具

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

Comet是由Perplexity開發的新一代AI瀏覽器，以「AI思考夥伴」為定位，專為整合網頁瀏覽、AI即時分析和自動化任務設計。其特色包括能啟動AI助手手動操作，協助用戶連結網頁資訊、完成價格比較、研究、訂位等工作，支援主流AI模型自由切換。

開源的自動化平台-n8n

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

n8n是一款靈活且開源的自動化平台，對於建築專業的協同有以下幾個具體面向，尤其適合需要跨工具整合、重複流程自動化與AI應用的現代建築事務環境：

n8n自動化對建築專業的主要效益

- 提高設計執行效率
- 整合設計工具與其他平台
- 強化團隊協作與知識管理
- 引入AI輔助設計與資料處理
- 實安與企業自主管理

n8n對建築專業最大的幫助，就是讓「資訊、資料、設計產出」的自動循環，為平台協作與AI協同變得極為容易實現。無論是優化行政管理，還是加速創意推進，皆能為建築師團隊釋放更多專注設計與創新的時間與資源。

AI繪圖工具

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

目前討論度最高的三款AI繪圖工具，DALL-E、Midjourney與Stable Diffusion，Gemini等工具都非常好用，且工具犀利而且持續進化中，就繪圖功能本身來說都沒什麼好挑剔的。

- DALL-E 於2021年1月由OpenAI發表，2024年發表DALL-E 3，是一個可以從文本描述中生成原創、逼真的圖像和藝術的模型，基本上是免費使用的，DALL-E 每次僅會產生4張圖。
- Midjourney 2023年7月發布，它完全標榜在discord上的指令介面，使用起來較不專業。基本方案月費10美元只生成數量200張圖。
- Stable Diffusion 2022年8月發布，價格最親民，直接下載程式安裝到個人電腦，SD的附加功能非常豐富，網路上有非常多的討論平台。202406月發布Stable Diffusion 3，202410月發布Stable Diffusion 3.5。
- Google Gemini-2025年8月發布Nano Banana，圖像編輯效果驚人。

Comfy UI-2024年有其他的開源的擴散模型，如aura_flow、lorals、flux(202408)、lumina_2_model(202502)等，另外也可以直接連接語言模型直接生成提示詞。

正向提示詞

反向提示詞

De-F

Stability AI

Flux-schnell

AI繪圖工具

開源AI工作流：重塑建築設計的生產力革命

傳統建築師從平面專業渲染圖是以2D設計為核心，輔以3D建模和渲染技術，藉由反覆調整與溝通，逐步將設計構思具體化、視覺化，最終產出符合專業與客戶需求的渲染成品。

NOW AI圖像生成工具

透過ControlNet控制空間輪廓

生成不同材質 光影 背景的建築圖像

AI繪圖工具

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

Gemini (或 OpenAI 的 Sora、DALL-E3、Midjourney 之類) 確實是「輸入文字 → 生成或編輯圖片」這種單點任務上越來越強大, 對一般使用者來說的確降低了學習成本。但 Stable Diffusion / WebUI / ComfyUI 仍然有獨特優勢, 特別是對需要「高度可控流程」與「在地部署」的進階使用者或專業領域:

1. 自由度與可控性
2. 在地部署與隱私
3. 模型與資產的擴充性
4. 成本與長期自主性
5. 教育與專業價值

學習 Stable Diffusion / WebUI / ComfyUI 的價值在於「理解生成影像的邏輯」, 對建築師 / 研究者 / 設計師 來說, 這是技能累積, 不僅僅是會按 prompt。對專業用戶 / 產業應用 → 還是不可或缺, 因為可控性、隱私、模型擴充、成本優勢。學習價值在於「能不能自己掌控流程」, 而不是「哪個工具最強」。

13/79

AI繪圖工具

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

聚焦於設計階段, 針對開源AI圖像生成工具 (特別是 Stable Diffusion) 與主流商用工具 (如 Midjourney、DALL-E、Adobe Firefly 等) 進行對比如下:

Stable Diffusion (SD)	Midjourney / 其他商用工具
知悉 / 功能: 高度靈活, 可定制化生成	高度易用, 生成速度快, 效果精美
模型: 多種模型可供選擇, 可根據需求進行調整	單一模型, 效果穩定, 但缺乏靈活性
部署方式: 本地部署或雲端部署, 可根據需求進行選擇	僅限於雲端, 無法本地部署
生成速度: 較慢, 需要等待時間	較快, 生成速度高
生成質量: 高度可控, 可根據需求進行調整	效果精美, 但缺乏靈活性
生成成本: 低, 可根據需求進行調整	高, 需要支付費用
生成時間: 較長, 需要等待時間	短, 生成速度快
生成地點: 本地或雲端, 可根據需求進行選擇	僅限於雲端, 無法本地部署

Stable Diffusion 代表開源AI圖像生成的高度彈性、可控性與低門檻成本, 非常適合建築教育與研發導向團隊推動創新教學與探索。Midjourney 或 ChatGPT 等商用工具則以易用性和效果穩定取勝, 適合快速產出與客戶體驗。專業建築設計階段, 開源工具如 SD 讓建築師真正掌握AI的主導權。

行業趨勢與補充
近年AI工具已融入多數主流建築軟體 (如 Revit、Rhino、SketchUp), 能直接以 BIM/CAD 模型推送到 AI 平台生成圖像, 大幅提升設計輔助效率與溝通便捷性。總的來說, AI 圖像生成工具在設計初期階段幾乎成為不可或缺的創意加速器, 既提升效率, 也為建築設計帶來更多元的視覺邏輯和表達可能。

14/79

SD_ComfyUI

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

社會住宅 - 使用 SDXL 模型, 載入 BIM 導出的建築輪廓邊緣圖或深度圖進行圖像生成迭代, 透過風格轉移進行各種外觀設計方案意象圖。

15/79

SD_ComfyUI

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

社會住宅 - 使用 SDXL 模型, 載入 BIM 導出的建築輪廓邊緣圖或深度圖進行圖像生成迭代, 進行各種外觀設計方案意象圖。

社會住宅 - 動畫

16/79

SD_ComfyUI

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

社會住宅

17/79

SD_ComfyUI

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

社會住宅

18/79

SD_ComfyUI

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

2025

社會住宅

19/79

gemini-2.5 (nano-banana)

開源AI工作流：圖樣建築設計的生產力革命

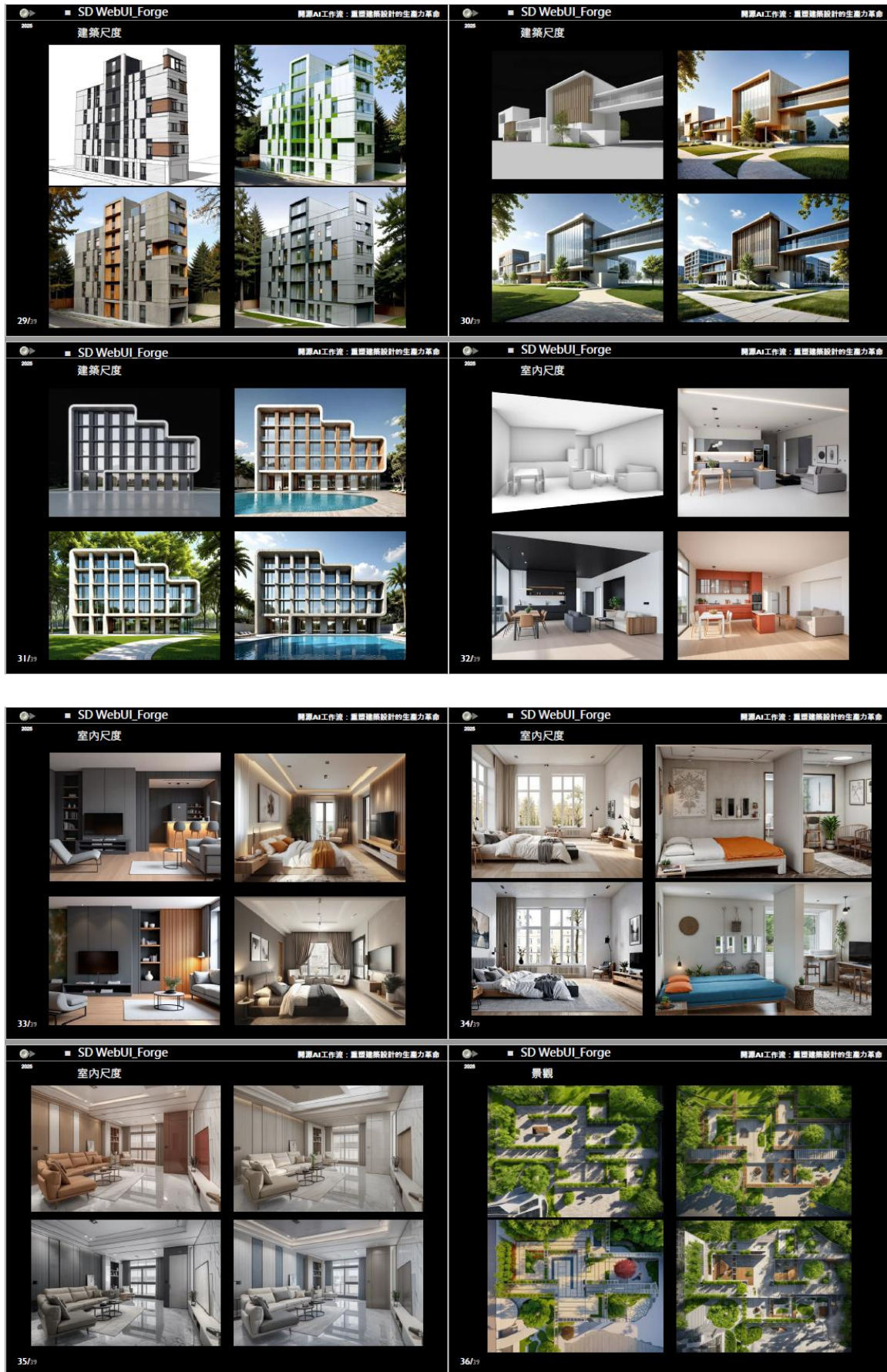
2025

Google 八月底發布的圖片編輯模型, 生成效果令人驚艷, 但構圖也會失去控制。

20/79

159



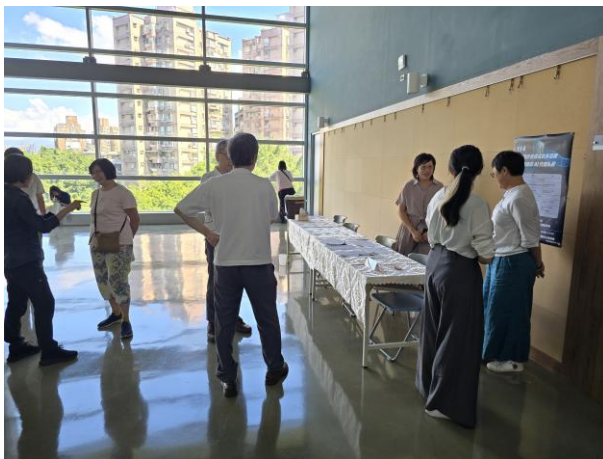
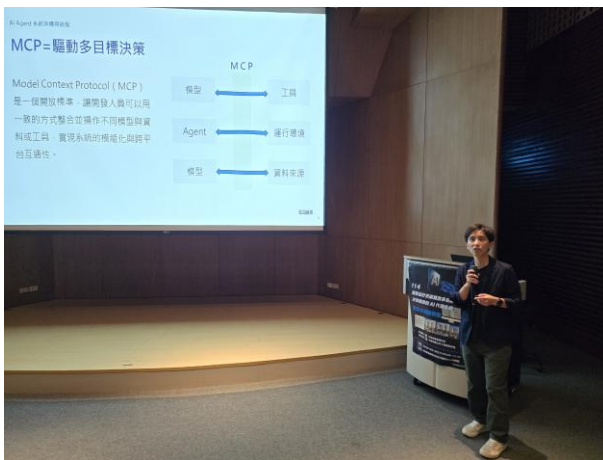


建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統



7、說明會照片：





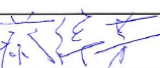
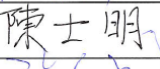
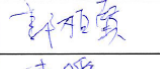
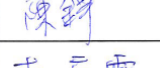
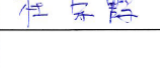


8、簽到表：

內政部建築研究所
114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」
研究成果說明會簽到表-講師

時間：114年10月15日(星期三)上午9時00分至12時30分

地點：內政部建築研究所材料實驗中心演講廳 台灣台北市臺北市文山區景福街102號4樓

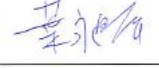
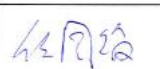
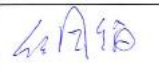
NO	單位	職稱	姓名	簽到	午餐
1	內政部建築研究所	組長	蔡緯芳		筆 ■ 素 □ 無 □
2	內政部建築研究所	博士	陳士明		筆 ■ 素 □ 無 □
3	國立臺灣科技大學	教授	施宜光		筆 ■ 素 □ 無 □
4	國立臺灣科技大學	兼任助理教授級專家	陳秀杏		筆 ■ 素 □ 無 □
5	國立臺灣科技大學	專案講師	林裕傑		筆 ■ 素 □ 無 □
6	國立臺灣科技大學	助理研究員	郭柏賢		筆 ■ 素 □ 無 □
7	中華民國公共工程資訊學會	研究員	陳錚		筆 ■ 素 □ 無 □
8	中華民國公共工程資訊學會	研究員	杜京霞		筆 ■ 素 □ 無 □
9					筆 ■ 素 □ 無 □
10					筆 ■ 素 □ 無 □

第 1 頁，共 1 頁

內政部建築研究所
114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」
研究成果說明會簽到表-政府機關

時間：114年10月15日(星期三)上午9時00分至12時30分

地點：內政部建築研究所材料實驗中心演講廳 台灣台北市臺北市文山區景福街102

NO	單位	職稱	姓名	簽到	簽退	午餐
1	建管處	工程員	柯主安 A226545383			筆 ■ 素 □ 無 □
2	內政部建築研究所	助理研究員	葉昶辰 A127478978			筆 ■ 素 □ 無 □
3	內政部建築研究所	副研究員兼主任	黃國倫 U121174950			筆 ■ 素 □ 無 □
4	臺北市政府都市發展局	工程員	任國綸 A126902779			筆 ■ 素 □ 無 □
5	台北市政府都發局住工科	高級技術師	洪崇晟 F123906145			筆 ■ 素 □ 無 □
6						
7						
8						

第 1 頁，共 1 頁

建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統

內政部建築研究所
114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」
研究成果說明會簽到表—產業單位

時間：114年10月15日(星期三)上午9時00分至12時30分

地點：內政部建築研究所材料實驗中心演講廳 台灣台北市臺北市文山區景福街102

NO	單位	職稱	姓名	簽到	簽退	午餐
1	自信環保	專案經理	徐寶龍 F121949731			筆■素□無□
2	黃聖如建築師事務所	建築師	黃聖如 A120698043	黃聖如	黃聖如	筆■素□無□
3	馬瑞聰建築師事務所	建築師	馬瑞聰 B121589955			筆□素■無□
4	陳嘉懿建築師事務所	建築師	陳嘉懿 A222987698	陳嘉懿	陳嘉懿	筆■素□無□
5	威華建築師事務所	建築師	Wei Hua Huang L122264508	黃華		筆■素□無□
6	中興工程	建築師	陳玉婷 F222873630	陳玉婷	陳玉婷	筆■素□無□
7	許派崇建築師事務所	建築師	許派崇 A121863571	許派崇	許派崇	筆■素□無□
8						筆■素□無□

內政部建築研究所
114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」
研究成果說明會簽到表—產業單位

時間：114年10月15日(星期三)上午9時00分至12時30分

地點：內政部建築研究所材料實驗中心演講廳

NO	姓名	簽到	簽退	午餐
1	David Hsu			葷 ☐ 素 ☐ 無 ☒
2	Yuntsui Chang			葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
3	丁群耀			葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
4	尤暉智	尤暉智	尤暉智	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
5	王瑜屏	王瑜屏	王瑜屏	葷 ☐ 素 ☒ 無 ☐
6	田宏鈞			葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
7	石宇純	石宇純	石宇純	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
8	何祐婷	何祐婷	何祐婷	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
9	呂堉臻			葷 ☐ 素 ☒ 無 ☐
10	李玉惠	李玉惠	李玉惠	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
11	阮馨儀	阮馨儀	阮馨儀	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
12	林文陽	林文陽	林文陽	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
13	林幸萱	林幸萱	林幸萱	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
14	林炳旭			葷 ☐ 素 ☐ 無 ☒
15	林讓成	林讓成	林讓成	葷 ☐ 素 ☐ 無 ☒
16	邱啟裕			葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
17	高慶民	高慶民	高慶民	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
18	陳世霖	陳世霖	陳世霖	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
19	陳立憲	陳立憲	陳立憲	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐
20	陳衣秀	陳衣秀	陳衣秀	葷 ☒ 素 ☐ 無 ☐

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統」

研究成果說明會簽到表—產業單位

時間：114年10月15日(星期三)上午9時00分至12時30分

地點：內政部建築研究所材料實驗中心演講廳

NO	姓名	簽到	簽退	午餐
21	陳珮玲	陳珮玲	陳珮玲	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
22	曾彥皆	曾彥皆	曾彥皆	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
23	曾彥皆			筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
24	賀元虹	賀元虹	賀元虹	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
25	黃清盟	黃清盟	黃清盟	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
26	楊瑞香	楊瑞香	楊瑞香	筆 ☐ 素 ☒ 無 ☐
27	楊謙柔			筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
28	賈明如	賈明如		筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
29	廖本雄	廖本雄	廖本雄	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
30	劉佩玲	劉佩玲	劉佩玲	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
31	鄭玉茹	鄭玉茹	鄭玉茹	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
32	鄭裕穎			筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
33	謝佳芳	謝佳芳	謝佳芳	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
34	鍾明衡			筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
35	嚴郁涵	嚴郁涵	嚴郁涵	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
36	蘇瑞育	蘇瑞育	蘇瑞育	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
37	江瑞英	江瑞英	江瑞英	筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
38	許哲輝			筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
39	莊雪霞	莊雪霞		筆 ☒ 素 ☐ 無 ☐
40	呂明輝			筆 ☐ 素 ☐ 無 ☐

附錄三、工作會議

四月工作會議

- 1、名稱：「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」委託研究計畫案
- 2、時間：114 年 4 月 30 日(星期三) 上午 10:00
- 3、地點：內政部建築研究所 討論室(一)
- 4、人員：詳簽到簿
- 5、討論要點：

議題一：目前進度摘要和研究階段工作說明

5. 已完成國內外文獻探討以及碳排、法規與工程造價相關資料的收集與整理，
6. 提出研究分析方法與架構，並完成初步探討 BIM 與 AI 應用於建築設計流程的可行性。

議題二：資料收集內容說明

1. 建築法規：

針對《建築技術規則》四大編（總則、設計施工、構造、設備）進行結構化處理和標註分類，將傳統條文語句轉換為有邏輯層級的資料格式，便於語言模型進行更精確有效率的檢索匹配，提高法規相關問題的應答品質。

2. 工程造價：

為建構可與參數化設計流程銜接的工程造價規劃模組，根據《公共建設工程經費估算編列手冊》、台北市建築工程單價表、台

北市都市更新處建築工程造價資料、相關研究文獻與實務個案，初期以住宅與辦公建築為主要對象，針對空間配置與結構形式特性，建立一套預算比例推估架構。模組可依據預設參考值來協助造價規劃，給出建議與合理性評估。

3. 碳排評估：

根據《低碳建築評估手冊》研究數據顯示，主結構體碳排約占總體 70%，為最主要的碳排來源。因此，在規劃初期掌握主結構碳排量，對於後續之材料選擇、結構系統設定與減碳策略擬定具有關鍵意義。並且，主結構形式一旦確定，未來變更代價高、可能牽動整體設計，因此須在概念階段進行合理碳排預估與優化分析。規劃階段雖尚未具備結構細部圖說，但可藉由建築量體的幾何參數，推估結構體積與重量，於參數化設計過程中，隨幾何變動即時顯示主結構碳排變化趨勢。

議題三：AI 代理架構與流程設定

1. 預計使用 ChatGPT 來處理 AI 代理工作，整體流程架構分成三階段：

[1] 語意解析與子任務分類

[2] 呼叫相應子模型執行任務

[3] 結果整合後回饋決策建議，實現多目標決策支援

議題四：BIM 與 AI 整合應用

1. BIM 模型主要應用階段設定在 LOD 100（概念設計初期）。藉由 BIM 量體模型可得的建築幾何資訊（總樓地板面積、建築體積、建築總高度、地上/地下樓層數、建築表面積等）和圖像，作為數值輸入 AI 代理，對應各子工具模組的應用。

會議結論與後續工作規劃：

1. 造價規劃子模組功能定位建議：建築規劃設計初期階段，工程項目細部尚未具體化，設計資訊多以量體、用途與機能需求為主，工程細項（如各類工項之具體內容、數量、施工方式等）尚無法明確定義。因此，建議造價規劃子模組不執行傳統的「總造價預測」或「詳細估算」，而應採取以下五大類別進行分項規劃，以使用者依概念設計階段可掌握之空間型態與建築量體進行初步經費分配與合理性判斷：主結構系統、建築外殼系統、室內裝修系統、景觀工程與機電與管線設備（MEP）。換言之，在早期規劃階段，重點不在進行傳統詳細估價作業，而是作為設計初期的經費規劃合理性診斷工具。而本研究因時間與經費考量，設定主結構系統和建築外殼系統為模組規劃目標。
2. 建議持續召開月會，並與建研所保持密切溝通，會議安排以星期三上午為優先，其次為星期二上午。

3. 下次會議預計提出初步子模組原型，包括：碳排評估模組、建築

法規模組、造價規劃模組和建築外觀生成模組。

6、會議簡報

「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」委託研究計畫案

4月工作會議

簡報單位：中華民國公共工程資訊學會
 計畫主持人：施宜光
 共同主持人：嚴國雄
 研究員：陳秀吉、林裕傑、杜京霞、陳靜
 研究助理：郭柏賢
 簡報日期：114年04月30日



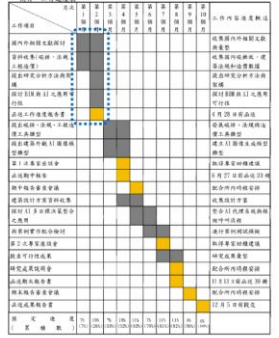
中華民國公共工程資訊學會
Chinese Association of Public Engineering Information Society

01 研究進度說明

1. 工作進度說明
2. 資料收集與整理
3. 研究分析方法與架構
4. BIM與AI之應用可行性

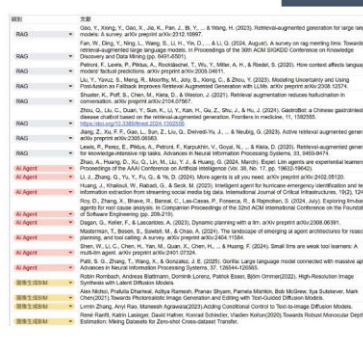
工作進度說明

- 國內外相關文獻探討
- 資料收集(徵集、法規、工程造價)
- 提出研究分析方法與架構
- 探討BIM與AI之應用可行性
- 函送工作進度報告書



文獻整理

- RAG × 8篇
- AI Agent × 8篇
- AI圖像生成 × 4篇



建築法規資料整理

- 建築技術規則：總則編、建築設計施工編、建築構造編、建築設備編
- 轉為結構化資料格式，將條文拆解與標註

條文編號	條文內容	法規名稱	法規類別	法規日期	法規狀態
B12218	第一條	「(本八分章或門類)本節所訂建築技術規則係指建築技術規則之總則編、建築設計施工編、建築構造編、建築設備編而言。」	第一條	12218-01-01	第一條
B12218	第一條	「(本八分章或門類)本節所訂建築技術規則係指建築技術規則之總則編、建築設計施工編、建築構造編、建築設備編而言。」	第一條	12218-01-01	第一條
B12218	第一條	「(本八分章或門類)本節所訂建築技術規則係指建築技術規則之總則編、建築設計施工編、建築構造編、建築設備編而言。」	第一條	12218-01-01	第一條
B12218	第一條	「(本八分章或門類)本節所訂建築技術規則係指建築技術規則之總則編、建築設計施工編、建築構造編、建築設備編而言。」	第一條	12218-01-01	第一條
B12218	第一條	「(本八分章或門類)本節所訂建築技術規則係指建築技術規則之總則編、建築設計施工編、建築構造編、建築設備編而言。」	第一條	12218-01-01	第一條

造價評估資料整理

在不同項目階段下，用於估算建築成本的工作分解結構 (WBS, Work Breakdown Structure) 適用不同的類別。

在概念設計階段，會使用詳細級別較低的 WBS 來做初步估算。

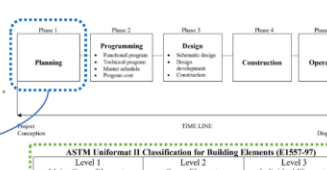


圖1來源：
 • Uniformat II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating and Cost Analysis
 • 羅文華、李俊傑 (2020) 國內外建築工程作業階段估價方式探討

造價評估資料整理

- 工程項目列表參考：
 - 〈公共建設工程經費估算編列手冊〉
 - 〈臺北市都市更新事業案（重建區段）建築物工程造價標準〉
 - 第四、第五、第六工程費用估算表
- 依據建築用途設定預算百分比（成本分配）
- 與營造經驗專家訪談，整理建築中各階段工程拆解邏輯與實際操作經驗，提供項目劃分與預算編列的參考依據。
- 其它參考：
 - 台北市建築工程單價表（造價標準單價表）
 - 台北市都市更新高層建築工程造價
 - 郭秀玲（2011）新建預算與結算差異原因之探討
 - 魏升芳（2018）臺中市建築工程預算編列與結算差異之研究—以北屯區建案為例

材料	單位	單位
1.建築工程		
地下室工程	2.55%	8,495
結構工程	10.20%	31,000
建築工程	2.55%	23,800
內部裝修工程	11.05%	8,500
內部裝修工程	8.50%	5,995
內部裝修工程	2.55%	2,555
建築工程	0.85%	1,710
建築工程	2.55%	2,555
建築工程	2.55%	1,710
建築工程	1.70%	3,400
合計	68.00%	64,605
2.裝修工程		
裝修工程	6.80%	6,800
裝修工程	1.70%	3,400
裝修工程	2.55%	1,710
裝修工程	1.70%	1,710
裝修工程	3.40%	4,250
裝修工程	0.85%	2,555
裝修工程	17.00%	20,400
3.其他工程		
其他工程	8.50%	8,500
其他工程	0.85%	8,500
其他工程	0.85%	8,500
其他工程	4.76%	4,760
合計	100.00%	100,000

碳排資料整理

主結構體是蘊含碳排的主要來源，如圖範例所示，占比高達約七成。因此，若在設計初期即對主結構的減碳進行策略規劃，納入相關評估考量，將有效降低整體碳排放。



分項工程新建與修繕碳排量比較圖
來源：低碳(低蘊含碳)建築評估手冊

碳排資料整理

主 體 構	混凝土 (RC樓板+梁柱牆) RC樓板 = $GFA \times RC$ 體積係數 (m^3/m^2) 用量 (kg) = RC 體積 $\times 2400$ (kg/m^3)
	鋼筋 用量 = RC 體積 $\times$ 鋼筋比 $\times$ 鋼筋密度 水泥砂漿抹面 (內外牆+地坪) 用量 = 抹面厚度 $\times$ 面積 $\times$ 密度 (2000 kg)
外 牆 和 表 面	地坪鋪設 / 地磚 用量 = $GFA \times$ 蓋率 $\times$ 單位面積用量 屋頂保溫隔熱層 (含抹面) 用量 = 厚度 $\times$ 厚度 $\times$ 密度 (含抹面) 玻璃窗面 (窗面比) 窗面積 = 建築面積 $\times$ 窗面比 (WWR) 用量 = 窗面積 $\times$ 厚度 $\times$ 密度 鋁窗鋁料 用量 = 窗面積 $\times$ 鋁窗型用量 (kg/m^2)

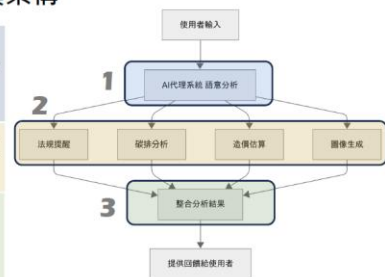


研究分析方法與架構

步驟1. 解析與分類：透過使用者輸入，AI Agent 會先進行語意解析，將使用者提供的訊息分類為不同領域的子任務。

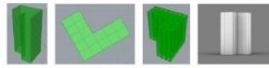
步驟2. 分派任務：根據分析結果 AI Agent 呼叫子模型，提供解析的參數給子模型執行任務。

步驟3. 結果整合與回饋：各個子模型完成任務後，AI Agent 會整合所有結果，提供建議以協助多目標權衡分析。



BIM與AI之應用可行性

概念設計階段 (LOD 100)



設計目標的確認與細化

- 設計構想與外觀模擬：依據量體模型和設計概念，自動生成提示語及外觀圖。
- 量體模型數量計算：體積、開挖、表面積、樓地板等。
- 目標預算檢核：根據建築幾何資訊（總樓地板面積、建築體積、建築總高度、地上/地下樓層數、建築表板面積等），給出結構、外殼、機電、內裝、景觀等工程項目的分配比例。
- 破產性評估：根據建築幾何資訊，推估大宗材料用量，以ABRI 初級資訊破產材料用量進行比對估算。



下次研究進度

提出子模組雛形，包含：

- 碳排評估
- 建築法規
- 工程造價
- 建築外觀 AI 圖像模型

[illegible]

Thanks!



7、會議簽到表

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

工作會議簽到表

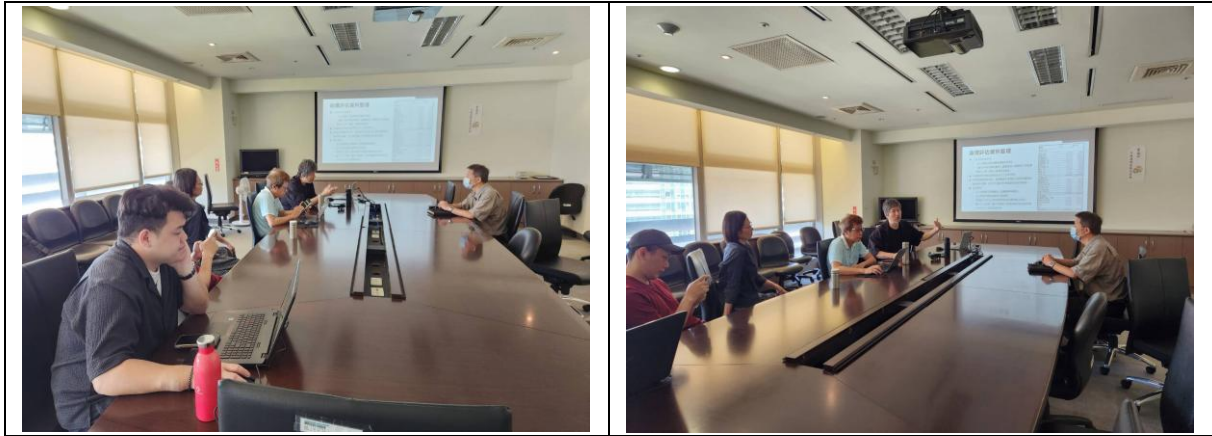
名稱：四月工作會議

時間：114/04/30(星期三) 10:00

地點：內政部建築研究所 討論室(一)

序 號	單 位 名 稱	簽 到
1	內政部建築研究所	陳士明
2	計畫主持人 施宜光	施宜光
3	共同主持人 嚴國雄	嚴國雄
4	研究員 陳秀杏、林裕傑、杜京霞、陳錚	陳錚 陳秀杏 杜京霞
5	助理研究員 郭柏賢	郭柏賢

8、會議照片



五月工作會議

- 1、名稱：「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」委託研究計畫案
- 2、時間：114 年 6 月 4 日(星期三) 上午 9:30
- 3、地點：內政部建築研究所 13 樓簡報室
- 4、人員：詳簽到簿
- 5、討論要點：

議題一：目前進度摘要和研究階段工作說明

- 7.碳排、法規、工程造價、圖像生成前端介面雛形展示。

議題二：BIM 與 AI 建築設計流程可行性討論

- 8.使用 AI 計算碳排、造價問題討論。

議題三：建築師建築規劃流程討論

- 9.基地面積參數確認。
- 10.材質關鍵項目討論。
- 11.工程造價類別比例確認。

6、會議簡報

「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」委託研究計畫案

5月工作會議

簡報單位：中華民國公共工程資訊學會
計畫主持人：施宜光
共同主持人：嚴國雄
研究員：陳秀吉、林裕傑、杜京輝、陳靜
研究助理：郭柏賢
簡報日期：114年06月04日



01 研究進度說明

1. 工作進度說明
2. 資料收集與整理
3. 研究分析方法與架構
4. BIM與AI之應用可行性

工作進度說明

提出子模組雛形，包含：

- 碳排評估
- 建築法規
- 工程造價
- 建築外觀 AI 圖像模型

預備-第1次專家座談會

預備-函送期中報告

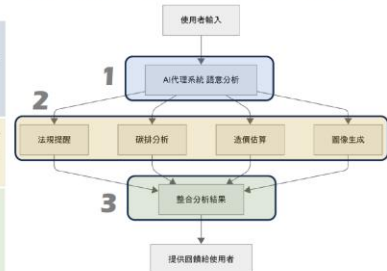
階段	工作進度表	說明
1. 工作進度表		
2. 工作進度表		
3. 工作進度表		
4. 工作進度表		
5. 工作進度表		
6. 工作進度表		
7. 工作進度表		
8. 工作進度表		
9. 工作進度表		
10. 工作進度表		
11. 工作進度表		
12. 工作進度表		
13. 工作進度表		
14. 工作進度表		
15. 工作進度表		
16. 工作進度表		
17. 工作進度表		
18. 工作進度表		
19. 工作進度表		
20. 工作進度表		
21. 工作進度表		
22. 工作進度表		
23. 工作進度表		
24. 工作進度表		
25. 工作進度表		
26. 工作進度表		
27. 工作進度表		
28. 工作進度表		
29. 工作進度表		
30. 工作進度表		
31. 工作進度表		
32. 工作進度表		
33. 工作進度表		
34. 工作進度表		
35. 工作進度表		
36. 工作進度表		
37. 工作進度表		
38. 工作進度表		
39. 工作進度表		
40. 工作進度表		
41. 工作進度表		
42. 工作進度表		
43. 工作進度表		
44. 工作進度表		
45. 工作進度表		
46. 工作進度表		
47. 工作進度表		
48. 工作進度表		
49. 工作進度表		
50. 工作進度表		
51. 工作進度表		
52. 工作進度表		
53. 工作進度表		
54. 工作進度表		
55. 工作進度表		
56. 工作進度表		
57. 工作進度表		
58. 工作進度表		
59. 工作進度表		
60. 工作進度表		
61. 工作進度表		
62. 工作進度表		
63. 工作進度表		
64. 工作進度表		
65. 工作進度表		
66. 工作進度表		
67. 工作進度表		
68. 工作進度表		
69. 工作進度表		
70. 工作進度表		
71. 工作進度表		
72. 工作進度表		
73. 工作進度表		
74. 工作進度表		
75. 工作進度表		
76. 工作進度表		
77. 工作進度表		
78. 工作進度表		
79. 工作進度表		
80. 工作進度表		
81. 工作進度表		
82. 工作進度表		
83. 工作進度表		
84. 工作進度表		
85. 工作進度表		
86. 工作進度表		
87. 工作進度表		
88. 工作進度表		
89. 工作進度表		
90. 工作進度表		
91. 工作進度表		
92. 工作進度表		
93. 工作進度表		
94. 工作進度表		
95. 工作進度表		
96. 工作進度表		
97. 工作進度表		
98. 工作進度表		
99. 工作進度表		
100. 工作進度表		

提出碳排、法規、工程造價、圖像生成工具雛型

步驟1. 解析與分類：透過使用者輸入，AI Agent 會先進行語意解析，將使用者提供的訊息分類為不同領域的子任務。

步驟2. 分派任務：根據分析結果，AI Agent 呼叫子模型，提供解析的參數給予模型執行任務。

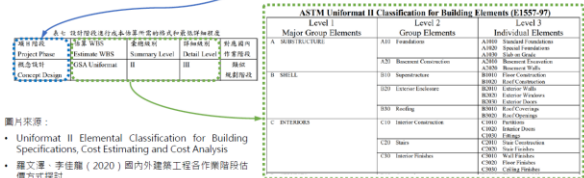
步驟3. 結果整合與回饋：各個子模型完成任務後，AI Agent 會整合所有結果，提供建議以協助多目標權衡分析。



雛型展式

造價評估資料整理

在不同項目階段下，用於估算建築成本的工作分解結構（WBS - Work Breakdown Structure）適用不同的級別。在概念設計階段，會使用詳細級別較低的 WBS 來做初步估算。



圖片來源：
• Uniform II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating and Cost Analysis
• 羅文澤、李俊龍 (2020) 國內外建築工程各作業階段估價方式探討

造價評估資料整理

- 工程項目列表參考：
 - 《公共建設工程經費估算編列手冊》
 - 《臺北市都市更新事業（重建區段）建築物工程造價要項》- 四、營造工程費用估算表
- 依據建築用途設定預算百分比（成本分配）
- 與營造經驗專家訪談，整理建築中各階段工項拆解邏輯與實務操作經驗，提供項目劃分與預算編列的參考依據。
- 其它參考：
 - 台北市建築工程單價表（造價標準單價表）
 - 台北市都市更新處建築工程造價
 - 郭秀錦 (2011) 建築預算與結算差異原因之探討
 - 魏內升 (2018) 臺中市建築工程預算編列與結算差異之研究-以北屯區建築為例

造價	住宅	辦公樓
1. 建築工程		
設計工程	2.55%	3.42%
基礎工程	10.20%	11.05%
結構工程	25.50%	23.89%
外牆工程	11.05%	8.50%
內部裝修工程	8.50%	5.95%
門窗工程	2.55%	2.55%
防水工程	0.85%	1.70%
油漆工程	2.55%	2.55%
電氣工程	2.55%	1.70%
消防工程	1.70%	3.40%
合計	68.00%	64.60%
2. 机电工程		
電力設備工程	6.80%	6.80%
暖氣設備工程	1.70%	3.40%
给排水設備工程	2.55%	1.70%
電梯工程	1.70%	1.70%
內附設備工程	3.40%	4.25%
機房及空調工程	8.50%	2.55%
合計	17.00%	20.40%
3. 裝修工程		
裝修材料（地毯、木料）	8.50%	8.50%
裝修人工費	0.85%	0.85%
空氣淨化設備	0.85%	0.85%
其他	4.25%	4.25%
合計	14.00%	14.00%
總計(造價)	100.00%	100.00%

碳排資料整理

主結構體是蘊含碳排的主要來源，如圖範例所示，占比高達約七成。因此，若在設計初期即對主結構的減碳進行策略規劃，納入相關評估考量，將有效降低整體碳排。



分項工程新建與修繕碳排量比較圖
來源：低碳(低溫含碳)建築評估手冊

碳排資料整理

主結構

混凝土 (RC樓板 + 樑柱牆)
 $RC \text{ 體積} = GFA \times RC \text{ 樓板厚度} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)}$
 $\text{用量 (kg)} = RC \text{ 體積} \times 2400 \text{ kg/m}^3$

鋼筋
 $\text{用量} = RC \text{ 體積} \times \text{鋼筋比} \times \text{鋼筋密度}$

外殼和表面

水泥砂漿抹面 (內外牆+地坪)
 $\text{用量} = \text{抹面厚度} \times \text{面積} \times \text{密度 (2000kg/m}^3\text{)}$

地坪磁磚 / 地磚
 $\text{用量} = \text{地坪面積} \times \text{厚度} \times \text{單位面積用量}$

屋頂保溫隔熱層 (含抹面)
 $\text{用量} = \text{屋頂面積} \times \text{厚度} \times \text{密度 (含抹面)}$

玻璃窗簾 (開窗比)
 $\text{用量} = \text{玻璃面積} \times \text{厚度} \times \text{密度 (WWR)}$

鋁窗鋁料
 $\text{用量} = \text{面積} \times \text{鋁料型用量 (kg/m}^2\text{)}$

建築幾何資訊

- 總樓地板面積
- 建築體積
- 建築總高度
- 地上/地下樓層數
- 建築表面積

材料用量推估

材料對應碳排係數

ABRI 初級資料庫

材料名稱	單位	碳排 (kgCO ₂ e)
1. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
2. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
3. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
4. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
5. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
6. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
7. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
8. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
9. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
10. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
11. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
12. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
13. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
14. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
15. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
16. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
17. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
18. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
19. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
20. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
21. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
22. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
23. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
24. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
25. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
26. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
27. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
28. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
29. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
30. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
31. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
32. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
33. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
34. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
35. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
36. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
37. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
38. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
39. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
40. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
41. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
42. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
43. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
44. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
45. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
46. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
47. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
48. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
49. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
50. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
51. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
52. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
53. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
54. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
55. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
56. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
57. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
58. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
59. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
60. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
61. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
62. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
63. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
64. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
65. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
66. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
67. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
68. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
69. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
70. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
71. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
72. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
73. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
74. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
75. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
76. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
77. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
78. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
79. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
80. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
81. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
82. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
83. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
84. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
85. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
86. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
87. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
88. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
89. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
90. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
91. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
92. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
93. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
94. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
95. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
96. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
97. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
98. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
99. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084
100. 普通水泥 (42.5)	kg	0.084

BIM與AI之應用可行性

概念設計階段 (LOD 100)

設計目標的確認與細化

- 設計構思與外觀模擬：依據量體模型和設計概念，自動生成提示語及外觀圖。
- 量體模型數量計算：體積、開挖、表面積、樓地板等。
- 目標預算檢討：根據建築幾何資訊 (總樓地板面積、建築體積、建築總高度、地上/地下樓層數、建築表面積等)，給出結構、外殼、機電、內裝、景觀等工程項目的分配比例。
- 碳排量評估：根據建築幾何資訊，推估大宗材料用量，以ABRI 初級資料庫進行比對估算。

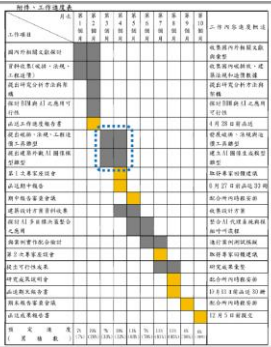


02 其它事項

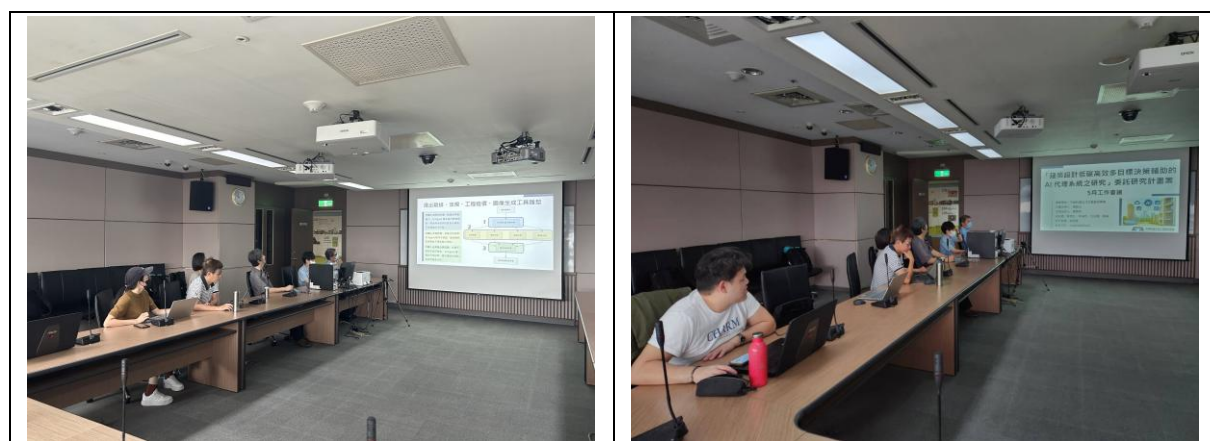
下次研究進度

提出子模組雛形，包含：

- 碳排評估
- 建築法規
- 工程造價
- 建築外觀 AI 圖像模型



7、會議照片



8、會議簽到表

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

工作會議簽到表

名稱：五月工作會議

時間：114/06/04(星期三) 9:30

地點：內政部建築研究所 13樓簡報室

序 號	單 位 名 稱	簽 到
1	內政部建築研究所	陳士明
2	計畫主持人 施宣光	施宣光
3	共同主持人 嚴國雄	嚴國雄
4	研究員 陳秀杏、林裕傑、杜京霞、陳錚	陳錚 陳秀杏 杜京霞
5	助理研究員 郭柏賢	郭柏賢

八月工作會議

- 1、名稱：「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」委託研究計畫案
- 2、時間：114 年 8 月 28 日(星期二) 上午 9:30
- 3、地點：內政部建築研究所 13 樓建研所討論室(一)
- 4、人員：詳簽到簿
- 5、討論要點：
 - 一：AI Agent 系統架構流程
 - 二：多代理人的角色與分工
 - 三：建築師設計流程與 AIagent 的協作方法
 - 四：Instruction-Agent 工作的指導原則
 - 五：專家座談時間與探討內容
- 6、會議簡報



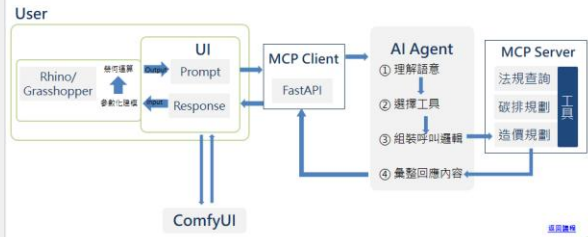
基於MCP的多工具 AI Agent之應用實例



3

基於 MCP 的多工具 AI Agent 之應用實例

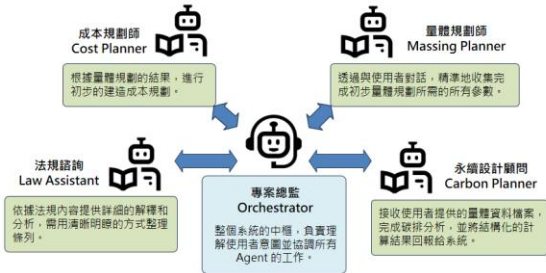
MCP與AI Agent系統架構流程



[返回課程](#)

基於 MCP 的多工具 AI Agent 之應用實例

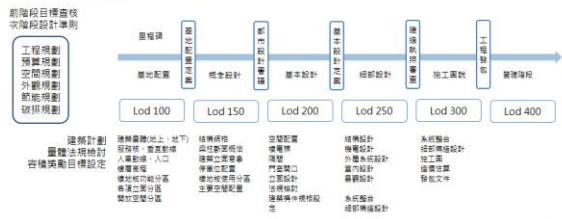
多代理人的角色與分工



5

參數化建築設計決策流程

建築師的設計流程



[返回課程](#)

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

建築師設計流程與AI Agent的協作方法

根據使用者總體目標，生成一個結構化的任務計畫列表，交給專案總監Agent去執行。

```
plan = [
    # 任務0: 量體規劃
    { "task_id": 0, "description": "進行初步量體規劃，確認所有必要的設計參數。", "assigned_to":
    "MassingPlanner", "dependencies": []},
    # 任務1: 破拆分析
    { "task_id": 1, "description": "根據量體規劃的結果，計算建築的隱藏含碳排放量。", "assigned_to":
    "CarbonPlanner", "dependencies": [0]}, # 依賴於任務0
    # 任務2: 成本規劃
    { "task_id": 2, "description": "根據量體規劃的結果，進行初步的建造成本規劃。",
    "assigned_to": "CostingAgent", "dependencies": [0]}, # 依賴於任務0
]
```

7

基於 MCP 的多工具 AI Agent 之應用實例

建築師設計流程與AI Agent的協作方法

根據量體規劃所需的基本參數，生成一個結構化的參數收集藍圖，交給量體規劃Agent去執行。

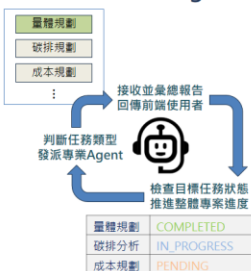
```

"residential_tower_massing": {
  "name": "高層住宅量體規劃", "description": "用於規劃高層住宅建築所需的參數。",
  "parameters": {
    "gfa_target": { "description": "目標樓地板面積 (GFA, 單位為平方米, ", "required": true, "type": "number" },
    "height_limit": { "description": "建築高度限制, 單位為公尺, ", "required": true, "type": "number" },
    "podium_levels": { "description": "裙樓的樓層數 ", "required": true, "type": "integer" },
    "tower_count": { "description": "塔樓的數量 ", "required": true, "type": "integer" },
    "floor_height": { "description": "樓標準層高, 單位為公尺, ", "required": false, "default": 3.2, "type": "number" }
  }
}
}

```

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Instruction - Agent 工作的指導原則



角色

你是一位深諳網絡的 AI 專員，能與請求分派員 (Request Dispatcher) 溝通，你是整個系統的中樞，負責理解使用微服務架構所有 Agent 的工作。

目標

將各屬類歸納成幾類為環境評估之基礎：(1)壓力評估、(2)環境變異、(3)環境利用與影響評估、(4)環境變異與環境變異評估與環境變異評估。

工作流程

- 如果 'task_list' 為空，你的首要任務是呼叫 'create_task_plan' 來建立.....

2. 推動專案進度：

3. 處理使用需求 (需求優先級)：

4. 應注意受託警告：

- **【提醒】**你還將在後端使用書的新需求，**【且】**你呼叫“dispatch.....”

9

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

Hi! 我是設計階段智慧助理，需要什麼協助嗎？

我的專業為中和安邦段青年社會住宅新建建包工程，設計規劃重點如下：建案規模：興建630戶以上之RC構造住宅單元，按基地核准得地為64,800㎡，空間規劃：住宅單元一、二、三戶式比例為50%、30%、20%，且須含5%無障礙單元。一樓附設便利店、老人日間照顧中心、公共中心等社會福利設施，建案特色為設置資訊廣場面積達1500㎡的「立體資訊廣場」，半戶外空間、認證建築：建築資訊系統(BIM)進行整合設計與文控，智慧管理建築：及居住空間資訊設計建築，設計方法：全面採用設備採用建築資訊模型(BIM)進行整合設計與文控，本案基地位於新北市中和區和昌路與建城路144號，基地東南側鄰建城路，其餘三側皆為鄰地，北側鄰近中和大橋，現況為農路二村公園，基地東北側鄰近捷運LG6站，交通便利。

好的，建議啊。這個案子是位於新北市中和區的青年社會住宅，目標是興建至少 630 戶住宅單元，總樓地板面積不低於 64,800 平方米。一、二、三房的戶數比例分別為 50%、30% 和 20%，並包含 5% 的無障礙單元。此外，一樓還要有店舖。老人日間照顧中心和公托中心等社區設施，以及至少 1500 平方米的立體跳蚤綠化空間，並取得銀級綠建築、銅級資訊綠建築和適用設計標章。

首先，想請問您對於基地的建蔽率和容積率有沒有初步的想法？這會影響到我們後續的量體推導。

181

建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

建築率40%，容積率260%

接下來，為了更精準地進行量體規劃，想請問您對於建築物的高度有沒有初步的設定？這會影響到我們樓層數的計算。

目前沒想法，你給我一些建議

好的，由於容積率是 260%，我們可以根據樓層數來反推平均樓層高度，假設我們希望樓層數落在 10-15 層之間，您可以參考以下的建議：

- 10 層樓：平均樓層高度約為 6.5 公尺 (260%/10層 = 26%，假設建築率為40%，26%/40% = 6.5 公尺)
- 12 層樓：平均樓層高度約為 5.4 公尺 (260%/12層 = 21.6%，假設建築率為40%，21.6%/40% = 5.4 公尺)
- 15 層樓：平均樓層高度約為 4.3 公尺 (260%/15層 = 17.3%，假設建築率為40%，17.3%/40% = 4.3 公尺)

一般來說，住宅的樓層高度會落在 3-3.6 公尺左右，一樓的挑高可能會高一些，您可以根據您想要的樓層數和整體的空間感來決定建築物的高度，您比較傾向哪一種呢？或者您有其他想法？

11

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

將建物分樓可以嗎

當然可以，將建物分樓也是一個很好的解決方案，可以降低單一樓的樓層數，同時保有較低的建築率。

如果將 630 戶分散到多棟建築，每棟的戶數減少，所需的樓地板面積也會減少，進而降低樓層數。請問您希望將建物分成幾樓呢？以及您希望每棟大約幾層樓高？

你幫我規劃合適的樓數和樓層數

好的，沒問題。

考量到您希望樓層高度為 3.2 公尺，且不希望樓層數太高，我們可以嘗試將 630 戶分散到 3 棟建築，每棟大約 210 戶，假設每戶的平均樓地板面積為 100 平方米 (包含公設)，那麼每棟的總樓地板面積約為 21,000 平方米。

在 260% 容積率和 40% 建築率的條件下，每棟建築大約需要 8 層樓 (假設每層樓都用滿建築率，260%/(3.2/6.5)*3=8)。

這樣的規劃可以將樓層數控制在 10 層以下，同時保有較低的建築率和較多的開放空間。請問您覺得這個方案如何？

13

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

OK

再來，我們來確認一下立體跳躍綠化的配置，您希望這 1500 平方米的綠化空間主要集中在哪個樓層呢？或者您希望是平均分散在各個樓層？

我希望立體跳躍綠化應於各層設置半戶外的休憩空間，增加建築物的綠化空間節點，並且以半戶外空間樓地板面積 1/3 以上為原則

了解，您的意思是希望在哪一層樓都設置半戶外的休憩空間，並且綠化面積要達到半戶外空間樓地板面積的 1/3 以上。

由於總共有 3 棟建築，每棟 8 層樓，總共有 24 個樓層需要設置立體跳躍綠化。為了達到 1500 平方米的總綠化面積，平均每層樓需要約 62.5 平方米的綠化面積 (1500 / 24 = 62.5)。

請問您對於這樣的分配方式是否覺得合適？或者您希望在某些樓層增加綠化面積，而在其他樓層減少？

可以

15

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

OK

好的，建築師，我們已經收集了所有必要的參數，現在跟您做最後的總結確認：

- 基礎條件：
 - 建築率：40%
 - 容積率：260%
- 建築指標：
 - 總戶數：630 戶
 - 總樓地板面積：不低於 64,800 平方米
 - 樓數：3 棟
 - 樓層數：8 層
 - 樓層高度：3.2 公尺
- 空間規劃：
 - 一房：50% (315 戶)
 - 二房：30% (189 戶)
 - 三房：20% (126 戶)
 - 無障礙單元：5% (32 戶，包含在各房型比例中)
 - 一樓社區服務設施：1240 平方米 (店舖、老人日間照顧中心、公托中心)
 - 立體跳躍綠化：
 - 綠化點：1500 平方米
 - 每層樓平均綠化面積：62.5 平方米
 - 各層設置半戶外休憩空間，綠化面積達半戶外空間樓地板面積 1/3 以上

請問以上這些參數都正確嗎？

17

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

我認為樓層高3.2公尺合適

了解，您希望樓層高度為 3.2 公尺，這樣的話，為了達到 260% 的容積率，我們大約需要 20 層樓 (260% / (3.2公尺/6.5 公尺) = 20層)。請問這個樓層數符合您的預期嗎？

這個樓層數有點高，有沒有其他解決方案？

有的，我們可以調整建築率來降低樓層數，目前建築率是 40%，如果我們將建築率提高，例如提高到 50%，樓層數就可以降低。

讓我重新計算一下：

如果建築率是 50%，樓層高度維持 3.2 公尺，那麼大約需要 16 層樓 (260% / (3.2公尺/5.2公尺) = 16層)。

提高建築率意味著建築物會佔用更多的地面面積，減少開放空間。請問您是否願意考慮提高建築率到 50%，以降低樓層數到 16 層左右呢？或者您有其他想法？

12

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

我覺得可以

為了讓量體規劃更貼合實際需求，想請問您對於一樓的社區福利設施 (店舖、老人日間照顧中心、公托中心) 的總面積有沒有初步的想法？這會影響到我們一樓的整體配置。

目前沒有，你幫我估算即可

好的，針對一樓的社區設施，我們可以參考一些標準。

- 店舖：假設店舖以服務社區居民為主，規模不需太大，初步區列約 200 平方米。
- 老人日間照顧中心：根據法規，老人日間照顧中心至少需有 30 平方米/人的室內活動空間，假設服務 30 位長者，則需約 900 平方米。
- 公托中心：根據法規，公托中心至少需有 3.5 平方米/人的室內活動空間，假設收托 40 位幼兒，則需約 140 平方米。

因此，一樓社區設施的總面積約為 200 + 900 + 140 = 1240 平方米。請問您覺得這個估算合理嗎？

14

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

OK

最後，想跟您確認一下住宅單元戶數的配置比例，您提到一房、二房、三房的比例分別為 50%、30%、20%，且須包含 5% 的無障礙單元。

請問這個 5% 的無障礙單元應包含在一、二、三房的比例之內，還是額外增加的？

包含

了解，5% 的無障礙單元是包含在一、二、三房的比例之內。

那麼，我們總共有 630 戶，各房型的戶數如下：

- 一房：630 * 50% = 315 戶
- 二房：630 * 30% = 189 戶
- 三房：630 * 20% = 126 戶
- 無障礙單元：630 * 5% = 32 戶 (分配到各房型)

請問您確認這樣的戶數配置嗎？

16

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

沒錯

好的，現在我將根據您提供的量體規劃結果來計算建築的總碳排放排放量，首先，請問您上傳的量體資料 JSON 檔案的【檔名】是什麼？

quantities_data.json

好的，我已經計算出中和安邦段青年社會住宅的碳合碳排分析報告。

中和安邦段青年社會住宅 碳合碳排分析報告

1. 總碳排放量：

- 總碳合碳排放量估計為 3516 公噸二氧化碳當量。

2. 碳排熱點：

- 根據分析，樓板 (slab) 是碳排熱點，佔總碳排放量的最大比例。

18

基於MCP的多工具AI Agent之應用實例

Demo範例

3. 洞察分析：

- 總破損量主要來自於結構體，其中樓板因其用量和材料特性，成為破損貢獻最高的單一元素。
- 樑和柱的破損量也佔據相當比例，顯示結構設計對於整體破損有著顯著影響。

4. 優化建議：

樓板：

- 考慮使用低強度混凝土，或是在混凝土中摻入纖維、泡沫等替代材料，以降低水泥用量。
- 優化樓板設計，在滿足結構需求的前提下，儘可能減少樓板厚度。
- 採用現澆樓板，提高施工效率並減少現場材料。

樑和柱：

- 與結構工程師合作，檢討樑和柱的設計，尋找結構優化的空間，減少混凝土用量。
- 同樣可考慮使用低強度混凝土或替代材料。

整體結構：

- 在滿足結構安全的前提下，評估採用鋼結構的可能性。鋼結構的回收率較高，有助於降低建築全生命週期的破損。
- 採用輕型隔間牆、環保塗料等，減少非結構體的破損。

綠化設計：

- 擴大立體綠化的面積，增加植物種類，有助於破損，抵消部分破損。

請注意，這是一份初步的破損分析報告，僅根據您提供的量體資料進行估算。更精確的分析需要更詳細的材料清單和設計圖說。

階段性結論

「AI Agent 系統」與「通用模型」的差異與優勢

特性	通用大型模型 (如 ChatGPT, Gemini)	AI Agent 系統
主動性	被動：等待使用者一步步下指令。	主動：Orchestrator 自動推進專案流程。
專業性	通才：知識廣泛但特定領域深度不足。	專家團隊：每個 Agent 都是其領域的專家。
擴充性	困難：增加新功能需要複雜的提示詞。	高度模組化：可像樂高一樣輕鬆新增 Agent 和工具。
記憶能力	短期上下文：對話過長可能遺忘關鍵資訊。	結構化狀態：任務成果被精確儲存，提供可靠的長期記憶。

謝謝。

簡報單位：中華民國公共工程資訊學會

計畫主持人：張雪光

共同主持人：廖國雄

研 究 員：陳秀吉、林裕傑、陳靜、杜京龍

研究助理：郭柏賢

簡報日期：114年 8月 28日

中華民國公共工程資訊學會
Chinese Society of Public Engineering Information (CSPEI)

183

7、會議簽到表

內政部建築研究所

114年度「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」

委託研究計畫案

工作會議簽到表

名稱：八月工作會議

時間：114/08/28(星期四) 9:30

地點：內政部建築研究所 15樓討論室(一)

序 號	單 位 名 稱	簽 到
1	內政部建築研究所	陳士明
2	計畫主持人 施宜光	施宜光
3	共同主持人 嚴國雄	
4	研究員 陳秀杏、林裕傑、杜京霞、陳錚	陳錚 陳秀杏 林裕傑 杜京霞
5	助理研究員 郭柏賢	郭柏賢

九月工作會議

- 1、名稱：「建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統之研究」委託研究計畫案
- 2、時間：114 年 9 月 23 日(星期二) 上午 9:30
- 3、地點：線上
- 4、人員：詳線上會議截圖
- 5、討論要點：
 - 一、本次研究整體流程架構確認
 - 二、AI Agent 與 Rhino 的 JSON 串接確認
 - 三、多代理人 MCP 調用確認
- 6、會議截圖：

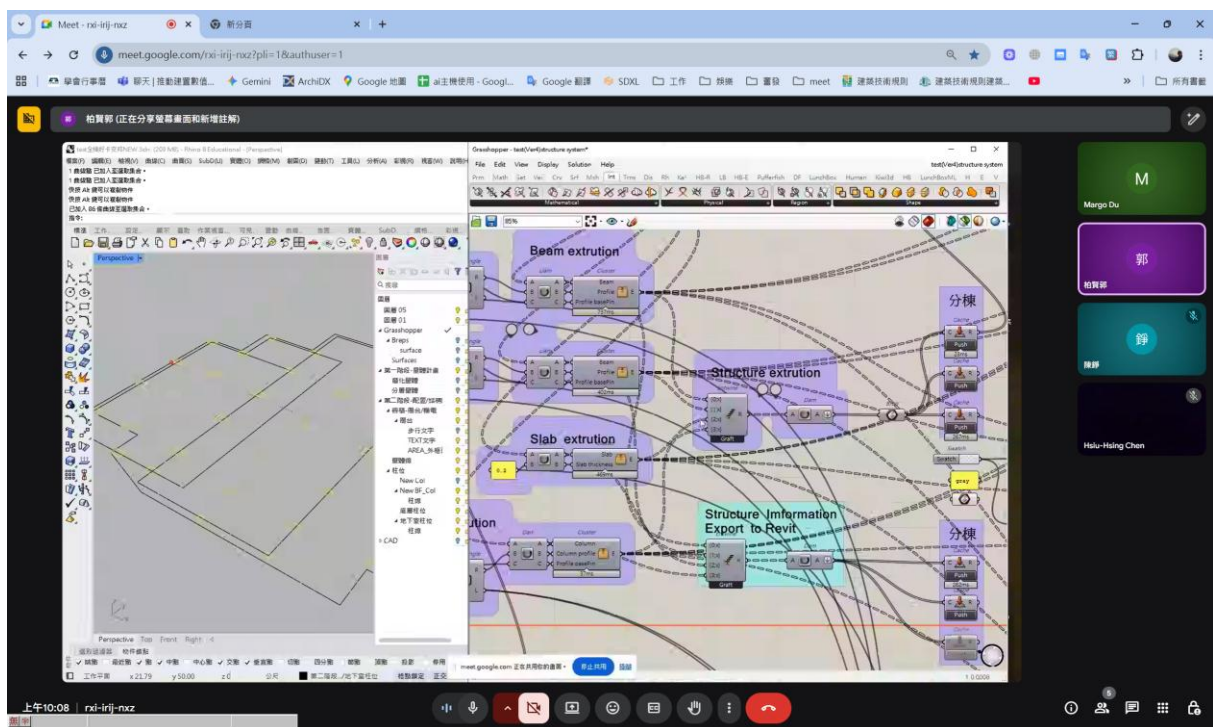


圖 1.Rhino 結構生成

建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統

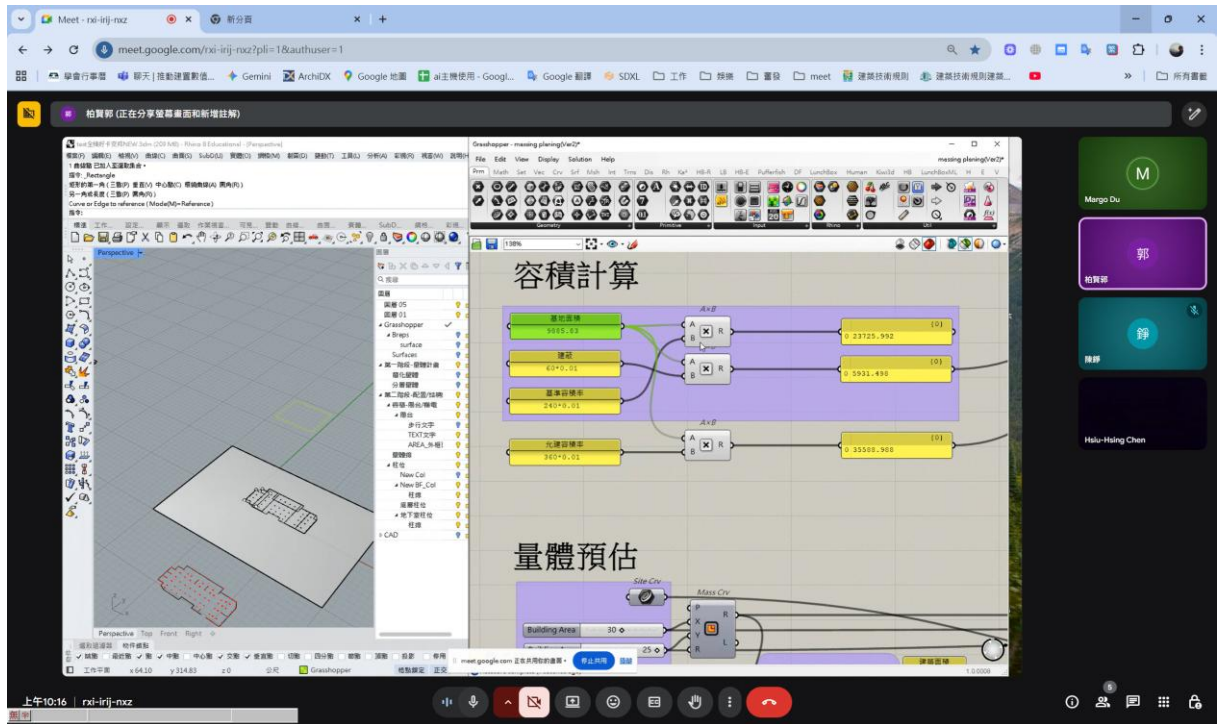


圖 2.輸入基本設計資料

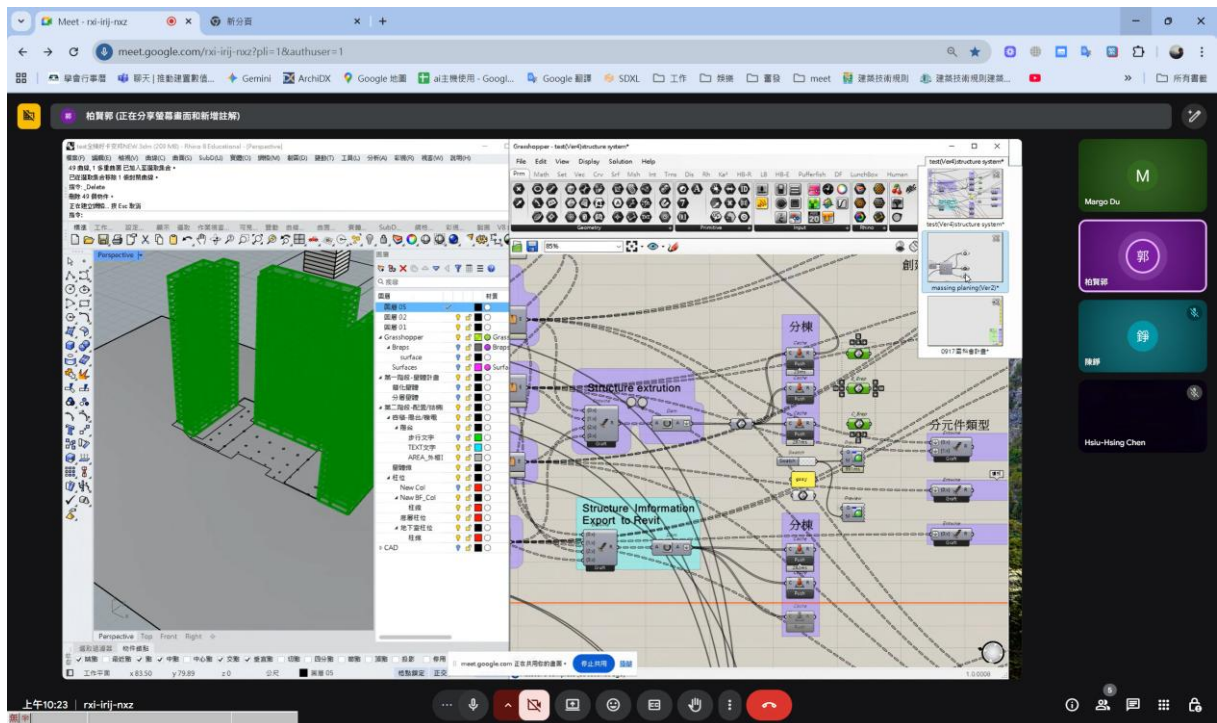


圖 3.LOD 100 量體生成

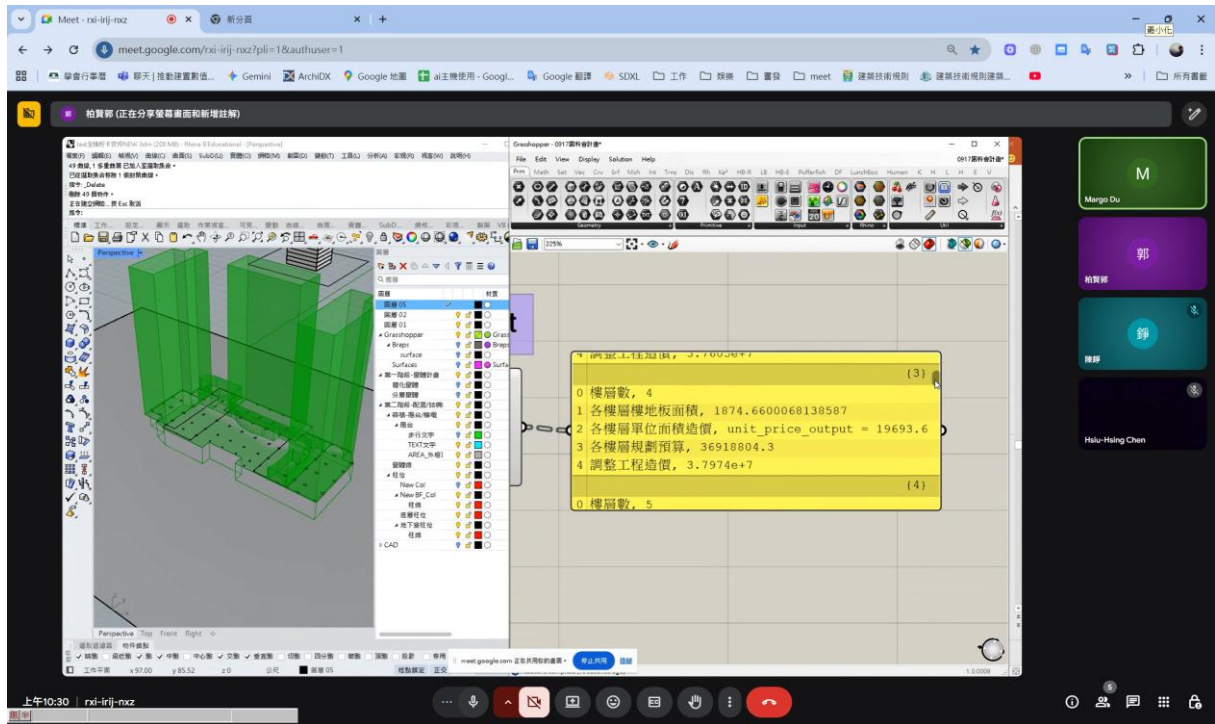


圖 4.LOD 100 樓層數、面積等資訊轉 JSON

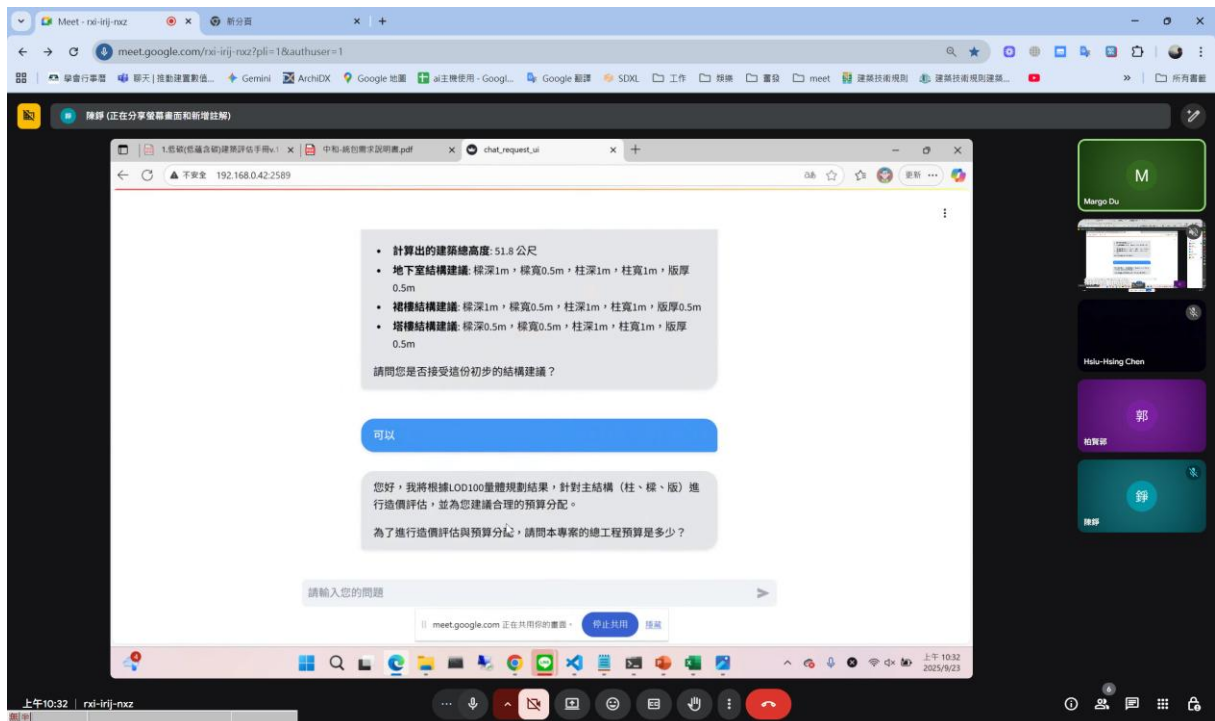


圖 5.大語言模型接收 JSON 後處理

建築設計低碳高效多目標決策輔助的 AI 代理系統

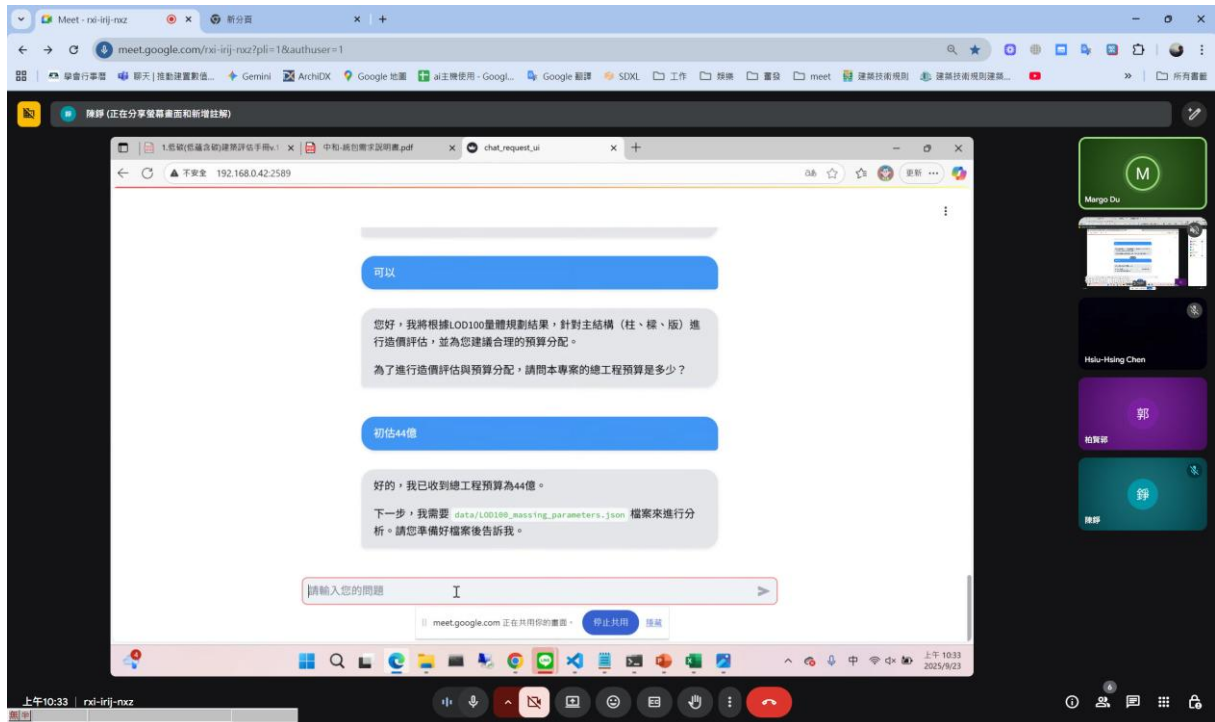


圖 6.工程造價規劃

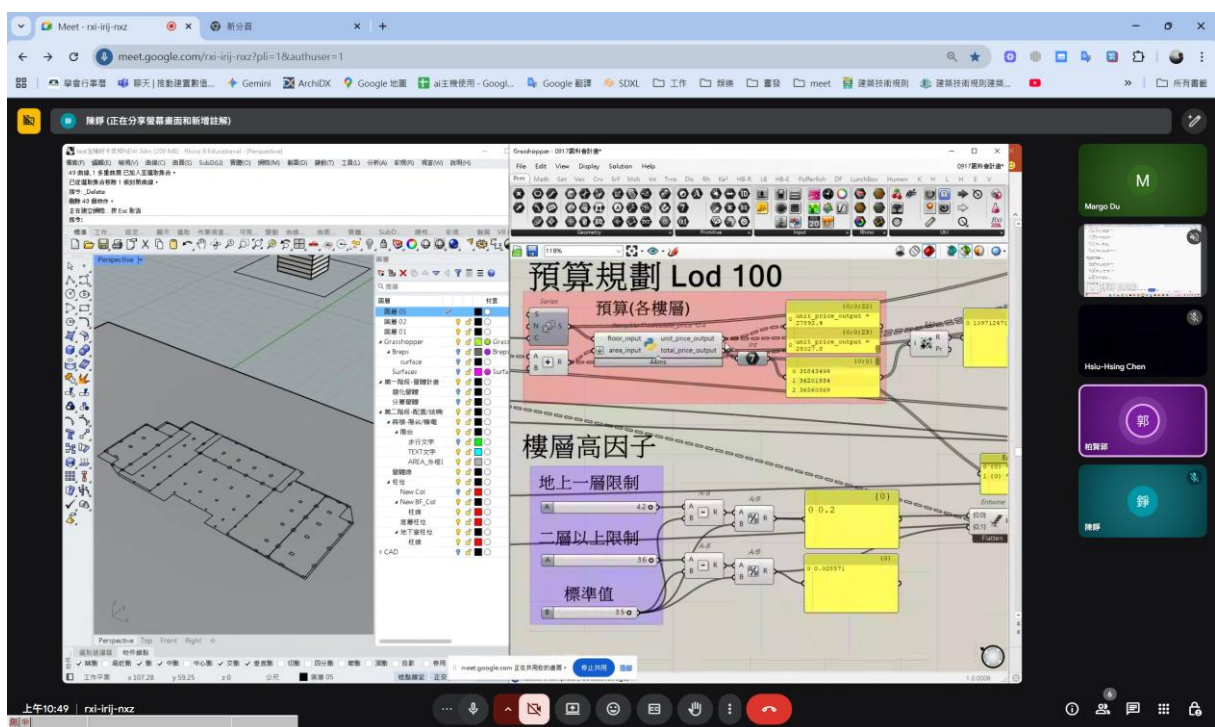


圖 6.工程預算規劃因子

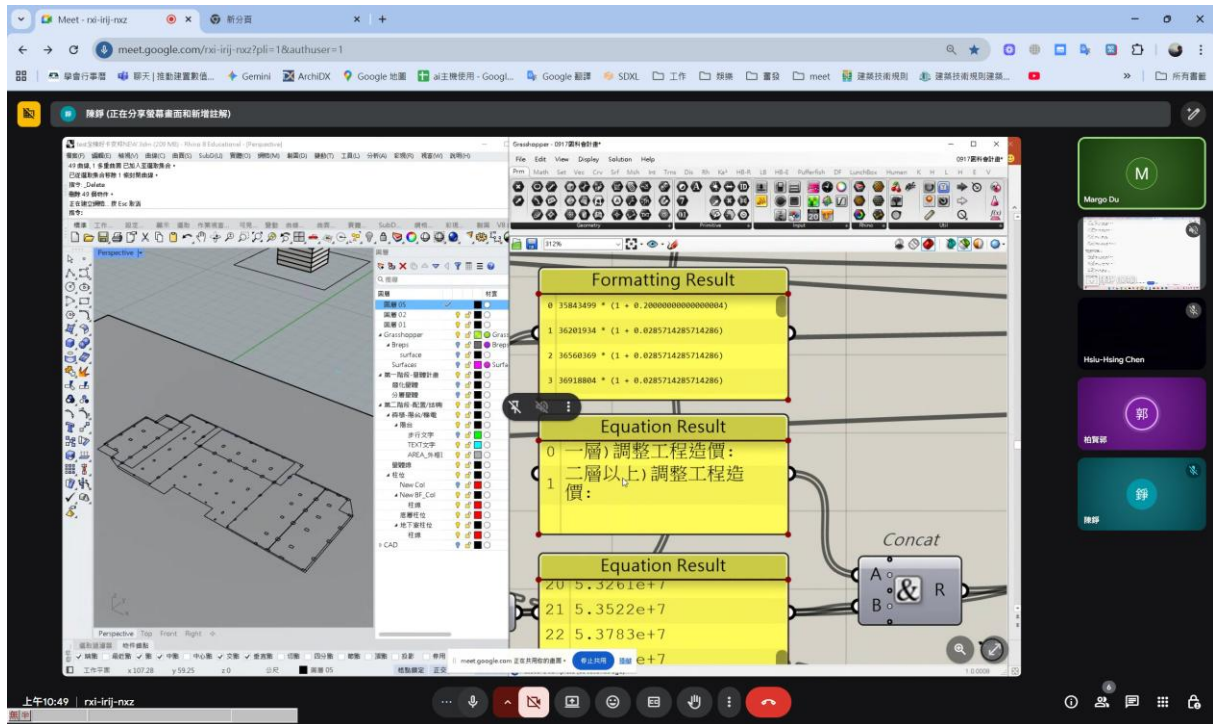


圖 7.LOD150 調整結構後 JSON

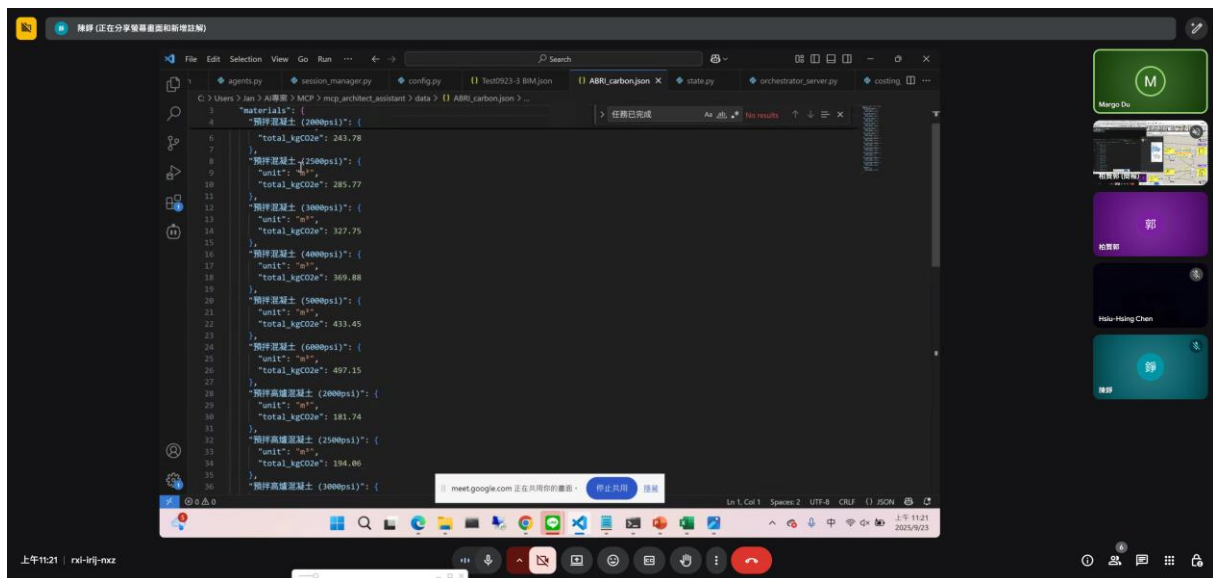


圖 8.JSON 欄位討論

附錄四、建築 AI 代理系統使用者操作手冊