

# 2025 淨零排放科技國際競賽 企劃書

## NetZeroGPT 智慧淨零決策模擬平台

### 1. 創作動機與過程

#### 1.1 研究背景與重要性

全球正面臨前所未有的氣候變遷挑戰。根據聯合國政府間氣候變遷小組（IPCC）報告指出，若全球升溫超過  $1.5^{\circ}\text{C}$ ，將可能引發極端氣候災害、生態系統失衡以及人類社會的重大衝擊。為避免此一災難性後果，碳中和與淨零排放（Net Zero Emissions）已成為全球治理與國家政策的共同目標。各國政府積極推動碳稅、碳交易制度、碳足跡揭露機制，以及包括直接空氣捕捉（DAC）、碳封存等在內的負碳技術，期望能在產業與能源體系中有效減碳並達成永續發展。然而，這些政策與技術若缺乏民眾的理解與參與，將可能面臨「實施落差」與社會抗拒風險。Han et al., (2024) 指出，碳中和策略的推行過程中，若忽略公眾的參與與認知差距，將使得政策落地成效受限，甚至引發社會反彈。尤其在碳排議題高度專業化與制度複雜化的情況下，如何將抽象資訊轉化為具體、可理解且具行動導向的溝通方式，是當前實務與教育上最亟待解決的關鍵挑戰。

針對此困境，國際研究已逐步證實互動模擬與視覺化工具在促進環境行為學習與政策參與方面的效益。Isaza-Giraldo et al., (2024) 透過沉浸式模擬遊戲與語言模型引導，成功提升使用者對碳排因果關係與減碳策略設計的理解。Liu et al., (2025) 則指出，運用 RAG（Retrieval-Augmented Generation）架構結合大型語言模型（LLM）所構成的碳中和問答系統，不僅能提升資訊精確度與可近性，也有助於降低政策與技術知識的進入門檻。Olawade et al., (2024) 則強調，在企業永續決策與公共治理應用中，AI 輔助的模擬與決策系統已展現出高度潛力。

#### 1.2 專案背景與動機

台灣的電力供應結構長期以火力發電為主，對整體碳排放具有高度影響力。根據行政院所發布的《2050 淨零排放路徑圖》，發電部門的碳減量將是未來實現淨零排放目標的關鍵策略之一。然而目前國內多數碳足跡平台與氣候溝通工具，仍主要著重於靜態數據揭露與圖表化展示，欠缺情境互動性與策略模擬性，難以有效引導使用者進行主動參與與跨模組情境思考。同時，智慧語言模型結合在地知識與互動機制，正在改變公眾參與與環境教育的方式。類似 ChatGPT 的大型語言模型若能嵌入在地氣候政策資料庫，將可有效協助政策解釋與推動公共教育（Han, et al., 2024）。而基於 RAG 架構的碳中和問答平台，能提升使用者在高複雜度議題下的參與度與理解精確性（Liu et al., 2025）。Olawade et al. (2024) 則明確指出，AI 對話引擎與即時視覺模擬已逐漸成為能源政策設計與社會溝通中不可或缺的數位輔助工具。

因此，本專案提出開發 **NetZeroGPT 智慧淨零決策模擬平台**，以情境模擬為核心出發，結合語意理解與互動式策略推演，協助使用者從「資料閱讀 → 認知參與 → 策略行動」的歷程中，逐步深化對碳排結構與減碳技術組合的理解與實踐能力。平台整合三項核心技術創新：

1. Unity 互動模擬引擎，重建火力發電場景並模組化負碳技術（如 DAC、森林碳匯等）。
2. RAG 知識檢索架構，連結國內外碳稅、碳權制度與前沿技術文獻。
3. 自然語言互動介面，搭載大型語言模型（LLM），使非專業使用者亦能透過對話探索策略組合與獲得個別建議。

透過此平台的開發，期望不僅能補足現行工具在互動性與參與誘因上的缺口，也為永續教育、公民參與與政策溝通提供嶄新且可擴展的應用場景。

## 2. 文獻探討

### 2.1 淨零轉型與碳中和政策發展趨勢

自 2015 年《巴黎協定》明定全球升溫控制在攝氏 2 度內、並力求不超過 1.5 度以來，碳中和（carbon neutrality）與淨零排放（net zero emissions）逐漸成為國際氣候治理的重要目標。根據國際能源署（IEA）與聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）數據，截至 2024 年已有超過 140 個國家訂立或宣示淨零目標，涵蓋全球近 90% 的溫室氣體排放量，顯示全球政策共識正加速向淨零轉型靠攏（Hansson et al., 2024）。

當前國際淨零政策可分為兩大方向：一為強化制度面工具，例如碳定價（carbon pricing）、碳稅（carbon tax）與碳交易（ETS）。二為科技驅動，如投資可再生能源、負碳技術（CCUS, DAC）與電氣化等綠色基礎建設。Hansson, et al. (2024) 指出，近年在歐洲與北美，政策重點逐漸從單純的減碳要求，轉向「系統性轉型」與「跨部門減排整合」之策略。例如德國以碳中和為核心重新設計都市交通與工業熱源系統，法國則將建築碳足跡納入國家永續評估指標（Krill, et al., 2023）。這些政策逐漸顯示出「零碳社會」作為一種全方位治理目標的趨勢。

然而，達成淨零排放目標並非僅是科技或數據問題，更涉及深層的經濟、社會與行為變遷。Eyime and Ushie (2024) 指出，在航空、重工業與海運等難減排領域，僅靠效率提升遠不足以達標，須透過碳捕捉、氫能轉型等高資本密集方案。政府除了政策支持外，還需搭配金融機制、跨國合作與社會接受度管理，才能有效推動高碳產業脫碳。此外，氣候政策的有效性在於其「社會可行性」與「政治持續性」，也就是政策能否獲得公眾支持與制度穩定實施的能力（Hansson et al., 2024）。這使得環境教育、公民溝通與數位科技的整合應用成為重要關鍵。例如模擬平台、碳計算工具與 AI 輔助決策系統已被認為是下一代氣候行動的重要推手。

在亞洲地區，中國透過儲能、氫能、數位碳管理等新質生產力工具推動電力部門去碳化，並強化 ESG 與金融部門的永續治理機制 (Zou et al., 2024)。而台灣方面，行政院於 2022 年公告《台灣 2050 淨零排放路徑與策略總說明》，訂出四大轉型策略與兩大治理基礎，並推動《氣候變遷因應法》於 2023 年正式立法上路。該法除建立碳定價制度外，也導入淨零科技研發、ESG 揭露、部門盤查與碳費機制等制度工具，為我國進入淨零治理新階段奠定基礎。Liu(2024)指出，台灣的 ESG 政策雖持續發展，但缺乏針對中小企業與一般民眾的實用型淨零工具，使得整體社會參與度仍低於先進國家平均。因此，如何透過科技工具與互動系統提升參與率、補足知識落差，將是接下來實踐淨零政策的關鍵環節。

Table 1：全球淨零轉型與碳中和政策發展趨勢

全球趨勢	具體作法 / 政策工具	國家/地區實例與進展概述
設立法定淨零目標	立法明訂 2050 年前淨零目標	英國《氣候變遷法》修法納入 2050 淨零目標 (2019) 台灣《氣候變遷因應法》(2023)
導入碳定價機制	ETS 碳交易、碳稅、碳費制度	歐盟 ETS、韓國 K-ETS、台灣碳費 2024 上路
難減排產業技術發展	CCUS、DAC、氫能鋼鐵、水泥等轉型	日本氫能鋼廠、挪威 Northern Lights 碳捕捉計畫
數位科技輔助治理	AI 輔助決策、碳模擬平台、數位碳帳本	瑞典碳預算系統 台灣發展數位碳管理與企業平台
公民參與與教育	氣候教育納入課程、公民會議、模擬碳排工具	英國中學氣候課程納入 台灣擬發展公民平台與 AI 模擬決策工具
跨部門系統性整合	能源、交通、建築、產業部門整合治理	法國建築碳足跡制度 德國城市熱源整合工業電氣化

2.2 火力發電與碳排放視覺化的研究現況

火力發電仍是全球碳排放的主要來源之一，約佔全球溫室氣體排放總量的 40%，在發展中國家及依賴煤炭與天然氣的地區尤為顯著 (Zhu & Lu, 2025)。為了提高碳管理與減碳策略的效率，近年來愈來愈多研究投入於火力電廠運作過程中碳排放資訊的數據建模與視覺化呈現。相較於傳統以靜態報表與歷史統計為主的碳排資料呈現方式，這些新興研究更強調互動性、即時性與動態模擬能力，有助於揭示能源使用與碳排放之間的因果關係與技術選擇的潛在影響 (Tagliabue et al., 2021)。

其中，數位雙生 (Digital Twin) 技術成為火力電廠碳排視覺化的重要工具之一。該技術透過建立虛實同步系統，能夠即時呈現燃料組成、鍋爐效率、排碳強度等參數，並進行假設情境 (what-if scenario) 模擬，進而支援決策預測與技術調整。Lei et al. (2021) 開發出一套基於 Web 的火力發電數位雙生系統，有效應用於工程訓練與系統調控。而 Arowoija et al. (2024) 更進一步將機器學習技術整合至數位雙生模型中，能精細模擬發電過程中的溫度、負載變化

與燃料型態，提升碳排預測與節能策略設計的準確性。此外，火力發電碳排模擬也逐漸延伸至教育與社會參與場域。Park and Yang (2020) 在韓國建立結合地理資訊系統 (GIS) 與碳排估算的數位孿生城市平台，讓學生與市民可在互動介面中測試不同能源組合對城市碳足跡的影響。El-Gohary et al. (2023) 則在中東地區推動一套住宅用能源碳排模擬系統，結合神經網絡與互動視覺化介面，使用者可根據行為模式即時觀察碳排變化，提升節能與碳管理的意識。上述研究皆指出，具有情境導引性與互動設計的視覺化模擬工具，能顯著提升使用者對碳排放結構的理解與行動參與度，並在政策溝通與氣候教育中展現出高度潛力。

### 2.3 數位雙生 (Digital Twin) 在工業模擬與環境教育之應用

數位雙生 (Digital Twin) 作為新一代虛實整合技術，廣泛應用於能源、工業與城市永續治理領域，亦逐漸被納入環境教育與碳排模擬的研究核心。數位雙生本質為一種基於實體系統所建立的動態虛擬模型，能即時接收感測資料、模擬運作情境並進行預測推演，具有高度的可擴展性與互動性。隨著淨零碳排與能源轉型成為全球政策重點，如何透過數位工具將抽象的碳排概念具象化，已成為教育與決策推廣的重要挑戰。數位雙生可作為一種可操作的學習中介體，提供學習者具體理解能源系統內部結構與碳排動態的方式，進而促進策略思考與行為推理能力 (Figueiredo et al., 2024)。使用者能透過「假設情境模擬」(what-if simulation) 方式，測試不同的技術選項與決策結果。

在工業領域，數位雙生技術多應用於火力發電、製造業與建築能源管理等高碳密集產業。Elghaish et al. (2024) 整理出數位雙生在碳管理方面的三大關鍵功能：即時監測、預測控制與策略優化。其中以建築與廠區為單位的碳排模擬最具代表性，能協助用戶評估不同節能方案之下的碳排趨勢與成本影響。除此之外，數位雙生亦被視為提升永續教育參與度與策略理解的有效技術。當數位雙生結合人工智慧與自然語言互動介面時，可作為環境教育平台，讓非工程背景的學習者透過對話式介面操作碳排模擬系統，促進對氣候政策與能源結構的理解 (Vudugula et al., 2025)。此類平台已逐步從高等教育拓展至公民參與場域，特別是在模擬城市能源規劃、再生能源導入與負碳技術配置等複雜議題上，提供了以資料驅動的公眾參與機制。



Figure 1：數位雙生與人工智慧技術，應用於即時監測、預測控制與環境教育平台，透過對話式介面提升使用者互動體驗

## 2.4 大型語言模型（LLM）與 RAG 在環境知識應用的潛力

除了數位雙生，大型語言模型（Large Language Models, LLMs）在自然語言處理領域的突破，也為環境知識的傳遞、決策輔助與公眾溝通帶來全新可能。傳統的環境教育與政策文件傳遞，往往受限於專業門檻高、內容難以理解等挑戰，導致公民對永續議題的參與意願偏低。LLM 擁有理解、摘要與生成複雜語意的能力，能以自然語言方式即時回應使用者查詢，成為降低知識障礙的重要橋梁。Han et al.（2024）指出，若將 LLM 技術結合在地氣候政策、碳排技術資料庫與能源模型，可顯著提升大眾對碳中和議題的理解，並增強氣候教育的即時性與互動性。

然而，單靠 LLM 的語言生成能力仍不足以處理高度專業與快速變動的環境知識內容。而檢索增強生成架構（Retrieval-Augmented Generation, RAG）成為補足 LLM 知識更新與正確性問題的關鍵方案。RAG 結合外部知識庫檢索與語言模型回應，使得系統在回覆查詢時能引入最新文件、政策文本或技術資料，確保資訊具備時效性與準確性。Liu et al.（2025）以碳中和為主題建構一套 RAG+LLM 問答系統，實驗結果顯示其在回答政策法規、技術比較與制度演進等問題時，不僅正確率高於傳統檢索系統，也在使用者體驗上獲得更高評價，顯示其在教育端與決策端皆具備高度應用潛力。

除了作為問答系統，LLM 與 RAG 的結合亦可應用於決策模擬、政策溝通與行動引導層面。Isaza-Giraldo, et al.（2024）指出，透過 LLM 所生成的情境式策略描述，搭配 RAG 提供的即時參數與案例資料，可協助企業與政府部門設計多元減碳方案。Vudugula et al.（2025）則提出以 LLM 導入模擬平台的對話介面，能大幅提升非專業使用者對複雜模擬情境的理解能力，並透過語言互動強化系統使用率與回饋精準度。這種從「靜態資訊展示」轉向「互動式語言對話」的模式，標誌著環境資訊系統的轉型方向。

Table 2：LLM 與 RAG 在環境知識應用的研究發展概覽

應用面向	功能說明與特性	應用場景/目的	代表研究/成果
知識簡化與傳遞	LLM 可將複雜環境政策、碳技術轉化為易懂語言；降低理解門檻	公眾溝通  氣候教育	an et al. (2024)：強化碳中和教育互動性
查詢輔助與知識問答	可即時回應環境政策、技術細節等多樣查詢；可模擬決策討論場景	政策說明  課堂輔助  碳顧問對話工具	Liu et al. (2025)：碳中和主題 RAG+LLM 問答系統，正確率顯著提升
知識時效與正確性強化	RAG 整合即時檢索與語言生成，確保回覆與最新資料同步	面對法規變動快速、資料更新頻繁的領域	Liu et al. (2025)：對比傳統檢索系統，在正確性與體驗評價皆

			表現更佳
決策模擬與情境引導	可生成具備策略性語境的行動建議與方案對話	協助政府與企業模擬減碳路徑、多方案比較	Isaza-Giraldo et al. (2024)：語言模型輔助決策場景建構
互動學習介面強化	LLM 結合 RAG 資料源後導入模擬平台，提升使用者操作理解與參與意願	非專業者參與模擬系統  互動型碳排教育平台	Vudugula et al. (2025)：語言互動提升模擬平台使用率與回饋精準度

## 2.5 負碳技術模擬模組與政策潛力探討

在全球邁向淨零排放的路徑中，單靠減少化石燃料使用與提升能源效率已不足以滿足長期碳中和目標，國際政策與研究開始強調負碳技術（Negative Emission Technologies, NETs）的關鍵角色。根據 Shahbaz et al. (2024) 之評估，實現 1.5°C 氣候目標將需要大規模部署多元化負碳技術，特別是在難以減排的部門或須彌補歷史排放的情境中。其中，森林碳匯、生物炭與直接空氣捕捉（Direct Air Capture, DAC）被認為是具高度模組化潛力且適合模擬整合的平台技術，尤應成為決策支持系統與環境教育工具之重要組成。

森林碳匯作為最自然且低技術門檻的碳移除方式，其原理為透過植物光合作用將大氣中的 CO<sub>2</sub> 轉換為生物質碳，並儲存於林地土壤與樹體中。不同森林型態的年封碳量可介於每公頃 3 至 15 噸 CO<sub>2</sub>，而其封存效益與土地面積、物種組成、經營方式密切相關(Boyd et al.,2024)。雖然此方法具備生態共益效應（如生物多樣性、水源涵養等），但其碳儲存年限與再釋風險亦須評估，因此在模擬平台中應設計不同林地類型、造林週期與氣候條件等參數化模組，以提升使用者對自然封碳效果的理解與策略選擇的細緻度。

相較於森林碳匯的生態導向，生物炭（biochar）則為典型的技術性碳封存方式，其係將有機廢棄物經熱裂解處理後轉化為高碳含量固體，並埋入土壤以達碳固定目的。根據 Fawzy et al. (2022) 統計，生物炭每噸固定碳可減少 2.2 至 3.1 噸 CO<sub>2</sub> 排放，且其穩定性可長達數百年，使其被視為高永久性碳封存技術之一。不同原料來源（如稻殼、竹材、動物糞便）將影響其碳固定能力、成本與土地利用情境，亦適合納入模擬平台進行交互選擇與視覺呈現。此外，生物炭同時具備改善土壤品質與作物產量之效應，使其在農業部門亦有高度應用潛力，可透過模擬分析碳匯與生產共益關係，協助使用者進行多目標策略設計。

至於 DAC 作為高度工程化的碳移除技術，其可直接從大氣中捕捉二氧化碳並進行封存或再利用，被認為是最具擴張潛力且不依賴土地資源的選項之一。然而 DAC 面臨高昂的建置與營運成本，每噸碳捕捉成本仍介於 100 至 600 美元之間，視技術類型與能源來源而異（DiMartino, 2023）。因此，模擬平台在納入 DAC 模組時，不僅需呈現不同裝置效能與封存策略，亦應包含能源消耗與財務參數，讓使用者能在策略配置中辨識其適用場域與政策條件。例如在碳費高於特定門檻、或具備再生能源充沛背景下，DAC 的部署效益將顯著上升，這類「政策－技術互動效應」在模擬系統中極具教育與策略分析價值。

類型	技術原理與方法	封存潛力與效期	優勢與共益效應	限制與挑戰
森林 碳匯	植物光合作用吸收 CO <sub>2</sub> ，儲存在樹體與土壤中	每公頃年吸碳量約 3–15 噸 CO <sub>2</sub> 儲存期：數十年至百年	具生態共益（生物多樣性、水源涵養）低技術門檻可地景融合	土地需求高、碳再釋風險高、易受氣候與火災影響
生物炭	有機物經熱裂解製成碳固體，埋入土壤封存碳	每噸固定碳可減少 2.2–3.1 噸 CO <sub>2</sub> 穩定期可達百年以上	穩定性高、長效碳封存可改善土壤肥力與農業生產原料彈性高（農廢）	製程耗能、原料來源影響封存效益與成本需評估土地適用性
DAC	利用吸附/吸收技術直接從空氣中捕捉 CO <sub>2</sub>	視設備與能源，捕碳效能 1–3 噸/日 封存期取決於處理方式	不依賴土地、具擴張性可整合再利用與封存用途（如合成燃料）	成本高（每噸 100–600 美元）能源密集商業模式未成熟

### 3. 專案目標與策略

#### 3.1 問題定義與核心需求

面對日益加劇的氣候危機與全球淨零轉型壓力，碳中和相關議題已成為政策、產業與教育領域的重要議程。然而，當前推動過程中仍面臨以下三大核心挑戰：

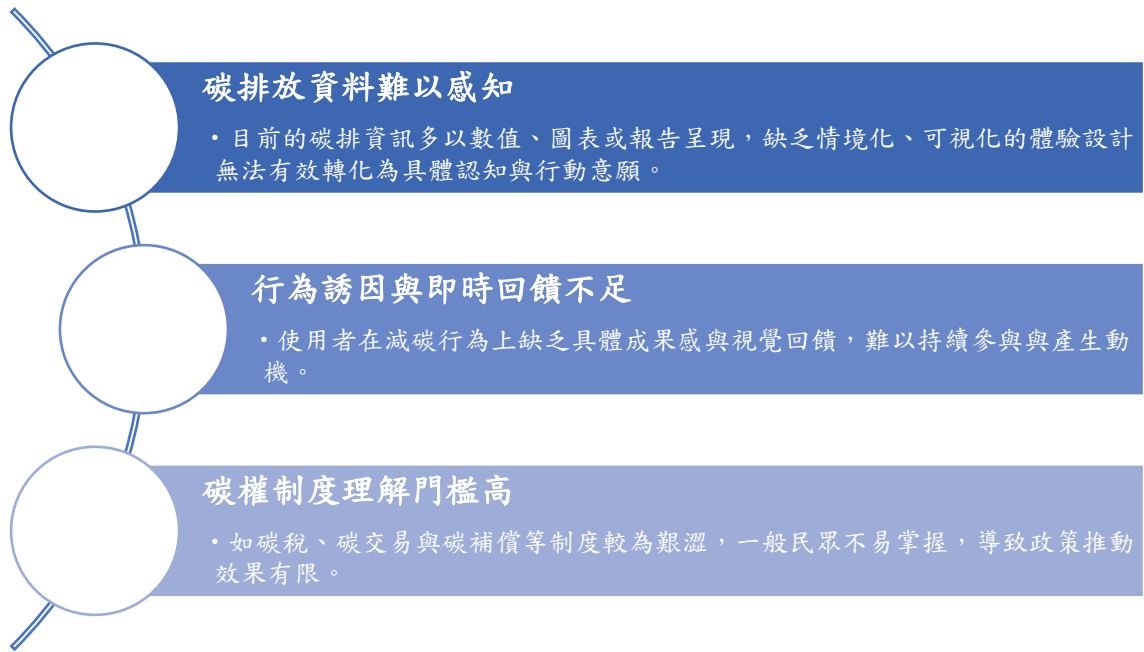


Figure 2：核心需求說明圖



### 3.2 系統目標與對應策略

因此，本專案旨在打造一套融合數位雙生技術、語意型 AI 與負碳模擬的互動平台「NetZeroGPT」，以回應上述問題。對應目標與設計核心指標如下：

#### 降低碳排資料理解門檻

- 建構 3D 數位雙生火力電廠模擬場景
- 導入即時碳排數據視覺化 (CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等)
- 將排放轉化為具體補償行動 (如植樹數) 呈現

#### 提升減碳行為的參與動機

- 應用行為經濟學「可視化後果誘發行動」設計原則
- 設計模擬互動任務與即時成效回饋 (碳封存動畫、動態儀表板)

#### 強化政策與技術理解能力

- 導入 LLM + RAG 語意問答系統，支援自然語言互動
- 整合碳稅、碳權、DAC 等政策與技術文獻查詢
- 提供自動生成模擬報告與個人化建議

#### 支援跨情境應用與擴散

- 模組化設計便於移植至其他發電情境或環境行為系統
- 建立雙語介面，支援教育、展覽與政策推廣使用

Figure 3：系統目標與對應策略說明圖

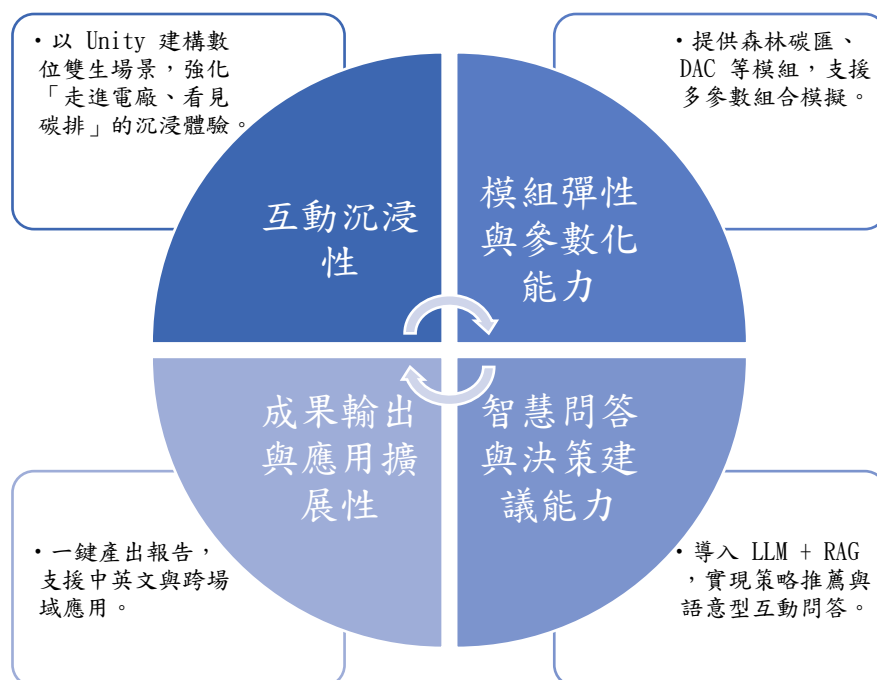


Figure 4：模擬平台設計核心指標示意圖



## 4. 現有服務分析與本系統差異性

### 4.1 國內外同類產品或平台分析

在全球淨零轉型浪潮下，市面上已有部分平台或工具提供碳排放資訊查詢、碳足跡計算或政策模擬服務。然而，這些服務多仍存在資料靜態、互動性不足、情境轉譯能力有限等問題。以下為市面上各平台之發展，但具體而言：

- ❖ 多數平台仍為靜態查詢／參數工具，缺乏沉浸式模擬與語意互動
- ❖ 重視政策層模擬者偏缺使用者友善性，重視個人互動者則缺乏決策深度
- ❖ 無法有效連結視覺化體驗與行為誘導機制，難以作為教育／推廣用教材

Table 3：國內外同類產品或平台分析

平台名稱	主要功能	特色	主要限制
Carbon Footprint Calculator	個人碳足跡計算	介面友善、國際通用	僅限靜態問卷，無模擬功能
Climate TRACE	全球碳排放追蹤地圖	結合衛星與 AI 分析	側重宏觀資料，缺乏互動性
我碳	個人/企業碳足跡查詢與建議	本地化政策對應，介面簡單	缺乏情境模擬與視覺回饋
Energeo 智慧電力模擬	電網模擬與能源成本估算	有成本分析模型	不涵蓋碳補償/政策推演功能
Climate Interactive / En-ROADS	全球氣候政策模擬工具	提供策略參數模擬與圖表	英文介面、情境視覺較弱

### 4.2 本專案技術使用與使用價值差異

本平台整合數位雙生技術、模組化負碳策略模擬、語意型 AI 對話與視覺誘導設計，填補現有平台在互動性、情境性與決策深度之不足，具備以下差異：

Table 4：NetZeroGPT 的技術與使用價值差異

差異面向	現有平台限制	NetZeroGPT
互動沉浸性	多為問卷或 2D 儀表板，缺乏空間與體感設計	Unity 3D 實作火力電廠模擬場景，使用者可「走進碳排放系統」操作模擬
決策智慧性	無語意對話能力，回饋方式被動且制式	結合 LLM + RAG 技術，回應自然語言問題並推薦碳中和策略組合
視覺化回饋性	僅呈現圖表數值，缺乏動態互動設	排放量轉譯為植樹動畫、補償單位，

	計	強化行動誘因與後果體感
模組彈性與擴展性	多數平台功能固定，難以依情境自定義模擬	負碳技術模組化設計（森林碳匯、生物炭、DAC 等）與參數組合能力
教育與推廣適用性	一般缺乏輸出功能與多語系支援，使用場景受限	支援報告生成、中英文切換，適用於課程、展覽、政策說明會等多場域

## 5. 系統功能與技術架構

本系統主要由三大核心模組構成，依照使用者互動與系統回應之流程進行串聯：

- ❖ **碳排場景模擬模組：**串接公開平台資料 API，並以 Unity 建構火力電廠之能源流程與排放情境。
- ❖ **負碳技術模擬模組：**涵蓋森林碳匯、生物炭、DAC 等模擬工具，支援參數設定與組合分析。
- ❖ **智慧對話決策模組：**結合語言模型與知識庫查詢（RAG），實現語意互動與策略推演。

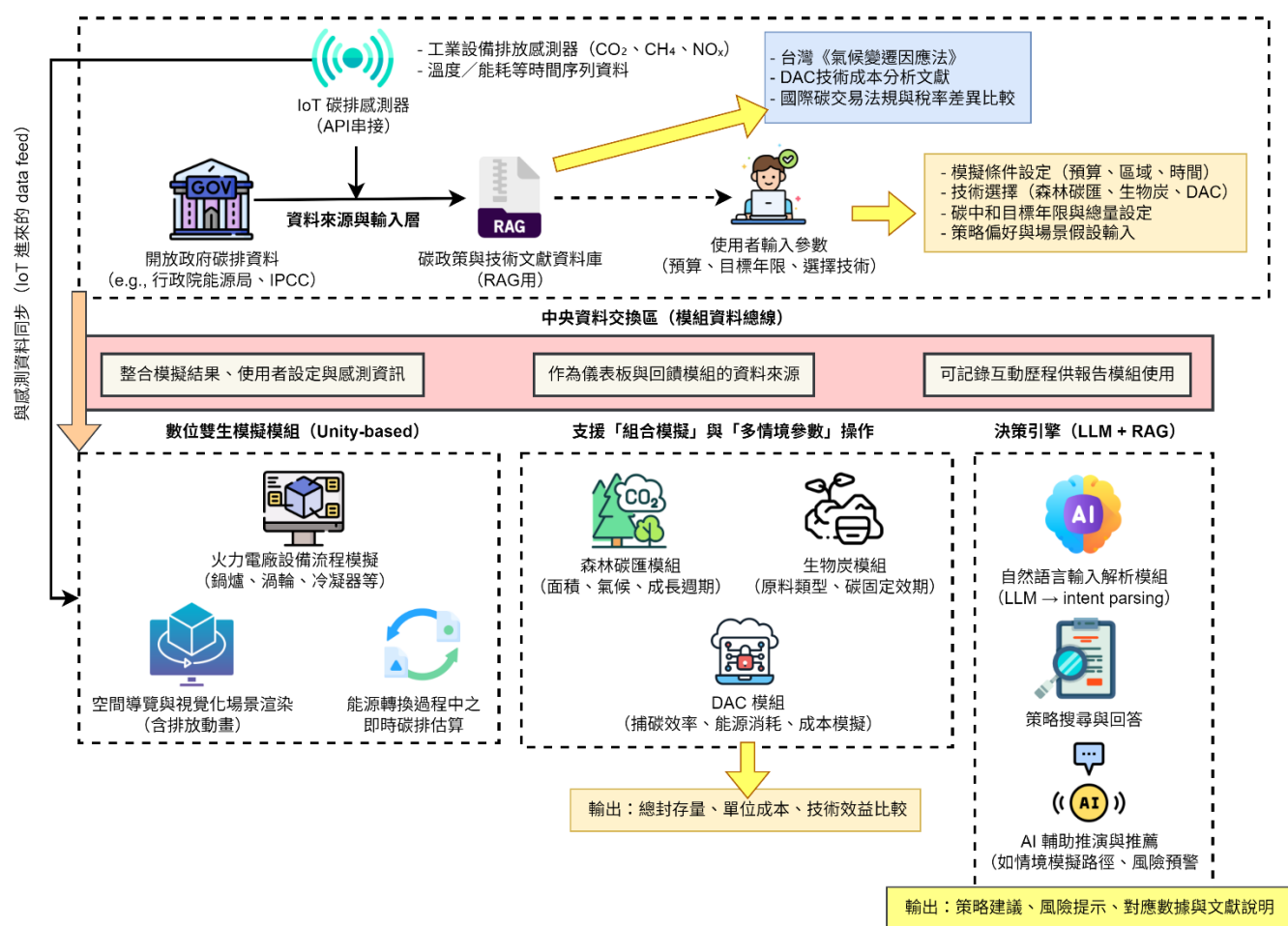


Figure 5：系統整合感測、政策與語意互動三層資料，進行即時模擬與策略建議，支援多場域減碳決策應用。

## 4.1 互動模擬模組設計（視覺化碳足跡&決策回饋）

互動模擬模組以使用者為中心，設計「看見→操作→反饋」的閉環體驗流程，具體包括：

- ❖ **視覺化碳排場景：**以工廠設備流程為基底，模擬 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排放來源與變化趨勢。
- ❖ **補償行為對照：**系統將排放量轉譯為植樹棵數、碳封存效益等行動指標，呈現對應補償。
- ❖ **決策回饋機制：**使用者調整技術參數後，平台即時呈現模擬結果差異，並透過 AI 提供可行性建議與執行風險提示。
- ❖ **互動儀表板設計：**整合即時圖表、動畫與文字提示，使減碳決策歷程可視、可感、可回應。



Figure 6：火力電廠數位孿生監控畫面



Figure 7：碳補償策略模擬介面（森林碳匯／生物固碳／DAC）

## LLM + RAG 決策支援系統設計

本模組結合大型語言模型（LLM）與檢索強化生成技術（RAG），打造智慧型碳權決策助理，提供三項核心服務：

- ❖ **語意查詢解答**：回應「哪種技術最省錢？」「若預算 100 萬怎麼配置？」等自然語言問題。
- ❖ **模擬參數推演**：根據使用者設定目標，自動提出模擬策略（如五年達成碳中和建議組合）。
- ❖ **政策與知識檢索**：即時查詢碳稅制度、碳權市場與技術文獻，並提供來源出處。

## 時程規劃

為確保本專案具備實作深度與展示完整性，團隊自 2025 年 4 月 10 日起展開為期 17 週的系統開發與推廣準備工作。整體時程依功能與邏輯劃分如下：

## NetZeroGPT 專案時程規劃

2025/4/10～2025/8/10，共17週

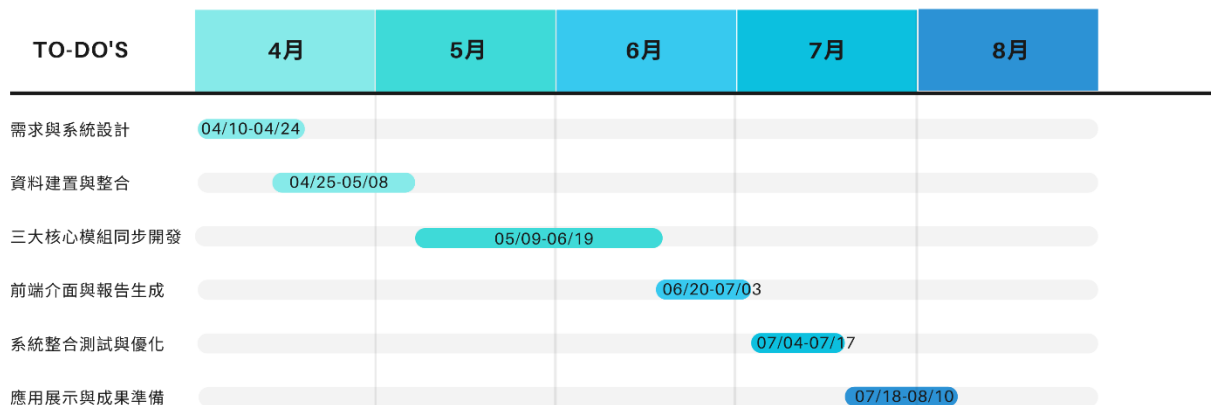


Figure 8：NetZeroGPT 專案時程規劃圖

## 6. 預期效益與影響

NetZeroGPT 平台不僅是一套模擬與決策工具，更是一個可延展至教育、公民參與、政策溝通等多元領域的整合性數位平台。以下說明本系統於不同應用場域的實際情境設計與效益。

### 6.1 應用於教育推廣情境

系統具備高度的教育潛力，能有效補足現行永續發展教育中缺乏互動與情境導向的教學困境，具體應用情境包括：

- ❖ **高中與大學課程整合：**可搭配環境科學、地球科學、科技與工程、探究與實作等課程，讓學生實際體驗碳排與減碳策略模擬，培養跨領域與系統思考能力。
- ❖ **模擬專題與學習任務設計：**支援學生依據模擬結果提出減碳提案與實作方案，強化問題解決與反思性學習歷程。
- ❖ **永續教育展覽活動：**於校園或教育博覽中展示互動模擬系統，引導學生與社群認識碳權制度與個人行動意義。





Figure 9：碳排放知識推廣

## 6.2 公共溝通與市民參與應用

為拉近大眾與氣候議題的距離，平台設計融合視覺化、互動性與語言親和力，有助於提升市民理解度與參與意願：

- ❖ **公民教育場域導入：**可部署於社區大學、圖書館、青年中心等空間，作為氣候變遷與碳中和推廣教具。
- ❖ **互動展覽與參與工作坊：**搭配講座與行動工作坊設計，讓民眾能實際操作模擬系統，進行「如果我是決策者」的減碳演練。
- ❖ **碳足跡與補償體驗：**讓使用者輸入生活習慣（如交通、飲食）後模擬碳排與補償需求，提升對個人環境影響的感知。



Figure 10：教育 × 公民參與整合

### 6.3 政策展示與視覺化傳播應用

氣候與能源政策常因其複雜性與技術性難以被民眾充分理解，NetZeroGPT 可作為政策溝通之轉譯工具，促進政府與社會間的永續對話：

- ❖ **碳費制度模擬工具**：模擬不同碳定價下企業或區域減排行為的變化與效益，作為政策設計與溝通依據。
- ❖ **政府與 NGO 展示應用**：可於環保署、能源局或 NGO 永續展中呈現政策成效與決策邏輯，提升透明度與信任。



Figure 11：模擬 NetZeroGPT 系統透過視覺化與 AI 對話強化碳排政策傳播效果



## 7. 參考文獻

- Han, T., Cong, R. G., Yu, B., Tang, B., & Wei, Y. M. (2024). Integrating local knowledge with ChatGPT-like large-scale language models for enhanced societal comprehension of carbon neutrality. *Energy and AI*, 18, 100440.
- Isaza-Giraldo, A., Bala, P., Campos, P. F., & Pereira, L. (2024, May). Prompt-gaming: A pilot study on llm-evaluating agent in a meaningful energy game. In *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-12).
- Liu, L., Zhou, Y., Ma, J., Zhang, Y., & He, L. (2025). Domain-Specific Question-Answering Systems: A Case Study of a Carbon Neutrality Knowledge Base. *Sustainability*, 17(5), 2192.
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., David-Olawade, A. C., Fapohunda, O., Ige, A. O., & Ling, J. (2024). Artificial intelligence potential for net zero sustainability: Current evidence and prospects. *Next sustainability*, 4, 100041.
- Hansson, A., Asayama, S., Böttcher, M., & Fridahl, M. (2024). Carbon dioxide removal: perspectives from the social sciences and humanities. *Frontiers in Climate*, 6, 1509331.
- Eyime, E. E., & Ushie, O. J. (2024). Climate Risks and Economic Consequences of Rising Global CO<sub>2</sub> Emissions in Aviation, Shipping, and Heavy-Duty Transport. *Trends in Renewable Energy*, 11(1), 84-121.
- Zou, C., Li, S., Liu, C., & Wang, L. (2024). New energy storage technologies and their business models empowered by new quality productivity forces. *Acta Petrolei Sinica*, 45(10), 1443.
- Liu, S. (2024). Developing a China-specific ESG system to enhance sustainable work.
- Zhu, W., & Lu, X. (2025). 3D digital modeling technology for thermal power plant boilers based on digital twins. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 34(02), 2550058.
- Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Maltese, S., Rinaldi, S., Ciribini, A. L. C., & Flammini, A. (2021). Leveraging digital twin for sustainability assessment of an educational building. *Sustainability*, 13(2), 480.
- Lei, Z., Zhou, H., Hu, W., Liu, G. P., Guan, S., & Feng, X. (2021). Toward a web-based digital twin thermal power plant. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(3), 1716-1725.
- Arowoiyi, V. A., Moehtler, R. C., & Fang, Y. (2024). Digital twin technology for thermal comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions. *Energy and Built Environment*, 5(5), 641-656.
- Park, J., & Yang, B. (2020). GIS-enabled digital twin system for sustainable evaluation of carbon emissions: A case study of Jeonju city, south Korea. *Sustainability*, 12(21), 9186.
- El-Gohary, M., El-Abed, R., & Omar, O. (2023). Prediction of an Efficient Energy-Consumption Model for Existing Residential Buildings in Lebanon Using an Artificial Neural Network as a Digital Twin in the Era of Climate Change. *Buildings*, 13(12), 3074.
- Figueiredo, K., Tibério Cardoso, G., & Najjar, M. K. (2024). Global excellence in indoor environment: South America. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1533337.
- Elghaish, F., Matarneh, S., Hosseini, M. R., Tezel, A., Mahamadu, A. M., & Taghikhah, F. (2024). Predictive digital twin technologies for achieving net zero carbon emissions: a critical review and future research agenda. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- Vudugula, S., Chebrolu, S. K., Zaman, S., & Saha, R. (2025). American Journal of Interdisciplinary Studies.
- Han, T., Cong, R. G., Yu, B., Tang, B., & Wei, Y. M. (2024). Integrating local knowledge with ChatGPT-like large-scale language models for enhanced societal comprehension of carbon neutrality. *Energy and AI*, 18, 100440.

- Shahbaz, M., Alherbawi, M., Okonkwo, E. C., & Al-Ansari, T. (2024). Evaluating negative emission technologies in a circular carbon economy: A holistic evaluation of direct air capture, bioenergy carbon capture and storage and biochar. *Journal of Cleaner Production*, 466, 142800.
- Boyd, J., Joiner, E., Krupnick, A., & Toman, M. (2024). Policy Incentives to Scale Carbon Dioxide Removal: Analysis and Recommendations. *Resources for the Future: Washington, DC, USA*, 62.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Mehta, N., Moran, D., Al-Muhtaseb, A. A. H., & Rooney, D. W. (2022). Atmospheric carbon removal via industrial biochar systems: a techno-economic-environmental study. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133660.
- DiMartino, B. B. (2023). *Direct Air Capture as a Carbon Removal Solution: Analyzing Scale-Up, Cost Reduction, and Pathways for Acceleration* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Krill, Z., Grundke, R., & Bickmann, M. (2023). Reaching net zero while safeguarding competitiveness and social cohesion in Germany. *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*.