

國家環境研究院
National Environmental Research Academy

氣候變遷研究中心
2024 年度報告
Climate Change Research Center
2024 Annual report



2025 年 2 月

目 錄

壹、前言.....	1
貳、人員組織.....	2
參、業務方向與預算.....	3
一、業務方向.....	3
二、業務預算.....	4
肆、重要成果.....	5
一、淨零政策之環境風險評估(2/4).....	6
二、氣候變遷氣候韌性調適能力建構之應用.....	10
三、建置氣候變遷研究中心智能服務平台先期開發計畫...	13
四、電化學減碳技術效益提升研究計畫.....	16
五、資源循環及減碳效益驗證技術(2/4).....	19
六、溫室氣體通量檢測技術開發驗證及方法制定(2/4).....	22
七、碳封存技術社會溝通平臺建置先期規劃.....	26
八、淨零轉型之綠色通膨影響研究計畫.....	29
九、研提新興中長程個案計畫.....	33
十、擴大合作夥伴與鏈結拓展研究量能.....	35
十一、推動氣候變遷調適科研協作平台.....	44
伍、論文發表.....	46
一、期刊論文.....	46
(一)Development and Application of an Industrial Wastewater Profile Database.....	46
(二)Identification of pollution sources in rivers by downstream analysis of low-concentration elements associated with wastewater.....	47
(三)Establishment of Methods to Identify Pollution Sources in a	

River Reach through Receptor Models.....	48
(四)Influence of magnesium and calcium sulfate whisker on crystallization characteristics of poly (butylene adipate-co- terephthalate) and Poly (butylene succinate).....	49
(五)Synthesis of Poly (Butylene Adipate-co-Butylene-2,6- Naphthalate) Copolymer and Fibers: Characteristics, Thermal and Mechanical Properties.....	50
(六)In-situ Sampling of Solid Recovered Fuel and Recycling Ashes for the Production of Sustainable Binders.....	51
二、非科學引文索引期刊論文.....	52
三、國內外研討會論文.....	54
陸、結語.....	55
附錄一、國際研討會論文	
附錄二、國內研討會論文	

圖目錄

圖 2-1 氣候變遷研究中心組織架構.....	2
圖 3-1 氣變中心未來研究方向架構.....	4
圖 3-2 氣變中心 113 年預算來源占比.....	4
圖 4-1 2024 年淨零政策之環境風險評估計畫執行架構.....	9
圖 4-2 SRF 使用廠污染物排放檢測調查.....	9
圖 4-3 國家氣候變遷智能服務平台規劃.....	12
圖 4-4 調適策略模擬系統原型架構.....	12
圖 4-5 智能服務平台先期開發構想與整體架構規劃.....	15
圖 4-6 國內外平台營運框架蒐整.....	15
圖 4-7 高效率 CO ₂ 轉化為 CO 之觸媒與表面處理技術.....	17
圖 4-8 低能耗之 CO ₂ 轉換模組架構.....	18
圖 4-9 資源循環及減碳效益驗證技術計畫執行架構.....	21
圖 4-10 循環項目驗證需求盤點流程.....	21
圖 4-11 美國溫室氣體觀測相關資訊.....	24
圖 4-12 NOAA 全球溫室氣體通量模式 - Carbon Tracker.....	24
圖 4-13 (a)都市場域通量觀測；(b)掩埋場域通量觀測.....	24
圖 4-14 開放式農地場域通量檢測系統維護及校驗規範.....	25
圖 4-15 民眾溝通暨淨零減碳種籽教師培養.....	27
圖 4-16 「國家碳封存示範場」先期推動規劃.....	28
圖 4-17 國際組織對綠色通膨之估計及分析—IMF.....	31
圖 4-18 各國政府對綠色通膨之估計及分析.....	32
圖 4-19 新興中長程個案計畫規劃架構.....	34
圖 4-20 新興中長程個案計畫與總統裁示之關聯度.....	34
圖 4-21 國環院與中原大學簽署合作備忘錄交換儀式.....	35
圖 4-22 國環院與中原大學簽署合作備忘錄合影.....	36
圖 4-23 國環院與交通部中央氣象署簽署合作備忘錄交換儀式.....	37
圖 4-24 國環院與交通部中央氣象署簽署合作備忘錄合影.....	37
圖 4-25 國環院與國家災害防救科技中心簽署合作備忘錄交換儀式.....	39
圖 4-26 國環院與國家災害防救科技中心簽署合作備忘錄合影.....	39

圖 目 錄

圖 4-27 淨零科技方案架構.....	40
圖 4-28 115-118 資源循環淨零科技擴散應用計畫願景任務.....	41
圖 4-29 全球暖化情境下臭氧與二次有機氣膠之隨機森林預報模型建構與 污染物及其前驅物間之非線性關係探討專題研究計畫規劃.....	42
圖 4-30 廢棄聚酯塑料之高值化再利用多途徑專題研究計畫規劃.....	43
圖 4-31 國家氣候變遷調適科研生態圈架構.....	44
圖 4-32 氣候因應法下科研協作支援國家氣候變遷調適治理.....	44
圖 4-33 氣候變遷調適科研協作平台運作先導計畫推動架構.....	45

壹、前言

氣候變遷 (Climate Change) 是 21 世紀全球面臨的最迫切挑戰之一，其影響範疇不僅限於自然環境，更牽動人類社會的安全與發展。聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於第六次評估報告 (Sixth Assessment Report, AR6) 中明確指出，全球正邁向「氣候緊急狀態」，甚至可能進入「全球沸騰」的危險局勢。

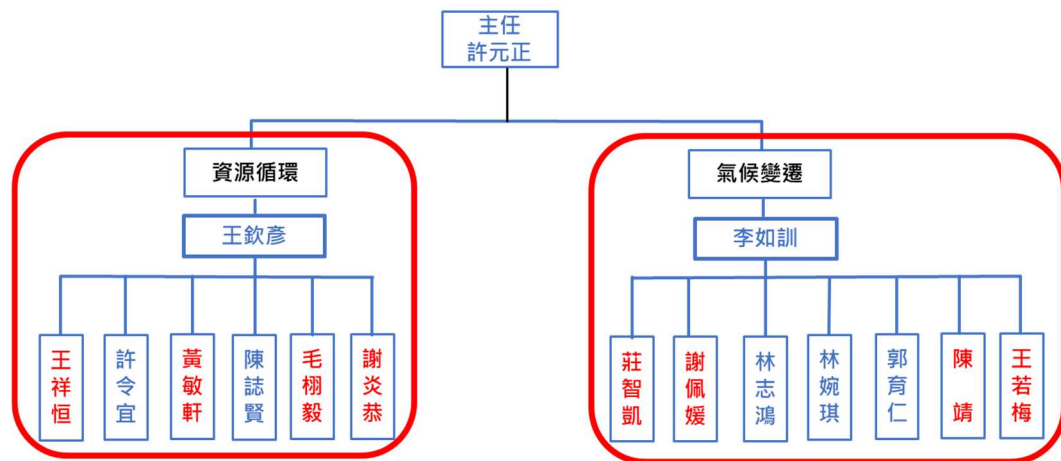
臺灣身為國際社會的一員，在全球氣候行動浪潮中，當以科學為依據，結合創新技術、跨領域合作與全民參與，積極落實減碳目標，並強化韌性以因應日益嚴峻的氣候風險。氣候變遷研究中心隸屬環境部國家環境研究院，作為我國氣候變遷應對的科學智庫，肩負提供專業知識與政策支援的核心使命，將以推動國家邁向 2050 淨零排放為願景，致力深化氣候科學研究、促進技術創新應用，建立永續韌性的生活環境。

氣候變遷研究中心 (下稱氣變中心) 自 2023 年 8 月成立以來，積極透過組織架構與資源配置，針對氣候科學前瞻研究議題，展開多項研究計畫。「2024 氣候變遷研究中心年報」為首次編撰的綜合性年度報告，內容涵蓋組織架構、研究方向與研究計畫等，系統性呈現氣變中心在建構國家氣候因應能力上的初步成果。此年報除記錄成立一年餘來的歷程，更希望促進各界的多元合作與共識，為我國在氣候變遷挑戰中尋找因應的契機與方向。

展望未來，氣變中心將持續以科學研究為基礎，扣合我國環境政策發展方向，聚焦策略性議題，協助我國邁向永續與韌性的目標。

貳、人員組織

氣變中心為環境部（原環境保護署）組織改制，將原環境檢驗所及環境保護人員訓練所整合改組為國環院研究機構而新設置，人員組成採行公務人員與教育人員雙軌制。氣變中心目前現有人力包含進用 8 名教育人員共為 16 人，其中主任 1 人負責氣候變遷研究中心業務之規劃，下設簡任研究員 1 人及特約高級環境技術師 1 人襄助主任推動中心研究與庶務工作，成員包括副研究員 6 人、專員 1 人、助理研究員 6 人進行氣候變遷、淨零排放、資源循環與前瞻科研等研究工作。本中心依組織架構並未分設科別，係依據業務主題臨編為「淨零減緩風險調適小組」（下稱氣變組）與「資源循環前瞻科研小組」（下稱循環組），氣變中心組織架構如圖 2-1 所示。



註：藍色字體為原檢驗所公務人員；紅色字體為新增進用之教育人員

圖 2-1 氣候變遷研究中心組織架構

參、業務方向與預算

一、業務方向

依據國家環境研究院（下稱國環院）處務規程第 6 條規定，氣變中心掌理事項如下：

- （一）氣候變遷調適與溫室氣體減量政策之評估、分析及研究。
- （二）氣候變遷調適及溫室氣體減量科學技術發展之研究。
- （三）淨零排放、資源循環與回收處理利用政策之評估、分析及研究。
- （四）淨零排放、資源循環及回收處理利用技術發展之研究。
- （五）環境風險與衝擊影響評估、控制及溝通技術之研究。
- （六）國內氣候變遷學術機構與相關組織交流合作之規劃、推動及執行。
- （七）其他有關氣候變遷研究事項。

氣變中心為達成國環院賦予之任務，以「智慧調適韌性新里程，循環低碳技術再創新」中心願景，構思規劃未來研究方向與架構（圖 3-1 所示）如下：

- （一）氣候變遷調適策略跨域研究：
 - 1. 氣候風險辨識與調適策略路徑工具開發。
 - 2. 氣候變遷氣候韌性跨域調適能力建構研究。
 - 3. 國家氣候變遷智能服務平台。
 - 4. 氣候調適數位孿生跨領域模擬系統。
- （二）低負碳技術環境衝擊研究
 - 1. 低碳技術布局管理策略研究。
 - 2. 新興低碳技術環境衝擊研究。
 - 3. 新興綠能技術環境衝擊研究。
 - 4. 低碳轉型及調適策略之環境經濟效益影響研究。
- （三）資源循環驗證技術管理精進
 - 1. 資源循環及減碳效益驗證技術。
 - 2. 循環再利用技術環境風險評估。
 - 3. 循環再利用查驗證與技術研究。

(四) 暖化情境與環境碳收支研究

1. 環境碳收支檢監測技術研究。
2. 環境碳收支資料庫建置。
3. 暖化情境下環境碳收支影響研究。

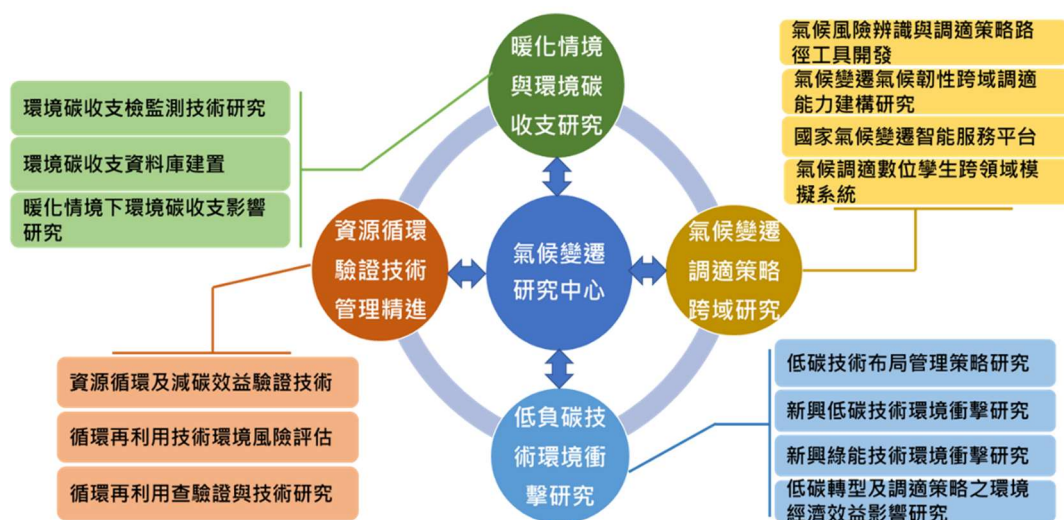


圖 3-1 氣變中心未來研究方向架構

二、業務預算

氣變中心 113 年預算總經費為 60,615 仟元整，其中公務預算 14,500 仟元、科技發展 39,160 仟元、國科會專題研究補助 2,955 仟元及公共建設 4,000 仟元等，各項經費占比如圖 3-2 所示。

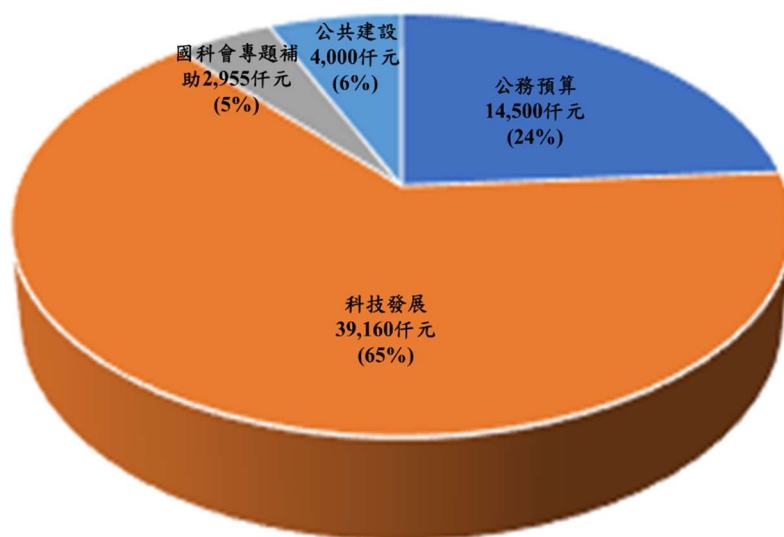


圖 3-2 氣變中心 113 年預算來源占比

肆、重要成果

氣候變遷中心自成立以來，致力推動臺灣的氣候變遷調適與減碳轉型。2024 年共執行了十一項關鍵計畫，其中涵蓋環境風險評估、氣候調適、碳封存、資源循環以及綠色經濟等領域，希望透過科學研究與政策應用，為臺灣淨零永續發展奠基。

在淨零政策方面，環境風險評估計畫針對固體再生燃料（Solid recovery fuel, SRF）使用場域進行污染物排放調查，並提出減少環境衝擊的策略，以確保資源循環與空氣品質並行。氣候韌性調適能力建構則透過數位模擬與智能平台，協助政府、產業與社會大眾提升因應極端氣候的能力。

此外，著手規劃建置的「氣候變遷研究中心智能服務平台」，將透過數據標準化與資訊串接，讓決策者擁有更精確的資訊工具。「電化學減碳技術效益提升」計畫則突破了 CO₂轉換技術瓶頸，透過創新的觸媒材料與低能耗技術，大幅提高二氧化碳轉換效率，為未來碳捕存與再利用提供可行方案。

在資源循環領域，「資源循環及減碳效益驗證」計畫，提升再生塑膠、底渣、橡膠等材料的檢測技術，確保循環經濟能真正落實，減少碳排放。同時，「溫室氣體通量檢測技術開發」計畫建立開放式農地的碳匯監測技術，提供農業減碳策略的重要數據支持。

碳封存技術的社會接受度一直是我們關注的重點，因此我們推動「碳封存技術社會溝通平台建置」，透過國際案例分析與社會溝通，提升大眾對碳封存的認識，並規劃示範場域，為未來碳封存政策鋪路。針對經濟影響部分，「綠色通膨影響研究」計畫分析碳費對消費者物價指數（Consumer Price Index, CPI）影響，以確保減碳政策不致對經濟發展造成過大衝擊。

我們深知，氣候變遷調適需要跨部門、跨領域合作，因此我們推動了「氣候變遷調適與風險韌性跨域應用整合」計畫，建立智能服務平台，發展多元應用工具，以強化臺灣整體氣候調適能力。此外，我們也積極與各界合作，陸續與中原大學、中央氣象署、國家災害防救

科技中心等單位簽署合作備忘錄，共享資源、深化研究，攜手推動氣候變遷應對工作。

在資源循環應用方面，「資源循環淨零科技擴散應用」計畫聚焦全球循環經濟發展趨勢，強化再生材料驗證技術，加速推動低碳產業轉型，讓臺灣能更快達成淨零目標。

每一項計畫都是對臺灣永續發展的承諾，也是跟政府、產業與社會共同邁向淨零未來的重要行動。以下是每個計畫的內容說明，期能透過持續精進研究、強化政策與科技的扣合：

一、淨零政策之環境風險評估(2/4)

Environmental risk assessment of net zero CO₂ emissions (2/4)

(一) 計畫緣起

科學研究證實氣候變遷造成之負面影響已達氣候緊急狀態，引起國際社會、跨國企業及在地團體的重視，各國陸續提出「2050 淨零排放」的宣示與行動。臺灣為共同承擔全球目標，2022 年 3 月國家發展委員會（下稱國發會）公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，擘劃臺灣至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，建構科技研發及氣候法制等兩大面向之治理基礎環境，以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型策略，輔以「十二項關鍵戰略」，就能源、產業、生活轉型等重要領域制定行動計畫，逐步實現 2050 淨零排放之永續社會。十二項關鍵戰略之「資源循環零廢棄」，以「綠色設計源頭減量」、「能資源化再利用」、「暢通循環網絡」、「創新技術與制度」為四大推動路徑，期達成「永續消費與生產」、「提升資源使用效率」、「加值化處理廢棄物」等目標，提升資源生產力同時降低人均物質消費量，打造零廢棄的資源永續循環世代。

推動路徑之「能資源化再利用」即強化原料、再生料及廢棄物分流，加強前端分類與回收，推動可燃廢棄物燃料化、無機廢棄物及化學品廢棄物材料化、粒料化，以及有機廢棄物處理肥料化等。根據環境部 2022 年統計資料顯示，全國一般廢棄物及一

般事業廢棄物總產生量分別為 1,124 萬公噸及 1,593 萬公噸，倘能經過篩選等前處理程序轉換為燃料（waste to fuel, WtF），可降低現有焚化廠及衛生掩埋場之處理及處置量，並能產生熱或電之能源（waste-to-energy, WtE），減少化石燃料使用及降低溫室氣體排放。為提高廢棄物可燃成分資源運用，歐盟近年積極推動將一般家庭、商業或工業廢棄物透過機械處理（mechanical treatment, MT）、機械熱處理（mechanical heat treatment, MHT）、機械生物處理（mechanical biological treatment, MBT）等方式將金屬與有價塑膠等資源回收後，再將不易進行再利用物質之可燃性有機成分（如廢塑料、紙張、紙板、廢橡膠、廢木材及木屑等）均質化，轉製為固體再生燃料（SRF）。2017 年歐盟 MBT 廠家數約 570 座，總處理量約 5,500 萬噸，預計 2025 年 SRF 年產能可達 1,000 萬噸，並針對 SRF 之生產、組成與品質規範（如熱值、氯及汞含量）、採樣與分析方法等訂定相關辦法，如 SRF 品質須符合歐洲標準委員會（Comité Européen de Normalisation, CEN）標準，其目的為 SRF 製造提供明確定義及不同等級 SRF 之組成範圍。

SRF 可用於流體化床鍋爐、水泥旋窯、金屬冶煉業熔爐等設施，具取代部分燃煤效益，並使篩選分類出之廢棄物再利用及轉換為蒸氣或發電。一般廢棄物以焚化爐處理，其發電效率僅約 20%，倘製成 SRF 於專燒爐處理，其發電效率可提升至 30% 以上。SRF 雖可滿足工業燃料需求及廢棄物去化之目的，然其原料來源多元且成分複雜，所需之加熱設施種類及操作條件亦不盡相同，加上既有之燃燒機組非以 SRF 為燃料設計，高比例混燒易遭遇進料系統、排灰系統積灰/結渣、黏壁、爐溫偏移、料況不穩定等問題，導致可能因操作不當產生污染物排放至環境中，對環境及民眾造成危害。故以 SRF 為替代燃料轉換成能源，須同時兼顧友善環境。

2023 年計畫針對 5 家（北部及中部）使用 SRF 為替代燃料之造紙廠及汽電共生廠，進行蒐整建立基礎資料及 7 場次污染物排放調查，研析環境風險評估標準模式之可行性，並完成 2 家

SRF 使用廠之環境風險評估實廠驗證。2024 年計畫研究係延續 2023 年擴大範圍持續進行調查，針對不同地區、行業別、燃燒或製程設施、使用不同 SRF 替代燃料之污染物排放現況調查與環境風險評估，藉以評析使用 SRF 可能產生之環境風險，提供降低污染物環境風險之解決方案，促進淨零與資源循環政策之推行。

(二) 計畫成果摘要

固體再生燃料 (SRF) 可減少垃圾掩埋場負荷，同時降低化石燃料使用進而減少溫室氣體排放。然 SRF 原料來源多元致其成分複雜，燃燒過程可能產生有害污染物對環境造成風險，計畫目的即針對 SRF 使用場域進行污染物排放調查及環境風險評估。本 (2024) 年度共訪廠 15 家，進行蒐整建立基礎資料，並對正常運轉之 11 家 SRF 使用廠家進行 12 場次污染物排放調查工作，檢測基質包含排氣、廢棄物 (飛灰及底渣)、放流水，檢測污染物包含持久性有機污染物 (Persistent Organic Pollutants, POPs) 之戴奧辛/呋喃 (PCDD/Fs)、多環芳香烴碳氫化合物 (PAHs)、重金屬、PSN (粒狀物染物、二氧化硫、氮氧化物) 及塑化劑等。

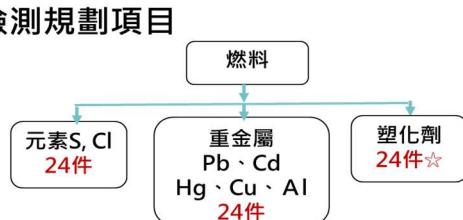
2024 年度針對臺中、雲林等地區使用 SRF 替代燃料廠之排放源，以 AERMOD 進行其 PCDD/Fs、PAHs 及重金屬等污染物擴散沉降模擬分析，作為環境風險評估依據，結果顯示空氣污染防治設備影響污染物濃度甚鉅。另蒐彙及比較歐、美、日環境風險評估模式後，發現其模式皆須使用其內建之參數，且僅可代表歐、美環境特性，而加州多介質模式則可帶入臺灣本土環境參數分析，並利用蒙地卡羅分析降低不確定性，在 Tier 1 環境風險推估結果，於不同廠區中，對不同介質 (土壤、水體、底泥) 中之化學物種 (PCDD/Fs、PAHs、重金屬) 推估環境風險危害商數 RQ 值皆小於 1，推測危害商數結果與經大氣擴散模擬及多介質計算後之預測環境濃度 (PEC) 有顯著相關，各廠各介質之 PEC 與 RQ 值之風險分布情況呈現一致，顯示目前尚無立即執行生態風險評估之需要。

關鍵詞：環境風險評估、淨零、固體再生燃料



圖 4-1 2024 年淨零政策之環境風險評估計畫執行架構

1. 燃料檢測規劃項目



2. 污染物排放檢測規劃項目



圖 4-2 SRF 使用廠污染物排放檢測調查

二、氣候變遷氣候韌性調適能力建構之應用

Application Plan for Building Climate Resilient Adaptation Capacity for Climate Change

(一) 計畫緣起

臺灣四周環海，面對全球暖化導致的氣候變遷衝擊更是日益嚴峻，且近 50 年呈現加速趨勢。氣候變遷之極端氣候事件、海平面上升、旱災、極端降雨頻率增加、颱風強度增強等變化，對社會、經濟和環境造成深遠影響，相較以往偏重減緩溫室氣體，2015 年巴黎協定後，國際間越來越重視同時推動與落實減緩和調適，如何因應氣候變遷韌性調適行動已是關鍵議題。氣候變遷調適為跨部門、跨領域的複雜議題，涉及面向包含科學研究、社會經濟及生態環境等，需透過跨領域合作及系統化擬定調適行動計畫，有效降低災害風險、提升社會韌性、保護環境資源，將氣候變遷衝擊之威脅減至最低，促使朝向永續發展邁進。落實氣候變遷韌性調適方案需全體國民共同參與行動，須在多維度上強化調適能力，包括跨時間、跨空間、跨部會、跨層級及公私部門協同合作，並納入環境保護、社會責任、企業治理（Environment; Social; Governance, ESG）永續概念，以實現更全面和長遠之永續發展目標。跨維度協調治理框架需結合數位科技，為氣候變遷調適提供更具前瞻和科學之支援，發展跨領域智慧數位模擬技術有助於全面且精確地評估氣候變遷產生之實體風險，並透過建立虛擬氣候系統模型，模擬不同情境之變化，尋求最佳韌性調適方案。

計畫透過研究發展全方位調適治理框架和策略，促進各部會、政府層級、產業、學術和社會大眾共同參與。計畫主要執行內容為規劃氣候韌性調適策略模擬系統架構與發展路徑；氣候變遷調適數位服務推動策略。包含評估數位科技應用於氣候變遷之研究發展，提供更準確、即時資訊和解決方案；跨領域模擬分析技術將預判氣候變遷衝擊影響，提前研訂因應方案和措施，提升應對效率降低災害損失；規劃氣候變遷智能服務平台，為政府、學界、產業和社會提供資訊、知識、工具、案例及指引等支援，

研擬合適氣候變遷調適策略。

(二) 計畫成果摘要

氣候變遷引發極端氣候事件、海平面上升、澇旱災及熱浪等一系列衝擊變化，對臺灣社會、經濟與環境產生深遠影響，科學化、系統化制定調適行動方案已極為重要。計畫蒐彙各國相關氣候調適科研知識、工具、技術及應用服務等最新發展趨勢，深入研析涵蓋能力建構、農業、生態環境與能源等領域，掌握國際先進科研技術，為國內參據與引進提供基礎資訊，提升國內韌性調適能力。彙整組織及利害關係人提供應對氣候變遷之決策支援、規劃與行動建議等具體服務作法。完成建立氣候韌性調適策略模擬系統框架，確保跨領域調適策略一致性及可操作性，提供未來發展數位孿生技術基礎架構，擬定現階段發展策略之詮釋模式（meta model）架構，串接運算模式，規劃設計互動式操作介面，提供使用者較佳操作體驗。策略擬定詮釋模式部分，完成主要用於評估跨領域系統性氣候風險及其調適選項之相互關係與優先順序，運算模式則整合各領域評估模型及氣候模式之高效能運算，進而規劃適合之調適路徑，以應對日益複雜之氣候風險。

此外，氣候實體風險評估與調適擬定流程架構以《氣候變遷因應法》施行細則為依據，結合氣候調適演算法，將實體風險界定、評估、管理及調適行動擬定流程進行標準化，針對中央和地方政府、產業部門等決策者提供科學化、實用性之應用參考，研擬制定客製化風險評估與調適治理框架建議，協助決策者更清晰識別實體風險缺口，並進一步輔助其制定進行風險管理與調適策略，提升政策執行的精準性與效率。另協助規劃國家氣候變遷智能服務平台，整合國內氣候變遷調適相關科研數據、資訊、知識、智慧、技術、工具及指引等，提供各層級決策者進行實體風險評估與調適策略制定時之全面性參據與應用。

另產業治理指引部分，完成產業實體風險評估需求盤點，依循風險界定、衡量與管理三大階段，深入分析各階段資料蒐集、

資訊轉化、評估方法與工具應用、知識建構的需求與流程，並與氣候調適演算法結合，研提綜合性產業實體風險評估與韌性調適治理指引建議。促進臺灣跨層級與跨領域的協同應對能力，為我國應對氣候變遷挑戰奠定堅實治理基礎與行動框架。計畫蒐彙國際相關數位服務案例，獲取有關氣候數位服務資訊，透過氣候變遷韌性調適數位服務推動策略座談會，彙整專家學者、產業代表等意見交流，藉以規劃發展國家氣候變遷智能服務平台，促進資源分享和知識交流，提供智慧之風險評估與韌性調適工具，協助使用者有效面對並管理氣候變遷的威脅和挑戰。

關鍵詞：氣候變遷、實體風險、韌性調適

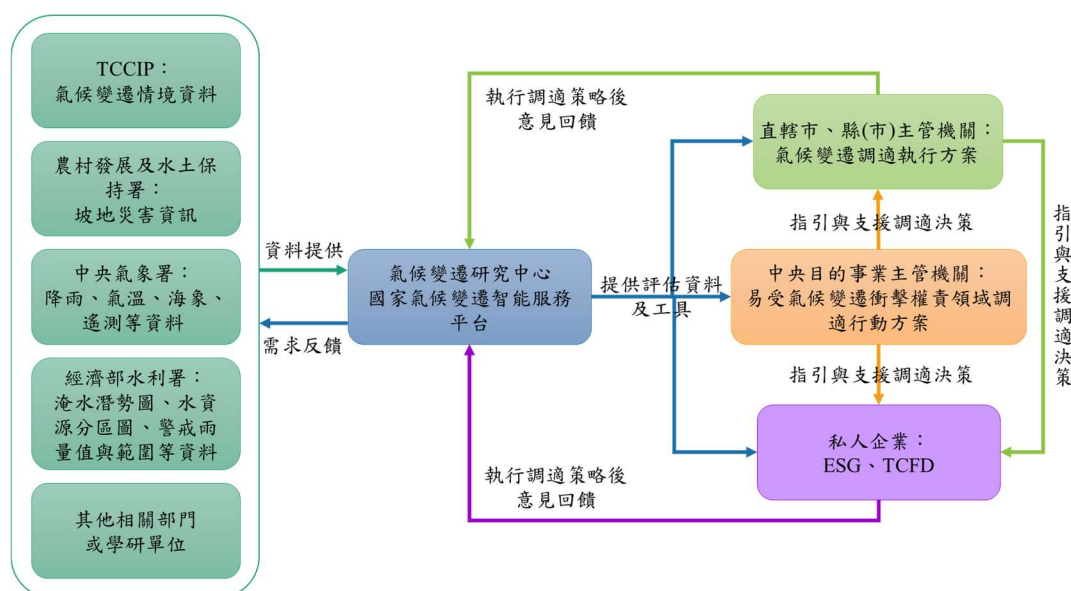


圖 4-3 國家氣候變遷智能服務平台規劃



(圖源：DALL·E3)

圖 4-4 調適策略模擬系統原型架構

三、建置氣候變遷研究中心智能服務平台先期開發計畫

Preliminary Development Plan for Establishing an Intelligent Service Platform of Climate Change Research Center

(一)計畫緣起

面對氣候變遷所帶來的風險與影響範圍與日俱增，我國於 2010 年開始建立國家氣候變遷調適推動機制，成立專案小組以健全我國因應氣候變遷之能力，並於 2012 年通過「國家氣候變遷調適政策綱領」。綱領初步揭示臺灣未來面對氣候變遷時，調適措施上的願景、目標、策略、各部會的工作架構。據此綱領，2014 年政府展開第一期的「國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)」，分成 8 個領域進行，由各權責機關協力推動氣候變遷調適行動。環境部（原行政院環境保護署）作為推動主要調適措施權責機關之一於 2017 年依「溫室氣體減量及管理法」，報請行政院核定「國家因應氣候變遷行動綱領」，成為我國推動氣候變遷調適政策總方針的機關。國家氣候變遷調適行動計畫已進入第三期（111~115），面對氣候變遷議題，亦需要跨領域、跨層級、公司協力多方合作方能達到最大效益，同時，在防範氣候變遷所帶來的氣候風險上，各項管理政策推動仰賴環境科學之研究數據。然而，目前國內之相關數據、評估參數、仍分散於各主管單位，且資料交換格式、機制不一，因此，透過蒐整國內各類氣候變遷調適資訊來建置氣候變遷調適平台為當務之急。

國環院氣變中心成立初衷在以科學基礎方法與數據，提供跨領域、跨層級、公私協力的專業知識和創新技術，支援中央各部會、地方政府、社區與企業以應對氣候變遷方面的決策和行動，並減少日益嚴重的氣候變遷問題。在調適資訊揭露上，氣變中心以數據做為核心，利用數位服務將氣候資料轉換為風險資訊，輔助使用者將科學資訊進行量化評估，並蒐整提供前瞻性調適策略及作業指引。氣變中心期能透過數位服務功能整合各相關領域專業及開放性資料，並使各層級（民眾、政府、產業、學術界）更能全面瞭解氣候變遷可能造成的衝擊影響，及早擬定氣候變遷韌

性調適策略。計畫進行「氣候變遷中心智能服務平台」先期規劃建置，透過平台建置及未來韌性調適各項工具服務，提供各層級預先掌握氣候變遷所帶來之挑戰與機會。

(二)計畫成果摘要

智能服務平台先期開發為因應氣候變遷議題與我國調適政策需求所推動計畫，計畫目的在於建構整合性智能服務平台，支援國家氣候變遷調適決策與管理工作。計畫蒐整國內外氣候變遷調適平台之功能架構、服務與資料管理現況，建立「氣候變遷研究中心智能服務平台」營運框架，包含完成國內外相關平台功能與服務分析、建立平台服務定位與功能架構藍圖及完成服務項目與功能模組規劃，另檢視我國現有氣候變遷韌性調適管理體系，分析跨部會協調整合機制的運作現況，作為規劃參考依據。

計畫完成規劃智能服務平台資料庫結構、詮釋資料庫(Metadata)架構設計及資料管理形式、資料交換中心(One Hub)服務框架先期架構規劃與研析，標準化資料格式處理與品質管理及交換機制，確保平台能提供可靠且一致的資訊服務。在系統建置方面，完成建立初步氣候變遷韌性調適知識庫，並透過分眾概念，建立分眾使用者服務架構與整合各類氣候變遷調適知識等核心功能，提供產業調適作業指引。另設定產業調適範例，將氣候變遷影響展示於圖台，凝聚圖台未來對氣候情境應用呈現與發展方向，完成產業調適案例建置及開發氣候變遷影響展示圖台。計畫亦設計建立資訊權限管理機制，確保智能服務平台系統之權限管理、作業環境、資料備份、資訊安全等穩定運作。另蒐集「強化全國環境檢測智慧轉型計畫」產製噪音感測器數據來源、數據保存情形及其資料格式等，彙整相關資訊及研析可行資料傳輸規範，研析資料傳輸標準及建立數據保存與格式規範。

為確保平台實用性與永續營運，同時規劃完整教育訓練課程，協助使用者熟悉系統操作。計畫整體成果完成建立氣候變遷研究與調適工作的重要基礎設施，並提供關鍵資訊支援工具為我

國因應氣候變遷挑戰，提升國家氣候韌性具有重要貢獻。

關鍵詞：氣候變遷韌性調適、資訊整合、地理資訊系統



圖 4-5 智能服務平台先期開發構想與整體架構規劃



圖 4-6 國內外智能平台營運框架蒐整

四、電化學減碳技術效益提升研究計畫

Study on the Enhancement of Electrochemical Carbon Reduction Technology

(一) 計畫緣起

近年全球社會為因應氣候變遷加劇，各國對減緩溫室氣體排放之需求日益迫切，「2050 淨零排放」已為國際共同追求目標，期將人類活動產生之溫室氣體淨排放量降至零，從而減輕對環境之衝擊。2015 年簽訂之巴黎協定是重要里程碑，期能共同遏阻全球暖化趨勢，減少溫室氣體排放量，避免全球平均氣溫升幅持續升高。二氧化碳 (CO₂) 是溫室氣體最大來源，倘須於 2050 年前實現淨零之減緩目標，減少溫室氣體排放已為國際趨勢。二氧化碳捕捉、封存及再利用 (Carbon Capture, Storage, and Utilization, CCSU) 技術被視為實現淨零目標的技術之一，CCSU 透過捕捉工業和能源活動中排放之二氧化碳，將其永久封存地下或用於生產有價值產品，不僅可顯著減少溫室氣體排放，亦能促進低碳經濟發展。隨著技術進步和政策推動，CCSU 逐漸成為實現能源轉型、減少碳足跡而需迫切發展和研究的課題之一。

淨零轉型是臺灣未來發展的核心目標。2021 年政府宣布 2050 淨零排放目標，國家發展委員會提出《2050 淨零排放路徑圖》，減少高碳產業排放並推動能源結構轉型。環境部統計 2021 年二氧化碳排放量約為 2.5 億公噸，主要來自能源部門 (占比約 87%)，其次為工業製程及農業活動。高耗能產業如鋼鐵、水泥和石化等，為溫室氣體主要排放來源。此外，在能源結構中化石燃料佔大宗，尤以煤炭和天然氣之使用，進一步加劇碳排放壓力。在此背景下，CCSU 技術被視為降低工業及能源部門碳排放的重要技術，為臺灣實現淨零願景提供技術可行性。計畫目的期開發高效率 CO₂ 轉化為 CO 之觸媒材料與表面處理技術；發展低能耗高價值陽極系統；CO₂ 轉化模組驗證。實現淨零負碳排放目標。

(二) 計畫成果摘要

臺灣淨零碳排目標依循國際能源總署 (IEA)、美國、歐盟等

淨零排放能源路徑進行規劃，期於 2030 年前以可行性減碳措施為規畫主軸，致力減少能源使用與非能源使用的碳排放為主。且臺灣於 2050 每年需以負碳排技術(碳捕捉再利用及封存(CCUS))處理超過 40.2 百萬公噸的 CO₂，才能達到淨零碳排。目前現有之電化學進行 CO₂ 轉換之負碳技術仍面臨 CO₂ 轉換成 CO 之能耗過高，且陰極碳布之貴金屬觸媒成本過高且轉換效率低，未能符合負碳需求；另 CO₂ 電化學轉換之陽極副產物（一般為氧氣）其產品價值過低，導致廠商無意使用。本計畫研究期以低能耗之 CO₂ 轉化模組，使 CO₂ 轉化技術能盡早達到負碳之產業。

本研究在氣體擴散碳布上藉由獨創化學接枝及雙面異質親疏水處理技術，將觸媒以化學接枝濕製程沉積於陰極碳布上，面積可提高至 $\geq 400 \text{ cm}^2$ ，取代傳統 PVD 製程，製程成本可降低 20 倍，並藉由雙面異質親疏水處理，提高 CO₂ 轉化為 CO 之效率達 85%，除此之外；本技術將開發其他替代之陽極氧化半反應，將氧化半反應之電壓降低至 1.35V 以下，使反應所需的電力能耗相比於採用傳統氧化半反應之系統，不但能降低電化學二氧化碳轉化反應，同時解決負碳技術面臨之能耗與產品價值問題，將 CO₂ 轉化落實為淨負碳排技術，最後透過 CO₂ 轉化成 CO 進行模組驗證，串聯觸媒面積 100 cm^2 之 CO₂ 轉化模組，CO₂ 處理量達 1 噸/年。

關鍵詞：電化學、二氧化碳轉換效率、陰陽極觸媒沉積反應

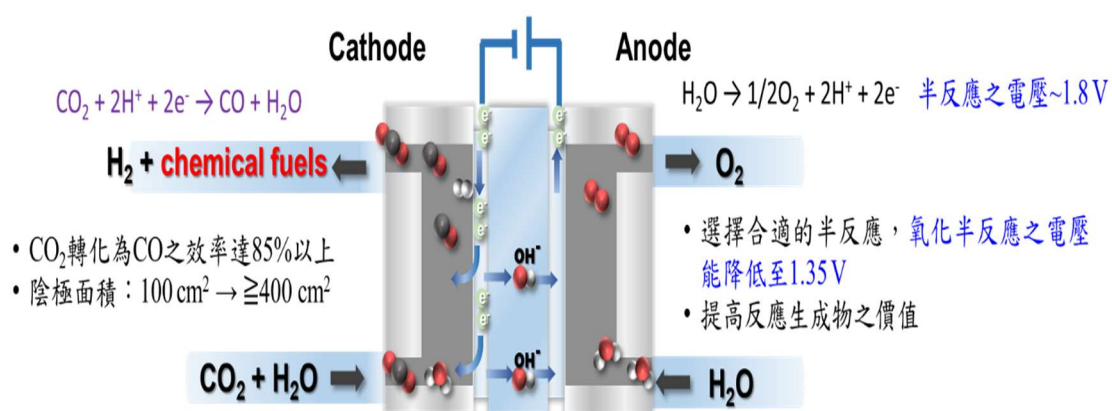


圖 4-7 高效率 CO₂ 轉化為 CO 之觸媒與表面處理技術

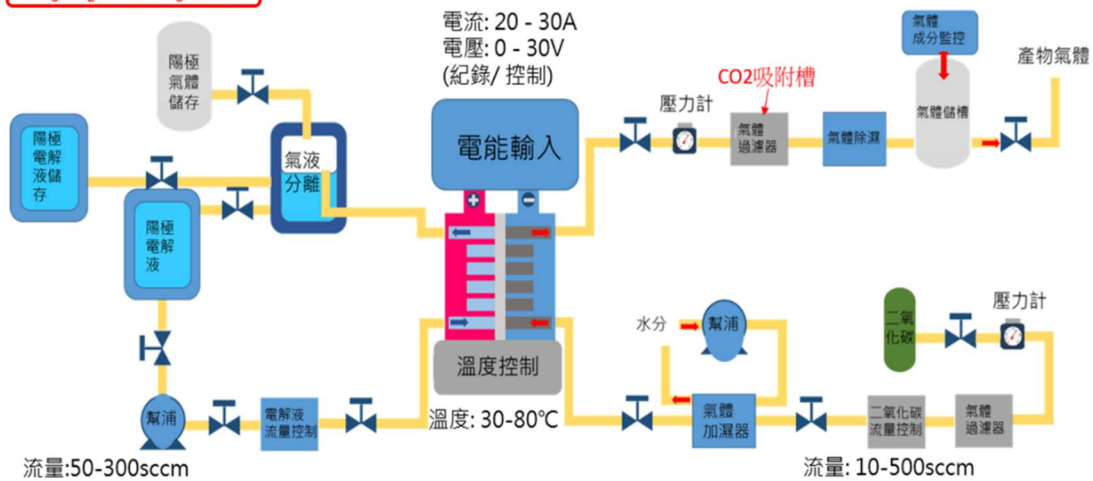


圖 4-8 低能耗之 CO₂ 轉換模組架構

五、資源循環及減碳效益驗證技術(2/4)

Resource circulation and verification technologies for carbon reduction benefits (2/4)

(一) 計畫緣起

為實現聯合國於 2021 年提出之 2050 淨零碳排放目標，國內外眾多企業已將循環經濟理念融入其永續發展藍圖，各國亦將循環經濟視為推動未來經濟發展的新動能。與傳統專注於污染防治和廢棄物管理之環保措施不同，循環經濟更強調透過資源循環創造新的經濟價值。近年各國陸續頒布與資源循環相關政策與法令，並依據法令制定多項行動方案。為響應國際淨零碳排放目標，我國國家發展委員會於 2022 年 3 月公布臺灣 2050 淨零排放路徑，並針對推動 2050 淨零轉型，提出「十二項關鍵戰略」，其中「資源循環零廢棄」即列為核心策略之一。在國際趨勢與推動國內戰略願景下，臺灣應加速完善資源循環發展規劃，確保行動方案有效落實，同時提供多元化減碳技術與驗證，鼓勵各界展現減碳成效並促進永續發展。

國環院於 2023 年度即積極投入資源循環與淨零排放發展藍圖，並以毒性程度、產量規模及政策需求等多層面評估，篩選出 10 項優先發展項目。同時針對環境部資源循環署推動之固體再生燃料 (SRF) 與再生塑膠等領域，展開相關減碳效益技術研究。在固體再生燃料方面，採用國際標準 ISO 21644:2021 中四種不同方法，對國內 30 批次 SRF 進行測定，綜合技術門檻與建置績效之研究結果，建議國內下階段需建立低背景液體閃爍器技術，作為生質碳比率檢測之重要工具。另在再生塑膠領域，根據英國標準方法 BSI Flex 6228: v2.0，對聚對苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET) 酯粒及再生 PET 產品進行測試，其定性準確率達 85% 以上。2024 年度計畫目的聚焦於 4 項資源循環之優先發展項目，提出國際回收制度框架，並研擬資源循環及減碳效益驗證機制，同時持續提升資源循環材料驗證之準確性與流程，包括提升再生 PET 酯粒及再生 PET 產品之辨識技

術。此外，將建立國內低背景液體閃爍器生質碳檢測能力，作為支撐我國資源循環與減碳路徑推動的重要技術後盾，促進永續發展目標實現。

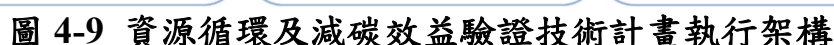
(二) 計畫成果摘要

計畫依據國環院 2023 年訂定資源循環與淨零排放技術發展藍圖，推動資源循環利用建構與減碳效益驗證制度。針對短中期 10 項循環項目中篩選 4 項進行深入研究，並輔以 5 項質化指標（供應鏈需求、國外法規規範、國內政策需求、綠色費率影響、環境污染風險）及 3 項量化指標（申報量、再利用量、再利用率）進行綜合評估。篩選循環重點項目包括熱塑性塑膠、底渣、橡膠殘餘物、飛灰、紡織品、循環建材及戰略性材料等，針對其國內驗證需求及技術發展進行研擬。

計畫研究顯示國內目前底渣驗證機制已較完善，其他循環項目則仍需針對再生材料之科學檢測技術、數位化流向追蹤管理系統及基線研究等進行突破。如針對塑膠循環材料之驗證技術，研究透過國內再生塑膠供應鏈訪查，蒐集塑膠特性影響因子、製程與產品用途等資料，結合事業廢棄物申報系統，分析 2022 至 2023 年間主要塑膠類廢棄物的申報數據。樣品採集後，利用 BSI Flex 6228 方法建立我國原生與再生 PET 酯粒的特徵數據，並進一步評估方法之準確性。結果顯示 BSI Flex 6228 對 17 件原生酯粒準確率為 76%，對 8 件再生酯粒準確率為 100%。針對部分誤判問題，研究創新採用熱示差掃描儀分析技術，透過結晶溫度與熔融峰的 α 峰進行補充定性分析，成功將原生與再生 PET 酯粒的準確率提升至 100%。此外，計畫亦完成高溫燃燒爐與低背景液體閃爍計數器之建置，發展生質碳比率檢測方法，並應用於資源循環燃料的分析。該方法在固體燃料樣品之準確度（絕對誤差）達 30%，精確度（標準差）為 20%。未來倘需應用於液體燃料或化學品等不同基質，則需進一步驗證與技術調整。

另計畫成果經由專家諮詢會進行交流與審議，形成具體政策

關鍵詞：資源循環、再生塑膠、生質碳含量



六、溫室氣體通量檢測技術開發驗證及方法制定(2/4)

Formulation of Measurement guidelines for Development and Validation of Greenhouse Gas Flux Observation Technology (2/4)

(一) 計畫緣起

為實現「2050 淨零排放」政策目標並符合《氣候變遷因應法》之相關規範，政府各部門積極透過強化法規與政策機制，以應對全球氣候變遷之挑戰。大氣中之溫室氣體具有較長生命週期，目前監測之濃度為長期累積結果，無法有效呈現特定區域（如碳源與碳匯）之短期排放變化與減量成效。現階段尚無簡單、完整且可靠之精確技術監測二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）及一氧化二氮（N₂O）等溫室氣體排放通量，亟需發展相應之檢測技術以提升監測精度與應用可行性。

計畫目的在開發適用於開放場域之溫室氣體通量檢測技術，並透過技術研發、驗證與方法建構，提升農業活動對溫室氣體排放之短、中期影響的評估能力。2023 年計畫已針對國內外溫室氣體排放現況與通量測量技術發展趨勢進行資料蒐集，並彙整不同環境場域之通量檢測文獻與實際應用現況。另參酌國際通量監測網絡（如 ICOS、AmeriFlux 及 AsiaFlux）之測站驗證規範，建立溫室氣體通量檢測儀器之精密度與再現性測試程序，另建立適用於開放場域之 CO₂、CH₄及 N₂O 通量檢測方法。為進一步提升檢測技術之準確性與應用效能，2024 年聚焦於開放式農地（open farmland）場域，建立該場域之溫室氣體通量檢測技術、測試系統、操作規範及儀器維護與校驗標準，並編撰溫室氣體通量檢測指引，透過農地減碳情境測試，驗證不同農業管理措施對碳匯之影響，提供相關部門作為未來開放式農地碳匯評估與政策制定之參考依據。

(二) 計畫成果摘要

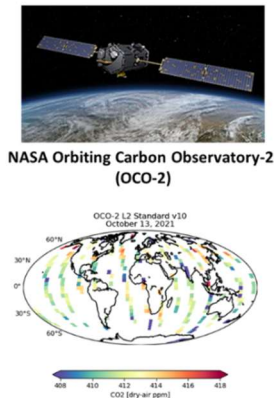
為實現 2050 年淨零排放目標，我國於 2023 年 2 月正式公布施行《氣候變遷因應法》，透過強化法規與政策，積極應對全球日益嚴峻的氣候變遷挑戰。相較於單一排放源可透過碳盤查建立排

放數據，開放式場域之溫室氣體收支變化須賴精確監測與調查，不僅是實現淨零碳排放的重要步驟，亦用以評估農業活動對溫室氣體排放的短期與中期影響，進而科學依據供研訂合理政策。2024 年計畫完成彙整全球主要通量網絡資訊，包括全球通量觀測網（Fluxnet）、橡樹嶺國家實驗室生物地球化學動態檔案中心（ORNL DAAC）及各區域通量網絡（如 AmeriFlux、ICOS、OzFlux、AsiaFlux 及 ChinaFlux）等，並對其通量網絡設立宗旨、現況及未來應用進行系統評估，另研析近 20 篇相關溫室氣體通量監測文獻，涵蓋亞洲地區（韓國、日本及新加坡）都市環境通量監測、農業場域氮肥施用與田間作業對二氧化碳（CO₂）及氧化亞氮（N₂O）排放之影響及森林系統 N₂O 通量監測等，摘述其關鍵研究成果。此外，對各類溫室氣體監測技術方法進行探討，包括渦流相關法與密閉罩法在 N₂O 與 CH₄ 通量測定之差異，並評析衛星遙測與飛機航測技術在溫室氣體監測之應用。

針對開放式農地場域溫室氣體通量檢測指引草案編撰，參考 ICOS 與國際通量測站架設規範，初步完成指引架構與內容，涵蓋主要章節包括典型通量監測計畫工作流程、溫室氣體通量監測系統架設、適用範圍、場域選擇、通量塔設置、監測系統維護方法、數據品質校驗方法、結果處理及基礎設備材料與人力需求配置等。現地試驗於開放式農地場域建置 CO₂、CH₄ 及 N₂O 等 3 種溫室氣體通量監測系統，並以「移除稻稈及間歇性灌溉」作為農地減碳情境測試，完成開放式農地碳匯策略之驗證與評估分析，另舉辦兩場技術擴散暨教育訓練工作坊，以提升相關研究與技術的推廣應用。計畫成果不僅提升我國對開放式農地場域溫室氣體監測之監測技術能力，亦為制定農業減碳策略發展及碳驗證標準等政策提供具體科學依據。

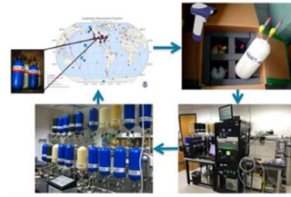
關鍵詞：溫室氣體、渦流相關法、開放式農地

■ 衛星(NASA)

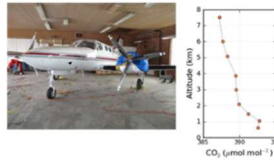


■ Global Greenhouse Gas Reference Network (NOAA)

✓ 地面觀測 (Flask Sampling)



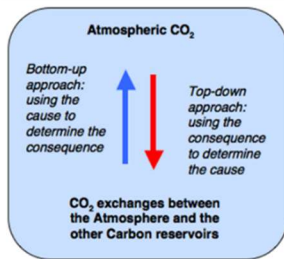
✓ 飛行觀測 (Flask Sampling)



✓ 觀測站(背景及高塔)



圖 4-11 美國溫室氣體觀測相關資訊



- 以濃度觀測為基礎，結合大氣傳輸模式解析網格排放量

- 綜整全球陸域系統排放量、海氣交換、火災及森林變遷、化石燃料使用等全球資料庫或是國家清冊進行初始模擬，再採觀測資料進行最佳化調校

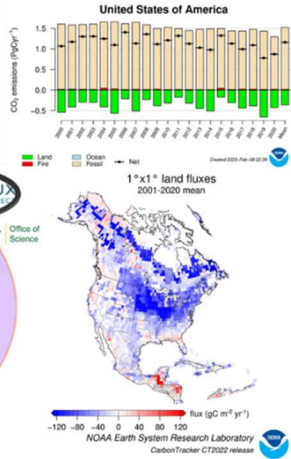
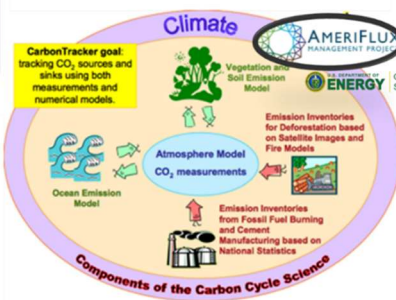
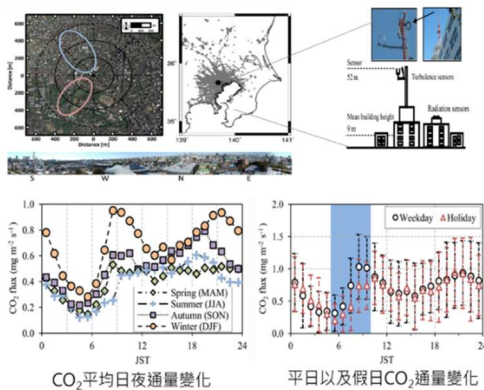
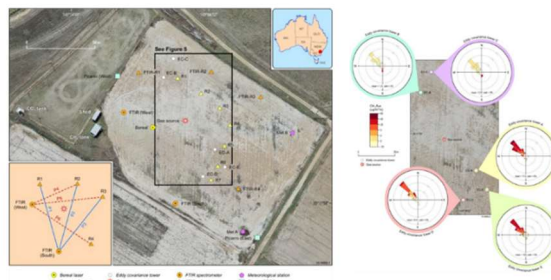


圖 4-12 NOAA 全球溫室氣體通量模式 – Carbon Tracker



(a)

Hirano et al., (2015)



(b)

Feitz et al. (2018)

圖 4-13 (a)都市場域通量觀測；(b)掩埋場域通量觀測

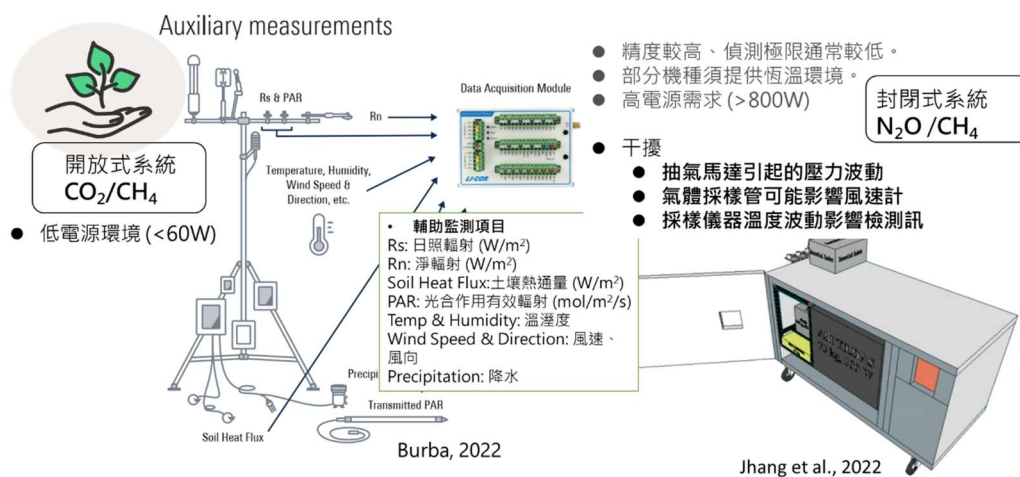


圖 4-14 開放式農地場域通量檢測系統維護及校驗規範

七、碳封存技術社會溝通平臺建置先期規劃

Advance planning for the establishment of a social communication platform for carbon storage technology

(一) 計畫緣起

臺灣於 2023 年正式將「2050 淨零排放」納入《氣候變遷因應法》，作為政府未來施政的重要目標，而二氧化碳（CO₂）捕捉、利用及封存（Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS）技術，被視為「十二項淨零碳排關鍵戰略」中實現減碳與負碳的重要技術之一。政府規劃於 2030 年與 2050 年分別達成 1.76 至 4.60 百萬噸及 40.2 百萬噸的年度碳捕捉、利用及封存目標，並評估至 2050 年開發 20 至 40 個年封存達百萬噸以上等級之碳封存場。國際上雖有多個商轉、年封存百萬噸等級以上之碳封存場，其有效性與安全性已獲得實證。然而，在全球與臺灣的碳封存推動過程中，仍面臨諸多非技術性挑戰，主要為社會大眾對碳封存技術原理之理解有限，加上鄰避效應（Not In My Back Yard, NIMBY）及對碳封存風險過度放大擔憂，成為落實政策之阻礙。2012~2013 年間，臺灣中油公司曾在苗栗永和山枯竭天然氣田內，於 3,200 公尺深的打鹿砂層進行 CO₂ 地質封存試驗計畫，並成功灌注 300 公噸 CO₂，嘗試應用於枯竭氣田的天然氣增產（CO₂-EGR）及地質封存之試驗計畫，後因媒體負面報導及民眾疑慮，導致試驗計畫中止。此案例顯示，推動碳封存技術前須優先建立公眾信任，透過完善的風險溝通與社會參與機制，提升民眾對 CCUS 技術之接受度，方能確保碳封存技術順利推行，進而有效促進臺灣達成 2050 淨零排放目標。

(二) 計畫成果摘要

計畫針對國內碳封存技術發展進行廣泛資料收集與分析，涵蓋法規與實場案例、科普教育、試驗模場規劃及國際交流等關鍵議題。完成檢視國際碳捕存相關法規與文獻，探討國際法規發展趨勢、國內法規現況、美國環保署地下注入管制計畫（UIC Program）及民眾對碳封存技術之接受度，提供政策發展之參據。

此外，完成蒐彙分析包括日本 Nagaoka (10,400 噸)、德國 Ketzin (67,271 噸) 及澳洲 Otway (65,000 噸) 等國際碳封存試驗案例，研析潛在風險及環境衝擊管理對策，以作為國內試驗規劃之依據。研析結果顯示，各案例均透過嚴謹之監測機制與風險管理措施確保碳封存的安全性與環境可接受性。科普教育之探討，透過建立教育場域與科普推廣活動，針對不同年齡層與族群進行知識普及，並盤點關鍵議題以支援政策制定與推動，提升民眾對碳封存技術認知以降低社會大眾。試驗模場之先期規劃，分析基於反射震測與井下資料，評估 R2 封存系統之地質條件，結果顯示該區域地層結構完整，封存空間厚度超過 500 公尺，具備良好的碳封存潛力。另初步規畫試驗模場之鑽井及地表設施規劃參考國際標準與案例，確保設計與監測的科學性，並依規劃工項進行成本分析與評估，提升試驗計畫之可行性與經濟效益。國際合作前期規劃成果，參訪美國中西部地區碳倡議 (Midwest Regional Carbon Initiative, MRCI) 會議，與碳封存領域的關鍵人物建立合作關係，並瞭解美國透過能源局補助碳封存選址及開發，提供我國參酌該政策，促進 CCS 技術發展，參訪 IL-CCS Project (Illinois Industrial CCS project, IL-ICCS) Decatur 場址，瞭解其監測技術及設置碳封存教育中心，以及其促進社會與當地居民對碳封存技術之認識。計畫研究成果為國內碳封存政策與技術發展提供重要參考，進一步支持碳中和目標之實現。

關鍵詞：碳封存、碳捕存法規發展、民眾教育、國際交流



圖 4-15 民眾溝通暨淨零減碳種籽教師培養

桃園市環保科技園區是台灣地區建置「國家碳封存示範場」最佳地點

- 地質條件優且地震少，安全性高
- 接近CO₂排放源，捕碳就地封存。
- 有效降低空汙，有益市民健康。
- 示範場位於岸邊，封存於地下CO₂回向外海移棲。
- 利用永續資源館進行環教與科普、公民科學。

官學民合作打造永續科技城市

環境部：相關法規訂定及建置經費

桃市府：示範用地及行政支援

中央大學：專業技術及監測

民意代表和民眾：參與及監督

- 促進跨領域對話
- 科普知識轉譯
- 再次檢視雙方合作事宜進度及滾動式調整

與社區市府相互信任
推動各環境方案

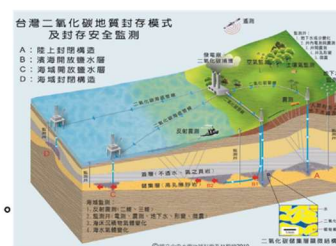


圖 4-16 「國家碳封存示範場」先期推動規劃

八、淨零轉型之綠色通膨影響研究計畫

Green Inflation Impact Analysis for the Net Zero Transition

(一) 計畫緣起

氣候變遷與環境問題日益嚴峻之挑戰，全球對於「減碳」、「淨零」與「永續轉型」等環保議題之關注與日俱增。根據淨零追蹤網站（Net Zero Tracker）至 2024 年 9 月之統計，全球已有 147 個國家提出淨零碳排放或氣候中和目標，涵蓋全球 93% 之國內生產總值（Gross Domestic Product, GDP）。其中，約 75% 之國家已將淨零目標納入法律或政策文件，以確保氣候行動的落實。為實現淨零與永續發展目標，各國相繼推出碳邊境調整機制、碳定價及永續金融等氣候政策，隨著相關政策迅速推展，對引發「綠色通膨」之疑慮亦隨之增加。

「綠色通膨」經常被視為經濟轉型過程之必要成本，成為各國推動氣候政策時的重要挑戰之一。在此背景下，臺灣於 2021 年 4 月正式宣示 2050 年淨零轉型目標，並於 2022 年 3 月發布「2050 淨零排放路徑」，規劃「12 項關鍵戰略」，涵蓋能源、產業、生活及社會等四大轉型策略，以整合跨部會資源，並透過具體行動方案落實長期淨零轉型願景。隨著我國碳管理制度逐步由「自願減量專案」與「抵換專案」等非強制性獎勵機制，轉向納入法規要求與碳稅徵收的強制性機制，使得綠色通膨與公正轉型等議題逐漸浮現，引發社會與企業對於政策影響之關切與憂慮，甚至可能影響碳管理制度之推行時程與強度。計畫由經濟學理論探討通貨膨脹成因與影響，進一步明確界定綠色通貨膨脹概念。其次，透過國際組織與主要經濟體案例分析，探討全球對綠色通膨之關注與發展現況，並蒐彙已實施碳定價制度之國家與地區，分析其對綠色通膨的評估方法及評估結果。透過蒐整各國與綠色通膨相關之政策，研析國際綠色通膨趨勢，並探討適用於臺灣之綠色通膨估算工具與方法論，提供未來政策規劃之參考依據。

(二) 計畫成果摘要

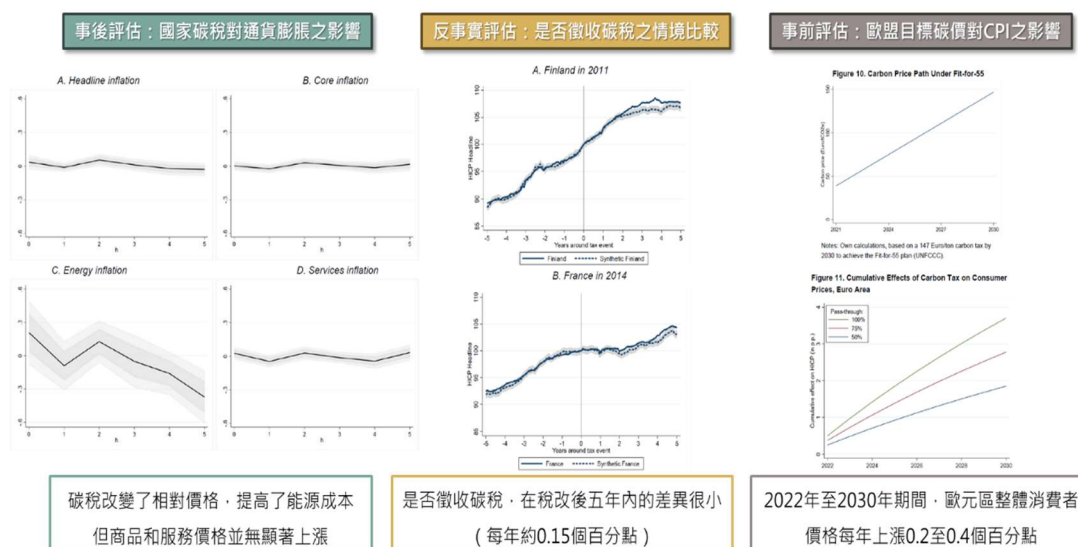
為達成淨零及永續發展目標，近年許多國家紛紛提出碳邊境調整機制、碳定價、永續金融等氣候政策，卻也同時引起迅速發展的氣候政策是否可能導致綠色通膨之疑慮。計畫針對綠色通膨（Greenflation）定義、成因、國際趨勢與政策應對策略之探討成果，根據歐洲中央銀行（ECB）定義，綠色通膨指由綠色轉型所引發的通貨膨脹。廣義而言，凡因綠色轉型誘發之經濟變化皆可納入綠色通膨範疇，不限於政策措施影響。當前全球通貨膨脹之主要驅動因素包括氣候變遷導致原物料價格上漲；俄烏戰爭引發的國際能源價格衝擊；COVID-19 疫情造成之供應鏈中斷。其中，氣候政策雖對經濟產生影響，並非造成通膨的主要因素。針對環境政策與綠色通膨之關聯性，結果顯示目前全球法規趨勢，社會大眾對綠色通膨之擔憂預期不會阻礙綠色轉型；部分國家於碳稅設計時即考量通膨因素，並透過稅率調整以確保企業減碳誘因，符合環境政策目標；《氣候變遷因應法》規範之溫管基金用途與國際機制一致，預期可有效促進綠色轉型並降低經濟衝擊。另國際對於綠色通膨之評估方法分為三大類，包括事前評估碳稅實施可能造成短期且輕微的通膨影響；事後分析碳稅對通貨膨脹之影響，依各國經濟體差異而異，範圍約為每年 0.08% 至 0.63%；模型推估氣候政策可能引發通膨與產出之間的交換效果，而碳稅收入再分配可降低對弱勢家庭與企業的負面影響，並促進綠色投資。

在探討政策應對之結果，顯示各國對綠色通膨認知與應對策略有所不同，美國透過《降低通膨法案》同時應對通膨與氣候變遷目標；歐盟則關注歐洲央行在綠色通膨中角色，並思考如何回應美國政策；東協國家相對對綠色通膨持較悲觀態度，認為其可能對低碳轉型構成更大挑戰。此外，根據世界銀行《2024 年碳定價現狀與趨勢》報告，2023 年全球碳定價收入達 1,040 億美元，目前已有 75 種碳定價機制運行，其中超過一半收入投入與氣候和自然相關計畫。各國應對綠色通膨時採取不同政策工具：美國、

法國與德國透過對綠色產業與潔淨能源提供補貼或稅賦減免；英國雖有預算支持綠色產業，但規模較小，仍傾向自由市場機制；東協國家則因綠能與綠色產業仍處發展初期，較依賴多邊資金，缺乏私人與國際資金的支援。

應用產業關聯分析之結果，根據環境部公告「碳費收費辦法」，假設所有碳費徵收對象未提交自主減量計畫，並以每噸CO₂e 300 元計算，對消費者物價指數（CPI）的影響約為 0.07%，另舉辦 2 場次專家諮詢會議，專家委員皆認為碳費制度對 CPI 具影響性，但是否足以引發通膨仍需進一步研判。此外，專家委員認同投入產出分析法為評估綠色通膨的可行分析方法，並認為評估過程合理。綜合計畫結果，顯示綠色通膨雖為綠色轉型過程之重要經濟現象，但其影響程度受多重因素影響，各國政府透過適當政策工具降低其對經濟與社會之衝擊。計畫結果可為未來制定氣候政策之重要參據，並供政策制定者衡量減碳政策對經濟影響之實證基礎。

關鍵詞：淨零轉型、綠色通貨膨脹、經濟衝擊評估



注：縱軸為百分點；橫軸為年分，顯示相對於t=0的通貨膨脹或價格水準變化

圖 4-17 國際組織對綠色通膨之估計及分析—IMF



圖 4-18 各國政府對綠色通膨之估計及分析

九、研提新興中長程個案計畫

「氣候變遷調適與風險韌性跨域應用整合第一期計畫」(115-118) 中長程個案計畫(草案)

(一) 計畫緣起

全球氣候變遷議題日益受到重視，臺灣位處海島屬易受衝擊國家，發展完善氣候變遷調適策略刻不容緩。由於調適策略涉及跨領域跨層級之科學基礎、風險鑑別及調適行動等研究多元整合。國家環境研究院(後稱國環院)乃與國科會共同建構「氣候變遷調適科研生態圈」，由國科會推動上游氣候科學、風險評估與調適前瞻科研，國環院則負責中下游應用需求端之氣候變遷調適與風險韌性跨域、跨層級應用整合。

(二) 計畫摘要

國環院與環境部氣候變遷署(後稱氣候署)、經濟部水利署(後稱水利署)、交通部中央氣象署(後稱氣象署)、國家海洋研究院(後稱國海院)及中央研究院(後稱中研院)規劃「氣候變遷調適與風險韌性跨域應用整合第一期計畫」，並透過以下三大細部計畫，期能協助國內氣候變遷調適與風險韌性建置等重大議題之推動。

1. 環境品質之氣候風險調適研究
2. 氣候變遷調適智能平台與系統
3. 氣候變遷調適培力研究暨國際合作

本計畫之目標乃為因應各界對氣候變遷調適策略整合需求，針對水體及大氣環境品質在暖化情境下，可能產生之風險評估與調適需求進行研究。並將各項研究成果進行資料整合，串接跨部會氣候變遷相關科研與監測資料，建置氣候變遷調適智能服務平台，進行科學轉譯以提供相關議題需求單位使用。於服務平台系統建置同時，開發產出政府各部會或產業所需之各種策略應用工具，如：跨域調適整合模擬系統、氣候韌性指標、提升氣候衝擊下淹水模擬技術、發展年際尺度以上氣候預報降尺度技術、發展臺灣都會區溫室氣體通量監測技術及建構通量推估模型、發展負

/低碳及再利用環境衝擊研究、開發國內氣候韌性培育方案與工具及促進調適韌性研究國際合作交流等，俾利國家推展氣候變遷政策、研訂接軌國際與在地化之氣候變遷調適目標，推展調適能力建構工作，並應用科學化工具規劃調適策略，發展相關產業及強化專業人力培育等重要工作。

關鍵詞：環境品質、水體、空氣品質、氣候風險韌性指標、智能服務、氣候調適韌性知識平台、氣候變遷減緩調適策略工具、人才培育



圖 4-19 新興中長程個案計畫規劃架構

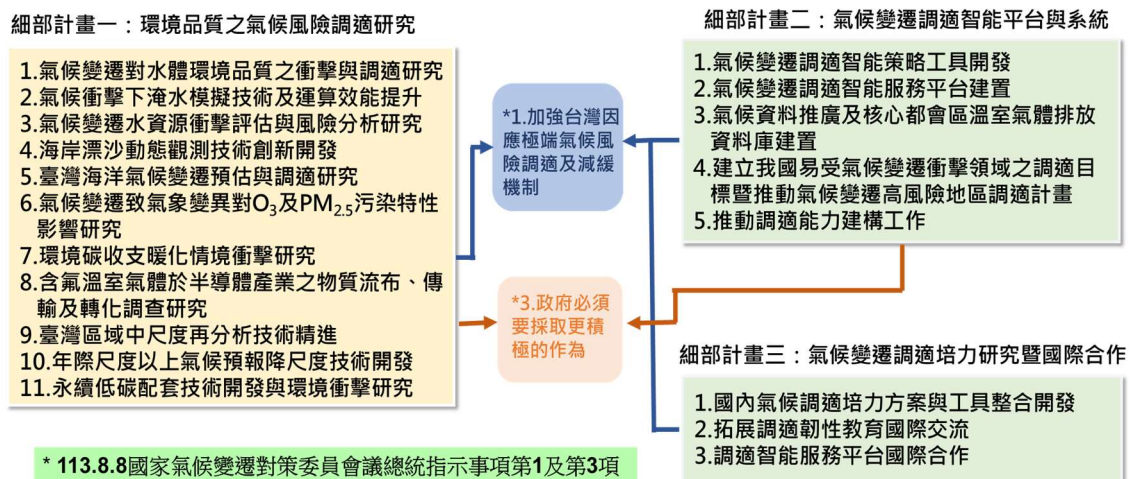


圖 4-20 新興中長程個案計畫與總統裁示之關聯度

十、擴大合作夥伴與鏈結拓展研究量能

(一) 擴大合作夥伴簽署合作備忘錄

1. 與中原大學簽署合作備忘錄

為建構國家環境保護智庫，環境部國家環境研究院（下稱國環院）結合大專院校，快速拓展研究量能並深耕厚植國內學術研究能力，於 113 年 5 月 6 日與中原大學簽署合作備忘錄，未來將有效運用雙方科學研究資源，進行科技研發及推廣合作事項，合作範圍將擴大至氣候變遷、淨零排放、資源循環、環境治理及污染預防等議題。

國環院表示，環境部於 112 年 8 月 22 日升格並成立國家環境研究院時，將「成為環境部的智庫」視為國環院最重要的任務，並為此持續擴充研究量能，以作為治理政策的依據。國環院（即原環境檢驗所）除保有檢測技術外，更在轉型過程擴展廣泛且全面性的研究領域，近期與國內各大專院校及學研單位洽談合作結盟，期待能將環境議題相關的研究技術與量能作進一步的整合並提高學研資源之應用。

國環院表示，因中原大學與本院位於同縣市且甫成立碳中和與淨零排放研究中心，與本院新興業務方向吻合，故未來包括環境治理、污染防治、氣候變遷等議題都將是雙方開創合作的重點，同時借重中原大學的學術研究與技術專長並培養優秀的專業人才，再由國環院橋接相關研究成果到國家政策，共創雙贏的合作模式。



圖 4-21 國環院與中原大學簽署合作備忘錄交換儀式



圖 4-22 國環院與中原大學簽署合作備忘錄合影

2. 與交通部中央氣象署簽署合作備忘錄

為增加國內氣候變遷因應能力，環境部國家環境研究院（下稱國環院）結合交通部中央氣象署（下稱中央氣象署），快速拓展研究量能並加快氣候變遷研究能力，於 113 年 8 月 14 日上午 10 時 30 分在環境部與中央氣象署簽署合作備忘錄，未來將有效運用雙方科學研究資源，進行科技研發及推廣合作事項。

國環院表示，中央氣象署為掌理氣象、海象之監測分析及模擬推估，與本院新興氣候變遷相關業務有密切關係，尤其中央氣象署最近啟用第 6 代超級電腦，並建置 GPU 運算系統，以加速發展 AI 天氣測報應用。基於此，本院規劃與氣象署合作，在現有的計算資源下，與國內外產業及學研界合作，積極運用先進的資料科學技術，開發應用在氣候變遷的數位孿生系統，作為調適決策之用。此外，國環院長期在環境領域奠定了深遠的研究基礎，結合中央氣象署在氣象的豐富資料與服務經驗，必定能有跨域合作的豐碩成果。透過 MOU 的簽署，未來雙方的合作方向包括氣候變遷、環境治理、污染防制等議題都是共同研究的重點。

目前國環院與中央氣象署等相關部會，正積極規劃氣候變遷調適與風險韌性跨域應用整合計畫，期能協助國內氣候

變遷調適與風險韌性建置等重大議題之推動。同時，透過氣候調適研究與服務平台建置合作，進一步共同建立氣候服務協作平台機制，提供氣候科學資訊服務更貼近使用者落地應用，作為國家氣候調適策略的科學依據，為臺灣創造一個低碳永續氣候韌性的環境。



圖 4-23 國環院與交通部中央氣象署簽署合作備忘錄交換儀式



圖 4-24 國環院與交通部中央氣象署簽署合作備忘錄合影

3. 與國家災害防救科技中心簽署合作備忘錄

因應日益嚴峻的氣候變遷挑戰，環境部國家環境研究院（下稱國環院）與國家災害防救科技中心（下稱災防科技中心）於 113 年 9 月 9 日簽署合作備忘錄。此次合作旨在整合雙方科技與研究資源，專注於氣候變遷調適的研發與應用，並提升國家在面對氣候變遷帶來的極端天氣與災害風險的韌

性。

國環院表示，隨著全球氣候變遷加劇，氣溫升高、海平面上升及極端天氣事件的頻率和強度均呈現上升趨勢，國家於氣候變遷調適能力有更高需求。環境部於 112 年 8 月 22 日升格並成立國家環境研究院時，將「成為環境部的智庫」視為最重要的任務之一，並在此基礎上持續擴展研究量能，雙方聚焦氣候變遷調適相關應用及風險評估的研究。國環院劉宗勇院長於致詞時強調今年 8 月 8 日總統府召開的國家氣候變遷對策委員會，環境部彭部長提到「針對氣候變遷防災、淨零與調適未來要做到三位一體」，因此，今天和災防科技中心合作備忘錄的簽署更具有指標性的意義。

災防科技中心在災害風險評估、災害應變系統開發及韌性社區建設方面擁有豐富的經驗與專業能力，提供準確的氣候數據與預測，來支持國家調適工作。國環院將借助災防科技中心的專業知識，共同開發氣候變遷適應的創新技術，並推動這些技術在國家政策中的應用，確保國家能夠有效應對未來可能面臨的氣候風險。

雙方的合作不僅著眼於當前的氣候變遷挑戰，更放眼未來，致力於為國家構建一個更具韌性與調適能力的社會體系。此次簽署合作備忘錄，象徵著雙方在氣候變遷調適領域將有深度合作，為國家未來的氣候調適工作奠定堅實基礎，並創造雙贏的合作模式。



圖 4-25 國環院與國家災害防救科技中心簽署合作備忘錄交換儀式



圖 4-26 國環院與國家災害防救科技中心簽署合作備忘錄合影

(二) 鏈結拓展研究量能

1. 循環署 115-118 資源循環淨零科技擴散應用計畫

2024 年最新發布第 7 版「循環差距報告」(The Circularity Gap Report) 指出，2023 年全球循環度從 2020 年 8.6% 下降至 7.2%，意味著全球耗材中，僅有 7.2% 來自循環再生材料。同時，全球經濟物質消耗持續攀升，過去 5 年就消耗超過 5,000 億噸，相當於 20 世紀總消耗量。物質消耗與碳排放息息相關，根據艾倫·麥克阿瑟基金會 (Ellen MacArthur Foundation, EMF)

2019 年的報告統計，目前碳排放總量 45%與產品製造有關，須仰賴循環經濟才能有效達到淨零排放目標。

為積極轉向循環經濟，實現減少碳排放及提高再生材料利用等目標，本計畫透過「發展關鍵資源循環再生技術與綠色設計」、「循環產業推動與示範場域建構」及「建立循環商業模式及配套措施」3 大策略，開發包含塑膠、紡織回收循環技術，並推動產品綠色設計；以及開發低碳建材與營建廢棄物全循環技術，及營建創新設計與減碳工法等。並建置紡織回收示範場域及靜脈產業、塑膠循環新技術示範案例及場域、再生循環營建材料產業園區等。另亦建立綠色設計指引，以及循環商品認證標準/標章制度；制定鼓勵產業轉向循環利用之獎勵政策措施。此外，將與資源循環聯盟等產業民間團體合作，擴散循環淨零觀念；建立業界自主參與機制，促進社會大眾理解淨零科技，進而參與生活轉型，使相關產業與消費者共同受益。



圖 4-27 淨零科技方案架構

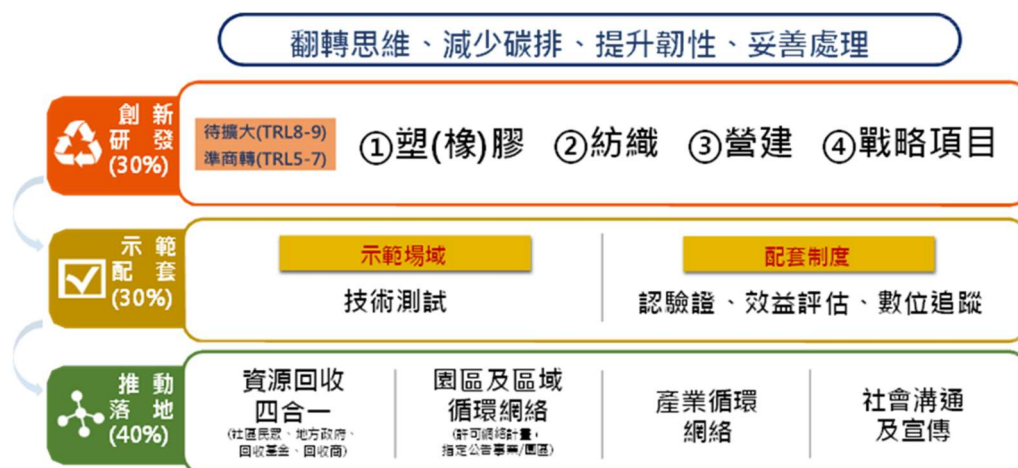


圖 4-28 115-118 資源循環淨零科技擴散應用計畫願景任務

2. 國科會專題研究計畫

(1) 全球暖化情境下臭氧與二次有機氣膠之隨機森林預報模型建構與污染物及其前驅物間之非線性關係探討

近年來，隨著對懸浮微粒濃度的有效控制和降低，臭氧(O_3)和二次有機氣膠(Secondary organic aerosols, SOA)已成為重要的空氣污染物。關於 O_3 和SOA的研究也逐漸增多，而這兩者的形成主要涉及氮氧化物(NO_x)和揮發性有機化合物(Volatile organic compounds, VOCs)兩大前驅物。先前的研究指出，在前驅物濃度變化的影響下， O_3 的形成可以區分為 NO_x 控制或VOCs控制，由於反應機制的不同， NO_x 濃度和 O_3 與SOA形成之間存在非線性關係。為進一步瞭解 NO_x /VOCs與 O_3 /SOA之間的非線性關係，本研究計畫以臨海工業區及其周圍城鎮為研究區域，並初步運用受體模式透過VOCs數據估算不同污染源類別和潛在污染源區對 O_3 和SOA的貢獻，以掌握污染成因與分布。其中，由於 NO_x 滴定效應，基於質量平衡計算的受體模型無法直接引入 NO_x 計算；相反地，隨機森林模型因擅長處理非線性關係，在空氣污染領域被廣泛應用。因此，研究將聚焦於建立隨機森林模型的建立，並透過特徵重要性分析量化前驅物和氣象條件對 O_3 和SOA生成的影響。我們將結合特徵參數、非參數軌跡分析與受

體模型產出之不同污染源類別與其貢獻資訊，建立基於隨機森林方法的高空間解析度預報模型，用以預測在特定天氣條件或特定污染源排放下，工業區鄰近城鎮的空氣品質。完成預報模型的建構後，可透過源模式提供全球暖化情境下的氣象條件，進行暖化情境下 O_3 和 SOA 的高空間解析度濃度預測。同時，探討暖化情境下 NO_x 與 VOCs 對 O_3 和 SOA 生成的影響程度變化率。最終，通過比對受體模式結合隨機森林建構的預報系統與源模式的產出差異，為源模式提供參數化的改進回饋。本研究計畫以研究區域作為示範研究，預期未來能建置全台重點區域之高空間解析度預報模型，成果也將整合至國家環境研究院氣候變遷研究中心正在建置之氣候調適智能服務平台，提供未來氣候變遷調適之數位孿生系統整合式應用。

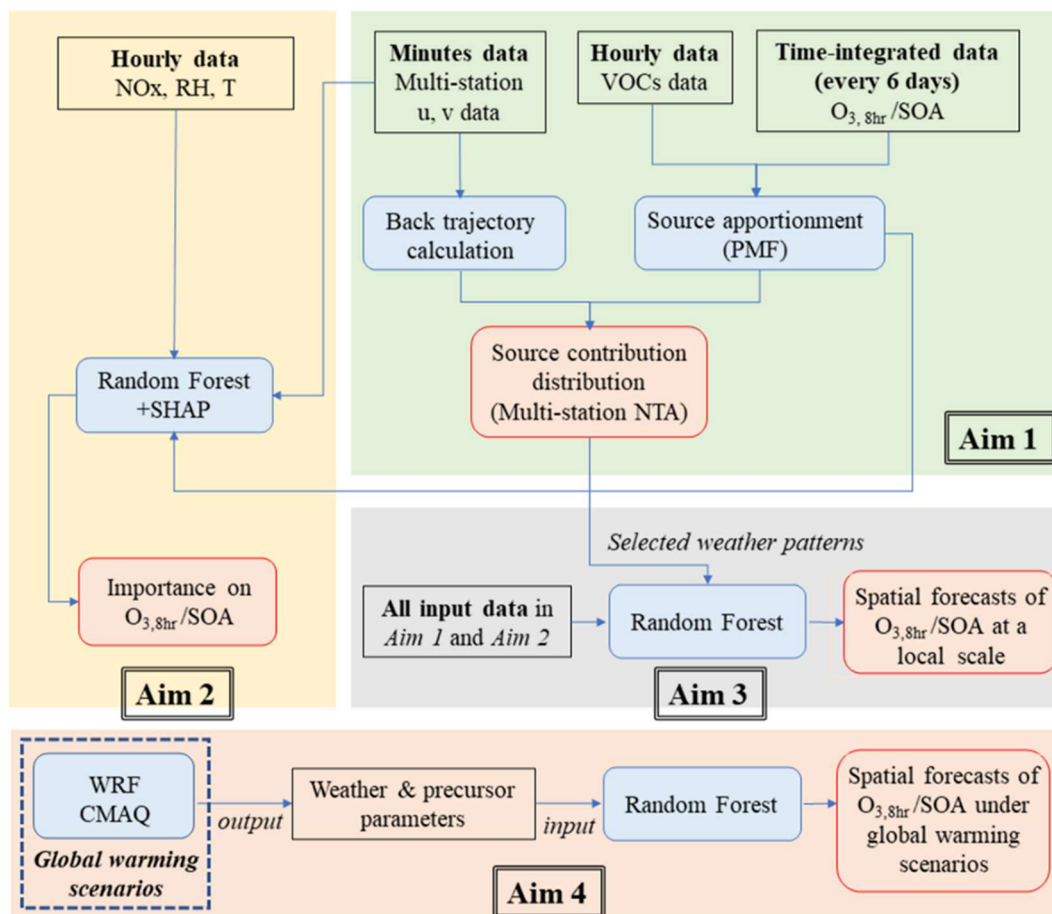


圖 4-29 全球暖化情境下臭氧與二次有機氣膠之隨機森林預報模型建構與污染物及其前驅物間之非線性關係探討專題研究計畫規劃

(2) 廢棄聚酯塑料之高值化再利用多途徑研究

塑膠產品雖是現代生活進步的重要象徵，但其回收和廢棄物處理問題，已成為科技發展中不可忽視的挑戰。臺灣現行主要採用熱機械回收法，雖具成熟度，但因材料劣化，導致再生產品僅能降階使用。化學升級作為近年學界與產業的研究重點，透過化學手段將回收物轉化為高價值產物。然而，傳統改質方法會破壞材料的同質性，導致再生材料無法與原材料共同回收，進一步限制了永續循環的應用範圍。本計畫基於實驗室先前研究的微量交聯概念，以廢棄可逆交聯材料回收所得的多官能基增韌分子為設計核心，開發新型聚酯升級再生技術。該技術在極少量改質下，能賦予材料特殊功能性，同時保留其原始組成特性，強化材料與原材料的共回收能力。透過優化製程與配方設計，微量結構調控可實現材料在不同回收階段中的升級效果，並顯著提升其在綠色減碳及環保價值方面的表現。本研究期望實現廢棄塑膠的高效循環再利用，緩解廢棄物對環境的壓力，為永續發展提供創新解決方案，助力綠色經濟的推進。

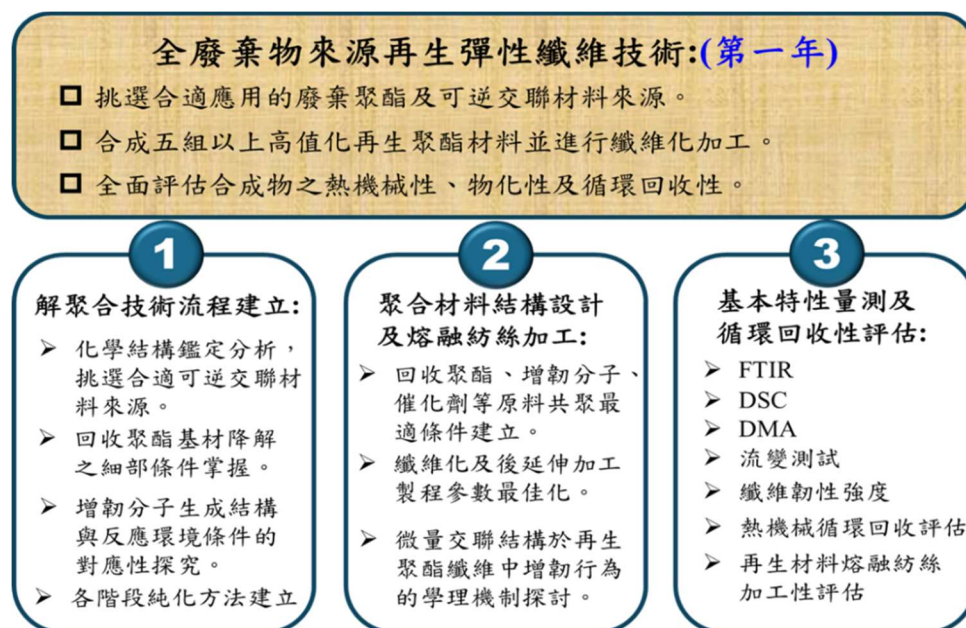


圖 4-30 廢棄聚酯塑料之高值化再利用多途徑專題研究計畫規劃

十一、推動氣候變遷調適科研協作平台

根據 112 年中央政府總預算案主決議文「請國科會針對氣候變遷調適科學研究課題與治理任務，以及所需科技預算等，協調環保署等相關業務主責部會，整合與規畫跨部會研究能量，以建立面臨氣候挑戰議題的科學研究生態圈。」，為完善「氣候變遷調適科學生態圈」調適科研協作平台推動規劃，由國家科學及技術委員會、環境部（國環院）及國家災害防救科技中心三方共同規劃推動，並於 113 年 9 月 18 日召開氣候變遷調適科研協作平台第 1 次（啟動）會議，會議結論考量後續調適科研方案的規劃及後續推動需要，由工作小組進行規劃先期工作計畫，申請 114 年度跨部會署科發基金，續於 113 年 10 月 15 日召開協作平台工作會議，就先期計畫架構及工作進行討論，並具相當共識，研提氣候變遷調適科研協作平台運作先導計畫。

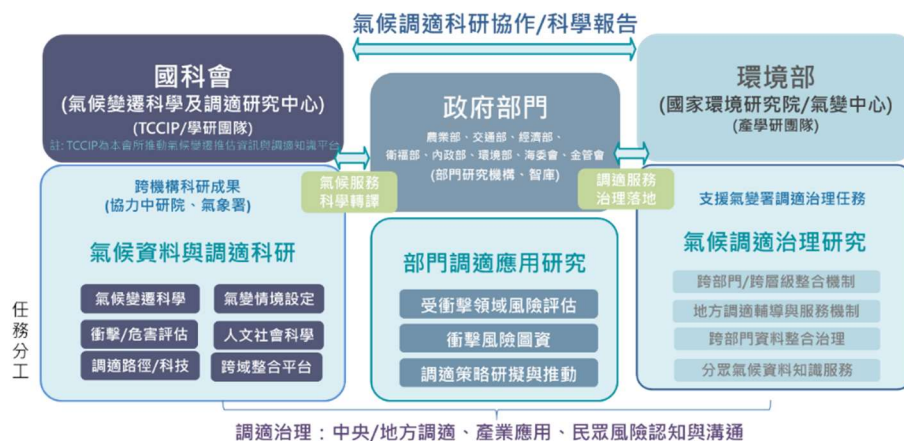


圖 4-31 國家氣候變遷調適科學生態圈架構

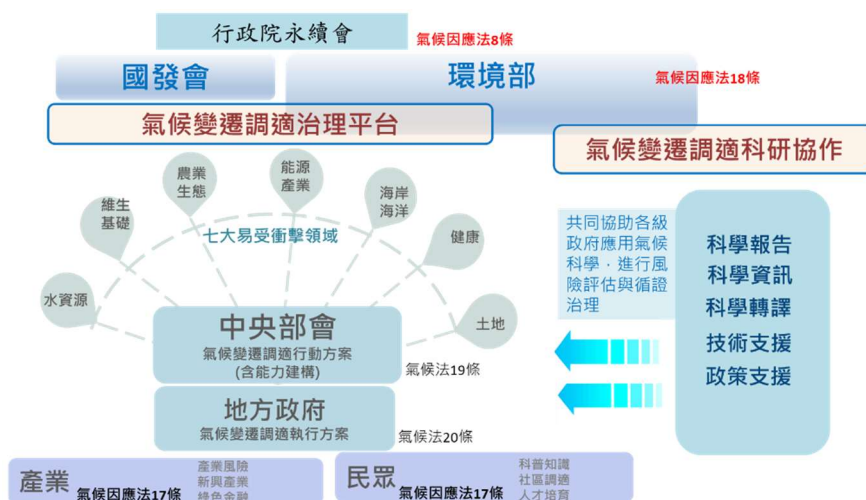


圖 4-32 氣候因應法下科研協作支援國家氣候變遷調適治理

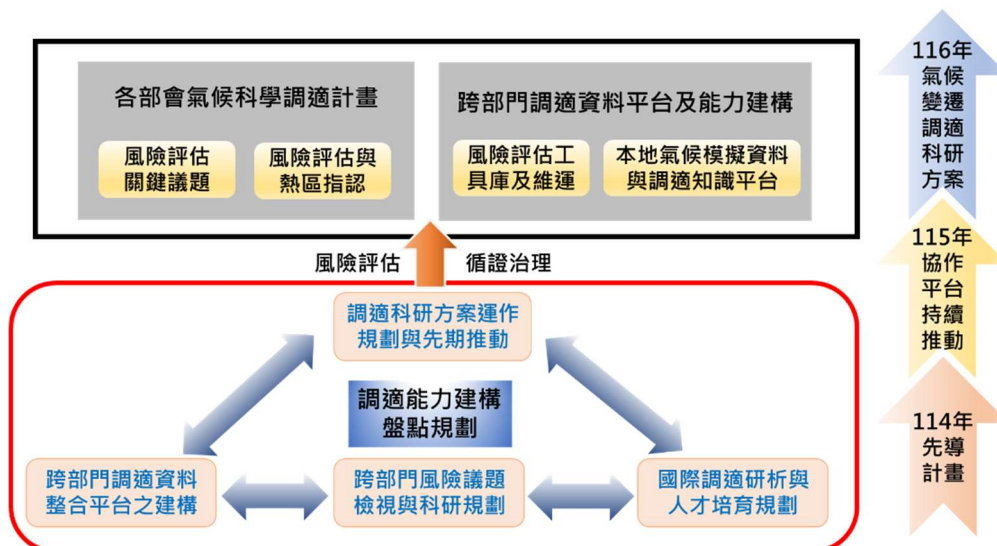


圖 4-33 氣候變遷調適科研協作平台運作先導計畫推動架構

氣候變遷調適科研協作先導計畫具重要與急迫性，如下說明：

- (一) 盤點強化各領域資源配置：國家氣候變遷對策委員會第 1 次會議指出，極端天氣在臺灣已經變成日常，未來侵襲臺灣的颱風數量會減少，但強度、雨量都會增加，西半部未來強降雨機率也會增加，隨著臺灣周邊風力減弱，空氣品質也會變差，對農業、產業都是衝擊。調適要強化資源配置，才能有足夠韌性。
- (二) 落實氣候變遷調適循證治理：國家氣候變遷調適行動計劃第 4 期 (116-119 年) 將於 114 年啟動討論及研擬，為協助各級政府應用氣候科學報告進行風險評估，透過「氣候科學」作為證據基礎來支持決策，以達到循證決策之目的。故須及早盤點各領域調適工作所需先期科研項目，並整合規劃各部會調適科研需求。
- (三) 銜接調適科研時程空窗：面對氣候變遷極端氣候災害緊迫，環境部與各部會研提中長程個案計畫 (115-118 年)，針對水資源與水體品質衝擊評估與風險、海岸漂沙觀測與海岸變化、氣候預報年際尺度技術、環境碳收支調查、智能服務平台與工具及調適人力培育進行規劃，須及早規劃及評估複合式跨域風險議題、工具及人才，銜接中長程個案計畫。

伍、論文發表

一、期刊論文

- (一) **Hsieh, P.Y.**, Wang, G.S., Mi, W.H., Huang, C.S., Wu, C.F.*, (2024) "Development and Application of an Industrial Wastewater Profile Database." *Water, Air, and Soil Pollution* 235, 235 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07047-y> [SCI, Q2, IF 3.8]

Abstract:

A comprehensive profile database of industrial wastewater in Taiwan has been developed. The dataset consists of 244 wastewater samples containing 52 metals and metalloid elements. A Naïve Bayes classifier was applied to establish robust composite profiles for each industrial category. Similarities in the composite profiles were examined using a hierarchical cluster analysis, and most composite profiles were distinct. Finally, 19 composite profiles of the industrial categories were subsequently retrieved and utilized to identify the marker species for each category. During the examination of marker species through statistical methods, three less noticeable characteristic species, Mo, Sb, and Co, were examined further: Molybdenum was confirmed as a marker species for the petrochemical industry, while antimony was identified as a marker for man-made fibers and finishing of textiles. Cobalt was also determined as a marker for nickel-based electroplating products. We compared the regulations of other countries with those of Taiwan in order to offer scientific advice regarding these three species. This study serves as an exemplary application of a profile database, showing how it can be used to analyze less noticeable marker species among the 52 elements for different industries. Moreover, the study results suggest that composite profiles generated from various industries hold potential as tools for future river pollution prevention. Overall, the continuous expansion of the database is highly recommended to increase its practicality and relevance for future research and regulatory efforts.

Keywords: Industrial wastewater, Source profile, Database, Metal elements, Marker species

- (二) Lin, H.C., **Hsieh, P.Y.**, Wang G.S., Wang, D.-W., Wang, T.-H., **Hsu, Y.C.**, Wu, C.F.*, (2024) "Identification of pollution sources in rivers by downstream analysis of low-concentration elements associated with wastewater." *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 8543–8552 (2024). [https://doi.org/10.1007/](https://doi.org/10.1007/[SCI, Q1, IF 3.0])

Abstract:

Accurate estimation of pollution sources of industrial wastewater, which is detrimental to the environment and human health, facilitates river quality management. In this study wastewater-specific elements in downstream river water were used to trace back to pollution origin by upstream industry categories. In addition, a sensitivity test is performed on lanthanides to determine the importance of low-concentration elements in the analysis. Over a period of 45 days, water samples are obtained twice daily from a polluted river in southern Taiwan near industrial areas. During the monitoring period, wastewater samples from potential contamination sources are conducted to establish the source profiles. Positive matrix factorization is used to determine the pollution sources from the 31 elements measured in the stream. The results show that heavy metal pollution is primarily caused by wafers and semiconductors (47%), sewage treatment (27%), and electroplating products (12%). The sensitivity test results for lanthanides show that excluding some or all of them renders it impossible to classify pollution sources into the correct industry categories. Because lanthanides are key elements in certain industry categories, they are distinguishing factors in profiles among industries. Therefore, the source profiles of low-concentration lanthanides can aid in identifying pollution sources.

Keywords: River water pollution, Source apportionment, Source identification, Industrial wastewater, Positive matrix factorization, Low-contributing elements

- (三) Lin, H.C., **Hsieh, P.Y.**, Wang, G.S., Wang, D.W., Wang T.H., **Hsu, Y.C.**, Wu, C.F.*, (2024) "Establishment of Methods to Identify Pollution Sources in a River Reach through Receptor Models." Journal of Water Resources Planning and Management Volume 151, Issue 3 <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-63> [SCI, Q1, IF 3.0]

Abstract:

Given scientific and technological advances, the proportion of industrialization has increased, making industrial wastewater pollution more harmful to the environment and human health. Identifying sources of pollution in specific areas helps clarify and facilitate water quality management. This study established a method to identify sources of pollution in a river reach. River water sample collection was conducted twice a day for 30 days in a polluted river in southern Taiwan at sampling sites upstream and downstream of the river reach. Wastewater samples from potential sources of pollution were also taken during the monitoring period. The pollutant concentration data for the river reach was calculated based on the mass flow rate at two sites divided by the volume flow rate. Positive matrix factorization was applied to the 31 elements measured in the river to resolve source profiles and contributions. The results revealed that the contributors to pollution were sewage treatment (37%), metal finishing (8%), and a detention pond (39%). Furthermore, by comparing the results of the single- and multiple-site analyses, the difficulty of identifying sources of pollution due to the mixed-source profiles obtained was reduced. Consequently, the applicability and effectiveness of the proposed pretreatment method of pollutant concentration calculations from two sites were demonstrated. The novelty of the study lies in the establishment of a pollution source identification method that can assist in identifying the main polluting industry categories in river reaches.

Keywords: River water pollution, Source apportionment, Source identification, River reach, Industrial wastewater, Positive matrix factorization

- (四) **Mao, H.I.**, Liu, S.H., Chu, J.C., Shiu, J.W., Chen, P.Y., Chen, C.W.*, (2024) "Influence of magnesium and calcium sulfate whisker on crystallization characteristics of poly (butylene adipate-co-terephthalate) and Poly (butylene succinate)." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2024, Vol. 0(0) 1–13. <https://doi.org/10.1177/07316844241255166> [SCI, Q2, IF 2.3]

Abstract:

Inorganic fillers of whisker-like morphology are considered promising materials, and they have gained significant attention in recent years as a substitute for glass fibers due to their fibrous surface characteristics and extremely low bulk density. This study selected magnesium sulfate whiskers (MSWs) containing crystal water and pure calcium sulfate whiskers (CSWs) as fillers. They were physically blended with biodegradable polymers PBAT and PBS in a range of 0.1 wt.% to 2 wt.% to form composite materials. The non-isothermal crystallization behavior of the composite materials was studied using differential scanning calorimetry (DSC). The data indicated that with an increase in whisker content, the crystallization temperature (T_c) of composites increased, and the addition of a small amount of whiskers led to a reduction in the half-crystallization time of the composite materials, indicating the crystallization capacity of the materials has been enhanced to varying degrees. Analysis via POM unveiled a consistent pattern of decreased spherulite size and heightened spherulite count with the introduction of whiskers. This phenomenon is ascribed to the whisker fillers' function as nucleating agents within the polymer matrices, thereby stimulating the crystallization process. Interestingly, the findings suggest that CSWs exert a more significant influence on crystallization than MSWs, likely due to the distinct single fiber morphology of the former filler.

Keywords: Composite, non-isothermal, polyester, poly(butylene adipate-co-terephthalate), sulfate whisker

- (五) **Mao, H.I.**, Peng, Y.K., Chou, J.Y., Wu, W.T., Chen, C.W.*, (2024) "Synthesis of Poly (Butylene Adipate-co-Butylene-2,6-Naphthalate) Copolymer and Fibers: Characteristics, Thermal and Mechanical Properties." *Fibers and Polymers*, <https://doi.org/10.1007/s12221-024-00805-z> [SCI, Q2, IF 2.2]

Abstract:

This study aimed to improve the spinnability of poly(butylene adipate) polyester through the addition of naphthalene ring structures. First, poly(butylene adipate-co-buthylene-2,6-naphthalate) (PBABN) copolyesters of different ratios were produced through a one-pot polymerization of 1,4-butanediol, adipic acid, and 2,6-naphthalene dicarboxylate (NDC). All PBABN copolyesters maintained good thermal stabilities. As the naphthalene content was increased from 0 to 100 mol%, the glass transition temperature (T_g) of the PBABN copolyester increased from -60 to 90 °C while its melting temperature (T_m) increased from 50 to 240 °C. When 30 mol% BN units were added, the elongation at break of the PBABN copolyester exceeded 2000%, indicating that the addition of a specific ratio of NDC could improve the elongation of the copolyester. Additionally, PBABN-50 material showed a higher Young's modulus of 79 MPa, a yield strength of 19 MPa, and an elongation at break of 800%, which show its applicability to packaging materials, agricultural films, and fibers. Second, PBABN copolyesters with BN units above 50% were chosen for melt-spinning into fibers and were post-drawn with a ratio of 3.0 to enhance the fiber strength. The maximum stress values of the fibers with 50, 70, 90, and 100 mol% NDC were 1.93 ± 0.08 , 2.82 ± 0.06 , 3.89 ± 0.05 , and 5.93 ± 0.12 g den⁻¹, respectively.

Keywords: Poly (butylene adipate-co-buthylene-2,6-naphthalate) · Aliphatic–aromatic copolymer · Melt spinning

- (六) **Lin, C.H.**, Wang, D.W., Chen, Y.C.*, (2024) "In-situ Sampling of Solid Recovered Fuel and Recycling Ashes for the Production of Sustainable Binders." *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104139> (accepted, Dec. 09 2024) [SCI, Q1, IF 7.1]

Abstract:

Increasing waste generation and energy shortages are fueling interest in alternative fuels such as solid recovered fuels (SRFs), but limited studies address their compositional properties and potential for reuse in construction. This study involved in-situ sampling at SRF production/utilization facilities in Taiwan, with five sites substituting 30 %–80 % of their fossil fuels use with SRFs derive mainly from plastics, textiles, and waste wood. The net calorific values of SRFs ranged from 18.42 MJ/kg to 29.11 MJ/kg with textile-derived SRFs containing higher sulfur (3.23 %) and chlorine (0.03 %) levels. After incineration, SRF ashes showed increased concentrations of metals, notably Ca (0.09–30.2 %), followed by Si (4.17–18.95 %), and Fe (1.15–5.86 %). Metals such as aluminum and iron were found to be more concentrated after incineration. The compressive strength of ash-based binders increased with curing time, achieving 291 kgf/cm² at 30 % SRF ash content after 14 days. The study suggests that replacing approximately 10 % of cement with SRF ash and curing for 7 days optimizes viscosity, permeability, and compressive strength. These findings support the circular economy by repurposing SRF ashes for civil and environmental applications.

Keywords: Ash, Binder, Bioenergy, Circular economy, Solid derived fuel

二、非科學引文索引期刊論文

- (一) 林志鴻*、李聯雄、陳怡泓、廖凱威、陳美蓮 (2024) "有機磷農藥代噴灑作業勞工尿中代謝物生物偵測之研究"，勞動及職業安全衛生研究季刊 113 年 6 月號。

摘要：

本研究目的為蒐集國內栽植作物混合農藥使用與噴灑作業之概況，以瞭解有機磷農藥的使用情形。同時，調查栽植作物噴灑作業勞工有機磷農藥的體內劑量，並藉由健康風險推估與生物偵測的研究成果，提供給相關單位參考，以作為將來訂定相關職場安全衛生管理之依據。本研究共完整採集代噴灑作業勞工上班前及下班後分別各 40 個尿液樣本，並以氣相層析質譜儀進行有機磷農藥代謝物分析。研究發現，代噴灑作業勞工上、下班尿液中有機磷農藥代謝物濃度，均以二甲基硫代磷酸濃度為最高（上班前濃度為 $6,639.78 \pm 8,779.66$ nmol/g creat.；下班後則為 $7,275.34 \pm 10,838.76$ nmol/g creat.），其次為二甲基磷酸（上班前濃度為 $3,230.44 \pm 3,765.40$ nmol/g creat.；下班後則為 $3,561.06 \pm 5,709.74$ nmol/g creat.），二甲基二硫代磷酸則最低（上班前濃度為 $1,654.72 \pm 3,232.89$ nmol/g creat.；下班後則為 $2,277.86 \pm 3,245.67$ nmol/g creat.）。另外，所有甲基代謝物、所有乙基代謝物及所有代謝物總和，均是下班後尿液中的濃度較高。且甲基代謝物又比乙基代謝物濃度高出 4 倍以上。

此外由健康風險評估結果得知，以尿液代謝物濃度去推估勞工有機磷農藥的每日總暴露量（以陶斯松為準），上、下班每日總暴露量的平均值分別為 $163.54 \mu\text{g/kg/day}$ 和 $193.78 \mu\text{g/kg/day}$ 。若以陶斯松之 BMD10/100 值（發生率 10% 之劑量） $14.8 \mu\text{g/kg/day}$ 相比較，有 90% 以上的人超過此劑量標準。有鑒於此，本研究發現作業勞工可能因不同暴露途徑而暴露到各種農藥，並可在其體內測得相對應之代謝物。因此，利用生物偵測的方法，直接測量人體來自不同環境介質暴露而得的體內濃度，更可有效反映整體環境農藥之暴露水準。同時，噴藥人員也應依規定接受農藥代噴技術人員的訓練，以建立正確的用藥安全及防護措施。

關鍵詞：有機磷農藥、生物偵測、暴露評估

(二) 許令宜、陳明妮、羅仕麟、米姿蓉、許元正、顏振華 (2024)"短時高濃度細懸浮微粒之細胞毒性指標初探"，環境檢驗所環境調查研究年報 31，177-190，中壢。

摘要：

目前空氣品質 $PM_{2.5}$ 標準為連續採樣 24 小時之測值，若有突發性短時間污染高值，不一定可呈現於日均值中。本研究利用高流量採樣器搭配 $PM_{2.5}$ 衝擊板，進行短時(每 6 小時)密集連續採樣，目的是以細胞平台找出短期 $PM_{2.5}$ 的不良健康指標，包含氧化壓力及人體細胞激素等，未來可提供作為民眾健康風險預警。本研究先於高雄小港連續 78 小時採樣，確認採樣、萃取條件及細胞氧化壓力分析皆可行後，再於臺灣中南部另 2 地區(簡稱為 C 地及 D 地)進行採樣分析，並以肺癌細胞 A549 進行包括氧化壓力及 48 種細胞激素等細胞毒性分析。結果可見氧化壓力變化與質量濃度無明顯相關，且氧化壓力可出現於質量濃度最高前一時段的樣品(即前 1 時段樣品)。C 地及 D 地於氧化壓力及 IL-6、IL-8、IFN- γ 、MCP-1 及 RANTES 等 5 種細胞激素有明顯變化，但 $PM_{2.5}$ 樣品在 2 地之細胞變化不同，C 地樣品造成細胞在 IL-6、IL-8 及 RANTES 增加幅度明顯，D 地樣品造成細胞氧化壓力明顯增加，另造成抑制細胞分泌 IFN- γ 及 MCP-1。以 Pearson 相關性分析後可見，在 C 地與氧化壓力高度相關(相關係數 > 0.7)的細胞激素主要為 IL-6 及 IL-8，而 D 地則為 IL-6、IFN- γ 、MCP-1 及 RANTES 等。D 地的有機碳與氧化壓力及 IFN- γ 、MCP-1 高度相關，而元素碳跟 MCP-1 亦有高度相關，故在 D 地可能為有機物造成主要的細胞毒性影響。本研究結合 111 年的研究可見， $PM_{2.5}$ 質量濃度增加無法做為人體不良反應的唯一標準，不同地區高濃度 $PM_{2.5}$ 易造成細胞氧化壓力及發炎性細胞激素 IL-6 明顯變化，但 $PM_{2.5}$ 所引發之細胞激素種類及其變化趨勢並不相同，為一項重要的發現。未來應分地區建立不同的細胞激素指標，包括氧化壓力、IL-6、IFN- γ 及 MCP-1 等做為民眾健康評估機制。

關鍵詞：細胞毒性、懸浮微粒、細胞激素指標

三、國內外研討會論文

(一) 國際研討會

1. **Chuang, C.K.**, Wei, K.Y., (2024) "Late Quaternary calcareous nannofossil biochronology of MD05-2925 and ODP 1115B in the western equatorial Pacific." *Vision Marine Conference*, April 22-24, 2024, Kaohsiung, Taiwan. (Oral)
2. **Chuang, C.K.**, Liaw, Y.L., Kuo, C.Y., Tsai, C.H., (2024) "The age of the Chiting Formation in Zuojhen, Tainan: analysis of nannofossils." *2024 New Prospect on the Paleontological Research in Taiwan International Conference*, September 10-11, 2024, Tainan, Taiwan. (Oral)
3. Liaw, Y.L., **Chuang, C.K.**, Tsai, C.H., (2024) "A Pleistocene sea turtle from Yuching and its nannofossil biostratigraphy." *2024 New Prospect on the Paleontological Research in Taiwan International Conference*, September 10-11, 2024, Tainan, Taiwan. (Poster)
4. Wei, K.Y., **Chuang, C.K.**, Yang, T.R., (2024) "A preliminary note on age and paleo-environment of the first skeletal fossil of gray whale found in West Hengchun Tableland, Southern Taiwan." *2024 New Prospect on the Paleontological Research in Taiwan International Conference*, September 10-11, 2024, Tainan, Taiwan. (Oral)

(二) 國內研討會

1. **林志鴻**、申永順 (2024) "以 185nm UV/O₂ 光氧化程序處理含酚類污染物水溶液反應行為研究"，2024 年第 38 屆環境分析研討會，高雄。(Poster)
2. 陳煒哲、陳熙、張榮偉、**林志鴻**、**許元正** (2024) "固體再生燃料廠排放戴奧辛及重金屬所致環境風險評估"，2024 年第 38 屆環境分析研討會，高雄。(Oral)
3. **莊智凱**、楊子睿、魏國彥、李孟陽 (2024) "恆春西台地頭溝地區四溝層鈣質超微化石生物地層年代再探"，中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 113 年年會暨學術研討會，花蓮。(Oral)

陸、結語

面對人類最大的挑戰「氣候變遷」，地球上每個國家、族群都責無旁貸。我國於 2023 年 8 月成立國家環境研究院，下設氣候變遷研究中心。目的在於期望透過科學研究的基礎與應用發展，提供國內各領域完善循證治理的協助與落實。然氣候變遷涉及之科學領域極其廣泛，並因應環境部組改需求，將資源循環科研發展納入中心職掌。因此，亟需政府投入資源與攜手學術研究單位，共同架構完整且全方位之科研體系，才能推動氣候變遷研究中心的成長與茁壯。氣候變遷研究中心草創之初，學步階段幸賴環境檢驗研究奠基頗深，再蒙環境部各級長官輔以資源，以及國科會、中研院及國家災害防救科技中心等合作單位協助，方能穩健前行。第一年已能在原有框架上伸展出新研究的新芽，包含：氣候變遷調適能力與智能服務平台建構之研究規劃、二氧化碳轉化技術與資源循環驗證技術開發等方向皆有初步推展，並能產出優質期刊論文與國際交流。為時刻鞭策中心業務持續向上，乃編輯年度報告自勵並供各界指導鼓勵，謹以為勉。

附錄一、國際研討會論文

1. **Chuang, C.K.**, Wei, K.Y., (2024) "Late Quaternary calcareous nannofossil biochronology of MD05-2925 and ODP 1115B in the western equatorial Pacific." *Vision Marine Conference*, April 22-24, 2024, Kaohsiung, Taiwan. (Oral)

Abstract:

The current study establishes a detailed calcareous nannofossil biostratigraphy of MD05-2925 (151°28'E, 9°21'S, water depth 1642 m) and ODP Hole 1115B (9°11'S, 151°34'E, water depth 1149 m) in the Solomon Sea on the southern periphery of the Indo-Pacific Warm Pool. The shallow water depths and pelagic setting render these two cores contain abundant and well-preserved contained calcareous microfossils. The existing, published astronomically tuned planktonic foraminifera oxygen isotope stratigraphy provides a reliable chronological framework with which the chronological ages of 5 calcareous nannofossil datum levels are well defined: (1) the FO (First occurrence) of *Gephyrocapsa kennettii* (MIS13, 520 ka), (2) the LO (last occurrence) of *Pseudoemiliana lacunosa* (MIS12, 476 ka), (3) the LO of *Gephyrocapsa kennettii* (MIS12, 465 ka), (4) the FO of *Emiliana huxleyi* (MIS8, 257 ka), and (5) the FCO of *Emiliana huxleyi* (MIS5, 83 ka).

Among these five, *G. kennettii* existing between 520 to 465 ka, a new species we established in 2021 is worthy of further exploration for its stratigraphic utility. Its short range of existence makes this species a good age marker for the uppermost of MIS13 and the lowermost of MIS12, an age interval in which no other appropriate microfossil datum exists at present.

Keywords: Calcareous nannofossil, new species *Gephyrocapsa kennettii*, western equatorial Pacific

2. **Chuang, C.K.**, Liaw, Y.L., Kuo, C.Y., Tsai, C.H., (2024) "The age of the Chiting Formation in Zuojhen, Tainan: analysis of nannofossils." *2024 New Prospect on the Paleontological Research in Taiwan International Conference*, September 10-11, 2024, Tainan, Taiwan. (Oral)

Abstract:

Nesorhinus hayasakai (Rhinocerotidae) is an iconic fossil species from Taiwan, but the paleo-environment and geological age of its occurrence require in-depth research. Here, we conducted extensive sampling and analysis of microfossil assemblages at the “Rhinope (derived from a combination of rhini and hope)” section along the Sanchongxi (a branch of the Tsailiao River in Zuojhen, Tainan). The Rhinope section includes a 6.5-meter thick sedimentary sequence, which belongs to the upper part of the Chiting Formation. The lithology is predominantly yellowish sand layers interbedded with thin mudstone layers. A dense layer of large benthic foraminifera, Operculina, at the bottom of the section indicates an open shallow continental shelf environment. The middle section, from 2 to 4.75 meters, consists of thick yellowish sand layers dominated by quartz particles, while the 4.75 to 5 meters is a thin grayish mud layer rich in foraminifera and ostracod fossils. The high proportion of planktonic foraminifera in this layer suggests a deep-water marine environment. Using a 1600x polarizing microscope, we found abundant calcareous nannofossils and identified index fossils *Pseudoemiliana lacunosa* along with medium and small Gephyrocapsa. We also found a medium-sized *Gephyrocapsa omega* with a bridge-like structure, nearly perpendicular to the NN19c calcareous nannofossil biozone (0.46 ~ 1.02 Ma). Combined with reverse magnetostratigraphic results, this further narrows the age down to 0.46 ~ 0.99 Ma. Additionally, *Gephyrocapsa oceanica* replaced *Gephyrocapsa omega* in the thin mud layer samples, gradually more dominant in proportion. Furthermore, samples from the Erhiao area, representing the lower part of the Chiting Formation, include a higher abundance of *Gephyrocapsa omega* than *Gephyrocapsa oceanica*. Thus, the last abundance appearance of *Gephyrocapsa omega* (~0.61 Ma) can effectively distinguish the geological ages of the upper and lower parts of the Chiting Formation. Our findings indicate that the thin mudstone layer at the Rhinope section ranges between 0.46 and 0.61 Ma, while the Erhiao area spans from 0.61 to 0.99 Ma.

Keywords: Pleistocene 、 Microfossil 、 *Gephyrocapsa*

3. Liaw, Y.L., **Chuang, C.K.**, Tsai, C.H., (2024) "A Pleistocene sea turtle from Yuching and its nannofossil biostratigraphy." 2024 New Prospect on the Paleontological Research in Taiwan International Conference, September 10-11, 2024, Tainan, Taiwan. (Poster)

Abstract:

The modern biodiversity of Taiwan includes five sea turtle species, but no fossil or archaeological records until now. We discovered a partial hypoplastron from the Yuching Shale in Yuching, Tainan, representing the very first documented fossil sea turtle from Taiwan. The preserved hypoplastron shows a wide and curved medial margin as well as a lateral notch with a right angle, both of which suggest a taxonomic affinity to the living loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). Given the preserved size of the hypoplastron width (18 cm), we estimate that this fossil belongs to a juvenile *Caretta caretta* with a carapace slightly more than 60 cm long. In addition, we sampled the foraminiferal fossils from the matrix of this fossil hypoplastron, suggesting that the depositional environment was a continental shelf no more than 100 m deep. We further prepared the nannofossil smears under the 1,600x polarizing microscope, revealing more than 200 individuals of calcareous nannofossils, and the composition includes index fossils, such as *Pseudoemiliana lacunosa*, *Helicosphaera sellii*, and large *Gephyrocapsa oceanica* (>5.5µm), corresponding to NN19a nannofossil biozone and indicating the Early Pleistocene in age. Furthermore, with the first occurrence of the large *Gephyrocapsa oceanica* and the last occurrence of *Helicosphaera sellii*, we narrowed down the age of this sea turtle from Yuching to 1.57 to 1.28 million years ago. Our discovery of this sea turtle fossil represents the first cheloniid fossil evidence in Taiwan, and we propose that the Pleistocene waters (more than 1 million years ago) around Yuching, Tainan, may be a paleo-breeding site for *Caretta caretta*. Further fieldwork and specimen analysis aim to reveal a large-scale evolutionary history of the large, migratory marine animals in the North Pacific Ocean.

Keywords: Cheloniidae, *Caretta*, Foraminifera, Taiwan, North Pacific Ocean, Calcareous nannofossil

4. Wei, K.Y., **Chuang, C.K.**, Yang, T.R., (2024) "A preliminary note on age and paleo-environment of the first skeletal fossil of gray whale found in West Hengchun Tableland, Southern Taiwan." *2024 New Prospect on the Paleontological Research in Taiwan International Conference*, September 10-11, 2024, Tainan, Taiwan. (Oral)

Abstract:

A quite complete fossilized skeleton set (80% of the whole skeleton) of a gray whale was unearthed from Toukou (頭溝) of the Szekou Formation (四溝層) in Hengchun Peninsula, Southernmost Taiwan in 2022. To have a preliminary estimation of the geologic age of the whale fossil, an intercalated sediment sample near the lower jaw of the fossil whale was sampled for quantitative calcareous nannofossil examination using scanning electronic microscope. The nannofossil assemblage is dominated by two key fossils: *Gephyrocapsa spp.* (43.5%), followed by *Emiliana huxleyi* (15.2%). In correlation to the radiometrically calibrated quantitative nannofossil record of a nearby marine sedimentary core GR2-2 in Gaugua Ridge (加瓜海脊), offshore of east Taiwan, the age of this sample is assigned to be ~95 ka, corresponding to the marine isotope stage 5.4 (MIS 5.4) of the LR04 stack (Lisiecki and Raymo, 2005). We assess that the fossil whale horizon is near the bottom of the Szekou Formation inter-fingering with coeval Hengchun Limestone. As reported by Chen et al (1991), at the Toukou Section (頭溝剖面), the mollusk assemblage in the sample located approximately at the same position of our whale fossil site was dominated by *Eucrassatella nana*, *Venus faveolata* and *Turretella filiola*, accompanied by *Chlamys nobilis*, *Oblimopa cf. japonica* and other minors, signifying a transgressive phase when the local relative sea level rose. The assemblage was named as *Eucrassatella-Venus* (EV) assemblage, situating in the lowermost horizon (15 - 80 cm in thickness) of the Szekou Formation (Chen et al., 1991). The benthic foraminifera assemblages studied by Huang (1988) at the bottom of the neighboring Tingtougou Section (頂頭溝剖面) suggests that the depositional environment started from being hyposaline marshes (bottom at 0 m) towards shelf sea (1 m). Therefore, we interpret that the blue whale might have been stranded on a shallow shelf area near some carbonate reefs, and not necessarily in a lagoon.

Keywords: whale fossil, West Hengchun Tableland, calcareous nannofossil

附錄二、國內研討會論文

1. **林志鴻、申永順** (2024) "以 185nm UV/O₂ 光氧化程序處理含酚類污染物水溶液反應行為研究", 2024 年第 38 屆環境分析研討會, 高雄。(Poster)

摘要：

本研究之目的在於以 185nm 波長之紫外線，在不同曝氣種類(氧、氮)等氧化背景之操作情形下，探討不同水溶液 pH 值條件對含酚類污染物(酚、4-氯酚及 4-硝基酚)處理效果之影響，並嘗試提出可能提出的光化學反應行為。

實驗發現，酚及 4-硝基酚在 UV/O₂ 系統中之分解速率較 UV/N₂ 系統中促進的程度(分別平均約為 2 倍及 1.6 倍)，較 4-氯酚(約 1.2 倍)更為明顯，此可能係因 4-氯酚分子中的 C-Cl 較易被紫外線光解，故在 UV/O₂ 系統中受 OH· 進行間接氧化的促進效果較不明顯之故。

在 UV/O₂ 及 UV/N₂ 系統中各酚類化合物去除速率隨 pH 值變化的情形方面，除 4-硝基酚隨 pH 值升高而加快外，酚及 4-氯酚隨 pH 值變化的趨勢並不明顯。由於酚、4-硝基酚和 4-氯酚均為解離性分子，其 pKa 分別為 10、7.15 和 9.45，由實驗可知離子態之 4-硝基酚較分子態容易被分解，而離子態與分子態的酚及 4-氯酚，在 UV/O₂ 和 UV/N₂ 系統中受 UV 直接光解及 OH· 間接氧化的去除趨勢則差異不大。

由本研究結果得知，以 UV/O₂ 光解程序可以有效處理各酚類化合物水溶液，各反應驅動力對於污染物分解的貢獻率亦可由本研究所提出之簡化模式計算之。此外，研究也發現有機物的光化學特性可能會影響光氧化進行機制的比例。

關鍵詞：超短波紫外光/O₂、酚、4-氯酚、4-硝基酚、高級氧化程序

2. 陳煒哲、陳熙、張榮偉、林志鴻、許元正 (2024) "固體再生燃料廠排放戴奧辛及重金屬所致環境風險評估", 2024 年第 38 屆環境分析研討會, 高雄。(Oral)

摘要：

根據「固定污染源管理資訊公開平台」資料顯示，目前國內具有 SRF/RDF 許可操作共有 20 家，SRF/RDF 年總許可使用量約 168 萬公噸。SRF 雖能滿足工業之燃料需求，同時達到廢棄物去化之目的，但 SRF 原料來源多樣且成分複雜，使用 SRF 的加熱設備種類、操作條件也不盡相同，加上既有燃燒機組非以 SRF 燃料設計，高比例混燒(>15%)容易遭遇進料系統、排灰系統積灰/結渣、料況不穩定等問題，極有可能因操作不當產生污染物排放至環境中，對環境、人類及生物造成危害。因此本研究蒐集、彙整國內外替代能源生質燃料(以 SRF 為主)之環境風險評估資料，並根據實際污染物排放資料進行環境風險評估，來評析造成環境風險的主要污染物。

本研究選定國內兩家 SRF 廠家(Z 廠、CD 廠)進行污染物檢測，包括重金屬、戴奧辛和 PAHs 等。利用不同物質的排放濃度以及氣象與地形資料進行 AERMOD 擴散模擬，及後續多介質模擬，最後再藉由模擬濃度/生態風險篩選值(PEC/PNEC)進行環境風險危害商數的計算。

不同介質的危害商數的計算主要參考了各國的生態篩選值以及國內外的土壤管制值來進行計算。CD 廠土壤濃度與生態篩選值比較後，推估之危害商數最高者為鎘($RQ=1.69E-01$)，Z 廠推估之危害商數最高者為鎘($RQ=4.21E-03$)。將 CD 廠水體濃度與生態篩選值比較後，推估環境風險之危害商數最高者為汞($RQ=1.35E-06$)，Z 廠推估之危害商數最高者為汞($RQ=8.10E-07$)。CD 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為低分子量 PAH($RQ=4.18E-04$)，Z 廠推估之危害商數最高者為低分子量 PAH($RQ=6.68E-03$)。

總結研究結果顯示目前 Tier 1 環境風險推估情形，無論是 CD 廠或 Z 廠，在不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（重金屬、PCDD/Fs、PAHs）推估之環境風險的危害商數（RQ 值）皆小於 1，表示目前無立即執行生態或人體健康風險評估之需要。

關鍵詞：固體再生燃料、環境風險評估、多介質模擬、大氣擴散模

擬

3. 莊智凱、楊子睿、魏國彥、李孟陽 (2024) "恆春西台地頭溝地區四溝層鈣質超微化石生物地層年代再探", 中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 113 年年會暨學術研討會, 花蓮。(Oral)

摘要：

本研究對恆春西台地頭溝地區四溝層的地層樣本進行了鈣質超微化石生物地層的重新檢視，檢視的樣本為科博館 2022 年在恆春頭溝地層中發現的大型鬚鯨類化石之下頷骨所附著的粉砂偏泥樣本 TG-W2。張錫麟和紀文榮(1983)在四溝層地層的鈣質超微化石樣本中首先發現了 *Pseudoemiliana lacunosa*，認為四溝層的年代應老於 46 萬年，屬 NN19 鈣質超微化石生物地層帶的上部，但王明惠(1985)以高倍率的偏光顯微鏡重新檢視了四溝層樣本的鈣質超微化石，並以指標化石種 *Emiliana huxleyi* 和 *Umbellosphaera tenuis* 的出現，認為前人看到的 *P. lacunosa* 應為老地層來的再積化石，四溝層應屬更年輕的 NN21 下部鈣質超微化石生物地層帶 (268 ~ 85 ka)，但並未明確地定量化 *E. huxleyi* 所佔的比例與生物地層年代的關聯性。本研究為更精確地獲得頭溝鬚鯨類之下頷骨附著地層樣本 TG-W2 的沉積年代，除使用偏光顯微鏡外，並以放大 1-2 萬倍的掃描式電子顯微鏡定量地檢視樣本內的鈣質超微化石種類，辨識出了豐富且保存良好的鈣質超微化石 *E. huxleyi* 和中、小型的 *Gephyrocapsa* 屬，目前已合計辨識出 145 個鈣質超微化石，且並未發現到任何再積化石，顯示此樣本受生物擾動的狀況並不嚴重，顯示樣本年代的高度可信；其關鍵的指標化石種赫氏艾密利鈣板(*E. huxleyi*)佔 15.2%，橋石屬(*Gephyrocapsa* sp.)共佔 43.5%，對比鄰近的臺灣東部海域加瓜海脊海洋岩芯 ORI-892-GR2-2 之鈣質超微化石豐度結果(Chuang *et al.*, in progress)，判斷恆春頭溝鬚鯨類化石的年代應落在 110 ~ 83 ka 之間，屬海洋氧同位素第五階前段的 5a-5c 區間，古氣候上屬於上次間冰期，並依據樣本內的有孔蟲種類初步分析結果，研判此地古環境為水深五十米左右的半鹽水潟湖環境。

關鍵詞：鈣質超微化石、四溝層、*Emiliana huxleyi*、*Gephyrocapsa* sp.