



TPRI



研發試驗年報 (114 年度)

2025 Research & Testing Annual Report

台電公司綜合研究所
Taiwan Power Research Institute
Taiwan Power Company
2026 年 6 月

台灣電力公司
使命：以合理成本及友善環境的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力。
願景：成為卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。
經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

目錄 (Contents)

一、研發試驗方向與展望	5
二、研究發展主要成果	6
(一) 數位轉型與經營管理	
1. 2035 台灣電力前瞻情境規劃研究	6
2. 研發關鍵績效指標優化前導性研究	12
3. 全球碳中和趨勢下我國電業因應策略研究	14
4. 需量反應抑低日夜尖峰負載預測暨效益分析	16
5. 去碳電力憑證之核算規範研擬	18
6. 電力交易平台市場監管細則建立及效率優化之研究	22
7. 再生能源售電業售電業務精進之研究	26
(二) 環境保護與循環經濟	
1. 林口發電廠超臨界鍋爐化學清洗研究與技術應用	28
2. 微藻養殖量產化其資源再利用評估研究	30
3. 中火既有廢水處理程序回收改善評估	32
4. 藻類養殖試驗自動化技術研發	34
5. 以人工智慧檢測系統水之材料老化程度判讀可行性評估	36
6. 碳捕集封存與碳權相互發展之研究	38
7. 化學吸收法碳捕集溶劑壽命線上評估研究	40
8. 減碳技術園區微型測試區：固態吸附劑長期壽命評析	42
9. 台中電廠地質環境背景值監測之研究	46
10. 電廠加裝碳捕集設施之經濟分析研究	48
11. 林口電廠 SCR 觸媒水洗再生測試研究	50
12. 輸電鐵塔基礎巨基混凝土溫度場數值模擬與溫控計畫書之研擬	52
13. 不同摻量灰塘灰混凝土之力學性質研究	54
14. 以國產材製做木質顆粒用於發電機組之可行性研究	58
15. 營建材料碳封存技術可行性探討	60
16. 建築使用木構造之減碳效益評估	62
17. 興達電廠燃氣機組更新改建施工階段生態檢核及生態衝擊評估研究	64
18. 煤灰構造物對海洋生態之短期效應	68
(三) 低碳發電與能源預測	
1. 鋰電池二次利用之電池管理系統開發研究	70
2. 燃煤混燒低碳燃料之燃燒特性研究	72
3. 金門地區短期負載預測分析與電力資訊系統建置	74
4. 雲影像預測模型開發與應用	76
5. 微型渦輪發電機組以氫氣混合天然氣為燃料之性能測試研究	78
6. 天然氣裂解產氫技術與產業情資調查研究	80
7. 利用 CFD 分析進行台電深澳廠區風資源評估研究	84

8. 離岸浮動式風機平台穩定度分析研究	86
(四) 用戶服務體驗與電能管理	
1. 應用於行動裝置之家庭能源管理系統功能應用研究	88
2. 用戶端能源管理應用與推動策略研究	90
3. 自動需量反應 OpenADR 3.0 規範以及與 OpenADR 2.0b 整合之可行性研究 ..	94
4. 電業最新智能 AI 客服系統發展及可行性研究	98
5. 電度表、變比器資訊數位化管理之研究	102
6. 高壓用戶需量反應特性查詢系統研究	106
7. 智慧電網結合 AMI 數據分析違規用電行為可行性研究	110
8. 整合新興分散式資源應用於電力調度之技術規範研析	112
9. 電力大數據應用人工智慧於微型區域發展預測創新試驗精進研究	116
10. 暫態特徵之非侵入式家電負載解析平台開發與商業化試驗	120
11. AMI 資料應用集成學習於住宅用電預測研究	122
12. 再生能源電源高占比時段之負載提升需量反應機制研究	124
13. 應用於虛擬電廠之短期負載預測研究	128
14. 區域用電量預測與尖離峰趨勢差異分析研究	132
15. 太陽光電結合儲能計量及再生能源數據應用精進之研究	134
(五) 智慧電網與監測診斷	
1. 同步調相機於電力系統穩定度之應用研究	136
2. 以廣域量測系統進行系統即時調頻輔助服務需求量估測	138
3. PSS [®] E 自動化分析介面開發研究	142
4. 虛擬同步機頻率電壓控制模型參數探討	144
5. 利用電力系統強健度指標評估區域再生能源穩定性	146
6. 考量高占比再生能源與儲能之離島電網低頻卸載策略精進作為	148
7. IEC 61850 通訊測試平台研究	150
8. IEC 61850 封包傳輸效能測試研析	152
9. 塔基監測應用衛星傳輸之可行性研究	154
10. 交直流複合微電網控制系統設計	156
11. 微電網驗證場域各式測試情境模擬研析	158
12. 0-RAN 基地台量測與分析	160
13. 發電部門分散式控制與資料收集系統之電磁耐受性研究	162
14. 基於硬體迴路平台之發電機自動電壓調整器電壓控制行為分析	164
15. 變流器型資源電磁暫態模型需求與驗證程序統整與概述	166
16. 電網整合電動載具資通訊架構與應用研究	170
17. IEC 61850 XMPP 檢測與應用研究	172
18. 太陽光電虛實整合系統研析與建置評估	176
19. IEC 61850 二次變電所資安風險評估與防護對策研究	178
20. 分散式能源相關資安標準應用研析	180
21. 生成式人工智慧於電業專業領域之應用試驗	182
22. 工廠儲能與區域 STATCOM 減緩電壓驟降效能分析	184

23. 電力電子控制技術於電力系統慣量改善之應用	186
24. 再生能源及儲能系統使用電力電子設備對變壓器影響	190
25. 三相四線式 110/220V 低壓供電方式之效益及影響	192
26. 利用光電案場變流器調控虛功對系統改善之策略與研析	196
27. 各國構網型變流器之規範研析	198
28. 直流微電網應用案例與國際標準研析	202
29. 基於 OPAL-RT 平台之多模態 Inverter 控制策略之開發與驗證	206
30. 利用發電廠變壓器資產管理系統分析油中氣體對應變壓器狀態之研究 ..	208
31. 345kV 架空輸電線路之雷擊風險評估	212

(六) 發電營運與調查規劃

1. 導入頻率響應模型以探討再生能源高度滲透下之電力系統合宜備轉容量	216
2. 大林發電廠吹灰器改良新製研究	218
3. 大潭電廠 GE7HA.02 氣渦輪機轉子模態分析	220
4. 利用結構共振以分析診斷渦輪機葉片破損狀態之研究	222
5. 林口電廠低壓汽機第一級動葉片破損分析	226
6. 大潭電廠 4 號機鍋爐前抵板螺栓斷裂力學分析	228
7. 大潭電廠二號機發電機定子損壞肇因研究	232
8. 葉片噴銲製程深度學習瑕疵檢測之模型優化評估研究	234
9. 台中發電廠六號機燃煤鍋爐壽命評估	236
10. 新通霄電廠 3 號機高溫材料微觀組織資料庫建立	240
11. 南部火力發電廠 #1 號機熱回收鍋爐壽命評估	242
12. 南部火力發電廠 #4 號機熱回收鍋爐壽命評估	244
13. 大林發電廠二號機鍋爐蒸汽輸送管件狀態追蹤評估	246
14. 南部火力發電廠熱回收鍋爐爐管銲接條件評估	248
15. 林 1 機爐管疲勞變形與高溫潛變狀態監測系統建置	250
16. 林 3 機鍋爐邊界溫度分布測量與潛變破壞之研究	252
17. 柴油機組燃用低硫燃油及生質燃油情資調查	254
18. 乾式低氮燃燒器機構流體現象與燃燒模擬分析	256
19. 大林發電廠廠用水腐蝕抑制劑特性評估研究	258
20. 複循環發電機組附設碳捕集系統運轉性能模擬分析研究	260
21. 氫的輸儲路徑與天然氣管線混氫之調查及研究	262
22. MW 級混氫發電應用平台技術調查及評估研究	264

三、試驗業務摘要報導

(一) 化學綜合試驗與環境檢驗	266
(二) 燃料、油料與氣體試驗	270
(三) 高電壓試驗	272
(四) 電度表、變比器及相關計量與保護設備試驗	274

一、研發試驗架構

一、研發試驗架構

(一) 數位轉型與經營管理
研究發展主要成果

(二) 環境保護與循環經濟

(三) 低碳發電與能源預測

(四) 電能管理
用戶服務體驗與

(五) 智慧電網與監測診斷

(六) 發電營運與調查規劃

三、試驗業務摘要報導

四、研發活動

(五) 儀器校驗、檢修、電驛維修與電量標準維持	276
(六) 電力設備試驗	278

四、研發活動

(一) 專利申請	280
(二) 發表之論文	288
(三) 技術服務	294
(四) 與國外技術交流	298
(五) 綜合研究所統籌全公司研究計畫項目	308

一、研發試驗方向與展望

面對日益嚴峻的極端氣候風險，國際社會正加速推動由「減緩 (Mitigation)」與「調適 (Adaptation)」雙軌並行的能源轉型，推展過程也重新塑造了「能源安全」的內涵。2025 年 4 月舉行的全球能源安全峰會中，國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 指出，能源安全已不再僅限於傳統燃料供應之穩定，更須同時關注氣候變遷風險、電力系統彈性、資通安全威脅，以及低碳與綠能供應鏈的韌性等多重面向。

臺灣在 2025 年歷經丹娜絲颱風與樺加沙堰塞湖潰堤等極端氣候事件的挑戰，深化了積極接軌國際減碳作為的迫切認知，政府於 2025 年 11 月正式核定新版國家自主貢獻 (Nationally Determined Contribution, NDC)3.0 藍圖，將 2035 年較基準年 2005 年減少 $38 \pm 2\%$ 為核心減碳目標，並聚焦能源轉型、數位雙軸轉型與氣候調適等十項戰略主軸，引導我國在 2050 年前持續朝淨零與永續發展目標邁進。

本公司在此脈絡下，除須回應全球能源轉型與氣候變遷風險等外部環境變化外，亦面臨產業電氣化加速所帶動之用電需求成長，以及公司內部在導入減碳技術、系統整合與電網韌性強化等方面的轉型需求。爰將研發規劃方向聚焦於「淨零轉型」、「數位轉型」與「韌性調適」三大策略主軸，並於各主軸下發展具體議題，形成相互支撐之整體研發布局，建構具競爭力之低碳電力體系：

1. 淨零轉型：持續推動風力及太陽光電等再生能源開發，並進行地熱探勘等計畫，以提高再生能源在電力結構中的占比，直接降低發電碳排放。同時，規劃透過燃氣機組混氫及燃煤機組混氫等低碳燃料技術，逐步降低傳統火力機組之排放強度，作為再生能源尚未完全取代前的過渡性減碳方案；另亦持續致力碳捕捉與封存 (Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS) 技術，並建置示範場域，以驗證關鍵技術在實際電力系統情境下之可行性及效益。此外，推動能源樞紐 (Energy Hub) 概念規劃，促進區域整體減碳與能源使用最佳化，使本公司減碳作為可由電力部門擴散至更廣泛之終端用能部門。

2. 數位轉型：積極研發並導入人工智慧 (AI) 模型，分析運維大數據，以掌握發輸配電設備在老化、故障或異常狀態下可能產生的效能下降風險，並於問題發生前提出預警，以提升設備可靠度與運轉安全。同時，推動整合資產管理、運維決策、用戶端電能管理與分散式能源資源等技術，建置結合 AI 模型之智慧化即時控制數位運營系統，可強化供電可靠度、提升設備運轉效率，並優化用戶互動與服務品質，形成支撐高再生能源滲透與高用電需求環境之智慧電力系統基礎，也為後續電網韌性與氣候調適之相關作為提供重要的數位底座。

3. 韌性調適：在韌性調適面向，本主軸以提升電力系統在極端氣候與高再生能源滲透率條件下之適應力與回復力為核心目標。具體而言，本公司進行運用微電網概念整合分散式能源與儲能設備之研究，以提高局部區域在災害或事故情境下之自治供電能力。同時，建置整合人工智慧物聯網 (AIoT) 之智慧化設備診斷系統，強化設備狀態監測與故障診斷能力，並精進電網應對自然災害之調適技術與事故後復電策略，以縮短停電時間、提升供電服務之連續性。在資通安全面向，則導入電網資安防護機制，以降低惡意攻擊或人為破壞對電力系統之影響，整體目標在於強化電網災害抵禦能力並提升災後復原速度，使電力系統在淨零轉型過程中仍能維持穩定可靠之供電服務。

為同時配合國家能源轉型目標並確保電力供應穩定，除將前述「淨零轉型」、「數位轉型」與「韌性調適」三大策略主軸具體落實於研發規劃中，並採行「50% 投入前瞻技術、50% 滿足公司營運需求」之研發投資組合策略，以兼顧長期技術布局與短期營運需求，有助於在達成淨零願景的同時維持供電安全與服務品質。未來一年，我們將持續深化產學研共創生態系，透過創新的研發成果支援國家政策，確保電力供應在追求淨零排放的同時，兼顧能源供應之安全性、可靠性與社會公平性，開創電力事業永續營運之新典範。

2035 台灣電力前瞻情境規劃研究

2035 Taiwan Power Prospective Scenario Planning Study

Abstract

This study employs a systematic and scientific approach to explore the future development path of Taiwan's power industry through 2035, with a particular focus on how to support Taipower's decarbonization needs. The research is guided by two primary aims: (1) to identify feasible strategic options that enable Taipower to meet its carbon reduction needs by 2035, and (2) to translate these strategies into a time-based roadmap to provide a reference for long-term planning and policy making.

The Scenario-Based Strategic Roadmapping (SBSR) methodology is adopted for constructing three distinct scenarios—most favorable, most likely, and least favorable—through scenario analysis. These scenarios serve as the analytical foundation for evaluating Taipower's potential decarbonization pathways. Drawing on insights from internal executive discussions at Taipower, the study identifies three critical issues on the power generation side for in-depth analysis. There

are increasing the share of hydrogen co-firing, expanding the deployment of Carbon Capture and Storage (CCS) technologies, and enhancing the contribution of renewable energy sources.

Building on this foundation, the study conceptualizes the causal relationships among key influencing factors and derives seven actionable decarbonization strategies: (1) development of offshore photovoltaic (PV) systems, (2) upgrading of onshore wind power infrastructure, (3) procurement of auctioned offshore wind power, (4) development of deep geothermal energy, (5) hydrogen co-firing in gas-fired power generation, (6) CCS implementation in gas-fired power plants, and (7) CCS implementation in coal-fired power plants.

Finally, the study presents time-based strategic roadmaps for each of the seven strategies under the three scenario conditions. These roadmaps provide a structured framework for Taipower's strategic planning and operational decision-making to meet its carbon reduction needs by 2035.

1 研究背景、目的、方法：

面對 2050 淨零目標，台灣電力股份有限公司（以下簡稱台電）作為我國唯一國營電力事業，肩負台灣達成淨零目標的重要任務。然而，台電同時面臨電力需求持續成長、產業設備加速電氣化、電力供給零碳化要求，以及地緣政治風險升高等多重挑戰。因此，如何在維持供電穩定與資源受限的前提下，擬定未來可行的策略，已成為台電亟需解決的核心課題。

本研究旨在透過系統性與科學化方法，描繪 2035 年台灣電力前瞻發展的可能樣態，作為前瞻技術投資及因應策略研擬之指引。期望透過情境分析與策略規劃，凝聚利害關係人共識方向，兼顧電力淨零及永續發展。具體而言，本研究將識別 2035 年台灣電力能源趨勢及分析情境樣態，擇定關鍵議題進行深入情境模擬與因應策略研擬，最終產出具時間軸之策略藍圖，作為台電

未來策略布局之參酌。

本研究採用「情境基礎策略藍圖」(Scenario-Based Strategy Roadmap, SBSR) 研究方法，整合總體情境分析與因應策略研擬。在總體情境分析流程中，首先界定決策焦點為「2035年將每度電的電力排碳係數降至 0.3 kg CO₂e」，並以此決策焦點為目標，收集國際電業趨勢、研究組織報告及顧問公司分析，以 PEST 架構整理出 27 項驅動因素。

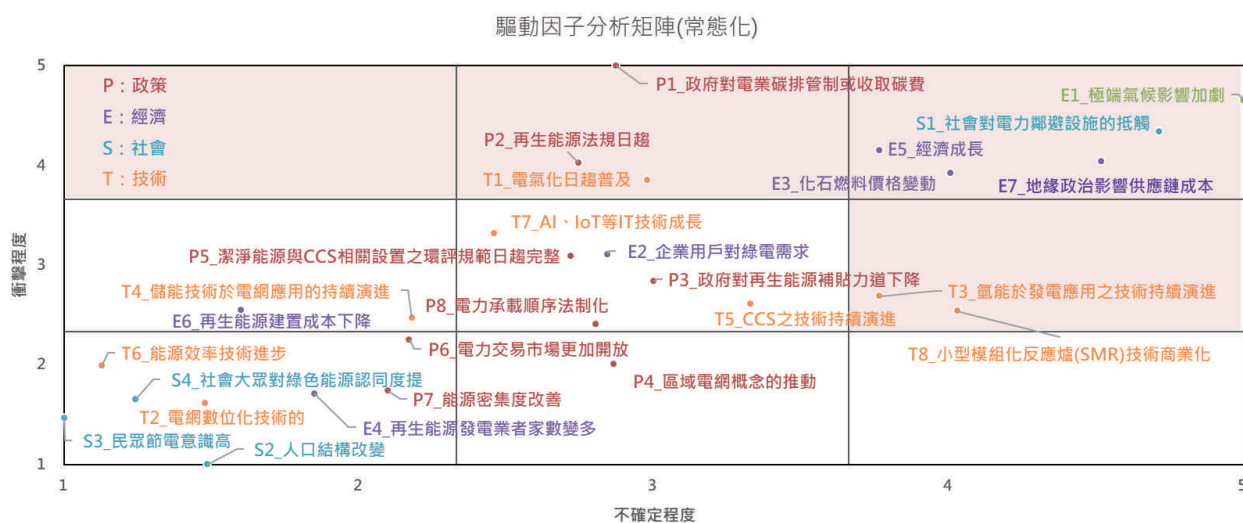
透過專家問卷調查進行評估，分析各驅動因素的「不確定程度」與「衝擊程

度」。產出衝擊性與不確定性矩陣，並篩選出十大關鍵驅動因素，據此建構「最有利」、「最可能」、「最不利」三種情境。在策略研擬流程方面，研究從情境內容中分析機會與威脅，推導出 8 項重要議題。透過高階主管專家諮詢會議，擇定 3 項關鍵議題進行深入研究，並針對每項關鍵議題舉辦專家工作坊，形塑策略空間。最後，運用策略評估矩陣進行策略優先排序，產出具時間軸的策略執行路徑，以完整呈現台電 2035 年減碳策略藍圖。

2 成果及其應用：

1. 本研究透過系統性的情境分析與策略規劃方法，完成 2035 年台灣電力前瞻情境規劃。在情境建構階段，研究團隊從 27 項驅動因素中篩選出高不確定程度及高衝擊程度之 10 項關鍵驅動因素(如圖 1)，涵蓋政策(P)、經濟(E)、環境(E)、社會(S)及發電技術(T)五大類別。這些關鍵驅動因素包括「P1. 電業碳排

總量管制與碳費」、「P2. 再生能源法規」、「E1. 極端氣候影響」、「E7. 地緣政治影響供應鏈成本」、「E5. 經濟成長」、「T1. 電氣化日趨普及」、「E3. 化石燃料價格」、「S1. 社會對電力鄰避設施的抵觸」、「T3. 氫能發展 - 混氫火力發電」以及「T8. 小型模組化反應爐(SMR)」等。



資料來源：本研究整理

圖 1 驅動因素分析矩陣

二、研究發展主要成果—（一）數位轉型與經營管理

2. 基於這些關鍵驅動因素，研究建構出三種情境 (如表 1)，並從三種情境中識別出 10 項機會與 10 項威脅 (如表 2)。

表 1 三種減碳情境之關鍵驅動因素組合

情境驅動軸	最有利情境	最可能情境	最不利情境
政策	嚴格	嚴格	嚴格
P1. 電業碳排總量管制與碳費	碳費徵收 1,800 元 /tCO ₂ e[62]	碳費徵收 1,800 元 /tCO ₂ e[62]	碳費徵收 1,800 元 /tCO ₂ e[62]
P2. 再生能源法規	用電大戶綠能裝置義務 15%[63]	用電大戶綠能裝置義務 15%[63]	用電大戶綠能裝置義務 15%[63]
環境	嚴酷	嚴酷	嚴酷
E1. 極端氣候影響	超過 35° C 天數為 76 天 [64]	超過 35° C 天數為 76 天 [64]	超過 35° C 天數為 76 天 [64]
E7. 地緣政治影響供應鏈成本	地緣政治風險指數 (GPR)129[65]	地緣政治風險指數 (GPR)129[65]	地緣政治風險指數 (GPR)129[65]
經濟	趨緩	成長	成長
E5. 經濟成長 +T1. 電氣化日趨普及	電力消費年均成長 1.86%[66]	電力消費年均成長 2.8%[67]	電力消費年均成長 3.0%[66]
E3. 化石燃料價格	燃氣 LCOE 3.36 元 /kWh[39]	燃氣 LCOE 2.83 元 /kWh[39]	燃氣 LCOE 2.28 元 /kWh[68]
社會	理想	現實	現實
S1. 社會對電力鄰避設施的抵觸	28% 民眾反對鄰避設施 [69]	61% 民眾反對鄰避設施 [69]	61% 民眾反對鄰避設施 [69]
發電技術	突破	突破	緩慢
T3. 氫能發展 - 混氫火力發電	混氫比例達 20%[70], [71]	混氫比例達 20%[70], [71]	混氫比例達 5%[70], [71]
T8. 小型模組化反應爐 (SMR)	國際商業化 [72]	國際商業化 [72]	未商業化 [72]

資料來源：本研究整理

表 2 三種減碳情境之機會與威脅

因素	最有利情境	最可能情境	最不利情境
機會	O1.因徵收碳費，致台電火力發電成本增加，因此相比之下投資再生能源更具誘因，對減碳有利		
	O2.因再生能源法規日趨嚴格，致用電大戶再生能源義務由 10%提升至 15%，帶動再生能源投資而對減碳有利		
	O3.因再生能源法規日趨嚴格，致再生能源與建築法規要求新建或改建建築物 1,000 平方公尺(約 300 坪)以上，每 20 平方公尺(約 6 坪)需裝設 1kW 再生能源，相當於 300 坪要設 50kW，帶動再生能源投資而對減碳有利		
	O7.經濟成長趨緩，所以生產活動及消費活動趨緩，導致用電需求成長有限，碳排增加壓力不大	O4.經濟成長，民眾有能力購買高效率家電	O5.經濟成長，產業投資更高能效設備
O8.化石燃料價格上漲，造成火力發電成本上漲，因此相比之下投資再生能源更具誘因，對減碳有利	O9.氫氣於發電應用技術突破，2035 年燃氣火力機組商用可混氫能力達 20%，燃煤火力機組商用可混氫能力達 20%		O9.氫氣於發電應用技術緩慢，且氫氣燃料成本居高不下，2035 年混氫與混氣的僅有示範電廠混燒占 5%
O9.氫氣於發電應用技術突破，2035 年燃氣火力機組商用可混氫能力達 20%，燃煤火力機組商用可混氫能力達 20%	O10.SMR 技術發展快速，在 2035 年國際上已見商業化之機組商轉		
威脅	T1.因徵收碳費，致台電整體營運成本上升，影響可投資於再生能源設施的資金		
	T2.因極端氣候影響加劇，致在高溫天氣天數增加下，將導致空調使用時數變長，用電而需求增加，減排壓力增大		
	T3.因極端氣候影響加劇，高溫情境使得輸電容量減損，平均輸配電損耗約為 5%		
	T4.因極端氣候影響加劇，颱風侵台次數變少但強度變強，導致每年太陽能板會有 0.5%的折損率		
	T5.因極端氣候影響加劇，乾旱期間變長，衝擊水力發電		
	T6.地緣政治導致再生能源所需之關鍵金屬材料價格上漲		
T7.雖然經濟成長趨緩、電氣化與 AI 應用普及速度不如預期，但用電需求仍緩步增加 1.86%/年	T7.經濟成長增加用電需求，且電氣化與 AI 應用日趨普及，產業生產設備、建築與運具邁向電氣化及智慧化發展，導致用電需求快速成長 2.8%/年	T7.經濟成長增加用電需求，且電氣化與 AI 應用日趨普及，產業生產設備、建築與運具邁向電氣化及智慧化發展，導致用電需求快速成長 3%/年	
	T8.化石燃料價格下跌，火力發電成本下降，火力發電占比持續，潔淨能源投入相對不具成本效益	T9.鄰避設施抵觸強烈，造成對再生能源及其輸電設施進行陳抗的強度較高	
			T10.SMR 技術發展緩慢，2035 年尚無法商業化

資料來源：本研究整理

3. 基於機會與威脅分析，研究推導出 8 項重要減碳議題 (如表 3)，並透過台電內部高階主管會議，依據篩選原則 (1) 3 種情境都必須面對且高度不確定的議題；(2) 該議題的策略方案是台電能力、資源與稟賦可有作為的議題；(3) 對減碳有直接影響的議題等，並以「前瞻

性」、「技術成熟度」、「減碳效益」與「議題不確定性」為衡量構面，擇定 3 項關鍵議題進行深入研究，分別為「提高氫氨混燒比例」、「增加碳捕集與封存 (CCS) 設置與應用」，及「擴大再生能源發電占比」。

表 3 八項減碳議題

序	議題	影響碳排	技術成熟度 (IEA 清潔能源技術指南)	台電淨零策略架構
1	提高氫氨混燒比例	直接	TRL5(混氨)、TRL9(混氫)	供給面
2	增加 CCS 設置與應用	直接	TRL8-9	供給面
3	擴大再生能源發電占比	直接	TRL9~10	供給面
4	評估 SMR 導入機會	直接	TRL6~7	供給面
5	推動 Energy Hub 發展	間接	依導入技術組合而有差異 (e.g. 離岸風電生產綠氫 TRL6) ^註	供給面、電網面、需求面
6	擴大需求反應/時間(即時)電價參與	間接	TRL10 (自動化需求反應 TRL7)	需求面
7	創新商業模式	間接	非技術項目	需求面
8	強化電網智慧化	間接	TRL7~10	電網面

資料來源：本研究整理

4. 針對 3 項關鍵議題，研究建構出 7 項具體策略方案。

- (1) 在擴大再生能源發電占比議題下：發展海上太陽光電、更新陸域風電、購買競標離岸風電以及發展深層地熱等四項策略。
- (2) 在提高氫氨混燒比例議題下：發展出燃氣混氫發電策略。
- (3) 在增加 CCS 設置與應用議題下：發展燃氣 CCS 與燃煤 CCS 兩項策略。每項策略都針對三種情境設定不同的發展假設與目標，並評估其對 2035 年減碳目標的貢獻。

5. 研究進一步整合法規政策、技術支援、財務資源、宣導溝通等配套構面，為每項策略繪製具時間軸的策略藍圖。以燃氣 CCS 與燃煤 CCS 策略為例 (如圖 2)，策略藍圖涵蓋捕捉技術選項、封存場域選址與評估、社會接受度以及法規與監測機制等四大配套構面，清晰呈現從現況至 2035 年的執行路徑與關鍵里程碑。

二、研究發展主要成果—（一）數位轉型與經營管理



資料來源：本研究整理

圖 2 燃氣 CCS 與燃煤 CCS 策略之情境策略藍圖

6. 根據研究推算 (如表 4)，在最有利情境下，七項策略整合後可使 2035 年碳排係數降至 0.2537 kg CO₂e/kWh，達成台電 0.3 kg CO₂e/kWh 的減碳目標，其中以購買競標離岸風電對減碳目標的貢獻度最高，可減少 4.16 百萬噸碳排。在最可能情境下，碳排係數可降至

0.2937 kg CO₂e/kWh，同樣達成減碳目標，此情境中以燃煤 CCS 對減碳貢獻度最高，可減少 4.44 百萬噸碳排。然而在最不利情境下，由於 CCS 無法設置且再生能源發展受限，碳排係數僅能降至 0.3265 kg CO₂e/kWh，未能達成減碳目標。

表 4 2035 年台電減碳目標之達成狀況

策略	2035 年 (單位: kg CO ₂ e / kWh)		
	最有利情境	最可能情境	最不利情境
情境別之原始碳排係數	0.3043	0.3200	0.3294
S1: 發展海上 PV	-0.0036	-0.0017	-0.0006
S2: 更新陸域風電	-0.0014	-0.0006	-0.0002
S3: 購買競標離岸風電	-0.0142	-0.0068	-0.0015
S4: 發展深層地熱	-0.0101	-0.0010	-0.0001
S5: 燃氣混氫發電	-0.0054	-0.0022	-0.0005
S6: 燃氣 CCS	-0.0104	-0.0092	---
S7: 燃煤 CCS	-0.0055	-0.0048	---
最終之碳排係數	0.2537	0.2937	0.3265

資料來源：本研究整理

7. 綜上，本研究透過情境基礎策略藍圖方法，為台電 2035 年減碳策略規劃提供了系統性的決策思考架構。透過系統性地識別關鍵驅動因素、建構多元情境，並發展具時間軸的策略藍圖，可作為台電長期策略規劃的重要工具。研究過程中整合內部高階主管共識與外部專家意見的機制，有助於凝聚組織對未來發展

的共同願景。更重要的是，這套情境分析架構可協助台電在面對政策變動、技術演進或市場環境變化時，快速評估各種可能的情境，及早調整資源配置與投資優先順序，使台電能在高度不確定的未來環境中保持策略彈性與應變能力，為台灣電力產業的淨零轉型與永續發展奠定重要基礎。

研究人員：研究發展企劃室：林文文、黃鐘、陳妤涵

研發關鍵績效指標優化前導性研究

Preliminary Research on Optimization of R&D Key Performance Indicators

Abstract

In response to the sustainable development trend and national Net-Zero mandates, and driven by external scrutiny on the R&D effectiveness of Taiwan Power Company (Taipower), this research proposes a refined management strategy. We utilize international benchmarking and expert consultation to develop optimized

R&D Key Performance Indicators (KPIs) and a future-proof performance evaluation mechanism. These tools provide Taipower's Research Institute with the means to effectively assess realized benefits, ensure policy compliance, and strategically guide the company toward organizational sustainability.

1 研究背景、目的、方法：

台電公司在面臨大環境變遷、國際競爭趨勢，以及各界對研發效益的關注等課題與挑戰下，需要掌握更多有關產品技術開發或服務流程的突破、引領產業中下游創新或公司永續經營的貢獻等資訊，進而調整研發執行策略或進行社會溝通。而台電綜研所主責台電公司整體研發業務與計畫的管理，亟需就目前研發關鍵績效指標、績效評估作法、對外溝通重點等重新檢視並進行優化，首要任務即為透過借鏡國際電業組織及國內外專家觀點，優化出研發關鍵績效指標，並運用績效指標考評各業務組室之不同研發績效，俾利未來將考評結果回饋應用至計畫成效檢討、令外界有感的亮點績效展現或監督機關的回應。為優化台電研發關鍵績效指標，本研究透過國際經驗觀摩、焦點團體訪談及績效評估施測等方法，逐步進行台電研發成效指標之探索、蒐整、收斂及試驗，分述如下：

1. 國際經驗觀摩

盤整台電綜研所現行研究發展類計畫的績效指標項目及各項指標近年的目標值與成果值，以掌握台電研發計畫的主要執行成果項目；蒐集國內相關部會(包含國科會、經濟部能源署與技術司)科技研發指標，以掌握政府科技研發策略重點；同時，觀摩國際電業組織(包

含韓國電力公司、日本東京電力公司、德國萊茵集團及美國南方電力公司)在科技研發管理機制、關鍵績效指標評估等方面的經驗，從中觀察並汲取值得借鏡之處。最後，綜合前述依台電六大主要研發領域別重整、篩選並歸納適合納入「台電研發關鍵績效指標體系」的指標項目。

2. 焦點團體訪談

以座談會、工作會議等形式，邀請電業領域專家、績效管理專家、台電公司董事會成員、台電研發計畫管理與執行者等內外部重要關係人及專家進行交流與討論，並綜整各方意見回饋修訂整體研發關鍵績效指標體系。

3. 績效評估施測

為確保優化後的台電研發關鍵績效指標體系於實務應用上的可操作性，本研究透過小規模績效評估試行作業進行試驗，針對六大研發領域擇選代表性 8 項計畫(具相當經費規模、涵蓋綜研所各研究室之延續型計畫)，結合量化和質性方法評估其各項績效指標之表現，以施測績效指標的適切性及評估機制的可行性與順暢度，最後整合與分析績效評估試行結果，回饋精修並確立台電研發關鍵績效指標體系(如表 1)。

2 成果及其應用：

鑑於研發計畫成效具遞延性須一定時間方能展現執行效益及影響力，台電研發關鍵績效指標體系聚焦產出 (Output)、效益 (Outcome)、影響 (Impact) 三大成效階段。產出階段係指計畫執行即可見的產出結果，聚焦研究 (技術) 成果；效益階段係指計畫擴散運用產出結果、促進經濟發展、提升能源效益；影響階段係指擴散運用後，經過一段時間醞釀後所形成的影響，聚焦促進環境保護、創造社會價值。

各階段包括共通指標、特色指標及高質

量指標等類型。其中，共通指標為一致性共同指標項目，不論有無成果皆須填報；特色指標為具個別性，依計畫自身特性，強化展現特色成效的指標項目；高質量指標為運用當前或累積之研發成果創造具挑戰性或對公司內外具影響力的指標項目。

經績效評估施測結果，初步驗證本研究所提出之研發關鍵績效指標體系已具可行性，將在此基礎下，持續精進優化關鍵及特色指標，擴增適用更多計畫。

表 1 台電研發關鍵績效指標體系

成效階段	Output 研究 (技術) 成果	Outcome 成果擴散運用 / 促進經濟發展 / 提升能源效益	Impact 創造社會價值 / 促進環境保護
共通指標	研究 (技術) 成果 <ul style="list-style-type: none"> • 報告論文 • 專利申請與獲得 • 上級交辦 • 合作開發 	成果擴散運用 <ul style="list-style-type: none"> • 產品開發 • 製程 / 作業流程優化 • 技術服務 促進經濟發展 <ul style="list-style-type: none"> • 降低成本 	創造社會價值 <ul style="list-style-type: none"> • 法規或政策研議推動
特色指標	_____ (請自行增列)	促進經濟發展 <ul style="list-style-type: none"> • 增加收入 • 技術轉移 • 創新服務模式應用 • 成立新事業 / 新產線 • 驗證平台 • 輔助新建網站 / 平台系統 / 資料庫數 提升能源效益 <ul style="list-style-type: none"> • 輔助降低電力系統事故發生頻率 • 輔助提升再生能源產出量 • 輔助增加儲能系統建置容量 • 輔助提升發電效率 _____ (請自行增列)	創造社會價值 <ul style="list-style-type: none"> • 參與國際組織制定建議 • 輔助 ESG 提案 / 獲得 / 得獎議題數 促進環境保護 <ul style="list-style-type: none"> • 輔助降低空氣污染物排放量 • 輔助降低溫室氣體 (CO₂e) 排放量 • 輔助提高廢固 (液) 回收及再利用量 _____ (請自行增列)
高質量指標	研究 (技術) 成果 <ul style="list-style-type: none"> • 優質論文 • 發明型專利申請與獲得 	成果擴散運用 <ul style="list-style-type: none"> • 專利應用 	創造社會價值 <ul style="list-style-type: none"> • 法規或政策調適應用

資料來源：本研究整理

研究人員：研究發展企劃室：黃鐘、林文文、黃筱雯、吳政衛、李依恬、陳妤涵

全球碳中和趨勢下我國電業因應策略研究

Strategies for the Power Sector Amidst Global Carbon Neutrality Trends

Abstract

Amidst the active global formulation of net-zero response strategies, the collection and analysis of pathway planning methodologies, planning outcomes, and key decarbonization technologies adopted by international power sectors and utilities have become the primary imperative for Taipower's research division. This undertaking is essential for assisting Taipower in formulating a net-zero development strategy that aligns with international trends. Specifically, hydrogen energy is universally recognized as a pivotal energy carrier and storage technology, destined to play a critical role in the future net-zero power system. Consequently, beyond merely maintaining a comprehensive grasp of hydrogen technological trends, conducting a cost assessment of the hydrogen supply chain is a crucial precursor for domestic hydrogen

application. Economic viability is often a determinant factor in policy planning, directly influencing technological feasibility and deployment timelines. This project entails a comprehensive literature review and analysis regarding net-zero pathways adopted by power sectors and public utilities, both domestically and internationally. The primary objective is to develop a national power supply and demand planning model to simulate the 2050 net-zero trajectory for the domestic power sector. Furthermore, the study will conduct data collection and analysis focusing on global development trends in hydrogen and ammonia technologies. A specific methodology for assessing future import costs of hydrogen and ammonia will be established and utilized to evaluate the projected procurement costs of these fuels for the nation's power generation sector.

1 研究背景、目的、方法：

在全球對於淨零積極提出因應策略的同時，蒐集與研析各國電力部門或事業淨零路徑規劃方法論、路徑規劃結果或關鍵淨零技術發展，將是台電公司研究單位目前首要的工作，這將有助於台電公司未來擬定更符合國際趨勢的淨零發展策略。例如：氫能是當下各界公認重要的能源攜帶與儲存技術，對於未來淨零電力系統發展將扮演重要的角色，因此除須對氫能技術發展趨勢充分掌握外，氫能產業鏈成本評估也是我國未來氫能應用的重要

前期工作，經濟成本常是影響政策規劃的重要因素，這會影響技術的可行性與可投入時程。本計畫將對國內外電力部門或公用電業淨零路徑相關文獻進行蒐集與研析，建置我國電力供需規劃模型，並進行我國電力部門 2050 年淨零路徑模擬。針對氫氫能技術國際發展趨勢進行資料蒐集與研析，並建置我國未來氫氫能進口成本評估方法論，用於評估我國未來電力部門氫氫能進口成本。

2 成果及其應用：

(一) 計畫相關成果

1. 國際電力部門淨零資料蒐集與研析：研析國際能源電力部門淨零發展整體趨勢，包括：國際能源總署、歐盟、美國、日本及英國電力公用事業轉型策略研析，並研析國際淨零相關資訊，累計完成 18 篇國際淨零資訊月報撰寫。
2. 國際氫氦能發展趨勢研析：完成整體國際氫氦能發展趨勢研析，並分別完成各種氫氦能實場案例研析，包括：(1) 氫氦發電混燒技術應用趨勢及實場案例研析 8 案、(2) 潔淨氫生產技術及實場案例研析 7 案、(3) 潔淨氫生產技術及實場案例研析 3 案及 (4) 氫氦運輸與儲存技術及實場案例研析 7 案。
3. 氫氦能產業鏈成本評估方法論建置與應用：資料研析完成 (1) 國際氫氦生產成本、(2) 國際氫氦運輸成本、(3) 國際氫氦儲存成本、(4) 國際氫氦供應鏈成本及 (5) 國際氫氦能產業鏈成本評估研究。評估方法論建置與應用完成包括：(1) 氫氦能供應鏈成本評估工具、(2) 參數資料庫及 (3) 產業鏈成本評估包括：氫氦到港成本、到廠燃料成本及電廠混燒燃料成本。
4. 電力供需規劃模型建置與應用：完成 (1) 電力供需規劃模型研究資料蒐集與研析、(2) 電力供需規劃模型運算程式建置、(3) 模型參數資料庫模組建置、(4) 模型參數讀取及結果輸出模組建置及 (5) 電力系統淨零情境分析，包括：電力供應組合、技術擴張路徑、需求端抑抵組合、電力成本、電力碳排放、電力調度、區域供需、系統慣量及燃料使用等。

(二) 計畫相關應用

1. 電力供應組合：電力系統若要達成淨零轉型，電力系統除逐年要擴大再生能源電力外，2040 年開始要投入大量碳捕捉燃氣發電及部分混氫及混氦發電，燃氣發電須逐年降低供應量，燃煤發電因配合混氫仍須維持小幅度供應，另外系統須投入更多的需求端抑抵量，這對持續擴大需求的電力系統，是淨零轉型相當重要的選項。因此，電力系統推動淨零轉型應從整合資源規劃的層級著手，同時納入供應與需求端資源進行減碳。
2. 技術擴增路徑：電力系統未來因應舊有火力機組除役，系統仍須持續增加燃氣機組，但部分燃氣機組須是碳捕捉就緒機組，2040 年後再將這些碳捕捉就緒機組改造成碳捕捉燃氣機組。為擴大零碳電力，電力系統將逐年持續擴大太陽光電與離岸風力，為提升再生能源對電力系統滲透，未來須擴大投入電池儲能進行電能轉移。因此，電力系統擴大再生能源的同時，也要重視再生能源對於電力系統能否有更有效率的滲透，以減少可能產生棄風棄光的問題。
3. 區域供需：電力系統淨零將擴大本島各區域間的供應不平衡現象，主因是電力供應資源將集中於中部地區，但是電力需求增幅大的是北部地區，而南部未來主要是太陽光電設置區域，但太陽光實際發電效率較低，導致未來北部與南部電力呈現供應遠無法滿足需求的現象，而中部地區則是供應遠高於需求。因此，電力系統將來會呈現中電北送與中電南送的現象。

需量反應抑低日夜尖峰負載預測暨效益分析

The Forecast and Benefit Analysis for the Suppression of Demand Response on Day and Night Peak Load

Abstract

This study aims to address the impact of these changing load patterns on Taiwan's power system, TPC has adjusted both the peak/off-peak periods of time-of-use (TOU) and the content of demand response (DR) load management measures. TPC evaluates the effectiveness of these new measures in curbing both daily and evening

peak loads on the power system and forecasting the performance of demand-side management over the next 15 years. This information, combined with TPC's long-term load forecasts and electricity demand projections, serves as a reference basis for the refinement of various ongoing measures.

1 研究背景、目的、方法：

隨著再生能源發電佔比逐漸提高，開始對電力系統產生影響，除白天的尖峰負載外，傍晚時由於太陽光電發電量驟減，扣除光電之系統淨負載快速提升，進而產生夜尖峰負載。為因應負載形態變化對我國電力系統造成之影響，台電公司也調整時間電價尖離峰時間帶及需量反應負載管理措施內容，評估各項新措施抑低電力系統日夜尖峰負載之實施效果，並預估未來 15 年需求面管理之成效，再結合台電公司長期負載預測用電需求，作為各項措施之精進參考依據。

因此，本研究透過蒐研美國加州、日本以及澳洲電業推動需量反應措施的案例研究，包括電力市場介紹、系統負載與淨負載型態、推出的需量反應方案（含價格型及誘因型）、適用之用戶類型以及推動

需求面管理措施的政策面作法，作為台電公司調整需量反應措施之參考。

此外，本研究透過回顧國內外需求面管理抑低日夜尖峰負載之推估與預測模型及參考台電公司現行評估方法後，建立適用於新時間帶電價抑低日夜尖峰負載效果評估模型。藉由前述模型預估未來 15 年台電公司需求面管理措施成效，配合淨零轉型議題及台電公司長期負載預測需求，再推估至 2050 年之抑低成效。

最後，經由文獻回顧與比較，本研究確立一套適用於台灣情境的成本效益分析 (CBA) 架構基礎，並針對本公司既有需量反應負載管理措施建立成本效益分析模式，用於分析近年台電執行需量反應措施的成本與效益，並評估其執行成效。

2 成果及其應用：

1. 需量反應負載預測與推估成果：

研究提出還原負載評估法、新尖離峰時間電價績效評估法等兩種推估模型，並利用 ARMAX 模型進行未來績效預測。

還原負載評估法係預測夜尖峰負載抑低之累計績效，根據模型推估結果，2038 年需求面管理抑低夜尖峰負載累計績效為 7,994 MW，2050 年需求面管理抑低夜尖峰負載累計績效則為 9,669 MW。

新尖離峰時間電價績效評估法則以全國負載或分群資料進行預測，若以全國負載推估，2038 年、2050 年需求面管理抑低績效分別約為 1,550 MW、1,837 MW；若以分群負載資料推估，2038 年、2050 年需求面管理抑低績效分別約為 1,517 MW、1,719 MW。本研究發現以資料分群技術處理高壓(含)以上用戶抑低用電資料，可更精準區分時間電價(TOU)、需量反應負載管理措施(DR)對負載抑低的成效，提升模型之可信度。

經研析還原負載評估法、新尖離峰時間電價績效評估法等模型推估結果，本研究建議應採新尖離峰時間電價績效評估方法以推估未來需求面管理績效。

2. 成本效益分析成果：

本研究參考美國 FERC、NRECA 等文獻，以 5 種成本效益檢定方法(包括參與者檢定、用戶影響檢定、方案管理者檢定、總資源成本檢定以及社會成本檢定)，針對用戶、電業及社會等不同面向之檢定方法，挑選適合台灣情境的成本、效益項目，分別量化後進而評估成本效益。

研究結果顯示，2021~2023 年執行需量反應措施，可抑低尖峰時段用電量 5.8 億度~9.1 億度，並帶來用戶淨效益為 19.85 億元~24.66 億元、電業淨效益為 9.36 億元~15.33 億元以及社會淨效益為 30.26 億元~40.97 億元，反映台電公司執行需量反應負載管理措施對於用戶、電業及社會等面向均有正向影響，需量反應負載管理措施。

去碳電力憑證之核算規範研擬

Formulating Specifications for Carbon Abated Electricity Certificate

Abstract

This study investigates the feasibility of establishing an innovative certification mechanism for electricity generated from CCS-equipped power plants. The primary objective is to develop a robust framework encompassing monitoring, verification, and information disclosure protocols tailored to CCS applications, thereby facilitating the institutionalization and commodification of the environmental benefits derived from

carbon-abated electricity. This framework serves as a foundational step toward the establishment of a Carbon-Abated Electricity Certificate (CAEC) mechanism. In terms of technical standard development, the project team collaborated with the British Standards Institution (BSI) to co-draft an international standard applicable to carbon-abated electricity from CCS-equipped plants.

1 研究背景、目的、方法：

隨著全球對於氣候變遷的關注日益增加，臺灣於 2022 年公布 2030 年減排目標為 $24 \pm 1\%$ ，並在 2050 年實現淨零排放，而環境部於 2024 年依「氣候變遷因應法」公布第三階段管制目標，將 2030 年減碳目標相較 2005 年基準年提高至 $28 \pm 2\%$ 。此外，依據我國淨零目標規劃，未來火力發電廠加裝二氧化碳捕捉與封存 (Carbon Capture and Storage, 以下簡稱 CCS) 設備將占總去碳電力的 20-27%，是達成淨零目標的關鍵技術之一。

在此背景下，本計畫執行重點即在於探討火力發電廠導入 CCS 技術後結合憑證制度的創新機制，主要探討如何針對導入碳捕捉技術的火力發電廠，建立有效的監測、查驗與資訊揭露機制，以利後續推動「去碳電力憑證」(Carbon-Abated Electricity Certificate, 以下簡稱 CAEC) 制度，支持火力發電廠導

入 CCS 技術後，所產生之去碳電力的環境效益能具制度化、商品化的依據。在技術規範建構方面，本計畫團隊與英國標準協會 (British Standards Institution, 以下簡稱 BSI) 合作，參與起草適用於 CCS 去碳電力之國際標準技術規範，完成範圍涵蓋文件範疇、定義說明、去碳電力計算、外加性二氧化碳當量核算、監測設備規格與設置規範、資料品質與報告格式要求等技術內容。

本計畫已完成一套具備科學基礎、制度邏輯與政策應用可行性的 CAEC 制度發展建議，內容涵蓋技術標準制定、查驗機制設計概念與制度整合原則，具體支持政府未來推動碳捕捉發電專案之碳減效益能被量化、驗證與商品化。此成果將有助於建立與國際標準接軌的去碳電力市場體系，強化臺灣在全球淨零轉型中的制度競爭力。

2 成果及其應用：

1. 為使電力使用者能有效驗證其用電之生產模式及來源，**EAC** 系統扮演關鍵角色，透過其認證追蹤機制，確保能源消費之來源可追溯性。本計畫已完成研析現行國際間主要憑證制度，包括：歐盟原產地保證 (**GO**) 憑證、美國再生能源憑證 (**REC**)、澳洲小規模技術憑證 (**STC**) 與大規模發電憑證 (**LGC**)，日本非化石憑證 (**NFC**)、韓國再生能源憑證 (**REC**)，以及我國再生能源憑證 (**T-REC**) 等。這些綠電認證機制皆建立完整的追蹤系統，從能源生產到最終消費端，提供可信賴之能源追溯平台，確保綠電使用之真實性與可靠性。
2. **CAEC** 制度的核心商業模式，是建立一條從火力電廠投資 **CCS** 設施、憑證核發、企業採購、銀行綠色融資支持到最終環境效益轉移的完整價值鏈。具體流

程如圖 1 所示。首先，大型固定排放源如火力電廠或高能源密集型產業，導入 **CCS** 設備以進行二氧化碳的捕捉與封存。其減碳成效經由標準制度驗證後，可獲得對應之 **CAEC**。碳中和企業則可透過簽署長期購售電合約 (**CPPA**)，承諾採購 **CCS** 電廠之電力與憑證，以實踐其減碳承諾。此長期訂單可作為電廠向銀行申請融資的還款憑據，協助其分擔初期資本投入壓力。若能搭配如美國 **45Q** 稅法之稅負抵減誘因制度，或國內推動促參法下的補助資源，更可進一步強化投資誘因。此外，金融機構亦可提供保險與信託服務，降低整體項目風險。最終，企業取得的 **CAEC** 可用於碳揭露報告、國際產品之標示或供應鏈碳足跡管理，實現碳效益由電廠向終端用戶的轉移與交易。



資料來源：Tso, C. T., Yu, C. Y., Hus, C. C., Chen, Y. J. (2024)，本研究彙整。

圖 1 CCS 火力電廠去碳電力生態系

3. 在計算 CAEC 時，需全面考量 CCS 系統之完整運作流程，包含 CCS 中央監測中心的運作，以及捕捉、運輸、封存等各程序中所消耗之能源與資源 (含電力、熱能等)。為確保電力產品之零碳宣告準確性，必須從總封存量中扣除 CCS 營運過程所產生之溫室氣體排放當量，以計算出二氧化碳淨封存當量 (Net CO_{2e} Stored)，進而換算出實際之去碳電力供應量及其應核發之憑證數量。在建立核算方法學時，本計畫以國際認可之標準為基礎，特別參考澳洲碳權 (Carbon Credits) 及美國加州低碳燃料標準 (Low Carbon Fuel Standard, LCFS) 中關於淨減排量之計算邏輯，已研擬適用於 CCS 電廠及封存設施之去碳電力憑證計算方法，並已研提 CAEC

運作所需的 PAS 247 國際標準技術規範，於 114 年 10 月底公布。

4. 本計畫研析指出，當碳費達每噸 1,800 元新台幣以上時，CAEC 之單位電力價值將可大致覆蓋目前 CCS 電力之邊際發電成本，具備初步商業可行性。未來 CAEC 若能納入能源憑證交易體系，將可與 T-REC 及碳權制度形成互補，為高耗能產業、出口導向製造業提供更多減碳工具選擇。

5. CAEC 與 T-REC 在設計理念與操作機制上具有互補性。T-REC 主力供應源為太陽能與風力等再生能源，其電力排碳量本質上為零，適合用於平日白天或特定季節供電。而 CAEC 則補足再

生能源在發電時間或容量無法穩定提供時的空缺，例如夜間、冬季或尖峰用電期。兩者結合可實現全年、全時段無碳電力供應的目標。未來電力市場可設計雙憑證整合的交易平台，讓用戶能依據時間段與排碳強度選擇所需憑證型別，並進一步導入即時碳排強度調整機制，建立動態環境電價系統，提升電力消費決策的環境敏感性。

6. CAEC 的推動，須仰賴完整的制度設計與技術標準作為基礎。首先，在標準與法規方面，政府部門如環境部氣候

變遷署、經濟部能源署及標檢局等，應聯合制定與國際接軌的技術規範，作為 CCS 減碳量測與驗證之依據。其次，應建置整合式的資訊整合平台，串聯電力來源、碳捕存量、外加性二氧化碳排放量計算等數據，以實現即時查詢、比對與追溯，提升憑證透明度與信任度。此外，為提高 CAEC 之國際接受度，制度設計亦應考量其與歐盟 CBAM、美國 CCA 等規範的相容性，確保其憑證可用於國際碳盤查與產品環境聲明，進一步增強我國產業參與全球綠色供應鏈的能力。

電力交易平台市場監管細則及效率優化之研究

Study on the Establishment of Market Monitoring and Improvement of Efficiency of Electricity Trading Platform

Abstract

Currently, the market demand of the electricity trading platform is determined by subtracting the ancillary service capacity not subject to competitive bidding from the total system ancillary service requirement. However, this method only partially reflects the actual market demand and the value such services bring to the system. Therefore, it is necessary to consider adjustments based on academic perspectives and the practices of advanced international power grids. Drawing on international experience, several advanced power systems have adopted the concept of the Operating Reserve Demand Curve

(ORDC), which integrates a variety of market and system-related information and effectively links power system reliability needs with market operations. In addition, to ensure robust market operation, the electricity trading platform operator must continuously enhance mechanisms for monitoring bidding behavior and market settlement outcomes, as well as develop appropriate responses for mitigating market power and handling market anomalies. These efforts should align with the platform's stage of development, human resources, and technical capabilities.

1 研究背景、目的、方法：

電力交易市場需求量係以全系統輔助服務需求量扣除不適用競價交易之輔助服務容量決定，此種需求量決定方式僅能部分反映市場需求量多寡與其能夠為系統所帶來之價值，因此有參考文獻觀點與國外先進電網作法進行適度調整之需要。本研究可分為三大部分，其一，本研究探討電力市場運作、市場管理與監視措施及備轉容量需求曲線之國內外學術文獻，以及國外先進電網如德州電力可靠度委員會 (Electric Reliability Council of Texas,ERCOT)、紐約電力調度中心 (New York Independent System Operator,NYISO) 與 加

拿大安大略獨立電力系統營運商 (Independent Electricity System Operator,IESO) 等於實務上之作法。其二，本研究以系統安全運轉及市場競爭之效率性、公平性為考量，建立日前輔助服務市場各類商品市場需求曲線之合理評估方式，並提出市場需求量及商品設計之修正建議，並考量電力系統潛在資源提出新輔助服務商品設計之建議。其三，研提電力交易平台引進市場管理系統後，導入報價至結清階段之事前市場力減緩措施實務建議；並且建構市場異常情況因應及減緩措施等事後監管機制之具體準則。

2 成果及其應用：

本研究蒐整北美先進電網包括美國德州 ERCOT、紐約州 NYISO、加拿大 IESO 等案例，有關輔助服務商品規劃，大致可分為調頻、10 分鐘備轉、30 分鐘備轉等三類，分別可對應我國之調頻備轉、即時備轉與補充備轉。需求曲線規劃方面，ERCOT 為美國首個以失載率評估 ORDC 並實際應用的市場案例，整體係維持負斜率需求曲線，而 NYISO 及 IESO 係以訂定各項商品需求量，搭配價格上限方式實施，屬於階梯狀的垂直需求曲線。另一方面，參考北美市場監管機制，目前主流趨勢為第三方監管，在確立市場監測的結構、權限與規則下，藉由蒐集與評估市場參與者營運成本及投標報價資訊，檢視參與者及市場營運單位是否有違規行為，而市場營運者本身須確保監管機關中立性，以及提供必要市場資料及通報市場異常。市場力檢測及減緩作法上，大部分市場營運者係考量市場集中度、關鍵供應商、邊際價格、價格—成本加價、產出缺

口等，並搭配實施如行為與影響檢測，來減輕市場力對市場運作造成的影響，國外電力市場與電力交易平台市場力減緩之比較彙整如表 1。

在備轉容量需求曲線評估上，綜合考量商品需求特性與現行發展狀況，建議調頻備轉與 E-dReg 採用遞減式需求曲線進行規劃。對於即時備轉與補充備轉，研究結果顯示，在抽蓄電廠可作為備轉容量的前提下，於離峰時段適度縮減最大採購量，仍能滿足頻率擾動控制標準與失載統計指標等可靠度標準。因此，建議進一步檢討不同時段的最大採購量，以提升調度效率並優化預算配置。在需求曲線參考點方面，研究結果顯示，調頻備轉應以系統確保 $CPS1% < 100%$ 的最高願付價金作為定價依據，以確保市場穩定，並維持 500MW 的最大採購量。E-dReg 則建議以淨峰值月均差作為最低採購量標準，確保市場供需匹配。

表 1 國外電力市場與電力交易平台之市場力減緩

電力市場	事前	事中	事後
國外電力市場	<ul style="list-style-type: none"> • 結構性測試 • 行為測試與影響測試 • 公布參考水準、減緩門檻資訊 	<ul style="list-style-type: none"> • 監視報價變動 • 市場力減緩措施 (自動執行) 	<ul style="list-style-type: none"> • 違規及爭議處理 • 監管報告製作 (第三方監管) • 提供營運數據予主管機關
電力交易平台	<ul style="list-style-type: none"> • 統計市場結構數據 • 公布交易資訊 	<ul style="list-style-type: none"> • 監視是否有重大或緊急市場異常 • 異常是否嚴重影響交易公平 • 市場力減緩措施 (以預設報價為報價、暫時停止交易) 	<ul style="list-style-type: none"> • 違規及爭議處理 • 監管報告製作 (第三方監管) • 提供營運數據予主管機關

註：國外電力市場之市場力減緩措施，彙整自 CAISO、ERCOT、MISO、NYISO 及 PJM 等電力市場。

資料來源：本研究彙整

探討電力市場的市場管理與監視機制之主因，主要為預防或管理市場力對價格形成及資源分配的影響，並研析市場力減緩措施如何用以確保市場公平競爭。市場力指市場參與者透過產量調控影響市場價格的能力，如遭濫用，將導致價格扭曲與市場效率降低。本研究所建議之市場力減緩機制依市場管理系統建置階段，區分為

短期 (市場管理系統建置前) 以事後監管為主，及中長期 (市場管理系統建置後) 轉向事前監管。短期內，監管機制主要透過異常行為測試與影響測試。在中長期階段，則透過關鍵供應商測試、行為測試與影響測試，建立更完整的事前市場力減緩機制，以確保市場競爭公平性，市場減緩措施之彙整如表 2 所示。

表 2 市場減緩措施彙整

項目	短期 (MMS 前)	中長期 (MMS 後)	
	異常行為及影響測試	關鍵供應商測試	行為及影響測試
減緩時點	事後	事前	事前
減緩措施核心	<ul style="list-style-type: none"> 市場結構指標計算 參考結清價格確定 (近 14 日同類型日 [工作日或假日]、同一時段平均) 	<ul style="list-style-type: none"> 結構性測試—關鍵供應商判定 報價調整 (參考水準) 	<ul style="list-style-type: none"> 行為測試 (價格與容量閾值) 影響測試 (結清影響) 報價調整 (參考水準)
實務操作	<ul style="list-style-type: none"> 參考結清價格採用近期同一時段平均，配合現行條文可採最近 14 日 參考《公平交易法》獨占之定義，排除市占率 10% 以下管制 	<ul style="list-style-type: none"> 參考公平交易法獨占之定義 參考水準採報價歷史資料 (考量燃料成本變動率) 或機組運轉特性分析與需量反應成本分析 	<ul style="list-style-type: none"> 沿用既有閾值 (與前 14 日平均值相較，變動逾 30%) 參考水準採報價歷史資料 (考量燃料成本變動率) 或機組運轉特性分析與需量反應成本分析
市場規則調整	<ul style="list-style-type: none"> 訂定競爭性 HHI 之閾值僅需調整作業程序 	<ul style="list-style-type: none"> 報價程序新增關鍵供應商測試與報價調整程序 新增參考水準之訂定依據 	<ul style="list-style-type: none"> 報價程序新增行為測試、影響測試與報價調整程序 訂定物理持留、經濟持留之閾值及減緩門檻

註：HHI 閾值參考 FERC 規定， $HHI > 1800$ ，代表市場高度集中； $1000 < HHI \leq 1800$ ，代表中度集中； $HHI \leq 1000$ ，代表市場無集中情形。

資料來源：本研究彙整

再生能源售電業售電業務精進之研究

Enhancing Renewable Energy Retail Operations through Contractual Risk Management

Abstract

This study investigates strategies to enhance renewable energy retailing in Taiwan, focusing on three risks derived from intermittent generation: balancing, shape (profile), and volume risks. While international markets such as Japan, the UK, and California use unbundled certificate systems to allocate these risks effectively, Taiwan's "Green Power First" policy and bundled certificate framework pose unique challenges. Currently, Taipower absorbs balancing risks, while retailers face

significant difficulties with shape mismatches and surplus energy (volume risk). Analyzing Taipower's recent "Flexible Allocation Pilot Program," this study evaluates methods to mitigate these operational hurdles. The study concludes that refining Renewable Power Purchase Agreements (R-PPAs) and market rules to reflect international practices is crucial to fostering a resilient market, balancing stakeholder responsibilities, and ensuring sufficient green energy supply.

1 研究背景、目的、方法：

自 106 年《電業法》修正並推動「綠電先行」以來，我國再生能源售電市場發展迅速。截至 114 年 10 月，再生能源售電業已達 112 家，且 113 年自由市場交易量已近 30 億度。然而，再生能源（如太陽光電、風力）具有受天氣影響的間歇性特質，這導致發電端與負載端在匹配上產生困難。隨著企業受政策、供應鏈及自主 ESG 壓力驅動而增加綠電採購需求，如何處理因發電不確定性衍生的風險，成為市場健全發展的關鍵。

本研究旨在探討如何優化再生能源售電業務，特別是針對綠電交易中無法避免的三大核心「契約風險」提出解決方案。

1. 平衡風險 (balancing risk)：發電案場實際發電量與預測值之間的差異。
2. 型態風險 (shape/profile risk)：用戶用電時段與案場發電時段無法契合的差異。
3. 數量風險 (volume risk)：因再生能源不確定性導致供電不足或產生餘電的風險。

本文主要透過個案分析法來探討國際再生能源市場經驗，並與我國再生能源市場現況進行比較。在國際案例分析方面，本文剖析日本（關西電力、東京電力）、英國（EDF、OVO）及美國加州（聖荷西潔淨能源、南加州愛迪生）的購售電契約實例。研究發現，這些國家多在電業自由化與「電證分離」的機制下，透過契約明確分配風險，或允許售電業以憑證交易彌補實體電量的不匹配；與之對應的是，我國在「電證合一」與現行轉供機制下的特殊風險樣態。目前我國的平衡風險多由台電承擔；型態風險使業者需精準媒合；數量風險則為「餘電」無法有效利用的挑戰。台電公司在此挑戰下，於 114 年 9 月推出的「綠電市場彈性分配試行計畫」進行分析，探討其導入「15 分鐘彈性分配權」後，對於緩解型態風險與數量風險的潛在效益與侷限。

2 成果及其應用：

1. 本研究確立了再生能源交易中不可忽視的三大風險，這些風險皆源於再生能源的間歇性本質。第一是平衡風險，指發電案場實際發電量與預測值之間的差異，導致電網需進行調節的成本與責任。第二是型態風險，這發生在用戶用電曲線與案場發電曲線不匹配時（例如太陽能僅在日間發電，但用戶全日用電），導致供需時間上的落差。第三是數量風險，即因發電量不確定性，導致總供電量不足以履行合約，或產生無法被用戶吸收的「餘電」。這三種風險在不同市場結構下有不同的樣貌，是售電業者在設計購售電契約時必須處理的核心課題，若無妥善分配，將嚴重影響業者的營運利潤與市場的穩定性。
2. 透過分析日本、英國與美國加州的案例，發現這些電力自由化成熟的國家，多採取「電證分離」機制來應對上述風險。在這些市場中，再生能源憑證可獨立於實體電力交易之外進行買賣。當售電業者面臨型態風險或數量風險時（例如實體綠電不足或發電時間不匹配），可以透過在市場上另外採購憑證來滿足對用戶的「全綠電」承諾，而實體電力則可由灰電（市電）補充，兩者不需時刻綑綁。此外，關於平衡風險，國際慣例多由契約雙方約定承擔方式。例如在英國與日本，發電端需提供預測值，若誤差過大則需承擔平衡費用或違約金，或是透過加入「平衡群」來共享風險。這種機制將風險轉化為可計算的成本，並透過市場機制進行調節，而非單純由電網營運者吸收。
3. 我國電力市場採行「綠電先行」政策，並在法規上確立了「電證合一」原則，要求憑證移轉須與轉供電量相符，此舉使得國內的風險結構與國外截然不同。

- 就平衡風險而言，目前主要由台電公司承擔，發電與售電端尚未肩負實質的預測誤差責任。然而，業者面臨更為嚴峻的挑戰在於型態與數量風險。受限於憑證核發須綁定實體轉供的規定，售電業者必須精準媒合供需時間；一旦發電量超過用戶需求，多餘電力即淪為「餘電」。在現行制度下，這些餘電不僅只能以低價回售台電，更因未完成轉供而無法取得憑證，致使環境價值減失。因此，「餘電管理」已成為台灣再生能源售電業當前最大的營運痛點與財務風險。
4. 針對我國特有的餘電與匹配難題，本研究亦分析了 114 年 9 月推出的「綠電市場彈性分配試行計畫」。該計畫賦予再生能源售電業者更大的權限，允許其將購入的綠電，在每 15 分鐘的時段內，依據需求彈性分配給旗下不同的用戶電號。這項變革使得業者能更靈活地應對型態風險，可以將某一時段多出的發電量，即時分配給同時段用電量較高的其他用戶，從而減少「餘電」的產生，直接降低了數量風險。
 5. 綜上所述，本研究提出三項建議作為參考。首先，建議持續檢視並修正相關法令規章與購售電契約範本，建立一個能合理衡平台電公司與民間業者責任的機制，確保風險分攤的公平性與永續性。其次，在責任架構釐清的同時，建議考量賦予再生能源售電業者更為簡便且具彈性的電量分配權限，降低業者在處理發電與用電匹配時的行政與技術門檻。最後，建議將憑證核發之依據，從現行的「轉供電量」改為「發電量」，使得未被轉供再生能源電力之其環境價值仍能被確認與交易，從根本上解決數量風險中價值減損的問題。

研究人員：電力經濟與社會研究室：吳宇軒、謝伊柔

林口發電廠超臨界鍋爐化學清洗研究與技術應用

The Chemical Cleaning Technologies of Supercritical Boiler for the Linkou Power Plant and Applications

Abstract

This study simulated the possible impact of different chemical cleaning agents on furnace tubes through small-scale cleaning tests to find out the basic cleaning characteristics of different cleaning agents. During the study, 15 furnace tubes retrieved from the Linkou Power Plant were used for pre-cleaning background investigation, 2 trial cleaning preparations and 10 formal furnace tube cleanings were carried out. The agents used included natural water, ammonium citrate, methyl glycolic acid, EDTA sodium salt and EDTA ammonium salt for comparative testing. From the start T0, after reaching the specified temperature (95°C), the chemical cleaning simulation was carried out for 7 hours, and the iron ion concentration was collected every hour for endpoint analysis. During the test, cleaning and corrosion occurred simultaneously. By

observing the cleaning efficiency, cleaning completion rate, scale removal rate and cleaning power, the cleaning agents were compared. EDTA.2Na and EDTA.2NH₄ were the best, with cleaning efficiencies of 1.43 and 1.47 respectively, and scale removal rates of 97.66% and 97.11% respectively, which met the indicators of good cleaning agents. The corrosion risk can be reduced by combining them with suitable corrosion inhibitors. The total iron concentration dissolved after cleaning can reach 940~1040 (mg/L). According to the saturated iron ion concentration, the two can be advanced to 3.66~4.94 hours after the temperature is fully heated and 3.39~4.73 hours after the temperature is fully heated. The total iron removal rate of EDTA wastewater evaluated by the acid-base adjustment method can reach 99.90%.

1 研究背景、目的、方法：

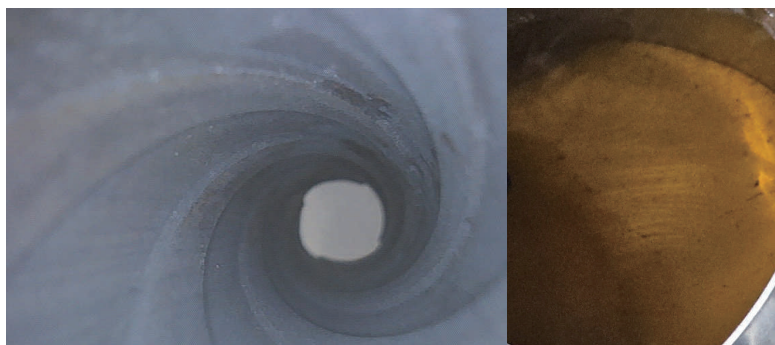
火力發電是一種常見且成熟的電力產生方式之一，發電過程中透過水蒸氣推動渦輪轉動再將動能轉換成電力，不同水的狀態對應不同類型的發電效率，當水受熱會轉變成水蒸氣，整個過程中水具有明顯的液態特性與氣液邊界線，也稱為亞臨界或次臨界 (subcritical)，繼續提供熱能加熱，使得水進入更高溫及高壓的狀態，進而超過臨界溫度 (374°C) 與臨界壓力 (22.1 MPa) 時，水會進入超臨界態，本次的化學清洗基本條件，是參考美國電力研究機 (EPRI) 的清洗建議為基準進行基礎應用發展，著重在清洗的過程實踐及效果進行初步探討，透過

設計一種小型化學清洗設備，評估不同類型的清洗藥劑，對水牆管的清洗效果是否有所差異和不同，收集經過清洗後的物理化學參數，進行整合探討，整個研究項目包含三部分，第一部分為了解爐管鍋爐結垢狀況，初步探討化學清洗的時機與收集程序資料進行調查，在評估中化學清洗藥劑是最主要最大的變數，可透過實驗進行了解，第二部分為實際透過不同化學清洗藥劑的進行小型清洗試驗，找出藥劑的特性與變化，收集真實化學試洗時的效率與情況，從鐵離子濃度變化中判斷可能的最佳終點，建立一個化學清洗的參考建議。

2 成果及其應用：

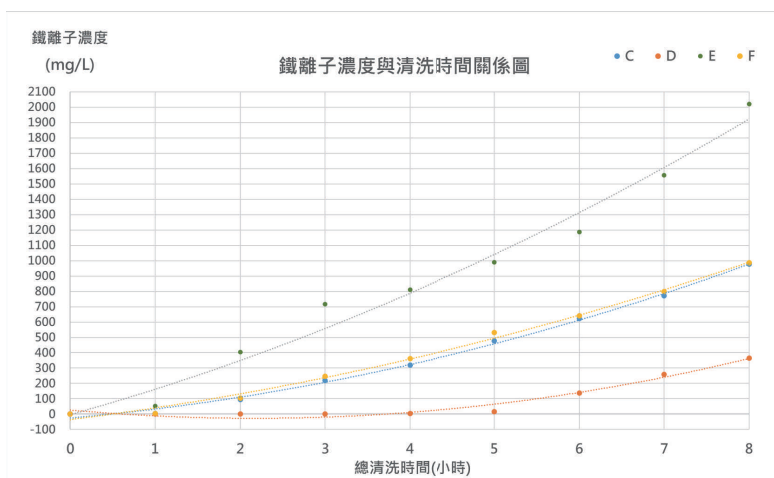
從鍋爐爐管基本背景結垢量調查中顯示單位面積總結垢量為 $20.5\sim 24.2\text{ mg/cm}^2$ ，由於火側高溫其結垢量厚度比比背火側平均多了約 11.13 mg/cm^2 ，結垢密度平均約為 5.71 g/cm^3 ，相對其他研究的 4 g/cm^3 來說相對扎實，金相部分皆多為白色肥粒鐵無異常。以反應速率模型，使用最適合的 537.8°C 虛擬溫度進行生成推估，可發現在第 7.81 年會達到 33.02 mg/cm^2 。動態清洗在 95°C 下清洗 7 小時，以動態清洗交換率約為 $0.0267\sim 0.0269(\text{cm/s})$ 情況下進行，清洗完結垢密度降低到 0.2 g/cm^3 以下，但厚

度變化不大出現自然恢復的情況。從清洗量排序 $\text{EDTA}\cdot 2\text{NH}_4(\text{F})$ 、 $\text{EDTA}\cdot 2\text{Na}(\text{C})$ 及 $\text{EDTA}\cdot 2\text{Na}$ (添加抑制劑) 三者接近，分別為 -41.74 mg/cm^2 、 -39.70 mg/cm^2 及 -38.43 mg/cm^2 ，使用檸檬酸銨 (D) 清洗量較低，清洗較不完全，或需要增加清洗時間， $\text{HAF}(\text{E})$ 與 $\text{EDTA}\cdot 2\text{Na}$ (添加草酸) 清洗量異常偏高應為出現過量清洗的情況，清洗後金相分析仍多為白色肥粒鐵區塊，整體無明顯劣化現象發生。爐管清洗過程與顏色變化如圖 1，清洗過程中鐵離子濃度變化如圖 2。



資料來源：本研究拍攝照片

圖 1 爐管 C 清洗液顏色與清洗後爐管內部情況



資料來源：本研究繪製

圖 2 清洗試驗 C、D、E 與 F 鐵離子濃度 (mg/L) 與時間關係

研究人員：化學與環境研究室：吳俊賢、傅弼豐、張茱琪、曹志明、高全盛

微藻養殖量產化其資源再利用評估研究

Evaluation of Reuse of Microalgae Cultivation in Mass Production

Abstract

The condition of global warming is set to not exceed 2°C. It is a new challenge to reach the balance of the carbon reduction. Many technologies of the cultivation and application for microalgae have been developed all these years. The economic applications of algae can be classified into four categories: energy, fertilizer, feed/food and chemical/medicine. We used basic experiments to understand the difficulty of development of biological and non-biological technologies and conduct related resource utilization assessments. Spirulina as fertilizer has a significant increased benefits on the growth of tomato stems and leaves by 113%. The spirulina's fruit-promoting effect is second to the general fertilizer. Spirulina as feed for fish meets the normal standard value of the environment. The behavior of swallowing spirulina powder

at the bottom is typically active. Microalgae biomass fermentation has problems with the bacteria that need to be controlled, but the consumption rate is greatly advantageous. The purity of phycocyanin extracted from Spirulina can reach 4.046, which has the potential for medical and economic applications. In terms of breeding technology, the recirculating aquaculture system (RAS) of fish and algae symbiosis is a key of cycle unit. Process optimization design can enhance sustainable competition. The economic benefit value of carbon fixation for products was initially estimated. Food from algae powder, skin care products and phycocyanin are the most valuable. The projects were arranged to establish a microalgae circular economic pyramid.

1 研究背景、目的、方法：

微藻固碳的工作在許多產業及政府機構仍有許多挑戰，許多經濟應用分析說明養殖成本將是很重要的一部分，利用廢水及廢氣是降低成本的一個有效策略，固碳後的微藻生質怎麼應用可從生物循環價值金字塔出發，對應不同層次的研究都值得去嘗試並整合，從低到高分別是能源、肥料、飼料食品及化學醫藥四大基礎類別，經濟價值也隨著往後越來越高。因此，大量微藻養殖應用將是個問題，研究將從四大基礎類別下，對於不同技術進行初步可行性測試及評估其中可能困難點，並結合部分已開發技術共同探討比較，完善微藻金字塔應用藍

圖。本研究的主要目的為探討大量微藻養殖後不同運用情境，進行四大類的基礎測試，收集大量生產藻體時的應用參數，研究內容包含生物性利用與非生物性利用的差異與效率這兩個主要部分，能更了解不同技術的發展難易不同，進行後續更多元的資源利用評估。進行微藻養殖技術建立及資料收集、微藻植物小番茄肥料利用實驗，以玉女小蕃茄作為試驗植物對象，在微藻動物應用方面進行螢光斑馬魚飼料攝食觀察，微藻生質能源轉換進行生物利用評估，並從特殊醫藥角度探討螺旋藻的藻藍蛋白應用模式。

2 成果及其應用：

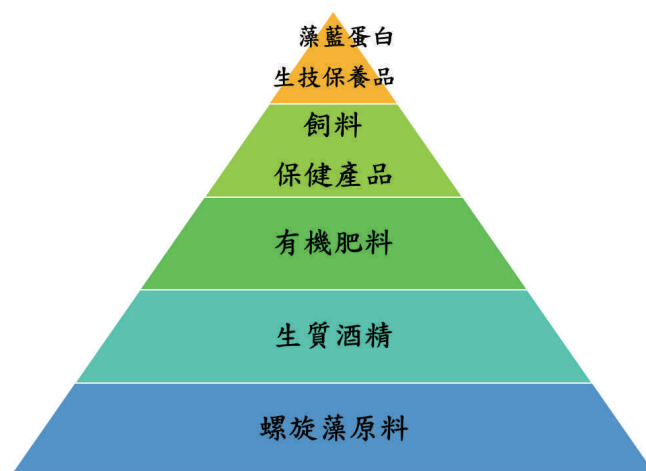
開放式養殖試驗池設置微藻養殖簡易的短程數據收集裝置，透過試驗拓展養殖 IOT 模式可行性。微藻肥料以玉女小番茄苗進行觀察農業利用情形，果實收成情形以化學肥料營養 B 組對產量促進顯著 (綜合評分 63)，螺旋藻 E 組對小番茄結果生長有不錯效果 (綜合評分 51)，螺旋藻體肥料在莖葉生長促進作用很明顯，主莖長度增幅最多是 E 組乾燥螺旋藻藻體的 113%，大於無添加對照組 17%，試驗過程如圖 1，使用螺旋藻進行輔助 (E、F 及 G 組三種型式) 沒有 B 組成熟度不足的

問題發生，是一個不錯的特殊有機肥料，螺旋藻肥料對植物生長有益無害，可作為的替代肥料產品。斑馬魚餵食微藻飼料觀察進行時，底部螺旋藻小粉塊可觀察到很多的吞食的行為，鬆軟的螺旋藻飼料對小魚來說容易撕咬，可作為優質飼料補充產品。螺旋藻可以萃取出藻藍蛋白，溶液光譜在 620nm 的吸收程度可以估算其含量與純度，最高的初始液純度為 4.046。經濟應用分析結果彙總成循環經濟金字塔如圖 2。



資料來源：本研究拍攝照片

圖 1 螺旋藻粉作為肥料試驗觀察



資料來源：本研究繪製

圖 2 微藻循環經濟金字塔

研究人員：化學與環境研究室：吳俊賢、傅弼豐、張茱琪、曹志明

中火既有廢水處理程序回收改善

Recycling Improvement Assessment of Taichung Power Plant Wastewater Treatment Process

Abstract

Since the current wastewater treatment procedures in power plants are mainly based on discharge after treatment, in the face of increasingly stringent environmental regulations and the increasing emphasis on in-plant water recovery rates, it is necessary to evaluate the feasibility of wastewater recycling in the entire plant.

This project conducts relevant tests and evaluations on the treatment and recycling of comprehensive wastewater and flue gas desulfurization wastewater, in order to propose feasible process improvement plans, recycled water usage methods, and zero-discharge verification.

Combining previous research and the results of this project, it is confirmed that the recycled water from the comprehensive wastewater can be used as an alternative

water source for raw water. This project also tested degassing membrane ammonia nitrogen wastewater treatment technology, which can be used for ammonia nitrogen treatment in existing wastewater plants to reduce the risk of ammonia nitrogen exceeding standards in comprehensive wastewater and FGD wastewater.

This project confirms the impact of replacing raw water with comprehensive wastewater recycling water on the flushing frequency and chloride ion equilibrium concentration of the FGD absorption tower, and completes the FGD wastewater zero discharge program test, which can be used as a reference for future power plants to improve overall wastewater recycling applications.

1 研究背景、目的、方法：

脫硫廢水中的硼濃度深受煤質與沖放量影響有很大的波動，加上除硼劑的除硼效率隨著添加量增加而減少，因此，除了要對原水進行水質監控，也必須對加藥條件做進一步的測試，找出最適當的加藥方式與加藥劑量，才能確保後段程序的穩定。

環保意識升高加上降雨分佈不均，不僅使得放流水標準越來越嚴格，也讓社會對水資源循環再利用

的要求越來越高，廢水零排放剛好同時滿足前述需求，所以本研究也將評估脫硫廢水零排放的可行性與所需程序。

本計畫確認以綜合廢水回收水取代生水對 FGD 吸收塔沖放頻率和氯離子平衡濃度之影響，並完成 FGD 廢水零排放程序試驗，可作為未來電廠改善整體廢水回收應用之參考。

2 成果及其應用：

本計畫找出脫硫廢水程序中螯合劑除硼的最適效率，其中混凝沉澱的效果與水中的離子濃度有關，首先測試不同硼濃度條件下螯合劑的除硼率。從實驗過程如圖 1，可以看到在 FGD 廢水常見的硼濃度範圍中，螯合劑的除硼率相當一致並

且遠高於常見的鎂鹽 (20~30%)、鈣鹽 (40~60%) 和鋇鹽 (60~80%)；而且在 pH 8.5 以上即可發揮效果，這除了能夠減少液鹼用量，也可大幅減輕後處理單元 (除硼樹脂) 與污泥處理單元 (沉澱與脫水) 的負荷，增加系統穩定性。

有關綜合廢水的回收途徑，本計畫利用薄膜系統串接進行測試，確認操作參數與產水效率，可直接製成生水進行回用。另一方面，考量綜合廢水水質特性，除特殊情況時，也可直接導入 FGD 吸收塔內做為補充水進行回用，經 1 號機組實際測試，發現對塔內氯離子濃縮並無太大影響，因此也可作為一可行回收方案。

本計畫同步驗證 FGD 廢水零排放的可行性與處理程序。本處理程序得到的結晶鹽以氯化鈉為主，純度有 80% 以上，剩餘成分為硝酸鈉、硼酸鈉和少量硫酸鹽如圖 2，可作為電廠未來改善之參考。



資料來源：本研究拍攝

圖 1 加藥測試
(圖說) 進行螯合劑試驗



資料來源：本研究拍攝

圖 2 蒸發測試
(圖說) 進行結晶試驗

研究人員：化學與環境研究室：傅弼豐、曹志明、吳俊賢、張茱琪

藻類養殖試驗自動化技術研發

Research and Development of Automated Technology for Algae Cultivation Experiments

Abstract

This study focuses on the research and practice of microalgae (*Haematococcus pluvialis*) cultivation from traditional methods to automation, with an emphasis on the use of artificial intelligence (AI) technology to remotely monitor algae cells and select the best ones.

1. Three core automation technologies: Automation technology mainly includes three parts: (1) Establishing a remote environmental monitoring system to record environmental changes; (2) Training a CNN deep learning image classification model; (3) Integrating with the mobile phone software LINE to implement real-time algae cell recognition function.

2. Establishment and of the remote monitoring system: The remote monitoring system is used to observe the growth status of algae and changes in environmental

factors in the cultivation field. The system uses high-specification hardware to monitor the simulated climate temperature control conditions, light source, and aeration equipment operation status in the laboratory, and to trace the causes of physiological adversity in algae.

3. Using AI to Select Algal Cells: Traditional algae screening is time-consuming, labor-intensive, and highly reliant on experience. This study employed CNN deep learning image classification to weed and select *Haematococcus pluvialis* cells. Images were classified into two categories: good growth potential (imggood) and poor growth potential (imgbad). Training was performed using the VGG19 model, achieving an accuracy of 0.9122 for batch subculture screening.

1 研究背景、目的、方法：

人工智慧 (AI) 近年發展迅速，如影像分類和大語言模型等已經具有強大的學習和推理能力，可以應用於各種領域，當然包括微藻養殖，本研究擬在試驗過程中結合人工智慧研發藻類養殖自動化的相關技術，期待在節省人力之餘，也為藻

類養殖帶來更大的發展機遇。

有關研究目標，如下所示：

1. 降低人力成本：自動化系統可以減少勞動力成本，降低生產成本。
2. 提高產品質量：自動化系統可以實時監控藻類的生長狀況，提高產品質量。

2 成果及其應用：

1. 三大核心自動化技術：自動化技術主要包含三個部分：(1) 建置遠端環境監視系統，用於記錄環境變遷；(2) 訓練 CNN 深度學習圖像分類模組；(3) 結合手機軟體 LINE 即時藻細胞辨識系統。
2. 遠端監視系統的建置與功能：遠端監視系統的建立是用於觀測藻類生長狀態及培養場域環境因子變動。該系統採用高規格硬體 (如

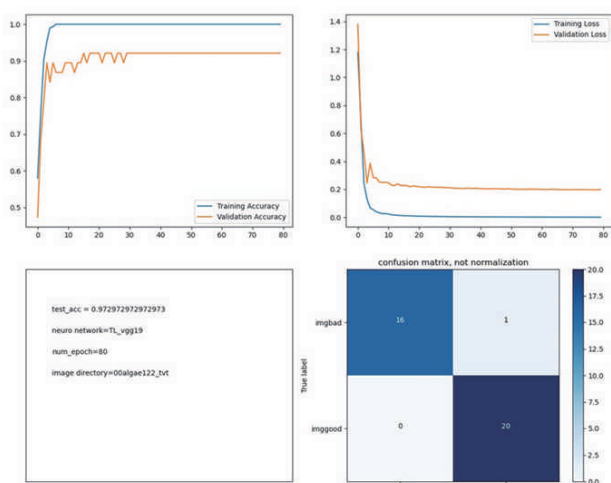
2MP 感測器、五倍光學變焦、星光級技術、120dB WDR 寬動態技術)，可監測實驗室內擬氣候溫控條件、光源、曝氣設備運轉狀況，並回溯藻類產生生理逆境的原因。

3. 利用 AI 進行藻細胞汰劣擇優：傳統藻類篩選耗時耗力且高度依賴經驗，本研究採用 CNN 深度學習圖像分類來對雨生紅球藻細胞

進行「汰劣擇優」。圖像分類分為生長勢優 (imggood) 和生長勢劣 (imgbad) 兩類，並透過 VGG19 模組進行訓練，模型訓練結果如圖一所示，以 test_acc=0.9122 的準確度進行批次繼代篩選。

4. 自動選種的效能與成果：VGG19 模型擇優結果如圖二所示，將 CNN 圖像分類結果與 LINE 即時選種系統結合，成

功將藻細胞的生長趨勢調整至「齊頭並進」，解決了人工選種常出現生長勢參差不齊甚至倒藻的擔憂。實驗結果顯示，持續應用自動化技術後，可將藻細胞的生理活性成功改質，使得生長優勢由不易培養轉為平穩，藻細胞活性表現與數量增加比例提高至少 80%。

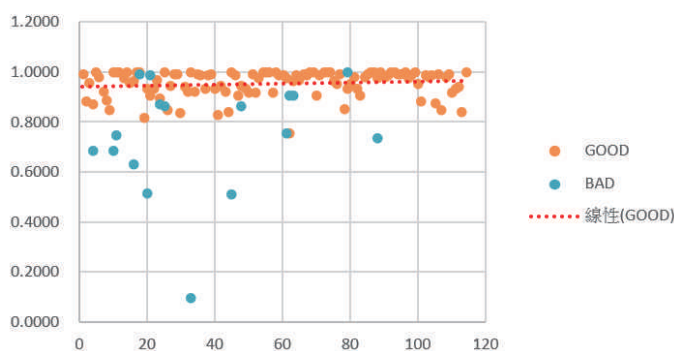


資料來源：本研究繪製

圖 1 模型訓練結果

輸出界面程式的執行結果如圖所示，主要為訓練結果的展示，分為四個部分，包含訓練過程訓練資料和驗證資料的準確度，訓練資料和驗證資料的誤差值，訓練的重要資料摘要 (包含測試的準確度，神經網路的型態，訓練的次數以及圖像資料的所在檔案夾)，最後則是測試結果的分佈圖。

VGG19-藻細胞汰劣擇優



資料來源：本研究繪製

圖 2 VGG19 模型擇優結果

藻細胞繼代智能自動選種汰劣擇優，藻細胞經過數次繼代細胞汰劣後藻細胞活性提升後生長勢轉為優化藻細胞生長優勢繼續傳遞至下 1 世代新生長勢種源，在藻類養殖產值成為穩定且耐抗性優勢種源

研究人員：化學與環境研究室：曹志明、李凌華、吳俊賢、張茱琪、傅弼豐

以人工智慧檢測系統水之材料老化程度判讀可行性評估

Feasibility Assessment of Using AI to Evaluate Material Degradation in Cycle Water of Generator System

Abstract

Combined Cycle Power Plants enhance power generation efficiency by recovering waste heat from gas turbines, thereby reducing fuel consumption and operational costs. However, Flow-Accelerated Corrosion (FAC) remains a primary failure mechanism in Heat Recovery Steam Generators (HRSG). This study evaluates the feasibility of utilizing an Artificial Intelligence deep learning system for the automated, real-time interpretation of material aging.

Implementing the YOLO v11 model, the system was trained on a comprehensive dataset comprising historical on-site metallographic images and laboratory-aged specimens. The results indicate a superior

accuracy rate of 99.2%, significantly outperforming alternative models, with zero cross-level misclassification. Practical validation using routine monitoring specimens confirmed the system's excellent reproducibility in quantifying the degree of material spheroidization.

This research successfully establishes an automated diagnostic tool that provides an objective, quantitative basis for evaluating material degradation. Compared to traditional manual interpretation, this AI technology significantly enhances inspection efficiency and consistency, offering a reliable standard for boiler tube life assessment.

1 研究背景、目的、方法：

燃氣複循環發電廠透過將燃氣渦輪機排出的廢熱回收利用，進一步提高發電效率，這不僅能減少燃料消耗，還能降低發電成本。惟熱回收鍋爐設備最常發生損壞機制之其中一肇因為流體加速腐蝕 (FAC) 現象。本研究旨在評估利用人工智慧深度學習系統，進行材料老化自動化即時判讀之可行性。本系統導入 YOLO v11 模型，並採用歷年電廠實務金相影像及實驗室模擬老化

試片之完整數據集進行訓練。結果顯示模型準確率高達 99.2%，顯著優於其他模型，且未發生跨級別誤判。經例行監測試片之實務驗證，證實系統在量化材料球化程度方面具備卓越的再現性。本系統成功建立了一套自動化診斷工具，能提供材料劣化之客觀量化依據。相較於傳統人工判讀，此 AI 技術不僅顯著提升檢測效率與判別一致性，更為爐管壽命評估提供了可靠的標準。

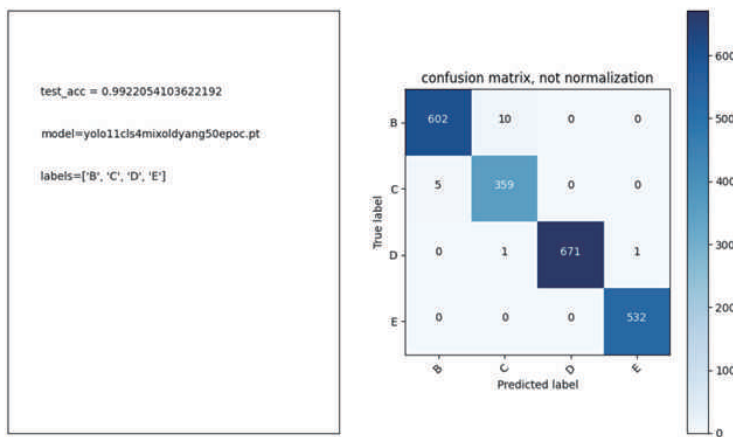
2 成果及其應用：

本研究共測試 9 個不同 AI 訓練模型，其中以 YOLO v11，其測試結果大幅優於其他模型。YOLO v11 測試時，以原始未灰階化圖片及灰階化圖片訓練模型，Accuracy 結果差異不大，考量往後為達到即測即用之使用便利性，因此捨去將圖片灰階化之前置步驟，以原始圖片訓練之 YOLO v11 模型為往後使用之模型。其準確率可達到 99.2%，如圖一。實際以電廠爐管例行監測之

金相試樣以及爐管破損失效試樣之分析結果。試樣經標準金相製樣程序處理後，進行顯微組織檢測與分析，如圖 2。檢測數據顯示，本系統對於材料球化 (spheroidization) 老化程度之判定具有良好的準確性與再現性，能有效量化評估材料劣化等級。試驗人員可依據系統所提供之自動化判讀結果，作為材料壽命評估報告之客觀依據，有助於提升檢測效率與判定一致性。

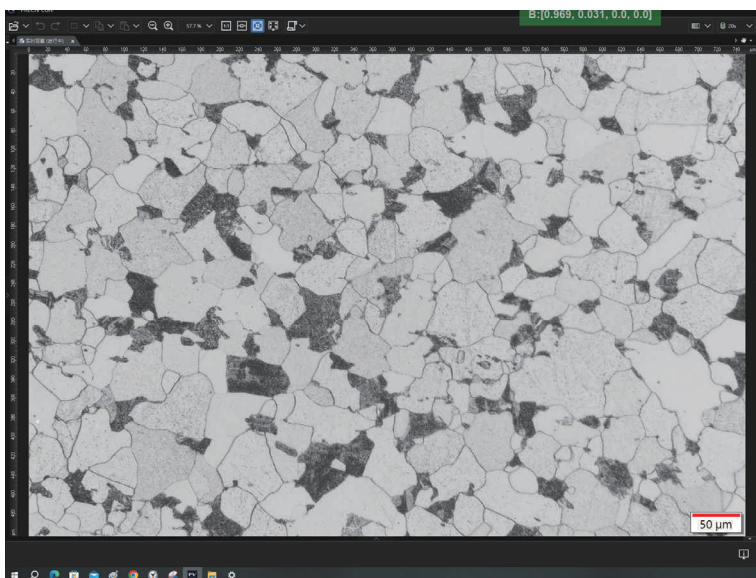
本計畫已成功建立人工智慧輔助判讀模型，完成模型訓練與驗證程序，經實際試樣測試後確認其技術可行性與實用性。可大幅提升檢測效率，即時性判讀取代傳統人工逐張判讀，檢測時間縮短 60% 以

上，而原需資深工程師判讀，現可由一般技術人員搭配 AI 系統完成，創造可觀的人力資源效益，可避免過早更換 (浪費成本) 或延遲更換 (風險成本)。



資料來源：本研究拍攝

圖 1 混淆矩陣
(圖說) YOLO v11 模型測試最終結果



資料來源：本研究拍攝

圖 2 等級判別 B
(圖說) 爐管樣品測試

研究人員：化學與環境研究室：張茱琪、曹志明、傅弼豐、吳俊賢

碳捕集封存與碳權相互發展之研究

Mutual Development of Carbon Capture and Storage、Carbon Credit and Allowance

Abstract

GHG emissions gradually increasing, leading to global warming. Resulting climate change affect all regions of the world, and have already had widespread impacts on the economy, food and water source security. To reduce the loss and damage caused by the greenhouse effect, it is crucial to use policies and carbon pricing tools to enhance the effectiveness and incentives of GHG reduction.

Gathering literature and information to study the interaction between CCS and carbon credit. First, introduce the international development of carbon credit, the trend of carbon pricing mechanisms, the policies from the major countries and

Taiwan. Carbon tax and carbon emission trading cover 30% of global GHG emissions. Most of these mechanisms cover power and industrial sectors, generating 100 billion USD revenue last year, and still have a lot of potential to growth. In addition, current status and trend of CCS, as well as its role in carbon pricing mechanisms. Currently, the development of global CCS projects and technologies is growing, cost of CCS facility and operating remain higher than the current average ETS price. This makes emitters less attractive actual construction and operation. Therefore, most of CCS plans are supported by government funding or from carbon pricing mechanisms revenue.

1 研究背景、目的、方法：

碳權的產生源自於 1997 年聯合國氣變遷綱要公約第三屆締約方會議通過的京都議定書中，除了訂定目標外，也制定跨國減量機制，相關的碳權也因此應運而生。在近期，碳權越來越受到重視，也越來越多國家、區域或機構參與或制定相關法規。透過總量管制與排放交易和碳稅的方法，不僅可以逐步的管制二氧化碳排放量，也可以額外增加收入來進行後續相關減碳的投資，另外，更可透過收取碳邊境關稅來

避免產生碳洩漏的情況發生。在目前 CCS 技術中碳捕捉已經發展出相當多類型的方法，並且也有實際案例應用在工業以及電廠上，對於 CCS 技術能夠取否得碳權，各國有制定相關指引的相當少，國內對於相關法規的制定也還在進行中。在目前台灣即將實施碳費以及碳交易的情況下，收集國內外碳權與碳定價機制以及如何將 CCS 納入其機制中的發展情況，可提供未來 CCS 技術的發展方向與政策制定時的參考。

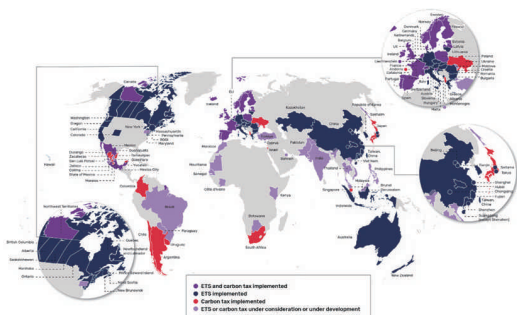
2 成果及其應用：

絕大部分國家或區域均規畫淨零碳排目標和各階段期程須達成的減量目標，也有許多國家和地區規畫或實行碳定價機制，分布情形如圖 1，制定碳稅費或 ETS 來讓溫室氣體的排放有價。CCS 項目主要仍來自於政府的支持、碳定價機制營收的資助或是稅收抵免，主要原因來自於進行 CCS 相關設施的建設以及營運的成本遠高於目前碳價，因

此，較難驅使碳排放源業者自主透過 CCS 來進行減碳排。對於目前實行的碳定價機制中，也較少將 CCS 納入機制中；在各國對於溫室氣體的減量，是以多面向如節能、電氣化、提升能源效率、建置再生能源、CCUS、碳去除開發、訂定碳定價機制等規劃，以確保達成淨零的目標。台灣目前已經開始實施碳費制度，將開始徵收碳費，如圖 2 之時

程表，逐步跟上國際的減碳趨勢。台灣目前有多項 CCS 計畫正在進行中，這些計畫大多數仍在可行性評估的階段，若到開始建造 CCS 相關設施仍需一定的時間，因此，可以參考日本在進行評估時就包含國內與國外等多方面進行同步評估，這樣可以節省執行該計畫所需之時間。另外，對於 CCS 應用在碳費或 ETS 機制的部份，ICAP 的評估 CCS 成本短期之內應該無法

迅速下降的情形，目前對於透過 CCS 進行減碳的經濟誘因不足，如圖 3 所示，仍需透過政府的支持、碳費收入的補助、稅收抵免或是碳價差合約，以彌補其碳價與 CCS 成本間的差異，未來若碳費的調升與 ETS 的實際運行所產生之收入，運用該收入來促進 CCS 的開發，這樣不僅可以加速電力部門以及工業部門的減碳，也可以更為順利的達成 NDC 以及淨零碳排。



資料來源：WorldBank, State and Trends of Carbon Pricing 2025. World Bank, 2025.

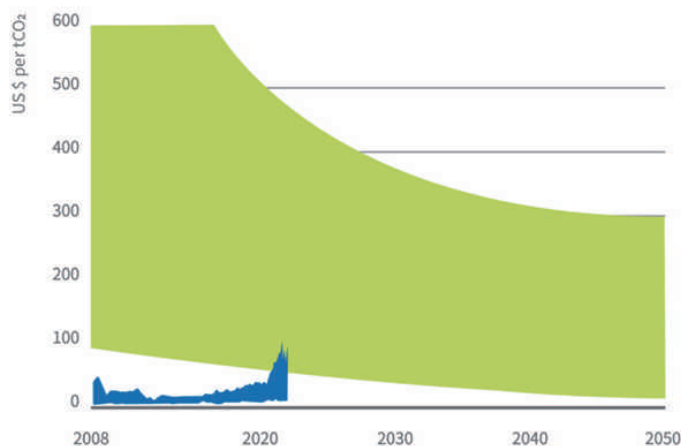
圖 1 全球實施 ETS 和碳稅機制分布圖



資料來源：環境部，碳費議題重點說明手冊。

2024，環境部：環境部氣候變遷署 - 碳費資料下載專區。

圖 2 台灣碳費時程圖



資料來源：S. La Hoz Theuer, A.O., Emissions Trading Systems and Carbon Capture and Storage: Mapping possible interactions, technical considerations, and existing provisions. International Carbon Action Partnership, 2023.

圖 3 CCS 成本與 ETS 價格的經濟差異

研究人員：化學與環境研究室：郭仲杰、白庭瑜

化學吸收法碳捕集溶劑壽命線上評估研究

The Study of On-Line Evaluation and Solvent Lifetime Based on Chemical Absorption Carbon Capture

Abstract

The energy sector accounts for over 60% of our country's total carbon emissions, making the development of low-carbon power generation technology crucial for achieving the government's 2050 Net-Zero goal. Among various Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technologies, post-combustion carbon capture (PCCC) is the most mature and proven method for carbon reduction. This study focuses on the chemical absorption method for PCCC, investigating how to analyze and evaluate the operational solvent to ensure capture efficiency and guide maintenance. While advanced analytical instruments (capable of precise qualitative and quantitative analysis of degradation products) exist, their use requires

professional operation, complex sampling, and expensive standards. Furthermore, many proprietary solvent manufacturers prohibit high-precision analysis. Therefore, this research uses simple online analytical techniques to monitor three physical parameters: pH value, electrical conductivity, and refractive index, to assess solvent degradation during operation. The results show that if the lean solvent pH value drops below 10 or the refractive index exceeds 1.385, the solvent is deemed excessively degraded, has lost its CO₂ capture ability, and needs replacement. The change in electrical conductivity provides a real-time, online analysis of CO₂ capture efficiency, serving as an excellent performance indicator.

1 研究背景、目的、方法：

能源產業是目前全球主要的二氧化碳排放來源，在臺灣依據 2024 年的國家溫室氣體排放清冊，我國 2022 年的二氧化碳排放有 94.25% 來自能源部門，其中的 66.36% 是由能源產業所貢獻。為了達成國家 2050 淨零排放的目標，發電業必須找到有效的減碳路徑。除了大力發展再生能源，使用無碳的替代燃料外，還有透過將煙氣中二氧化碳捕捉移除，使其不會排放到大氣的 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 技術。目

前在發電業以燃燒後捕捉發展最為成熟，本研究採用化學溶劑吸收法進行碳捕捉試驗，研究溶劑的使用情形與其壽命評估。嘗試透過較為簡易的方式，如 pH 值、電導度、折射率等線上分析儀器之參數收集來評估，經過碳捕捉程序後的溶劑效能影響情形與評估其更換週期。嘗試代替傳統需要透過採樣滴定與透過高階儀器分析溶劑不純物含量來推斷溶劑效能的方式，期望能提升評估化學吸收法溶劑壽命之評估技術。

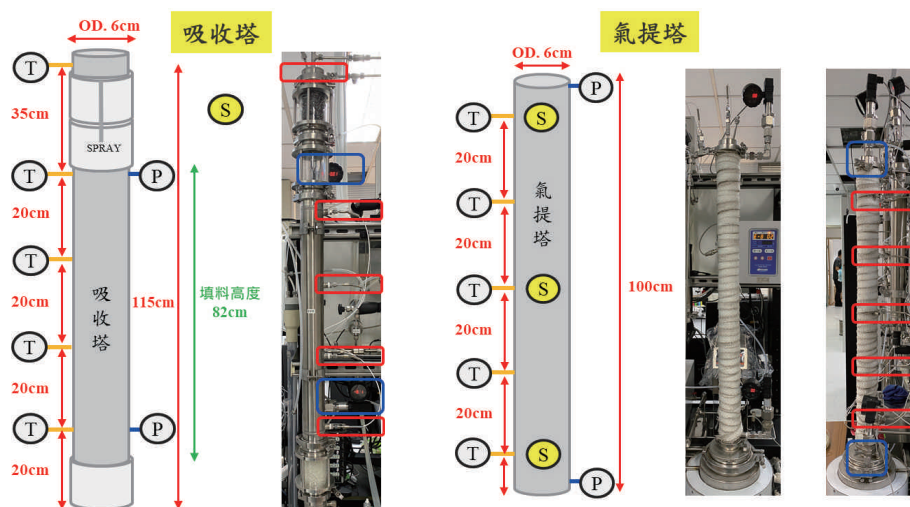
2 成果及其應用：

本研究使用 30 wt% MEA 溶劑並進行連續碳捕捉試驗(圖 1、圖 3)，針對溶劑之 pH 值、電導度值與折射率三種簡易線上分析技術，來評估溶劑降解的情形。由試驗數據顯示(圖 2)，可藉由 pH 值曲線可以辨識溶劑吸收與再生的二氧化碳負載量，當經過再生後的溶劑(貧液)pH 值降到 10 以下，顯示溶劑已喪失大部分

捕碳能力。電導度值與溶劑的濃度呈正相關，溶劑進行反覆再生程序加熱時，產生的熱降解損失，會導致再生後的溶劑(貧液)電導度逐漸上升，透過電導度值的變化，可以線上即時分析二氧化碳的捕捉效率，是良好的效率指標。折射率方面，數據顯示與二氧化碳的負載量呈現高度的線性趨勢，透過折射率的分析可

以非侵入性的方式在流體中估算二氧化碳的負載量。當再生後的溶劑 (貧液) 的折射率 >1.385 時，表示當前溶劑已喪失捕碳能力，需要進行更換。藉由簡易的分析技術，可以有效的評估運轉中的碳捕捉溶劑之壽命。透過數據的蒐集可以獲得溶劑在不同條件下之參數，並且使用線上分析，可以減少採樣與實驗室分析的時間與成本。對於運轉穩定的碳捕捉廠，可以採用此方式作為日常運轉之評估，以低成本方式來有

效維持碳捕捉廠的運行。目前諸多碳捕捉廠皆採用商用專利溶劑，很多廠商不接受使用方對溶劑進行高階分析，避免洩漏商業機密；但使用這些簡易的物理性分析，可以避免對於溶劑成分的高精度分析，同時有效的評估該溶劑的使用壽命與效能，對於未來公司營運碳捕捉廠時，可以減少與專利溶劑廠商的爭議風險與降低碳捕捉廠運維的成本。



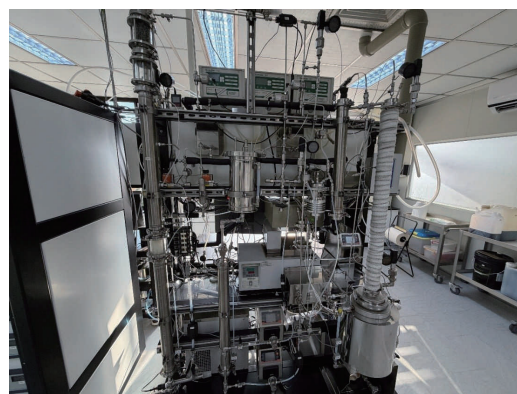
資料來源：本研究設備

圖 1 碳捕捉吸收塔與再生塔

二氧化碳負載 CO ₂ Loading (α)	pH value	電導度 (mS·cm ⁻¹), σ	折射率 (n)
fresh / Lean solvent ($\alpha = 0$)	12.2 / 10.5	0.72 / 50 - 80	1.371 / 1.373
Low Loading ($\alpha = 0.1$)	10.0 - 10.5	110 - 140	1.375
Medium Loading ($\alpha = 0.3$)	9.5 - 10.0	220 - 250	1.38
Full Loading ($\alpha = 0.5$)	8.5 - 9.5	300 - 350	1.396

資料來源：本研究整理

圖 2 MEA 溶劑不同附載之分析參數



資料來源：本研究整理

圖 3 微型碳捕捉試驗設備

研究人員：化學與環境研究室：沈威辰、莊宗諭、高靖棟

減碳技術園區微型測試區：固態吸附劑長期壽命評析

Micro-Test Zone of the Carbon Capture Pilot Plant: Evaluation of Long-Term Life Cycle for Solid Adsorbent

Abstract

With global CO₂ levels rising—NOAA reported a 2025 average peak of 426.82 ppm—Taiwan amended the Greenhouse Gas Reduction and Management Act to the Climate Change Response Act on January 10, 2023. This legislation codifies the "2050 Net Zero Emissions" goal, strengthening national greenhouse gas regulation.

This study evaluates a Vacuum Pressure Swing Adsorption (VPSA) system for CO₂

capture, covering pretreatment, parameter optimization, and adsorbent longevity. Results show that pretreatment effectively removes sulfur oxides and moisture to protect adsorbents, while optimized operations yield high CO₂ purity and recovery. The findings confirm the industrial feasibility and cost-efficiency of solid-state adsorption technology.

1 研究背景、目的、方法：

近年來全球大氣中二氧化碳濃度持續攀升，依據 NOAA 監測數據顯示，2025 年平均最高濃度已達 426.82 ppm。為因應此國際趨勢，我國於 112 年 1 月 10 日三讀通過修法，將《溫室氣體減量及管理法》修正為《氣候變遷因應法》，此次修法明確將「2050 年淨零排放」訂為國家長期減碳目標，藉此強化國家整體對溫室氣體排放的管制力道。

本研究以真空變壓吸附技術進

行二氧化碳捕捉之系統測試(貨櫃設備如圖 1)，研究範疇涵蓋氣體前處理、參數優化及吸附劑壽命評估，結果顯示，前處理系統能有效降低硫氧化物與水氣，避免後端吸附劑受損；透過操作策略優化，二氧化碳的純度與回收率皆達高水準。此研究顯示固態吸附技術具備工業級應用的可行性與長效作業潛力，能大幅降低維護成本，可作為未來技術應用的參考依據。

2 成果及其應用：

本研究針對氣體前處理、操作參數優化及吸附劑壽命進行了系統性測試(儀控介面如圖 2)。結果顯示，前處理系統能有效去除煙氣中高濃度的硫氧化物與水氣，此步驟至關重要，能確保後端精密吸附劑免於化學毒化或水氣冷凝造成的物理損壞。在吸附效能方面，透過實驗設計與回歸模型的建立找出的最佳化操作區間，成功使二氧化碳產品的純度與回收率皆達到高水準(一階段二氧化碳濃度關係如圖 3、二階段二氧化碳濃度關係如圖 4)，且數據證實 13X 分子篩(粒徑 2.0mm、平均密度 2142.5 kg/m³)可於系統穩定運作。在吸附劑長期耐用性之

評估方面，連續吸脫附循環測試的結果，證實固態吸附劑在經過適當之前處理保護下，具有優異的結構穩定性。透過 Langmuir 等溫吸附模型對循環測試前後的樣品進行分析，結果顯示吸附劑之最大理論吸附量(吸附參數(Qm)如圖 5、吸附參數(K)如圖 6)並未隨循環次數增加而出現顯著衰退，其代表在連續的壓力擺盪與氣流沖刷下，吸附劑的孔隙結構保持完整，並未發生嚴重的粉化或活性位點阻塞現象，故在妥善的前處理保護下，吸附劑可維持長效穩定的作業能力，可大幅減少工業應用中因頻繁更換吸附劑所衍生的維護成本。

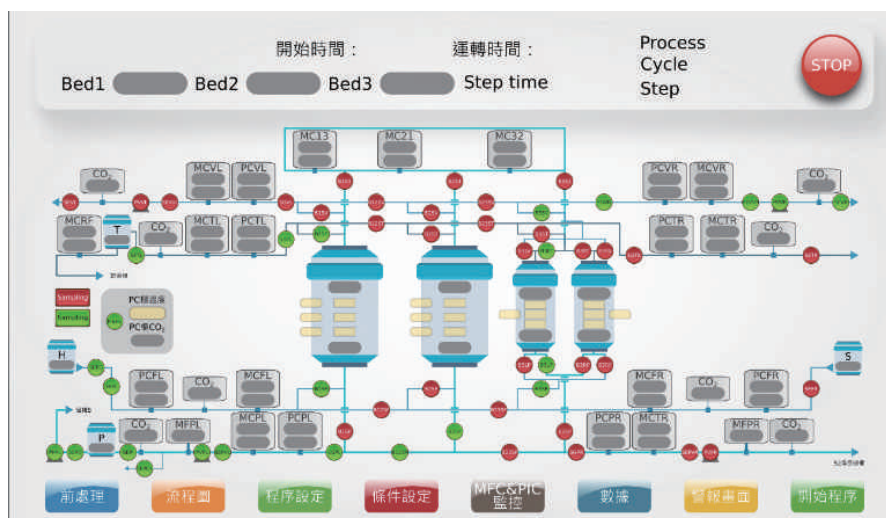
現已透過回歸分析建立操作參數與產品之數學關聯，但後續應用於電廠排放之煙氣流量與濃度往往會隨鍋爐負載產生波動，固定時間步序控制在面對進料大幅波動時，可能導致產品純度下降或回收率之損失，因此需針對不同煙氣條件進行最適化回歸模型建立，並轉為可編程邏輯控制

器之控制即時反饋演算法，透過即時監測進料流量與濃度等環境參數變化，由系統自行動態調整每一循環時間、壓力閥值、流量等，以維持高等級之產品純度與回收率，透過此智慧化控制策略將能使程序系統在變動的現場環境中，均能維持在最佳能源效率之狀態。



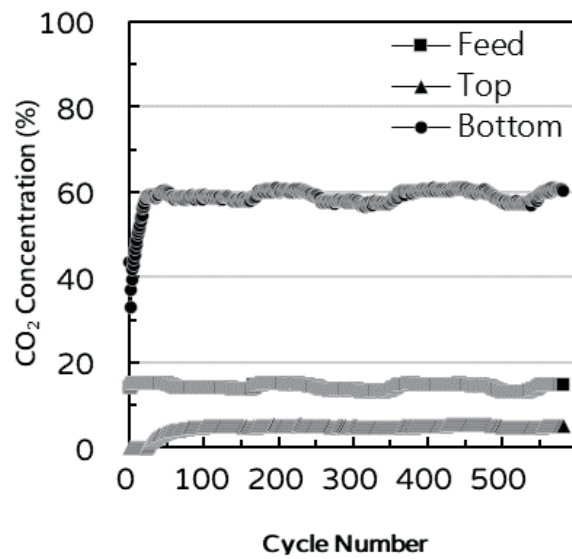
資料來源：本研究拍攝

圖 1 固態吸附法貨櫃設備 (20 呎黃藍貨櫃)



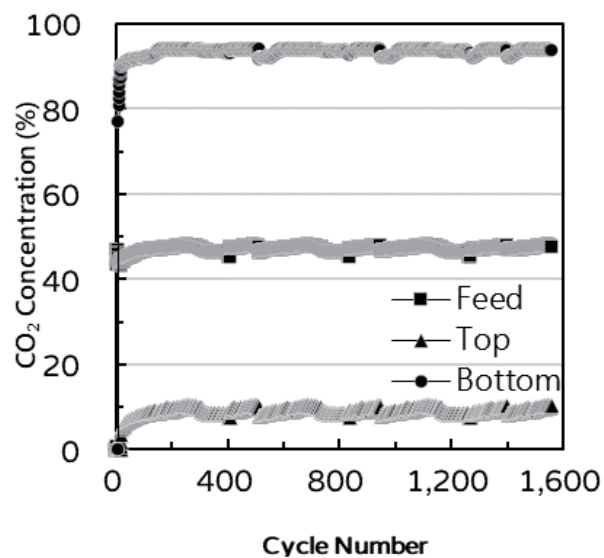
資料來源：本研究繪製

圖 2 二階段變壓吸附分離程序儀控圖



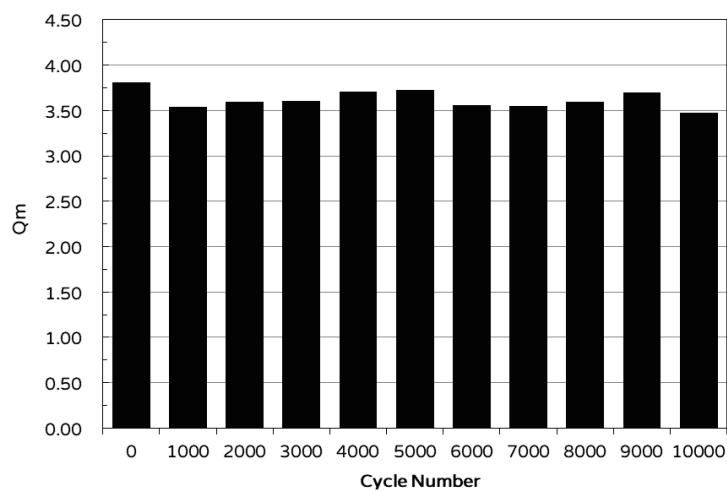
資料來源：本研究整理

圖 3 一階段進口與出口二氧化碳濃度關係圖



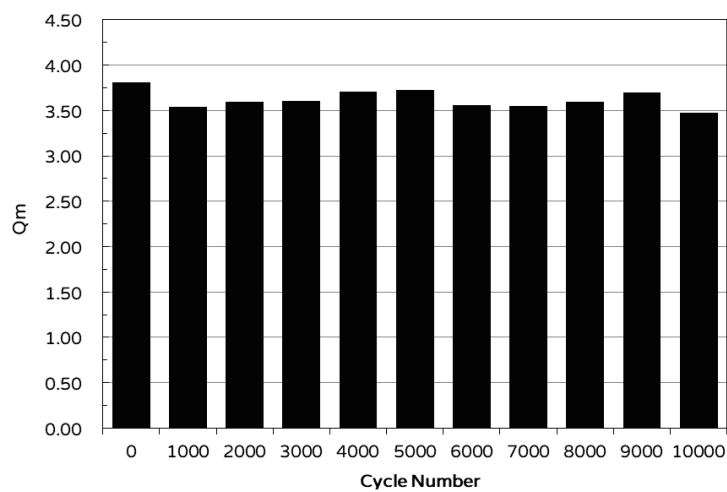
資料來源：本研究繪製

圖 4 二階段進口與出口二氧化碳濃度關係圖



資料來源：本研究整理

圖 5 吸附參數 (Qm) 對循環數關係圖



資料來源：本研究整理

圖 6 吸附參數 (K) 對循環數關係圖

台中電廠地質環境背景值監測之研究

Geological Baseline Monitoring and Research for the Taichung Power Plant Site

Abstract

Geoscience monitoring remains an indispensable component of carbon sequestration projects. Before CO₂ injection, it serves to establish environmental background baseline values; during the injection phase, it provides the basis for determining whether the CO₂ injection activities are causing environmental changes; and after injection is complete, it becomes the scientific data used to determine the long-term safety and security of the storage site. This research focuses on ground deformation and ground motion monitoring, synthesizing and analyzing existing ground deformation data collected from previously established monitoring stations, and comparing them with data from neighboring stations set up by other entities. New ground deformation monitoring stations were established during the project period

to increase the density and completeness of data distribution. Furthermore, seismic wave data and appropriate bandpass filtering were utilized to analyze the ground motion signal characteristics in the Taichung Power Plant (TCPP) and Changhua Coastal Industrial Park areas. The applicability of emerging ground motion monitoring technology was successfully evaluated for use around the power plant site, and a signal-to-noise ratio analysis and comparison with data collected by conventional seismometers were conducted. This study successfully established a portion of the surface monitoring data background values for the TC Power region, which can serve as a valuable reference for future CO₂ injection projects. Additionally, this data can be utilized as educational and outreach materials for public communication efforts.

1 研究背景、目的、方法：

地質監測在碳封存計畫中占有極其重要的地位，碳捕集與封存(CCS)技術旨在將捕獲的二氧化碳注入地下地質構造中，以減少大氣中溫室氣體含量，達成減碳目標，為確保碳封存的安全性與有效性，地質監測成為必須持續進行的工作項目。儘管國外碳封存試驗目前尚無發現灌注造成有感地震之情形，相關之監測仍有其必要性，於灌注計畫執行之前即開始蒐集封存試驗場址周遭之環境背景資料並建立基線值極為重要，其可做為二氧化碳灌注時之參考資料，並得於二氧化碳灌注時進行與同期平均資料之比較，得出因二氧化碳灌注產生之震動值，用於監測是否因二氧化碳灌

注而引發地震，進行二氧化碳灌注前監測除了得以履行企業責任、遵照環評承諾之外，並可作為公司對外說明與溝通之素材，增加社會大眾對於本公司碳封存試驗計畫之信心，是碳封存計畫當中不可或缺的一個部分。先前本所已於彰濱工業區設置地質監測儀器並有蒐集相關之地質資料，惟目前於台中場址尚未開始進行地表基線資料蒐集與建立之工作，因此本研究以台中發電廠內之碳封存場址作為標的，自地震動資料及地表變形資料起，嘗試建立廠內之地質環境背景基線資料，以利日後二氧化碳地質封存試驗計畫之進行。

2 成果及其應用：

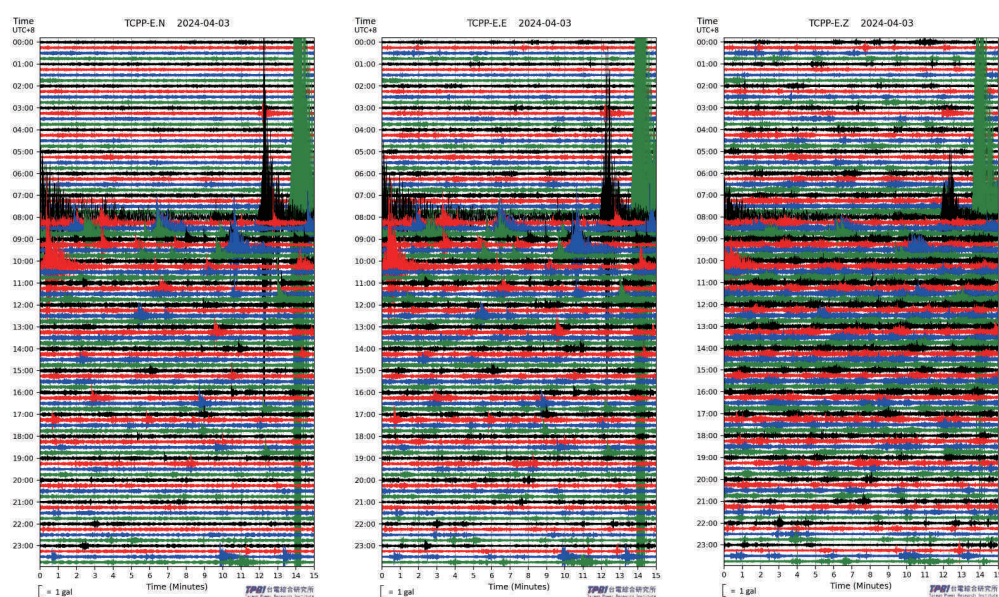
碳封存監測基線是指在注入二氧化碳前，對封存地點的地質與環境條件進行詳細的資料收集，透過

這些基礎資料，未來可比較注入後環境的變化情況，有助於快速辨識是否發生二氧化碳洩漏或其他異常

狀況。基線資料不僅是制定安全與風險評估方案的根本，同時也是國際標準下長期監測和驗證封存效果的重要依據；建立完整基線不僅提升碳封存作業的安全性，還能增進社會對技術的信心，確保二氧化碳能夠長久穩定封存於地底下而不洩漏。

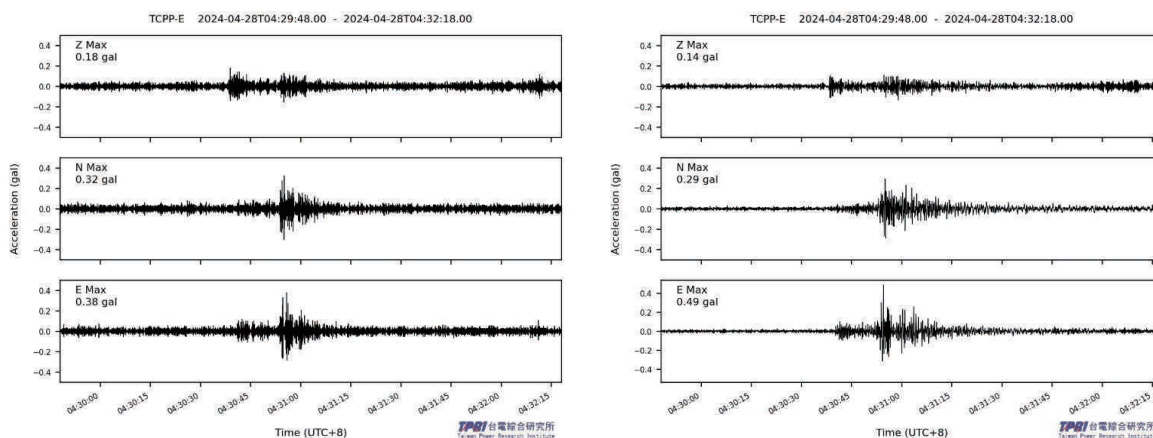
本研究以地表變形與地震動資料 (圖 1、圖 2) 對中火碳封存場域進行地質環境基線背景值的建立，並探討了光纖地震儀

對於電廠之適用性以及其與傳統地震儀的不同與比較，提供了碳封存背景基線監測所需之部分資料。依據文獻所述，地表與近地表之二氧化碳封存監測仍尚包含地下水、大氣二氧化碳濃度等項目，未來可依此方向以及場域周遭之地點進行相關儀器的增設，蒐集更為豐富且詳細的資料，用於二氧化碳灌注前後之比較。



資料來源：本研究

圖 1 地震儀接收 2024 年 4 月 3 日震動訊號資料



資料來源：本研究

圖 2 濾波前後地振動訊號比較

研究人員：化學與環境研究室：白庭瑜、高靖棣、黃鐘

電廠加裝碳捕集設施之經濟分析研究

Economic Analysis of Installing Carbon Capture Facilities in Power Plants

Abstract

Since the Industrial Revolution, emissions of all types of greenhouse gases have been increasing, especially in recent years with an accelerating trend. Among these, CO₂ contributes the largest share of all major greenhouse gases. Carbon capture and storage (CCS) is a technology that can reduce large amounts of CO₂ emissions, and a preliminary evaluation will be conducted on the integration of CCS technology into power plants.

First, summarizes the latest development and trend of CCS and CCS technologies. Next, provide a brief introduction to CCS Techno-Economic Analysis tools. Then, analyzes various types of CCS projects and

CCS cost trends of gas-fired power plants with CCS. At the same type of unit, when capture rate are about 50%, 90% and 98%, the LCOE are 3,876 TWD/MWh, 4,490 TWD/MWh, and 4,619 TWD/MWh. Respectively, avoidance costs are 2,297 TWD/ton CO₂, 2,166 TWD/ton CO₂, and 2,091 TWD/ton CO₂. As the capture volume increases, the overall cost and LCOE are also increasing, on the contrary avoid cost decrease. The higher capture capacity of CCS system, the higher overall cost and LCOE, while the lower of the avoid cost. Therefore, the development and development of CCS still require policy and financial support.

1 研究背景、目的、方法：

自工業革命以來，大氣中溫室氣體含量因人類的活動而大幅度的增加，並造成了全球氣溫上升。碳捕集與封存為可以減少二氧化碳排放並實現淨零碳排的措施之一，台灣已宣示 2050 年淨零碳排為目標，並將 CCS 納入其中，且目前整體電力結

構已燃氣為主。透過先前建立之二氧化碳捕集封存技術與經濟分析模型，如圖 1 之操作畫面，來了解計算碳捕集電廠之成本並設定不同情境作經濟影響分析，提供未來在規畫其他電廠作碳捕集時作為參考。

2 成果及其應用：

對同一部機組分別進行 50%、90%、98% 不同捕集量之分析，淨現值依序為 501,319 MTWD、539,861 MTWD、545,603 MTWD，未搭配 CCS 時為 454,898 MTWD。而 LCOE 部分依序為 3,876 TWD/MWh、4,490 TWD/MWh、4,619 TWD/MWh，在尚未搭配 CCS 前均為 3,224 TWD/MWh。在碳避免成本的部分，依序為 2,297 TWD/tCO₂、2,166 TWD/tCO₂、2,091 TWD/tCO₂。在因 CCS 需提取機組蒸氣進行溶劑再生而使發電量下降比例，依序為 8%、15%、

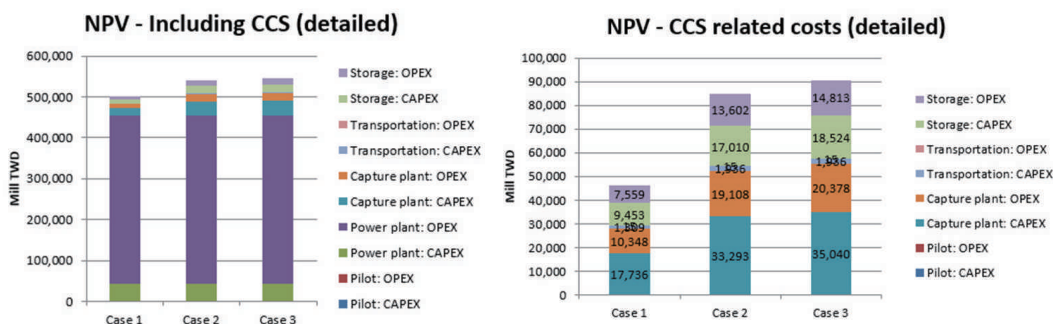
16%。LHV 的部分下降依序為，5.3%、9.6%、10.4%。從上述結果可得知，在碳捕集量上升的情況下，會使的整體成本淨現值上升，如圖 2 Case 1~3，並且也會使的 LCOE 跟著上漲，如圖 3 左 Case 1~3，然而，對於碳避免成本的部分而是捕集量越大單位成本越低的情況，如圖 3 右 Case 1~3。發電量和發電效率也是因為捕集量的上升而造成其下降。對於進行電廠 CCS 評估時，若朝著大規模捕集量的方向發展，雖然可以有效降低單位碳捕集或碳避免成本，但仍須考量會造

成整體成本以及發電成本的上升，且若 CCS 中的再生程序需使用到電廠機組之蒸氣，也需要同步考量到未來該機組的發電量和效率皆會下降超過 10% 以上。在整體社會朝著 2050 淨零的目標前進時，勢必會先需要透過所有減碳手段和技術來加速其轉型，因此，對於難減碳排的產業一定會遇到有減排目標的壓力，以及對於

CCS 的成本又太過高昂的困境。對此，透過此研究較為初步的分析 CCS 的成本與其影響，再次驗證若要讓難減排業者來應用 CCS 進行減碳，仍需要像是提高碳費價格、稅收抵免或碳價差合約等相關措施，來讓更多業者使用其技術減碳，增加經濟與市場的誘因，促進更多元的減碳技術發展，更順利的達成淨零目標。

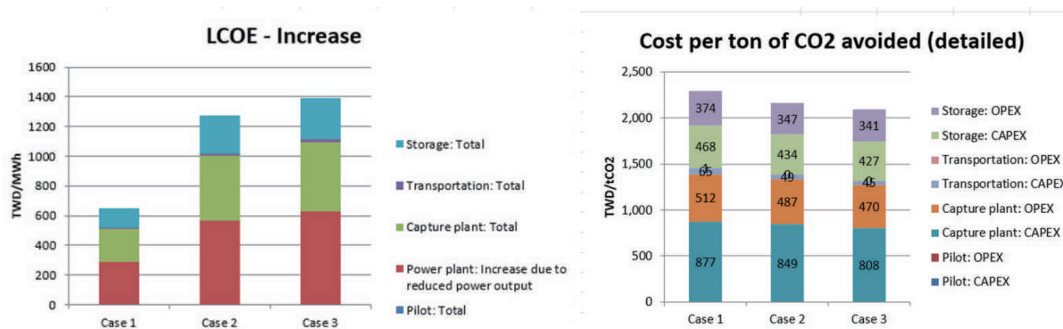
資料來源：本研究整理

圖 1 TPC TEA 操作畫面



資料來源：本研究整理

圖 2 左：各案例不同捕集量之結構成本比較 右：各案例不同捕集量之 CCS 成本結構比較



資料來源：本研究整理

圖 3 左：各案例不同捕集量 LCOE 變化之組成 右：各案例不同捕集量之均化 CO₂ 避免成本結構
 研究人員：化學與環境研究室：郭仲杰、高靖棣、沈威辰、莊宗諭

林口電廠 SCR 觸媒水洗再生測試研究

Study on SCR Catalyst Cleaning and Regeneration Test at Linkou Power Plant

Abstract

The SCR catalysts used at Linkou Power Plant are all imported and mainly made from rare metals like titanium, vanadium, and tungsten, which makes them expensive. By regenerating spent catalysts to extend their lifetime, it can save on purchasing costs and reduce the amount of solid waste. This study conducted a regeneration method using a self-developed microbubble washing technique, combined with sulfuric acid and ultrasonic. When CO₂ microbubbles and sulfuric acid were combined with active metal additives like NH₄VO₃ (WO₃), the recovery rate can reach 94.2%, which is close to the activity of new

catalysts. We also analyzed the wastewater from the regeneration process and treated the water with chemicals like FeCl₃, TMT, NaOH, and polymer flocculants, both pH and SS could be well controlled. Arsenic dropped from 0.679 mg/L to below 0.05 mg/L, and iron from 57.9 mg/L to below 0.2 mg/L. They also dropped to levels much lower than the limits. Finally, we did an economic analysis based on one unit at Linkou Power Plant. Regeneration will become competitive if the catalyst lasts more than 11,200 hours or the regeneration cost is less than 72% of the price of a new catalyst.

1 研究背景、目的、方法：

SCR 觸媒作為技術的核心，約佔脫硝系統總投資的 30~50%。由於煙氣環境複雜，SCR 觸媒在長期使用過程中會發生中毒，導致催化活性衰退，影響其脫硝效率。一般脫硝觸媒的使用壽命為 3~5 年，取決於煙氣成分和燃燒系統類型。在長期運行過程中，觸媒可能會受到煙氣中各種成分或飛灰的影響，導致其活性逐步下降，最終喪失催化功能。當觸媒活性低於系統運行所需的標準時，即需採取再生處理，或直接更換為新觸媒，以確保系統效能維持在可接受的範圍內。

多項研究文獻指出，若能開發出具效率且具可行性的觸媒再生技術，則其再生成本僅約為全數更換新觸媒費用的 40~50%，且再生後

的觸媒活性可恢復至 90~100% 的水準。從環境永續的角度來看，再生技術不僅能有效降低 TiO₂、V₂O₅、WO₃ 原料的使用量，促進資源的循環再利用，亦有助於減少高達 66% 的二氧化碳排放量。

本研究擬運用自主開發之微氣泡水洗技術，針對林口電廠廢觸媒進行再生處理，並結合硫酸洗滌與超音波輔助等手段，以探討觸媒水洗再生的最適製程參數。同時，對於再生過程中產生之廢液，亦規劃採用化學混凝法進行後處理，評估不同化學藥劑對有害物質去除效果之影響。最終，根據觸媒再生與廢液處理實驗結果，進行成本與經濟性分析，以評估此再生技術在市場上的可行性與競爭優勢。

2 成果及其應用：

1. 本研究利用自主開發之微氣泡水洗技術，針對林口電廠廢觸媒進行再生處理，並結合硫酸洗滌與超音波等輔助手段，獲得觸媒水洗再生最佳參數條件。同時，對於再生過程中產生之廢液，我們以化學混凝法

將之處理去除，可符合法規標準。最後，根據觸媒再生與廢液處理實驗結果，進行成本與經濟性分析，評估本再生技術在市場應用潛力。

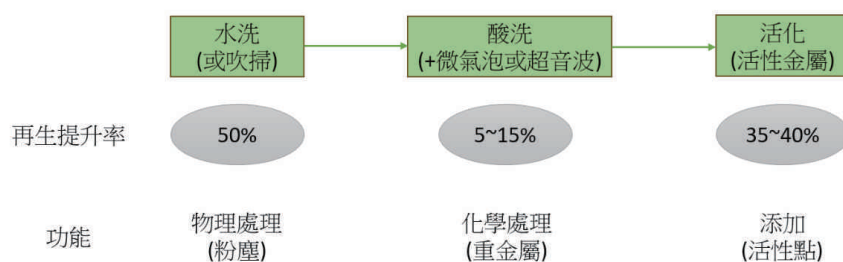
2. 本研究所使用之林口廢觸媒，其表面及孔洞已布滿大量的粉塵，如以

空氣槍或清水將粉塵初步排除，此步驟即可將觸媒再生回復率提升至 50.4%。如要進一步提升，則可以用水洗再生程序方式進行處理。若將 CO₂ 微氣泡搭配 H₂SO₄ 進行再生，回復率可提升至 67.7%；若將 CO₂ 微氣泡搭配 H₂SO₄，再添加活性金屬 NH₄VO₃(WO₃)，其回復率可提升至 94.2%，此結果已經很接近新觸媒的活性 (圖 1)。

3. 本研究進行觸媒再生與廢液處理試驗 (圖 2)，利用 FeCl₃ 及 TMT(重捕劑) 作為混凝劑，並以 NaOH 調整 pH 值，使用高分子凝集劑加速沉降。結果發現，pH 及 SS 可以有效控制並符合排放標準。重金屬方面，As 從 0.679 mg/L 降低至 0.05

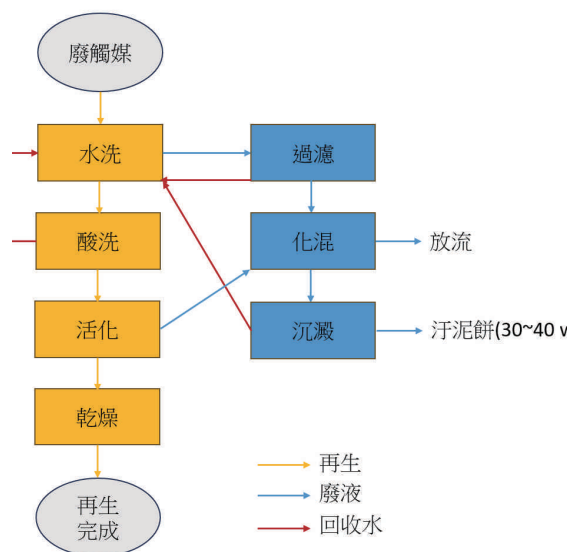
mg/L 以下；Fe 從 57.9 mg/L 降低至 0.2 mg/L 以下，以上皆可遠低於排放標準。

4. 本研究以林口電廠一部機組 3 層觸媒床進行觸媒再生經濟性評估，結果發現觸媒保證壽命和再生處理成本的情境差異會極大地影響經濟性評估的結果。在固定再生成本為新購觸媒 50% 條件下，可將觸媒保證壽命進行展開 (8,000~24,000 小時)，結果發現觸媒保證壽命需在 11,200 小時以上，否則觸媒再生不具經濟吸引力。在固定觸媒再生回復率 90% 條件下，可將觸媒再生成本進行展開 (40~80%)，結果發現觸媒再生成本需不超過新購觸媒的 72%，否則觸媒再生不具經濟吸引力。



資料來源：本研究繪製

圖 1 依不同再生程序歸納其個別再生提升率



資料來源：本研究繪製

圖 2 觸媒再生及廢水處理流程

研究人員：化學與環境研究室：曾志富、陳心儀

輸電鐵塔基礎巨積混凝土溫度場數值模擬與溫控計畫書之研擬

Temperature Numerical Analysis and Thermal Control Plan for Mass Concrete of Transmission Tower Foundations

Abstract

To understand the impact of different sizes on the temperature field, the highest temperature and core-surface temperature difference are simulated under different seasons and adiabatic temperature rise conditions for foundation piles and large beam components of different sizes without using insulation materials. When the core temperature and core-surface temperature difference exceed the limits, repeated simulations of appropriate insulation pad placement or pouring temperature are conducted to ensure that the components meet the mass concrete requirements of a core temperature $\leq 70^{\circ}\text{C}$ and a core-surface temperature difference $\leq 20^{\circ}\text{C}$.

Through temperature field simulation

studies, the formulation of temperature control plans, and the final on-site execution analysis, the temperature control process and steps of the massive concrete for the tower foundation have been confirmed. By applying insulation measures, the requirements outlined in the construction guidelines were met. During the summer, due to on-site environmental conditions, temperatures may exceed the predicted range. In the future, it may be considered to add temperature-reducing agents (such as hydration heat inhibitors) or embed a circulating water system to ensure that the massive concrete meets the temperature control requirements.

1 研究背景、目的、方法：

本研究主要以飛灰 30% 與爐石粉 35% 取代水泥改良配比 (C35F30S35) 進行絕熱溫升試驗，並使用商業有限元素軟體 ANSYS 模擬巨積混凝土的溫度場；模擬分析在未添加與添加保溫材兩種不同邊界條件下進行，計算等效放熱值，以分析混凝土中心位置及表面下 5cm 處的溫度，確認其心溫與心表

溫差是否符合施工綱要 03700 章大體積混凝土篇中規定的最高心溫小於 70°C 和最大心表溫差小於 20°C 的要求，根據模擬分析結果及相關條件，制定符合施工綱要的溫控計畫書。最終通過實際工程案例的執行，確定溫度管控所需的流程和方法。

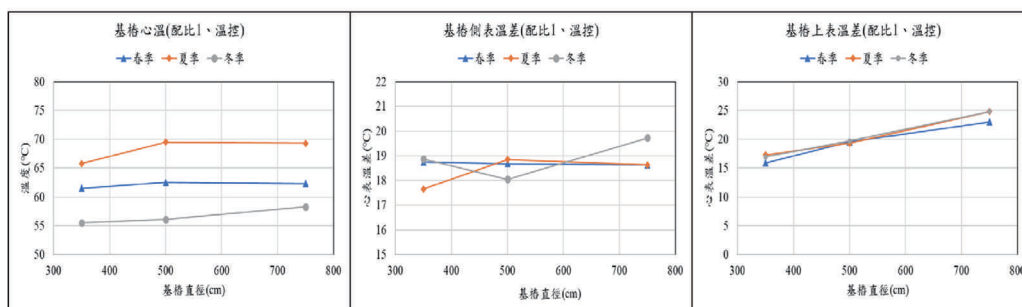
2 成果及其應用：

1. 本次研究之使用混凝土改良配比 (C35F30S35)，在水膠比 0.55 時，齡期 56 天之抗壓強度為 339.0kgf/cm^2 ，符合設計強度 280kgf/cm^2 需求，而膠結材 7 天水合熱為 204.6kJ/kg ，符合施工綱要 7 天水合熱小於 250kJ/kg 規定。另外，此配比之絕熱溫升為 41.4°C 。
2. 溫控計畫書之各項主要內容，包含模擬、現場保溫及養護措施，特別是透過模擬可以規劃最高澆置溫度、合適保溫措施及保溫時間，以確保結構之心溫小於 70°C

- 及心表溫差小於 20°C (施工綱要第 03700 章巨積混凝土之 1.6 節)。
3. 本研究於基樁模擬中，探討三種基樁尺寸、兩種配比與三種氣候條件下，基樁直徑在 5m (含) 以下時，可透過降低澆置溫度搭配上表面鋪設保溫墊來滿足溫控要求 (圖 1)。但當基樁直徑達 7.5 m 時，必須大幅度降低澆置溫度，且保溫需超過 30 日，才能滿足溫控要求，若現場執行有窒礙難行之處，可採原空心井筒設計方式，避免受巨積混凝土規範限制。

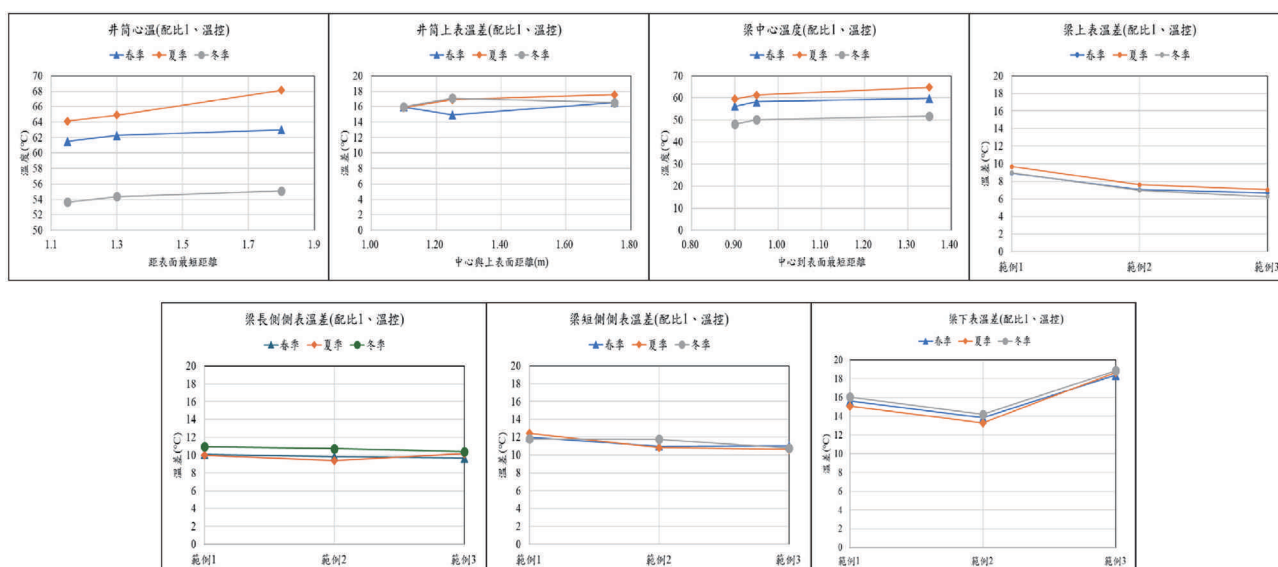
4. 本研究於大梁模擬中，探討三種尺寸、兩種配比與三種氣候條件，大梁最高溫度會出現於井筒中心，除了井筒尺寸達到 7.5m 且梁深達到 3.6m 時，春與冬季需要降低澆置溫度，其他範例皆可以於原澆置溫度與保溫措施下，達到心表溫差的需求 (圖 2)。
5. 根據以上結果，採用改良配比並搭配適

當的溫控措施) 如控制澆置溫度、使用合適的保溫材料) 下，可在符合預設條件的情況下滿足溫控需求。然而，現場條件、預拌廠配比及澆置溫度的控制，以及施工期間的環境溫度，可能會影響最終的溫控效果。因此，不同場域仍需根據個案的相關條件確認可行性。



資料來源：委託試驗與本研究繪製

圖 1 基樁三種季節與三種尺寸之溫度場模擬



資料來源：委託試驗與本研究繪製

圖 2 大梁三種季節與三種尺寸之溫度場模擬

研究人員：化學與環境研究室：吳宸胤、郭麗雯、邱智勇、林泓道
 輸變電工程處：陳輝煜、黃勇誠、蔡易辰

不同摻量灰塘灰混凝土之力學性質研究

Study on the Mechanical Properties of Concrete with Different Content of Ash Pond Ash

Abstract

This study primarily investigates the mechanical and durability properties of concrete made from Taichung pond ash at varying sand replacement ratios (0%, 20%, 40%, and 60%), with a water-binder ratio (w/b) of 0.55, a total binder volume of 400 kg/m³, and fly ash as a 36% binder. Two reference mixes for non-structural pond ash concrete blocks are also provided.

Taichung pond ash, a mixture of fly ash and bottom ash, typically contains chloride ions exceeding the standard for concrete aggregate (0.012%). Properties such as particle size, specific gravity, and moisture content vary by location. A higher proportion of pond ash replaces sand, resulting in a lower unit weight of pond ash concrete and requiring more chemical agents. In terms of compressive and splitting strength, a higher proportion of pond ash replaces sand, resulting in lower strength. However, these strengths remain nearly unchanged with aging. Using a rapid chloride ion

penetrometer, the cumulative charge of pond ash concrete consistently remained below 2,000 coulombs, indicating a low chloride permeability rating. Under the same offshore conditions, wave-breaking blocks made with pond ash instead of sand require a larger volume than conventional concrete to maintain the same stability. Considering concrete's workability, unit weight, mechanical properties, durability, and material cost, a 20% to 40% replacement ratio of pond ash for conventional fine aggregate is considered optimal. However, there may be concerns about the applicability of using ash pond ash in wave-breaking blocks or cubes. The amount of heavy metal dissolution from ash pond ash meets the requirements for port filling. Based on processing costs and energy conservation and carbon reduction considerations, it is recommended to use it in port filling first.

1 研究背景、目的、方法：

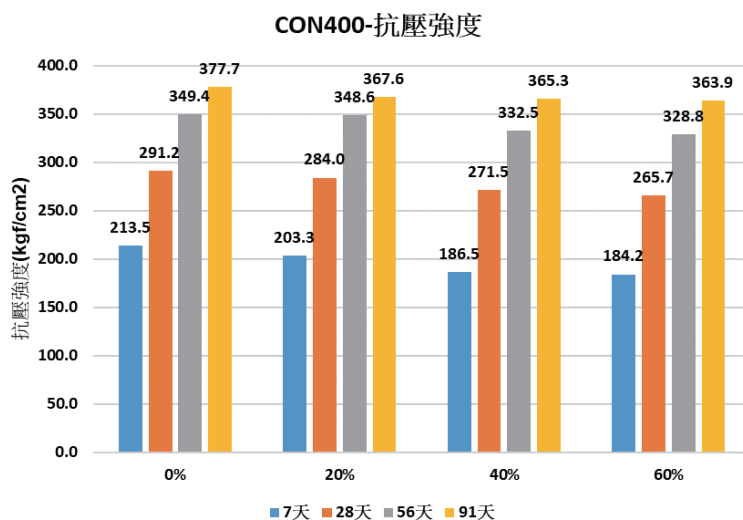
台中發電廠既有一期灰塘目前尚有大量堆置之待處理灰塘灰，該用地屬台中港務分公司土地，為落實資源循環再利用、降低電廠營運壓力、並還地給港務分公司運用。初步規劃以灰塘灰適度取代常重細粒料來製成消波塊或方塊，於各火力計畫內使用。由於灰塘灰比重小於常重細粒料，材料置換後勢必會降低混凝土單位重，相較一般常重混凝土，可能會產生強度的折減，

因此需進行高摻量灰塘灰混凝土之力學性質與耐久性研究，供設計單位參考。

本研究首先針對台中電廠灰塘灰之環境安全性、化學與物理性質進行試驗，再探討不同灰塘灰摻量之混凝土抗壓強度、劈裂強度與耐久性性質，並提供灰塘灰非結構用混凝土方塊之參考配比，最後提出灰塘灰利用建議。

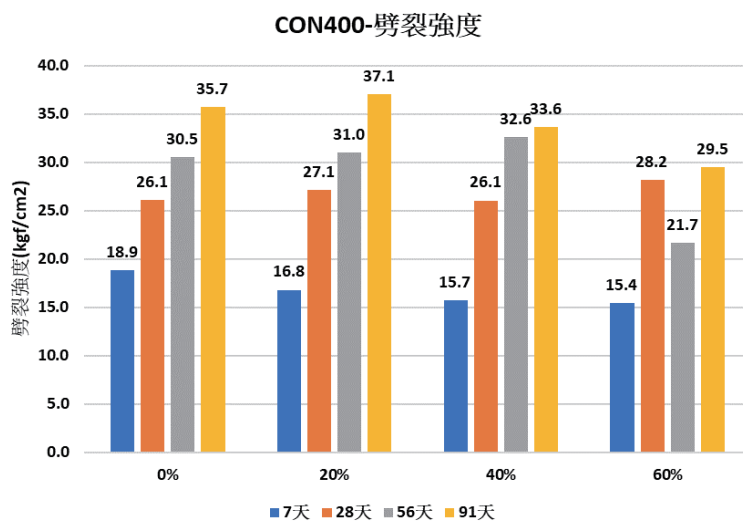
2 成果及其應用：

1. 灰塘灰以再生粒料環境用途溶出程序 (NIEA R222) 溶出，重金屬量遠低於第二類地下水污染管制標準，可進行水泥製品利用，亦符合港區填築材料要求。
2. 灰塘灰物理性質 (如粒徑、比重和含水率) 隨地點有所差異，建議使用前將材料暫置後再翻攪均勻。
3. 抗壓強度試驗中 (如圖 1 所示)，灰塘灰取代砂比率越高，越不利於短齡期強度表現，但在齡期 28 天時，取代率 0%、20%、40% 與 60% 之試體抗壓強度分別為 291.2 kgf/cm²、284.0 kgf/cm²、271.5 kgf/cm² 與 265.7 kgf/cm²，皆高於設計強度 210 kgf/cm²，且各試體抗壓強度差異僅在 1% 以內，推測原因為灰塘灰含部分飛灰，除了填充效應外，也會產生卜作嵐反應，可降低混凝土連通孔隙，有助於強度提升。
4. 劈裂強度試驗中 (如圖 2 所示)，試體強度隨齡期增加而提高，齡期 28 天時，取代率 0%、20%、40% 與 60% 之試體劈裂強度分別為 26.1 kgf/cm²、27.1 kgf/cm²、26.1 kgf/cm² 與 28.2 kgf/cm²，劈裂強度與抗壓強度有極大正相關，約為抗壓強度之 1/10。試驗組試體之劈裂強度除 400C36-60%050 外，其餘已接近甚至超過控制組。
5. 耐久性試驗中 (如圖 3 與圖 4 所示)，齡期 56 天時，控制組 (0%) 通過電荷量為 1,685 庫倫，略高於所有試驗組 (介於 1,464~1,562 庫倫)；齡期 91 天時，控制組和試驗組之通過電荷量均明顯低於齡期 56 天，其中取代率 40% 之試驗組通過電荷量為 996 庫倫，為所有組別中最低，其他試驗組與控制組無明顯差異。根據 ASTM C1202，通過電荷量介於 1000~2000 庫倫，氯離子滲透等級為低 (Low)。
6. 以灰塘灰替代常細粒料所需之總膠結材量及藥劑量較多，提高製作成本。整體考量混凝土之工作性、單位重、力學性質與耐久性，灰塘灰取代 20% 或 40% 常重細粒料應是較適合摻配量。
7. 由於灰塘灰比重低於常重粒料，建議後續可嘗試添加重質粒料 (如安定化之轉爐石)，提高消波塊單位重並增加穩定性。灰塘灰應用於消波塊或方塊恐有適法性疑慮，基於處理成本及節能減碳考量，建議優先應用於港區填築。



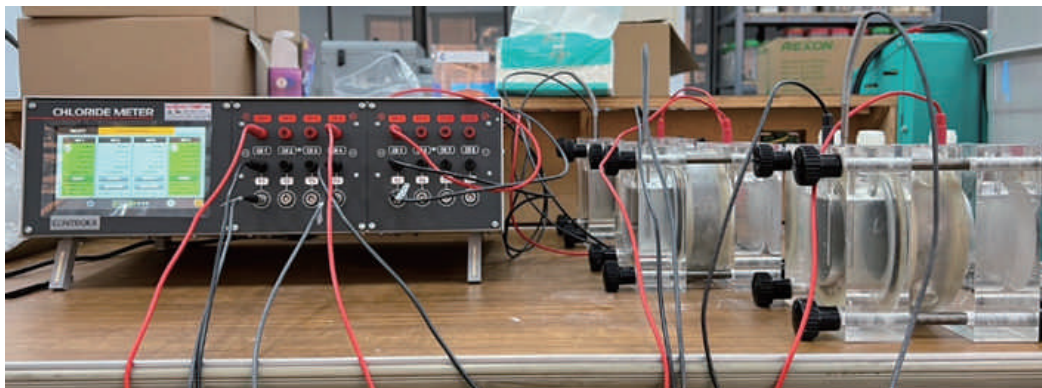
資料來源：本研究繪製

圖 1 不同取代率下之抗壓強度發展圖



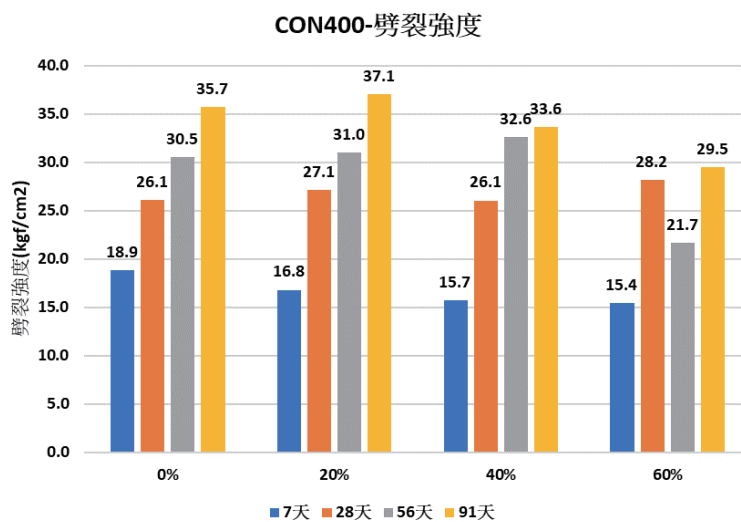
資料來源：本研究繪製

圖 2 不同取代率下之劈裂強度發展圖



資料來源：本研究繪製

圖 3 混凝土抗氯離子穿透能力試驗 (RCPT)



資料來源：本研究繪製

圖 4 混凝土抗氯離子穿透能力試驗結果 (RCPT)

研究人員：化學與環境研究室：邱智勇、郭麗雯、吳宸胤、林泓道、吳文堅
核能火力發電工程處：蔡繼義、鐘展聲

以國產材製做木質顆粒用於發電機組之可行性研究

Feasibility Study on the Production of Wood Pellets from Domestic Timber for Power Generation Units

Abstract

To support Taiwan's energy transition and Taiwan Power Company's (TPC) carbon targets, this study evaluates the technical and environmental feasibility of producing wood pellets from six domestic timber species (three coniferous and three broadleaf). Life cycle analysis demonstrates a significant carbon advantage, avoiding over 200 kg CO₂e/t compared to imported fuels. While xylem components (heartwood and sapwood) across all species met CNS 17225-2 I1 standards, bark consistently failed due to excessive ash content (up

to 6.33%) and chemical levels, making debarking mandatory. Furthermore, certain hardwoods faced heartwood contaminant restrictions for premium markets. Consequently, a graded application strategy is recommended to optimize resource allocation. Future research must focus on optimizing whole-tree pelletizing ratios and conducting a comprehensive economic analysis of drying and debarking costs to ensure the long-term competitiveness of the domestic supply chain.

1 研究背景、目的、方法：

為配合國內法規的綠色轉型方向，本公司在民國 110 年 5 月 7 日完成了 CNS 3036 國家標準的修訂，解決了燃煤混燒木質顆粒飛灰的去化定義問題（將其歸類為一般飛灰，並依循當時經濟部 5% 以下的混燒規定）。然而燃煤混燒木質顆粒的燃料需求龐大，木質顆粒往往規劃仰賴國外進口，導致燃料的長途運送碳足跡成為評估其永續性的關鍵缺陷。這種對進口生質燃料的依賴，大幅降低了原本預期的減碳效益，並可能導致總體生命週期排放量顯著增加。因此，深入評估國

產木材的燃料品質特性，以開發在地供應、低碳足跡的高品質固體生質燃料，已成為提升國家能源安全與環境效益的迫切需求。本研究透過科學化的原料特性分析、將目標樹種：柳杉、台灣杉、杉木、楓香、杜英及銀合歡，分為四種部位（樹皮、枝、心材及邊材）進行製粒試驗（圖 1）與 CNS 17225-2 等級評比（圖 2），為台電公司未來燃料採購在地化、低碳化策略的擬定，提供具體、可實施的數據支持與戰略參考。

2 成果及其應用：

1. 所有試驗樹種的心材與邊材（木質部）多展現出符合 CNS 17225-2 I1 級，並具取代進口木質顆粒之潛力。環境效益方面，國產材無須計算跨海運輸產生的碳排放量，結合國產材的碳儲存總量，具備顯著的低碳足跡優勢。
2. 原料的部位區分是決定最終產品等級的關鍵，多數樹種的樹皮均因灰分、氮或鉻含量嚴重超標而被判定為未達使用標準。
3. 鑒於樹皮和樹枝僅佔全株比例較低，後續將研究全株不分部位混合造粒實驗。透過全株加權平均，評估最終產品的灰分、氮和鉻含量是否能達到 CNS 17225-2 使用等級之門檻。
4. 本研究提供具體、可實施的在地化燃料供應，未來可應用於國產自給能源與林業資源永續利用參考。



資料來源：本研究繪製

圖 1 試驗樹種前處理製程圖 (左圖) 及樹種四部位示意圖 (右圖)

部位	樹種	CNS 17225-2 使用等級評估
皮	針-台灣杉 (<i>Taiwania cryptomerioides</i>)	未達使用標準
	針-柳杉 (<i>Cryptomeria japonica</i>)	未達使用標準
	針-杉木 (<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	未達使用標準
	闊-銀合歡 (<i>Leucaena leucocephala</i>)	未達使用標準
	闊-杜英 (<i>Elaeocarpus sylvestris</i>)	未達使用標準
	闊-楓香 (<i>Liquidambar formosana</i>)	未達使用標準
枝	針-台灣杉 (<i>Taiwania cryptomerioides</i>)	I3
	針-柳杉 (<i>Cryptomeria japonica</i>)	I3
	針-杉木 (<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	I1
	闊-銀合歡 (<i>Leucaena leucocephala</i>)	I3
	闊-杜英 (<i>Elaeocarpus sylvestris</i>)	I3
	闊-楓香 (<i>Liquidambar formosana</i>)	I3
心材	針-台灣杉 (<i>Taiwania cryptomerioides</i>)	I1
	針-柳杉 (<i>Cryptomeria japonica</i>)	I1
	針-杉木 (<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	I1
	闊-銀合歡 (<i>Leucaena leucocephala</i>)	I3
	闊-杜英 (<i>Elaeocarpus sylvestris</i>)	I1
	闊-楓香 (<i>Liquidambar formosana</i>)	I2
邊材	針-台灣杉 (<i>Taiwania cryptomerioides</i>)	I1
	針-柳杉 (<i>Cryptomeria japonica</i>)	I1
	針-杉木 (<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	I1
	闊-銀合歡 (<i>Leucaena leucocephala</i>)	I1
	闊-杜英 (<i>Elaeocarpus sylvestris</i>)	I1
	闊-楓香 (<i>Liquidambar formosana</i>)	I1

資料來源：本研究整理

圖 2 各部位 CNS 17225-2 使用等級評比結果

研究人員：化學與環境研究室：江秉鴻、郭麗雯、邱智勇、曾志富

營建材料碳封存技術可行性探討

Feasibility Study on Carbon Storage Technology of Construction Materials

Abstract

Cement is a pivotal material in the construction industry. As the sector faces increasing demands for decarbonization, current strategies extend beyond merely reducing concrete carbon emissions by partially replacing cement with Supplementary Cementitious Materials (SCMs)—such as fly ash and slag powder. The industry is also actively developing technologies, including direct carbonation, indirect carbonation, carbonated mixing, and carbonated curing. These innovations promote the sequestration of carbon dioxide CO₂ within concrete, thereby contributing to the achievement of low-carbon goals. These carbonation technologies enable recycled concrete aggregates and steel slag waste to sequester carbon and undergo

circular utilization. Additionally, carbonated mixing and the carbonated curing of precast materials, when using optimized CO₂ dosages, provide two benefits: carbon storage and improved physical properties.

Regarding business models for carbon sequestration in construction materials, several enterprises have already invested in pilot projects and commercial applications of related technologies. Notably, some manufacturers are introducing flue gas from power plants directly into the material carbonation process. Based on these commercialized and certified carbonation technologies, it can be inferred that the application of construction materials in carbon sequestration is feasible

1 研究背景、目的、方法：

研究採用文獻蒐集與資訊整理分析作為主要方法，其流程包括：(1) 彙整混凝土、水泥等營建材料碳化技術相關文獻；(2) 根據文獻資料確認營建材料與二氧化碳之化學反應及碳化量化方式；(3) 依據技術文獻中的分類方法進行比較，探討合

適的營建材料分類法；(4) 針對不同類別之營建材料碳封存技術，分析其目標、方法及相關物理性質，並參考文獻探討商業模式以評估技術可行性；(5) 最後，從商業煙氣利用角度，分析與電廠或工廠煙氣連結的可能性。

2 成果及其應用：

1. 營建材料可透過材料的直接碳化與間接碳化、碳化拌合及碳化養護等技術方式，使 Ca²⁺ 及 Mg²⁺ 分別與將二氧化碳反應為穩定的碳酸鈣 (CaCO₃) 或碳酸鎂 (MgCO₃)，達到營建材料碳封存的目的。
2. 再生混凝土骨材及鋼渣可透過直接碳化或間接碳化等方法進行處理，獲得人造骨材或輔助性膠結材料等，結合廢棄物再利用及封

- 存的目的是。
3. 在混凝土碳化拌合與預製建材碳化養護過程中，適量添加二氧化碳可有效提升抗壓強度並促進早期強度發展，同時優化材料的緻密性等物理性能。然而，須嚴格控管二氧化碳的投放量，因為過量可能導致強度下降等不利影響。碳化拌合對混凝土 pH 值的影響僅為短暫現象，在低劑量二氧化碳注入結束後，持續水化反

應會讓 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 不斷生成，使 pH 值恢復至高鹼性狀態。此外，進行碳化養護時，碳化區域之 pH 值初期會下降，但隨著後養護階段之水化作用，降低 pH 值有回升現象。

4. 已有部分業者成功利用來自電廠或工業來源的煙氣，進行營建材料碳化的案例與示範計畫，但目前未找到將電廠二氧化碳捕集及純化後，直接應用於營建材料碳化的商業化案例。

5. 根據現有資料 (表 1)，多種營建材料碳化技術已進入商業化應用階段。目前，包含碳化拌合 (如 CarbonCure Technologies) 與直接碳化 (如 Neustark) 在內的技術已獲得第三方方法論認證。由此可推論，將碳封存應用於營建材料具備一定的技術可行性。然而，本研究未納入經濟層面分析，因此無法釐清其經濟可行性。

表 1 營建材料碳化廠商之碳化方式與產品

廠商	廠商	產品
Neustark	DC	DC
Zirkulit AG	DC	DC
OCO Technology	DC	DC
Blue Planet	IC	IC
Sika (reCO2ver)	IC	IC
Calera Corporation	IC	IC
CarbonCure Technologies	CM	CM
Carboclave	CC	CC
Solidia Technologies	CC	CC
Taiheiyo Cement (CarboFix)	CC	CC
CarbonBuilt	CC	CC
CarbiCrete	CC	CC
Carbstone Innovation	CC	CC
CO2-SUICOM	CC	CC

RCA：再生混凝土骨材、SCM：輔助膠結材

資料來源：本研究繪製

建築使用木構造之減碳效益評估

Assessment of Carbon Reduction of Wooden Structures in Buildings

Abstract

To support Taiwan's energy transition and Taiwan Power Company's (TPC) carbon targets, this study evaluates the technical and environmental feasibility of producing wood pellets from six domestic timber species (three coniferous and three broadleaf). Life cycle analysis demonstrates a significant carbon advantage, avoiding over 200 kg CO₂e/t compared to imported fuels. While xylem components (heartwood and sapwood) across all species met CNS 17225-2 I1 standards, bark consistently failed due to excessive ash content (up

to 6.33%) and chemical levels, making debarking mandatory. Furthermore, certain hardwoods faced heartwood contaminant restrictions for premium markets. Consequently, a graded application strategy is recommended to optimize resource allocation. Future research must focus on optimizing whole-tree pelletizing ratios and conducting a comprehensive economic analysis of drying and debarking costs to ensure the long-term competitiveness of the domestic supply chain.

1 研究背景、目的、方法：

台電於 113 年 4 月 12 日在萬大發電廠舉行新辦公室開幕典禮，最大特色為木構造所建成，不僅與電廠周圍群山環繞的環境有良好的適切性，同時兼顧相較於鋼筋混凝土構造更為環保的固碳效益及低碳營建模式。該建築雖展現出較傳統構造優異固碳效益，卻因國內製材產業規模有限與供應不穩，最終仍依賴國外進口木材，顯示國產材在公共工程應用上的困境。儘管台灣

森林覆蓋率達六成且具備豐富人工林資源，但在「低碳營建」與「在地供應」的銜接上仍存有落差。為此，本研究旨在探究提升國產材於建築工程使用率的可行路徑，以期進一步降低運輸碳足跡並強化能資源利用效率。研究方法採取文獻回顧法與政府公開資訊分析，針對國內木構造產業現況、木構造與一般構造之含碳量差異進行量化比較。

2 成果及其應用：

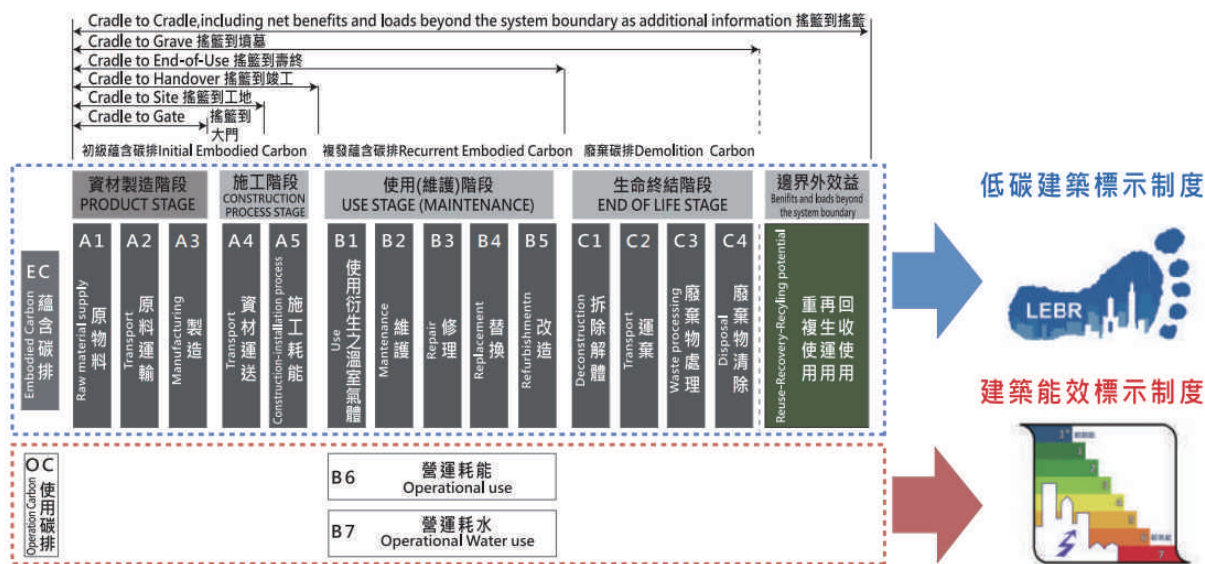
- 以全生命週期建築碳足跡評估標準 (圖 1) 來看，木構造建築在蘊含碳排 (A1-A3 階段) 方面相較於 RC 構造具備顯著的減碳效益。若能進一步使用國產材 (圖 2)，則可避免因進口木材產生的運輸碳排 (約可減少 7 萬公斤 CO₂e 左右的排放量)，進一步強化了木構造的減碳潛力。
- 由於國產材供應鏈尚未成熟、自給率長期低於 1%，業者目前多傾向使用進口木材。在法規層面，《木構造建築設計及施工技術規

範》的限制，如建築簷高不得超過 14 公尺、不得超過四層樓等，大幅侷限了木構造的應用範圍；經濟與市場層面，木構造的建造成本高於 RC 構造約 1.31 倍，每平方公尺價差可達 2.1 萬元，是推廣上的主要障礙。

- 2017 年林業署宣布該年為國產材元年，預計在該年起將國家的林業木材產量提升至自給率 5%，配合國家政策，在未來國產材的產量問題應能漸漸滿足市場需求。
- 未來可配合「台電公司循環營建

推動指引」，透過領頭使用國產材，達成資源利用最大化並帶動國內綠色建築產業鏈。考量目前法規對高度與樓層的

限制，大型建案尚不可行，但可優先於小型、特定場域(如萬大電廠模式)導入國產材木構造設計。



資料來源：王榮進 (2024) 建築效能評估手冊

圖 1 全生命週期建築碳足跡評估標準

原木材運送國家	美洲 (針葉樹)			歐洲 (針葉樹)		
	柳杉	杉木	台灣杉	柳杉	杉木	台灣杉
木材碳匯量 (kg CO ₂ e)	214,416	181,962	187,832	214,416	181,962	187,832
減少運輸碳排量 (kg CO ₂ e)	72,127	72,127	72,127	67,965	67,965	67,965
減少運輸碳排量 (kg CO ₂ e)	286,543	254,089	259,959	282,381	249,927	255,797

資料來源：本研究整理

圖 2 萬大電廠木構若使用國產材所減少之碳排

研究人員：化學與環境研究室：江秉鴻、郭麗雯、邱智勇、曾志富

興達電廠燃氣機組更新改建施工階段生態檢核及生態衝擊評估研究

Research on Ecological Inspection and Ecological Impact Assessment During the Construction Stage of Hsinta Power Plant Combined Cycle Renewal Project

Abstract

This study represents the first fully in-house ecological inspection and impact assessment project conducted by the Taiwan Power Research Institute for a public-works development, with no outsourcing involved at any stage. Focusing on the construction phase of the Hsinta Power Plant Combined Cycle Renewal Project, we compiled long-term ecological datasets from the Yongan Wetland—covering birds, fish—shrimp—mollusks, Odonata, and water quality—and harmonized them under the national biodiversity data standard. We then constructed multi-scale GIS layers for the project footprint, the nationally important wetland (41.25 ha), the 22-ha artificial habitat, retained salt-pan wetlands, and surrounding buffer zones. Using GIS-based spatial overlay, habitat-use and hotspot analyses, and a three-dimensional impact matrix (receptor × stressor × construction

phase), we classified potential construction-stage impacts into graded zones and identified targeted mitigation for high-impact areas, including noise and light reduction, water-level and habitat management, and focused monitoring indicators and frequencies. The results demonstrate that this report fully complies with the legal requirements of Taiwan's public-works ecological inspection framework, while providing operational products—standardized datasets, GIS layers, checklists, and procedures—that can be directly applied to construction management and external communication. In doing so, the project establishes Taipower's independent technical platform for ecological inspection, and clearly showcases the company's professional capacity in ecological assessment, spatial analysis, and engineering—environment integration.

1 研究背景、目的、方法：

1. 計畫願景與時空脈絡 (Project Vision & Context)

在全球能源轉型與氣候行動的關鍵時刻，興達電廠燃氣機組更新改建工程不僅是台灣由「煤」轉「氣」的能源關鍵支點，更是台電展現「能源與生態共生」戰略高度的重要場域。本計畫緊鄰國家重要濕地—永安濕地，這片被視為「戰略性生態資產 (Strategic Ecological Asset)」的區域，不僅是東亞—澳大利西亞遷徙路線 (EAAF) 的核心驛站，更是衡量企業環境治理 (ESG) 成熟度的關鍵指標。本研究的核心目的，在於超越傳統被動式的環評監督，透過由台電綜合研究所主導之「完全無委外」自主生態檢核機制。這項創新模式象徵著台電在組織學習上的重大突破，

成功將生態保育與電廠開發從對立轉化為專業整合，確保在履行「電力穩定供應」使命的同時，能精準守護 41.25 公頃國家重要濕地與 22 公頃人工補償棲地的生態韌性。為了落實上述目標，本計畫捨棄傳統的文書審核，改以高度數位化的地理資訊系統 (GIS) 作為決策底盤，確保每一項工程決策皆具備科學實證與時空連動性。如圖 1。

2. 自主技術研發與方法論創新 (Methodological Innovation)

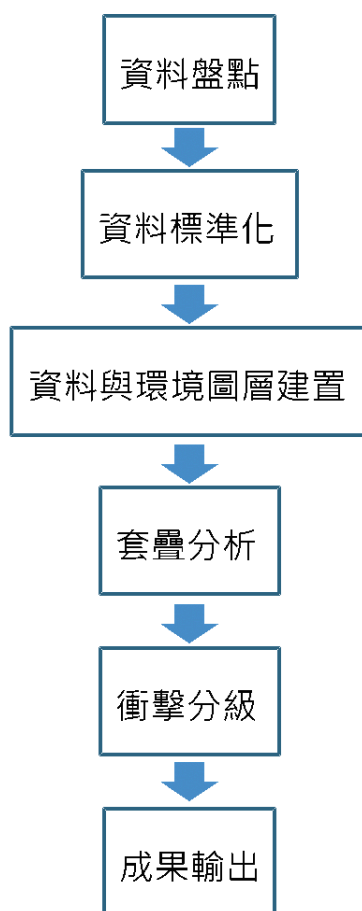
研究摒棄了傳統模糊的質化評估，導入量化空間指標以定義「生態熱點」。

棲地重疊比例 (HR, Habitat Overlap Ratio)：精確計算工程邊界與敏感棲地交集的比例，量化直接物理占用之風險。

密度重疊比例 (DR, Density Overlap Ratio)：運用核密度分析 (KDE) 識別鳥類高利用區 (密度前 25%)，並與施工緩衝帶套疊，辨識核心功能受損程度。

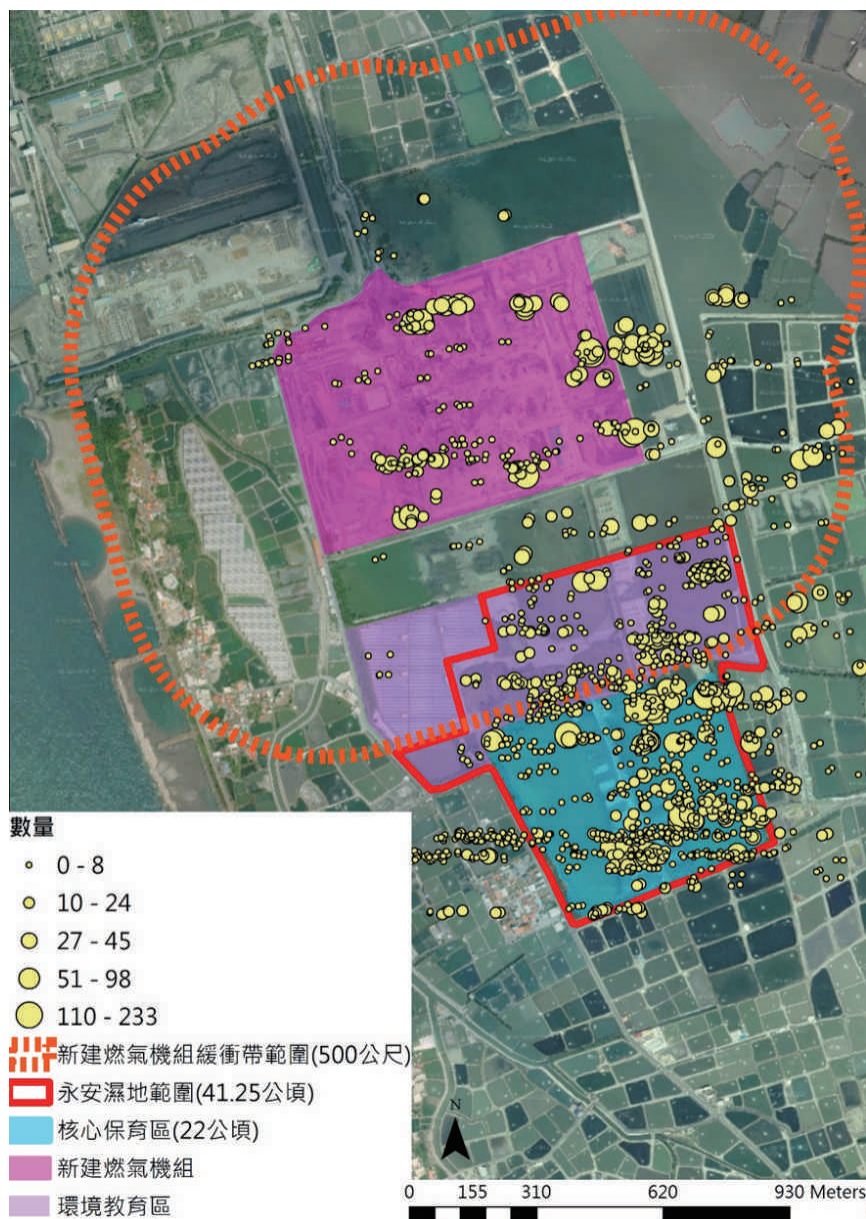
最近距離 (ND, Nearest Distance)：利用空間鄰近分析技術，計算受體至干擾源的物理距離，作為噪音與人為擾動強度的判釋基準。

三維分析矩陣 (Spatial Matrix)：將不同物種 (如黑面琵鷺、小燕鷗) 對不同施工行為 (如 Stage 1 整地、Stage 2 土建、Stage 3 試車) 的敏感度差異，整合進 GIS 空間模型中。精密的方法論工具，不僅產出了分區分級管理的實證數據，更為台電建立了跨計畫、可延續的「生態數位雙生 (Ecological Digital Twin)」基礎。



資料來源：本研究製圖

圖 1 工程核定與規劃設計階段生態檢核作業流程示意圖
 資料互操作性：生物多樣性資料標準化。使台電的生態數據能與國家生物多樣性資料庫介接，減少未來開發案環評更新的重複勞動。
 衝突去階層化：GIS 產出的高品質視覺化圖層，為與環境 NGO 及當地居民溝通的高效媒介。



資料來源：本研究製圖

圖 2 施工噪音與光害緩衝帶與鳥類棲息熱點套疊圖，判讀階段性敏感度與特定風險，隨著施工階段劇烈波動。識別衝擊熱點後，研究進一步將成果轉化為可落地的操作對策，並將管理強度與生態敏感度精準對齊。

本研究證明了內部團隊有能力主導高度複雜的能源與生態整合研究。透過自主檢核，台電不僅內化了關鍵技術能量，更在數據資產的完整性與治理的高度上，跨出了邁向組織 ESG 卓越的重要一步。如圖 2。

1. 推動動態分區管理 (Dynamic Zoning)：建議將靜態的施工配置轉化為「動態物流優化」，依據即時監測到的候鳥到站情形，動態調整工區重車出入頻度與動線。
2. 制度化自主檢核模式 (Institutionalization)：建議將本案開發的 HR/DR/ND 指標系統與

ModelBuilder 流程標準化，轉化為台電未來所有電廠更新計畫 (如大潭、台中電廠) 的標準作業程序 (SOP)。

3. 轉型生態數位雙生 (Digital Twin Transition)：本計畫建立的 GIS 資料結構應進一步整合物聯網監測數據，建置生態數位雙生平台，達成開發、保育與營運監測的全生命週期數位化管理。

本計畫的成功實踐，象徵著台電已具備從生態角度重新定義電力工程的專業能量，未來將持續以技術本位推動台灣能源轉型與生態多樣性的雙贏願景。

煤灰構造物對海洋生態之短期效應

Short-term Effects of the Coal Ash Structures on Marine Ecology

Abstract

Using coal ash, the by-product of coal-fired thermal power plant, to construct hollow bricks or artificial reefs could be a win-win situation for circular economy and restoration ecology. Most previous studies have found out that the human-made coastal defense structures, including seawalls, tetrapods, or wave breaker blocks, could convert the surrounding habitats gradually into coral reef communities and increase the local biodiversity after setting up appropriately. However, these studies are rarely concerned the short-term transformation, especially the physical disturbances and primary changes of the benthic organisms under the coastal defense structures. This study has tracked the spatial and temporal changes of the 3D printing coal ash structures for observing the restoration of benthic communities after physical disturbances and the coal ash structure construction. Although the benthic communities by higher taxonomic

groups show static, the diversity of marine nematode communities slightly increase after one month of the coal ash construction. In addition, the dominant species on the coal ash structures represent distinguish between outer and in ner parts of the water inlet of the Shen'ao Power Plant. The coal ash structures made by 3D printing technology keep rough surface to increase the attachment potential of marine organisms, easily design decorated, assembled by small unit modules artificial reefs, reduce the cost and serve the ecological functions. This study shows that the short-term effects of coal ash structures are indistinct, and the benthos are quickly adapted the present of the structures and restored the ecological dynamic equilibrium. In the future, we should keep the long-term assessment for understanding the compatibility between coal ash materials and marine organisms and the feasibility of coal ash artificial reefs.

1 研究背景、目的、方法：

將火力發電副產物煤灰加工製成空心磚或人工魚礁等構造物以復育海洋生物，不失為一個兼顧循環經濟與復育生態的方式。過去許多研究發現海堤或消波塊等海濱人造物若設置妥善，在經過長時間的生

態消長，有機會形成珊瑚礁群聚，增加當地的海洋生物多樣性。然而這類研究通常對短期內的變化著墨較少，特別是對構造物下方底棲動物的物理衝擊及初期轉變，仍須更詳細的觀測報告。

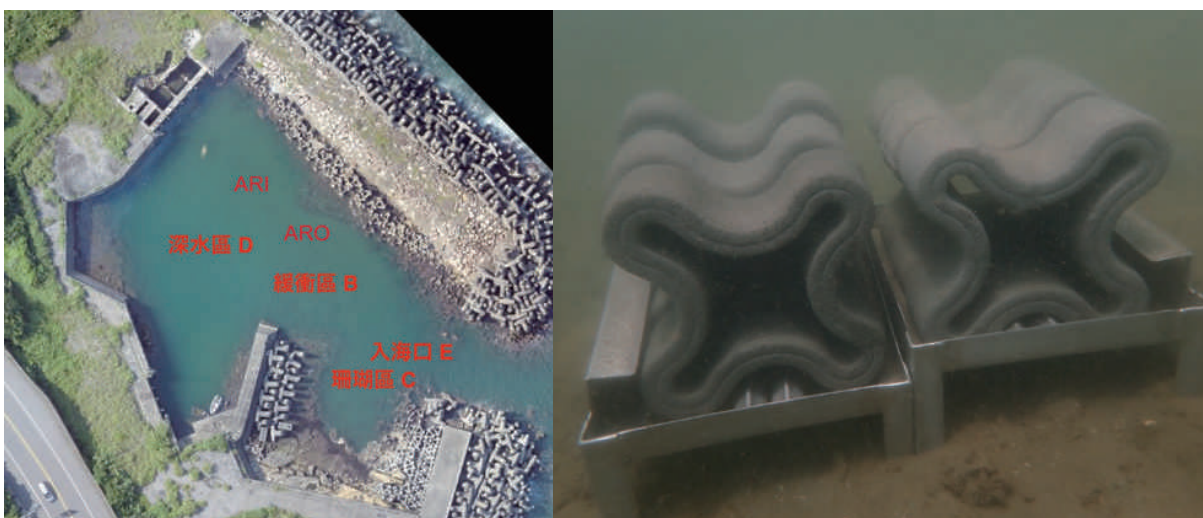
2 成果及其應用：

- 本研究追蹤 3D 列印煤灰構造物於天然海域的時空變化 (如圖 1)，鑑定構造物表層的附著生物與周遭底棲動物，以觀察底棲動物群落在受到物理干擾後的恢復情形與構造物設置的前後變化。
- 結果顯示雖然在底棲動物大類群落看不出差異 (如圖 2)，但海洋線蟲群落在煤灰構造物設置後約

- 一個多月多樣性就逐漸增加，此外港灣靠內外側的煤灰構造物上會有不同的優勢種存在。
- 以 3D 列印技術製作煤灰構造物，除了可使表面維持粗糙，增加海洋生物附生潛力，亦可製作外表較為精細美觀、或以小型模組組裝的大型人工魚礁，降低製作成本並提升與環境融合的視覺效果。

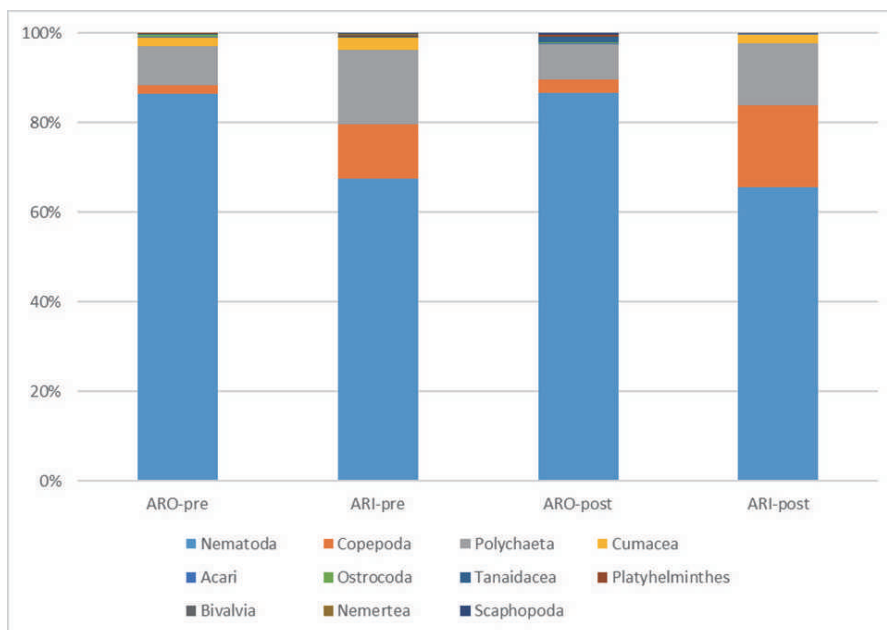
- 本研究顯示煤灰構造物對海洋底棲生態的短期效應不明顯，底棲動物很快就能適應構造物的存在、恢復原本的動態平

衡。未來應持續進行長期觀察，進一步確認煤灰材料及海洋生物的親和性與煤灰人工魚礁的可行性。



資料來源：本研究整理

圖 1 深澳進水口海域煤灰構造物投放區 (左圖) 及其於海底設置完成情形 (右圖)



資料來源：本研究繪製

圖 2 煤灰構造物設置前後底質樣本內底棲動物大類分布比例圖

研究人員：化學與環境研究室：廖健翔、陳璽年、邱智勇、吳宸胤

鋰電池二次利用之電池管理系統開發研究

Development of Management System for Li-battery Second Use

Abstract

In response to the global energy transition and the promotion of circular economy practices, second-life lithium batteries have been recognized as a promising solution to enhance resource efficiency while supporting stationary energy storage applications. However, retired batteries typically exhibit significant variations in performance, aging conditions, and safety characteristics. Applying conventional battery management strategies designed for new or automotive batteries may lead to reduced system reliability and increased operational risks. Therefore, developing management and dispatching approaches tailored to second-life battery applications is a critical challenge.

This study focuses on second-life lithium batteries with the objective of establishing an analytical framework for a smart battery management system (BMS)

capable of supporting autonomous control in second-life applications. The research integrates battery dismantling and failure analysis of retired lithium iron phosphate (LFP) battery modules to identify internal degradation mechanisms associated with voltage abnormalities. In addition, a second-life battery energy storage system was deployed for field operation to evaluate the impacts of different charge-discharge schedules and electricity pricing schemes on thermal behavior, aging risks, and economic performance. Furthermore, system-level operational data were combined with single-cell cycling tests to develop an equivalent cycle (Eq-Cycle) degradation model based on cumulative SOC variation. The proposed approach provides a practical basis for lifetime assessment and operational optimization of second-life battery systems.

1 研究背景、目的、方法：

因應能源轉型與循環經濟發展趨勢，本研究以梯次利用鋰電池為研究對象，目的在於建構具備自主調控基礎之智慧型電池管理系統分析架構。研究方法結合退役磷酸鐵鋰電池之拆解與失效分析，並建置梯次利用電池實場系統，進行長時

間運轉評估，分析其熱行為、壽命風險與經濟性表現。此外，透過整合系統運轉資料與單電芯試驗結果，以等效循環衰退分析方法作為梯次利用電池壽命評估與後續 BMS 調度設計之依據。

2 成果及其應用：

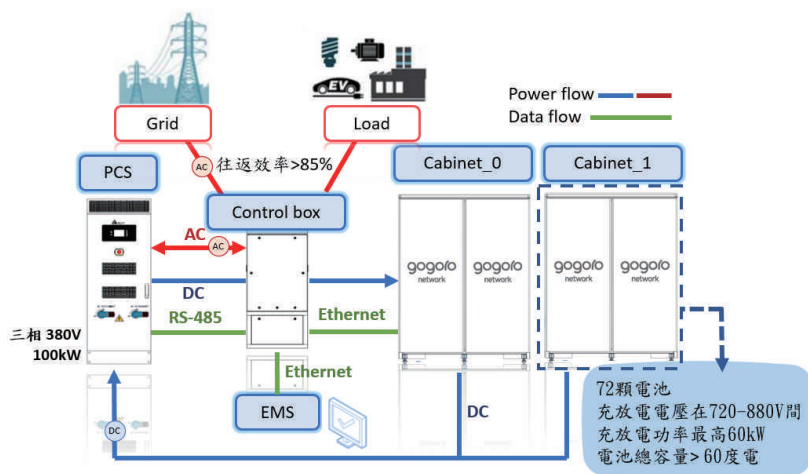
本研究結果顯示，透過實際退役磷酸鐵鋰電池模組之拆解與失效分析，可明確辨識電壓異常樣本在材料與結構層級之劣化特徵，包括電池殼體膨脹、SEI 厚層沉積及銅離子溶出等現象，釐清外部電氣異常與內部結構劣化間之關聯，有助於補足過往僅依賴電氣參數判讀之限制。

在系統層級方面，本研究建置梯次利用電池實場運轉系統(圖 1)，並於不同充放電排程與電價架構下進行長時間運轉測試。結果顯示，充放電操作頻率對電池熱行為與壽命風險具有顯著影響，高頻率循環易造成熱累積並提高熱老化風險；相對而言，每日一至二次循環可在系統收益與電池壽命之間取得較佳

平衡。此結果可作為梯次利用儲能系統於實務運轉時之操作策略參考，有助於降低系統運轉風險並提升整體穩定性。

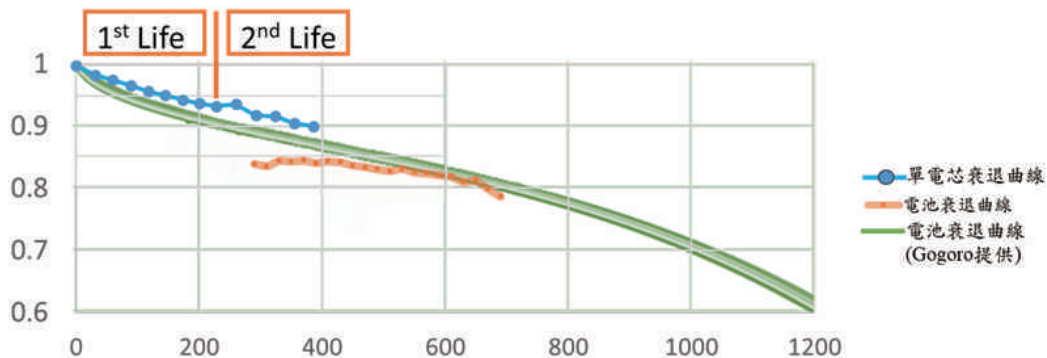
此外，本研究整合歷史循環補正與SOC變化量累積概念，建立適用於系統之等效循環 (Eq-Cycle) 容量衰退分析方法，並透過單電芯充放電試驗加以驗證得

証，該方法所反映之衰退趨勢與車用電池原廠所提供之參考曲線具良好一致性 (圖 2)，顯示 Eq-Cycle 可作為評估梯次利用電池老化狀態與剩餘壽命之合理指標。相關成果可應用於後續電池篩選、運轉調度與壽命管理之技術輔助工具。



資料來源：本研究繪製

圖 1 動力電池梯次利用系統架構的電力單線圖



資料來源：本研究整理繪製

圖 2 單電芯、系統電池等效循環衰退折線與 Gogoro 衰退曲線疊圖

燃煤混燒低碳燃料之燃燒特性研究

A Study on Combustion Characteristics of Coal Co-Firing with Low Carbon Fuels

Abstract

Although the generation mix for thermal power units is planned to decrease annually as part of our nation's carbon reduction pathway, these units will still be responsible for maintaining a stable power supply during the transition to 2050 net-zero emissions. Consequently, reducing emissions from these units is a key carbon reduction strategy. One viable approach is to use low-carbon alternative fuels (such as hydrogen, ammonia, or wood pellets) for co-firing.

Hydrogen co-firing in gas-fired units and ammonia co-firing in coal-fired units represent advanced, forward-looking technologies; by utilizing blue or green hydrogen/ammonia, these applications offer a viable pathway toward achieving low or zero carbon emission targets. However, this co-firing technology is still in the

developmental phase and is not expected to mature by 2030. Therefore, it is difficult to achieve substantial short-term carbon reduction benefits for thermal power units. Nevertheless, investing in relevant research is essential to mitigate the risk for our company when introducing these advanced technologies in the future. Compared to gas-fired units, coal-fired units have higher carbon emissions, so successfully adopting low-carbon fuel co-firing technology would yield greater carbon reduction benefits. Consequently, it is necessary to conduct research on the combustion characteristics of co-firing coal with low-carbon fuels. This will help us understand the problems that arise from co-firing and find solutions, thereby lowering the risk associated with the company's future technology adoption.

1 研究背景、目的、方法：

將低碳替代燃料混燒於現有火力機組，為我國邁向 2050 年電力淨零轉型的關鍵過渡期間，在確保供電穩定性的前提下，實現溫室氣體減排的重要選項。由於燃煤機組的碳排放量相較於燃氣機組更高，因此，若能成功導入低碳燃料混燒技術，其減碳效益將更為顯著。在混燒技術中，木質顆粒混燒於燃煤機組已是相對成熟的技術，然而因其灰的處理與利用受到諸多的限制，致使其發展受限。而氨氣混燒於燃煤機組雖然具有發展潛力，但目前仍處於大型機組的短期示範階段，技術成熟度有待提升，且氨氣燃料成本仍高。因此，深入掌握相

關燃料的燃燒特性和潛在的問題，並預先研擬相應的應對策略，為技術大規模導入前必須克服的關鍵課題。

本研究利用成功大學之燃燒工業爐平台，圖 1 為其示意圖，與工研院合作進行燃煤混燒木質顆粒及燃煤混燒氨氣之試驗。透過對燃燒性能和煙氣排放特性等分析與評估，例如燃燒爐之溫度(圖 2)，將有助於掌握燃煤混燒低碳燃料所衍生相關問題的機制，並為尋求有效的解決對策提供試驗依據。同時，此研究亦有助於培養國內在燃燒領域的專業技術人才。

2 成果及其應用：

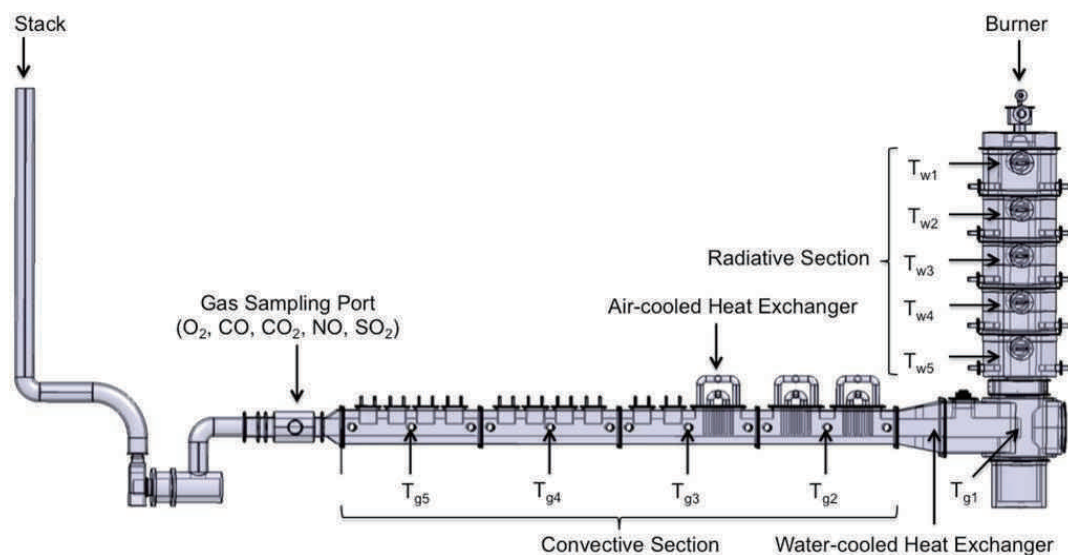
1. 本計畫完整蒐集並研析國際間燃煤混氨燃燒技術的演進過程與最新示範成果，有助於了解該技術的發展脈絡與減碳潛力，為國內

後續技術引進提供明確的參考方向與知識基礎。

2. 本計畫成功利用國立成功大學能源科技與策略研究中心的 300

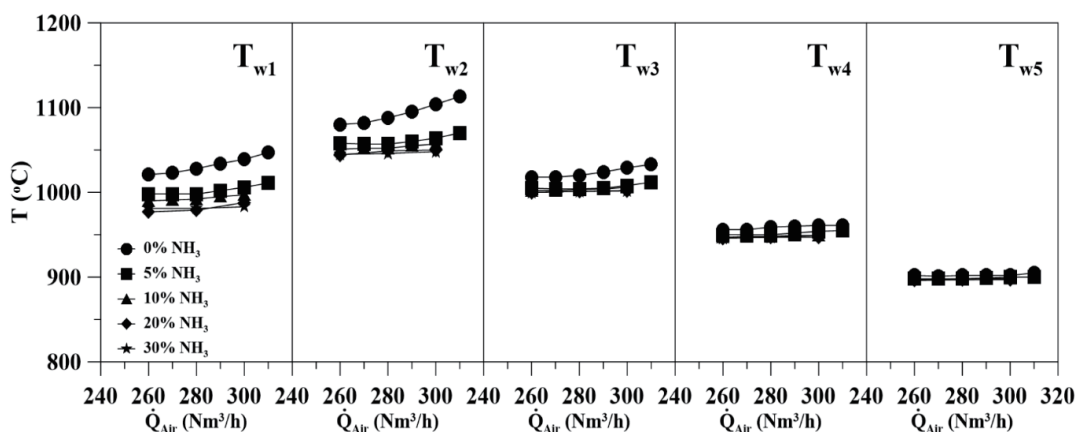
kWth 多元燃料燃燒試驗爐，完成燃煤混燒木質顆粒及燃煤混燒氨氣的實際燃燒試驗，透過試驗數據的分析，剖析燃

燒特性，為未來技術可能應用於實際大型燃煤鍋爐提供國內實測參考數據。



資料來源：成功大學能策中心提供

圖 1 300 kWth 多元燃料燃燒試驗爐示意圖



資料來源：本計畫提供

圖 1 燃煤混燒氨氣試驗燃燒爐溫度

研究人員：能源研究室：李泰成、詹明賢、黃偉哲、江衍成、李尚謙、崔宇雄
 工研院：陳威丞

金門地區短期負載預測分析與電力資訊系統建置

Short-Term Load Forecasting Analysis and Power Information System Implementation in Kinmen Island

Abstract

To address the challenges of intermittency and load variability resulting from the rapid integration of renewable energy in Kinmen's low-carbon island initiative, this study developed a short-term load forecasting technique combining a fuzzy neural network with a decade average method. Concurrently, recent power supply and demand data from Kinmen, including fossil fuel generation, renewable energy output, energy storage system operations, and meteorological

information, were analyzed to provide an in-depth understanding of the power system's operation post-grid connection of large-scale solar and energy storage systems. Furthermore, to enhance load forecasting accuracy, and in consideration of the interconnection between Greater and Lesser Kinmen's power systems and the expansion of energy storage, Little Kinmen's power information was integrated into the power information platform, and an event calendar input option was designed.

1 研究背景、目的、方法：

金門地區在推動低碳島計畫的過程中，間歇性再生能源的快速發展與新型態的負載變動性為獨立電網帶來挑戰。為解決這些問題，本計畫進行了短期負載預測技術(結合模糊神經網路與衰減平均法)的開發，並分析近年金門的電力供需數據，包含傳統機組發電、再生能源出力、儲能系統運作以及天氣資訊，以利在大量太陽光電及各期儲

能陸續併網後，全面了解金門電力系統的操作現況，可以做為未來的電力系統規劃與機組調度提供依據。同時因應大小金門電力系統的合聯、儲能系統陸續擴充上線，因此在電力資訊平台功能選項中再納入小金門的電力資訊與配合負載預測考量的金門行事曆的輸入設計選項，以更全面地呈現金門整體的電力現況。

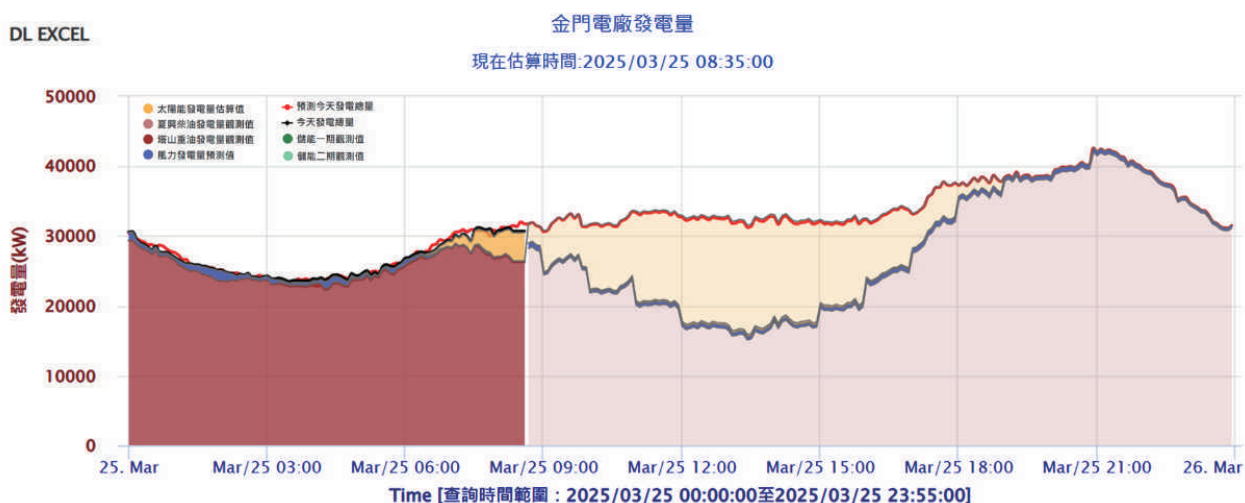
2 成果及其應用：

1. 本計畫針對負載預測在維持電力供需平衡的關鍵作用，提出一模糊神經網路與衰減平均法的預測技術，未來可以進行小時滾動的負載預測再部署整合到已開發的電力資訊平台。計畫中也分析了金門地區近年電力供需數據，包含

機組發電、再生能源出力、儲能系統以及天氣資訊，以利在大量太陽光電及各期儲能陸續併網後，全面了解金門電力系統的操作現況，可以做為未來的電力系統規劃與機組調度提供依據。(圖 1)

2. 金門電力資訊平台功能為監測、估算與預測金門地區的電力供需狀況；因應大小金門電力系統的合聯、儲能系統陸續擴充上線，金門電力資訊平台功能選項

中再納入小金門的電力資訊與配合負載預測考量的金門行事曆輸入設計選項，以更全面地呈現金門整體的電力現況。



資料來源：本研究產出

圖 1 金門地區未來 48 小時太陽光電發電量預測資訊

研究人員：能源研究室：周儷芬、張志榮、林哲宇、曹顯瀚
塔山電廠：黃志鵬

雲影像預測模型開發與應用

Development and Application of Cloud Image Forecasting Model

Abstract

The intermittent and uncontrollable characteristics of PV presents the major challenge for grid integration and power dispatch. Mild effects include system frequency instability and excessive voltage fluctuations in regional grids; severe consequences could lead to transmission line congestion and widespread voltage instability. To mitigate the uncertainty associated with PV power generation, TPRI current operational forecasting models primarily use various types of environmental observation data and numerical weather prediction (NWP) data as inputs. These models can generally capture the power generation trend for forecasts ranging from hours ahead to day-ahead. However, NWP struggles to accurately capture the short-

term movement and evolution of clouds. Consequently, developing ultra-short-term forecasting models (e.g., ranging from several minutes to within an hour) based purely on numerical data, such as historical observations and NWP data, is challenging and tends to yield unsatisfactory results.

This project proposes to address this gap by utilizing all-sky imager data to capture and store cloud images. We will integrate image processing technology and utilize these cloud images as one of the input variables for a solar irradiance forecasting model. The ultimate goal is to develop an ultra-short-term solar irradiance forecasting model capable of high accuracy within the critical minute-to-hour timeframe.

1 研究背景、目的、方法：

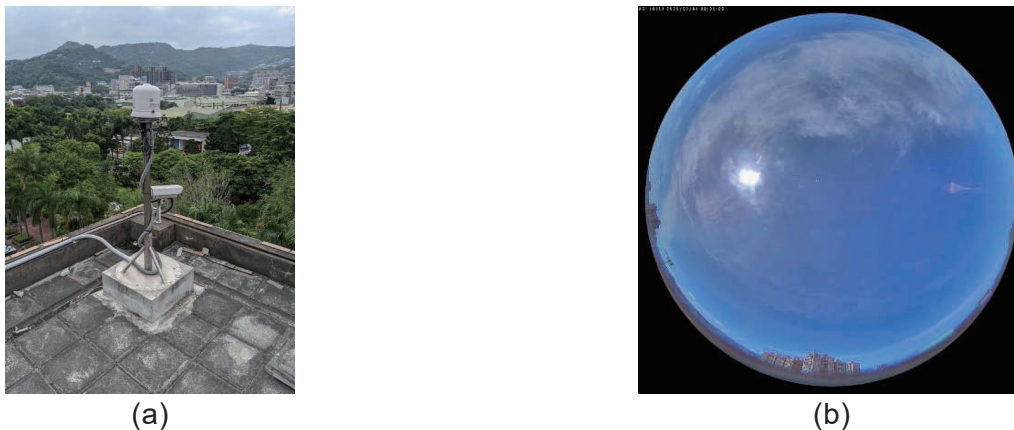
太陽光電源的間歇性、不易控制的特性是太陽光電併網與電力調度的最大挑戰，輕者會導致系統頻率不穩定、區域電網電壓變動過大；嚴重時可能導致輸電線路壅塞、區域電網電壓不穩定。為降低太陽光電發電的不確定性，目前本室日常運行的預測模型主要以各類型環境觀測資料及數值氣象預報資料作為模型輸入資料，對於小時前～日前的發電功率可掌握其趨勢，但由於

數值氣象預報不易掌握短時間內的雲層移動及消長，如以歷史觀測資料及數值氣象預報資料等純數值資料開發極短期（數分鐘～小時內）預測模型，較難取得良好的預測效果。本計畫以全天空雲影像儀擷取及儲存雲層影像，導入影像處理及深度學習技術，以雲影像圖片作為日射量預測模型輸入資料之一，開發極短期的日射量預測模型。

2 成果及其應用：

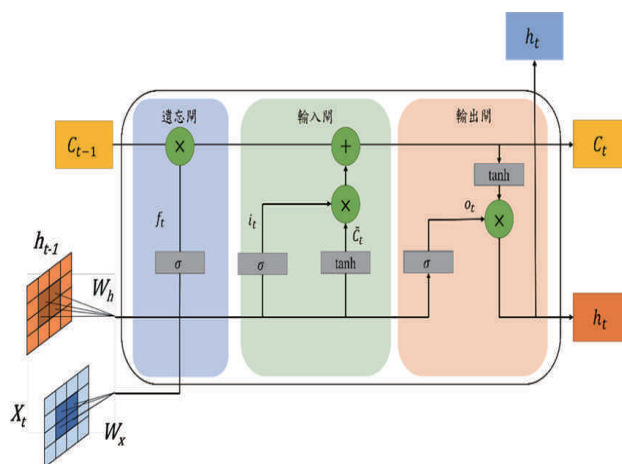
1. 本研究於綜研所樹林所區建置全天空雲影像儀（圖 1），並建立了從影像擷取、資料前處理到人工智慧模型訓練的流程。建置了全天空雲影像儀及相關資料庫系統，並開發自動化的資料清洗流程，並導入 MobileNet 輕量化模型進行遷移學習，開發鳥類與髒污辨識模型有效提升影像資料的品質與可用性。

2. 本研究以 ConvLSTM 架構開發極短期預測模型（圖 2），結合卷積神經網路與長短期記憶模型的 ConvLSTM 可利用連續雲影像預測未來 30 分鐘的日射量，在領前 25 分鐘內的預測準確度均優於僅使用純數值資料的既有預測模型（圖 3），證實導入雲影像對於極短期趨勢掌握具有顯著效益。



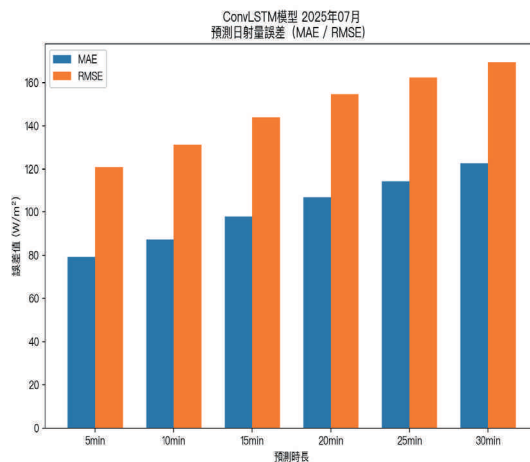
資料來源：本研究彙整提供

圖 1 本研究使用之全天空雲影像儀及所攝照片：(a) 全天空雲影像儀實體；(b) 全天空雲影像照片



資料來源：本研究提供

圖 2 ConvLSTM 模型架構示意圖



資料來源：本研究提供

圖 3 ConvLSTM 領前 5~30 分鐘日射量預測評估結果 (2025/07)

研究人員：能源研究室：張志榮、高碩、林哲宇

微型渦輪發電機組以氫氣混合天然氣為燃料之性能測試研究 Research on Performance Test of Micro-turbine Generator Set Using Hydrogen Mixed with Natural Gas as Fuel

Abstract

In recent years, international initiatives for the “2050 Net Zero” energy action plans have gradually emerged. To align with the Company’s responsibility in addressing the requirements of the energy transition, a forward-looking feasibility study has been initiated on the development of generator technologies capable of operating with hydrogen-natural gas co-firing or pure hydrogen. The objective is to conduct on-site verification of hydrogen co-firing power generation performance and to perform application scenario analyses. The key findings of this research can be summarized as follows:

1. In all hydrogen blending tests, the hydrogen content in the fuel could be quantitatively regulated, and the MGT system was able to maintain stable operation at the designated power output.
2. As the hydrogen blending ratio increased,

the CO concentration decreased. For example, under 30 kW and 40 kW hydrogen co-firing conditions (10 vol.% H₂), CO concentrations were reduced by approximately 63 % and 70 %, respectively.

3. As the hydrogen blending ratio increased, the NO_x concentration increased. For instance, under 30 kW and 40 kW hydrogen co-firing conditions (10 vol.% H₂), compared with natural gas-only operation, the NO_x concentration (@15% O₂) increased by approximately 10 times and 4.4 times, respectively.
4. The CO₂ emissions from the MGT system, under various test conditions (with or without hydrogen blending), exhibited no significant differences, with an average measured volumetric concentration of approximately 1.60 vol.%.

1 研究背景、目的、方法：

本公司肩負國內能源供應穩定重任且響應求全球化能源轉型趨勢需求，亦積極規劃電力淨零排放策略，而混氫發電技術為傳統能源轉型重要技術途徑。本研究將進階探討微型燃氣渦輪發電機組於更高混氫量條件之性能差異，並分析發電狀態下機組之進氣與產出物(排氣)成分，以了解機組發電運轉特性與氣體排放資訊，將納含以下各研究

項目：

1. 國際天然氣混氫燃燒技術暨微型燃氣渦輪機發展現況調查。
2. 商用連續式煙氣排放監測設備資料蒐集、採購設置暨採樣管路整合作業。(參閱圖 1)
3. C65 MGT 氣體採樣管路建置作業。(參閱圖 2)
4. 0~30 vol.% 體積容量氫氣混合天然氣之運轉測試。

2 成果及其應用：

1. 本研究中 C65 MGT 機組在淨發電功率 30 kW 及 40 kW 運轉條件，比較使用天然氣或天然氣混合 10 vol. %、20 vol. % 與 30 vol. % 氫氣做為進氣燃料，經實際試驗已可定量調控與分析混氫量，且 MGT 機組在混氫條件下，均能維持所設定之發電功率穩定運轉。(參閱圖 3)

2. 本研究中在 C65 MGT 機組隨不同淨發電功率與混氫量條件下之尾氣分析，發現天然氣混合不同比例之氫氣含量，主要影響機組所排放尾氣成分中一氧化碳(CO)與氮氧化物(NO_x)濃度變化。
3. 分析煙氣中 CO 濃度變化趨勢，隨混氫量增加，則 CO 濃度隨之大幅下降，以 30 kW 及 40 kW

混氫發電 (10 vol. %) 煙氣分析結果為例，CO 濃度各降低約 63 % 與 70 %，至混氫量 30 vol. % 則 CO 濃度幾乎趨近於零。

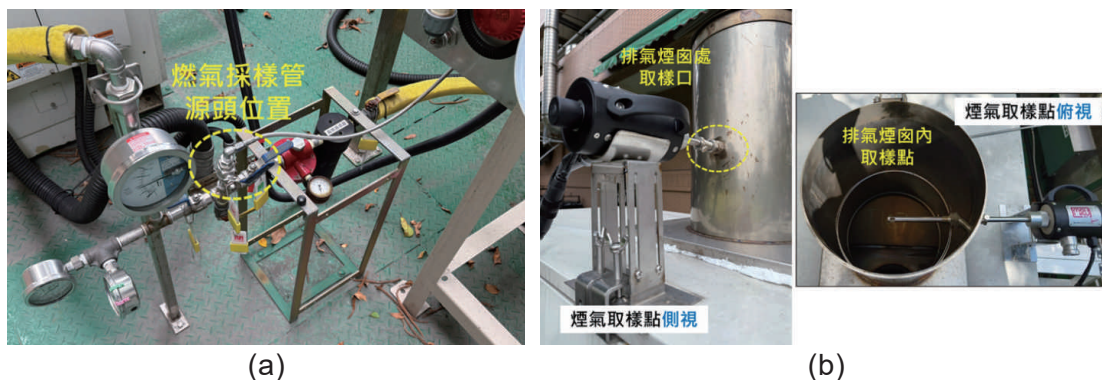
4. 分析煙氣中 NO_x 變化趨勢，以 30 kW 及 40 kW 混氫發電 (10 vol. %) 煙氣分

析結果為例，相較於以天然氣為燃料之條件，發現 NO_x 濃度 (@15 %O₂) 各增加約 10 倍與 4.4 倍，隨混氫量條件增加至 30 vol. %，NO_x 濃度 (@15 %O₂) 則無明顯增減現象 (相較於混氫量 20 vol. %)。



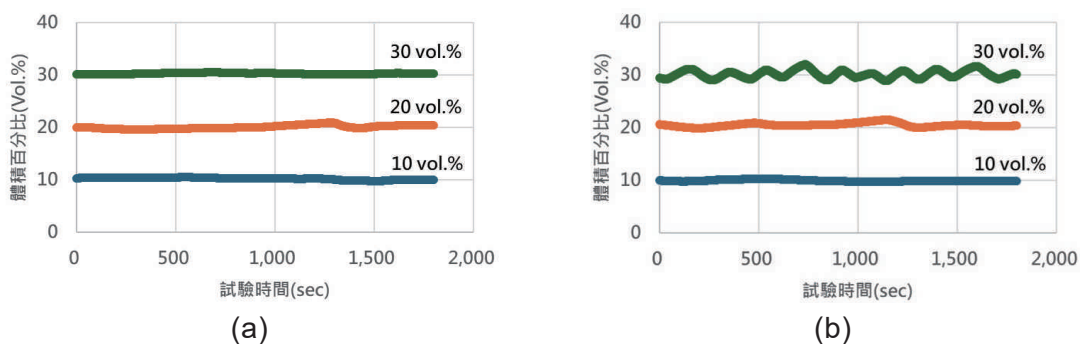
資料來源：本研究彙整提供

圖 1 微型燃氣渦輪發電機組之混氫燃燒試驗系統配置與實景



資料來源：本研究彙整提供

圖 2 微型燃氣渦輪發電機組之混氫發電試驗進氣 / 尾氣氣體分析採樣：(a) 進氣採樣點；(b) 尾氣採樣點



資料來源：本研究提供

圖 3 微型燃氣渦輪發電機組在不同系統發電功率之不同混氫量變化曲線：(a)30 kW；(b) 40 kW
研究人員：能源研究室：丁富彬、黃一桓、周儷芬、張玉清、許天豪

天然氣裂解產氫技術與產業情資調查研究

Study on Methane Pyrolysis for Hydrogen Production and Industry Intelligence

Abstract

Hydrogen production by methane pyrolysis technology is regarded as a bridging technology for hydrogen production from fossil fuels to renewable energy. In this study, we discuss the current development status of hydrogen production technology in methane pyrolysis. There are three main technologies introduced: thermal pyrolysis, plasma pyrolysis and catalyst pyrolysis, which are different in terms of cracking temperature, solid carbon form, hydrogen content ratio and technical readiness status. The report also provides the technology

status of companies involved in the technology development, including Monolith, Graforce, HiiROC, Susteon, Hazer Group, Hycamite, BASF and Ekona Power Inc. As low-carbon hydrogen production is pivotal for the future of the hydrogen economy, the report further analyzes the key parameters—carbon emission factors and hydrogen production costs—of three mainstream low-carbon hydrogen production technologies (SMR with CCS, electrolysis, and methane pyrolysis) to evaluate the developmental differences among these technologies.

1 研究背景、目的、方法：

天然氣裂解產氫技術被視為是從化石燃料過渡到再生能源產氫的橋接技術；本研究主要探討目前全球在天然氣裂解產氫技術的發展現況，文中介紹三種主要的裂解技術：高溫熱裂解、電漿裂解和觸媒裂解，這些技術在裂解溫度、固體碳形式、含氫比例和技術階段等方面各有不同；報告中並彙整投入該技術發展公司的技術現況，包括 Monolith、

Graforce、HiiROC、Susteon、Hazer Group、Hycamite、BASF 和 Ekona Power Inc. 等。由於低碳氫的生產是氫能未來發展的關鍵，報告同時分析三種主流的低碳氫技術 (SMR+CCS、電解產氫、甲烷裂解) 的關鍵參數 - 碳排係數、產氫成本，藉以評估不同低碳氫產製技術未來發展的差異性。

2 成果及其應用：

化石燃料的儲量大且其應用技術成熟，在短期內化石燃料仍將是能源系統中的主要組成部分。因此，開發基於化石燃料且對環境影響較

小的技術一直是近年來相關研究的重點。天然氣熱裂解是在高溫下將甲烷分解成氫氣和固體碳的技術，提供無二氧化碳排放的氫氣生產途

徑，可作為從化石燃料過渡到可再生能源的橋接技術，近年來在國內外發展備受關注。然而天然氣熱裂解的挑戰之一是實現高甲烷轉化率，該製程能源密集度高，需開發能在較低溫度下運行的催化劑；挑戰之二是催化劑可降低反應溫度但要防止積碳現象，因此需開發合適的催化劑藉以優化在操作條件下的活性；而最大挑戰則是天然氣熱裂解的規模化、工業化應用，首先以天然氣作為原料（非純甲烷），需考慮天然氣中其他成分對催化活性和穩定性的影響，另天然氣的熱解工業化需要有合適的反應器配置，目前研究用的各式反應器都有各自的優缺點（表 1），需進一步透過示範驗證來評估確定哪種類型最適合工業化應用。

為實現 2050 年淨零碳排，各國積極布局公布氫能發展國家策略並啟動大型示範驗證計畫；氫能優勢多，但 2023 年全球低排放氫氣產量仍不到 100 萬噸。低碳

氫是指生產過程中溫室氣體排放量顯著減少的氫氣，例如碳排係數低於 $3.4 \text{ kgCO}_2/\text{kgH}_2$ 的氫氣可符合歐盟低碳氫規範。然而天然氣裂解的碳足跡取決於天然氣源和電力碳排放強度，SMR+CCS 碳排放強度則受上游天然氣來源和碳捕獲率而定，水電解的碳排放強度則取決於所使用的電力來源。另氫氣均化成本 (LCOH) 是評估氫氣生產總成本的關鍵指標（表 2）；基於天然氣的氫氣生產途徑成本最低但會有碳排問題；天然氣裂解成本受固體碳價格影響大；水電解成本目前最為昂貴，其受到電力成本、資本支出以及設備利用率等影響，未來再生能源電力大幅成長及設備規模化後帶來的效益將使水電解產氫最具有成本下降潛力。因此現階段低碳氫的發展：如天然氣裂解與 SMR+CCS 的技術成熟度、水電解成本等仍需面臨技術瓶頸的挑戰。

二、研究發展主要成果— (三) 低碳發電與能源預測

表 1 國際間主要甲烷裂解產氫公司技術比較

公司	操作溫度	主產物	碳排係數 (kgCO ₂ eq/kgH ₂)	效率 (轉化率或其他)
電漿裂解技術				
Monolith	約 2100°C	碳黑 藍綠氫	一般天然氣：0.45 再生天然氣：-2.08	轉化率約 94%
Synergen Met	高能量密度和溫度	藍綠氫 固體碳 乙炔等	—	—
Graforce	1300-1500°C	藍綠氫 固體碳	—	98% 天然氣在數毫秒內裂解； 25% 廢熱回收預熱天然氣
HiiROC	—	藍綠氫、碳黑	—	連續式製程
觸媒裂解技術				
Susteon	約 1200°C	藍綠氫 碳化矽 奈米碳管等	< 3	—
Hazer	約 900°C	藍綠氫 合成石墨	約為 SMR 的一半	產氫成本~ 0.5-0.75 美元/kg H ₂ ； 合成石墨純度 80-95%
Hycamite	高溫	藍綠氫 固體碳	使用再生能源電力：~0.59 使用再生天然氣：~-2.75	使用廢熱預熱天然氣
高溫熱裂解技術				
BASF	1000-1400°C	藍綠氫 固體碳	2020 年：~4 2050 年預估：~0.3	轉化率約 90%； 消耗電力 9.5 kWh/kgH ₂
Ekona	—	藍綠氫 固體碳	低於 灰氫、藍氫、市電水電解產氫	氫氣生產成本低於藍氫、市電 水電解產氫、電漿裂解產氫

資料來源：本研究彙整

表 2 低碳氫技術特性及現況

技術	SMR+CCS	甲烷裂解	水電解
主要能源來源	天然氣	天然氣	電力(再生能源)
產氫 LCOH 歐元/kg H ₂	2.2~4.9	2.2~5.6	● 低溫：6~11 ● 高溫：7~10
優勢	<ul style="list-style-type: none"> ● 可大規模生產 ● 原料供應穩定 ● 技術成熟可快速部署 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大規模潛力 ● 可供應固態碳副產品 ● 無直接排放 ● 無需額外基礎設施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 促進電力與天然氣部門整合 ● 電網靈活性提升 ● 支援難以直接電氣化的產業 ● 再生能源地域間的傳輸
技術成熟度	● 6~9	● 8	● 低溫：9 ● 高溫：8
目前全球部署	沒有大型的、具有高碳捕獲率的 ATR 部署	美國的商業工廠和歐洲、澳洲等地示範工廠	<ul style="list-style-type: none"> ● 低溫：~2.5 GW_{el} ● 高溫：<50 MW_{el}
全球專案部署	2030 年全球 1400 萬噸/年	各商業工廠計畫遠低於每年 10 萬噸	2030 年 <ul style="list-style-type: none"> ● 低溫：440 GW_{el} ● 高溫：3 GW_{el}

資料來源：本研究彙整

利用 CFD 分析進行台電深澳廠區風資源評估研究

The Research of Wind Resource Evaluation by CFD Analysis in Sheng-Ao Area

Abstract

The Shenao Power Plant, located on the northeastern coast of Taiwan, is situated in a complex terrain surrounded by mountains on three sides. After the decommissioning of the coal-fired power plant in 2007, it was recognized that its location, being on the windward side of the northeast monsoon, holds significant potential for wind energy development. Therefore, this study attempts to analyze the feasibility of wind farm development in the Shenao area based on IEC standards, assessing the site's potential for renewable energy development.

This study utilized a calibrated and validated wind lidar system, compared with meteorological tower data, to conduct over a year of measurements, collecting wind data for the Shenao site. Using this data, essential wind energy assessment parameters required by the IEC, including

extreme wind speeds, wind shear, turbulence intensity, Weibull distribution, and inflow angles, were calculated. Additionally, the WindSim wind energy calculation software was applied to evaluate wind distribution and annual energy production, aiming to assess the potential benefits of establishing a wind farm in the Shenao area.

The results indicate that the Shenao site can meet IEC standards under certain conditions. The wind energy density of the site, as calculated using CFD, is approximately 300–400 W/m². After micro-siting three commercial wind turbines, the estimated annual energy production is approximately 8.4 GWh, with a capacity factor of about 16%, comparable to the capacity factors of typical onshore wind farms.

1 研究背景、目的、方法：

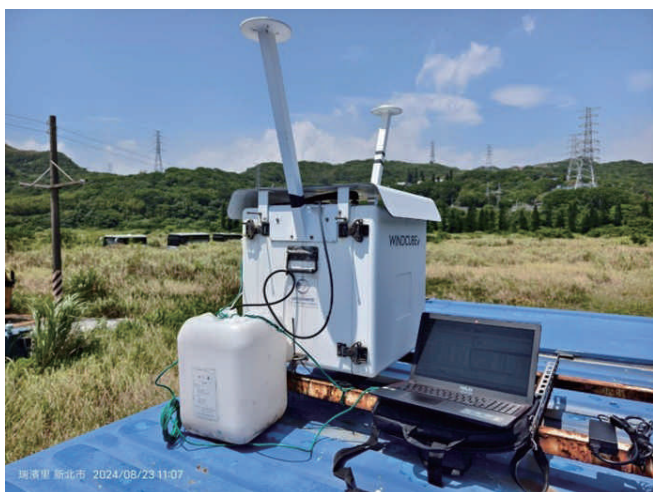
台灣陸域風場多集中於西海岸平坦地區，隨著開發飽和，風場逐漸向地形複雜的丘陵地發展。深澳電廠位於東北海岸迎風面，冬季受強勁東北季風吹拂，自 2007 年燃煤電廠除役後，被視為具開發潛力的再生能源場址。然而，該區三面環山且地形複雜，傳統線性模式評估易產生誤差。因此，本研究目的在於透過精確的現地量測與數值模擬，評估深澳廠區設置風力發電場的可行性，並為未來電力開發提供理論依據。

本計畫採用移動式測風光達(如圖 1)進行為期一年以上的現地量測，收集不同高程的風速、風向及紊流強度等數據，並與傳統測風塔進行比對校驗。量測數據進一步結合計算流體力學軟體進行三維流場模擬，以克服複雜地形對風場評估的影響。研究亦參考 IEC 標準計算極值風速、入流角及韋伯分佈，並導入中尺度氣象資料進行長期風況校正，確保評估結果的代表性。

2 成果及其應用：

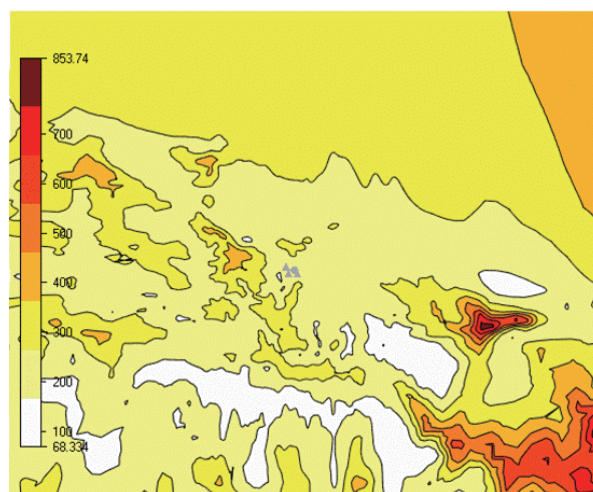
研究顯示深澳廠區在特定條件下符合 IEC 風機設置規範。經 CFD 計算，該場域風能密度約在 300~400 W/m² 之間 (如圖 2)。研究團隊進行微觀選址規劃，估計年總發電量可達 8.4GWh，其容量因素約為 16%，效能與台灣一般陸域風場相當。此外，研究精確推算了該地區的極端風速與風切係數，發現地形加速效應在山頂處較為明顯，且紊流強度隨高度增加而遞減，對於未來風場開發具參考價值。

本研究成果可直接應用於台灣地區類似的風場建設規劃，作為風機選型與佈置位置的決策基礎。此外，研究建立的「LiDAR 量測結合 CFD 模擬」評估架構，可作為未來台灣其他複雜地形場址開發的標準作業模式，降低開發前期的選址風險與成本。相關風資源地圖與極值風速推算結果，亦可提供公司內能源規劃單位參考，有助於達成提升再生能源發電比例之政策目標。



資料來源：本研究提供

圖 1 移動式測風光達量測設備



資料來源：本研究提供

圖 2 CFD 分析結果

研究人員：能源研究室：吳浩平
 電源開發處：陳格忠

離岸浮動式風機平台穩定度分析研究

The Stability Analysis of Floating Offshore Wind Turbine Platform

Abstract

This study aims to investigate the stability performance of an offshore floating wind turbine platform. A numerical model of the floating platform was established, defining the geometric mesh, mass distribution model, and inertial characteristics of key components. The study then designed the spatial configuration of the mooring system's connection and anchor points. Regarding the analysis methodology, the research combined frequency-domain and time-domain analyses. First, hydrodynamic diffraction

and radiation characteristics were analyzed in the frequency domain. Subsequently, irregular wave environmental parameters were set to conduct time-domain coupled dynamic analysis. The study focused on evaluating the coupling mechanism of dynamic loads and motion responses, as well as analyzing the structural motion response and trajectory characteristics in the time domain, to verify the stability and safety of the floating platform in offshore environments.

1 研究背景、目的、方法：

隨著全球致力於 2050 淨零排放目標，離岸風電開發逐漸從淺海延伸至深海區域，能克服水深限制的「浮動式風機平台」成為關鍵技術；然而，直接移植國際設計至台灣海域恐因颱風與地震等環境差異產生水土不服，因此需針對台灣特有海氣象條件進行穩定度分析。本研究旨在探討單柱式浮動平台在風、波、流耦合作用下的動力特性與穩定性。研究方法採用數值模擬，

利用分析軟體建立包含幾何外型、質量分佈及懸鍊線繫泊系統的完整數值模型，並針對單柱式浮動平台特徵引入黏滯阻尼修正。分析流程結合頻域與時域：首先透過頻域分析取得水動力係數與繞射特性，接著引入 JONSWAP 不規則波譜與風流參數，執行時域耦合動力分析，求解 Cummins 運動方程式，以評估平台在極端海況下的六自由度運動響應及繫泊系統安全性。

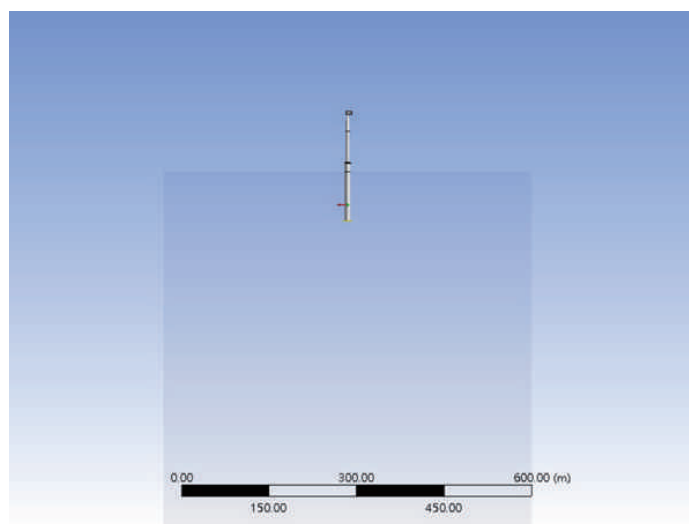
2 成果及其應用：

研究結果證實單柱式平台具有顯著的穩定特性。單柱式浮動平台幾何如圖 1 所示。由頻域分析顯示，其縱盪與縱搖的自然週期長，能有效避開主要波浪能量集中的頻帶，

達成「去共振」設計目標。時域模擬發現，平台展現「大慣性、小激振」特徵，雖會受二階波浪力影響產生低頻慢漂運動，但深吃水設計使其垂盪極為穩定，且縱搖角度在

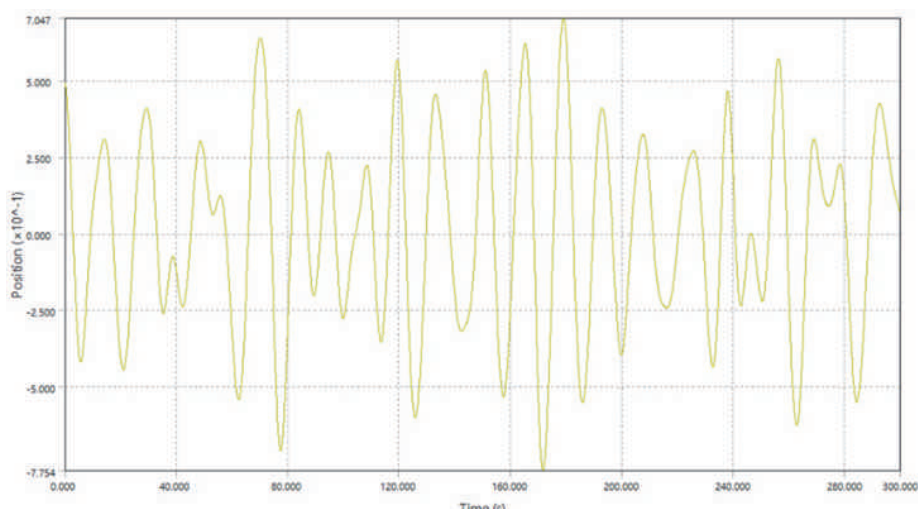
風浪作用下仍控制在安全作業範圍內，時域分析結果如圖 2 所示。繫泊系統分析顯示，在惡劣海況下纜繩張力分佈均勻，未發生鬆弛或斷裂，有效限制了平台位移。在應用層面，本研究驗證了該設計方案在

台灣深水海域的適應性與生存能力，其建立的數值模型與分析數據，可為我國浮動式風機的本土化設計提供理論依據，降低開發技術風險，並作為未來實海域示範計畫的工程參考。



資料來源：本研究提供

圖 1 單柱式浮動平台幾何



資料來源：本研究提供

圖 2 RAO-based 時域分析結果

研究人員：能源研究室：吳浩平、江衍成、黃偉哲

應用於行動裝置之家庭能源管理系統功能應用研究

Mobile-Device-Based Home Energy Management System Application Research

Abstract

With the continuous increase in Taipower's annual power generation and procurement, alongside the development of Taiwan's energy policies, future low-voltage demand-side management measures will play a crucial role. Although implementing demand response and time-of-use rates at the customer end can bring multiple benefits to power companies, such as supply-demand balance and grid stability, it's difficult to achieve these cumulative effects if the incentives are insufficient to attract users. Therefore, it's essential to design smart and energy-efficient home energy management system functionalities that increase user willingness to participate. This research proposes a study on home energy management system functionalities applied to mobile devices. It plans to develop a mobile app integrated with an energy management system and conduct on-site verification and practical application. The mobile app proposed in this research will integrate the AMI smart meter's Route B communication module and smart home appliances, combined with power data analysis technology, to implement power overview and energy-saving scenario applications, serving as a demonstration and

reference for future smart living and demand response integration.

The subsequent chapters are arranged as follows: Chapter 1 introduces the research background, objectives, and scope of work; Chapter 2 presents a review of domestic and international literature and applications related to home energy management promoted by power companies; Chapter 3 introduces application development tools; Chapter 4 plans and designs the HEMS APP application, following the software design process including requirements analysis, system architecture planning, front-end user interface design, and back-end data flow interface design; Chapter 5 focuses on the front-end APP interface implementation, including the homepage, AMI monitoring, smart appliance monitoring, and scheduling interfaces; Chapter 6 covers data model establishment; Chapter 7 develops back-end data access programs; Chapter 8 performs application deployment and functional demonstration to ensure program behavior aligns with various smart home appliance scenarios; Chapter 9 concludes the research.

1 研究背景、目的、方法：

• 研究背景：隨著台電歷年發購電量逐年攀升與台灣能源政策發展，未來低壓需求面管理措施將扮演重要角色。儘管在用戶端執行需量反應與時間電價可為電力公司帶來供需平衡與電網穩定等多重好處，然而若誘因不足無法吸引用戶，則難以達到上述聚沙成塔之成效。因此，如何設計增加用戶參與意願之智慧與節能兼具之家庭能源管理系統功能應用至關重要。本研究擬提出應用於行動裝置之家庭能源管理系統功能應用研究，規劃開發手機 APP 應用程式與能源管理系統整合，並進行實地驗證落地應用。本研究提出之手機 APP 應用程式將整合 AMI

智慧電表 Route B 通訊模組以及智慧家電，並結合電力資料分析技術，實作用電總覽與節能情境應用，作為未來智慧生活與需量反應整合推動之示範參考。

- 研究目的：本研究開發家庭能源管理系統手機 APP 應用程式，並與公司內實際場域家庭能源管理系統整合，設計 AMI 用電總覽、情境應用等功能介面，並結合 AI 電力數據分析，提供用戶即時用電監視、異常偵測與其他各項智慧節能生活情境應用。
- 研究方法：收集分析國內外家庭能源管理系統功能應用。研析適用於 Android 或 iOS 裝置之國際主流應

用程式開發程式語言與前後端系統架構。設計前端應用程式介面，包含 AMI 用電總覽與情境應用等功能介面。設計後端 API 介面，包含整合電力數據資料庫、以及第三方程式庫。研析 AMI 智慧電表 Route B

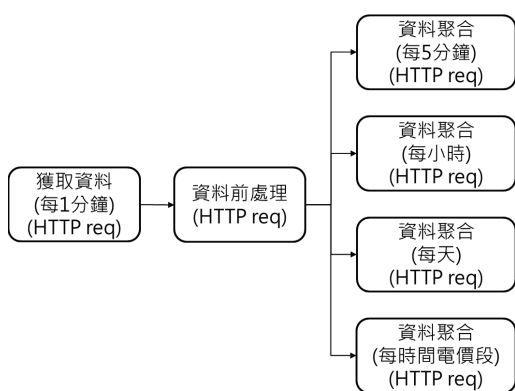
通訊介面與資料回傳格式。實作開發手機 APP 應用程式 AMI 用電總覽、家電情境應用使用者介面。手機 APP 應用程式系統偵錯與功能測試。

2 成果及其應用：

本計畫已建置開發應用於行動裝置之家庭能源管理系統功能應用研究，規劃開發手機 APP 應用程式，並與既有能源管理系統整合，進行實地驗證落地應用。本研究提出之手機 APP 應用程式整合 AMI 智慧電表 Route B 通訊模組 (如圖 1 所示) 與智慧家電，並結合電力資料分析技術，實作用電總覽、智慧家電監控與排程之節能情境應用，作為未來智慧生活與需量反應整合推動之示範參考。另外，本計畫執行期間也與資通室與資訊組就應用程式開發工具議題，進行多次技術交流與討論，讓本研究內容得以更趨完善。

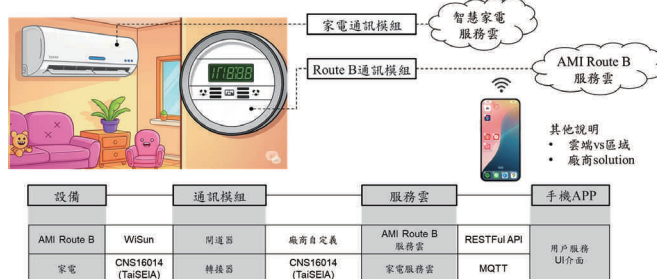
為達上述目的，本研究計畫首先調查國內外電業推動家庭能源管理相關文獻與應用，從中瞭解節能相關應用技術，研究內容涵蓋日本、香港、澳洲以及台灣家庭用戶需求面管理推動策略，以及分析最新家庭能源管理系統技術發展與應用，包含物聯網資通訊架構、最佳化家電排程演算

法技術，以及其他節能應用與通訊標準文獻研究。本研究接著依照軟體開發流程，從需求分析、規劃設計、系統開發、軟體部署到完整功能測試，著手開發 HEMS APP。在需求分析中，我們依照用戶需求，提出「AMI 用電監視」、「智慧家電遠端監控與排程」二大情境 (如圖 2 所示)，並列出 APP 細部功能清單。在規劃設計部分，我們評估既有應用程式開發工具，並設計規劃前端使用者介面與後台資料流向架構。接著在系統開發步驟，我們依照上述規劃設計內容，開發實作前端 APP 使用者介面、資料模型、以及後端資料存取 API。最後我們將 HEMS APP 部署至實際行動裝置，並進行完整的功能測試與驗證，測試結果可成功監視實際場域 AMI 電表即時用電、監控智慧家電，並執行排程功能，以確保開發的 HEMS APP 達成各項細部清單所列之功能以符合用戶需求。



資料來源：本研究繪製

圖 1 AMI Route B 資料處理方塊圖



資料來源：本研究繪製

圖 2 HEMS APP 物聯網通訊架構

研究人員：負載管理研究室：鄭凱文、王星文

用戶端能源管理應用與推動策略研究

The Study on the Application and Roadmap of Customer-side Energy Management System

Abstract

In response to the international net-zero emissions trend, the proportion of low-voltage users adopting smart home appliances, electric vehicles, renewable energy, and energy storage devices is gradually increasing. With policy support and the maturation of related technologies and markets, low-voltage users are gradually transforming from simple electricity consumers into prosumers, with the opportunity to participate in the electricity trading market. This further reduces the burden on the regional power grid and provides returns, propelling the electricity market into a diversified era. For users with distributed energy resources, to further achieve off-grid autonomous operation, energy management systems

can be used to integrate and dispatch distributed power resources, assisting Taiwan Power Company in maintaining the balance between power grid supply and demand. Especially when a large amount of renewable energy is connected to the grid in the future, the system power flow changes rapidly. Strengthening the resilience of the regional power grid and enhancing the grid's ability to accommodate new distributed renewable energy sources are inevitable trends. Therefore, this project aims to analyze the load management and dispatch mechanism of distributed energy through the low-voltage user energy management system and consider Taipower's short, medium and long-term promotion strategies.

1 研究背景、目的、方法：

• 研究背景：因應國際淨零排放趨勢，低壓用戶導入智慧家電、電動車、再生能源與儲能設備之比例逐漸提高，在政策推動、相關技術與市場成熟後，低壓用戶逐漸由單純的電力消費者 (Consumer)，轉變為產消合一者 (Prosumer) 並有機會聚合參與電力交易市場，進一步降低區域電網負擔並獲得回饋，並將電力市場推入多元化時代。對於具備分散式能源的用戶，為進一步實現離網自主運轉，可透過能源管理系統，使分散的電力資源可進行整合與調度，並協助台電維持電網供需平衡。尤其當未來大量再生能源併網後，系統潮流變化快速，強化區域電網韌性與提升電網容納

新增分散式再生能源的能力是必然趨勢，因此期藉由本計畫研析透過低壓用戶能源管理系統，整合分散式能源的負載管理調度機制，並思考台電未來短中長期的推動策略。

- 研究目的：蒐集國外低壓用戶能源管理系統整合分散式能源之推動作法與應用案例。招募低壓用戶試行能源管理系統應用機制，並研析對於電業端與用戶端之效益。透過試驗結果與模擬情境方式，檢討低壓用戶能源管理系統整合分散式能源機制之可行性及推動策略，例如目標用戶、配套措施與精進方式。
- 研究方法：蒐集與分析國際低壓

用戶能源管理系統推動情形，包括低壓用戶能源管理應用案例、附加價值服務與商業模式等。研析國內推動低壓用戶透過能源管理系統進行電力資源聚合之現況，以及與技術、法規與經濟相關之可行性研究。規劃設計與建置低壓用戶在擁有不同分散式資源下之能源管理系統適用方案。擬定低壓用戶結合能源管理系統之參與需量反應試驗機制，包括：參與條件、執行方式、啟動時機、持續時間、回饋誘因及相關配套等。評估並

招募合適低壓用戶示範場域進行研究驗證：招募至少包括住宅、超商、民宿、餐飲及小工廠等 5 類用戶。透過用戶本身具備之資源進行用電資源聚合，實現與驗證上述提及之能源管理系統功能(第 3 項)與需量反應試驗機制(第 4 項)，且試驗期間需包含台電公司低壓用戶夏月期間。研析在不同情境下(如電價提高、相關需量反應配套)成本效益分析。根據試驗結果與上述情境分析結果，提出台電推動短中長期策略。

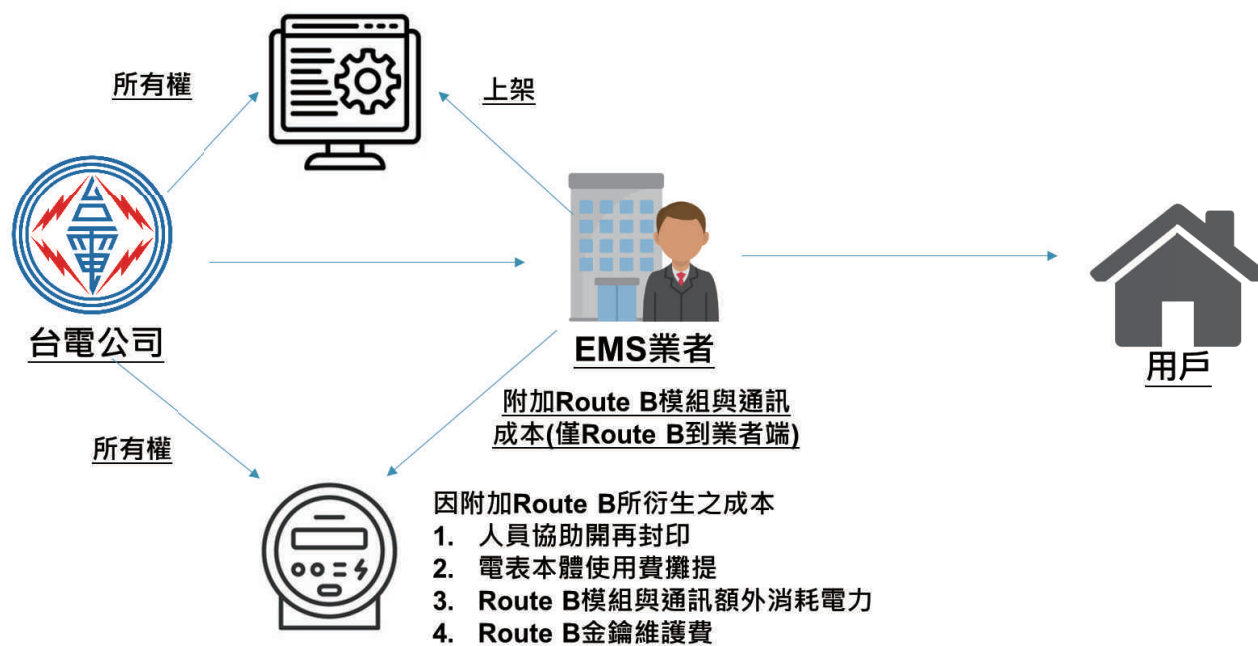
2 成果及其應用：

本計畫透過國際標竿分析、技術開發與場域驗證，預期達成以下三大成果與應用效益：

1. 建構多元商業模式藍圖：借鏡美、日、韓、港、星等國電業經驗，提出適合國內之低壓用戶 EMS 推動策略。應用範疇將從單純售電轉向「數據共享」、「設備訂閱」及「行為遊戲化」等多元加值服務，協助台電與第三方業者建立 B2B2C 能源服務生態系。
2. 確立低壓分散式資源聚合技術：驗證利用 xEMS 平台結合 Route B 技術，將低壓用戶端之太陽光電、儲能與智慧家電聚合為可靠的電網資源。透過「經濟型」、「實用型」及「完整型」三種方

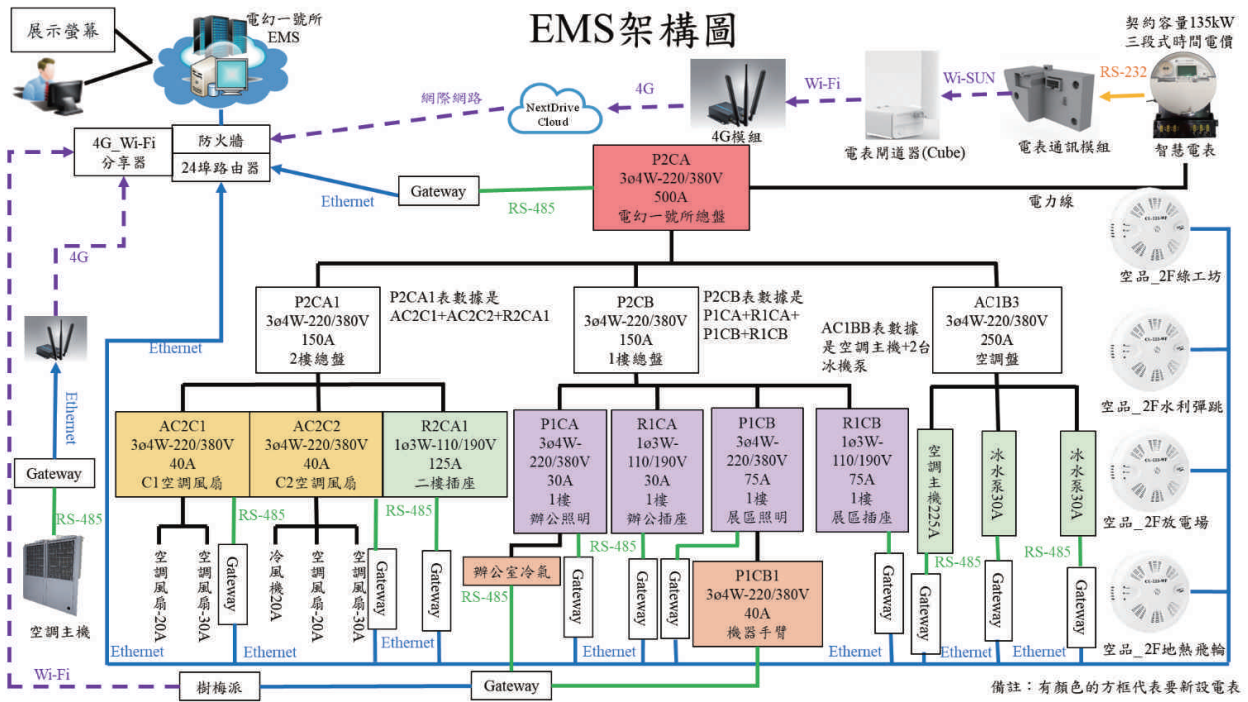
案於五類用戶(如工廠、超商、住宅等)之實證，確立自動化需量反應(ADR)在抑低尖峰負載之具體成效，並作為未來設計新型低壓 DR 方案與經濟誘因之依據(如圖 1 所示)。

3. 場域示範與社會溝通：於「電幻 1 號所」完成之 EMS 系統(如圖 2 所示)，將具備即時用電分析與環控功能，作為對外展示智慧用電價值的教育基地。此示範應用有助於提升社會大眾對智慧電網之認知，進而提高用戶參與能源轉型與需量反應計畫之意願。



資料來源：本研究繪製

圖 1 台電因附加 Route B 所衍生之成本



資料來源：本研究繪製

圖 2 電幻 1 號所 EMS 架構圖

二、研究發展主要成果

(四) 用戶服務體驗與電能管理

研究人員：負載管理研究室：鄭凱文、王星文

自動需量反應 OpenADR 3.0 規範以及與 OpenADR 2.0b 整合之可行性研究

Automated Demand Response OpenADR 3.0 Specification and Feasibility Study of Integration with OpenADR 2.0b

Abstract

In light of Taiwan's energy policy and the international trend towards net-zero carbon emissions, in addition to increasing the proportion of renewable energy, refining demand-side management strategies plays a crucial role in maintaining grid stability and a balance between electricity supply and demand. To promote the application of automated demand response technology, our institute completed several research projects in 2024, including the implementation of the integration and interface between OpenADR 2.0b VTN and VEN ICT systems, the development of the API interface for the automated demand response OpenADR 2.0b VEN and energy management system programs, and the porting and development of embedded systems for user-end software compliant with the OpenADR 2.0b standard. With the

rapid development of ICT and the release of the latest OpenADR version 3 specification at the end of 2023, this study aims to align with international trends by researching the OpenADR 3.0 specification for Automatic Demand Response and conducting a feasibility analysis of its integration with OpenADR 2.0b. Compared to OpenADR 2.0, OpenADR 3.0 has many improvements and new features, including information simplification, greenhouse gas emissions, grid layout adjustments, and capacity management communication coordination. It provides power companies with simpler, safer, faster, and more reliable two-way information exchange, while also increasing the willingness of third-party equipment suppliers to integrate it, thus contributing to the future development and promotion of automated demand response.

1 研究背景、目的、方法：

• 研究背景：鑑於台灣能源政策與國際淨零碳排趨勢，除提昇再生能源佔比之外，精進需求面管理策略是維持電網穩定與電力供需平衡之重要角色。為推廣自動化需量反應技術應用，本所已於 113 年完成 OpenADR 2.0b VTN 與 VEN 資通訊系統整合介接實作、自動需量反應 OpenADR 2.0b VEN 與能源管理系統程式 API 介面開發研究、符合 OpenADR 2.0b 標準用戶端軟體嵌入式系統移植開發等研究項目。隨著資通訊技術蓬勃發展與最

新 OpenADR 第三版規範於 112 年底釋出，為接軌國際趨勢，本研究擬進行自動需量反應 OpenADR 3.0 規範研究以及與 OpenADR 2.0b 整合之可行性分析。相較於 OpenADR 2.0，OpenADR 3.0 有諸多改進與新功能，包含資訊簡化、溫室氣體排放、電網佈局調整、容量管理通訊協調等新功能，提供電力公司更簡單、安全、快速且可靠的雙向資訊交換，同時也增加第三方設備供應商導入整合之意願，有助於未來自動化需量反應之

發展與推廣。

- 研究目的：本研究將研析最新自動需量反應通訊協定 OpenADR 3.0 以及調查國內外相關產品應用。接著進行 OpenADR 3.0 與 2.0b 系統整合之可行性評估，並提出現有 OpenADR 2.0b VEN 系統架構升級調整規劃，使之能與 OpenADR 3.0 VTN 平台相容，期能減少系統開發成本，同時增加用戶與第三方廠商之升級意願。

- 研究方法：本研究研析自動需量反應國際通訊標準 OpenADR 3.0 Profile Specification。收集分析國內外最新 OpenADR 產品以及需量反應方案 (DR Program) 應用。評估 OpenADR 3.0 與 2.0b 系統整合之可行性。提出現有 OpenADR 2.0b VEN 系統架構之升級調整規劃，使之能與符合 OpenADR 2.0b 及 3.0 規範標準之 VTN 平台相容。撰寫研究報告。

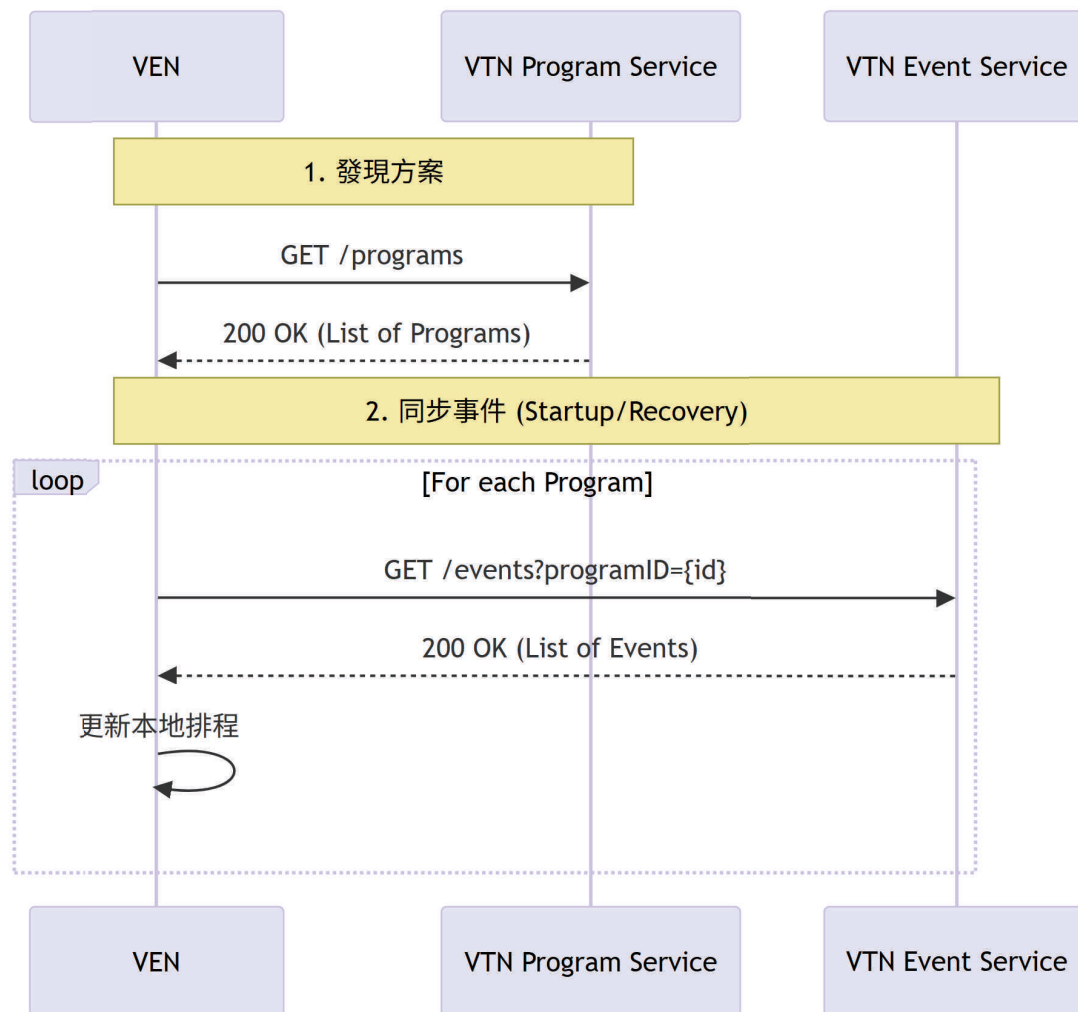
2 成果及其應用：

本研究針對 OpenADR 3.0 規範進行全方位研析與架構設計：

1. 建立輕量化與低延遲之通訊標準，確立 OpenADR 3.0 作為新世代需量反應通訊標準 (如圖 1 所示)。透過 RESTful 架構、JSON 格式與 Webhook 主動推播機制 (如圖 2 所示)，大幅降低第三方物聯網設備 (如電動車充電樁、智慧家電) 的開發與接入門檻，並解決舊版 2.0b 輪詢延遲問題，實現電力調度指令的即時響應。
2. 強化新興應用與資安管理：應用 3.0 新增之「動態操作範圍 (DOE)」與「溫

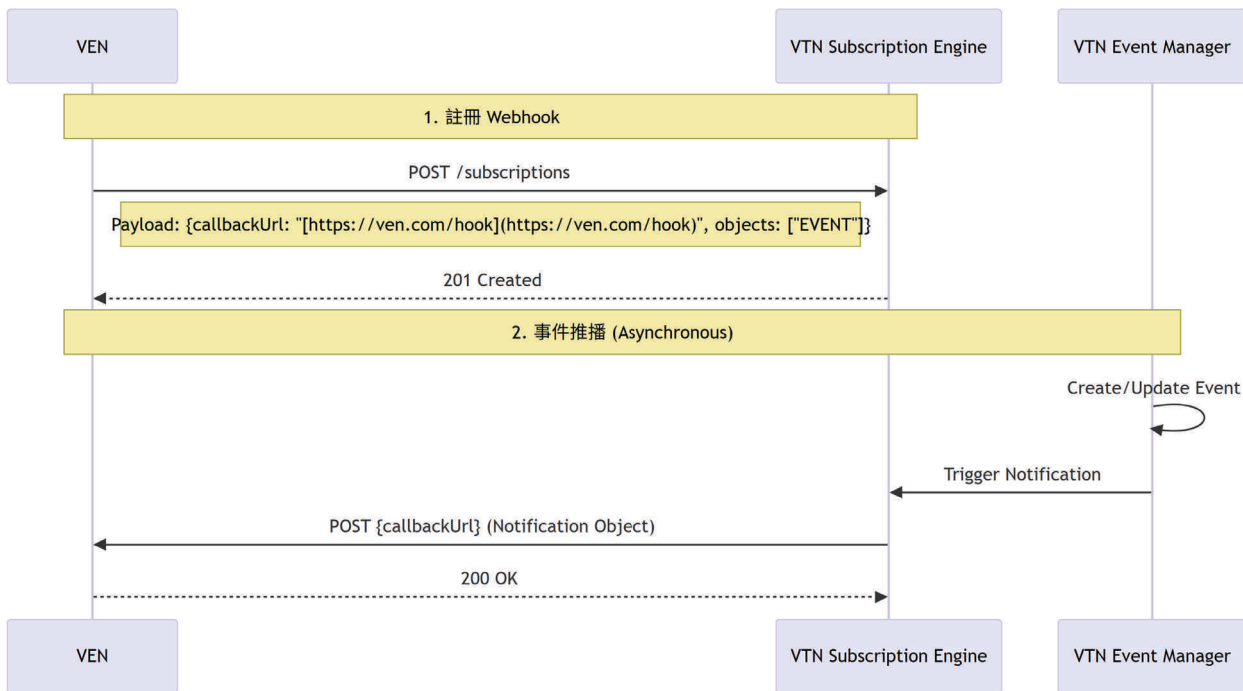
室氣體 (GHG) 排放警訊」功能，使電業能精確管理饋線容量並執行低碳調度。同時，導入現代化 OAuth 2.0 資安框架，取代繁瑣的憑證管理，提升系統安全性與權限控管的細緻度。

3. 提供雙模整合之實務藍圖：針對新舊系統並存需求，提出以「防腐層 (Anti-Corruption Layer)」進行協定轉譯的軟體架構，解決 2.0b 與 3.0 的整合難題。研究結論明確建議「避免開發原生雙模核心」以降低資安風險，為電力服務商提供一套降低 IT 維運成本且具備高擴展性的系統升級指引。



資料來源：本研究繪製

圖 1 OpenADR 3.0 資訊發現與同步流程圖



資料來源：本研究繪製

圖 2 OpenADR 3.0 訂閱與事件推播流程圖

電業最新智能 AI 客服系統發展及可行性研究

Development and Feasibility Study of the Latest Intelligent AI Customer Service System in the Electrical Industry

Abstract

This research project aims to conduct a systematic diagnosis of Taipower's existing intelligent customer service system. Through in-depth investigation of the current situation and analysis of pain points, it will clarify the core issues affecting service efficiency and customer experience, and then propose specific and feasible development strategies for a next-generation intelligent customer service system. In response to the current bottlenecks in Taipower's customer service system, such as the need to improve response accuracy, optimize operation guidance, expand service channels, strengthen responsiveness, and reduce resource allocation flexibility, this project will focus on four core aspects: "Human-Machine Collaboration: Enhancing Service Efficiency and Value of Human Customer Service," "Human-Machine Co-learning: Building a Dynamically Optimized Intelligent Learning System," "Virtual Character Interaction: Strengthening Immersive Customer Experience," and "Multimodal Integration: Enhancing Seamless Customer Service Experience," to plan the development blueprint for the customer service system. This research covers case studies of international benchmark companies, service process diagnosis and design, optimization of intelligent AI customer service functions,

and practical application scenarios of human-machine collaboration. It serves as the strategic foundation for Taipower's future intelligent customer service development. Furthermore, it incorporates generative AI and RAG (retrieval-enhanced generation) technologies to strengthen the system's semantic understanding, knowledge application, and autonomous learning capabilities. This further enhances the system's resilience in dynamic responses and high-pressure scenarios, helping Taipower establish a new benchmark for intelligent services and digital transformation. It is anticipated that after the system goes live, this project will gradually increase the usage rate of intelligent customer service to over 35%, significantly reducing the burden on human customer service. Through differentiated education and training and the design of diverse application scenarios, it will help Taipower build a high-performance, reliable, and flexible next-generation intelligent customer service system to support the company's long-term goals of digital transformation and resilient services. Ultimately, it will realize user-centric digital resilient services and strengthen Taipower's sustainable competitiveness and value in smart services.

1 研究背景、目的、方法：

• 研究背景：本研究計畫針對台電現有智能客服系統進行系統性診斷，透過深入調查現況與分析痛點，釐清影響服務效能與客戶體驗的核心問題，進而提出具體且可行的次

世代智能客服系統發展策略。面對台電目前客服系統的瓶頸如回應準確待提升、操作引導待優化、服務通路待擴增、應變能力待強化以及資源調度彈性低等挑戰，本計

畫將聚焦於「人機協作：提升服務效率與人工客服價值」、「人機共學：打造動態優化的智能學習系統」、「虛擬人物互動：強化沉浸式客戶體驗」、「多模態整合：提升客戶無縫的服務體驗」四大核心面向，規劃客服系統發展藍圖。本研究內容涵蓋國際標竿企業案例分析、服務流程診斷與設計、智能 AI 客服功能優化與人機協作應用場景實作，作為台電未來智能客服發展的策略基礎，並導入生成式 AI 與 RAG(檢索增強生成) 技術，強化系統的語意理解、知識應用與自主學習能力，進一步提升動態應變與高壓場景下的處理韌性，協助台電樹立智慧服務與數位轉型的新標竿。預期本計畫將在系統上線後，逐步將智能客服使用率提升至 35% 以上，顯著減輕人工客服負擔，並透過差異化的教育訓練與多元應用情境設計，協助台電打造高效能、可信賴且具彈性應變能力的次世

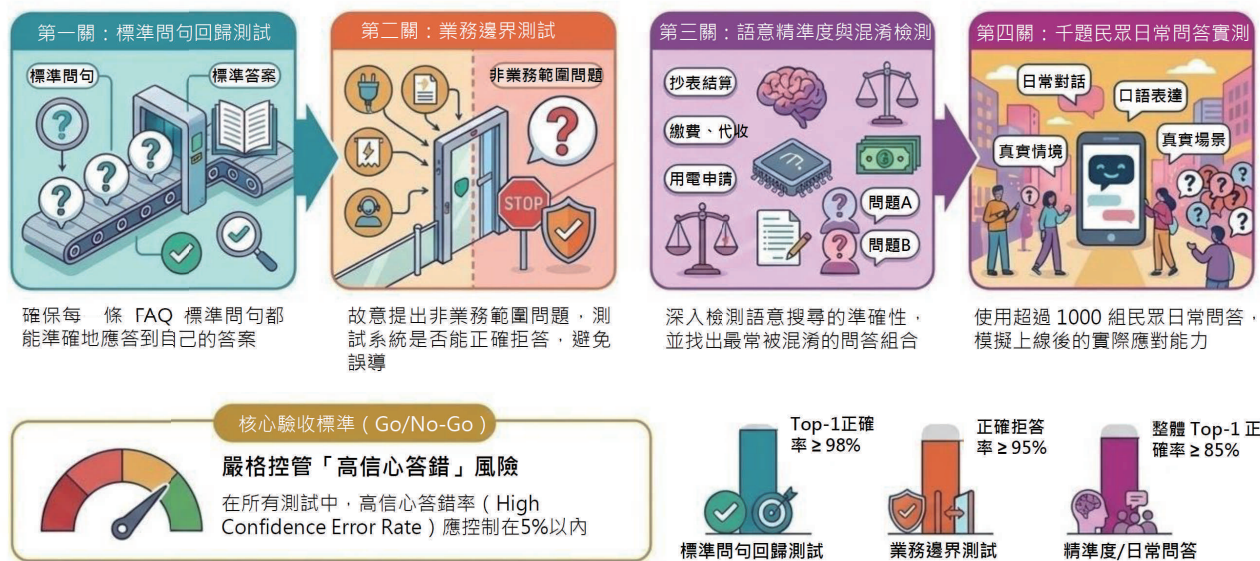
代智能客服系統，支援企業數位轉型與韌性服務的長遠目標，最終實現以用戶為核心的數位韌性服務，強化台電智慧服務的永續競爭力與價值。

- 研究目的：藉由參考國內外客服中心系統使用情形及案例，評估本公司既有客服中心資通訊系統，進行全新規劃可行性，提供本公司新一代客服系統未來規劃與改善建議。
- 研究方法：蒐集國內外客服中心系統使用情形及案例。探討與盤點本公司既有客服中心現況與問題。分析與提出既有客服系統之改善方針，包含服務流程、資通訊網路架構與其他面向之優化建議。研擬與規劃新一代電業客服系統(如圖 1 所示)，例如結合 AI 人工智慧技術或導入客服使用意向研究，提昇執班人員與客戶滿意度與虛擬櫃台應用(如圖 2 所示)。評估新一代電業客服系統可行性。

2 成果及其應用：

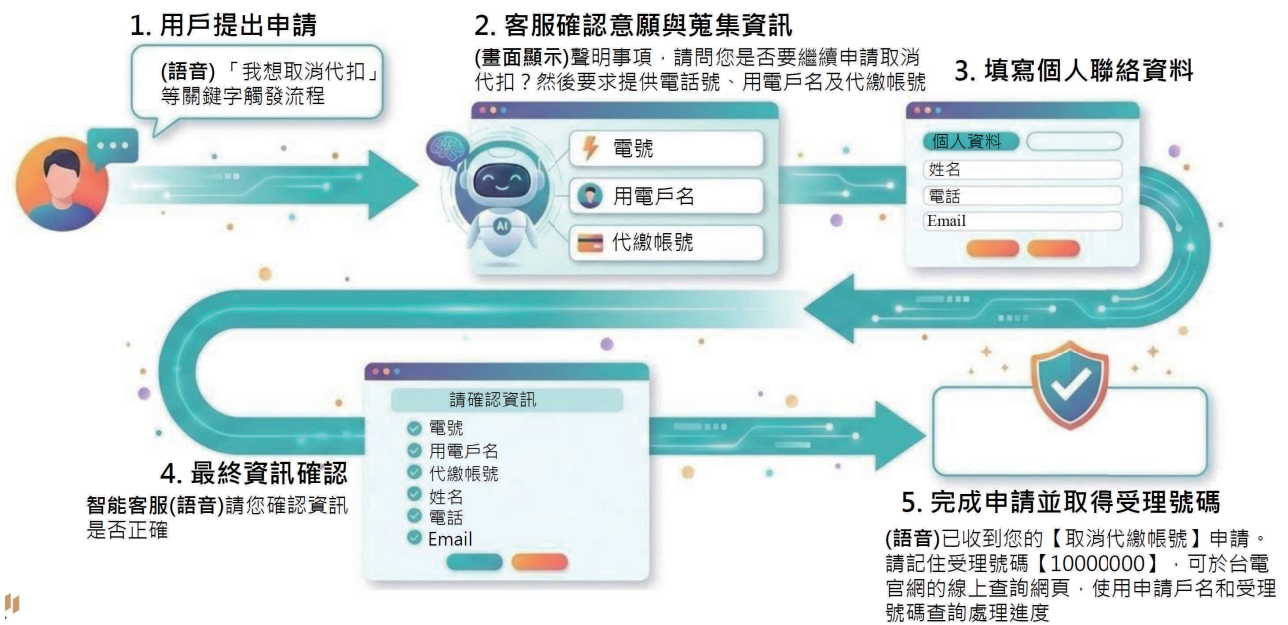
1. 客服系統流程優化可行性評估，預期可提升值班人員與管理人員值班效率，並評估降低值機人力成本。
2. 客服系統上雲可行性評估，預期能提升系統服務強韌性，評估最佳服務水準。
3. 資料庫汰換可行性評估，預期可提升資料庫開發的高彈性與可擴展性，預期可於 116 年 CCS 維護案節降約 1,000 萬之 Oracle MA 採購費用，後續每年資料庫 MA 費用將可節降約 10%。

在正式上線前，必須通過的四項關鍵測試與驗收標準，以確保服務品質並控管風險



資料來源：本研究繪製

圖 1 客服系統關鍵測試與驗收標準



資料來源：本研究繪製

圖 2 虛擬櫃台對話腳本

電度表、變比器資訊數位化管理之研究

A Study on Digital Information Management of Power Meter and Transducer

Abstract

This research project aims to develop a Metering Equipment Management System for Taiwan Power Company, incorporating full lifecycle management of metering devices such as energy meters, PTs, CTs, MOFs, MIUs, and security seals. The system covers all operational stages including procurement, allocation, installation and removal, maintenance, and decommissioning. It also integrates with Taipower's existing systems—NCPS, NBS, and RNIS—to synchronize registration forms and customer data, ensuring data consistency and completeness. Additionally, a mobile application is being developed to enhance the efficiency and accuracy of field data reporting, thereby improving the timeliness and digitalization of on-site operations.

During implementation, the project team reviewed existing operational

procedures and mapped out workflows across all stages, while collecting practical requirements from the Headquarters and 24 regional branches. Based on these findings, a set of standardized digital processes was established in alignment with Taipower's current regulations. The system enables comprehensive recording of metering equipment lifecycle data, helping to reduce overall management costs and improve operational efficiency.

The prototype system has been developed and tested through multiple simulations. A comprehensive deployment strategy has also been formulated, with proactive identification of potential risks and corresponding mitigation plans, to ensure the system's stability and practicality when scaled up for use across all 24 regional branches in the future.

1 研究背景、目的、方法：

- 研究背景：台電公司現行的計量設備管理是由各個區處的材料單位進行控管，管理與紀錄方式並未統一，且資訊僅有 ERP 系統之數量統計資訊，針對單一設備的資訊並未詳實記錄，對設備的控管能力仍有優化的空間。因應數位化管理的世界潮流，台電公司有必要建立統一性的設備管理流程，並藉由資訊系統的導入，提升管控能力。
- 研究目的：建置計量設備管理系統，進行所有計量設備（電表、PT、CT等）之倉儲管理，並記錄其使用歷程。開發 APP 功能，提供授權人員透過手持裝置查詢及

登錄各器材之庫存、異動、檢修、使用年限及報廢等資料。

- 研究方法：本案首先梳理現行作業流程（如圖表 1），與配電處檢驗計量組、各區營業處進行訪談，逐步收斂需求並凝聚共識，勾勒出整體架構與功能。因考慮資訊介接與業務銜接，亦訪談業務處、資訊處與配電處智慧電表組，確定與各系統（如 NBS、RNIS 等）介接方式。後著手進行計量設備管理系統之規劃與開發，包含前端網站介面實作、後端資料庫邏輯梳理串接，並於過程中持續與配電處進行密切會議溝通。

2 成果及其應用：

本案開發系統功能分為五大類，分別為：新料採購、資產移播、設備裝拆、設備掛出。

新料採購：提供採購清單登錄，配電處承辦人於系統輸入預計生產設備之起始設備編號與結束設備編號，由系統判斷是否與現有設備編號重複，主要目的為確保與已入庫設備、其他已列入預計生產設備編號不重複。廠商設備驗收後，由配電處承辦人操作「驗收合格清單登錄」功能，上傳驗收合格清單，該清單不需與採購階段時輸入的設備編號範圍完全一致，與已入庫、其他預計生產編號不重複即可。若後續由設備廠商直接出貨給區處，則區處需操作「區處設備入庫」的新增入庫功能，上傳〈實際出貨清單〉，並將入庫設備進行登錄。系統將自動比對〈驗收合格清單〉、〈實際出貨清單〉與登錄之設備號碼是否一致，確認一致則完成設備入庫。

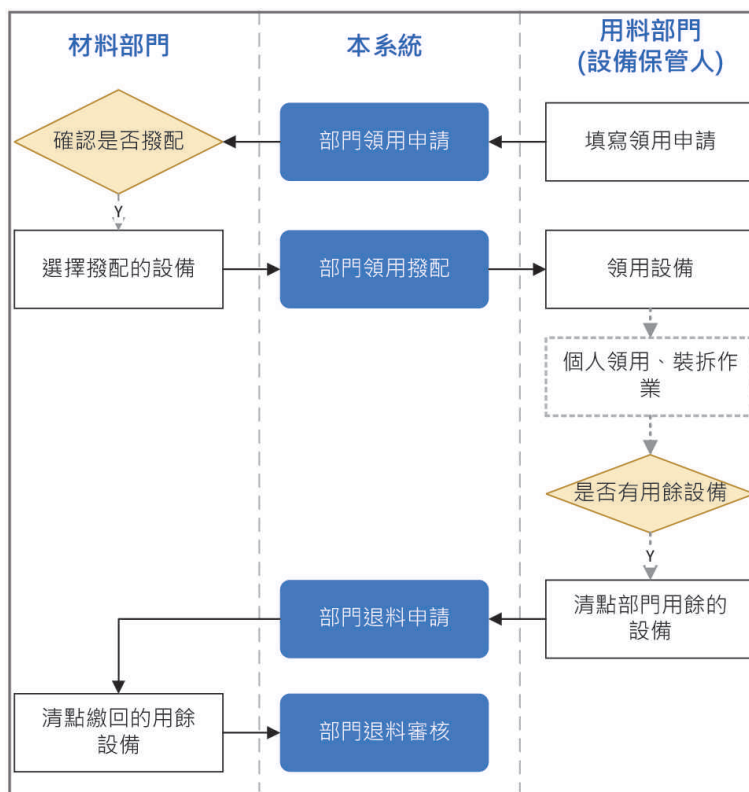
資產移播：當區處(B區處)存有的設備數量不足時，可向其他區處(A區處)申請移撥，若A區處同意移撥，則由A區處在本系統「移撥出庫」功能新增一筆移撥單據。

設備裝拆：分為設備領用、撥配、退料以及工作日誌管理兩部分。在設備

領用、撥配、退料功能設計上，團隊遵循現行的流程，將用料單、廠內移撥單、設備繳回流程進行電子化及系統化(如圖表2、圖表3)；工作日誌功能則提供同仁建立工作日誌，方便管理者分配任務給工作班，並依據不同工作內容提供不同的填報欄位，達成資料電子化存儲之目的，操作流程如圖表4。為便利同仁於工作現場進行工作日誌填報等功能，本案亦開發離線APP介面，供使用者進行資料填報。工作案件完成後，提供報表(登記單)下載列印。

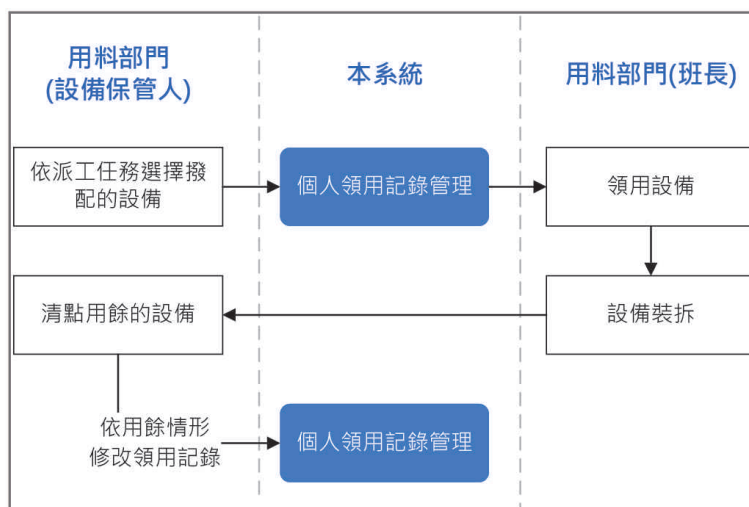
設備送檢修與報廢、設備掛出：提供區營業處同仁於系統上登錄欲送檢修、報廢、掛出之設備編號，以便掌握目前在庫設備之數量及各設備目前所處情況。

為能便利同仁掌握設備動向，本案規劃QR code貼紙，黏貼於設備、外箱、棧板上，設備廠商配合產製QR code，如設備入庫前即應貼於設備上。入庫QR code格式規劃包含(1)契約編號、(2)驗收批次、(3)廠牌、(4)型式、(5)起始的設備編號、(6)結束的設備編號、(7)檢定後被剔除的設備編號。區處、儲運中心人員可於前述相關功能中，利用APP掃描設備資訊，進行設備清點與登錄。



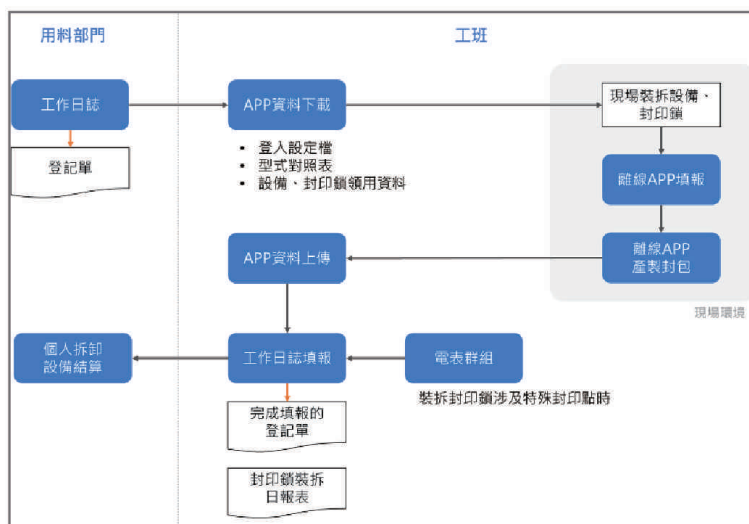
資料來源：本研究繪製

圖 1 個人領用流程圖



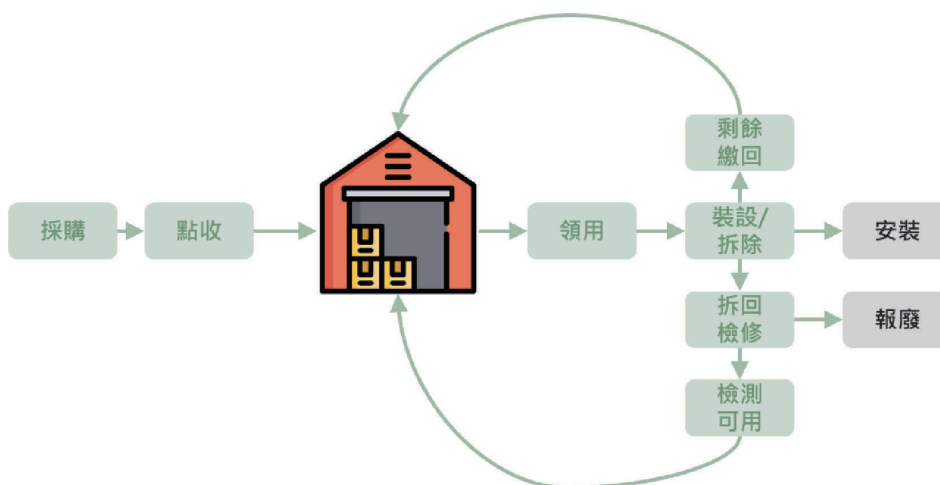
資料來源：本研究繪製

圖 2 部門領用、退料流程圖



資料來源：本研究繪製

圖 3 工作日志填報操作流程圖



資料來源：本研究繪製

圖 4 計量設備工作流程圖

高壓用戶需量反應特性查詢系統研究

Research on the Query System for High-Voltage User Demand Response Characteristics

Abstract

Demand response is one of the important resources of the power system. It is necessary to prepare a tools for the colleagues of responsibility of each business branch who are responsible for demand response, to help them understand the characteristics of the users, as well as feasible demand response methods, suitable demand response plans, etc. This project plans to provide an information system for colleagues in the district business office who are responsible for recruiting demand response users, based on the compilation of the methods and characteristics of various industries implementing demand response, supplemented by past analysis and statistical results. This will allow colleagues

in the response business branch to obtain information related to the user in advance before visiting high-voltage users, and initially understand the methods that the user can implement demand response. At the same time, by combining the compiled industry characteristics, colleagues in the district business office can be more specific and practical when explaining to recruit users, which is closer to the user's process and electricity behavior, and increases the chance of user participation. In addition, through the compilation of experiences with users of the same type of industry and process, users generate peer effects, increasing the willingness of users to participate.

1 研究背景、目的、方法：

研究背景：

2022 年因應第二尖峰之抑低需求，業務處除進行電價時間帶之調整試行外，亦同時調整需量反應負載管理措施之抑低時間、增加適用於夜尖峰之措施方案等。為此，各區營業處同仁不但須熟悉新方案，亦需面對適用新方案用戶之招募工作，在對各產業特性不全然清楚之情形下，用戶招募之困難度與效率

對區營業處同仁而言，均是挑戰。本計畫擬以各產業執行需量反應之作法、特徵彙整為基礎，輔以過往之分析、統計成果，提供區營業處執行需量反應用戶招募之同仁查詢高壓用戶需量反應特性之資訊系統，以利區營業處同仁前往拜訪高壓用戶前，預先取得與該用戶相關之資訊，並初步瞭解到該用戶可以執行需量反應之作法。

研究目的與方法：

1. 建立一套高壓用戶需量反應特性查詢系統，彙整各產業特性、主要用電設備資訊、AMI 用電資訊、需量反應潛力資訊等。
2. 協助區營業處同仁於用戶招募說明時，更具體且實際的貼近用戶製程與用電行為，提高用戶參與之機會。

2 成果及其應用：

依據本研究案的需求，截至 114 年底，本案已達成下列幾項工作目標：

1. 研析國內外產業用戶執行需量反應之作法。
 - (1) 完成國外 CAISO 與 ERCOT 之用戶群代表 GridBeyond 與 Enel North America 之招募作法研析，可歸納為五個步驟：識別卸載執行對象設備、訂定需量反應執行策略、設置計量表計並與即時資訊平台連結、參加入方案執行，以及回饋誘因支付。
 - (2) 完成國內合格交易者義電智慧能源、承研能源科技等之招募作法資料蒐集與研析，彙整其用戶招募之作法經驗包含：藉由產業知識作為引導，協助用戶建立需量反應執行作法；設置計量表計，即時回饋成效資訊；導入新技術降低用戶參與門檻，提升用戶資產價值。
 - (3) 完成彙整國際 4 個需量反應提供者 (DRPs) 共計 11 個應用案例，提供用戶之方案內容與收益情形。
 - (4) 彙整文獻分析，其內容包含鋼鐵金屬在內共 12 個產業之製程特徵，以及包含金屬工業在內共 10 個可執行需量反應之製程設備。
 - (5) 完成三種類型國內外用戶需量反應潛力之文獻資料蒐集與分析，包含：**A.** 採 AMI 資料探勘及分群模型之潛力分析方式；**B.** 採 AMI 用電曲線標準化及分類技術取得用戶用電型態特性之方法；**C.** 採直接用戶訪查方式探討其需量反應潛力。
2. 研析及彙整招募用戶參與需量反應之準備事項。
 - (1) 完成用戶招募前置準備資料彙整，並完成確認各項資料取得來源與取

得方式。資料類型包含：基本資料 10 項；執行需量反應相關衍生資料 10 項；其他記錄 3 項；推廣資訊 5 項。

- (2) 累積完成 40 產業類別之特性資料蒐集。依業務處建議之潛力行業別，排除已建立產業特性之對象後，新增汽車零件製造業、化學原材料製造業、塑膠製造業、廢 / 污水處理業等產業別。

3. 建置高壓用戶需量反應特性查詢系統。

- (1) 依照產業特性以及所需各項資料欄位，完成資料庫結構規劃及建置，分別完成 A. 過往需量反應成效資料表；B. 用戶用電行為資料表；C. 產業特徵查詢資料表。產業特徵查詢資料表包含：產業製程、製程類別、抑低標的、抑低程序、抑低標的對象、抑低評估以及抑低項目。
- (2) 完成使用者權限設定，使用者權限區分為：管理員、綜研所使用者、業務處使用者、區營業處使用者。依據使用者權限，完成七大類型使用情境分析。依據使用情境，完成「高壓用戶需量反應特性查詢系

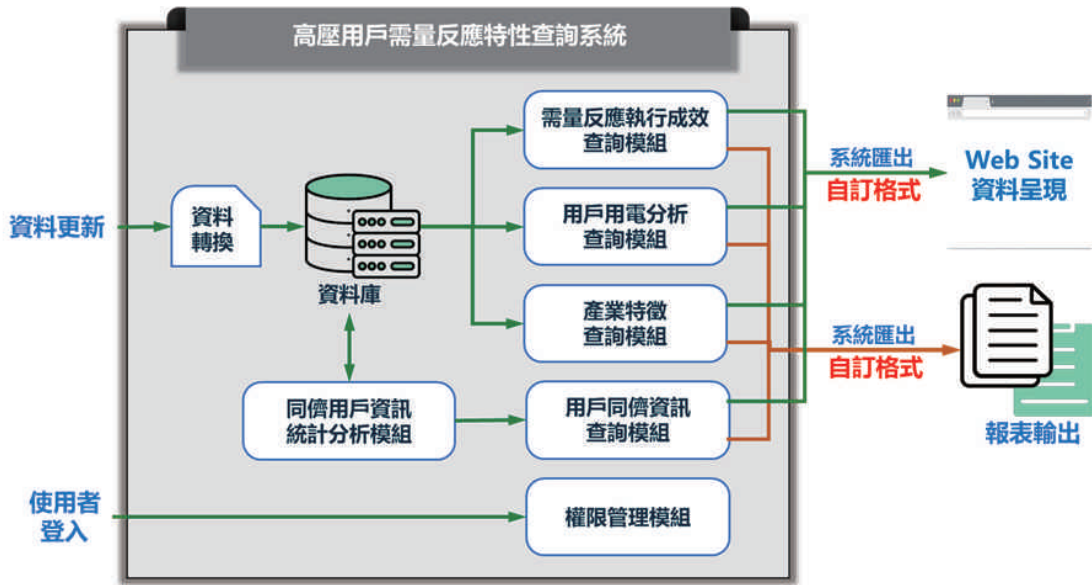
統」1 套。並完成確認採用之各項開源軟體為：作業系統 (Ubuntu)、Web 伺服器 (NGINX)、資料庫 (PostgreSQL)、開發框架前端採用 Vue.js、後端採用 FastAPI。配合台電資安要求，進行資通安全需求檢核。

- (3) 完成「高壓用戶需量反應特性查詢系統」之 Web 使用介面、輸出 (PDF 報表、Excel 資訊) 功能開發，共計分為以下幾項功能模組：A. 需量反應執行成效查詢模組；B. 用戶用電分析查詢模組；C. 產業特徵查詢模組；D. 用戶同儕資訊查詢模組；E. 權限管理模組。

4. 高壓用戶需量反應特性查詢系統使用檢驗與精進評析。

- (1) 完成區營業處、業務處使用人員操作說明資料。
- (2) 完成 6 個區營業處共 23 位參與試驗，並回收 16 份回饋問卷，回饋意見將提供查詢系統未來精進的方向。配合區營業處，共拜訪 15 家用戶，包括苗栗區處 6 家、台南區處 5 家，鳳山區處 4 家。

本案系統架構圖如圖 1 所示。



資料來源：本研究整理

圖 1 「高壓用戶需量反應特性查詢系統」架構圖

研究人員：負載管理研究室：張文奇、陳玉芬、賈方霈、黃秉偉、施政樟、賴宜均

智慧電網結合 AMI 數據分析違規用電行為可行性研究

Feasibility Study of Integrating Smart Grid with AMI Data for Analyzing and Detecting Unauthorized Electricity Usage

Abstract

With the rapid development of smart grid technology, power companies are facing increasing challenges, especially in detecting unauthorized electricity usage. Traditional methods of detecting unauthorized electricity usage mainly rely on whistleblowing, line inspections, and investigations by police and prosecutors, which consume a lot of human resources. To reduce resource waste and improve detection efficiency, power companies both domestically and internationally have begun exploring the use of artificial intelligence (AI) technology for analyzing unauthorized electricity usage.

The purpose of this research is to investigate the feasibility of developing an AI-powered unauthorized electricity usage detection and decision support system. The proposed system will analyze data from low-voltage Advanced Metering Infrastructure (AMI) to identify potential cases of unauthorized electricity usage in

Changhua, Chiayi, and Hsinchu areas. It will provide a confidence score to prioritize field inspections for unauthorized electricity usage by Taipower's business units.

Considering the differences in electricity usage habits between individual users, and the scenarios that rule-based methods may not cover or find difficult to cover, we apply anomaly detection AI technology to monitor the electricity consumption and power quality data. This technology learns the normal electricity usage data model of users. When the electricity usage data deviates from the normal range, the system analyzes and provides a list of abnormal users and their suspicion levels. It also provides key factors for determining unauthorized electricity usage, serving as a reference for Taipower's business units to prioritize their inspection schedules, effectively concentrating inspection resources on users with high suspicion of unauthorized electricity usage.

1 研究背景、目的、方法：

隨著智慧電網技術的快速發展，電力公司面臨著越來越多的挑戰，特別是在查緝違規用電方面。傳統的違規用電查緝方式主要依賴於密告、線路巡視及檢警偵辦等被動手段，這些方法耗費大量人力資源。為了減少資源浪費與提升查緝效率，國內外的電力公司皆開始探索使用人工智慧技術來進行違規用電分析。

本研究目的為研究具有人工智慧的違規用電輔助判斷系統發展可行性，發展一套具有人工智慧的違規用電輔助判斷試行系統，評估彰化、嘉義、新竹三個區處之低壓智慧電表 AMI 數據以判斷是否有違規

用電嫌疑，並提供系統判斷信心度指標作為台電公司業務單位違規用電稽查作業排程之優先順序參考準則。

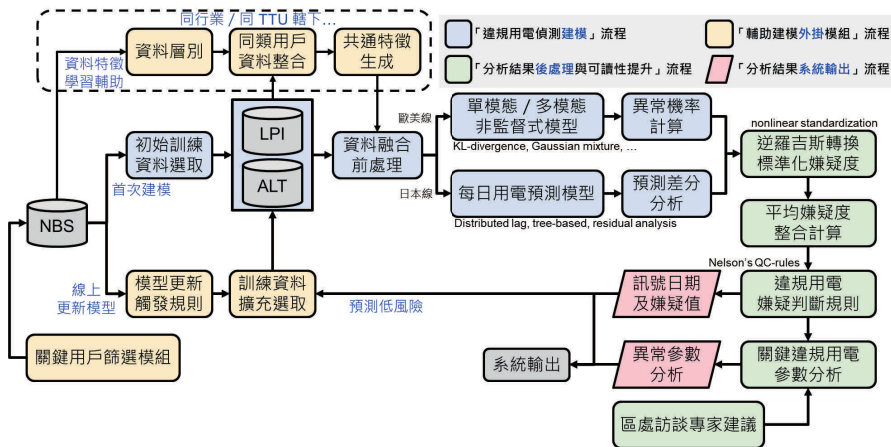
基於用電戶個體與個體間的用電習慣差異，考量規則判斷法尚未或難以涵蓋之違規情境，應用異常檢測人工智慧技術監測用電量及電力品質數據學習用戶正常用電之數據模型，當用電數據偏離正常範圍時，分析提供異常用戶清單及其嫌疑度，並提供判斷該戶違規用電之關鍵參數，作為台電公司業務單位違規用電稽查作業排程的優先順序參考準則，有效集中稽查人力資源於高違規用電嫌疑的用戶群。

2 成果及其應用：

1. 低壓違規用電 AI 偵測方法的流程圖依功能組別分為四大部分，分別為：藍色為「違規用電偵測建模」、「黃色為「輔助建模外掛模組」、「綠色為「分析結果後處理與可讀性提升」，並納入區處訪談專家建議，以提供關鍵用電參數之分析、紅色為「分析結果系統輸出」，詳如圖 1 所示。
2. 本研究發展三套違規用電人工智慧偵測模型，以簡單直接且合理的方式，並建立單一違規用電判斷標準，以此降低系

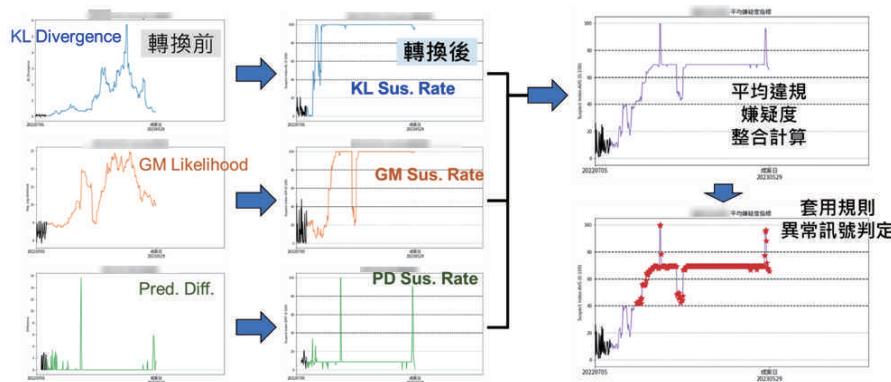
統使用者的認知負擔，並搭配品質管制規則標記違規用電訊號，提升違規用電判斷之效率，紅色星星標記為違規用電訊號發生日，詳如圖 2 所示。

3. 本研究建置之違規用電 AI 偵測輔助系統，可透過用電行為分析，自動計算用戶之違規嫌疑度指標，並以趨勢圖方式呈現，協助使用者快速掌握異常變化情形，系統同時整合瞬時 kW 及瞬時 kVA 之用電趨勢，提供多面向比對分析，作為違規用電判斷之重要參考資訊。



資料來源：本研究繪製

圖 1 低壓違規用電 AI 偵測流程圖



資料來源：本研究繪製

圖 2 低壓違規用電 AI 偵測分析之嫌疑度整合與異常訊號判斷圖

研究人員：負載管理研究室：黃秉偉、張文奇、施政樟

整合新興分散式資源應用於電力調度之技術規範研析

A study on Distributed Energy Resources Applications for Grid Operation Services Enhancement

Abstract

As per Taiwan's energy policy, the penetration of renewable energy is expected to exceed 20% beyond 2025. This shift will reduce system inertia and increase power generation fluctuations, posing challenges to grid frequency and supply-demand balance. To address these issues, Taipower has developed Electricity Trading Platform to efficiently utilize energy storage systems and demand response resources, aiming to stabilize the grid. However, the diverse nature, technical capabilities, and dispatch applications of other distributed energy resources (DERs) require further research and integration to maximize their potential. This is essential for advancing energy transition and electricity sector

reform while maintaining grid stability. At this research stage, we have completed an analysis of international practices, an inventory of domestic distributed resources, and an initial plan for future technical capabilities, enhancing the framework for distributed resource utilization. By studying international examples and comparing them with domestic scenarios, we aim to clarify the control parameters, capability ranges, metering standards, and market planning for various distributed resource dispatch strategies. The project's outcomes are intended to assist Taipower analyze and optimize the use of distributed resources, and provide specific recommendations.

1 研究背景、目的、方法：

研究背景：

在我國能源轉型之進程下，未來 5 至 8 年電網之發電端與用電端皆將發生顯著變化，並對電力調度帶來新的挑戰。2030 年再生能源裝置量預計達 43GW，意味著高綠電占比的時代來臨，其發電間歇性與變動量對電網平衡之影響將更加顯著。在電力需求方面，交通運具電氣化、空調設施與工業廠房裝置量持續增加，使尖峰負載逐年攀升。由於供需樣態皆與傳統電網大幅迥異，電力系統需具備更多元的資源，以及更高的調度彈性來因應相關情境。

分散式資源之調度應用層面廣泛，由於系統中新設之電動車、空調系統及表後電力資源多有通訊或調控能力，故亦使得電網中之負載亦逐漸智慧化，並具備接受電力調度之潛力。若可充分整合運用，不但可控制部分用電需求，亦可因應許多綠電高佔比的情境，例如尖峰用電、即時不平衡、以及輔助服務等。因此，分散式資源之相關技術規格、電網需求及調度應用方式十分具備研究價值，不僅可進一步提升電網調度彈性，亦可增加調度資源之充裕性與多樣性，並分散電力調度資源集中之風險，著實強化電

力系統韌性，為能源轉型添增助力。

研究目的與方法：

1. 研析國際文獻與先進電力系統針對各類分散式電源之調度管理方式與相關作法蒐集。
2. 分析目前國內調度規則與 DER 發展現況，針對 DER 提供電力調度進行技術合適性之分析。
3. 分析 2030 年電網需求、及國內主要 DER 之種類與運轉特性，充分了解其

可調度能力及適合提供之電網應用服務。

4. 就國內未來主要分散式資源之運轉特性，分析其提供電力調度之可行性，以及其對電力系統之貢獻。
5. 探討國內電力交易架構及電力調度規則中，納入分散式資源提供電網應用服務之可行作法。
6. 研擬本公司取得分散式資源提供電力調度之技術規範與具體建議。

2 成果及其應用：

依據本研究案的需求，截至 114 年底，本案已達成下列幾項工作目標：

1. 蒐集國際先進電力系統對分散式資源調度應用之電網規則或技術規範
 - (1) 完成 ISO 技術規範、調度應用情境、參與資源、表計或能力要求研析：完成之 NYISO、PJM、CAISO 之容量應用，並蒐集加州、英國之分散式資源規劃，包括 CAISO 對於表後資源之運用、補助及市場整合；NGESO 之輔助服務現況、調整方向、資源參與方式，以及市場價格及參與量分析。
 - (2) 完成分散式資源分類、調度功能、運轉特性之研析：完成 CAISO、NGESO、ERCOT 等分散式資源調度方案文獻歸納，聚焦於負載資源之調度能力。精進英國 NGENSO、荷蘭 TenneT 之電動車試驗方案研析，分析其調度特性與表計之技術規格、參與門檻調整方式。

2. 國內現今主要分散式資源之種類與運轉特性盤點

- (1) 完成資源種類盤點、可調度容量、反應持續時間、調度限制：盤點不同樣態之分散式資源運轉特性與表計設置，包括大用戶表後儲能、汽電共生、各類充電樁，並完成與五家充電樁業者之訪談，一家表後儲能之實地場勘。
- (2) 完成調度規範盤點、DER 參與調度方式之合適性與調整方式評析：分析表後儲能、需量反應資源、充電樁於現有制度下之合適性，包括電價方案、契約容量、負載管理措施與電力交易平台，評析調度潛力或限制，並蒐集儲能接收頻率控制訊號之主動作法。

3. 現行調度之技術規範精進研析

- (1) 完成電網頻率分析、DER 參與模式分析：協助調度處完成輔助服務精進方向盤點，包括調頻、即時、補

充備轉之現有資源表現、技術要求、資源參與模式，以及分析未來電力系統情境，作為初步調整規劃。

- (2) 完成系統負載初步分析、DER 參與資格：協助調度處初步構想未來適用之電網調度應用，包括反應時間、通訊方式、表計要求、資源配置等。

4. 研析分散式資源整合之預期成效與技術可行性

- (1) 儲能 AGC 應用 – 完成儲能案場實測，分析可調度範圍與限制、不同參數下對循環次數、SOC 控制之等影響，評析技術可行性。

- (2) 需量反應備用容量應用 – 分析調度時間範圍與調度限制、不同參數計算下對容量價值之影響、以及整體可行性評估。

- (3) 儲能於綠電發展應用 – 分析 E-dReg 排程或共用併網點下，調度範圍與限制，並分析現有充電排程對於綠電憑證之轉移能力。

5. 研析在電力交易架構及電力調度規則

中，納入分散式資源提供電網應用服務之可行方案。

- (1) 儲能 AGC 應用 – 輔助服務性質，適用現有電力交易平台及相關調度服務之採購程序。

- (2) 需量反應備用容量應用 – 遠期備用容量性質，搭配現有電力交易平台規則建立報價檢核機制。

- (3) 儲能於綠電發展應用 – 電能調度性質，應配合於相關獨立機構建立下，設計符合綠電交易之規則程序，並加入配套如表計認定等措施。

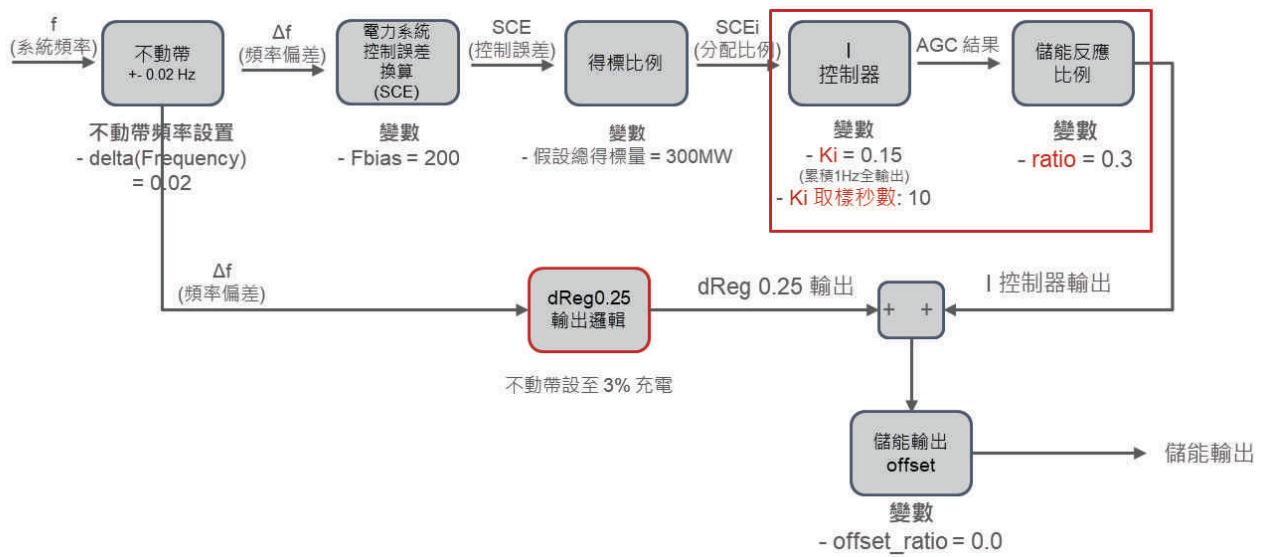
6. 擬訂本公司取得分散式資源調度應用方案之具體建議

- (1) 儲能 AGC 應用 – 完成設備規範、測試驗證、技術需求、表計通訊要求。

- (2) 需量反應備用容量應用 – 完成整合方式、運轉規定、實施作業。

- (3) 儲能於綠電發展應用 – 完成技術需求、實施作業建議。

本案類 AGC 控制流程如圖 1 所示。



資料來源：本研究整理

圖 1 本案類 AGC 控制流程示意圖

電力大數據應用人工智慧於微型區域發展預測創新試驗精進研究 Research on Electric Power Big Data and Artificial Intelligence in Micro-Region Potential Forecast

Abstract

Electric power big data refers to the vast amounts of data generated during the production, transmission, distribution, and consumption of electricity, including power consumption patterns, user behaviors, equipment status, and climate changes, etc. In recent years, Artificial Intelligence (AI) technology has developed rapidly. Using machine learning algorithms, patterns or features can be extracted from vast amounts of historical data to forecast future demand, helping power companies respond more flexibly to uncertainties, such as those posed by renewable energy, ensuring supply and demand balance.

A micro-region typically refers to a small geographic area, such as a community or district. This research combines big data with AI to create a micro-region assessment index system, based on the Ministry of the Interior's statistical district classification system. The six metropolitan areas are subdivided into 93,783 "micro-regions," which are finer than the smallest

government statistical district. These regions can be restructured based on the user's concerns about specific locations and areas, maintaining flexibility in the scope of regional assessment while enhancing the effectiveness of integrating external data. The unique, objective, and comprehensive nature of electric power big data fills gaps in regional assessments.

To better align the micro-region assessment index system with industry needs, this study collaborates with real estate developers and general retailers to pilot the concept of the index system. By utilizing historical regional data accumulated by the industry players, the micro-region assessment index is compared with current market evaluation methods. Two companies applied the index to optimize data models and assist in store site selection. The results indicate that the index improves the quality and efficiency of decision-making for the industry.

1 研究背景、目的、方法：

- 研究背景：台灣隨著智慧電表的布建伴隨大量電力資料的產出，由用戶用電資料聚合而成之統計資料，可產出公務統計資料無法提供之「微型區域」發展指標。微型區域示意圖如圖 1 所示。近幾年資通訊、人工智慧與大數據技術的蓬勃發展，由智慧電表自動化蒐集之電力資訊，除可觀察區域發展現況，更有機會導入人工智慧預測未來區域發展趨勢，可作為協助產業升級的關鍵資源。
- 研究目的：為使「微型區域評估指標體系」能更契合產業界的需求，透過與業界合作試驗指標體系之實際效益。藉助業者過去區域評估所累積的數據資料，從歷史資料的角度比較微型區域評估指標與市

場現行評估方式之異同，並研析指標可能的使用情境與替代既有資料的潛力。

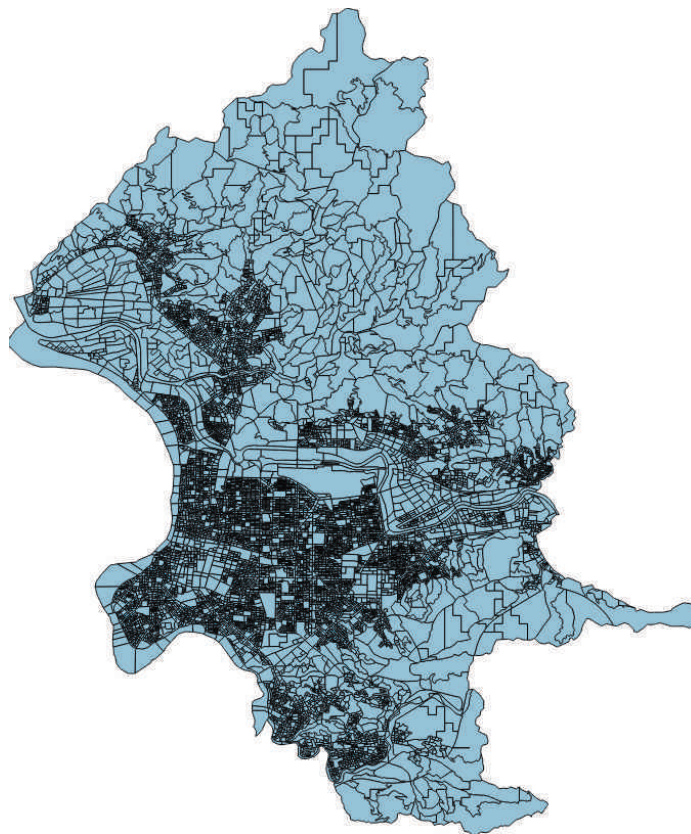
- 研究方法：蒐集並研析國外電力大數據應用於市場評估之案例與方法，商業性

訪談與指標市場性試用評估，結合電力大數據與外部資料建立區域預測發展模型，商業性訪談與指標市場性試用評估結果分析。

2 成果及其應用：

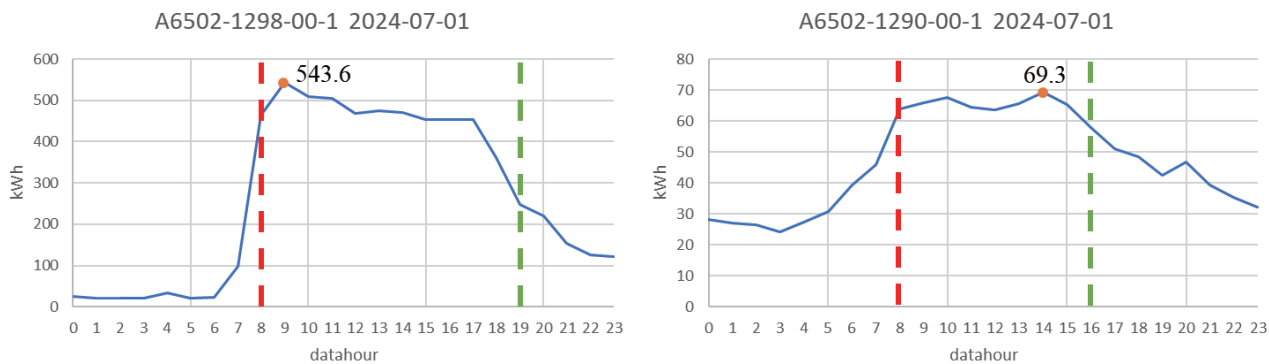
本研究以微型區域為範圍，包含高壓與低壓之用電資訊，研發微型區域發展預測指標，並進行商業驗證。藉由微型區域用電模擬技術以瞭解區域用戶在各時段的用電活動情形，產製「人流輪廓指標群」，分析區域中用戶活動時段及住戶特性。透過每月投入電力資料產製「區域發展預測信號」，可預測區域一年後的發展趨勢。微型區域評估指標體系具備電力大數據之獨特性、客觀性及完整性，並能提供前瞻性的潛力預測。對產業而言，微型區域指標具有協助商業決策的應用價值，透過觀察區域中的人口及產業活動變化，針對

區域未來發展潛力制定策略。另一方面，微型區域指標亦有導入負載管理應用情境的潛力，結合區域用電圖形特徵，可對區域用電需求變化趨勢及特性有更深入的了解，協助彈性調整負載管理方案。以日負載曲線為例，不同微型區域同日之比較如圖 2 所示，同一微型區域不同日之比較則如圖 3 所示。透過指標優化與負載曲線圖形特徵萃取之新模型建立，可供電業深入探討負載管理應用情境，使業務單位可依據不同的區域用電型態彈性調整適合之方案，亦可針對不同產業提供客製化之應用服務，將有助於電業管理與異業合作。



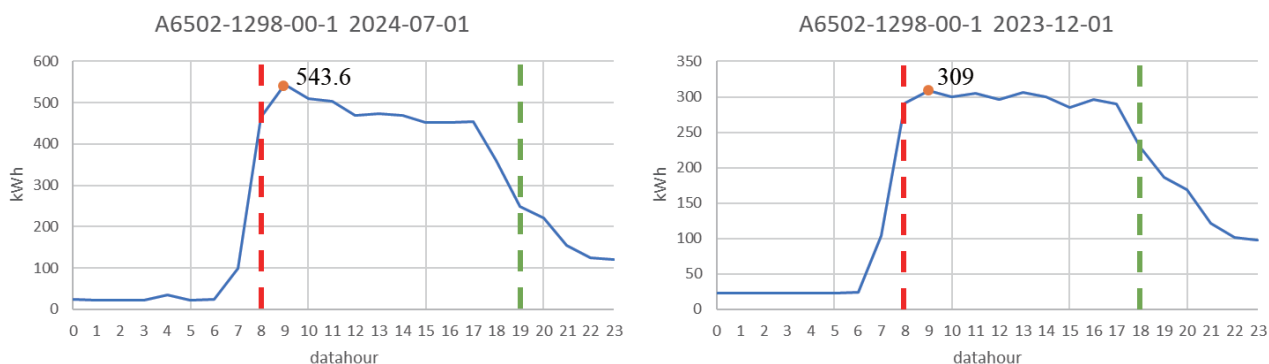
資料來源：本研究繪製

圖 1 台北微型區域示意圖



資料來源：本研究繪製

圖 2 不同微型區域同日之日負載曲線比較



資料來源：本研究繪製

圖 3 同微型區域不同日之日負載曲線比較

研究人員：負載管理研究室：陳玉芬、賴宜均

暫態特徵之非侵入式家電負載解析平台開發與商業化試驗

Development of a Non-Intrusive Appliance Load Monitoring Platform Based on Transient Features for Commercial Application

Abstract

The ongoing liberalization of the global electricity industry, coupled with big data analytics enabled by smart meters, has created new opportunities for diverse value-added services. These services foster more dynamic interactions among utilities, consumers, and third-party partners, cultivating a more interconnected energy ecosystem.

Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NIALM) is a key technology enabling the commercialization of these smart energy services. Its technical framework comprises several core stages: Data Collection, Feature Extraction, Signal Analysis, and Appliance State Recognition.

This project involved an in-depth analysis of prominent international NIALM initiatives and business models, such as the EU's CleverGuard Project, Japan's TEPCO Energy Gateway, and Sense Labs in the United States. Additionally, we conducted a systematic review of the latest academic literature, including journal articles and survey papers on NIALM. This research established a comprehensive overview of global NIALM technology and applications—from data collection and feature extraction to classification modeling and deployment. This overview offers insights into commercial products, service applications, technical challenges, and potential business opportunities.

The project successfully developed a high-performance NIALM sensor equipped with a high-performance CPU, a high-precision ADC, and dual-loop current-sensing transformers. These components enable edge computing capabilities, including automated waveform recording, event detection, and feature extraction. The sensor is Wi-Fi enabled and utilizes IoT communication protocols to transmit extracted transient features to a cloud platform.

To date, the system has been installed in 10 residential households and deployed at 2 demonstration sites. These installations have enabled the collection of a reliable transient feature dataset, which is crucial for training the classification model to accurately recognize the six target appliances.

One of the most significant technical challenges encountered was the scarcity of appliance feature data. Collecting reliable, high-quality transient data in real-world residential environments without disrupting daily routines proved to be a major hurdle. This difficulty was compounded by the wide variation in appliance models and brands across households.

Despite these challenges, the project achieved an appliance recognition accuracy of over 80% for the six target appliances across the participating households, thus meeting its primary technical objectives.

1 研究背景、目的、方法：

非侵入式家電負載解析 (Non-Intrusive Appliance Load Monitoring, NIALM) 最初由麻省理工學院 George W. Hart 教授所提出的開創性研究，協助電力公司，尋找目標用戶，分析家中主要電器運轉狀況，做為需量反應之先期潛力分析。

本計畫研析歐盟聰明看護者 CleverGuard 計畫、日本東電 - Energy Gateway、美國 - Sense

Labs 的代表性 NIALM 技術發展，與商業模式的代表案例整理，與最新的 NIALM 期刊論文、學術發表及回顧文獻，整理國際最新 NIALM 技術發展及應用之框架。

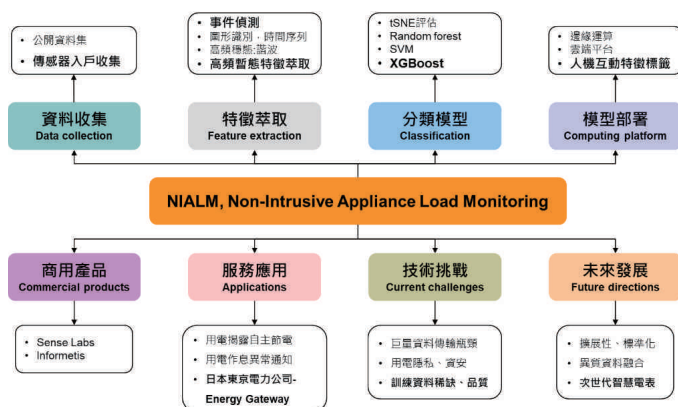
本計畫執行過程，最大技術挑戰是家電特徵稀缺性，在真實家庭場域中，在不打擾到示範住戶生活作息，且各家庭的背景家電不相同等挑戰下，收集到可靠且品質佳的家電

運轉的暫態特徵資料集，目標為 NIALM 辨識可以解析 6 種主要目標家電的 On/Off 開關狀態，本計畫已達成 10 戶示範住戶的 6

種目標家電之辨識精確度 80% 以上，符合本計畫目標要求。

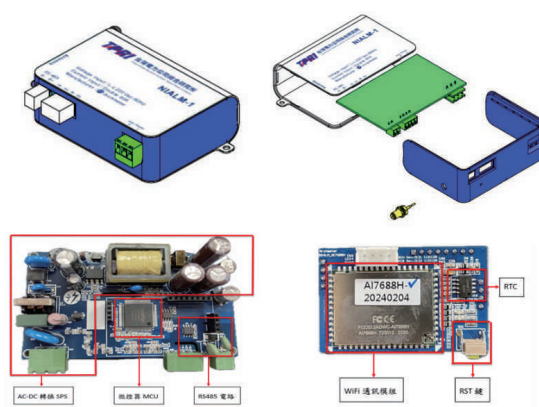
2 成果及其應用：

1. 本計畫研析歐盟、日本與美國的代表性 NIALM 技術發展，與商業模式的代表案例整理，與最新的 NIALM 期刊論文、學術發表及回顧文獻，整理成國際最新 NIALM 技術發展及應用之框架，可以掌握 NIALM 的資料收集、特徵萃取、分類模型、模型部署等技術發展，並可了解 NIALM 技術的商用產品、服務應用、技術挑戰，及未來商業發展，參考圖 1。
2. 開發 NIALM 傳感器，以高效能 CPU 搭配高精度 ADC 及雙迴路電流感測比流器，實現邊緣運算功能，包括自動錄波、事件偵測、特徵萃取，可透過 WIFI 連上網際網路，並以物聯網通訊協定，將暫態特徵傳送至雲端平台，參考圖 2。
3. 在商用 AWS 雲端平台建置數據處理及數據儲存的 NIALM 的資料庫，內含有傳感器資料儲存、家電使用狀態之人機互動 APP 之用戶管理以及各用戶用電量儲存等資料表。開發 Android App 人機互動應用程式，功能有 6 種家電狀態即時辨識、家電辨識異常通報、辨識家電每日之累計用電量、辨識家電每月之累計用電量和即時總用電功率。
4. 本計畫已依時程完成 10 戶實際家庭住戶入戶安裝、鳳山實驗屋與樹林展示屋之技術示範與展示用 2 戶、完成暫態特徵資料收集等，作為 NIALM 辨識分類模型的暫態特徵資料集。



資料來源：本研究繪製

圖 1 國際最新 NIALM 技術發展及應用之框架



資料來源：本研究繪製

圖 2 傳感器原型產品機構設計與硬體電路

研究人員：負載管理研究室：黃秉偉、張文奇、施政樟

AMI 資料應用集成學習於住宅用電預測研究

Application of Ensemble Methods for Residential Electricity Forecasts Based on Advanced Metering Infrastructure Data

Abstract

The operation of the electricity market can be significantly impacted by the variability in the accuracy of electricity demand forecasting. The performance of electricity demand forecasting is greatly influenced by data variations, and there is no single prediction model that consistently outperforms all others. Additionally, a single

model may not be able to meet the diverse electricity demand prediction requirements for different residential users. Therefore, considering ensemble approaches to predict low-voltage Advanced Metering Infrastructure (AMI) electricity data can lead to better predictive performance.

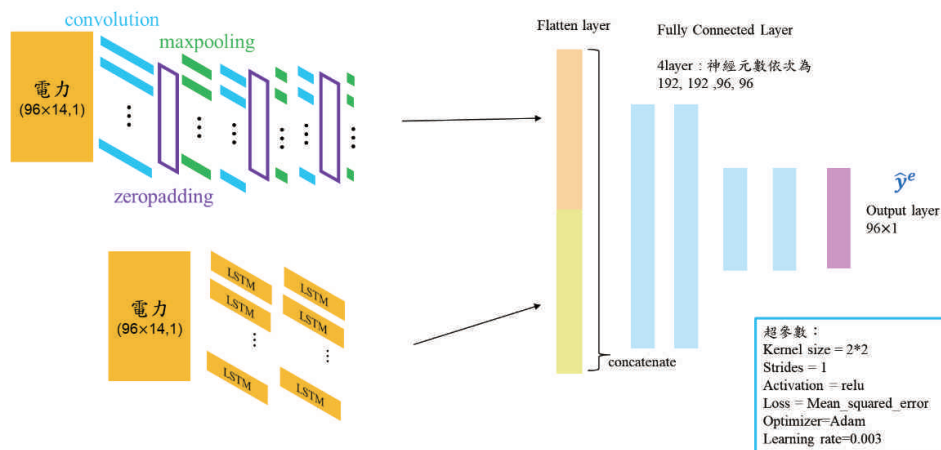
1 研究背景、目的、方法：

- 研究背景：電力需求預測準確性的變化，可能會對電力市場的運營產生重大影響。而負載預測表現受到數據變動也有顯著影響，並且沒有單一的預測模型，可以在所有模型中表現始終是最佳的，且僅以單個模型，對住宅用戶可能具有各類不同用電的預測要求亦不足以全部滿足，因此，考慮集成方法應用低壓 AMI 歷史用電資料，研究期望獲得更好的預測性能。
- 研究目的：過往研究應用低壓需量資料及住宅用戶之資訊，探討其用電特性時，著重於運用人工智慧及統計建模方法，建置用電量之預測架構與合適的模型，繼而研析住宅用電潛在影響以及各方面需求特徵。架構於既有基礎上，本研究結合 CNN-LSTM 和集成方法，以進行用電總量和個別用戶用電量預測。
- 研究方法：由既有研究結合卷積神經網絡及長短記憶模型之特性，所建置出一特徵融合的 CNN-LSTM 模型，並透過特定參數以訓練出單一住宅用電，以及選定單一村里用戶總用電量之預測模型（如圖 1、圖 2）。集成方法以總用電量的預測為例，將使用用電總量建立模型所得預測值 (\hat{y}^e) 與使用用電總量加溫度資料建立模型所得預測值 (\hat{y}^{et})，再經過迴歸模型的集成流程（如圖 3），通過使用多個學習器的結果，作為當前學習模型的使用和優化，以找到新的預測手法或提升預測效能。

2 成果及其應用：

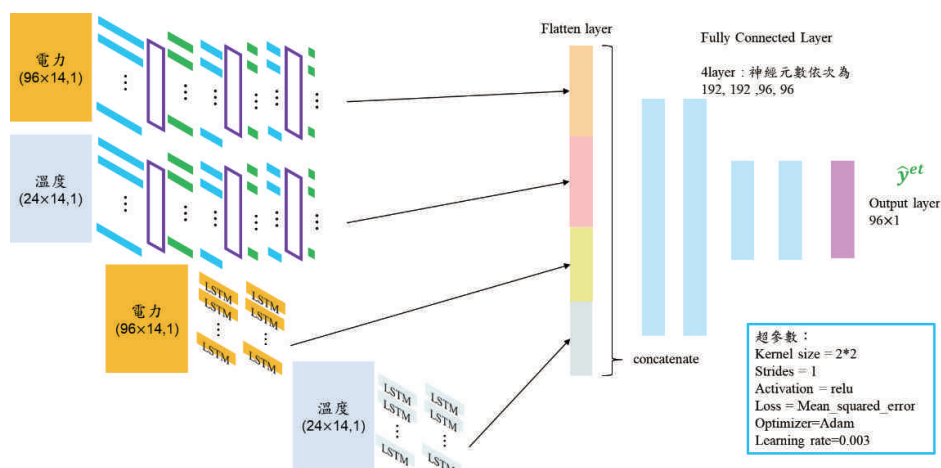
根據評估指標，對所提出方法的表現進行評估和比較。研究結果顯示，CNN-LSTM 集成模型能夠用以預測負載曲線，然而由於對資料

品質的要求、資料量以及運算效率等之考量，所建立的預測模型仍有改善空間，但整體而言，對於里的總用電量預測仍是有不錯的表現。



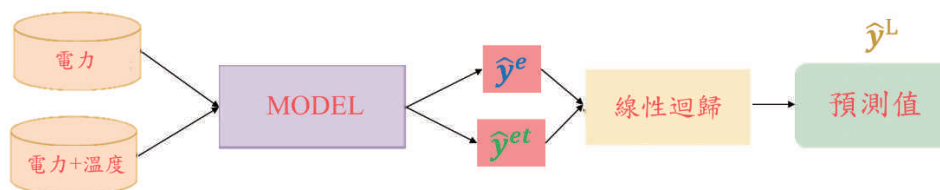
資料來源：本研究整理

圖 1 使用電力資料之 CNN-LSTM 模型架構圖



資料來源：本研究整理

圖 2 使用電力及溫度資料之 CNN-LSTM 模型架構圖



資料來源：本研究整理

圖 3 線性迴歸模型集成流程

研究人員：負載管理研究室：賈方霈、陳玉芬

再生能源電源高占比時段之負載提升需量反應機制研究

Research on the Excess Supply Demand Response Mechanism for High Renewable Penetration Abstract

Abstract

Taiwan's renewable energy installation capacity in Taiwan has increased rapidly in recent years, with a high penetration of renewable energy. The net load curve derived from the situation changes significantly, and the so-called "duck curve" pattern has emerged. Taiwan's renewable energy penetration rate has exceeded 20% many times during the occasions of winter when the power system is lightly loaded, as well as summer while peak loaded. It was updated to exceed 50% on February 11, 2024. This shows that the operation of the power system is necessary to take into account the power generation condition of renewable energy. Generally, traditional power system dispatching strategy mainly is to operating generators to meet the demand.

However, in a power system dispatching strategy driven by renewable energy, power consumption should follow power generation. Hence, Taiwan has officially rearrange the electricity price time zone in 2023 to respond to the high penetration of renewable energy through a demand-side management mechanism.

Demand response is one of the demand side management tools, and its methods include: "peak load curtailment", "increasing off-peak load", and "load shifting". The mechanism of utilizing "increasing off-peak load" type demand response to increase system net load becomes a critical issue for dispatching strategy that should be actively studied while renewable penetration rate is high.

1 研究背景、目的、方法：

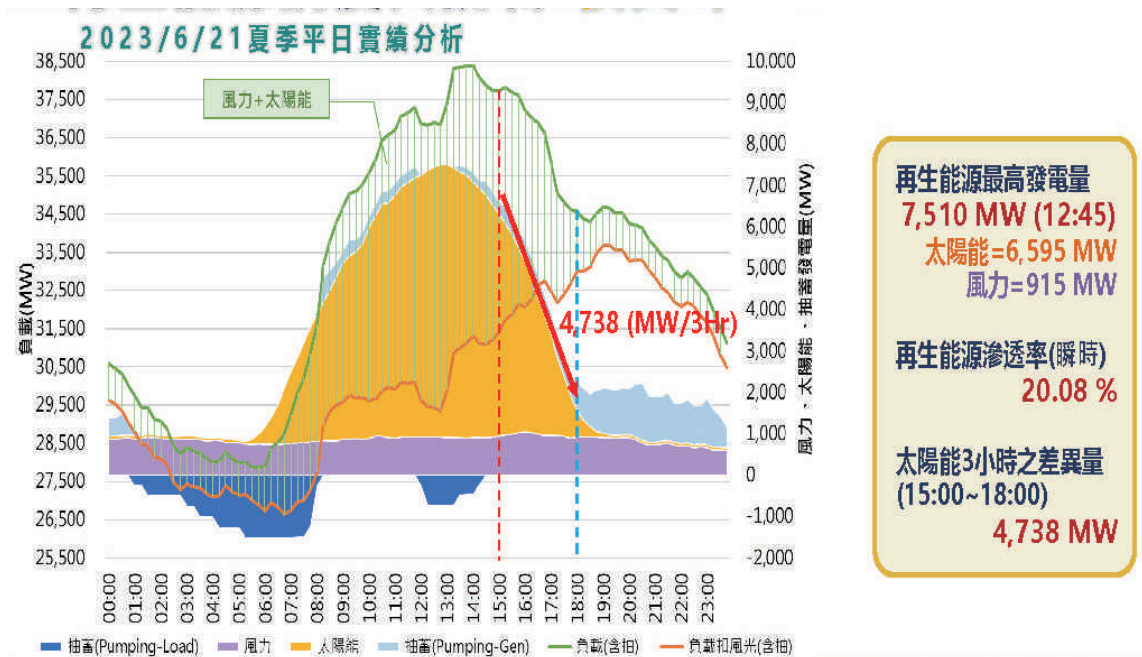
- 研究背景：我國再生能源裝置容量近年來快速增加，再生能源高占比之情形衍生之淨負載曲線變化明顯，所謂之「鴨子曲線」型態已然出現。過去我國再生能源滲透率於電力系統輕載之冬季，以及系統尖峰之夏季期間，均已多次超越 20% (如圖 1)，2024 年 2 月 11 日更達已經超過 50%，由此可見，電力系統之運轉操作已經必須顧及再生能源之發電情形。於以傳統發電機為主之電力系統調度策略中，發電量均以滿足用電量需求為目標；然而，當在以再生能源為主之電力系統調度策略中，反而應以用電量來追隨發電量。
- 研究目的：國內過往均以「抑低尖峰負載」方式，推動各項需量反應方案，甚且目前調度單位於因應尖峰負載型態改變之資源運用規劃中，對於需量反應仍以抑低淨負載尖峰為策略。在以再生能源為主之電力系統調度策略中，為減緩電力系統淨負載陡升幅度，藉由「提高離峰負載」模式拉抬再生能源高占比時段之電力系統淨負載量之機制，應為我國需量反應方案應積極研究評估之議題。
- 研究方法：本研究藉由蒐集國外執行負載提升需量反應之方案、機制案例，彙整研析其規則參數及回饋誘因設計之機制，完成一適用

於我國負載提升類型需量反應方案之研擬，並透過用戶拜訪分析評估具有負載提升類型需量反應執行潛力之產業用戶特性，招募用戶執行負載提升類型需量反應方案試驗，並根據試驗結果進行效

益分析，以提出適用我國之負載提升類型需量反應方案之運作模式及方案內容建議。並研析與規劃符合我國電力系統運作所需「以電力交易平台為基礎之需量反應提供電力不平衡服務」方案。

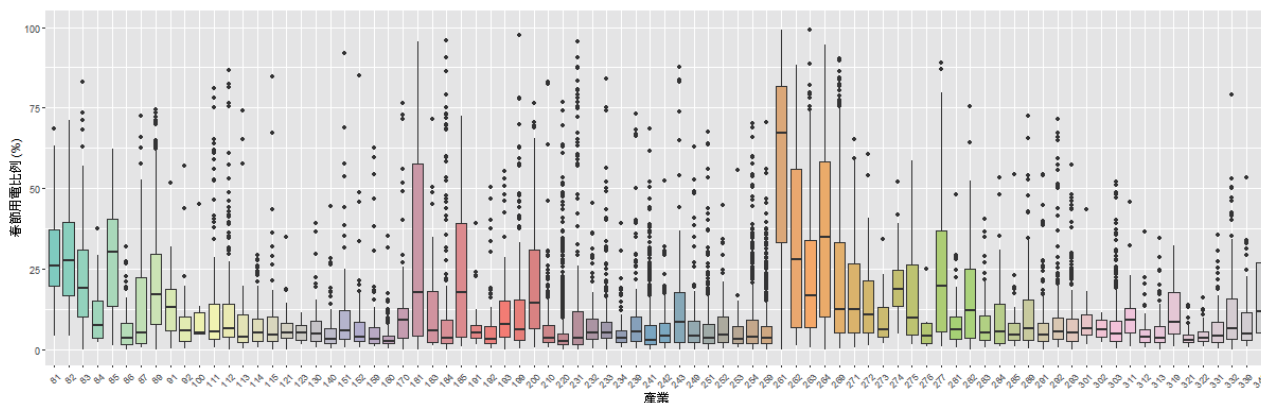
2 成果及其應用：

1. 本研究完成美國 CAISO、PG&E、夏威夷電力，日本東京電力、東北電力、九州電力、中部電力、Looop 電力、東京瓦斯、關西電力、中國電力，以及英國國家電網等 12 家電業之向上 DR 方案蒐集；並整理美國 CAISO、CPower 與澳洲 AEMO 等 3 項批發市場 DR 案例，據此研擬一套負載提升型 DR 試驗方案。
2. 本研究使用 AMI 資料進行製造業負載評估及各產業潛力排序 (如圖 2、圖 3)，並實際訪談 44 位用戶，了解其在再生能源高占比時段參與向上 DR 之可行性，歸納了 5 項主要限制，多與人力與製程特性相關。試驗部分共招募 7 家業者、49 個電號，總容量 2,700 kW。共執行 11 次調度，平均執行率 107%，平均增載比例 11%。其中，用水製造業表現最佳，執行率 95%；充電樁業者增載效益則受優惠方案影響，平均增載約占經常契約 7%。
3. 本研究依據試驗結果進行方案之修訂，並據以提出『以電力交易平台為基礎之需量反應方案』之具體建議。



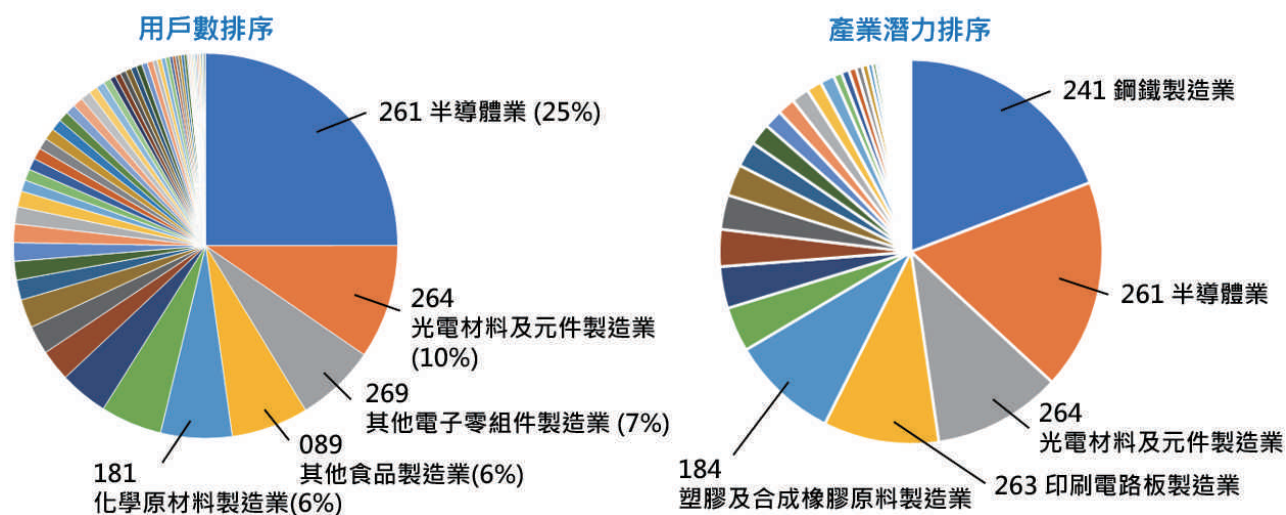
資料來源：本研究整理

圖 1 再生能源高滲透



資料來源：本研究繪製

圖 2 製造業 AMI 負載評估



資料來源：本研究繪製

圖 3 春節期間用電產業評估

研究人員：負載管理研究室：施政樟、陳俊瑋、張文奇、賴宜均

應用於虛擬電廠之短期負載預測研究

Research on Short-Term Load Forecasting Applied to Virtual Power Plants

Abstract

With the development of renewable energy and the digitalization of power systems, Virtual Power Plants (VPPs) have become an essential technology for energy management. VPPs integrate distributed energy resources (such as solar power, wind power, energy storage systems, and controllable loads) to simulate functions of a traditional power plant, enhancing grid stability and optimizing energy dispatch. By leveraging cloud technology, artificial intelligence (AI), and the Internet of Things (IoT), VPPs help reduce grid load stress and improve the efficiency of renewable energy utilization.

Load forecasting is a key technology for ensuring stable grid operation. By utilizing historical data, weather information, and machine learning algorithms, it predicts

future electricity demand. Load forecasting can be categorized into short-term (minutes to days), medium-term (weeks to months), and long-term (months to years), each serving different purposes such as real-time dispatching, electricity trading, and infrastructure planning. Accurate load forecasting enables VPPs to allocate energy resources more efficiently, reduce power supply costs, and lower carbon emissions.

This study focuses on short-term load forecasting, targeting 15-minute load over the next seven days. We construct a load forecasting model by considering climate, temporal factors, and historical load data, aiming to assist virtual power plants in executing ancillary services on the Electricity Trading Platform.

1 研究背景、目的、方法：

研究背景：虛擬電廠將眾多小型、分散的發電與儲能設備整合在同一個管理平台下，如同一座隱形電廠，可有效調整電網的供電量與用電量來維繫電網平衡，強化電網韌性。為使各資源有效運用並極大化電力經濟市場參與效益，短期負載預測具有高度重要性。

研究目的：結合近年發展之負載預測方法與虛擬電廠分散資源特性，建構未來七日負載預測模型。透過納入環境、電力交易平台等相關資料，結合歷史市場資料，提供收益最大化之投標與排程建議。

研究方法：研析國內外短期負載預測方法文獻，整理其應用於虛擬電

廠之相關案例。投入電力相關數據與氣候相關資料等，結合近年發展的預測與統計方法(如機器學習)，分析用戶負載與虛擬電廠分散資源特性，建構未來七日負載

預測模型。透過比較負載預測結果、投標建議與實績值，評估虛擬電廠於提升電網穩定之效益。

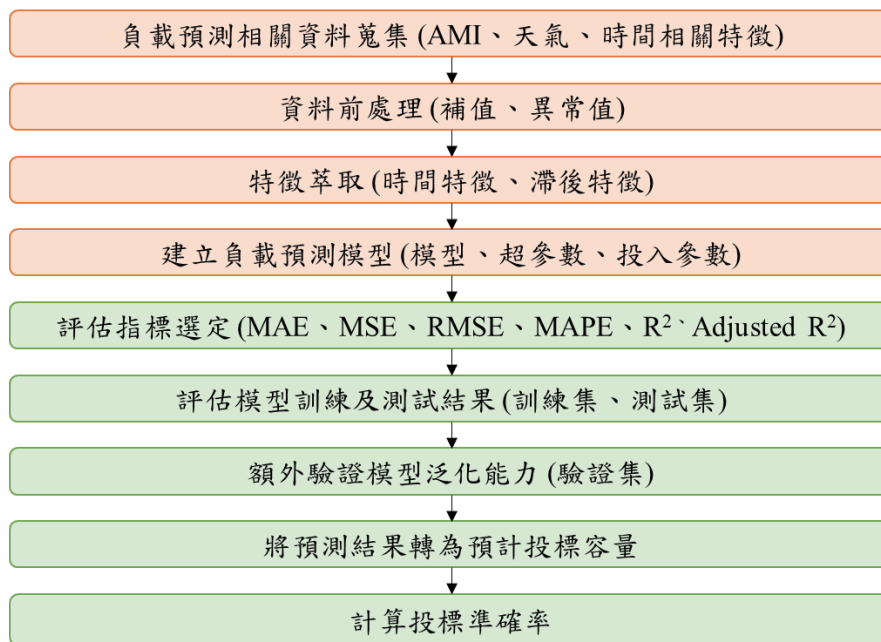
2 成果及其應用：

本研究以綜合研究所樹林所區為主要之負載預測目標，研發負載預測模型，將負載預測結果轉換為預計投標容量，自動化產生案場建議投標量，雖然可能會犧牲部分時段的投標量，但可改善高估實際用電量的情形，提升投標準確率，降低得標後無法成功抑低負載的風險。

從 15 分鐘 AMI 負載資料進行缺值補值、異常值等前處理，萃取出時間特徵與滯後之用電特徵，結合外部資料，如溫度、節假日等，建立未來 7 日 15 分鐘的負載預測模型，相關流程如圖 1 所示。每日自動化更新，配合輔助服務市場提供收益最大化之投標建議，極大化電力經濟市

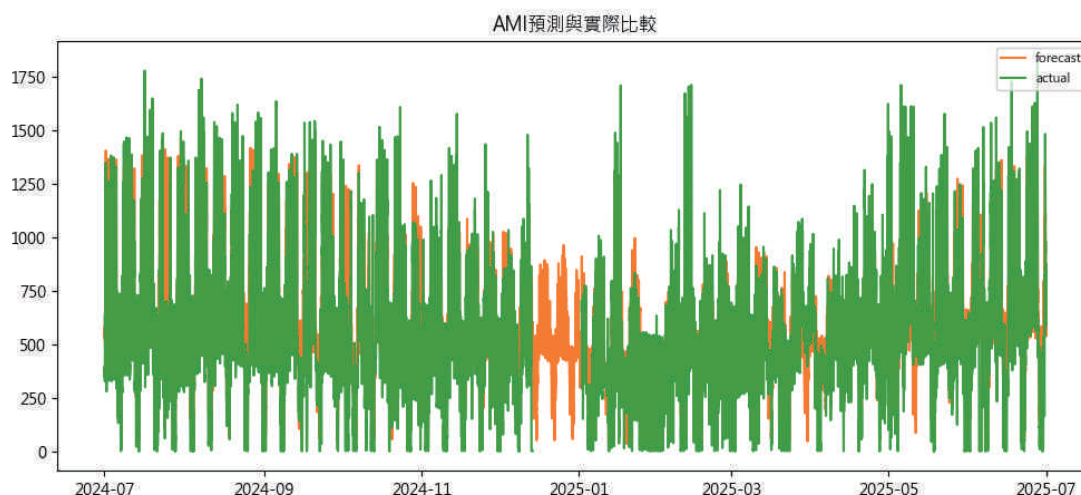
場參與效益。透過負載預測、投標建議與實績值之分析結果，可協助本公司快速且清楚掌握分散式資源於虛擬電廠所進行之調整，以及其對電網穩定之效益。本研究負載預測與實績值比較如圖 2 所示，單日負載預測與建議投標量則如圖 3 所示。透過自行研發模型，對樹林所區之負載特性有深入了解。

負載預測是高效資源調度的基礎，未來樹林所區可進一步研發微電網負載預測，優化資源配置，輔以虛擬電廠精準投標，提升營運效率。另一方面，預測結果可為管理人員提供重要的數據支持，協助管理者做更具前瞻性的決策。



資料來源：本研究繪製

圖 1 本研究負載預測流程圖



資料來源：本研究繪製

圖 2 本研究負載預測與實績值之比較圖



資料來源：本研究繪製

圖 3 本研究單日負載預測與建議投標量之視覺化圖表

區域用電量預測與尖離峰趨勢差異分析研究

Regional Electricity Demand Prediction and Analysis of Peak-Off-Peak Discrepancies

Abstract

This study proposes a comprehensive data cleaning and forecasting methodology to address the frequent issues of substantial missing values and anomalies in Advanced Metering Infrastructure (AMI) data, aiming to enhance demand forecasts for high-voltage and low-voltage users. Through Exploratory Data Analysis (EDA), we found that some users' records were incomplete and contained abnormal timestamps and outliers. Finally, we extracted essential consumption patterns via Functional Time Series Analysis (FTSA), reducing high-

dimensional time series to several principal features, and integrated them individually with ARIMA, ETS, and Random Walk (RW) models to forecast AMI data for 2023 and evaluate forecast performance. The results show that, for low-voltage users, "NIPALS Imputation + FTSA + ARIMA" achieved the highest accuracy, effectively capturing seasonal fluctuations with an average RMSE of approximately 98.11, RMAE of 8.685, and MAPE of 11.57% for two administrative districts (Lis), significantly outperforming ETS and RW.

1 研究背景、目的、方法：

研究背景、目的：本研究結果針對低壓智慧電表 (Advanced Metering Infrastructure, AMI) 資料中常見的大量缺失值與異常值問題提出一套完整的資料清理與預測方法，以提升高壓用戶及低壓用戶年用電量曲線預測的準確度。首先透過探索性資料分析 (Exploratory Data Analysis, EDA) 發現部分用戶的紀錄多有不完整，且存在異常時間戳記與離群值，因此在資料前處理階段去除無效用戶 ID 以及不合理時間戳記，並且透過 DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 演算法找出離群值，篩選出

缺失比例過高的用戶予以排除。

研究方法：計畫建構一套時序補值策略搭配 NIPALS (Nonlinear Iterative Partial Least Squares) 方法對個別用戶 AMI 資料進行補值 (如圖 1)，以保留主要變異結構並減少插值失真，並整合成各年度歷史總用電曲線資料結合函數型時間序列分析 (Functional Time Series Analysis, FTSA) 方法萃取用電曲線的關鍵模式，將高維度的時間序列壓縮成數個主要特徵，再分別結合 ARIMA、ETS 及 RW (隨機漫步) 模型對 2023 年的 AMI 資料進行預測及後續模型評估。

2 成果及其應用：

結果顯示，在低壓用戶部分，採用「NIPALS 補值 + FTSA + ARIMA」的組合準確度最高，能有效捕捉季節性波動並使兩個里的平均 RMSE 約為 98.11、RMAE 約為 8.685、MAPE 約為 11.57%，顯著優於 ETS 與 RW；ETS 雖能產生

較平滑的趨勢，但在季節性強烈時略顯不足，RW 則對短期變動過於敏感而造成長期不穩定。

至於高壓用戶部分，雖然整體補值與 FTSA 步驟同樣有效，但由於高壓用戶用電規模與行為模式較

為特殊，各模型在該數據上的預測表現也與低壓用戶有所差異，尤其必須考量高用電量帶來的連續性與波動性。在尖離峰的預測上，只要測試資料的分佈並沒有明顯

的偏移於訓練資料，我們提出的方法也有不錯的表現，尤其寶興里的低壓用戶在尖峰時區的預測有 70% 的準確率，而離峰時區的預測則有 99% 的準確率。



資料來源：本研究整理

圖 1 資料處理流程圖

研究人員：負載管理研究室：賈方霈、張文奇、陳玉芬

太陽光電結合儲能計量及再生能源數據應用精進之研究

Research on Advancing Renewable Energy Data Applications through the Integration of Solar PV and Energy Storage

Abstract

The Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs (MOEA), in order to promote the integration of energy storage systems with solar photovoltaic (PV) power generation equipment (hereinafter referred to as PV storage sites) so that PV power can be discharged according to schedule or used to execute schedule commands after storage, thereby promoting the maximization of feeder utilization rate and to increase in

the number of solar PV power generation equipment. In accordance with the "Year 113 Renewable Energy Tariff and its Calculation Formula", the government is now revising the "Key Points for Bidding and Capacity Allocation of Solar Power Generating Equipment" to implement the bidding, dispatching and billing rules for solar energy storage system.

1 研究背景、目的、方法：

研究背景：經濟部為推動儲能系統結合太陽光電發電設備(以下簡稱光儲案場)，使太陽光電之電能經儲存後得依排程放電或用以執行調度指令，從而促進饋線利用率最大化及提升太陽光電發電設備建置量，爰依「一百十三年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」規定，刻正進行該年度「儲能系統結合太陽光電發電設備競標及容量分配作業要點」(以下簡稱光儲要點)修訂，以執行太陽光電結合儲能系統之競標、調度及計費規則。

研究目的與方法：因應光儲業者併網樣態多元，以及能源署研擬修訂「電業登記規則」規劃擴大儲能系統結合風力案場之政策，在既有 TPRE 光儲案場電表機組架構計費功能基礎上，新增風力案場計量及多儲能機組分批併網計費功能，

以利台電公司依據光儲相關法規及政策履行與光儲業者簽訂之購電合約，並擴充中介系統電表電量數據統計應用分析功能，以提供主管機關及台電公司評估儲能系統對電網溢注及反應速度，俾未來制定光儲發展策略參考。

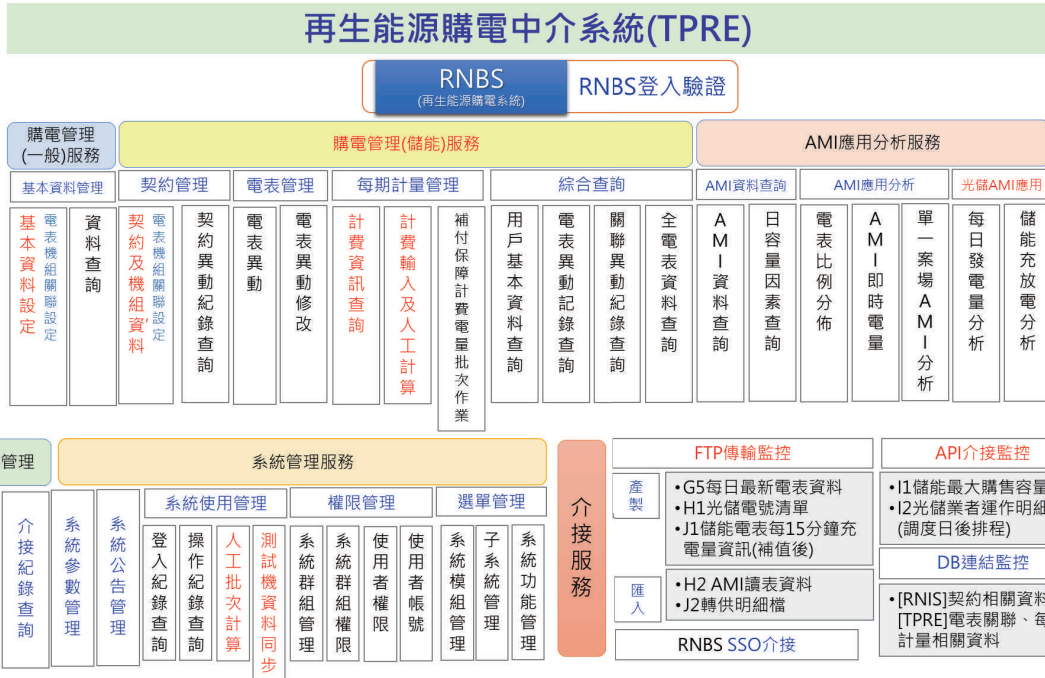
本研究在上述系統面的主要功能擴增及精進任務下，主要目標可歸納為以下三點：

1. 蒐集國外再生能源搭配儲能系統之政策、儲能調度及市場交易機制。
2. 配合光儲要點及電能轉供機制滾動修正再生能源中介系統 (TPRE) 計費公式。
3. 優化調整 TPRE 使用者體驗，調整系統電表資料介接處理，並就相關光儲案場資料進行應用分析。

2 成果及其應用：

本研究案透過現行作業、業務規定及相關系統解析、相關文獻資料蒐集及討論，再經過業務單位的實務運作需求和政策之調整，確認

再生能源購電中介系統 (TPRE) 相關功能架構之精進擴充服務架構(如圖 1)。



資料來源：本研究整理

圖 1 TPRE 系統功能架構

透過文獻資料蒐集及探討，從國外再生能源結合儲能之背景、出發點與欲達成之目標，進一步了解臺灣電網之特殊性，以提供業務處研擬相關政策參考。

依據本公司相關政策推動及施行，以及各期光儲案場併聯之電表機組樣態變

化，滾動修正再生能源中介系統 (TPRE) 計費公式，並進行介面優化設計 (如圖 2)，輔以區處人員快速設定與每期之驗證正確。針對精進服務功能規劃二階段開發建置，並依照資訊使用需求進行相關功能調整與上線。



資料來源：本研究整理

圖 2 介面優化設計

研究人員：負載管理研究室：賈方霈、張文奇

同步調相機於電力系統穩定度之應用研究

The Application of Synchronize Condenser on Power System

Abstract

When a large amount of renewable energy integrating into power system, this impacts system inertia and system strength. System inertia is primarily related to frequency stability, while system strength is related to voltage stability and also affects the control and protection of inverter based power sources.

To address this, this research focuses on synchronous condenser. The study includes literature review, the construction and testing of a demonstration system, and power system simulation. The literature review covers how synchronous condensers

can support power system operation, their working principles, methods for rebuild existing units, and key research topics. The demonstration system, which includes a 6.4 MVA synchronous condenser, details the testing environment, procedure, and results.

Finally, using the DIGSILENT PowerFactory simulation software, creates synchronous condenser model and various system scenarios. The aim is to evaluate the support and effects that synchronous condensers can provide during events such as grounding faults and generator trips.

1 研究背景、目的、方法：

隨再生能源大量加入系統，其發電量取代傳統同步發電機組，造成系統上併網運轉的同步旋轉機組數降低，進而影響系統慣量。當系統慣量降低時，將影響系統頻率之穩定，於系統發生擾動時，會有較大的頻率波動幅度與斜率，增加了系統不穩定的風險。為了維持系統上有足夠的慣量，可從再生能源端解決，將變流器電源改為具電網形成 (Grid Forming) 功能之設備。另外，也可裝設同步調相機，藉由增

加系統上之同步旋轉設備，進而提供系統所需的慣量。

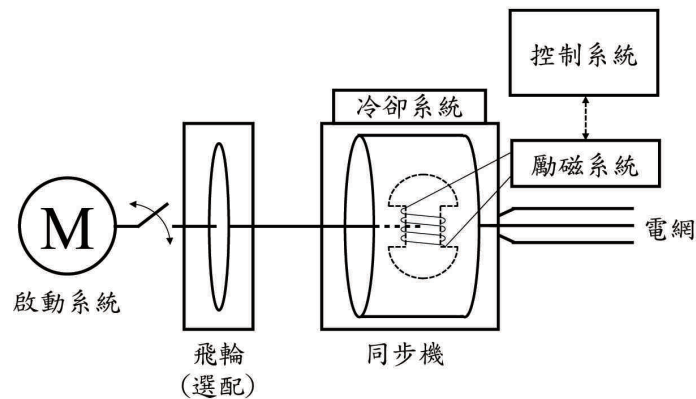
本研究以同步調相機為標的進行相關研究，蒐集相關技術資料、研究文獻，以及國際間實際案例與應用情境。另外，於樹林所區建置示範系統，量測並分析其動作特性、效能以及運轉成本。最後，利用電力系統模擬，評估同步調相機於系統上的響應，以了解未來實際規劃階段應注意的重點。

2 成果及其應用：

因 IBR 非旋轉設備不具備實體旋轉慣量，隨 IBR 占比上升將造成系統旋轉慣量下降，影響頻率穩定度。另外，因 IBR 亦無法提供大量故障電流，IBR 占比上升時也會造成系統短路容量下降，減少系統強度，影響電壓穩定度，也可能影響 IBR 控制與保護。除了上述主要影響，高 IBR 占比下，系統也會面臨虛功或電壓調控，以及系統震盪等議題。

本文探討以同步調相機作為系

統輔助設備之執行作法。同步調相機組成與傳統旋轉機組十分類似，簡易架構如下圖 1，運轉時相當於一部沒有負載的同步電動機，藉由控制系統調整勵磁系統，使同步調相機運轉於不同虛功工作點，由系統吸收虛功，或提供虛功至系統。不僅組成類似，可提供給系統的輔助也部分相同，包含旋轉慣量、短路容量並穩定電壓等。甚至加裝額外控制設備後，還可抑制系統震盪。



資料來源：本研究彙整

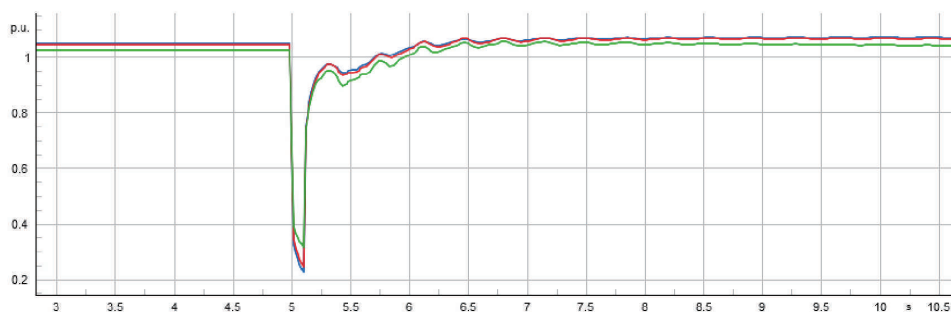
圖 1 同步調相機簡易架構

本案於本所樹林所區建置同步調相機 1 套，並進行相關測試與分析。為驗證功能與確認運轉特性，測試項目包含定虛功測試、自動虛功調控測試，以及耗能測試等。測試結果重點包含：

1. 系統於完全靜止狀態下啟動後，約可於 150 秒內達併網條件，並於啟動後 200 秒內可完成併網。
2. 由 0 kVar 轉態至吸收 500 kVar，反應速度約為 1.45 秒；由吸收 500 kVar 轉態至提供 500 kVar，反應速度約為 1.58 秒。此反應速度可藉由 AVR 調整精進，將待微電網整合驗證場域完整建置後，進行調校與更大規模測試。
3. 自動虛功調控完成 120 小時測試，功能正常。統計此區間輔電使用量，也可看作此系統之運轉成本，共消耗

12.762MWh，平均每小時耗能 106.35 度電。

本研究也模擬了多個系統情境，並搭不同的系統事件，包含接地故障與發電機跳脫。以接地故障事件來說，同步調相機裝置容量愈大，對於系統壓降的改善效果也愈好，改善效果如圖 2。但是，當同步調相機慣量常數較低時，其與系統間的動態響應也會造成頻率的波動。若可增加其慣量常數，例如加裝飛輪，則可降低對頻率的影響，改變頻率的震盪幅度與震盪頻率。另外，加入同步調相機可增加系統旋轉慣量。於跳機事件中，不僅降低事件初期的 RoCoF、提升頻率最低點，也可延後頻率最低點出現時間，使輔助設備有更充裕的時間進行反應。



資料來源：本研究彙整

圖 2 同步調相機改善併接點電壓降幅 (綠線)

研究人員：電力研究室：吳承翰、王永富、賴凱右、廖清榮

以廣域量測系統進行系統即時調頻輔助服務需求量估測

Estimation of System Real-time Frequency Regulation Ancillary Service Demand Using Wide Area Measurement System

Abstract

This paper studies the demand assessment of real-time frequency regulation ancillary services in Taiwan's power system in response to the high proportion of renewable energy. It integrates the minimum frequency prediction model for the N-1 event with the FRR and AFC frequency regulation reserve prediction models for energy storage. A real-time prediction webpage for reasonable frequency regulation reserve capacity is established on the Taiwan Power Company's Wide Area Measurement System (WAMS) website. This webpage presents a trend chart of the estimated frequency of the maximum unit trip and the required frequency regulation reserve capacity. This forecast aims to ensure that the system frequency remains above 59.5 Hz during an N-1 event, based on the real-time frequency regulation reserve capacity of energy storage AFC. Furthermore, considering the energy storage AFC frequency regulation reserve capacity, the webpage estimates the trip amounts at 59.5 Hz and 59.2 Hz,

providing a reference for system operation and dispatch personnel to schedule relevant unit operations. This webpage can be simultaneously accessed at the northern and southern CDCC dispatch centers to ensure the reliability of the power supply.

In the future, it can be integrated into the power trading center as the basis for purchasing FRR and energy storage AFC frequency regulation reserve capacity. In addition to purchasing reasonable FRR and energy storage AFC reserve capacity in the market on the previous day, it can also be used as the basis for real-time FRR and energy storage AFC procurement. As a reference, under the premise of stable system power supply, purchase an appropriate amount of frequency regulation and standby capacity to avoid cost waste caused by excessive purchase and system frequency disturbance caused by the largest unit tripping due to insufficient purchase, which triggers under frequency load shedding and affects user power supply.

1 研究背景、目的、方法：

本文針對台灣電力系統因應再生能源高占比議題之系統即時調頻輔助服務需求量評估進行研究。整合系統 N-1 事件最低頻率預測模型與 FRR 及儲能 AFC 調頻備轉預測模型，在台電廣域量測系統 (WAMS) 網頁下，建立系統合理調頻備轉容量即時預測網頁，呈現系統即時最大機組跳脫預估頻率與所

需調頻備轉量趨勢圖，以使系統發生 N-1 事件時，系統頻率維持於 59.5 Hz 以上之儲能 AFC 即時調頻備轉量預測，如圖 1 所示，另在考慮儲能 AFC 調頻備轉量之情境下，預估系統碰觸 59.5 Hz 及 59.2 Hz 之跳脫量，供系統運轉調度人員進行相關機組運轉排程之參考，本網頁可同時於南北 CDCC 調度中心同

時開啟，如圖 2 所示，以確保系統供電可靠度。

未來可整合至電力交易中心做為 FRR 與儲能 AFC 調頻備轉容量採購之依據，除了日前市場採購合理 FRR 與儲能 AFC 備轉容量之依據外，亦可做為即

時 FRR 與儲能 AFC 採購之參考，在系統供電穩定前提下，採購適量之調頻備轉容量，避免過度採購造成成本浪費與不足之採購量導致系統發生最大機組跳機產生之系統頻率擾動，造成觸動低頻卸載影響用戶供電之情境發生。

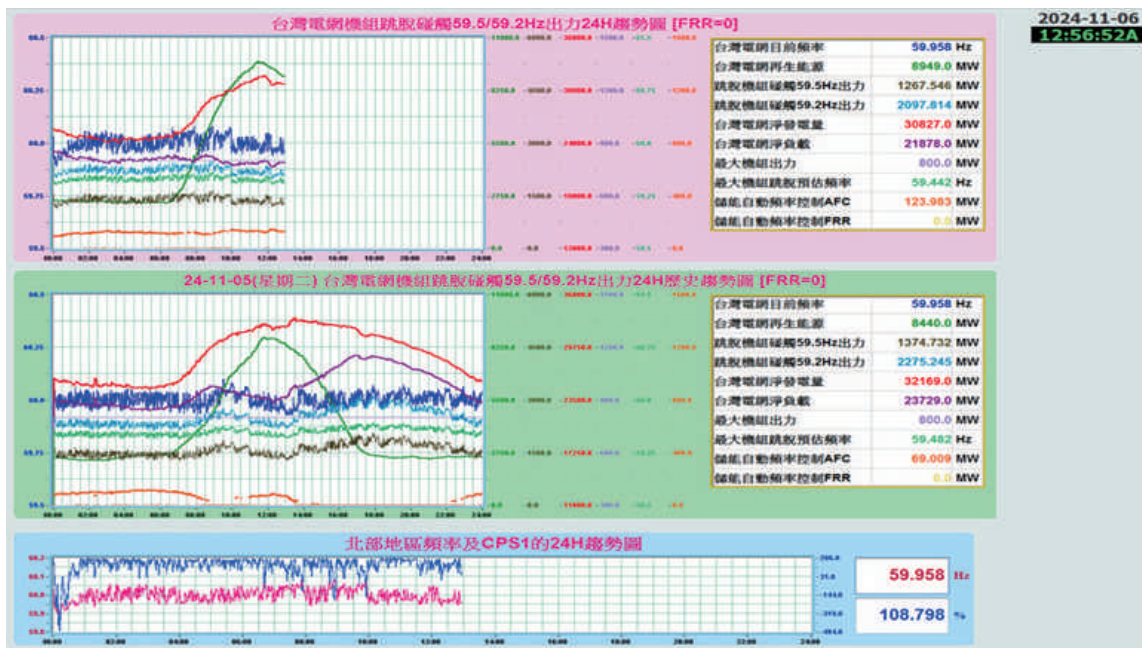
2 成果及其應用：

以 2024 年本公司日前市場調頻輔助服務 dReg0.25 採購需求，係採定量之方式進行採購，然系統淨負載隨負載變動與再生能源出力之情境變動，導致系統因應最大發電機組跳脫，以將系統頻率抑制在 59.5 Hz，所需之調頻輔助服務 dReg0.25 量並非定量，應更精確的根據系統狀況，在系統供電穩定前提下，採購適量之調頻備轉容量，避免過度採購造成成本浪費與不足之採購量導致系統發生最大機組跳機產生之系統頻率擾動，造成觸

動低頻卸載影響用戶供電之情境發生。

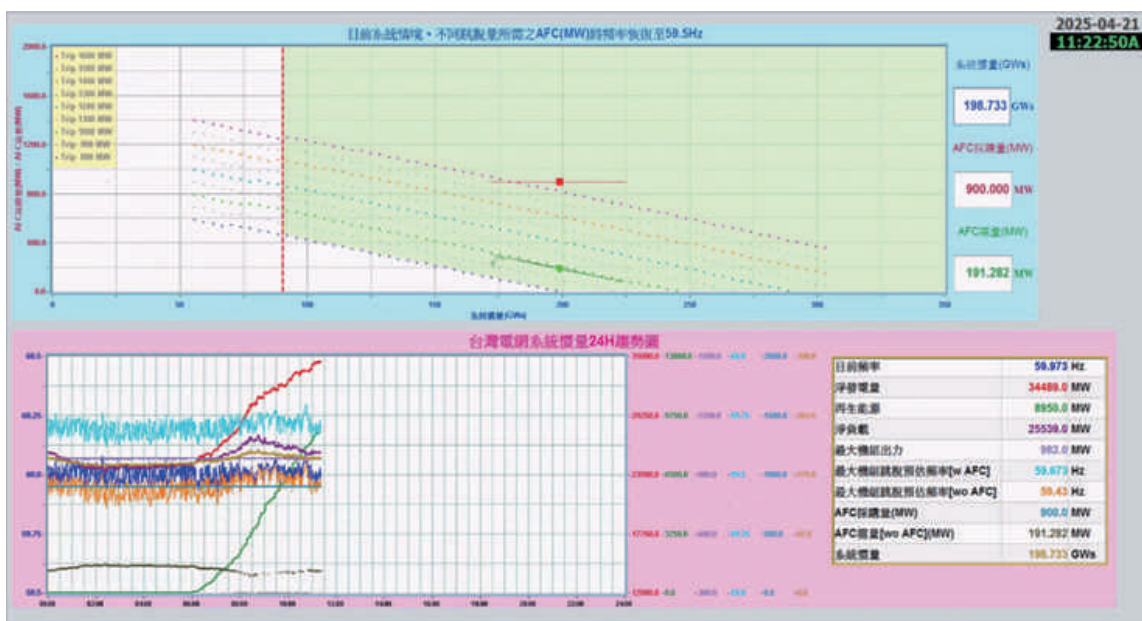
本文分析 2024 年 8784 小時系統因應 1000 MW 機組跳機所需採購之 dReg0.25 量與本公司固定採購量差異如圖 3 所示，整年實際之需量占實際採購量約 44.05%，顯示整年多發一倍以上之經費採購 dReg0.25。2024 年本公司採購 dReg0.25 之效能費率約 15.372 億元，如以實際需量進行採購則可節省約 8.6 億元。

二、研究發展主要成果—（五）智慧電網與監測診斷



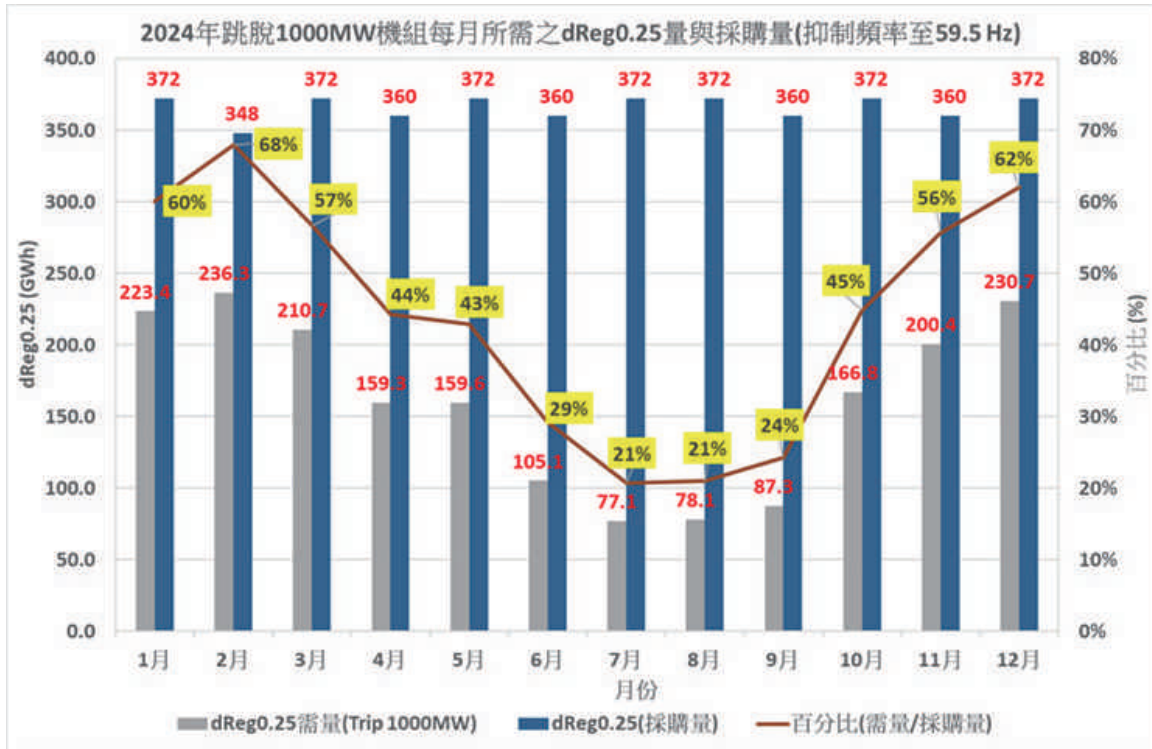
資料來源：本研究彙整

圖 1 2024/11/06 系統即時儲能 AFC 調頻備轉需求量預測趨勢圖



資料來源：本研究彙整

圖 2 即時慣量與調頻備轉決策支援系統



資料來源：本研究彙整

圖 3 2024 年系統因應 1000MW 機組跳機每月所需之 dReg0.25 量與實際採購量差異圖

研究人員：電力研究室：廖清榮、王永富、吳承翰、賴凱右、曾彬鴻、謝曉惠、江文莊

PSS®E 自動化分析介面開發研究

Research on the Development of PSS/E Automatic Analysis

Abstract

This study develops an automated power system simulation platform integrating Python with the PSS®E to streamline labor-intensive analysis. By combining a Django-based web interface with modular APIs, the platform automates power flow, fault current, and transient stability simulations. It translates manual procedures into intuitive, graphical workflows, supporting batch parameter adjustments and automated report generation. The backend manages

simulation execution and data parsing, while the frontend optimizes user interaction for parameter setting and result previewing. This integration significantly reduces repetitive workloads, minimizes input errors, and ensures consistency across routine power grid planning tasks. Overall, the platform enhances operational efficiency and provides a scalable foundation for future grid studies.

1 研究背景、目的、方法：

隨著全球能源轉型與碳中和趨勢，臺灣電網正大量併入具間歇性與波動性的再生能源（如風能、太陽光電及儲能系統）。這使得電力系統架構日益複雜，電網調度與穩定性分析的負擔大幅增加。目前電力系統模擬（如電力潮流、短路電流、暫態穩定度等）仍高度依賴人工執行繁瑣的建模、參數調整與結果彙整步驟，不僅作業效率受限，亦存在人工輸入錯誤的風險。為維持電

力規劃的品質與效率，亟需開發一套整合現有模擬軟體 PSS®E 與自動化技術的分析平台。

以 Python 語言為核心，調用 PSS®E 應用程式介面 (API) 進行底層模擬運算，包含模型檔案 (RAW、SEQ、DYR) 的自動載入與解析。再利用 Django 框架搭建 Web 後端，負責執行模擬控制、數據存取與結果產出，架構如圖 1。

2 成果及其應用：

本研究旨在建置一套整合 Python 與 PSS®E API 的自動化模擬分析平台，具體成果如下：

1. 流程自動化：開發電力潮流、故障電流及暫態分析自動化模組，確保分析流程的一致性與準確性。
2. 多情境批次處理：支援 N-1、N-2 及大規模故障電流分析等複雜情境的批次模擬，降低重複作業成本。
3. 友善操作介面：設計網頁化前端介面，讓工程人員能直覺設定參數、啟動分析並即時預覽結果，

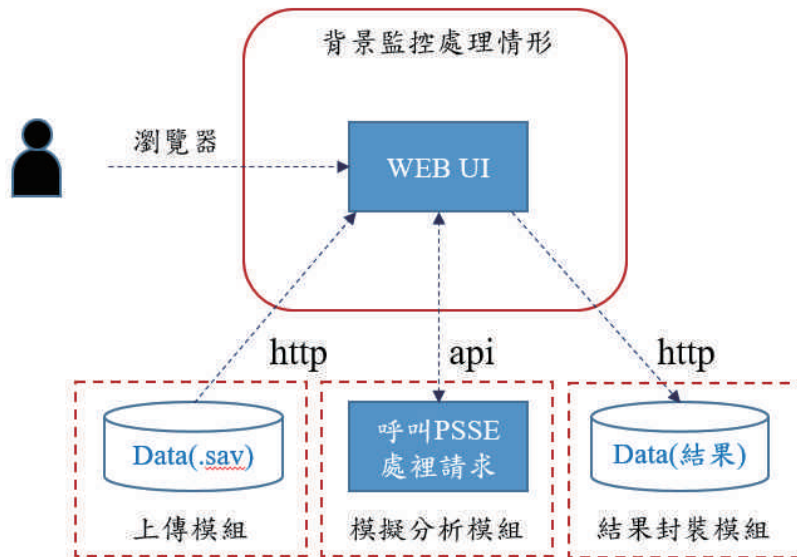
如圖 2。

4. 模組化擴充性：採用模組化架構設計，確保系統能隨未來電網需求彈性擴充元件功能與情境邏輯。

本研究之開發成果具備高度的實務應用價值，能直接融入日常業務流程，針對日益增長的新興能源併網案件，提供快速初審與系統安全檢討的技術支援。透過自動化流程的導入，不僅能大幅減少人工手動操作可能產生的誤差，確保產出格式統一且數據精確的分析報告，進而強化跨部門間的溝通與決策效

率。此外，平台將工程人員從冗長、重複的模擬作業中釋放出來，使其能將核心專業專注於電網穩定對策的深度研析與優化。長遠而言，本平台所建立之模組化架

構亦為未來發展奠定穩健基礎，可彈性延伸至區域電網穩定性監控，或進一步開發為更先進的智能調度決策支援系統。



資料來源：本研究彙整

圖 1 整體系統架構圖



資料來源：本研究彙整

圖 2 PSSE 自動化平台介面圖

研究人員：電力研究室：謝曉惠

資訊與通信研究室：郭家宏

虛擬同步機頻率電壓控制模型參數探討

The Study of Frequency and Voltage Control Model for Virtual Synchronous Machine

Abstract

This study investigates Virtual Synchronous Machine (VSM) technology in low-inertia power systems by developing VSG control models and conducting stability analyses. Using MATLAB and DigSILENT PowerFactory, the research compares VSG performance with traditional generators and examines the impact of virtual inertia and damping on dynamic stability. Furthermore,

a comprehensive evaluation framework is proposed for parameter selection and capacity sizing, considering constraints like RoCoF and load support. Validated by a real-world case study, this research provides a foundational reference for designing and planning advanced converter-based energy storage and renewable systems.

1 研究背景、目的、方法：

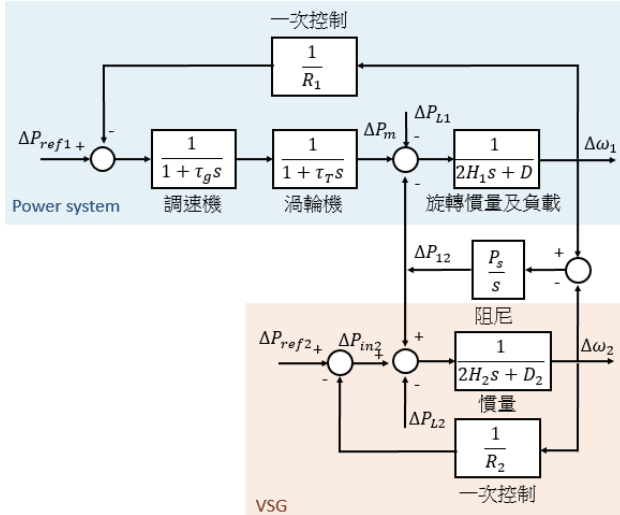
本研究針對虛擬同步機 (Virtual Synchronous Machine, VSM 或稱 VSG) 於低慣量電力系統中之應用進行深入探討，主要內容包括 VSG 控制模型建構、小訊號穩定度分析、動態響應模擬及參數評估策略建立。首先，建立 VSG 之實功－頻率與虛功－電壓控制模型，並分析其與傳統同步機組在孤島與併網運轉模式下之控制行為差異。接著，透過 Matlab 與 DigSILENT PowerFactory 建構模擬平台，探討不同虛擬慣量、阻尼參數、系統

強度與傳輸線阻抗條件下 VSG 對系統動態穩定性的影響。進一步提出一套控制參數與容量大小之評估流程，涵蓋跳機事故後扛載需求、出力過衝與 RoCoF 限制等設計條件。最後，將所建模型與評估方法應用於實際電力系統案例，並研析其在頻率穩定性及電壓支撐方面之效益。本研究內容可作為未來 VSG 控制技術設計、模擬與規劃之基礎，協助推動新型變流器技術於儲能及再生能源系統中之應用與整合。

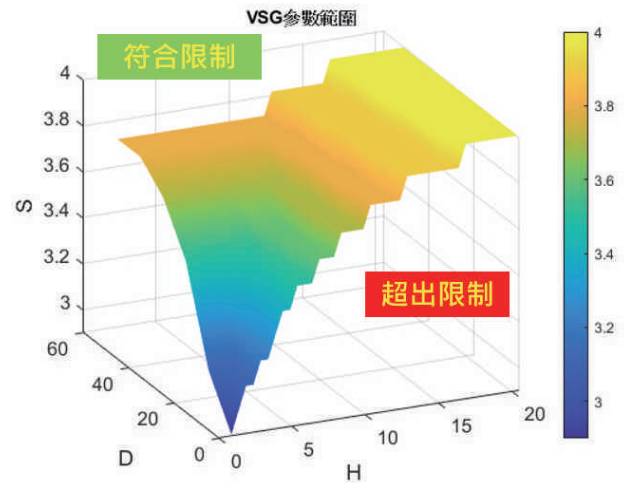
2 成果及其應用：

1. 線性化電力系統頻率動態行為，整合並建立 VSG 與系統之小訊號穩定度模型 (圖 1)，利用頻域分析特徵值來評估系統在微小擾動下的響應能力。
2. 提出一套系統化的評估策略，用以篩選 VSG 的最佳容量及控制參數 (如虛擬慣量與阻尼)。該流程整合了四大關鍵設計限制：最大

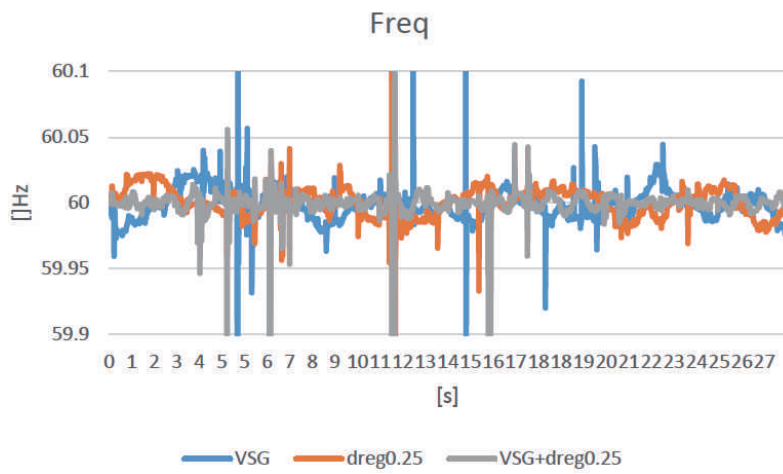
- 跳機量扛載需求、出力過衝限制、RoCoF 限制及系統穩定度。(圖 2)
3. 研究證實 VSG 具備優異的阻尼特性，能有效改善系統頻率最低點並抑低 RoCoF。在實際電力系統案例中，VSG 成功解決了原本採用 dReg0.25 控制策略可能導致的持續性頻率震盪問題。(圖 3)



資料來源：本研究彙整
圖 1 電力系統—VSG 之控制方塊圖



資料來源：本研究彙整
圖 2 VSG 參數範圍



資料來源：本研究彙整
圖 3 頻率震盪情境改善

研究人員：電力研究室：賴凱右、江文莊、廖清榮

利用電力系統強健度指標評估區域再生能源穩定性

Using System Strength Indices to Assess Regional Renewable Energy Stability

Abstract

Traditional power system stability can be divided into three major categories: frequency stability, voltage stability, and angle stability. These are based on the dynamic characteristics of synchronous generator units. With the increase in the proportion of renewable energy, the stability of renewable energy has become a critical issue to address in the future. Inverter base resources (IBR) use phase-locked loop (PLL) technology to track the system voltage in order to supply power. The

stability of the PLL depends on the short-circuit ratio (SCR) of the system. When the SCR is low, resulting in a weak grid condition that exceeds the design range of the PLL, IBRs are more prone to instability. Therefore, this paper first distinguishes grid conditions based on different short-circuit ratios, then analyzes the potential instabilities of renewable energy in weak grid scenarios, their impacts on the system, and corresponding improvements.

1 研究背景、目的、方法：

為達到淨零排放目標，需要整合大量再生能源，並且取代傳統發電機組，而傳統發電機減少，也會減少電網的短路電流以及系統慣量，對於系統來說會形成弱電網的情況 (weak grid)，而如何識別弱電網，以及事故擾動後變流器可能會有不穩定的情況，需要事先進行探討以及因應。

透過短路比來識別電網強度的

指標。系統短路比會慮系統架構、線路配置以計算出穩態短路電流分析結果，再利用分析結果篩選和識別互連再生能源的容量關鍵位置，並分析系統穩定性的影響。本文將探討各國電業對於強度應用情況，藉由計算各種電網強度指標並識別潛在的弱電網狀況，再針對再生能源較多之弱電網之區域，進行穩定度分析，以評估對系統造成影響。

2 成果及其應用：

系統上的短路電流，主要由傳統發電機組提供，因此系統慣量與電網強度兩者具相依性，系統慣量降低電網強度也降低。而與慣量不同的在於，慣量減少所帶來的頻率穩定度議題是屬系統性，電網強度所帶來的電壓穩定度議題，則是屬於區域性，電網強度越大，區域電壓受擾動後越容易穩定，反之亦然。以 IBR 特性而言，是利用鎖相迴路技術，鎖定系統電壓後，往電網注入電流，以提供電力，但鎖相迴路技術在電網強度低時，因感抗增加，系統發生擾動時，內部控制迴路會無法確實鎖定電壓，造成出力震盪，

進行引發 IBR 設備跳脫、保護電驛動作不如預期、或是影響電力品質，電力系統穩定度分類如圖 1。

法規要求部分，AEMO 是第 1 個針對電網強度的需求以及改善有進行詳細規範的電業組織，2016 年南澳發生全系統停電之後，AEMO 意識到系統必須保有足夠的慣性、強度以及頻率控制服務，以避免全系統停電得可能性，因此除了慣量需求外，亦開始針對電網強度需求進行定義，以確保 IBR 設備能夠正確運行。因此 2018 年因應澳洲的國家電力修正案，訂定管理電網強度的框架，定義每個區域的最小短

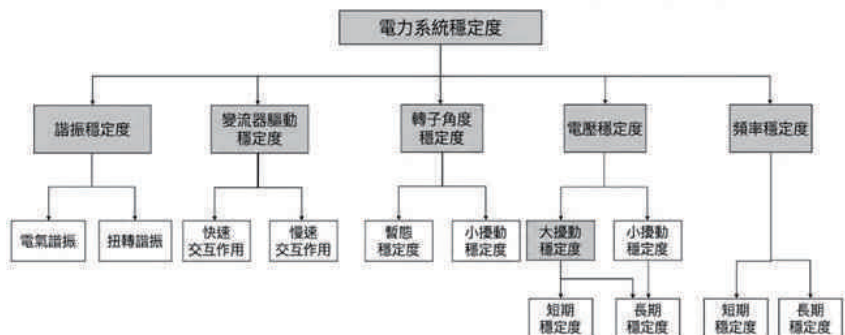
路容量，並由網路服務商維持。

2020 年開始，澳洲電網為因應 2050 淨零目標，藉由整合性系統計畫 (Integrated System Plan, ISP)，滾動規劃調整滿足未來能源需求所需要的發電、儲能以及電網投資，是一項由上至下的策略 (Top-Down) 作法。因此 AEMO 因應相關國家電力規則，再次修改電網強度規範內容，如增加電壓穩定波形的要求、電網強度是否能充分涵蓋未來 IBR 併網情況。因此必須針對短期以及長期系統情況進行電壓波形分析，而對於尚未有精確模型的長期系統情況，是可利用 RMS 為主的分析工具進行估算。

本公司模擬分析工具是以 PSS/E 為

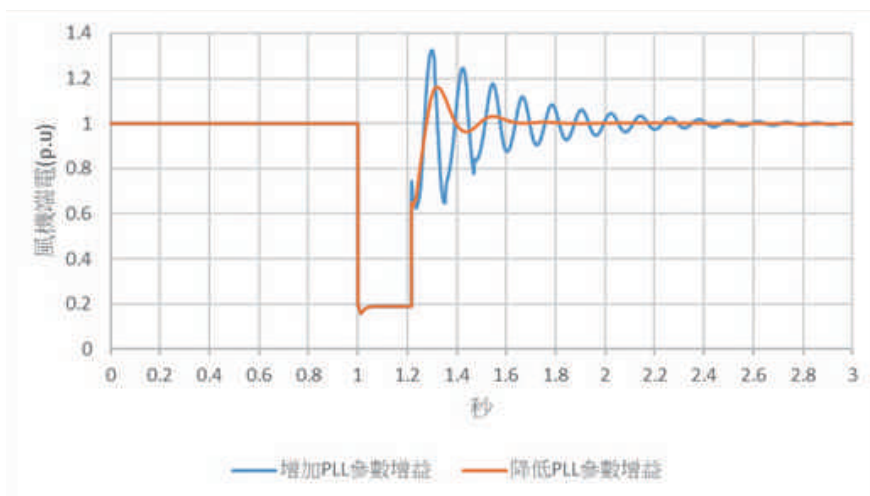
大宗，軟體已內建通用 IBR 動態模型，然 36 版以前，IBR 轉換器內的鎖相迴路控制功能為理想狀態，無法看出電網強度大小對 IBR 反應的影響，而 36 版有針對 IBR 轉換器內部鎖相迴路控制模型，提供通用的模型。而以圖 2 模擬結果來看，調整鎖相迴路增益參數，確實是可以模擬在弱電網情境下，觀察 IBR 的動態響應。

改善電網強度低的情境，以硬體作法，可以增設同步調相機，改善電網拓樸，增加系統短路比；而軟體作法部分，除先以模擬分析，了解電網強度低的併接點，IBR 設備可能會有的響應，後續可針對實際系統進行驗證。



資料來源：自行繪製

圖 1 電力系統穩定度分類



資料來源：自行繪製

圖 2 弱電網情境不同 PLL 參數增益響應

研究人員：電力研究室：王永富、吳承翰、廖清榮

考量高占比再生能源與儲能之離島電網低頻卸載策略精進作為 Improving Under-Frequency Load Shedding in High-Renewable Island Grids with Energy Storage Systems

Abstract

With rising renewable penetration in island systems, the shift to Inverter-Based Resources (IBRs) reduces system inertia. While Low Voltage Ride Through (LVRT) prevents tripping during faults, momentary power cessation still occurs. In systems with mixed equipment vintages, the slower

recovery of legacy units causes sustained power deficits, escalating voltage dips into severe frequency drops. This study simulates these dynamics in a real-world system to evaluate the effectiveness of existing Under-Frequency Load Shedding (UFLS) schemes.

1 研究背景、目的、方法：

大量的分散式電源加入系統，為電網規劃及運轉帶來挑戰，須確保在高佔比分散式電源發電的情境下，在穩態或事故下維持系統與電壓的可靠性，因此將針對分散式電源建立模型，並透過實際金門停電事故案例進行驗證，以精進變流器故障過渡能力，作為系統運轉之因應對策與改善措施。

1130709 金門停電事故後，重新評估即有低頻卸載策略，由 4 段

卸載改為 6 段卸載，但其過程僅依運轉排程考量不同發電機組跳機情況，並未考量太陽光電跳脫。因此本文利用 PSS/E 內建之 DER_A 模型，實現太陽光電低電壓持續運轉能力，模擬低電壓事故後，太陽光電不同回復發電情況，以類比壓降事故又引發供需失衡事件，在 6 段低頻卸載策略下，評估頻率回復情況。

2 成果及其應用：

電力系統所採用的低頻卸載策略，必須符合所有運轉情境，而過去以同步發電機為主的運轉情境，可進行不同負載情況下的機組跳脫組合搭配的模擬分析，即可得出相對應之卸載策略。而現今再生能源滲透率越高的運轉情境，白天會以太陽光電為主要發電來源，晚上則以同步發電機為主，而太陽光電為電力電子資源，發電運轉特性與同步發電機截然不同，在規劃低頻卸載策略時，需考慮電力電子資源的運轉特性，以因應不同運轉情況。以電網業者來說，系統發生事故時，會希望電力電子資源能夠像同步發電機般，主動提供實功以及虛功，支持系統頻率與電壓；但以目前電力電子資源而言，大部分皆為電網

跟隨模式 (Grid Following)，會偵測併接點電壓，再對電網注入電流，因此在電網發生事故時，若電力電子資源要輸出實功或虛功，其輸出電流可能會超過內部元件的耐流上限，造成設備損壞。因此在基於電網系統安全以及設備保護的權衡下，電力電子資源在低電壓事故時，會進入暫時停止運行，待系統電壓回復後，再回復發電狀態。

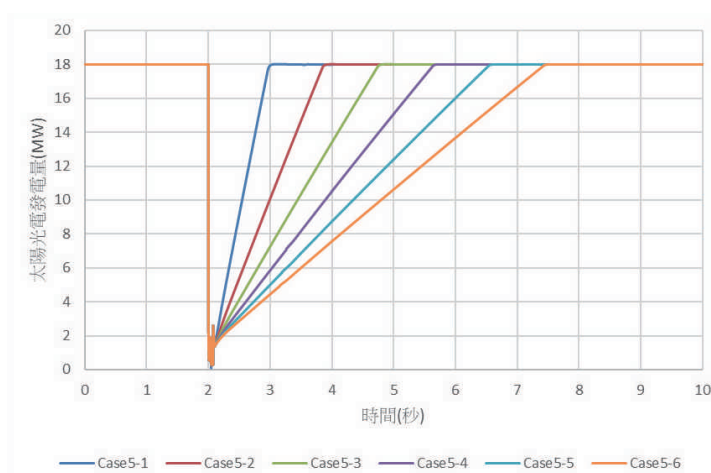
一般來說，太陽光電或風力發電，併入電網時會要求具備電壓或頻率異常的穿越能力，以因應系統異常後，能夠回復正常發電，然而以金門系統目前 (114 年) 再生能源併網情況而言，太陽光電僅符合 CNS15382 標準。因此本文利用 PSS/E 軟體內建之分散式再生能源

通用模型 (DER_A)，實現太陽光電低電壓持續運轉能力，並考量低電壓事故之情境，引發供需失衡事件，評估太陽光電歷經低電壓事故後，觀察頻率回復情況。

當太陽光電不具低電壓持續運轉能力情況下，低電壓事故時，可看成全數跳脫，而跳脫發電量越多，最低頻率也越低。太陽光電具備低電壓持續運轉能力時，太陽光電發電量回復時間，會影響頻率變化率以及最低頻率。若太陽光電能在低電壓事故後，最遲於 1 秒回復事故前發電量，對

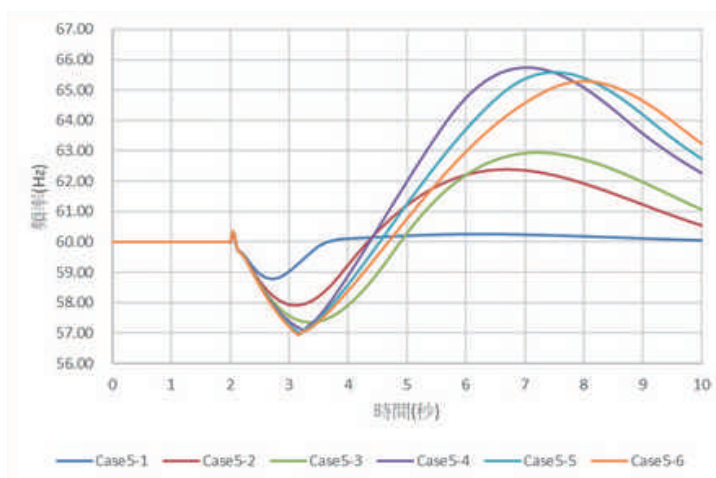
於頻率回復情況有極大助益如圖 1 以及圖 2，此響應行為即類似金門短效型儲能，快速放電，能夠支撐系統最低頻率。

1130709 金門停電事故後，相關單位亦著手進行設備標準或併網要點調整修訂，而完成之後，新加入或設備更新之太陽光電變流器，須具備電壓異常穿越能力，屆時將有符合不同時期設備標準之太陽光電皆在系統上運轉，以模擬結果來看，遭遇低電壓後之太陽光電發電量回復時間，應設定於 1 秒內。



資料來源：自行繪製

圖 1 低電壓事故太陽光電不同回復時間 (1 秒至 6 秒)



資料來源：自行繪製

圖 2 低電壓事故太陽光電不同回復時間對頻率影響

研究人員：電力研究室：王永富、吳承翰、廖清榮

IEC 61850 通訊測試平台研究

Research on IEC 61850 Communication Test Platform

Abstract

In recent years, Taiwan Power Company has been actively implementing and replacing its substation systems with those based on the IEC 61850 international standard for substation automation. Currently, the company has adopted a two-level and one-bus system architecture.

Taiwan Power Company has applied the GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event) communication protocol specified in the IEC 61850 standard to develop its own GOOSE logic strategy. Therefore, this study first analyzes the GOOSE logic strategies and establishes a communication test platform based on the typical IEC 61850 substation architecture. The GOOSE logic strategies currently implemented by Taiwan Power Company are configured into the IEDs. Through the

connection between actual IEDs and the communication test platform, the Sampled Values protocol is used to simulate scenarios in which the GOOSE logic strategy is applied to the IEDs, in order to test the internal logic configurations of the IEDs.

This study establishes an IEC 61850 communication testing platform, which can be utilized by relevant management units in the future to test updated GOOSE logic strategies when modifications are required. Furthermore, the application scenarios simulated by this test platform can be used for interoperability testing, to verify whether the configurations of IEDs from different vendors conform to the required specifications.

1 研究背景、目的、方法：

隨著國際電力系統朝向數位化與智慧化持續發展，IEC 61850 成為變電所自動化的國際標準。台電公司配合此趨勢，逐漸導入 IEC 61850 標準於變電所，新建置與舊有汰換的變電所採用兩層一網通訊架構並搭配支援 IEC 61850 的相關設備。除此之外，運用 GOOSE 通訊協定其快速傳輸資料的特性，台電公司制定出 GOOSE 邏輯策略，實現加速跳脫以及簡化調度員操作的功能。

本研究首先針對台電公司目前採用之 GOOSE 邏輯策略進行分

析，並依據 IEC 61850 三層兩網的架構，建置通訊測試平台。此平台主要包含 Sampled Values 通訊傳輸模擬、IED 的 GOOSE 通訊發布與訂閱，並結合 OPAL-RT 即時模擬器與實體 IED 建立硬體閉迴路環境。研究中透過離線模擬與實體 IED 測試，比對電驛模型跳脫時間的準確性，接著模擬多種 GOOSE 邏輯測試情境，進行 GOOSE 訊號處理流程與邏輯成立條件之分析，以驗證邏輯規劃的正確性與測試平台的可行性。

2 成果及其應用：

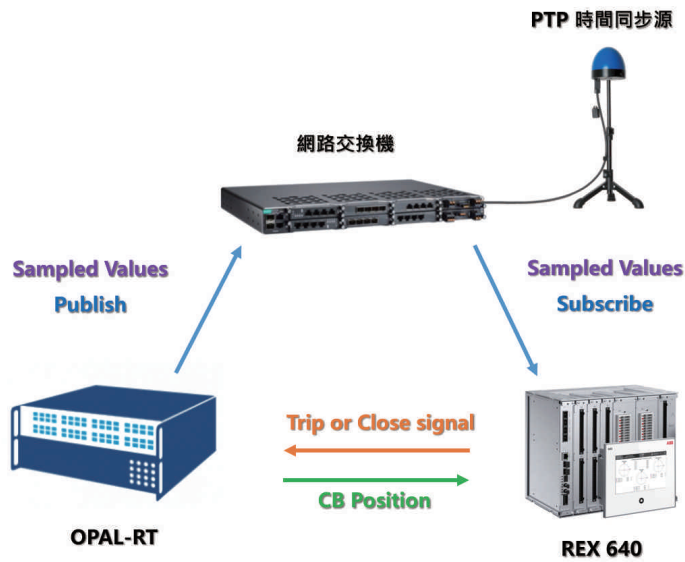
GOOSE 邏輯測試平台的建置使用 OPAL-RT 與實體 IED，透過 IEC 61850-9-2LE Sampled Values 通訊協定，先進行延時過電流電驛模型的正確性驗證，硬體

閉迴路測試架構如圖 1 所示，再設計故障情境測試實體 IED 所規劃的 GOOSE 邏輯策略是否正確，GOOSE 邏輯策略一測試架構如圖 2 所示。利用 HIL 模擬並驗證在實

際變電所可能遭遇之越級跳脫事故下，導入 GOOSE 邏輯規劃的 IED 可達到加速跳脫並縮小事故範圍之成效。

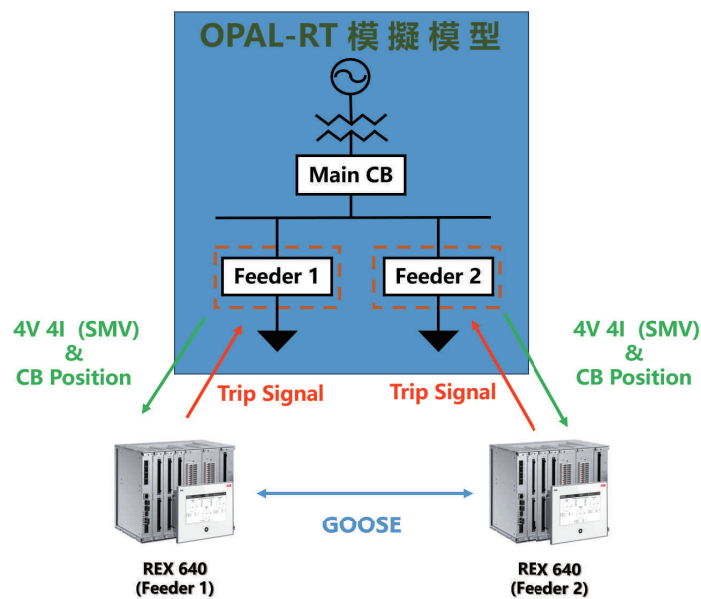
若未來業管單位有新增或修改 GOOSE 邏輯策略的需求，可先透過本平

台進行模擬及測試，規劃出合適的邏輯策略，亦可將測試平台所模擬出的應用情境用於互操作性試驗的實體測試，驗證各廠家 IED 的規劃是否正確。



資料來源：本研究

圖 1 硬體閉迴路測試平台架構



資料來源：本研究

圖 2 GOOSE 邏輯策略—HIL 架構

研究人員：資訊與通信研究室：陳韋光、許祐寧、林敬倫

IEC 61850 封包傳輸效能測試研析

Performance Evaluation and Analysis of IEC 61850 Packet Transmission

Abstract

Driven by government digital transformation policies, Taipower is actively transitioning to IEC 61850 standards to enhance substation efficiency. As these digital substations rely heavily on Ethernet for critical real-time messaging (e.g., GOOSE and Sampled Values), network switch performance—specifically latency and jitter—is paramount for

system stability and safety. This study addresses these challenges by applying IETF benchmarking standards (RFC 2544 and RFC 2889) to evaluate network switch performance. The results validate the testing methodology and provide a strategic reference for establishing future internal performance verification protocols.

1 研究背景、目的、方法：

隨著網路規模擴大，乙太網路交換器成為關鍵基礎設備，其效能直接影響傳輸品質。過去因缺乏統一標準，各廠商測試方法不一，導致結果缺乏可比性。

為解決此問題，IETF(Internet Engineering Task Force) 旗下之 BMWG(Benchmarking Methodology Working Group) 制定了 RFC 2544 與 RFC 2889 兩項標準。前者定義了吞吐量、延遲等基礎量測規範，後者則針對交換行為(如廣播、群播處理)補足測試方法，共同確立了具公信力且可重現

的測試框架，成為產業界設備選型的重要依據。

儘管標準已立，但在實務應用中，各廠牌對規範的解讀與測試細節仍可能存在差異，使得效能數據難以直接橫向比較。因此，在完全相同的環境下進行驗證有其必要性。本研究即基於 RFC 2544 與 RFC 2889 標準，對多家廠牌交換器進行一致性的實測與分析，旨在釐清各項測試指標的實質意義，並建立跨廠牌設備的客觀比較基礎，為未來的設備選型與驗證程序提供具體的實證參考。

2 成果及其應用：

本研究進行交換機效能量測平台架設，如圖 1 與圖 2 所示。並研析測試流程，選用五款本公司 IEC 61850 變電所現行使用之網路交換機作為待測設備進行一系列嚴謹的效能測試比對。

1. 效能測試研究範圍涵蓋：

- (1) 基礎吞吐量。
- (2) 傳輸延遲。

(3) 訊框遺失率。

(4) 全網狀 (Fully Meshed) 壓力測試。

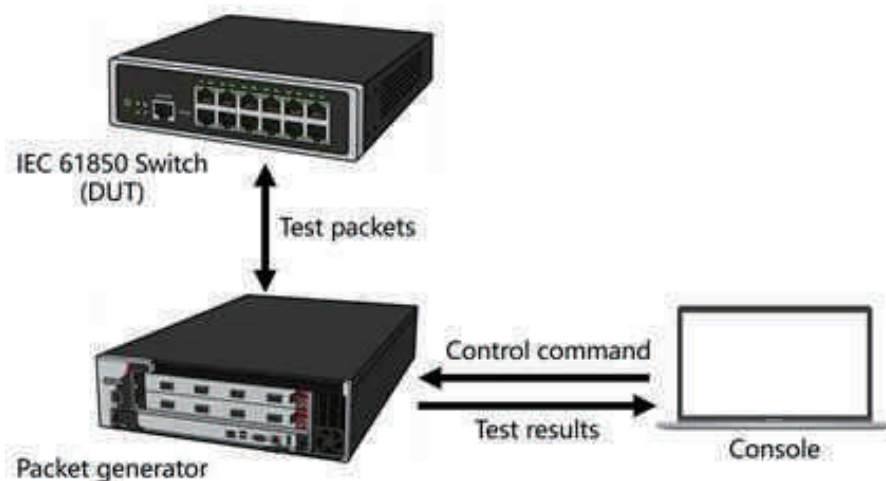
(5) 過程匯流排 (Process Bus) 應用場景的多級串接延遲累加測試。

測試結果顯示，受測之五款交換機在硬體轉發能力上均達到線速 (Wire-speed) 水準，能滿足變電所

自動化系統對高可靠度的基本要求，但在傳輸延遲 (Latency) 與抖動 (Jitter) 表現上，不同晶片架構設計與演算方式呈現些微差異。

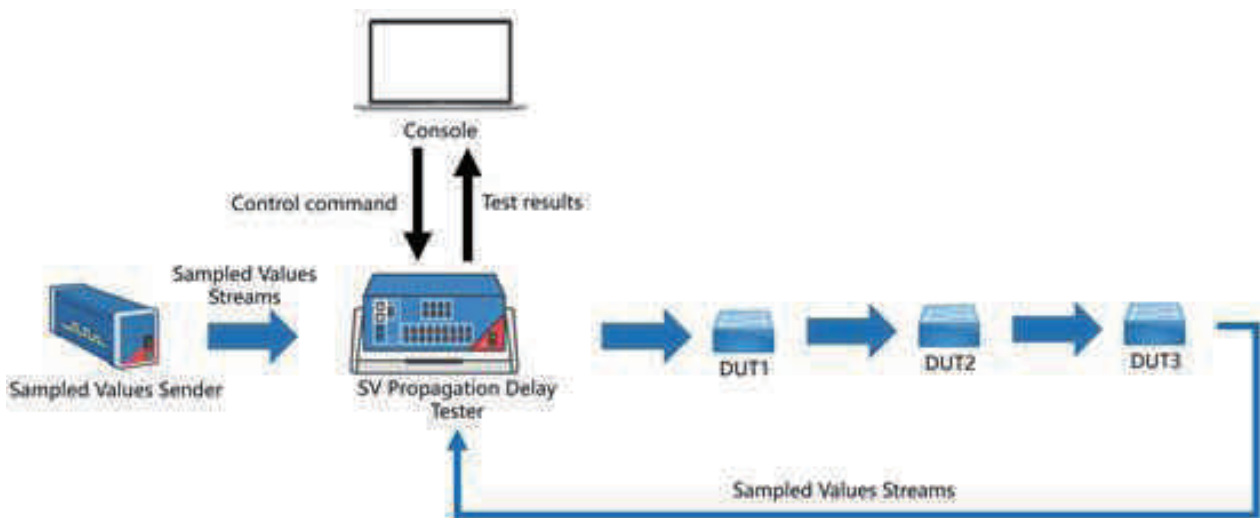
鑒於本公司目前尚未制定 IEC 61850 交換機之系統化驗證機制，未來可參考相

關指標建立標準化測試規範，以強化採購決策依據並確保設備性能。此舉不僅能提升驗證透明度與確立國內標準，亦能促使廠商優化產品設計，形成電力資通產業良性循環。



資料來源：本研究

圖 1 本研究 RFC 2544/RFC 2889 測試平台



資料來源：本研究

圖 2 取樣值幀傳輸延遲測試架構

研究人員：資訊與通信研究室：陳韋光、許祐寧、林敬倫

塔基監測應用衛星傳輸之可行性研究

Feasibility Study of Satellite Transmission for Tower Monitoring Application

Abstract

Steel towers are important supports for ultra-high voltage transmission lines, and most of them are located on hillsides. The hydrology, topography, geology, etc. of the hillsides will affect the stability of the slopes where the towers are located, and thus affect the safety of power supply. Although Taipower has clear management points to inspect and maintain existing tower lines, due to the drastic climate change and the increasing frequency of extreme weather in recent years, the geological environment where many tower facilities are located has gradually changed, and the foundations of the past have changed. The structural design conditions may vary, and changes in slope stability may even cause safety issues for towers or lines. Tower maintenance personnel are often unable to perform tower inspections within the limited time after a disaster due to external factors such as blocked inspection roads or large-scale landslides. In addition, considering

the labor costs and the large number of lines and tower bases, how can they Using new technologies to assist in achieving the goal of immediate disaster prevention and early warning is an urgent task.

This project comprehensively considers the existing communication technology and the distribution of Taipower towers in mountainous areas where communication is difficult. With the goal of introducing automatic monitoring of tower environment and ground, several towers are selected to install the transmission tower safety monitoring system, combined with satellite transmission technology as monitoring data. transmission method and conduct feasibility assessment. It is hoped that by combining satellite networks with telecommunication networks, the monitoring system can communicate over the Internet in every corner, thus achieving the early warning goal of 24-hour uninterrupted monitoring.

1 研究背景、目的、方法：

鐵塔為超高壓輸電線路中之重要支持物，且大部分輸電鐵塔座落於山坡地，山坡地之水文、地形、地質…等將影響塔址坡地之穩定，進而影響供電安全。雖然台電公司已有明確之管理要點來巡視維護既有的鐵塔線路，但近年來因氣候變遷劇烈且極端氣候發生頻率漸多，許多鐵塔設施所在之地質環境已逐漸產生變化，而與以往之基礎結構設計條件有所差異，甚至可能因邊坡穩定狀況改變而造成鐵塔或線路之設施安全問題。鐵塔之維護管理人員常因巡視道路阻斷或大區域地滑等外在因素，以致無法在災後有限之時間內執行鐵塔巡視作業，且

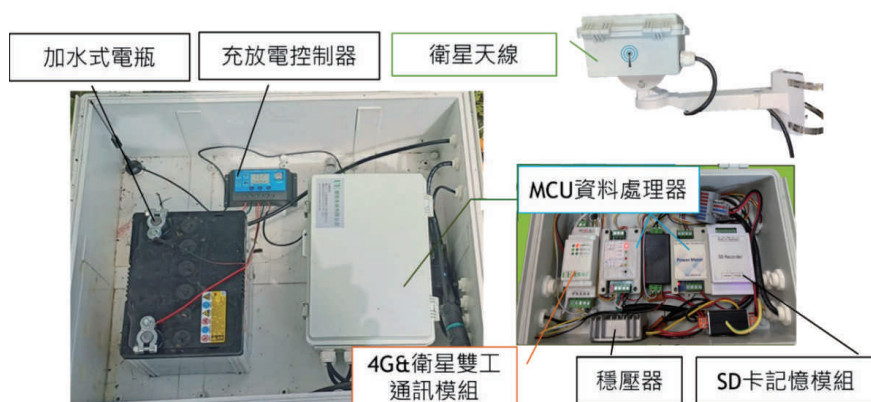
考量人力成本，線路及塔基數量眾多之情形下，如何利用新科技來輔助，以達到即時防災預警目的，為刻不容緩之工作。

本計畫綜合考量現有通訊技術與台電鐵塔分布多於通訊不易之山區，以導入鐵塔環境與大地自動化監測的目標，選取數座鐵塔安裝輸電鐵塔安全監測系統，結合衛星傳輸技術做為監測資料傳輸方式，並進行可行性評估。以期可透過衛星網路與電信網路相互搭配，使得監測系統可在各個角落進行網路通訊，達到 24 小時全時不斷電監測之預警目標。

2 成果及其應用：

本計畫以鐵塔防災結合自動化監測與衛星通訊新科技來輔助，以達到即時防災預警目的，故本計畫將於人員不易到達之地點，選取數座鐵塔安裝輸電鐵塔安全監測系統，如圖 1 所示，並導入衛星傳輸技術做為監測資料傳輸方式之可行性評估。為核心目標，研究項目包括蒐集研析國內外不同地理環境邊坡破壞之類型、以衛星通訊建置輸電鐵塔安全監測系統、導入國內廠商自動化定置型傾斜模組等多面向之研究，各項研究成果概要總結如下：

1. 已蒐集與研析國內、美國與日本等國家之邊坡破壞類型，並綜整國內外破壞類型，並蒐集合適之監測邊坡系統，並與青山公司共同進行比較分析，研提我國邊坡監測項目之建議。
2. 已蒐集美國、英國等國家之衛星相關通訊技術，並綜整國際案例，並評估台灣目前可適用之衛星通訊系統與模組，本案導入應用的為鈹衛星通訊模組，同時因台灣目前陸續建置 OneWeb 低軌衛星，相關資料已蒐集完畢。
3. 已於 345kV 深美～板橋紅白線 #19 導入國產自動化定置型傾斜模組，相較於進口模組，國產方案具備更多客製化與即時支援的優勢，能依據不同環境與監測需求，快速調整感測模組與安裝設計，減少導入時程與後續維護成本，同時成本控制更具彈性，讓長期大規模佈建成為可能。
4. 導入低軌道衛星 (LEO) 通訊技術於鐵塔大地與環境監測，結合通訊模組之硬體電路設計，與感測器設備訊號接收系統整合之訊號介接設計，天線整合電路設計，並完成系統整合 4G 通訊與衛星通訊模組，經網路數據傳輸測試後建置監測系統與平台介接顯示。
5. 蒐集至少 6 個月之監測數據，進行無線通訊 (包含衛星通訊與電信網路通訊) 穩定性數值分析，以封包遺失率作為評估通訊品質之主要分析方法。本研究案應用鈹衛星低軌衛星通訊，適應各種極端天氣條件，且透過多顆衛星組網及自動切換機制，提升通訊不中斷的能力。
6. 考量戶外鐵塔環境監測需長時間穩定供電，並應對高低溫變化、濕度、震動及長期維運等挑戰，本研究探討加水式鉛酸電池、免加水式鉛酸電池、三元鋰電池及磷酸鋰鐵電池之特性，進行電量與老化趨勢分析。



資料來源：本研究彙整

圖 1 大觀、明潭～鳳林線 #166 設備配置圖

研究人員：電力研究室：吳旻哲、唐城

交直流複合微電網控制系統設計

Design of AC and DC Hybrid Microgrid Control System

Abstract

In recent years, the increasing penetration of renewable energy sources (such as Photovoltaics) and the growth of electric vehicles (EVs) have escalated the demand for power system resilience and energy efficiency. Conventional power systems, which heavily rely on large, centralized power sources, are susceptible to widespread blackouts caused by grid disturbances. This project aims to address this challenge by integrating renewable energy, energy storage systems, and various loads to construct an AC/DC hybrid microgrid system with uninterruptible power supply (UPS) capability. Given that energy storage batteries and PV systems are inherently DC components, and many loads are DC-powered, this project adopts a DC power supply system. This approach not only improves energy conversion efficiency by minimizing multiple AC-DC conversion

losses but also provides the flexibility to support DC charging/discharging for electric vehicles, promoting diversified microgrid applications. To overcome the challenge of low inertia inherent in power electronics-based systems, the AC/DC hybrid microgrid system employs the virtual synchronous generator (VSG) control technology. VSG is capable of simulating the swing equation of a traditional synchronous generator, thereby endowing the microgrid with necessary virtual inertia and virtual damping. In the islanded mode, the inverter will act as a grid-forming, utilizing VSG to establish stable AC voltage and frequency references, thereby maximizing the system's power quality and disturbance rejection capability. Therefore, this study can provide a reference for the company's future application of AC/DC hybrid microgrid systems.

1 研究背景、目的、方法：

近年來，隨著再生能源（如太陽光電等）的普及與電動載具的發展，電力系統對韌性與能源效率的需求日益增加。傳統電力系統高度依賴單一大型電源，容易因電網擾動導致大範圍停電。本計畫旨在解決此問題，透過整合再生能源、儲能裝置與負載，建置一個交直流複合微電網系統，如圖 1 所示，使其具備不斷電供電 (Uninterruptible Power Supply, UPS) 能力。由於儲能電池與太陽光電皆為直流元件，且許多終端負載為直流供電，本計畫採用直流供電系統。不僅可提高能源轉換效率，降低交流 - 直

流多次轉換損耗，更能彈性支援如電動載具的直流充放電需求，促進微電網的多元應用。為克服電力電子系統低慣量的核心挑戰，本計畫關鍵性地採用虛擬同步機 (Virtual Synchronous Generator, VSG) 控制技術。VSG 能模擬同步發電機的擺動方程式，賦予微電網所需的虛擬慣量與虛擬阻尼。在孤島模式下，儲能變流器將扮演 Grid-Forming 的角色，利用 VSG 建立穩定的交流電壓與頻率基準，極大化提升系統的電力品質與抗擾動能力。因此，本研究可提供未來本公司應用交直流複合微電網系統時一參考依據。

2 成果及其應用：

成果：

1. 建置交直流複合微電網平台：成功整合太陽光電、儲能電池 (BESS)、電動車 (EV) 與直流負

- 載，建置出一套可於併網與孤島模式間穩定切換的試驗平台。
2. 導入虛擬同步機 (VSG) 控制：為解決電力電子設備缺乏慣量的問

題，本計畫關鍵性地採用 VSG 技術模擬傳統發電機特性，賦予微電網虛擬慣量與虛擬阻尼，確保在孤島運行時能自主建立穩定的電壓與頻率基準。

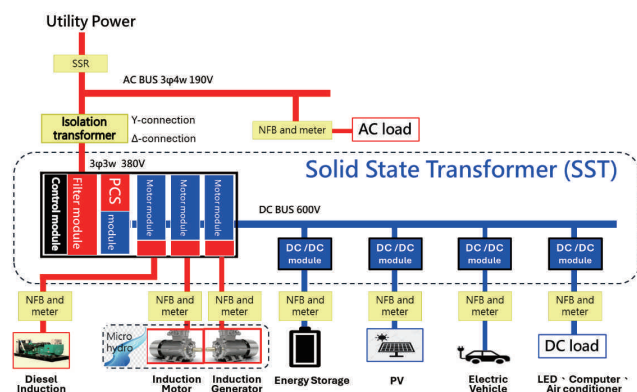
3. 優化能源轉換效率：採用直流供電架構，大幅減少交流與直流間多次轉換的損耗，並能更靈活地支援電動載具的充放電需求。
4. 關鍵模組參數調教：針對 ALM(電源轉換模組) 的下垂控制與 DCP(直流模組) 的閉迴路電壓 / 電流控制進行優化，實證系統在負載劇烈變動 (5A 升至 16A) 時仍具備優異的暫態穩定性。

應用價值：

1. 不斷電供電與災後韌性：系統具備不斷電供電 (UPS) 能力與全黑啟動功能，當

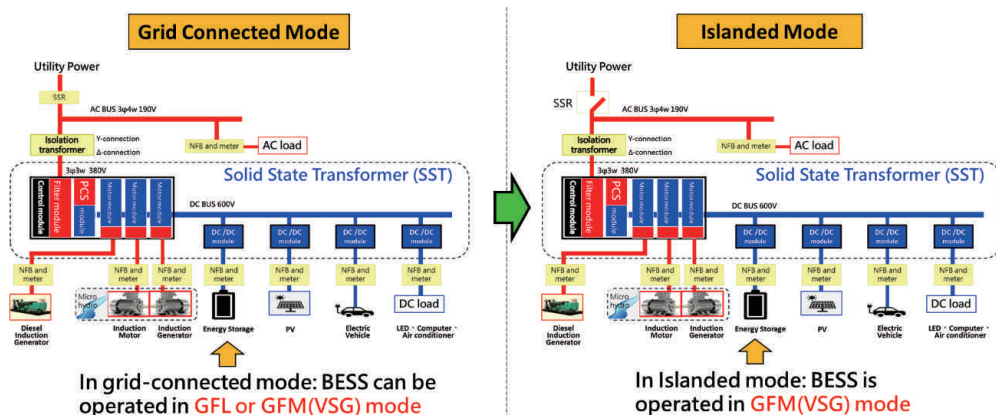
大電網發生擾動或停電時，微電網可獨立運作，保障重要負載的電力供應，如圖 2 所示。

2. 分散式能源與載具整合：利用馬達調控模組對拖技術，成功模擬微水力發電等變動性再生能源的接入，並能將電動車視為移動式儲能單元 (V2G)，實現雙向能量互動。
3. 電力輔助服務潛力：研究成果可作為未來開發調頻備轉輔助服務的基礎，利用儲能系統的快速響應能力支撐大電網頻率穩定。
4. 標準制定參考：透過對各種運轉情境 (如無縫回併、純直流運行) 的測試，本報告為公司未來部署複合微電網提供了重要的技術規範與標準制定依據。



資料來源：本研究彙整

圖 1 交直流複合微電網架構



資料來源：本研究彙整

圖 2 交直流複合微電網從併網模式轉態到孤島模式

研究人員：電力研究室：江文莊、謝國聖

微電網驗證場域各式測試情境模擬研析

Simulation and Analysis of Various Test Scenarios in Microgrid Verification Field

Abstract

With the increasing penetration of Distributed Energy Resources (DERs) and the growing demand for microgrid deployment, ensuring system reliability and establishing unified verification standards have become critical. Taipower established the Shulin Microgrid Verification Field to validate the functionality of microgrid controllers and key equipment, such as Energy Storage Systems (ESS) and Diesel Generators (DG), prior to site deployment. This study, referencing the IEEE 2030.8 standard, conducted a comprehensive simulation and analysis of various operating scenarios. Key tests included planned and

unplanned islanding, seamless transfer, steady-state islanded operation, and synchronous reconnection. The results demonstrated the system's capability to achieve seamless transitions between grid-connected and islanded modes using Grid Forming (GFM) technology. Additionally, the coordination between ESS and DGs under high-load conditions was validated. This study not only verifies the resilience of the specific equipment intended for the Green Island project but also establishes a standard procedure for future microgrid performance testing.

1 研究背景、目的、方法：

隨著再生能源占比提高及微電網布建需求日益增加，台電公司面臨將多樣化的分散式電源 (DERs) 整合至電網的挑戰。為了確保微電網系統在併網與孤島運轉期間的穩定性，並建立統一的功能標準與驗證措施，本計畫於樹林所區建置微電網技術驗證場域。主要目的在於針對即將投入實際場域之設備進行預先功能驗證，測試新型設備 (如具備 Grid Forming 能力之儲能系統) 與技術 (如無縫孤島切換) 之可行性。

研究方法採「考官」(場域監控器)與「考生」(微電網控制器)之架構概念。參照國際規範 IEEE Std 2030.8 建議之測試情境，涵蓋「併網穩態 (SS1)」、「孤島穩態

(SS2)」、「非計畫性孤島化 (T1)」、「計畫性孤島化 (T2)」、「重新併網 (T3)」及「全黑啟動 (T4)」等轉態邏輯。

本研究利用場域內建置之 2MVA 雙向模擬儲能系統、500kW 柴油發電機 (DG)、以及可調控之負載器 (Load Bank, 1500kW、正負 1125kVAR)，相關配置單線圖如圖 1，以進行實機驗證。透過控制責任分界點 (POI) 之斷路器投切，模擬電網擾動與斷電情境，並收集電力潮流、頻率變化及保護電驛動作數據，分析微電網控制器在單獨儲能支撐、儲能與柴油機協調運轉等不同情境下之控制策略與系統韌性。

2 成果及其應用：

本計畫已完成樹林所區微電網驗證場域之建置與核心測試，成功驗證微電網在極端與複合情境下之運轉能力，主要研究成果與應用總

結如下：

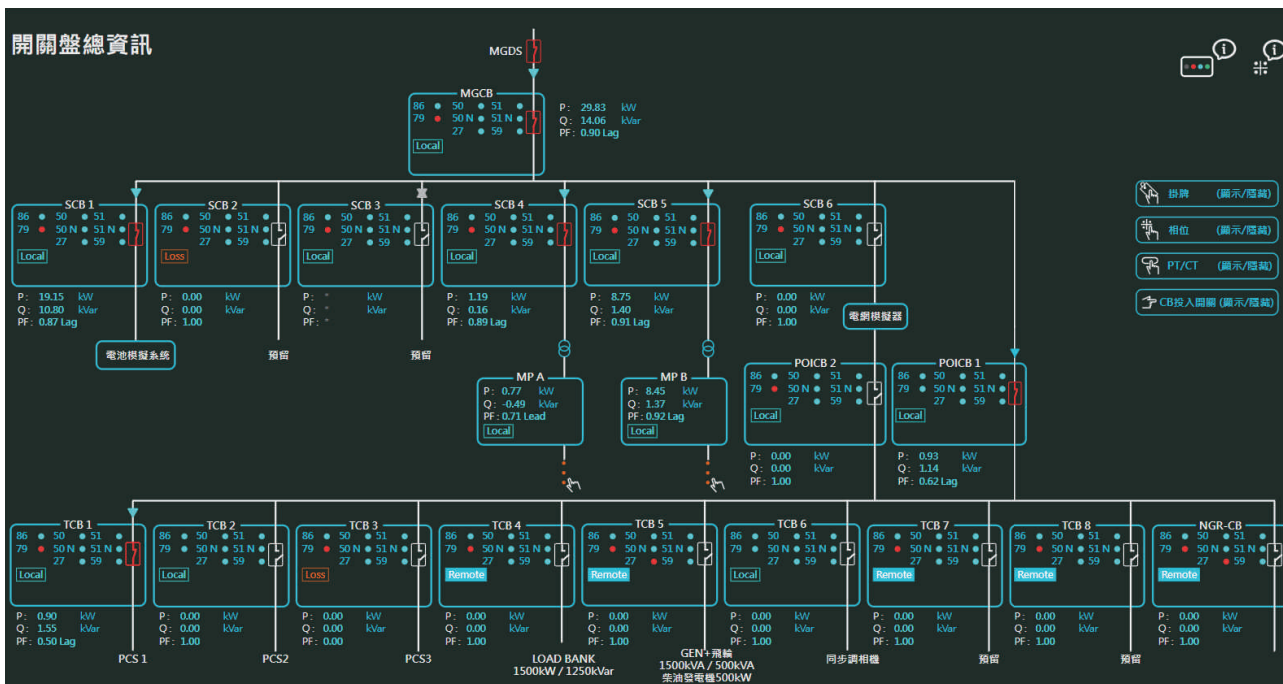
1. 無縫孤島切換與 Grid Forming (GFM) 技術驗證：測試結果顯示，儲能系統在 Grid

Forming 模式下，具備獨立建立電網電壓與頻率之能力。在計畫性孤島情境中，透過將 POI 實功與虛功控制趨近於零 (P/Q Control)，成功達成無縫切離 (Seamless Transfer)，負載端無停電感受，驗證了 GFM 協調之穩定性。

2. 儲能與柴油發電機協調運轉驗證：在有柴油發電機併聯之孤島情境下，系統成功承受高達 1200kW 之極限負載測試。柴油機負責承擔基載 (500kW)，剩餘變動負載由 ESS 快速補償，兩者配合良好，電壓與頻率維持穩定，確認了異質電源在微電網孤島運轉下之協調控制能力。
3. 非計畫性孤島與系統韌性評估：執行了嚴苛的「非計畫性孤島」測試 (模擬市電無預警跳脫)。即便在儲能初始輸出為 0kW 的條件下，系統仍能迅速反應支撐電網，頻率最低降至 59.76Hz 後迅速回升穩定。此外，亦測試了「儲能跳脫、

柴油機救援」情境，當 ESS 故障時，柴油機可於數秒內承接負載，證實樹林微電網具備極高之供電韌性。

4. 自動同步回併功能與邏輯優化：測試了孤島運轉後的自動同步回併 (Synchronization & Reconnection) 功能。結果顯示系統具備自動追隨市電電壓、頻率及相角並投入斷路器之能力。然測試中發現若 ESS 輸出功率過高 (>200kW/kVAR) 時會導致回併失敗，此成果已回饋廠商進行 PCS 同步電驛邏輯之修正與參數優化。
5. 標準化驗證程序之建立：本研究結果不僅確認了相關設備符合現場之需求，更確立了一套標準化的微電網測試程序 (包含 C37.118 PMU 資料撈取、波形分析標準)。此場域與測試方法將作為台電未來驗收各式微電網設備、測試新興電力技術之重要基礎設施。



資料來源：本研究彙整

圖 1 樹林微電網驗證場域單線圖

研究人員：電力研究室：唐城、吳承翰、吳旻哲

O-RAN 基地台量測與分析

The Measurement and Analysis of O-RAN Base Station

Abstract

This project first collects and analyzes smart grid communication standards and requirements while studying Open Radio Access Network (O-RAN) testing standards. Next, a spectrum analyzer is used to measure wireless signal parameters of O-RAN base stations, and relevant data is collected. Additionally, the system's uplink and downlink throughput is tested to

further investigate its feasibility for smart grid integration. The research findings will provide insights into the performance of O-RAN systems, serve as a technical foundation for private enterprise network deployment, and enhance the company's technological capabilities in the field of wireless communications.

1 研究背景、目的、方法：

開放式無線存取網路 (Open RAN, O-RAN) 以其開放架構、軟體解耦、可程式化管理的特性，提供了更高的靈活性與適應性，成為企業專網部署的重要解決方案。不過 O-RAN 在智慧電網應用中的實際性能、穩定度及可行性尚未被充分驗證。因此，本研究計畫旨在分析 O-RAN 基地台的關鍵測試指標及效能表現，利用本所已建置之室內 O-RAN 基地台 (專頻專網) (圖 1)，並透過掃頻儀 (圖 2) 及分

析軟體進行場域無線電波量測，測試在打開及關閉實驗室防火門情況下，O-RAN 基地台訊號之覆蓋及衰減情形，包含量測參考訊號接收功率 (Reference Signal Received Power, RSRP)、參考訊號接收品質 (Reference Signal Received Quality, RSRQ) 及載波干擾雜訊比 (Carrier to Interference plus Noise Ratio, CINR)。另外，亦透過手機作為 UE 接入系統，對 O-RAN 基地台進行吞吐量測試。

2 成果及其應用：

經實際量測，在實驗室的防火門打開的情況下，開門時的 SSS-RSRP 平均值 (如圖 3) 約為 -85.1 dBm，關門時的 SSS-RSRP 平均值約為 -84.2 dBm，結果顯示防火門在打開或關閉的情形，確實會影響訊號的強弱。針對 SSS-RSRQ 的量測結果，在實驗室的防火門打開的情況下，訊號品質的強度大部分都介於 -16 至 -8 dB，僅在茶水間附近出現約 -17 dB 的 SSS-

RSRQ 值；而在實驗室的防火門關閉的情況下，可發現訊號品質的強度大部分都介於 -16 至 -8 dB，但有出現約 -25 dB 的 SSS-RSRQ 值。而 SSS-CINR 之量測結果，比較開關門兩種情形，可發現關門的時候，SSS-CINR 值相對較高。因門開啟時，無線訊號溢出使整個樓層的 n79 訊號強度提高，故 SSS-CINR 量測值亦提高。針對 O-RAN 基地台進行上下行吞吐量 (Throughput)

之性能測試，考量一般電信網路之上下行比 (DL/UL Ratio) 為 7(DL):3(UL)，此基地台亦設定為 7:3，量測的結果：下行吞吐量測試約為 803 Mbps，上行吞吐量測試約為 219 Mbps。

本所積極導入 5G 技術，並具備對 O-RAN 基地台特性及性能測試之量能，從測試結果來看，單一 O-RAN 基地台佈建於室內的訊號品質是屬於可穩定進行數據和語音通信。對於需要即時回傳電力監控影像或是傳輸大量電力資料，目前測試的 O-RAN 基地台仍不滿足所有電力場域

的應用。不過本公司及本所也積極在推動 5G 技術搭配國際電信設備的應用，包含南部火力電廠 (使用 5G n78 商網)、高屏地下洞道 (佈建 5G n79 專網) 等場域，日本九州及北海道電力亦有 5G n79 專網的相關應用，顯然 5G 技術應用在電力產業是目前國際的趨勢，也會有越來越多 n79 的終端設備可使用，後續可找尋台電發輸配售之潛在專網應用，並於實際場域試行導入驗證後，未來可再落地應用及水平展開至各場域。



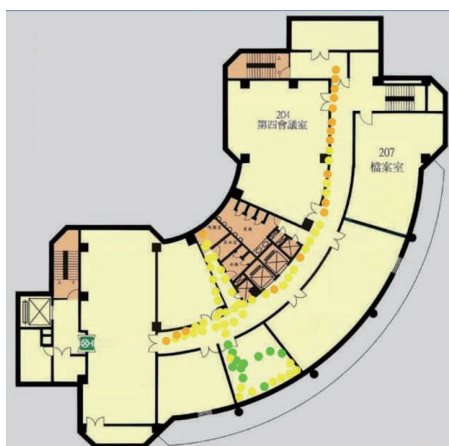
資料來源：本研究

圖 1 待測物 O-RAN 基地台



資料來源：本研究

圖 2 量測工具 - 掃頻儀



資料來源：本研究

圖 3 SSS-RSRP 訊號量測情形

研究人員：資訊與通信研究室：徐珮真、劉宇恒、洪瑞呈

發電部門分散式控制與資料收集系統之電磁耐受性研究

Research on Electromagnetic Compatibility of Distributed Control and Data Acquisition System in Power Generation Department

Abstract

As wireless communication technology becomes increasingly popular in smart grids, power plants must confirm whether electromagnetic impact before introducing them. In this project, the research site covers the Distributed Control and Data Acquisition System (DCDAS) of the current generator sets, including both the Mitsubishi Hitachi (MHI) DIASYS Netmation system and the General Electric (GE) Mark VIe system of Datan Power Plant.

By conducting on-site measurements and analyses of the DCDAS under various 4G/5G electromagnetic conditions, the electromagnetic resilience of critical instrumentation and control systems can

be verified in Fig.1. The electromagnetic susceptibility evaluation method established in this research provides a systematic framework for assessing the impact of high-frequency electromagnetic interference on DCDAS systems in power plants in Fig.2. Furthermore, the research findings will be further extended to other areas of Taipower to ensure the stable operation of power equipment, serve as an important technical reference for the introduction of new-generation wireless communication technologies such as enterprise private networks in the future, and enhance the safety and reliability of wireless communication technology applications.

1 研究背景、目的、方法：

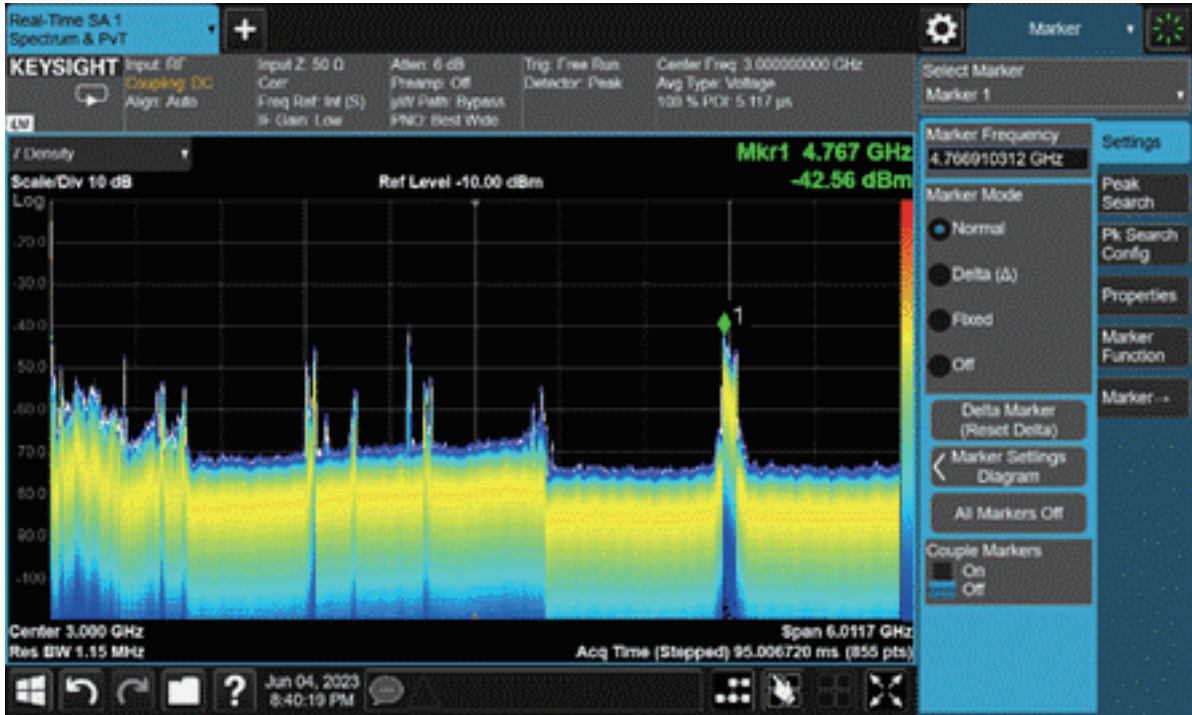
隨著無線通訊技術在智慧電網中的應用需求日益增加，電廠在導入前必須確認其高頻電磁訊號是否對關鍵儀控系統之運營安全產生影響。本研究計畫以大潭電廠為研究場域，針對現行發電機組之分散式控制與數據採集系統 (DCDAS)，評估其在 4G/5G 基地台訊號環境下之電磁耐受效能如圖 1 所示。研究範圍涵蓋 1~6 號機組採用的三菱日立 (MHI)DIASYS Netmation 系統及 7 號機組採用的奇異 (GE)Mark VIe

系統，透過現場量測分析 DCDAS 在不同電磁環境條件下的運作狀況如圖 2 所示，並與國內外最新電磁相容 (EMC) 法規及相關文獻比較綜整，可驗證本計畫應用情景下關鍵儀控系統之電磁韌性，可進一步將研究成果延伸應用至台電公司其他場域，確保電力設備的穩定運行，作為未來導入新一代無線通訊技術應用如企業專網時的重要技術參考，提升無線通訊技術應用的安全性與可靠性。

2 成果及其應用：

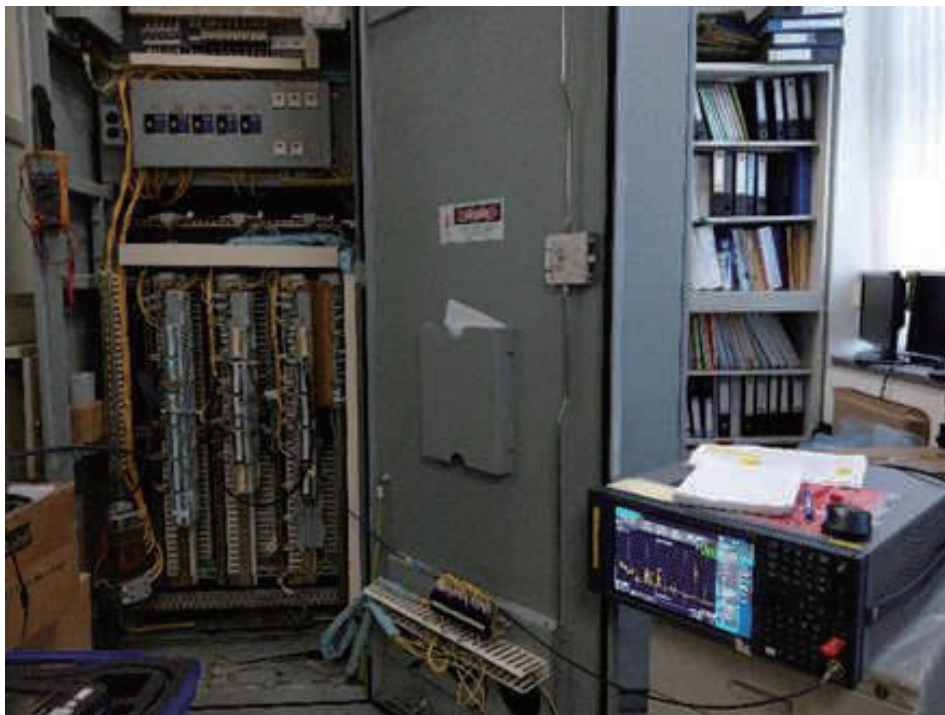
本研究計畫為台電公司針對 4G/5G 無線通訊技術實施應用於電廠之 DCDAS 儀控設備，對其電磁耐受效能進行評估與可行性驗證。後續延伸研究包含擴大適用範圍至不同電廠與機組，可進一步驗證企業專網對電廠儀控系統的影響。目

標以提升電力系統對無線通訊環境的適應能力，確保電廠運行的安全性與穩定性，並為電磁耐受性評估的標準化奠定基礎。這些發展將使台電公司在智慧電網與無線通訊技術應用方面更具競爭力，並確保電力基礎設施的長期穩定運行。



資料來源：本研究

圖 1 垂直極化 4.8GHz 64QAM 發射訊號於 Mitsubishi DCDAS 之實時頻譜



資料來源：本研究

圖 2 Mitsubishi 機組之 DCDAS 模擬控制台接收端量測
研究人員：資訊與通信研究室：廖文聘、羅尹孜、洪瑞呈、劉宇恒

基於硬體迴路平台之發電機自動電壓調整器電壓控制行為分析

Analysis of Voltage Control Behavior of a Generator Automatic Voltage Regulator Based on a Hardware-in-the-Loop Platform

Abstract

On January 10, 2020, a large-scale power outage occurred in the Penghu area. Our institute immediately simulated the accident with a real-time dynamic simulation system. After observing the actual relay records and simulation results, it was found that the accuracy of the voltage simulation in the Penghu area was still insufficient. Therefore, in order to improve the simulation accuracy of the Real-Time Digital Simulator (RTDS), an Automatic Voltage Regulator (AVR) with the same model and parameters as the one currently operating online at the Jianshan Power Plant was constructed. Through Hardware-in-Loop (HIL) technology,

the excitation signals from the physical AVR device were introduced into the RTDS simulation system. However, enabling the AVR device to simulate live signals in the laboratory is not just about building the device itself, but the load of the AVR in the field must also be taken into consideration. By using the HIL capability of the RTDS, the simulated power system model is connected to a physical AVR. The proposed approach is applied to evaluate how AVR responses affect voltage control in the Penghu area power system. In addition, simulation results from previous power outage investigations are reviewed and discussed.

1 研究背景、目的、方法：

- 研究背景：本所於 109 年以即時模擬器 (Real-Time Digital Simulator, RTDS) 調查澎湖大停電事故，觀察頻率模擬結果發現趨勢與現場電驛記錄相同，然而電壓模擬結果與現場電驛紀錄仍有相當落差，推測為自動電壓調整器 (Automatic Voltage Regulator, AVR) 於軟體中的通用模型響應與實際設備有所落差，故建置一部尖山電廠正運轉中的一期 AVR 相同機組進行研究。
- 研究目的：以 RTDS 硬體迴路技術進行 AVR 動態響應研究，透過實體機組響應訊號取代軟體模型

中之勵磁機及自動電壓調整器，以減少模擬與實際結果之差異，並於硬體迴路平台完成後重新檢視 109 年澎湖大停電事故之模擬結果。

- 研究方法：第一階段計畫完成採購 AVR 及勵磁機繞組，為 AVR 設備建置如發電廠現場之環境，以使 AVR 設備能產生與現場相同的動態響應。第二階段計畫為將 RTDS 軟體建立的電網模型導入與實體 AVR 設備進行整合測試，透過比較軟體通用模型與實體設備勵磁訊號響應差異，以此來驗證本案研究成果。

2 成果及其應用：

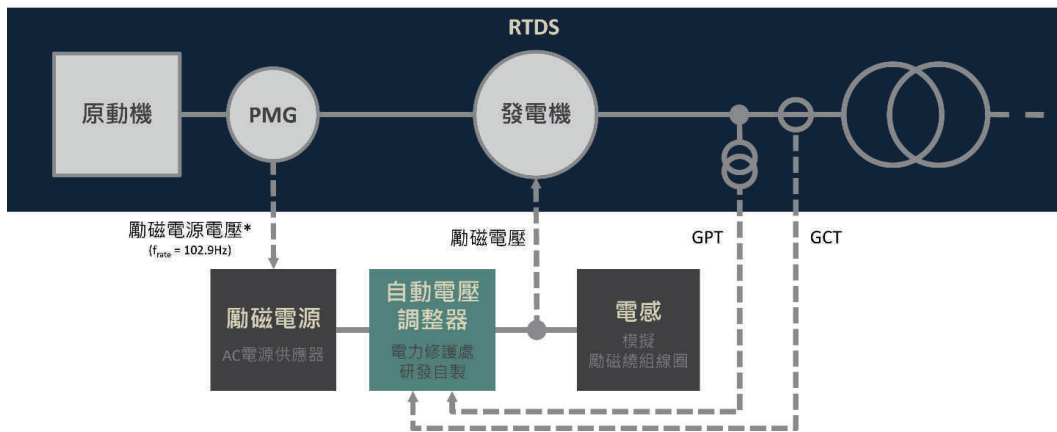
1. 本研究旨在以 RTDS 重現真實事故模型，並配合硬體迴路技術檢驗電壓擾動下 AVR 設備的行為特性與保護機制，本案透過建立一部電廠實際運轉中的實體 AVR 設備並成功應用硬體迴路技術於該設備。研究結果顯示，與僅依

賴軟體中通用勵磁模型的模擬相比，硬體迴路方式能更真實地反映實際設備的控制與保護邏輯，尤其在過激磁、欠激磁等臨界狀況發生時，兩者展現出顯著差異，圖 1 與圖 2 為已完成之 AVR 硬體迴路平台架構與實體圖，此平

台亦可應用於事故模擬。

2. 雖無法全面建置所有設備進行模擬，但是透過策略性的導入實際設備進行硬體迴路測試，能在成本與系統覆蓋範圍之間取得平衡。本研究也透過實驗數據再度證實導入實體設備進行硬體迴路測試是提升電力系統模擬可信度的手段，更是彌補通用模型不足、加強事故分析的一項選擇。

3. 本案採用 RTDS 資料庫提供的 Frequency Scan 元件，並對軟體勵磁模型進行頻率掃描測試，取得該模型的增益以及相位。並於該項測試過程中自行同步紀錄輸入與輸出值並計算 FFT 的頻率響應結果，以此驗證 RTDS 資料庫提供的掃頻元件可用性以及精準度測試，奠定了日後建立 AVR 數學模型之基礎。



資料來源：本研究整理

圖 1 AVR 硬體迴路架構圖



資料來源：本研究整理

圖 2 AVR 硬體迴路實體架構圖

研究人員：高壓研究室：蔡羽智、梁威志、林湘芸

變流器型資源電磁暫態模型需求與驗證程序統整與概述

Overview of Requirements and Validation Procedures for Electromagnetic Transient Models of Inverter-Based Resources

Abstract

With the increasing penetration of inverter-based resources (IBRs), their fast dynamics, unique fault current behavior, and lack of inherent inertia introduce new challenges to power system stability and protection. Conventional electromechanical transient models are insufficient to capture these phenomena, making electromagnetic transient (EMT) simulation essential. To address the complexity and inconsistent

quality of existing EMT models, this research reviews international standards and utility practices and proposes a standardized EMT model specification and validation framework, establishing a systematic process from model development to verification and validation to enhance simulation accuracy and practical applicability.

1 研究背景、目的、方法：

隨著變流器型資源大量併入現今電力系統，原本以同步發電機為主導之系統動態特性已產生本質性的轉變。由於變流器型資源具備快速動態響應、特殊之故障電流特性，且缺乏本質慣量，使得電網穩定性面臨前所未有之挑戰。傳統機電暫態模型已難以準確描述此類快速動態行為，因而電磁暫態模型之發展顯得格外重要，其可透過高解析度模擬有效捕捉系統之電磁暫態現象。然而，電磁暫態模型之建構過程高度複雜，且各家變流器控制架構與設計理念差異甚大，同時受限

於商業機密保護，使得現有模型形式多元且品質良莠不齊，進而增加其準確性與可信度之評估難度。為因應上述挑戰，本研究針對國際主要電業單位與相關標準所提出之變流器型資源電磁暫態模型規範與驗證要求進行系統性分析與彙整。透過比較不同國際標準與電業機構之制度設計與實務經驗，全面檢視電磁暫態模型之建置、審查與管理機制之具體作法，以確保模型性能符合實際電網應用需求，並進一步建立完善之審查與管理制度，提升電力系統之穩定性與運轉安全。

2 成果及其應用：

本研究系統性彙整北美地區 (Electranix、ERCOT、NERC)、澳洲 (AEMO) 以及 IEEE 2800 所提出之變流器型資源電磁暫態模型相關規範，並歸納其核心共通重點，作為後續模型建構與審查機制發展之重要依據，其重點說明如下。

1. 變流器型資源電磁暫態模型驗證程序 (圖 1)

圖 1 呈現變流器型資源電磁暫態模型由設備層級至案場層級之完整驗證與管理流程。整體程序可分為設備模型建立與驗證、案場模型整合與系統評估，以及商轉後模型持續驗證三個階段。首先，由原設備製造商依據型式測試結果建構並驗證設備層級之電磁暫態模型，以確保模型能反映單一變流器之動態行為。其次，案場業主整合經驗證之設備模型，建立案場級模型並提交公用事業進行系統衝擊分析與併網符合性測試，以評估其對電力系統穩定與運轉安全之影響。最後，於案場商轉後，透過實地量測資料與模擬結果比對進行模型實務驗證，並依驗證結果持續更新模型，以維持其準確性與可用性。以下將進一步說明圖 1 所示流程之重點內容。

- (1) 模型檢核 (Model Verification)：主要著重於審查相關技術文件、設備資料與控制設定，並與模型之參數配置與架構設計進行系統性比對，以確認模型結構與參數內容能忠實反映實際系統建置狀況，確保模型設定之正確性與一致性。
- (2) 模型品質測試 (Model Quality Test)：旨在確保所提交之電磁暫態

模型具備良好之完整性與數值穩定性。通常採用單機無限匯流排等標準化測試架構，執行一系列基礎動態模擬測試，以檢核模型於各類擾動條件下之合理性與一致性。

- (3) 模型驗證 (Model Validation)：模型驗證通常結合實測數據進行，以驗證模擬模型與實際設備響應之一致性，確保模型能真實反映其動態行為。此類測試多於受控條件下對設備施加特定擾動，例如電壓驟降、頻率變化等其他動態事件，同時量測其輸出響應，並與模擬結果進行比對分析。

2. 變流器型電磁暫態模型需求

為確保電磁暫態模型之功能表現能與實際設備行為相符，並具備良好之整體品質，須事先明確訂定模型需求規範，通常以文字化技術文件方式界定模型應具備之功能與特性。綜整國際間針對變流器型資源電磁暫態模型之相關要求，其內容大致可歸納為以下四大面向：

- (1) 模型準確性：模型是否能真實反映實際設備於各類操作與擾動條件下之動態行為。
- (2) 模型可用性：模型須具備良好之穩定性與操作便利性，以利實務模擬應用與參數調整作業。
- (3) 模型效率：模型應符合相關軟體平台與版本之運算效能與相容性要求，以確保模擬分析之可行性。
- (4) 模型文件需求：設備製造商與案場業主應提供完整且詳細之模型說明文件，包括模型架構、參數設定、

IBR 設備技術資料及使用手冊等，以支援模型審查與後續應用。

3. 變流器型資源電磁暫態資料定期更新機制

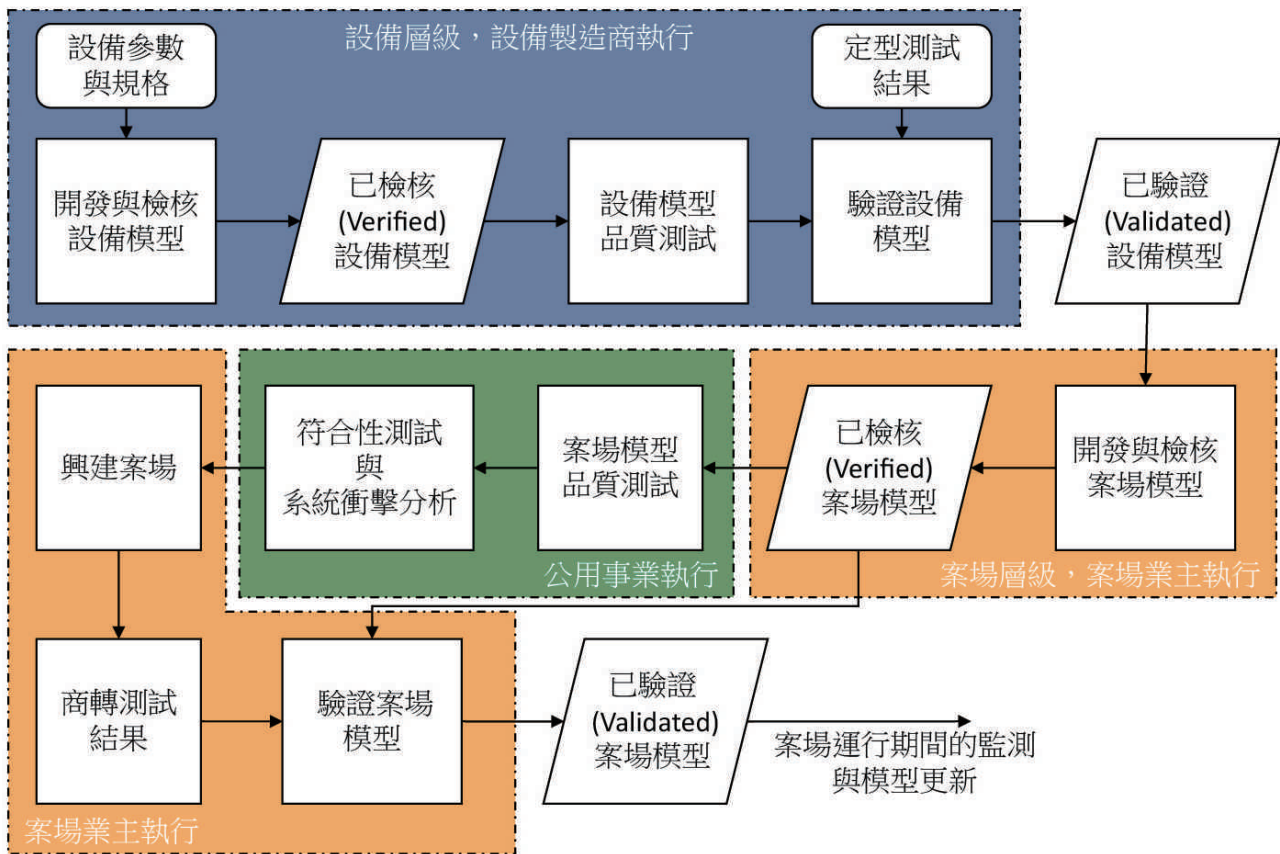
電磁暫態模型不是一次性提交後就結束，而是需隨著電廠設備或控制設定的更新而同步修正。傳統同步發電機在數十年的壽命週期中幾乎不容易改變，因此模型一旦建立便相當穩定。然而，IBR 設備本質上是韌體與軟體定義的設備，其行為由控制演算法決定，這導致了模型必須進行動態更新。除了定期更新外，若遭遇以下需資料定期更新的原因，則需要做即時更新：

- (1) 韌體更新與參數調整：變流器製造商為了優化發電效率或配合新法規，常會遠端更新設備韌體或調控制參數邏輯，這些變更可能會改變參數設定。若現場設備已更新，但電力公司的模擬資料庫仍使用舊版模型，當電網發生擾動時，模擬預測結果將與實際情況差異過大，可能導致錯誤的調度決策。
- (2) 電網拓撲與短路比的變化：IBR 的

控制穩定性高度依賴於併網點的系統強度。隨著周邊更多再生能源併網或傳統電廠除役，該區域的短路比會逐年下降，必須定期在更新後的電網背景下重新檢視其適應性。

- (3) 事故後的回溯驗證：國際上許多重大停電事故的事後調查都發現，現有模型未能準確預測設備在極端條件下的跳脫行為。此外，硬體元件隨時間老化或因維修更換非原廠零件，可能導致實際電氣參數漂移必須修正模型使其能重現當下的故障行為。

各國電網運營商針對上述挑戰，建立了一套需要定期和動態更新的機制。一旦有設備異動或更新或發生顯著電壓或頻率的事件，都需要重新做提交更新後的模型與驗證。此外，模型資料需定期更新以確保模型參數與物理實體保持一致，並每隔一段時間進行案場的效能評估、模型再驗證以及符合性評估。



資料來源：本研究整理

圖 1 變流器型資源電磁暫態模型開發與驗證流程

研究人員：高壓研究室：陳柏豪、陳翊瑋、梁威志

電網整合電動載具資訊通訊架構與應用研究

Research of Integration of Grid and Electric Vehicle Information and Communication Infrastructure and Application

Abstract

Taiwan government has announced its 2050 Net-Zero Emissions Goal in 2020 and subsequently released key strategies to achieve this goal. These strategies include industrial transformation, expansion of renewable energy, and transportation electrification. Among them, transportation electrification and decarbonization are identified as critical short- to medium-term measures for carbon reduction. Relevant policies include purchase subsidies, construction of charging infrastructure, and research and development of key technologies. However, areas with high concentrations of electric vehicles (EVs) are often located in densely populated urban regions, which has faced feeder capacity bottlenecks. Although Taiwan Power Company has been expanding feeder

capacity through the Power Grid Resilience Enhancement Program by constructing substations, the continuous growth of EVs still poses challenges that require additional mitigation measures.

To address this issue, in addition to increasing feeder capacity on the supply side, demand side management also offers a viable solution. This study examines the communication protocols and standards between key nodes in EV energy supply, with the aim of establishing interoperable data exchange mechanisms. Furthermore, it collects and analyzes international practices adopted by charging station operators and power utilities for EV management, providing a valuable reference framework for the company in developing future policies and systems.

1 研究背景、目的、方法：

因應全球氣候變遷議題日益嚴峻，各國針對淨零排放訂定目標與相關政策，以期減緩氣候變遷之衝擊。我國亦積極推動智慧電網與再生能源發展，並提出臺灣 2050 淨零排放路徑 12 項關鍵戰略，運輸載具電動化亦為其一。伴隨電動載具數量之提升，相關電能補充設備之興建為後續發展之重點項目，但對比於電能補充設備之需求大熱之情境，目前許多電能補充設備案場之興建面臨饋線容量不足之問題，本公司雖持續擴增饋線容量，但礙

於案場多設置於人口稠密區，變電所興建難免受阻，期增長速度無法匹配使用者需求，國際諸多電動載具高佔比區域亦面臨類似之問題。可行之解決方式是使饋線對於其上用電量較高之負載進行調度，以期能提高饋線之使用率，而為達成此目的，電網與電能補充場域之資訊交換是密不可分的。本研究研析電動載具電能補充之各角色間通訊標準，並蒐集國際營運商與電力公司之相關管理方式，為本公司未來建立相關制度時提供可參考之範本。

2 成果及其應用：

本研究探討各層級電動載具電能補充所使用之標準協定。電動載具與電能補充設備間之通訊標準隨著充電技術與市場需求有極大之改變，最早之 ISO 15118-2 雖然有針對 V2G 或 Plug and Charge 等使用場景進行設計，但 ISO 15118-20 將其優化，如 V2G 針對 AC、DC 或其他電力傳輸方式進行傳輸資料細緻化，Plug and Charge 針對其認證方式提升資安需求並開放無線通訊與離線認證。

電能補充案場與電網端通訊隨著分散式能源發展，電網端也逐漸重視其與電網之互通性，包含其電能資訊傳輸與電網輔助功能之使用。目前我國與國際上針對分散式能源輔助功能之開發仍以太陽光電與儲能為主，但可預期隨電動載具之數量與容量提升後電網公司會需要其增加更多樣化之輔助功能，而非僅視其為系統負載。

國際營運商之營運模式逐漸往更多功

能性之集團組織邁進，除提供消費者更多元之服務外也能有效利用不同階層所收集之資訊以增進其市場優勢。各國電力公司則是已注意到電動載具發展趨勢，並各自研擬其管理方式，如使用如 OpenADR 或 IEEE 2030.5 等已成熟之管理方式進行資訊交換，或直接成立相關部門或子公司進行數據收集。

參考上述標準與案例，台電應可建立類似機制以進行電動載具資料之收集，並於未來相關設備技術更成熟後開放如 V2G 或輔助服務等電力市場以平衡電網供需。未來可持續關注相關技術發展並建立電能補充案場之資訊收集之平台，進行通訊之模擬與監控測試。由於電動載具多屬於配電層級，此層級有量體小數量龐大之特性，如何建立有效且可靠之通訊方式會是未來發展之重點。

IEC 61850 XMPP 檢測與應用研究

Research on IEC 61850 XMPP Testing and Applications

Abstract

The overall planning of the national smart grid was revised in February 2020, drawing on the smart grid development strategies of advanced countries and adopting a problem-solving approach. Among the key initiatives for advancing the smart grid is the establishment of an application and testing platform for Distributed Energy Resources (DER).

In alignment with overall planning of the national smart grid, Taipower is tasked with the construction and implementation of the smart grid. The plan integrates seven key

focus areas, including “grid management” and “ICT infrastructure.” Among these, the adoption of IEC 61850 and the integration of DER are prioritized. This study conducts analysis and testing of IEC 61850 XMPP applications, along with related ICT and use-case research. The goal is to establish corresponding testing and verification mechanisms in preparation for the real-time monitoring needs arising from the large-scale integration of distributed energy resources into the distribution system.

1 研究背景、目的、方法：

配合政府分散式再生能源推動政策，本研究進行 XMPP 檢測與應用研析，包括智慧電網標準與國內 DER 資通訊及檢測相關規範研析、XMPP 通訊機制與資安強化研析等，此外，亦進行 XMPP 檢測平台規劃與建置，以及 XMPP 檢測實作；

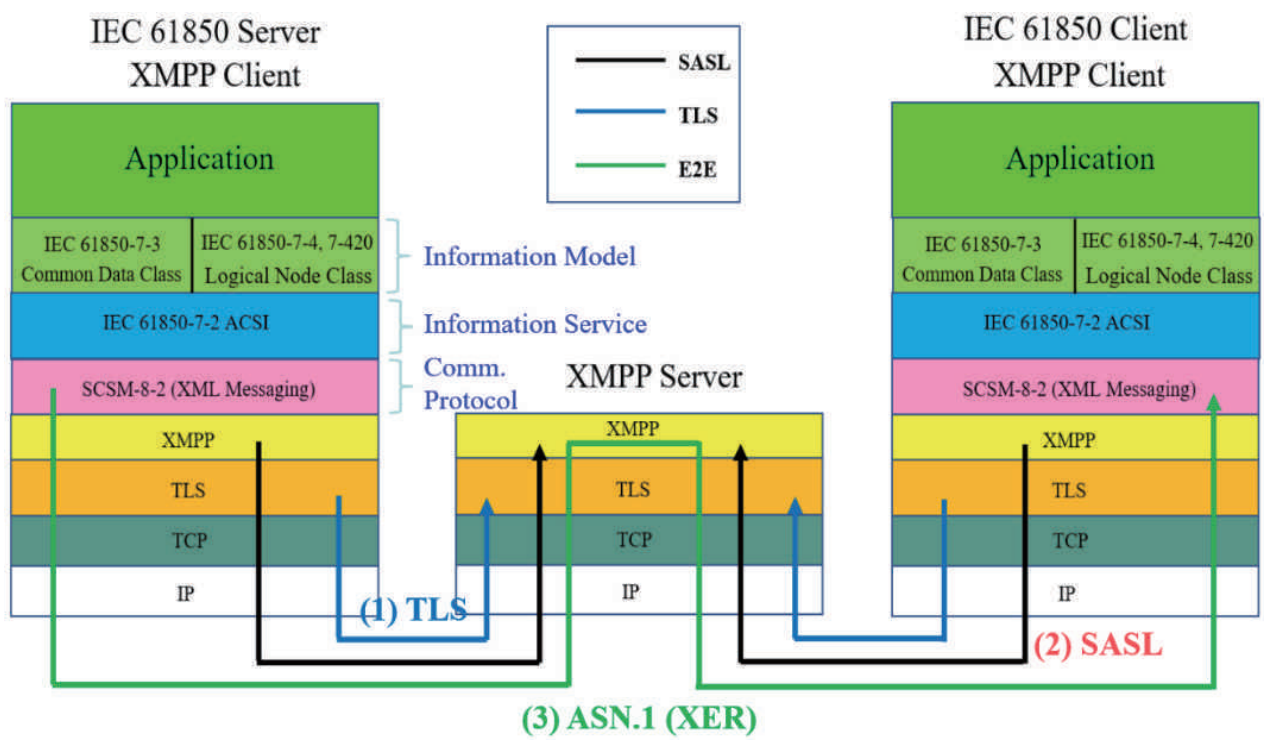
未來可積極與公司相關業管單位協作，進行 DER 資通訊檢測，亦可協助 DER 相關資通訊法規修訂與進行相關應用研究，以期深化自主研發能量，並為未來分散式能源之大規模布建與整合奠定技術基礎。

2 成果及其應用：

本案研究成果及其應用，摘述如下：

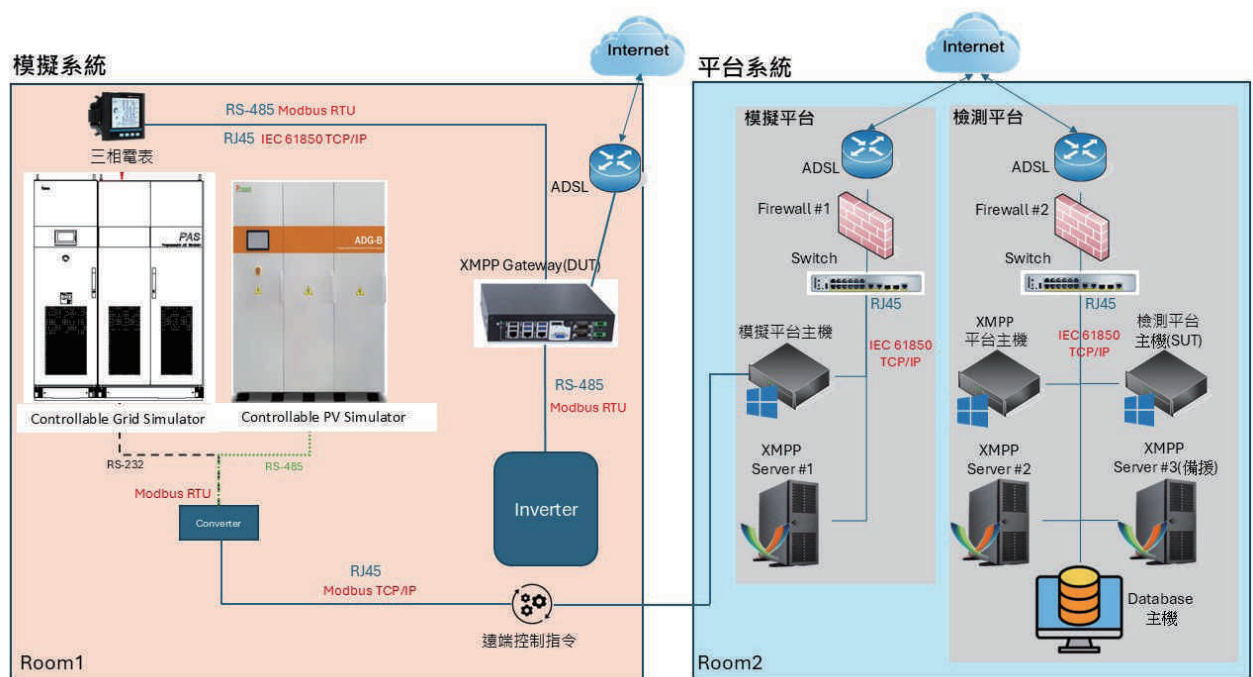
1. DER 資通訊標準及檢測相關規範研析，包括智網標準研析與 DER 資通訊檢測相關規範研析等。
2. XMPP 通訊機制與資安強化研析，包括 XMPP 通訊機制、資料傳輸、資安強化與安全傳輸機制研析，XMPP 安全傳輸機制如圖 1 所示。
3. XMPP 檢測平台規劃與建置，包括太陽光電模擬系統建置與 XMPP 檢測平台規劃、XMPP 檢測平台建

- 置及 IEC 61850 資訊模型規劃等，XMPP 檢測平台架構如圖 2 所示。
4. XMPP 檢測實作，包括 XMPP 閘道器檢測規劃設計、XMPP 雲端資料系統檢測規劃設計、XMPP 閘道器檢測情境建立與實作及 XMPP 雲端資料系統檢測情境建立與實作等，XMPP 閘道器檢測架構如圖 3 所示，XMPP 雲端資料系統檢測架構如圖 4 所示。



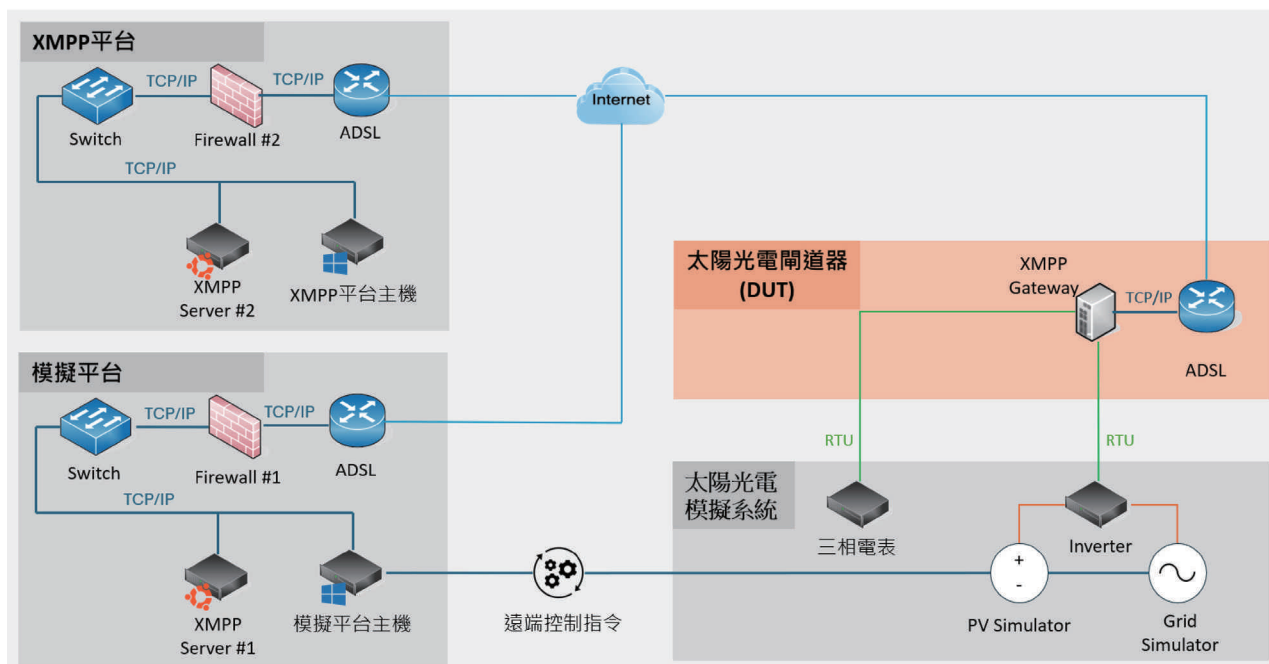
資料來源：本研究

圖 1 XMPP 安全傳輸機制



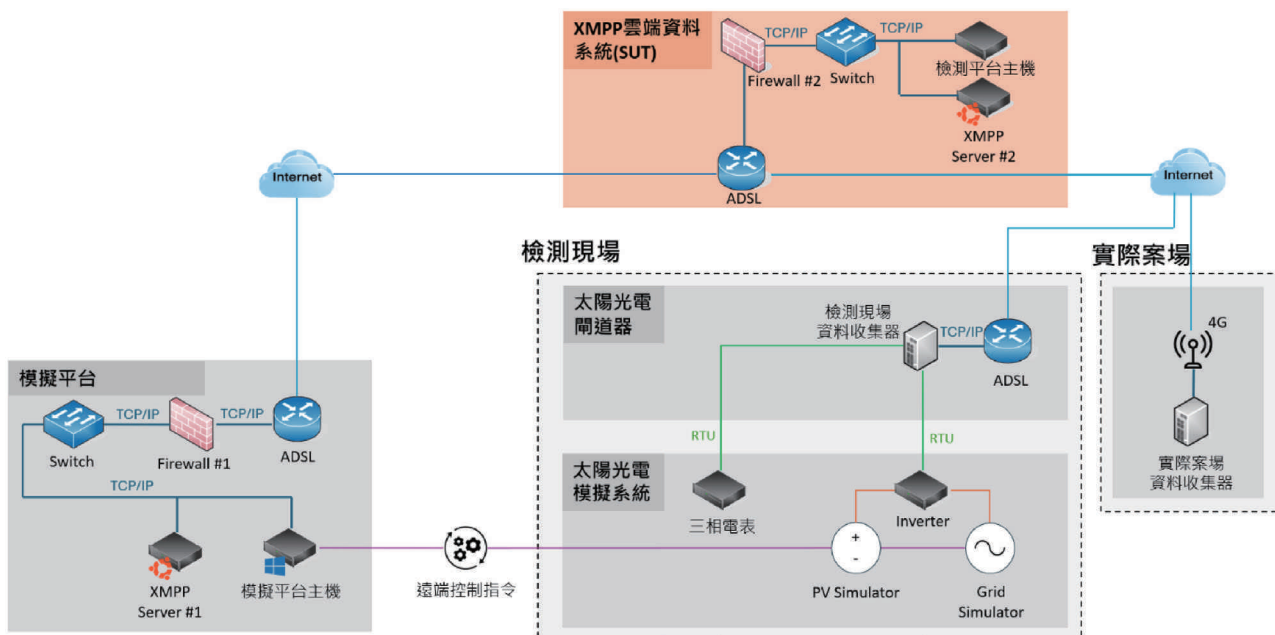
資料來源：本研究

圖 2 XMPP 資通訊檢測架構規劃



資料來源：本研究

圖 3 XMPP 閘道器檢測架構



資料來源：本研究

圖 4 XMPP 雲端資料系統檢測架構

太陽光電虛實整合系統研析與建置評估

Analysis of PV CPS and Installation Assessment

Abstract

With the energy transition and net-zero policies, renewable energy is rapidly developing all around the world, which has significantly impacted the power grid. This study aims to analyze the Cyber-Physical System (CPS) technologies for PV system applications. This study includes a collection of literature related to CPS technology and analyzes the current and future potential PV management and application needs in Taiwan. We focus on the capabilities of smart inverters that comply with CNS 15382 or IEEE 1547 and conduct practical testing and validation. In addition to being familiar with Modbus communication and control

technology of PV inverters, the IEC 61850 information model for smart PV inverters is established to meet varying future monitoring and control requirements. Finally, it proposes the necessary architecture and software/hardware requirements for establishing a PV CPS testing system to support various potential tests and applications in the future. The future goal is for preliminary assessments and validations of power operation, dispatch, and regulatory strategies through this CPS testing system when planning and formulating ICT management practices related to PV systems.

1 研究背景、目的、方法：

為因應再生能源持續快速發展，本公司積極探討與制定再生能源相關管理辦法措施，為支援相關研究測試、提供技術上之建議，未來擬建置太陽光電虛實整合測試系統，本研究屬於前期研析與評估階段，包含蒐集虛實整合相關技術文獻，收集國內相關管理需求資訊、

瞭解國內現階段與未來可能用來管理 PV 系統之資通訊做法，實測變流器 CNS 15382、DREAMS、IEEE 1547 等功能規範，建立適用於 IEEE 1547 變流器規格之 IEC 61850 資訊模型，並分析 PV 虛實整合測試與應用所需之架構與軟硬體功能規格等。

2 成果及其應用：

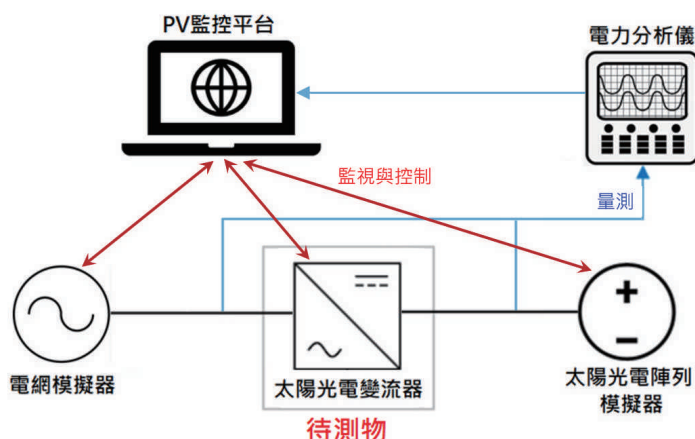
本研究初期蒐集虛實整合相關技術文獻，分別包含基本定義、國際標準、電力系統應用、資通訊控制應用、太陽光電系統應用等資料，並熟悉、瞭解國內現階段與未來可能用來管理 PV 系統之資通訊做法需求，針對現階段已實施之 CNS 15382、DREAMS 相關標準規範，以及未來可能延伸擴展之 IEEE 1547 智慧變流器功能要求，本團隊

利用如圖 1 之太陽光電模擬測試系統，進行深入之研析以及實際測試驗證。

目前此系統可驗證之智慧變流器功能包含有實功控制 / 調節：實功限制控制、電壓 - 實功控制、頻率 - 實功控制；虛功控制 / 調節：固定功率因數、固定虛功值、電壓 - 虛功控制、實功 - 虛功控制；過 / 低電壓穿越，過 / 低頻率穿越，緩啟動

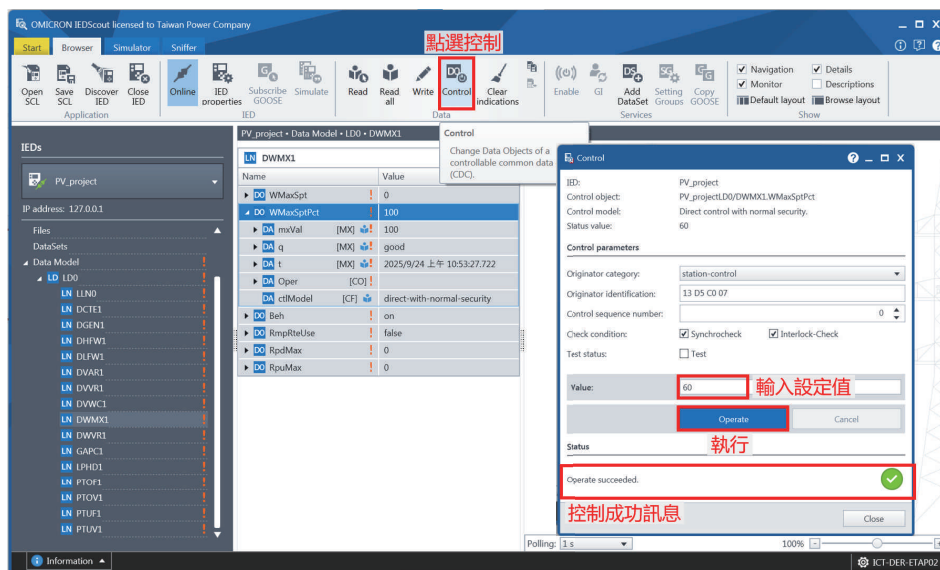
功能 (延遲時間、線性上升時間) 等。此外，對於資通訊技術與應用，目前所測試之變流器均使用 Modbus 通訊規格，並可細分為 Modbus RTU (RS485)、Modbus TCP，以及美規標準 Sunspec Modbus；至於國內目前以符合 DREAMS 規範的 DNP 3 通訊協定為主，此外，IEC 61850 亦為國內採納用來上傳再生能源資訊之通訊協定。本研究依據 IEEE 1547 智慧變

流器規格，制定可用於再生能源先進管理之太陽光電 IEC 61850 資訊模型，並模擬 IEC 61850 Client 端控制修改實功上限值，該控制介面如圖 2 所示。未來擬結合實體測試系統、PV 虛擬系統，並藉由相關資通訊整合技術，建立太陽光電虛實整合測試系統，以驗證各式資通訊管理及控制策略。



資料來源：本研究

圖 1 太陽光電模擬測試系統架構



資料來源：本研究

圖 2 由 IEC 61850 Client 端控制修改實功上限值

研究人員：資訊與通信研究室：張廖俊魁、卓啟翔、許乃倫、蘇亮宇

IEC 61850 二次變電所資安風險評估與防護對策研究

Research on IEC 61850 Secondary Substation Security Risk Assessment and Protection Countermeasures

Abstract

This research focuses on cybersecurity risk assessment and protection strategy development for secondary substations under the IEC 61850 standard. With the development of smart grids, substation automation systems are becoming increasingly complex while facing more cybersecurity threats. Through a systematic Industrial Control System (ICS) security risk assessment methodology, this paper explores the risk assessment process and implementation in the IEC 61850 environment. We developed specialized

platforms for asset vulnerability scanning and analysis, as well as network behavior identification, providing practical methods and tools for power system cybersecurity management. The study also proposes targeted protection measures, including network segmentation, security configuration baselines, and continuous monitoring. The research findings provide important references for substation operators and equipment manufacturers, contributing to improving the overall security and reliability of smart grids.

1 研究背景、目的、方法：

基於 IEC 61850 的智慧變電所是智慧電網運作的關鍵設施，它採用最先進的資通訊技術 (ICT) 讓智慧電子裝置 (IED) 在電力系統運作中實現了互操作性，同時也使得變電所和監控與資料採集 (SCADA) 系統的複雜性和互連性不斷增加，使其面臨廣泛的網路安全威脅。這些威脅不僅來自外部的駭客、競爭對手或工業間諜活動，還可能來自內部員工、負責維護和故障排除的供應商人員以及現場工程師。攻擊者可能竊聽變電所自動化系統的通訊流量，獲取敏感資訊，以及篡改變電所自動化系統的通訊資訊，導致變電所設備誤操作，或是植入惡意軟體控制變電所設備，然後發起精心設計的攻擊，最後可能會導致災難性的系統損壞。因此，需針對

IEC 61850 變電所及 SCADA 系統導入 IEC 61850 資訊架構後可能產生之資安攻擊面，實施資安風險評估，提供具體有效防護對策，以提升 IEC 61850 變電所抵禦網路攻擊之韌性。

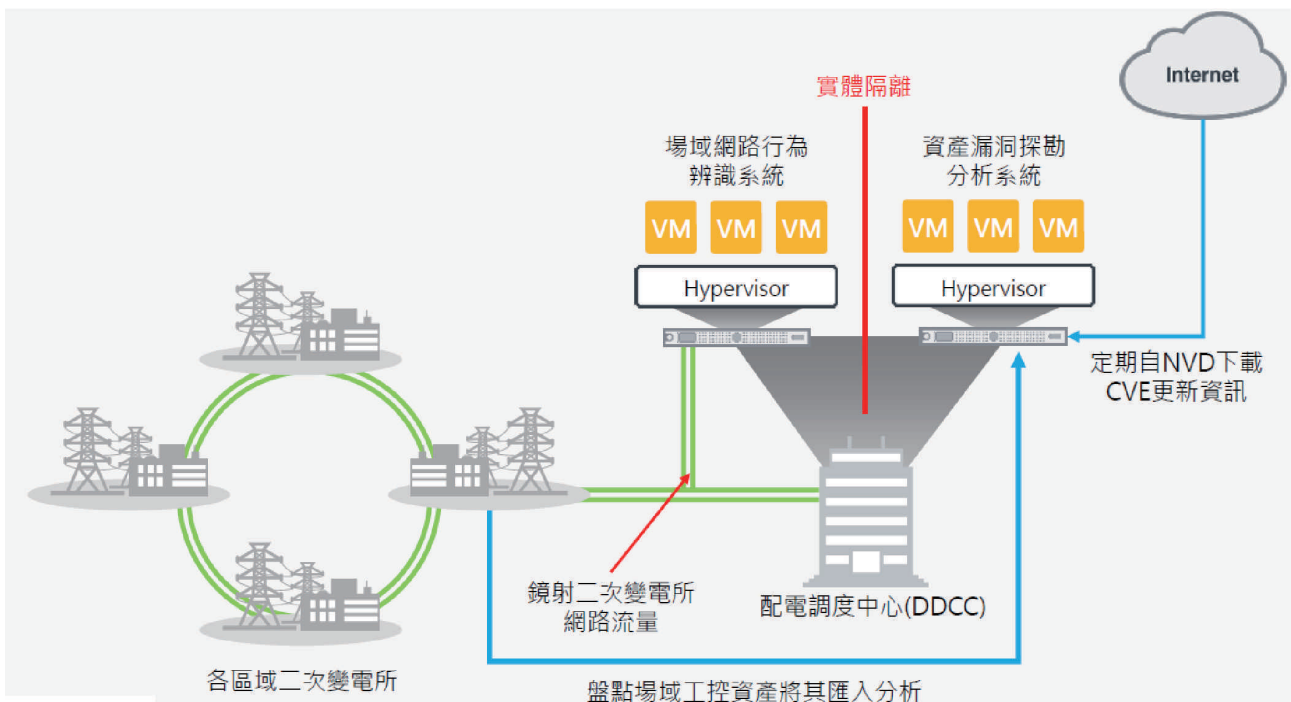
資安風險評估是以資訊安全為出發點，針對資訊傳輸過程中可能存在的風險造成的影響，並進行表列，從而了解和歸納所有從表面上看不出來的資安風險疑慮。在 OT 環境中，資安風險評估是一個系統化過程，用於識別工業控制系統中關鍵資產的安全威脅和脆弱性，評估潛在安全事件對系統的影響，分析現有安全控制措施的有效性，確定風險等級並提出適合 OT 環境的風險處理策略，維護 OT 系統的安全性、可靠性和韌性。

2 成果及其應用：

本研究針對 IEC 61850 二次變電所的資安風險進行深入評估，首先盤點 IEC 61850 二次變電所資產，建立資產清冊及威脅模型，執行弱點分析及滲透測試、影響分析等方法，參考 IEC 62443 訂定資安區域及資安等級。依據風險評估結果，研擬具體有效資安控制措施，包括 OT/IT 網路隔離、網路流量監控、變電所內部及與控制中心間通訊協定加密認證機制選用、遠端存取控制及端點防護，作為 IEC 61850 變電所整體資安防護規劃，並建立一套適用於 IEC 61850 二次變電所的資

安風險評估框架。透過系統化的風險評估和防護措施，提出本研究特有的資產漏洞探勘分析與場域網路行為辨識系統，可以有效降低資安風險，確保電力系統的安全穩定運轉，研究成果預期可達成以下效益：

1. 提供二次變電所資安風險評估作業程序，確保資安風險評估工作能有效且一致地在各二次變電所落實執行，提升整體資安防護水準。
2. 開發資產漏洞探勘分析與場域網路行為辨識系統，即時掌握及監控案場關鍵設備漏洞及網路流量資訊 (圖 1)。



資料來源：本研究

圖 1 資產漏洞探勘分析與場域網路行為辨識系統

研究人員：資訊與通信研究室：林呈鴻、黃曄珩

分散式能源相關資安標準應用研析

Research on the Application of Cybersecurity Standards for Distributed Energy Resources

Abstract

This study analyzes cybersecurity challenges and governance strategies for Distributed Energy Resources (DERs). While international cybersecurity frameworks exist, they need continuous updates to address diverse scenarios and evolving threats. Policies are moving toward stronger legal enforcement, practical guidance, and clear accountability. DERs systems face complex security issues due to decentralized deployment, diverse devices, and multiple

protocols, requiring multi-layered defenses like defense-in-depth and secure-by-design approaches. By reviewing recent incidents, the report recommends countermeasures for protocol vulnerabilities, physical security, remote access, and supply chain risks. The study emphasizes developing a comprehensive governance framework integrating policy, architecture, threats, and protection strategies to strengthen energy security and system resilience.

1 研究背景、目的、方法：

智慧電網布建大量 DERs 新技術及服務來提高營運效率，同時也會擴大網路安全風險，對電網運作產生嚴重影響。本研究分析全球與國內 DERs 資安標準與政策發展現況，釐清其技術架構與潛在資安弱

點，並透過實際攻擊事件與新興威脅趨勢之探討，提出針對性的風險評估與防護建議。透過國際標準比較與技術趨勢彙整，建立 DERs 資安整體圖像，做為政策規劃、產業發展與技術實務推動之重要參考。

2 成果及其應用：

1. 解析不同應用情境下的 DERs 系統架構與技術特性，透過系統性文獻檢索，整理近五年學術與產業權威資料，探討智慧電網中 DERs 的架構模型分類，並分析不同應用場景下的 DERs 架構特性。
2. 蒐集全球 DERs 資安標準與政策發展的現況，並彙整主要標準文件與相關版本，深入探討其技術演進脈絡、法規政策趨勢及實際導入案例所面臨之挑戰與限制，做為未來政策制定與產業實務落地之參考依據。
3. 探討近年資安事件與新興攻擊樣態，包含 2015 年與 2016 年的烏克蘭電網攻擊事件以及 2019 年美國 sPower 再生能源電廠的通訊

- 中斷事件進行深入分析，並探討 2024-2025 年最新的 DERs 資安威脅趨勢、關鍵技術與漏洞。分析 DERs 系統技術層面、協定層面與供應鏈等面向的資安弱點與防禦策略，包含硬體設備、控制軟體與通訊協定等核心元件，並全面探討其所面臨的資安挑戰。
4. 針對 DERs 系統之網路架構、通訊協定、裝置層級、遠端管理、異常偵測與實體安全等多面向 (圖 1)，進行系統化分析，並參考 ISA/IEC 62443、IEC TR 62351、IEEE 1547.3、UL 2941 等國際標準架構，建構出符合 DERs 實務場景的資安防護建議 (圖 2)。

● 與傳統集中式電網相比，DER 系統具有以下資安關鍵特性：



- **高度分散與外部暴露面積廣大，每個節點皆可能成為入侵入口**
無人值守、多場域部署，缺乏實體安全防護
通常連接公共網路或外包業者網路，暴露於外部攻擊面
- **依賴遠端管理與存取風險，遠端終端如筆電、VPN 易遭入侵或中間人攻擊**
缺乏多因子認證、權限分級與連線通道控管
維運筆電如未加強防護，可能成為攻擊跳板
- **通訊技術多樣且安全特性不一，加密與認證能力不一，無線易被嗅探/干擾**
使用 Wi-Fi、4G、LoRa 等無線通訊途徑
不同技術間安全能力落差大，易成縱深滲透點
- **裝置計算能力有限與更新受限，難以執行修補、安裝資安代理程式**
裝置常用簡易通訊協定 (Modbus/DNP3) 且無加密
不支援 OTA 更新，需人工現場維護，修補落後

資料來源：本研究

圖 1 DERs 系統的資安特性與挑戰



資料來源：本研究

圖 2 DERs 架構對應之資安功能

研究人員：資訊與通信研究室：林呈鴻、蕭宇竣

生成式人工智慧於電業專業領域之應用試驗

Pilot Application of Generative Artificial Intelligence in the Electric Power Industry

Abstract

Driven by the global energy transition, Taipower faces challenges in integrating fragmented internal data with rapidly changing market intelligence. This paper proposes a generative AI framework utilizing Large Language Models (LLMs) to construct a "Power Sector Domain Brain." By employing domain-specific fine-tuning, the system synthesizes professional expertise with real-time data, using hydrogen technology trends and international

electricity price volatility as primary application cases. The research addresses critical technical hurdles, including knowledge fusion, model accuracy, and data security. Results indicate that this approach significantly enhances predictive analysis and strategic decision-making. This study provides a strategic roadmap for Taipower's intelligent transformation and serves as a model for the broader energy industry.

1 研究背景、目的、方法：

能源轉型已成為全球趨勢，氫能技術和國際電價波動深刻影響能源市場。台電在技術趨勢研判方面面臨重大挑戰，氫能技術涉及多學科交叉且研究成果分散，公司內部雖累積大量寶貴資料卻未能有效整合利用，難以因應快速變化的國際能源市場。生成式人工智慧特別是 LLM 技術的發展提供了新契機，通過領域微調可建構「懂電力」的領域大腦，整合內部機密資料與外部電業資料庫及國際電價數據，聚焦氫能和電價趨勢提供決策輔助。

本研究旨在建構電力領域專用之地端大語言模型 (LLM) 架構，並透過氫能技術與國際電價趨勢之多文件摘要任務，實證其在垂直領域的落地價值。具體研究目標包含：

1. 架構優化與領域微調：開發結合專家回饋修正 (Human-in-the-loop) 與自動化擴增機制之微調框架，建構高品質電業知識資料集，以提升模型生成內容之專業精確度。
2. 高效能運算環境建置：於 NVIDIA A100 GPU 環境部署 7B 級以上模型，優化長序列文本處理能力 (10,240 tokens 輸入與 4,096 tokens 輸出)，並達成 10 人併發下總吞吐量逾 18 tokens/sec 之系統性能。
3. 多維度成效實證評估：透過領域專家針對專業性、準確性與完整性之李克特五級量表評測，確保生成摘要之平均得分達 3.5 分以上，藉此量化驗證地端模型於電業實務應用中之可行性與專業效能。

2 成果及其應用：

本計畫成功完成了地端 LLM 架構的建立與優化，並透過大規模的領域資料蒐集與自動化合成，建構氫能發電與國際電價議題的微調資料集，進而有效提升模型在氫能與國際電價議題的理解與生成能力。實驗顯示，透過所採用的合成資料

與微調技術，模型可信度評分有顯著進步，Llama-3.1-8B 模型經微調後分數自 571 提升至 833，Breeze-8x7B 亦由 722 提升至 823，此外 phi-4 系列模型更展現超越 gpt-4o 的表現，適合作為未來應用的主要基礎模型。

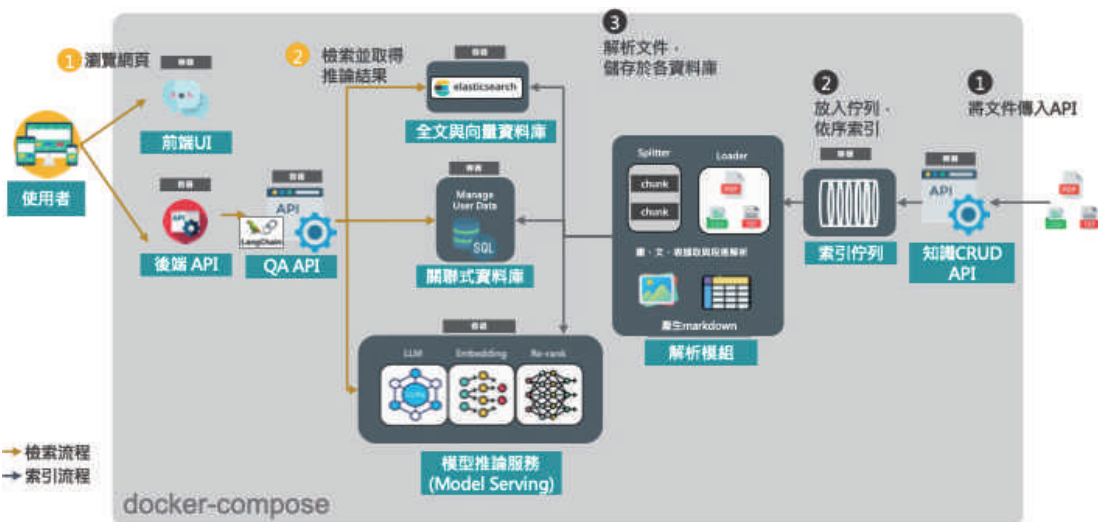


資料來源：本研究

圖 1 氫能與國際電價示範應用界面

在示範應用方面，本計畫已成功開發氫能與國際電價兩項應用示範 (圖 1)，整合 RAG 架構 (圖 2) 與 ReAct Agent，使系統具備在內部知識不足時能自動執行多層次檢索、補充外部資料並生成摘要的能

力。專家透過 5 級分李克特量表對落地 LLM 與 OpenAI 進行專業性、準確性與完整性評分，結果顯示落地 LLM 平均分數顯著優於 OpenAI，均超過 3.5 分門檻，達到預期效益。



資料來源：本研究

圖 2 RAG 系統架構圖

研究人員：資訊與通信研究室：林昱呈、林呈鴻、郭家宏、蕭宇竣

工廠儲能與區域 STATCOM 減緩電壓驟降效能分析

Performance Analysis of Factory Energy Storage and Regional STATCOM for Mitigating Voltage Sag

Abstract

As the world actively promotes green energy to respond to climate change, the Taiwanese government also plans to achieve the goal of completely decarbonizing the power system by 2050, with renewable energy accounting for 60-70%. However, the high uncertainty and variability of intermittent renewable energy poses significant challenges to the stability of the power system. In response to the challenge of the increasing penetration of renewable energy, our company continues to build battery energy storage systems (BESS) and static synchronous compensator (STATCOM) in many locations across Taiwan.

This project uses PowerFactory software to establish a power system model for Taiwan. By designing multiple N-1 fault scenarios, the response characteristics of BESS and STATCOM under voltage sag scenarios are simulated and analyzed to explore the performance of BESS and STATCOM in mitigating voltage sags in addition to their original purposes when power supply accidents occur. It also aims

to understand whether these devices can bring other benefits to the power system and improve the reliability and flexibility of the power grid.

The simulation analysis of this case shows that although BESS and STATCOM have the ability to increase the lowest point voltage when a voltage sag occurs, the degree of improvement is not significant. STATCOM performs better than BESS in improving voltage sag, and the case with the largest voltage improvement is the one using STATCOM, which increases the lowest voltage point by 0.4219%.

The power system may experience a sudden voltage sag due to natural disasters, external forces, equipment failure and other factors. This is an unavoidable situation in power operations. Users who are sensitive to voltage sags can install UPS in front of sensitive equipment to reduce the interference caused by voltage sags. This is also a more cost-effective approach in terms of technology and investment.

1 研究背景、目的、方法：

隨著全球積極推展綠色能源以因應氣候變遷，我國政府亦規劃在 2050 年實現電力系統完全去碳化的目標，其中再生能源占比將達到 60~70%。然而，間歇性再生能源的高度不確定性與變動性，對電力系統的穩定性帶來重大挑戰。為因應再生能源滲透率逐漸提升的挑戰，本公司持續在全台多處建置電池儲能系統 (Battery Energy Storage Systems, BESS) 及靜態同步補償器 (Static Synchronous Compensator, STATCOM)。

本計畫運用 PowerFactory 軟體建立台灣本島電力系統模型，透過設計多個 N-1 故障情境，模擬分

析 BESS 及 STATCOM 在電壓驟降情境下的響應特性，以探討 BESS 及 STATCOM 除了原先建置的用途外，在發生供電事故時減緩電壓驟降方面的效能表現，了解這些設備能否對電力系統帶來其他的效益，同時提升電網可靠度與彈性。

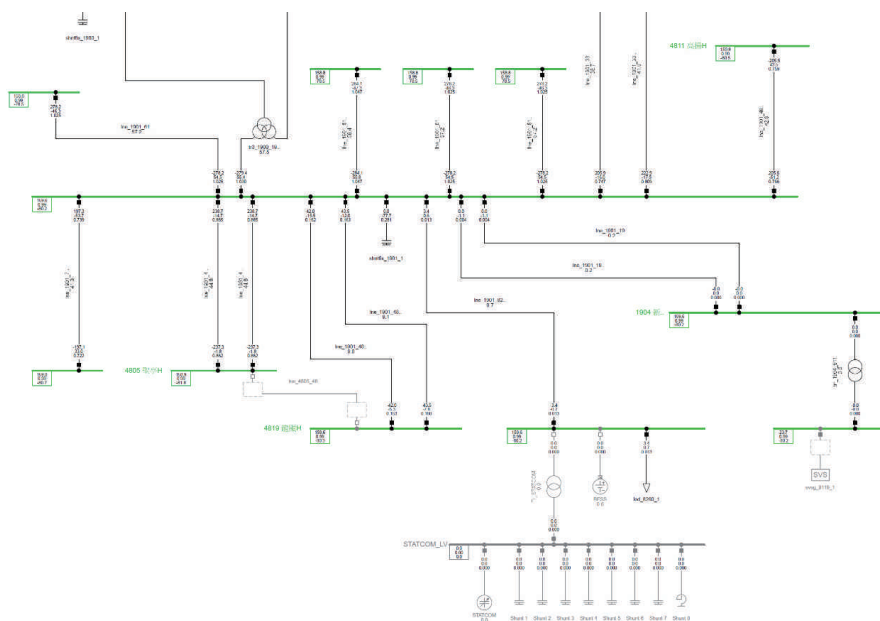
研究方法採用 PowerFactory 軟體建立台灣本島電力系統模型，並透過 N-1 故障情境進行模擬，此方法在電力系統分析中是標準且廣泛接受的，能夠有效地剖析電壓驟降問題以及 BESS 和 STATCOM 的響應，以評估這些設備在改善電壓驟降方面的效能及實際應用可行性。

2 成果及其應用：

本研究的主要成就體現在透過模擬，量化評估了 BESS 和 STATCOM 在減緩電壓驟降方面的具體效能。雖然兩者均能提升電壓最低點，但改善程度並非顯著。其中，STATCOM 在改善電壓驟降方面的表現優於 BESS，並在模擬案例中實現了電壓最低點提升 0.4219% 的效果，這具體呈現了 STATCOM 在此應用情境下的相對優勢。

儘管模擬結果指出這兩種設備在電壓驟降發生時，提升最低點電壓的能力有限，但此發現對本公司具有重要實務應用價值。在電網規劃和設備投資時，需更審慎評估 BESS 和 STATCOM 作為單一解決方案在應對電壓驟降方面的效益。這意味著，若主要目標為「顯著緩解電壓驟降」，可能需考慮搭配其他更具針對性的電壓支持技術，或重新評估這些設備在此特定應用情境下的成本效益。這有助於本公司更客觀、務實地面對 BESS 和 STATCOM 在電壓驟降事件中的實際表現，從而避免資源的低效配置，並促使我們探索更多元、更有效的電網穩定化策略。各項研究成果概要總結如下：

1. 探討儲能技術的最新發展趨勢及市場規模，分析主要儲能製造商與營運商的市場地位、技術特點等，及介紹儲能系統的基本組成，並比較不同電池技術的性能特點，最後介紹幾個實際案例展示儲能技術在電網的成功應用。
2. 探討 STATCOM 技術的最新發展趨勢及市場規模，分析主要 STATCOM 製造商的產品技術特點及不同型號的差異，及詳細說明 STATCOM 模組化的系統架構，最後以實際案例說明 STATCOM 在電壓調節方面的應用成效。
3. 使用 PowerFactory 模擬軟體，以內建的 WECC 模型建立 BESS 及 STATCOM 設備，再選定龍潭 E/S 及糖科 D/S 區域的大用戶為模擬案例，如圖 1 所示，以便了解 BESS 及 STATCOM 分別對電壓驟降的改善情形。
4. 根據前述模擬分析結果，說明本計畫 BESS 及 STATCOM 對電壓驟降的效能表現分析結果，並評估其實際應用的可行性。



圖表來源出處：本研究繪製

圖 1 龍潭 E/S 轄下 8260 大用戶的 BESS 及 STATCOM

研究人員：電力研究室：吳旻哲、柯喬元、賴凱右、唐城

電力電子控制技術於電力系統慣量改善之應用

Application of Power Electronic Control Technology in Power System Inertia Improvement

Abstract

In recent years, the penetration rate of renewable energy has continued to increase, and renewable energy is mainly connected to the grid through power electronic converters and Inverters. In the future, a large number of power electronic converters will gradually replace traditional synchronous generators. Power electronic converters and Inverters lack the characteristics of physical inertia and damping. Therefore, when a disturbance occurs in the power system, it will cause drastic changes in frequency, resulting in high rate of change of frequency (RoCoF). In order to improve the above problems, improvements in control technology for power electronic inverters can be used to overcome the problems of low inertia and low damping of the power system. In recent years, grid-forming inverters have been used in power systems to enhance system stability and resilience. Grid-forming inverters have functions such as independent output voltage and output frequency, islanding operation, and black

start. However, grid-forming inverter is just a general term, which includes different types of control methods. The more common control methods include: (1) droop control; (2) virtual synchronous generator/machine (VSG/VSM) control; (3) virtual oscillator (VO) control, etc. Among them, virtual synchronous generator/machine control is the most commonly used grid-forming inverter control technology, which has dynamic characteristics similar to traditional synchronous generators, such as inertia and damping characteristics. Therefore, this project firstly introduces the above-mentioned grid-forming inverter control technology, and then deeply discusses the benefits of virtual synchronous generator control technology. Finally, it collects and analyzes the international power grid specifications of virtual synchronous generators from the perspective of power electronics. This project can be a reference for future application of grid-forming inverters or virtual synchronous generators.

1 研究背景、目的、方法：

近年來，再生能源滲透率持續地增加，而再生能源主要是透過電力電子轉換器與電網併接。未來，大量的電力電子轉換器將逐漸取代傳統同步發電機的機組，電力電子轉換器缺乏慣量與阻尼的特性。因此，當電力系統發生擾動時，將造成頻率劇烈的變化，導致較高的頻率變化率 (Rate of Change of Frequency, RoCoF)。為了改善上

述的問題，針對電力電子轉換器進行控制技術的改善可以用來克服電力系統低慣量與低阻尼的問題。近幾年，Grid Forming Inverter 被用於電力系統來增強系統的穩定度與韌性。Grid Forming Inverter 具備獨立輸出電壓與頻率、孤島運轉以及全黑啟動等功能。然而，Grid Forming Inverter 只是一個統稱，其包含各種控制方法，較常見的方

法如：(1) 下垂 (Droop) 控制、(2) 虛擬同步機 (Virtual Synchronous Generator/Machine, VSG/VSM) 控制、(3) 虛擬振盪器 (Virtual Oscillator, VO) 控制等控制法。其中，虛擬同步機為最常使用的 Grid-forming Inverter 控制技術，如圖 1 所示，其具有類似傳統同步發電機的動態特性，例如慣量與阻尼特性等。因此，本

計畫首先介紹上述所提的 Grid-forming Inverter 控制技術，並以電力電子的角度深入探討虛擬同步機控制技術的效益，最後蒐集與研析目前國際上虛擬同步機的電網規範，作為電力公司未來應用 Grid-forming Inverter 或虛擬同步機時之參考依據。

2 成果及其應用：

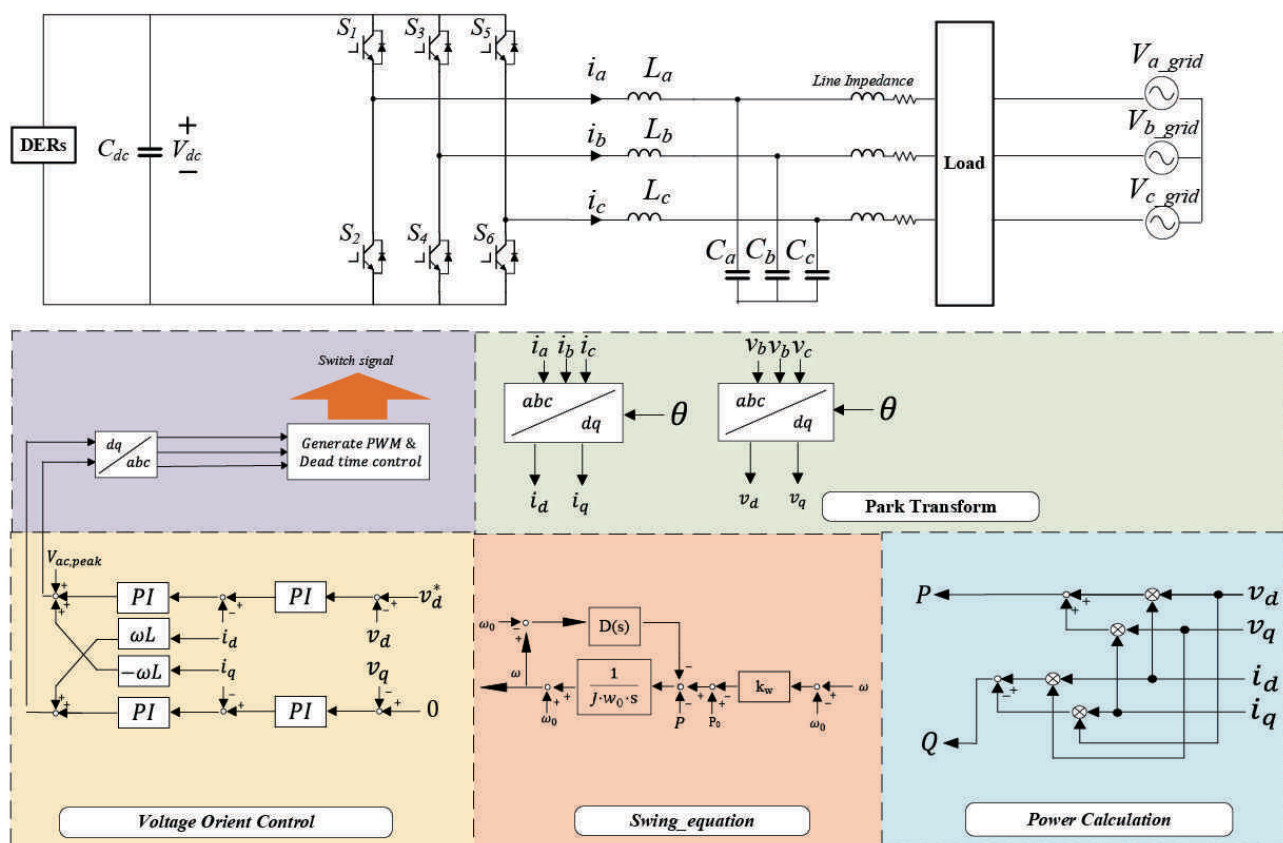
成果：

1. 構網型變流器 (GFMI) 控制技術之深度研析：本研究深入探討了構網型變流器的三種主要控制方法：下垂 (Droop) 控制、虛擬同步機 (VSG) 控制及虛擬振盪器 (VO) 控制。研究指出虛擬同步機因具備類似傳統同步發電機的慣量與阻尼特性，是改善系統頻率變化率 (RoCoF) 最常用的技術。
2. 系統模擬與特性驗證：透過模擬與實作驗證了 VSG 的特性，發現調整虛擬慣量 (J) 可有效抑制頻率變化率，而調整虛擬阻尼 (D) 則能抑制功率振盪。研究也提出自適應虛擬阻抗方法，成功解決了多台 VSG 並聯時產生的功率振盪問題。
3. 複雜電網環境下的應對策略：針對電壓驟降、相位跳變 (Phase Jump) 及非線性負載等擾動情境，研究開發了相應的控制補償機制。例如在電壓驟降 20% 時，GFMI 能輸出虛功支撐電壓；針對非線性負載，透過諧波抑制法能使電壓與電流總諧波失真 (THD) 符合規範。

4. 國際規範之綜整研析：蒐集並研析了英國 (GC0137)、IEEE P2988、北美 (NERC) 及澳洲 (AEMO) 等國際電網規範，整理出 GFMI 必須具備的強制性功能 (如頻率調整、同步、故障穿越等) 與測試項目，如圖 2 所示。

應用價值：

1. 提升高再生能源系統穩定性：隨著太陽能、風電等分散式能源增加，系統慣量大幅下降。本研究成果可直接應用於未來再生能源占比達 100% 的電力系統，解決低慣量造成的穩定性挑戰。
2. 電力公司電網規範制定之參考：本計畫研析的國際規範與測試項目 (如 RoCoF 響應、相位跳變能力測試)，可作為台電未來在應用 GFMI 或虛擬同步機時，制定設備規格及測試標準的參考依據。
3. 多樣化電網場域應用：研究成果適用於微電網 (如偏遠地區、軍事基地)、離島型電網及大型電網中脆弱的部分，協助其實現全黑啟動及孤島穩態運轉的功能。



資料來源：本研究彙整

圖 1 Grid-Forming Inverter (VSG) 系統架構圖

電力系統或管轄區	GFMI (VSG) 服務定義	電網規範修正	服務市場	倡議和計畫	現狀與前景
National Grid ESO (英國)	A, B, C, D, E & G	☑	☐	☑	提議非強制性電網規範修正
ENTSO-E (歐洲)	A, B, C, D, F & H	☐	▲	☑	實施取決於地點/緊急程度
AEMO (澳洲)	A, B, C, D, F & H	☐	☐	☑	到 2025 年，電網規模 BESS 具備電網形成能力
United States(美國)	☐	☐	▲	☑	制定標準並在約 5 年內開始採用

A – 慣性和跳相功率	E – 對阻尼的貢獻	☑ 可用/採用
B – 故障電流注入	F – 電力系統孤島	☐ 計劃/即將進行
C – 對系統強度的貢獻	G – 黑啟動能力	▲ 未計劃/未知
D – 電壓/虛功功率支持	H – 減少諧波和控制相互作用	

資料來源：本研究彙整

圖 2 各國或地區之 GFMI 規範制定情形

再生能源及儲能系統使用電力電子設備對變壓器影響

Impact of Power Electronic Equipment Used in Renewable Energy and Energy Storage Systems on Transformers

Abstract

With the grid connection of power electronic equipment (such as converters, charging piles, and energy storage systems), the harmonic content of the power grid has increased significantly, posing a threat to the safety and lifespan of transformers. The core destructive mechanism of harmonics on transformers lies in the significant increase in losses and thermal stress. In terms of windings, the skin effect and proximity effect caused by high-frequency harmonics lead to an increase in AC resistance, causing

a surge in copper losses. In terms of the core, eddy current losses are proportional to the square of the frequency, making high-frequency harmonics the main cause of core overheating. According to field tests conducted by Taipower at Longtan, Dongshan, and Changhua Industrial Park projects, although current data comply with the IEEE 519-2022 standard, harmonics are indeed significantly present in large-scale energy storage and renewable energy projects.

1 研究背景、目的、方法：

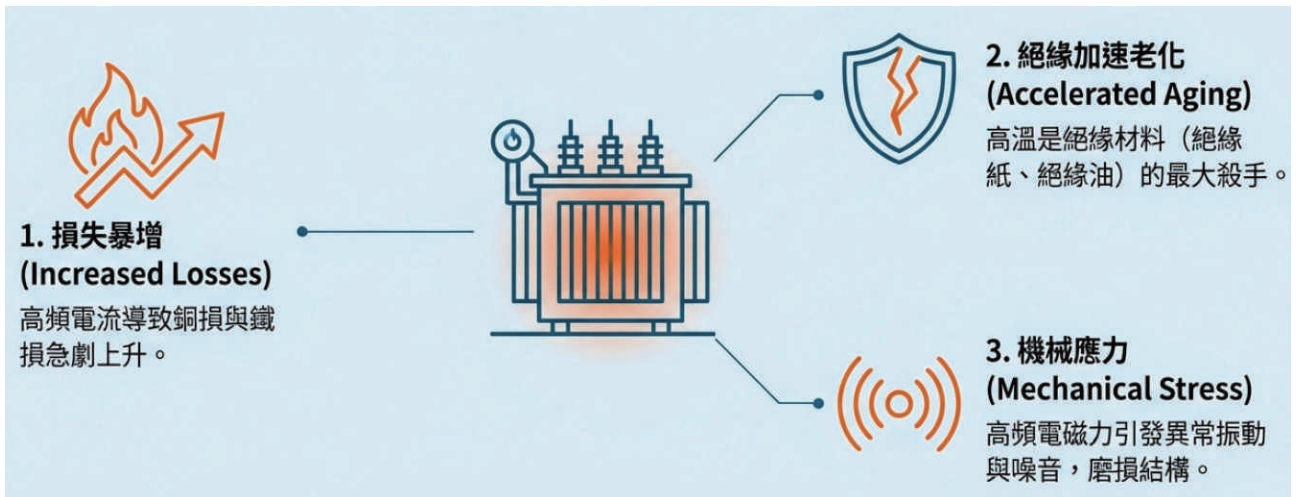
隨著電力電子設備(如變流器、充電樁及儲能系統)的併網，電網諧波成分顯著增加，對變壓器的安全與壽命構成威脅。諧波對變壓器的核心破壞機制在於大幅增加損耗與熱應力。在繞組方面，高頻諧波引發的集膚效應與鄰近效應會導致

交流電阻上升，使銅損激增；在鐵心方面，渦流損耗與頻率平方成正比，是高頻諧波導致鐵心過熱的主因。根據台電龍潭、冬山及彰工等案場實測，雖目前數據均符合 IEEE 519-2022 標準，但諧波在大型儲能與再生能源案場中確實顯著存在。

2 成果及其應用：

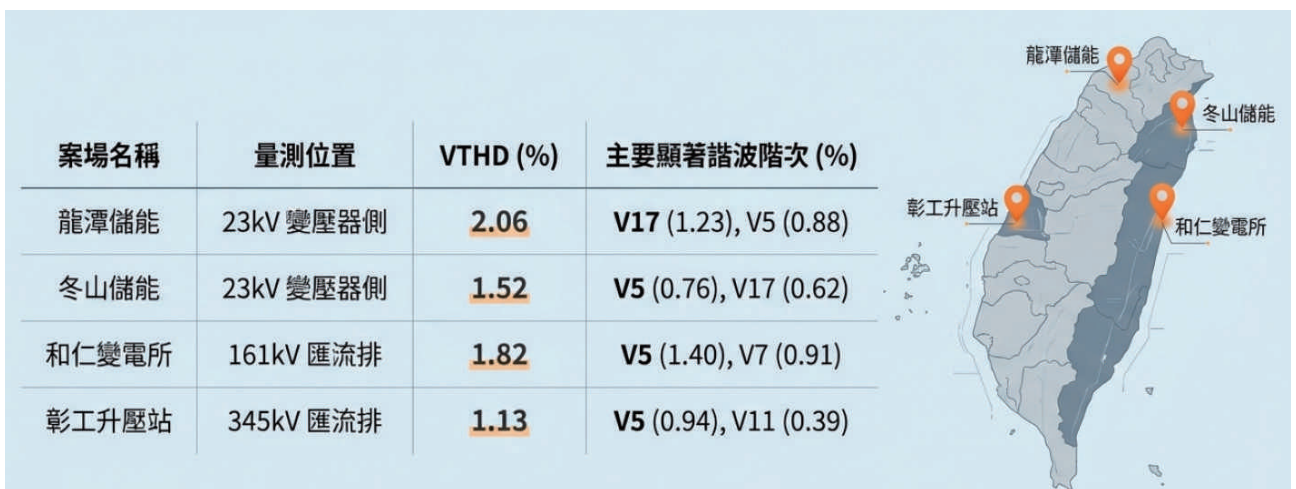
1. 電力系統中，由於變流器、變頻器、UPS、充電樁及 LED 照明等電力電子設備及非線性負載的普及導致電網諧波成分顯著增加，威脅電網電力品質，連帶影響變壓器的安全與壽命。
2. 諧波是變壓器壽命縮短的主因，會導致變壓器在未滿載情況下過熱。這些額外的損耗主要包括：銅損增加、鐵損增加、絕緣加速老化及機械應力。(如圖 1)
3. 所有案場(龍潭、冬山、和仁、彰工)之電壓諧波失真率，無論是單

- 階或總失真率，皆符合 IEEE 519-2022 規範。(如圖 2)
4. 隨著控制器的進步，可望利用機器學習模型來預測負載變動趨勢，提前調整主動濾波器(APF)的補償策略，並實現多台濾波器之間的協同運作控制，避免相互干擾振盪。
5. 雖然高頻噪音超出了人類聽覺感知範圍，但高頻振動會增加環氧樹脂材料中局部放電的幅度，導致絕緣材料老化疲勞。對於高頻諧波引起的振動和噪音特性應受到更多關注。



資料來源：本研究彙整

圖 1 電網諧波對變壓器之影響



資料來源：本研究彙整

圖 2 特定變電所之電壓諧波失真率

研究人員：電力研究室：柯喬元、唐城、吳旻哲、江文莊

三相四線式 110/220V 低壓供電方式之效益及影響

A Study on the Benefits and Impacts of a 110/220V Three-Phase Four-Wire Low-Voltage Power Supply Configuration

Abstract

To provide value-added and user-centric electricity services while reducing power losses, it is important to consider Taipower's current three-phase three-wire 220V supply system. Under this system, users who need to operate single-phase 110V electrical appliances must install additional low-voltage autotransformers, which negatively impacts the efficiency of the power system.

The focus of this research project is to explore the implementation of a new 220/110V three-phase four-wire low-voltage power supply design. The study examines key aspects such as transformer capacity, installation location, and three-phase imbalance analysis. The representative distribution feeders from Taipower are selected to apply the proposed new low-voltage supply model. The study then evaluates the benefits by analyzing its impact on power losses, voltage and

current imbalance, and overall performance improvement in the distribution feeder.

The introduction of a new low-voltage three-phase four-wire power supply system will bring multiple benefits, not only enhancing the quality of power services but also demonstrating the company's proactive fulfillment of its social responsibility. Firstly, in terms of cost savings, users who can directly obtain the required 110V low-voltage supply will be able to avoid the expenses associated with installing or replacing low-voltage transformers, thereby reducing the overall cost of power conversion. Secondly, the energy-saving and carbon-reduction benefits are also significant. When users no longer need to purchase or install transformers for voltage conversion, it effectively reduces equipment energy consumption and carbon emissions, further improving energy efficiency.

1 研究背景、目的、方法：

為創新電力價值提供民眾有感服務減少電力損耗，考量台電現行三相三線式 220V 供電方式，用戶若需使用單相 110V 用電器具，均需另行加裝低壓自耦變壓器，對整體電力系統損失並不友善。現行三相三線式 220V 表後僅提供 220V 供電，而三元件電子表之標準接線，中性線已可接至表箱供計費電表用，配合安裝三元件電子表，將可避免不法人士利用二元件機械電表

使其電表計量失真情形。因用戶不具備相關維護檢驗專業技能且未將維護事宜交由相關專業廠商辦理檢驗，裝設低壓自耦變壓器後，常無人負責維護保養，如該變壓器設置地點為屋外或環境不良之場所，易使電力設備劣化造成危害，如由台電直接供應 110V 電壓，用戶不須設置低壓自耦變壓器，可減少意外發生。

本計畫之主要目標為考慮新增

三相四線式 220 /110 伏特低壓供電設計下，研究低壓供電之變壓器容量、設置地點、饋線負載平衡分析，選擇台電代表性配電饋線，導入所建議新的低壓供電模式，分析對配電饋線供電損失與電壓及電流三相不平衡分析。針對各類型變壓器容量、設定位置及饋線負載平衡進行分析，並以台電代表性配電饋線為案例，評估其對電壓與電流三相不平衡、供電損失之改

善效果與經濟效益。本計畫利用電腦模擬工具，結合所建變壓器模型與三相潮流分析程式，針對現行與新型低壓供電方式進行比較，選定兩區域模擬分析配電損失與負載分配，並進行成本效益評估。此外，亦考量不平衡與電壓差異對用電設備的影響，提出營業規章與電價表修正建議，以提升用電安全與系統運轉穩定性。

2 成果及其應用：

目前各國的低壓供電電壓制度各異，反映出其電力發展歷程與標準化政策的不同。台灣目前採用的是 110V/220V(單相) 與 220V/380V(三相) 供電制度，此種電壓設計與多數市售家電相容性良好，亦提供較大的設計彈性。美國則運用 split-phase(分相 120/240V 系統，其優勢在於有助於住宅能源使用效率與負載均衡，但因結構較複雜，也提高了設計與維運的門檻。日本採用 100/200V 系統，因電壓偏低，導致電器設備耗電流較大，整體能源效率較差。相比之下，德國使用 230/400V 系統，與歐洲 IEC 標準一致，其供電效率與能耗表現皆為上乘。整體而言，台灣在電壓相容性與穩定性方面具有明顯優勢，惟其電壓規格尚未全面與國際標準接軌，若能朝向統一採用 220V 制式，將可進一步降低輸電損失、提升能源利用效率。

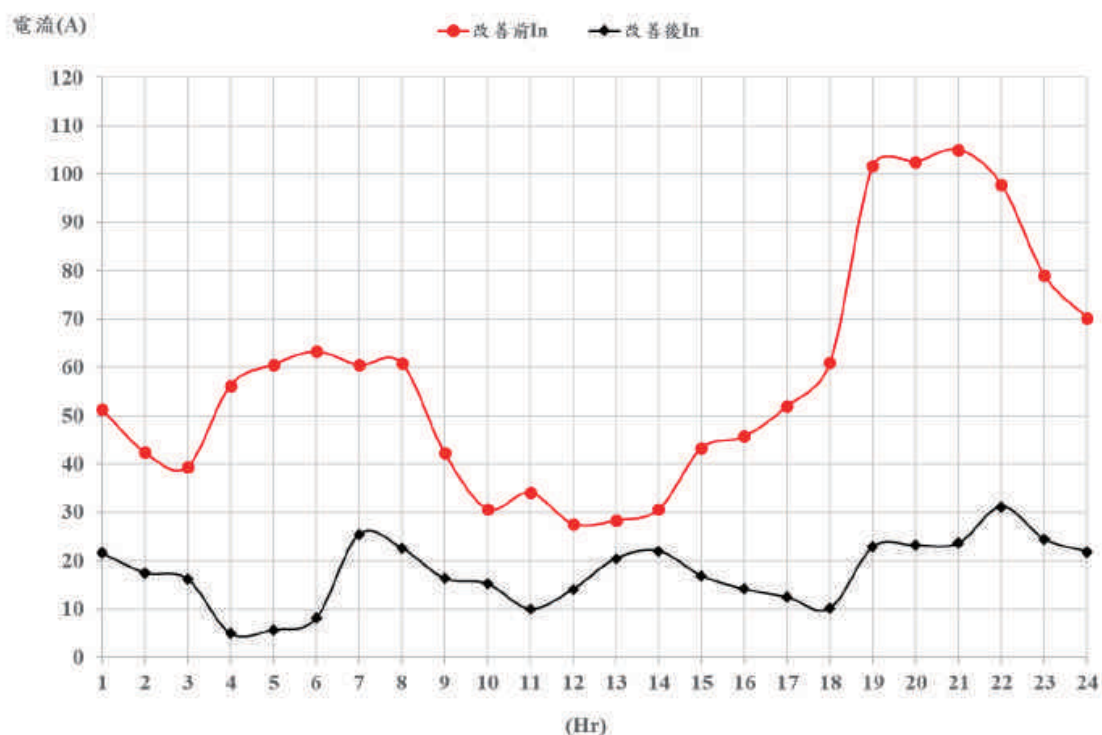
本研究應用配電運轉圖資系統資料建立配電饋線之網路架構圖並進行三相負載

潮流模擬分析，同時參考台電區處目前之三相不平衡改善作業模式，藉由探討導致饋線三相不平衡之原因與關鍵點，並推導三相不平衡改善策略之精進方案，提出包括配電變壓器及分歧線引接電源相別之最佳換相模式。

選擇高雄區處及鳳山區處三相不平衡較為嚴重之兩條饋線 (饋線代號分別為 LY37、BC34)，調查兩個特定區域不同負載特性及饋線架構作為案例評估探討三相電流及中性線電流不同季節之時變性，並根據饋線出口供電量、功因及電流值，執行三相不平衡潮流之模擬，分析三相不平衡改善前主幹線、分歧線及區段之三相電流不平衡並推導三相不平衡改善之變壓器及分歧線換相策略，由模擬結果顯示，經由變壓器或分歧線換相後，其饋線出口及區段中性線電流均可大幅降低。測試饋線 LY37 將考慮連接主幹線之分歧線作相位調整，饋線出口 21 時中性線電流將從 105A 降至 24A，平均中性線電流改善前

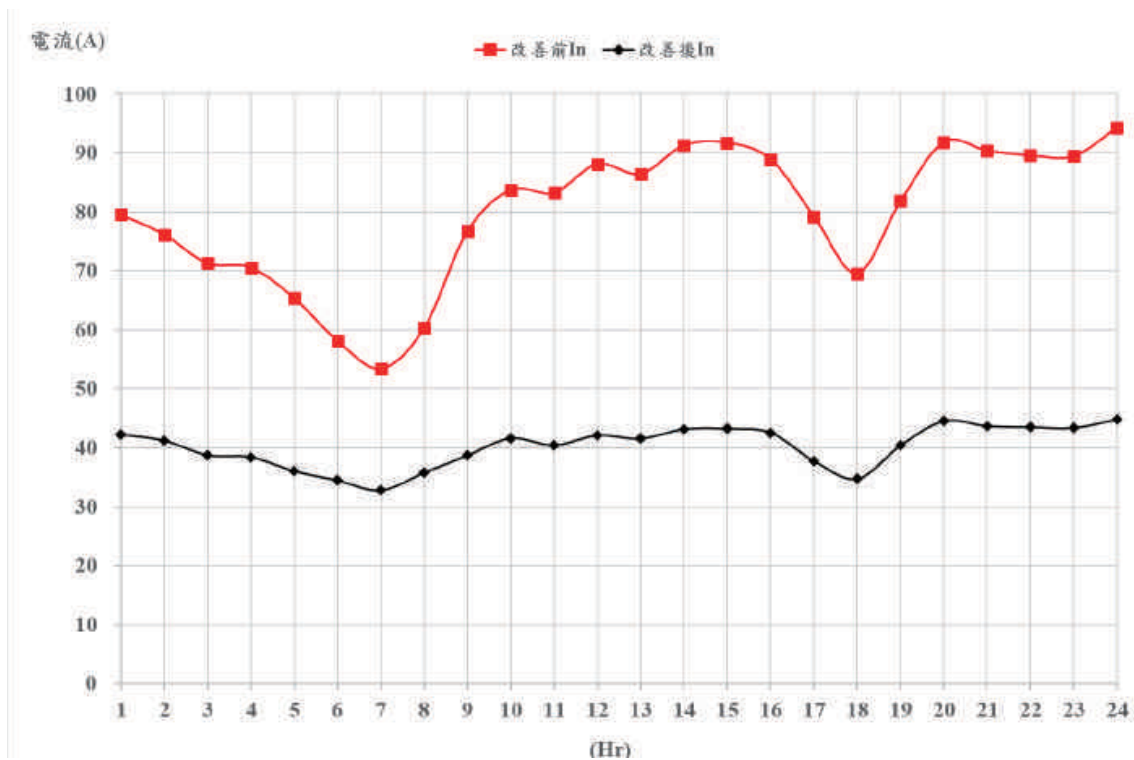
為 59.17A，改善後降低至 18.87A，如圖 1 所示，共有 3 處須作相位調整。測試饋線 BC34 將考慮連接主幹線之 109 分岐線作相位調整，饋線出口分岐線作相位調整，饋線出口 20 時中性線電流將從時中

性線電流將從 91.8A 降至降至 44.5A，平均中性線電流改善前為中性線電流改善前為 79.6A，改善後降低至 40.3A，如圖 2 所示，共有 29 處須作相位調整。



資料來源：本研究彙整

圖 1 LY37 相位調整前後饋線出口中性線電流比較



資料來源：本研究彙整

圖 2 BC34 相位調整前後饋線出口中性線電流比較

研究人員：電力研究室：林士傑、柯喬元

國立高雄科技大學：林嘉宏、辜德典、陳朝順、李嘉誠、何祖慶
陳証揚、林立宸

利用光電案場變流器調控虛功對系統改善之策略與研析

Strategies and Analysis of Using Photovoltaic Field Converters to Control Reactive Power for System Improvement

Abstract

According to ADCC monitoring in the Chia-Nan Power Supply District, the system voltage of the Qigu-Nanbin-Jiangjun line reached a maximum of 170kV in April 2023, exceeding safe operational limits. This overvoltage is largely attributed to the capacitive reactive power generated by underground cables in renewable energy hotspots, particularly during low-generation periods. This project utilizes DigSilent PowerFactory to establish renewable energy models and simulate the benefits of utilizing photovoltaic (PV) converters for reactive

power control to improve system voltage. The study reviews international standards (such as IEEE 1547-2018 and CA Rule 21) and conducts field tests at the Nan-Yan-Guang and Xing-Lun PV plants to evaluate various control strategies, including nighttime reactive power absorption and Volt-Var control. The results confirm the feasibility of using PV inverters for voltage regulation and provide technical recommendations for converter scheduling and grid code compliance to mitigate overvoltage issues in high-penetration renewable energy areas.

1 研究背景、目的、方法：

隨著再生能源併網量增加，嘉南地區等再生能源熱區因大量採用地下電纜，其電容效應導致夜間或輕載時段系統電壓偏高，曾監測到 161kV 系統電壓高達 170kV，恐危及供電設備安全。傳統電壓調控設備(如電抗器)建置成本高且反應不及變流器快速。鑑於 IEEE 1547-2018 及加州 Rule 21 等國際標準已規範變流器需具備虛功調控功能，利用光電案場變流器進行電壓支撐已成為重要趨勢。

1. 研究目的：

- (1) 建立再生能源熱區之 DigSilent 電力系統模型，模擬變流器調控虛功對改善電壓之效益。
- (2) 蒐集並研析國際間利用變流器調控虛功之規範與策略。
- (3) 透過南鹽光及星崙光電案場之實地量測，驗證變流器夜間吸收虛功及各項自主調控模式(如 Volt-Var)之實際性能與成

效，並提出相關改善建議。

2. 研究方法：

- (1) 文獻蒐集與模擬建模：研析 IEEE 1547、UL 1741 SA 等標準，並使用 DigSilent 軟體建立包含變流器控制邏輯與地下電纜參數之系統模型，分析不同情境下之電壓變化。
- (2) 南鹽光案場實測：針對夜間電壓過高問題，進行變流器夜間虛功吸收測試(吸收量 36~71.2 MVAR)，使用電力品質分析儀(Hioki 3198)量測對系統電壓之抑制效果及能耗分析。
- (3) 星崙光案場實測：依據台電併聯技術要點，測試六大項目：調控能力範圍、三種調控模式(固定 Q、固定功率因數、自主調控 Q(V))、模式切換、夜間不逆送、電壓自主調控響應及自動降 P 調 Q。

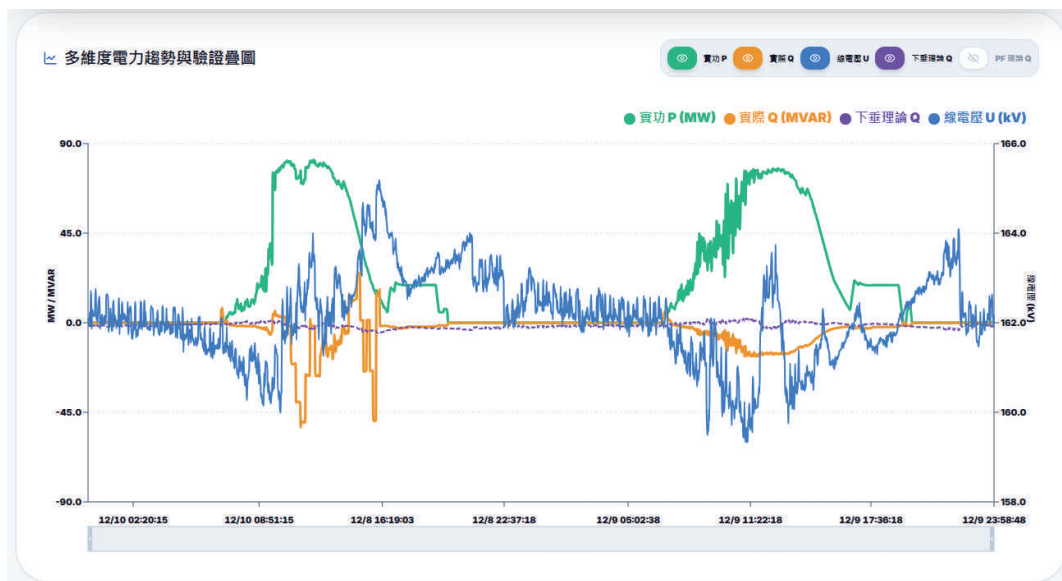
2 成果及其應用：

本計畫針對再生能源熱區電壓過高問題，透過模擬與實測驗證光電變流器虛功調控之可行性與效益，主要成果歸納如下：

1. 南鹽光案場夜間虛功補償實測成效：證實變流器具備顯著的夜間降壓能力。測試顯示，當全案場吸收 36MVAR 虛功時，系統電壓下降約 1.417kV；吸收 71.2MVAR 時，電壓下降達 2.56 kV。推算出該案場虛功補償電壓比例約為 0.00022~0.00024 pu/MVAR (約 35.4~38.6 V/MVAR)。同時分析出全案場實功轉虛功之能耗比例約為 19.24~20VAR/W，可作為未來電力調度成本評估之依據。
2. 星崙光電案場併網功能驗證：針對台電新版併聯技術要點進行完整測試，確認該案場變流器能力：
 - (1) 調控能力：符合 $Q = \pm 49.2$ MVar 要求。
 - (2) 模式驗證：「固定 Q 模式」與「固定功率因數模式 (PF)」之誤差皆控

制在 5% 內，判定合格。

- (3) 電壓自主調控 (Volt-Var)：在虛擬電壓測試下，誤差與響應時間皆合格；但在實測中發現連續誤差與響應時間之調校仍有優化空間。
- (4) 夜間不逆送：驗證 PCC 點虛功未超過 +500 kVAR，符合規範。
3. 開發太陽光電案場虛功能力驗證系統：為因應未來大量案場測試需求，本計畫開發了一套自動化驗證程式如圖 1，寫入測試項目要求及公式邏輯，可快速讀取量測數據並自動判定各測試項目 (如 Q 值誤差、響應時間) 是否合格，大幅提升審查效率與報告產出速度。
4. 策略應用與建議：研究成果已實際應用於評估變流器參與區域電壓控制之策略。建議在地下電纜佔比高之再生能源熱區，可推動變流器夜間吸收虛功功能以抑制電壓；並建議持續優化 Volt-Var 控制曲線設定，以解決併網點電壓波動問題。



資料來源：本研究開發

圖 1 太陽光電案場虛功能力驗證系統

研究人員：電力研究室：唐城、吳旻哲

各國構網型變流器之規範研析

Research and Analysis on Grid Code of Grid-forming Inverters in Other Countries

Abstract

As the proportion of renewable energy increases, the presence of power electronic equipment in the power grid also grows. The inverter is the most commonly used power electronic device in the grid. Inverters can be classified into Grid-Following inverters (GFL) and Grid-Forming inverters (GFM). Examples of GFL applications include PV Inverters, inverters with PQ control, and inverters with rate of change of frequency (RoCoF) capability. However, with the increasing penetration of renewable energy, the Grid-Forming inverter has become a crucial technology for grid stability. In recent years, various countries have established relevant regulations and control techniques for GFMs. Furthermore, the GFM regulations or standards set by different countries are used to evaluate how GFMs can provide stable output power and output voltage

in response to grid disturbances or faults. Currently, the GFM regulations or standards in Europe, the United States, Australia, and the United Kingdom are relatively comprehensive. In Asia, taking Japan as an example, the current GFM regulations or standards are still under development, and there are no official GFM regulation or standard documents available yet. Only a draft table of contents and a plan for the GFM regulations exist, but Japan's approach to formulation is also worth referencing. Therefore, this project aims to collect the relevant GFM regulations or standards from Europe, the United States, Australia, the United Kingdom, and Japan. This information will be provided to our company as a reference basis when formulating our own GFM-related regulations or standards.

1 研究背景、目的、方法：

隨著再生能源占比的提升，電力電子設備在電網的占比也隨著增加。Inverter 為電網中最常用的電力電子設備，Inverter 有可分為 Grid-Following Inverter (跟網型變流器) 與 Grid-Forming Inverter (構網型變流器)。Grid-Following Inverter 的應用如 PV Inverter、具 PQ 控制的 Inverter 以及具 RoCoF 功能的 Inverter。然而，隨著再生能源占比的增加，Grid-Forming Inverter 成為穩定電網的關鍵技術。近幾年，各國針對 Grid-Forming

Inverter 制定出相關的規範與控制技術。同時，透過各國所制定的 Grid-Forming Inverter 規範或標準來評估電網遭受干擾或故障時，Grid-Forming Inverter 如何根據電網狀況提供穩定的輸出功率與輸出電壓。以目前現況來說，歐洲、美國、澳洲、英國的 Grid-Forming Inverter 的規範或標準比較完整，如圖 1 所示。另外，亞洲的部分，以日本為例，目前日本現階段針對 Grid-Forming Inverter 的規範或標準正在制定當中，尚未有正式

的 Grid-Forming Inverter 規範或標準資料，僅有 Grid-Forming Inverter 規範的草稿目錄與規劃，但日本的制定方式也是值得參考的。因此，本計畫蒐集歐洲、美

國、澳洲、英國、日本的 Grid-Forming Inverter 相關規範或標準，如表 1 所示。以提供給本公司作為制定 Grid-Forming Inverter 相關規範或標準時之參考依據。

2 成果及其應用：

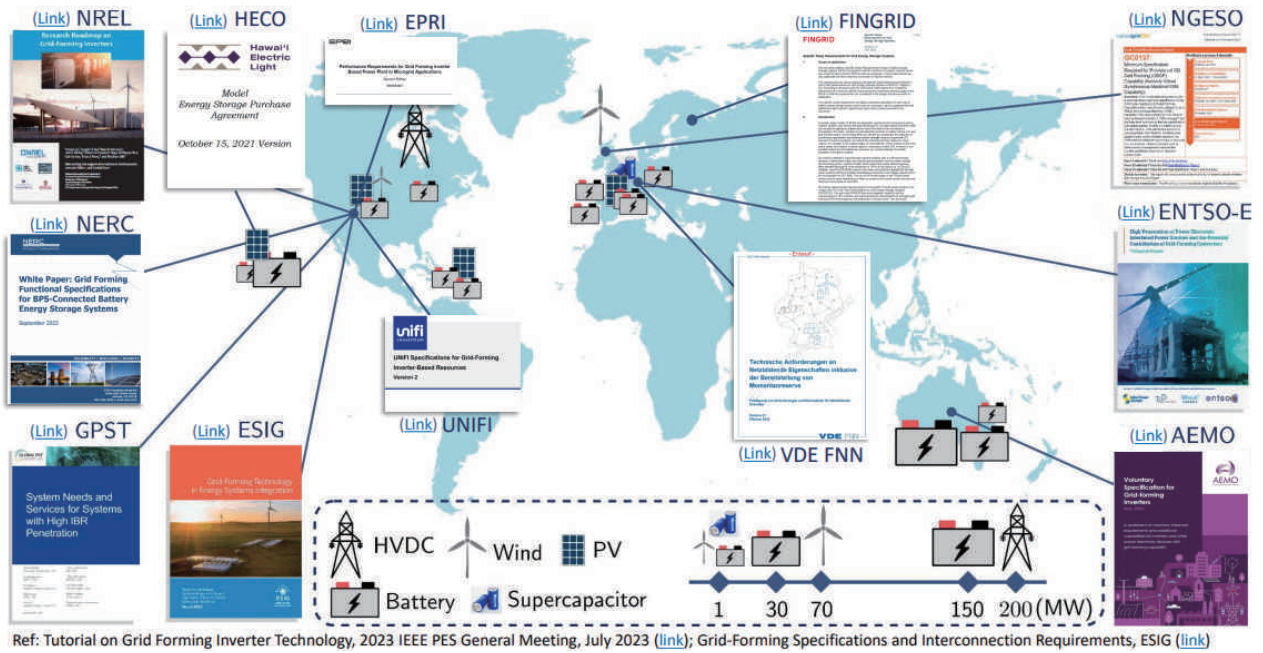
成果：

1. 國際規範研析：彙整並比較英國、歐洲、澳洲、美國及日本的構網型變流器 (GFM) 規範，確認國際趨勢已從「功能性描述」轉向強制性的「性能規範」。
2. 核心能力定義：明確定義 GFM 應具備的核心功能，包括虛擬慣量 (抑制頻率變化率)、定電壓源特性 (自主建立電壓參考)、主動阻尼控制以及在低短路比 (弱電網) 下的穩定運作能力。
3. 驗證標準確立：指出國際驗證趨勢已由模擬轉向實測，並確立以硬體功率閉迴路 (PHIL) 測試作為驗證 GFM 複雜控制性能的標準方法。

實際應用：

1. 規範修訂與應用範圍：建議台電公司修訂電網規範，優先強制要求併接於輸電級 (高壓 / 特高壓) 的大型儲能系統及離島或弱電網區域的再生能源案場具備 GFM 能力。
2. 認證與模型管理：應用於併網審查機制，要求業者提交經現場校準的電磁暫態模型 (EMT Model)，並引入 PHIL 測試作為高壓併網的強制性認證要求，以確保設備在極端條件下的可靠性。
3. 電網韌性強化：利用 GFM 的黑啟動與孤島運作能力，作為電網防衛與復電的關鍵資源，提升台灣電力系統在能源轉型過程中的穩定度。

二、研究發展主要成果—（五）智慧電網與監測診斷



資料來源：“Overview of Global Grid-Forming Requirements,” EPRI, November, 2024.

圖 1 世界各國的 GFM 規範

表 1 各國 Grid Forming 規範之分類

國家	主題	年分	分類
英國	GC0137: Minimum Specification Required for Provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability (formerly Virtual Synchronous Machine/VSM Capability)	2021	GFM 的規格建議書。 已於 2022 年新增至英國 Grid Code
歐洲	Grid Forming Capability of Power Park Modules	2024	GFM 的規格建議書
澳洲	Voluntary Specification for Grid-forming Inverters	2023	GFM 的規格建議書
美國	UNIFI Specifications for Grid Forming Inverter-Based Resources Version 2	2024	GFM 的規格建議書
美國	White Paper: Grid Forming Functional Specifications for BPS-Connected Battery Energy Storage Systems (NERC)	2023	GFM 的規格建議書
美國	Advanced Grid Energy Storage Resource Functional Specification and Test Framework (ERCOT)	2024	GFM 的規格建議書
日本	Requirement and Specification (NEDO STREAM Project)	預計 2030 完成	GFM 的規格建議書。預計完成後會新增至日本 Grid Code

資料來源：本研究彙整

直流微電網應用案例與國際標準研析

Analysis and Survey of DC Microgrid Application Cases and International Standards

Abstract

As the proportion of renewable energy increases, the application of microgrid has gradually become popular. Generally, microgrids can be divided into AC microgrids and DC microgrids. AC microgrid is now a common architecture. However, the outputs of most renewable energy and energy storage are DC voltages. Moreover, the most loads can be powered by DC voltages, such as LEDs, DC electric vehicle charger, computers, etc. Therefore, to integrate renewable energy with the AC microgrid, the output DC voltages of the renewable energy need to be converted into AC voltages and then connected into the AC bus of the

AC microgrid. The loads also need to be integrated with the AC bus through AC/DC and DC/DC converters, resulting in a reduction in transmission efficiency. In recent year, experts and scholars have proposed DC microgrids to integrate renewable energy and loads on the DC bus. According to the research, the advantages of DC microgrids include low transmission loss, no need for phase and frequency synchronization, and easy integration with renewable energy. In addition, the solid-state transformer (SST) is acting a bridge between AC bus and DC bus and is one of the important components of DC microgrids.

1 研究背景、目的、方法：

隨著再生能源占比的提升，微電網的應用也逐漸地受到重視。一般而言，微電網可以分為交流微電網與直流微電網。交流微電網為目前較普遍的架構，然而，大部分的再生能源與儲能系統的輸出為直流電，大部分負載可以利用直流供電，例如 LED、直流充電樁、電腦等。因此，如果要將再生能源與交流微電網整合，則需要先將再生能源的輸出直流電轉為交流電再跟交流微電網的交流母線 (AC Bus) 接在一起，負載也需要透過交流 / 直流 (AC/DC) 和直流 / 直流 (DC/DC) 轉換器與交流母線整合，導致傳輸效率降低。近幾年，專家學者們提出直流

微電網，如圖 1 所示，將再生能源與負載在直流母線 (DC Bus) 做整合。根據研究顯示，直流微電網的優點包含：低傳輸損耗、不需要相位與頻率同步、以及容易與再生能源整合等。另外，固態變壓器為一交流母線與直流母線之間的橋樑，其為直流微電網的重要元件之一。因此，本計畫首先比較交流微電網和直流微電網之差異，同時蒐集與研析國際上直流微電網的應用案例 (如圖 2) 與國際規範和標準 (如表 1)，最後蒐集固態變壓器在直流微電網上的應用，作為電力公司未來在建置直流微電網與及制定直流微電網規範時之重要參考依據。

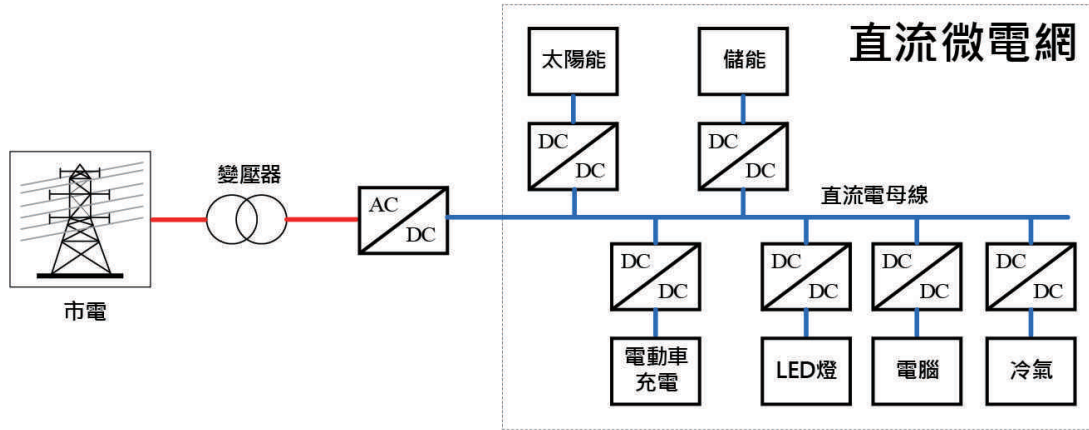
2 成果及其應用：

成果：

1. 國際標準體系研析：報告全面盤點並分析了國際電工委員會 (IEC) 針對直流微電網的關鍵標準，涵蓋系統架構、電壓準位 (IEC 60038)、電力品質、接地與保護協調 (IEC 60364 系列) 等面向。研究指出，直流系統能有效減少 AC/DC 轉換損耗，提升能源使用效率。
2. 應用案例分析：報告深入探討了直流微電網在四大領域的應用潛力與效益，包括：(1) 綠色建築 (整合屋頂光電與直流家電)；(2) 資料中心 (減少伺服器電源轉換級數，提升節能效率)；(3) 電動車充電站 (支援快速充電與 V2G 應用)；(4) 偏鄉電氣化 (利用獨立型直流微電網解決供電問題)。
3. 關鍵設備技術規範：針對直流微電網中的核心設備 (如電力轉換器、直流斷路器、電纜等)，彙整了其性能要求與測試標準，特別是在絕緣監測與故障保護機制的技術細節。

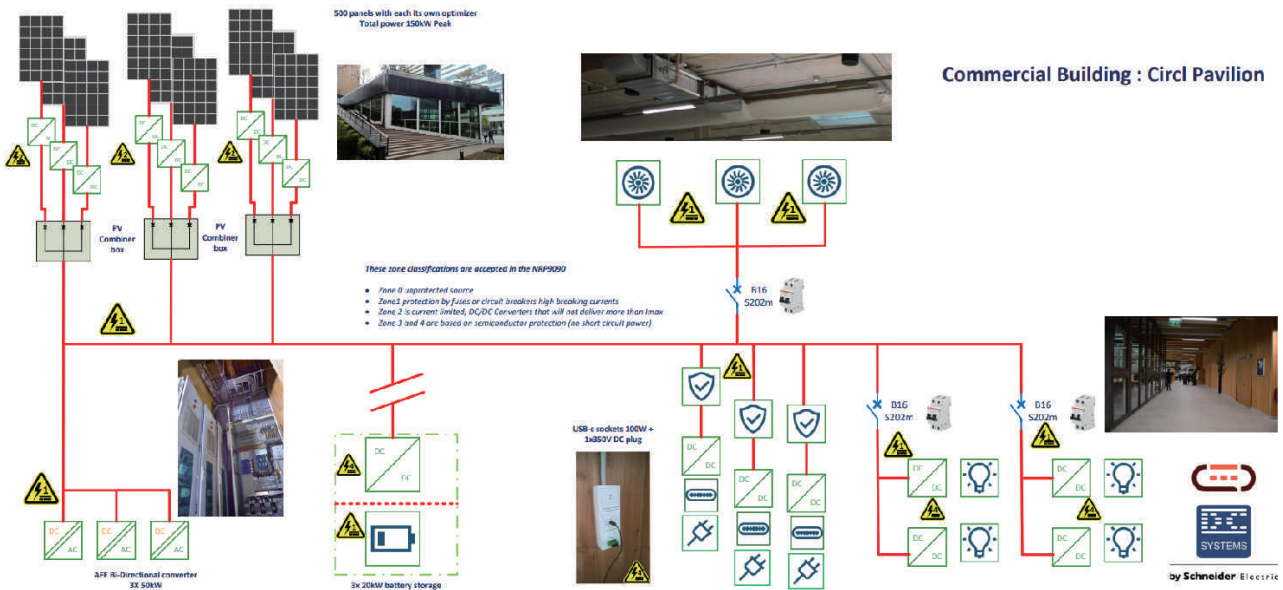
實際應用：

1. 電壓等級標準化：針對台電公司未來導入直流供電，報告建議採用 $\pm 375V$ (雙極) 或 $750V$ (單極) 作為低壓直流配電的主要電壓等級，以兼顧供電容量、安全性及現有設備的絕緣水準。
2. 接地與保護架構：建議依據應用場景選擇接地方式。例如，為防止電極腐蝕與兼顧供電連續性，建議採用 IT 接地系統或高阻抗接地；若需與交流系統共用接地極，則需特別考量電化學腐蝕防護，建議採用 TN-S 系統並確保隔離。
3. 示範場域建置：建議台電推動直流微電網示範計畫，選定特定場域 (如辦公大樓或充電站) 進行試驗。重點驗證項目應包含：系統穩定度控制、直流電弧保護、絕緣監測有效性及設備互通性，藉此累積運維經驗並建立本土化的技術規範。



資料來源：本研究彙整

圖 1 直流微電網架構圖



資料來源：Circl Pavilion Amsterdam, <https://www.dc.systems/projects/circl-pavilion-abn-amro>

圖 2 荷蘭阿姆斯特丹圓形展館直流電網系統架構圖

表 1 各組織或各國的直流電壓標準

電壓值與範圍	單位
375-380V (單極性應用), 750V (雙極性應用) 48V (PoE 37-57V)	加拿大標準協會(Canadian Standards Association, CSA)
24V, 48V, 125V, 380V	洛杉磯電機培訓學院 (Los Angeles Electrical Training Institute)
48V, 380V	IEC System Evaluation Group 4
125 V, 250 V, 600 V	IEC TS 61200-102
220 V, 350 V, 400 V, 440 V 700 或 ± 375 V, 1400 或 ± 700 V	IEC 60038
400 V (另一替代值 440 V)	GB/T156-2017
48V, 175V, 350 V, 700 V, 1400V	Current/OS, EMerge Alliance

資料來源：本研究彙整

基於 OPAL-RT 平台之多模態 Inverter 控制策略之開發與驗證

Development and Verification of Multi-modal Inverter Control Strategy Based on OPAL-RT System

Abstract

Increasing distributed renewable energy reduces mechanical inertia, challenging power system frequency stability. This study utilizes OPAL-RT simulations to compare Grid Following (GFL) and Grid Forming (GFM) converter controls. GFL inverters, acting as dependent current sources, reduce system inertia and prolong frequency settling times. Conversely, GFM inverters,

specifically using Virtual Synchronous Generator (VSG) control, operate as independent voltage sources. Results demonstrate that VSG integration provides essential virtual inertia and damping. This significantly enhances stability during generator tripping events and in weak grid environments, offering a viable solution for low-inertia systems.

1 研究背景、目的、方法：

隨著分散式再生能源增加，電力系統中的傳統同步發電機占比下降，導致機械慣量減少，系統頻率穩定性面臨挑戰。透過變流器的控制法並且搭配儲能系統能夠用來穩定電網。其中變流器的控制法可分為 Grid Following 和 Grid Forming。Grid Following 為受控電流源，高度依賴電網相位，不具備獨立建壓能力且反應較慢。Grid Forming 為受控電壓源，不依賴外部參考即可自行建立相位與

振幅，具備黑啟動與支撐弱電網的能力。其中以虛擬同步發電機 (VSG) 控制法最為常用，因其動態特性類似同步機。本研究透過 OPAL-RT 平台進行多項情境模擬，如圖 1 和 2。結果顯示，增加 Grid Following 占比會降低系統慣量，導致頻率達到穩態的時間變長。而加入具備 VSG 功能的變流器，能提供虛擬慣量與阻尼，協助在發生跳機事故或弱電網環境下維持系統穩定。

2 成果及其應用：

成果：

1. Grid Following (GFL) 的局限與功能驗證：模擬顯示，隨著 GFL 變流器在系統中的占比增加，系統慣量會顯著降低，導致負載變動後頻率恢復穩態的時間變長。針對 GFL 的功能測試，研究證實其「調頻備轉 (dReg)」功能可依頻率變化調節功率；而搭配「頻率變化率 (RoCoF)」功能時，反應速度明顯快於 dReg，能更迅速在事故初期支撐電網。
2. Grid Forming (GFM) 與虛擬同步機 (VSG) 的優勢：研究核心在於驗證 VSG 的效益。在發電機跳機事故中，VSG 能率先輸出功率，提供虛擬慣量與阻尼，有效抑制頻率驟降。此外，模擬結果顯示 VSG 的

參數具有可調性：增加虛擬慣量可減緩頻率變化率，增加虛擬阻尼則能縮小頻率穩態偏差。

3. 弱電網環境下的穩定能力：在短路比 (SCR) 降至 1 的極弱電網環境下，單純使用 GFL 會導致電網不穩定；而加入 VSG 後，即便在低 SCR 條件下，系統仍能維持穩定運作，證明了 GFM 對弱電網的支撐能力。

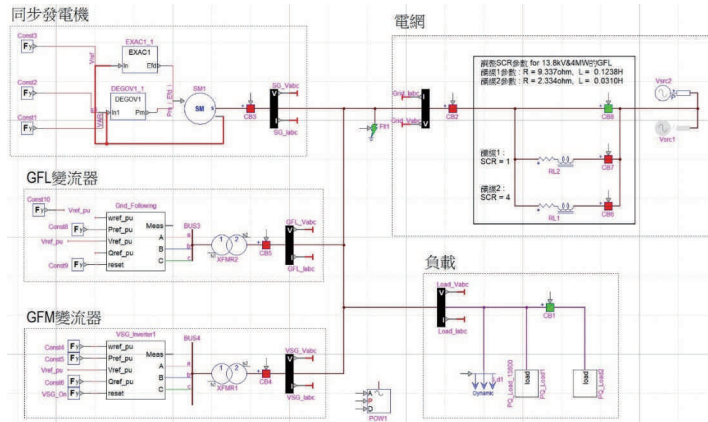
實際應用：

1. 離島電網模擬與 PHIL 測試：研究團隊計畫利用 HYPERSIM 建立金門電網模型，並透過「功率級硬體閉迴路 (PHIL)」技術，將模擬模型與實體變流器設備對接。這能讓變流器在實驗室中模擬實際案場運作，協助評估高再生能源滲透率下

的電網控制策略與儲能配置。

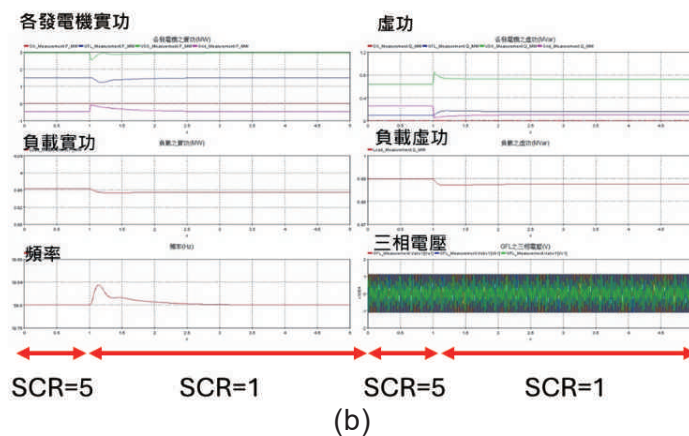
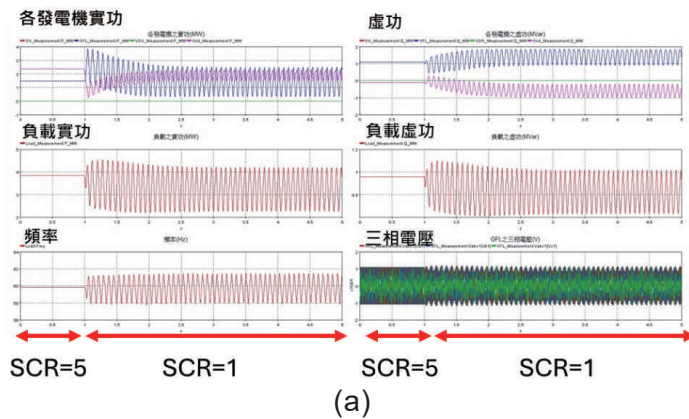
2. 固態變壓器 (SST) 與 CHIL 驗證：針對未來的智慧電網需求，研究將導入「控制器硬體迴路 (CHIL)」與 FPGA 技術，對固

態變壓器 (SST) 進行驗證。這將允許研究人員在低風險、低成本的环境下，測試導入 VSG 控制演算法的 SST 在微電網中的動態響應與穩定性。



資料來源：本研究彙整

圖 1 基於 HYPERSIM 之微電網模型單線圖



資料來源：本研究彙整

圖 2 改變 SCR 對電網之影響：(a) 無 VSG、(b) 有 VSG

研究人員：電力研究室：江文莊、程泓瑋、謝國聖

利用發電廠變壓器資產管理系統分析油中氣體對應變壓器狀態之研究 Research on Transformer's Dissolved-gas Analysis and Diagnostics Base on Power Plant Transformer Asset Management System

Abstract

As the heart of power systems, the reliability of power transformers is critical. To ensure long-term reliability and prevent unscheduled outages, the study establishes a web-based Power Plant Transformer Asset Management System within a Virtual Machine environment. The system integrates six functional modules: User Account Management, Dissolved Gas Analysis (DGA) Data, Test Data Analysis, Transformer Equipment Management,

Major Overhaul and Electromechanical Incident Management, and Spare Parts Management. By leveraging systematic data collection and international diagnostic standards (such as the Duval Triangle and Electric Technology Research Association), the system enables personnel to monitor equipment health in real-time, facilitating the strategic transition from Time-Based Maintenance (TBM) to Condition-Based Maintenance (CBM).

1 研究背景、目的、方法：

隨著再生能源與智慧電網的發展，電力變壓器為發電與輸配電網路中不可或缺的樞紐，為了提升設備運轉維護效率與決策準確性，本研究整合發電系統之變壓器資產資料與試驗數據，建立一套具分析功能與可擴充性的變壓器資產管理系統，以落實資產管理與風險管控策略。系統開發主要目標包含數位化整合與變壓器健康狀態評估，收集並彙整變壓器設備資料、試驗數據及維修紀錄，同時導入本所油煤組試驗資料，並納入國際標準自動分析油中氣體數據，

用以判斷變壓器的潛在故障。本案系統委由澎湖科技大學研究團隊協助開發，系統環境建置於虛擬機器 (Virtual Machine, VM)，技術開發上，前端由 Vue.js 框架結合 Naive UI 與 Tailwind CSS，打造響應式網頁介面，後端則採用基於 PHP 框架之 Laravel 框架開發，透過 MVC 架構實現前後端分離，並導入 Service-Repository 模式，確保程式碼具備高維護性與可擴充性，同時結合 MariaDB 資料庫，確保數據的存取效率。

2 成果及其應用：

本研究開發並建置一套基於網頁操作介面的「水火力電廠變壓器資產管理系統」，將發電廠資產資料與試驗數據轉化為結構化的數位資產，系統涵蓋六大核心模組，如圖 1，具體功能如下。

1. 人員帳號管理模組

本案開發之系統整合本公司單一登入功能 (Single Sign On, SSO)，人員無需額外註冊，同時系統具備角

色權限管理，可依據職務 (如經理、課長、一般人員) 設定讀取或寫入權限，並可詳細記錄所有人員之登入日誌。

2. 變壓器油中氣體試驗資料分析模組
變壓器的健康狀態通常可藉由油中氣體診斷法來評估，在本案開發之系統中，除納入本所電力變壓器與電抗器故障之油中氣體分析診斷指標外，同時呈現多種國際標準診斷

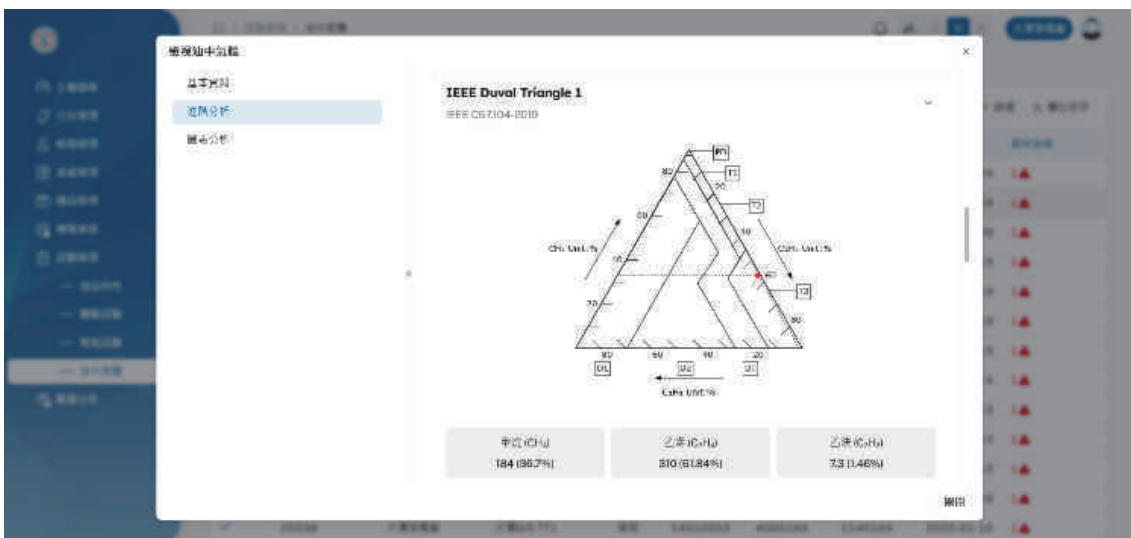
方法，包含 IEEE Duval Triangle(杜威三角)、IEEE Duval Pentagon(杜威五角)、日本電氣協同研究二成分分析法、IEC 診斷法 (IEC 60599)、Rogers 診斷法，同時提供視覺化圖表，協助人員快速判讀變壓器內部是否存在放電、過熱或絕緣劣化等異常，如圖 2。

3. 試驗資料管理與數據分析模組
系統整合油品特性、糠醛試驗、油中氣體及電氣試驗相關數據，同時與本所油煤組變電設備油氣試驗診斷系統介接，將試驗結果自動轉匯，並可繪製變壓器各項診斷結果數值的歷史趨勢圖，供使用者追蹤設備健康度變化，如圖 3。



資料來源：本研究整理

圖 1 水火力電廠變壓器資產管理系統



資料來源：本研究整理

圖 2 變壓器設備資料管理模組

二、研究發展主要成果一（五）智慧電網與監測診斷



資料來源：本研究整理

圖 3 變壓器油中氣體數值歷史趨勢分析



資料來源：本研究整理

圖 4 重大檢修機電事故模組

4. 變壓器設備資料管理模組

包含輸入設備基本資料 (如廠牌、容量、額定電壓、額定電流)，並提供上下限值設定機制，以降低資料誤植風險，另外提供使用者輸入如單位別、設備類別、設備製造廠及型號資料等，並可透過相關查詢條件對發電廠內變壓器設備資產進行查詢。

5. 重大檢修機電事故模組

當發生重大故障或事故時，人員可將超過千字的文字描述、現場照片及檢修歷程上傳至系統，以數位化的方式紀錄，可將歷史案例能轉化為可供查詢的經驗資產，有效提升電力工程人員在面對類似問題時的判斷力與處理效率，如圖 4。

6. 設備備品管理模組

系統可記錄、追蹤各類備品的庫存量與存放位置，同時提供使用者新增、查詢及編輯、刪除廠內各型號設備與可用備品狀

態、可供調用之備品清單，並設計關鍵字搜尋功能，在實務需求上可根據修護需求進行快速調度，提升人員運維效率。

結論

本研究完成發電廠變壓器資產管理系統之開發，於虛擬機器上建置一套響應式網頁介面，實現發電系統變壓器資產的數位化管理，同時系統整合國內外的油中氣體分析技術，依據國際現行之相關標準將試驗數據進行分類與分析，輔助人員判斷變壓器健康狀態，再藉由變壓器油中氣體趨勢，提供值班人員與決策者做為評估檢修與查驗之參考，成功將數據轉化為具體的維護決策依據，有效提升變壓器檢修的準確性與供電可靠度。該系統未來將作為發電廠設備維護的重要輔助工具，並具備高可用性與高擴充性，可作為後續運用人工智慧 (AI) 預測故障之模型研發的基礎平台，透過持續優化維護策略，以強化電網韌性。

345kV 架空輸電線路之雷擊風險評估

Lightning Strike Risk Assessment of 345kV Overhead Transmission Line

Abstract

This study utilizes measured CG lightning current data (≥ 1 kA) collected across main island Taiwan from 2010 to 2024 to establish a 20 kA-and-above GFD grid map. This map clearly illustrates the distribution of lightning hazards throughout Taiwan, serving as a critical reference for the lightning protection design of outdoor power facilities and buildings. Furthermore, by employing numerical analysis and the

natural breaks classification method within MapInfo, the 'GFD Grid Map for Taipower Transmission Network' was developed. This map accurately identifies the hazard types and risk levels for specific transmission tower numbers, enabling the screening of severely threatened towers and the prioritization of mitigation efforts to enhance the precision and effectiveness of lightning protection measures.

1 研究背景、目的、方法：

本案採用 2010~2024 年台灣本島實測 CG(Cloud to Ground) ≥ 1 kA 雷電流資料作為 GFD(Ground Flash Density) 演算之基礎，建立 ≥ 20 kA 之「台灣本島 GFD 網格圖」，清楚顯示台灣各本島雷害程度分布之情況，可供為戶外電力設施與建築物防雷設計之

依據，利用 MapInfo 之數值分析及自然斷裂分類法，繪製「台電輸電電網雷害 GFD 網格圖」，可準確區分各級輸電鐵塔塔號之雷害種類及雷害等級，並篩選出嚴重雷害等級之輸電鐵塔，排定雷害防制的優先次序，以提高雷擊防護措施之針對性和有效性。

2 成果及其應用：

1. 輸電鐵塔之雷擊風險評估

雷擊風險計算主要依據 IEC62305-2，ND 為被雷直接擊中的風險 (或稱為每年危險事件次數)， N_G 為落雷密度 (每年每平方公里之落雷次數) 或稱為 GFD，假設一個物體的面積為 A_d ，則此物體被雷直接擊中的風險為 $N_D=N_G A_d$ 。

根據 IEC 62858 建議：採用

10 年以上 CG 資料 ($T_{obs} \geq 10$ 年)，最新 CG 資料應含最近 5 年內，並符合公式： $GFD \times T_{obs} \times A_{cell} \geq 80$ 。估算 CG 資料所需最小年數為 (T_{obs})，網格採用 $A_{cell}=3 \times 3$ km² 及 $GFD \geq 1.0$ ，則需採用 9 年以上 $CG \geq 1$ kA 資料如圖 1 所示，位於平坦地面上的孤立鐵塔，其等效雷擊面積 A_d 定義為通過鐵塔頂部 (與

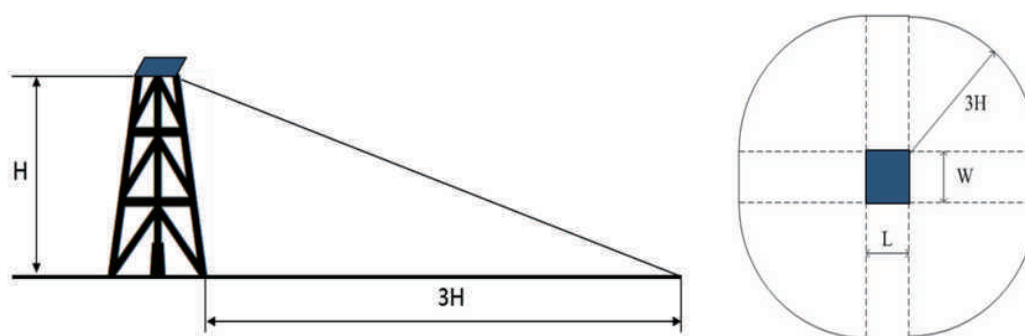
其接觸) 傾斜度為 1/3 直線，圍繞鐵塔塔頂一周後，與地表交接截面積即為 A_d 如圖 2 所示，假設鐵塔高度為 H ，鐵塔之長

為 L 及寬為 W ，並忽略塔頂橫擔之尺寸，則鐵塔等效雷擊面積 A_d 公式為 $A_d = \pi \times (3H)^2 + L \times W + 2(L \times 3H) + 2(W \times 3H)$ 。

GFD	A_{cell} 1 × 1 (km ²)	A_{cell} 2 × 2 (km ²)	A_{cell} 3 × 3 (km ²)	A_{cell} 4 × 4 (km ²)
	T_{obs_min} (年)	T_{obs_min} (年)	T_{obs_min} (年)	T_{obs_min} (年)
0.25	320	80	35	20
0.5	160	40	18	10
1.0	80	20	9	5
2.0	40	10	4	2.5

資料來源：本研究整理

圖 1 IEC 62858 之最小年數 (T_{obs})



資料來源：本研究整理

圖 2 輸電鐵塔之等效面積

先計算各鐵塔之等效雷擊面積 A_d ，再依據整合型閃電落雷偵測系統之 GFD 資料，求出各級輸電鐵塔之雷擊風險機率如表 1 所示，例如：345kV 龍崎～瀨

力二路之輸電鐵塔等效雷擊面積 A_d 為 0.0971(km²) 且 GFD 為 1.115，則可計算出此 345kV 鐵塔之雷擊風險機率為 10.826%。

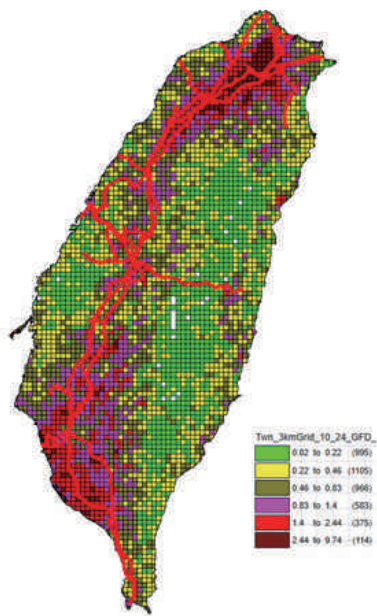
表 1 345kV 輸電鐵塔之雷擊風險機率表

排序	單位	電壓別	線路名稱	塔號	塔型	H(塔高) (m)	GFD	A_d (km ²)	雷閃機率 (%)
1	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	53	E5	58.60	1.115	0.0971	10.826%
2	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	49	A5	57.25	1.075	0.0927	9.962%
3	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	50	A5	57.25	1.075	0.0927	9.962%
4	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	54	E5	54.60	1.115	0.0843	9.398%
5	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	44	A5	59.25	0.884	0.0993	8.774%
6	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	46	A4	57.75	0.884	0.0943	8.336%
7	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	51	A4	51.75	1.075	0.0757	8.140%
8	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	52	A4	50.75	1.115	0.0728	8.120%
9	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	47	A4	54.75	0.884	0.0848	7.492%
10	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	43	A5	53.25	0.884	0.0802	7.087%
11	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	45	A5	53.25	0.884	0.0802	7.087%
12	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	48	C5	51.80	0.884	0.0759	6.707%
13	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	36	B5	59.95	0.653	0.1016	6.636%
14	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	37	B5	58.95	0.653	0.0983	6.416%
15	高屏供	345	龍崎～瀨力二路	18	A5	59.25	0.643	0.0993	6.382%

資料來源：本研究整理

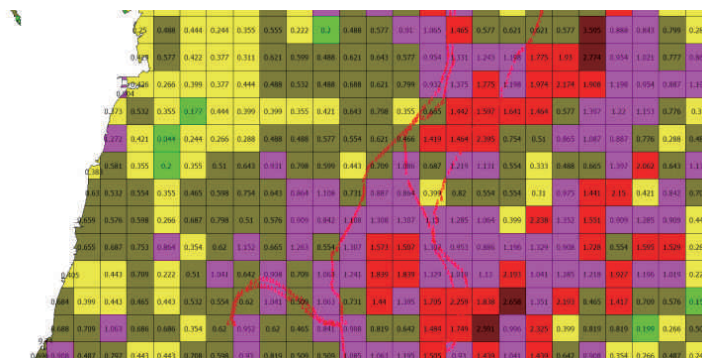
將 345kV 架空輸電線路之雷害網格圖如圖 3 所示，對於落雷密度較大網格，即深紅色與紅色地區之鐵塔如圖 4 所示，

進行更加妥善的防雷措施，例如：加裝線路避雷器、使用負保護角、高低絕緣設計、降低塔腳電阻等…。



資料來源：本研究整理

圖 3 345kV 架空輸電線路之雷害網格圖



資料來源：本研究整理

圖 4 345kV 架空輸電線路之 GFD 數值

結論

依據 345kV 輸電鐵塔逆擊閃絡與繞擊閃絡之危險雷電流區間，選用 20kA 雷電流來對輸電鐵塔做評估，為了對各級輸電鐵塔進行風險評估，根據 IEC 62858 計算 GFD 之建議，符合 $GFD \times T_{obs} \times A_{cell} \geq 80$ 之公式，選用 3km×3km 的網格，以 2010~2024 年落雷資料，並使用最新 5 年資料，求得各級鐵塔之 GFD 值。本案所採用的落雷密度

(GFD)，係由現場雷電偵測站實際偵測 CG 電磁波脈衝訊號而獲得，並由這些偵測結果可以得知雷擊突波對輸電線路的影響，利用 GIS 應用軟體 (MapInfo) 的輔助建立一套可行的方法，預先對台電各級輸電線路鐵塔來加以篩選與排序，進而規劃出的一套有效的雷害防制對策，並且在經濟性與系統可靠性兩者之間取得最佳的平衡。

研究人員：高壓研究室：陳柏江、林彥廷

導入頻率響應模型以探討再生能源高度滲透下之電力系統合宜備轉容量 Evaluating the Appropriate Reserve Capacity of Power System Under High Penetration of Renewable Energy by Frequency Response Models

Abstract

Increasing renewable energy penetration has reduced power system inertia, challenging frequency stability. This study develops a MATLAB/Simulink frequency response model for the Taiwan grid, integrating TGOV1, dReg, FRR, and VSG components. Validated against 2021–2024 historical events with a minimal 0.019 Hz error, the model simulates extreme low-inertia scenarios during future Lunar New Year periods. Results indicate that traditional

spinning reserves are insufficient for a 1,500 MW contingency. However, combining 1,000 MW dReg with a 90 GWs inertia limit, or adding 300 MW FRR, effectively secures the 59.5 Hz safety threshold. Furthermore, VSG technology can significantly lower the physical inertia requirement, enhancing renewable hosting capacity and providing a technical roadmap for Taiwan's future power dispatch.

1 研究背景、目的、方法：

面對再生能源滲透率大幅提升，傳統同步機組佔比下降導致電力系統慣量減少，使頻率穩定度面臨嚴峻挑戰。本研究利用 MATLAB Simulink 建立台灣電力系統頻率響應模型，整合調速機、負載頻率特性及多元輔助服務資源模型，並採用 110 年至 113 年間之歷史跳機事故數據進行參數驗證，證實模型在估算頻率最低點之平均誤差僅約 0.019 Hz，具備高度可靠性。

針對未來春節輕載之極端低慣量情境，本研究設定單一最大機組跳脫 1,500 MW 且頻率不低於 59.5 Hz 為安全基準進行模擬。研究結果

可以看到，傳統熱機備轉受限於機械響應延遲，已不足以有效遏止頻率驟降。量化分析指出，若採購約 1,000 MW 之調頻備轉搭配既有 90 GWs 慣量限制，或進一步導入 300 MW 快速頻率響應 (FRR)，皆可擴大系統安全運轉邊界。此外，本研究證實導入虛擬同步機技術可提供虛擬慣量以抑制頻率變化率，在理想配置下，可使維持系統穩定所需之最低實體慣量大幅降低，有效釋放再生能源併網空間，為台灣未來電力調度與資源規劃提供具體技術參考。

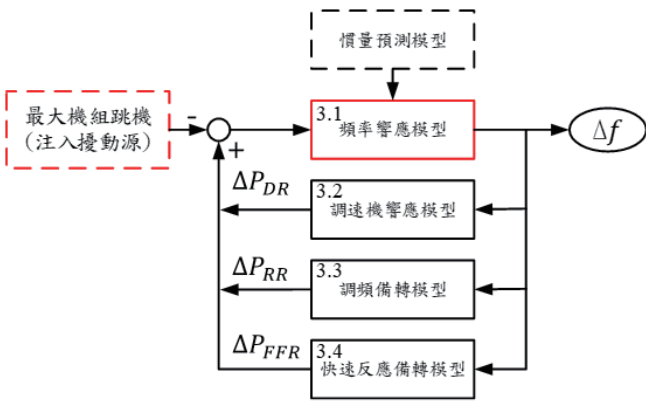
2 成果及其應用：

1. 盤點美國、澳洲、歐洲、日本及英國等國家電力市場的備轉容量定義與新型態輔助服務，並與國內現行機制進行對照，為台灣未來導入如虛擬慣量等新興服務提供了依據與參考範本。
2. 建立了頻率響應模型 (包含調速機、發電機、負載、各類輔助服務)，並利用 110 年至 113 年間發生的實際系統跳機擾動事件進行模擬與比對，驗證了模型的有

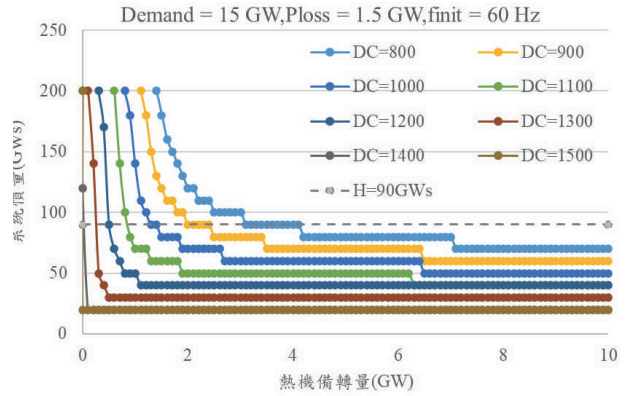
- 效性。(圖 1)
3. 針對台灣未來再生能源高滲透率的春節輕載情境，本研究量化了維持系統頻率安全 (不低於 59.5 Hz) 所需的資源配置。在現有 90 GWs 慣量參考值下，若遭遇 1,500 MW 機組跳脫，需採購約 1,000 MW 的調頻備轉；若進一步搭配 300MW 的快速頻率響應資源，調頻備轉需求量可降低至 800 MW。(圖 2)

4. 導入了 RoCoF 控制服務模型，量化了「虛擬慣量」對系統穩定度的貢獻。在不同調頻備轉及 RoCoF 控制服務容量配置下，系統慣量需求可持續降低並維持穩定運行，有效鬆綁傳統對實體慣量的限制，進而為再生能源釋放更多併網空間。(圖 3)

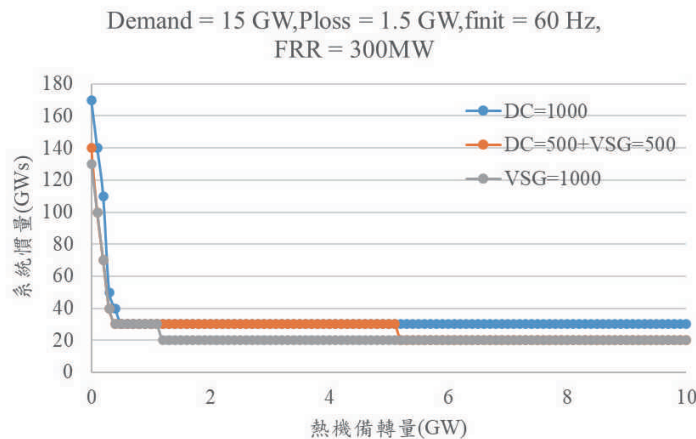
持穩定運行，有效鬆綁傳統對實體慣量的限制，進而為再生能源釋放更多併網空間。(圖 3)



資料來源：本研究彙整
圖 1 台灣電力系統頻率響應模型



資料來源：本研究彙整
圖 2 不同調頻備轉量下維持頻率安全之最低系統慣量與熱機備轉量關係



資料來源：本研究彙整
圖 3 加入 FRR 後，不同調頻備轉量及 ROCOF 控制服務下維持頻率安全之最低系統慣量與熱機備轉量關係。

研究人員：電力研究室：賴凱右、王永富、吳承翰

大林發電廠吹灰器改良新製研究

Improvement of the Boiler Shootblower of Talin Power Plant

Abstract

No. 1 and 2 units of Talin Power Plant are ultra-supercritical boiler units with a capacity of 800MW. The horizontal length of the boiler is 26.6 meters, therefore the total travel of the long-range soot blower needs to be 13.3 meters, which is the longest soot blower in coal-fired power plants in Taiwan at present. No. 1 and 2 units of Talin have been in commercial operation since 2017 and 2018, and soot blowers in the high-temperature area of the boiler have been utilized for many years. Several structure broken accidents affecting the operation stability of the unit have occurred recently. As a result, it is necessary to analyze the root cause of the structure damage accidents and develop improvement methods.

In this study, the inspections of the material composition and the measurement in vibration while advancing and retracting of the soot blower are carried out. After

confirming the parameters in the simulation by material analysis, the model for the stress analysis based on the finite element method is constructed. The root cause of the structure broken could be identified based on results of the simulation and the experiment. Hence, the improvement methods according to the root cause and feasibility of implementation are provided. For instance, fine-tuning the geometric dimensions of the soot blower to improve the ability of the structure to endure fatigue is applied. Additionally, the external flow field of the soot blower tube are analyzed, and then the contour of the outer tube would be modified in order to reduce the pressure effect of the disturbing turbulent flow. The validity of the proposed improvement methods would be demonstrated by the simulation to reduce the abnormal operation situation and improve the operation reliability of the unit.

1 研究背景、目的、方法：

大林發電廠一、二號機為裝置容量 800MW 之超超臨界鍋爐機組，其鍋爐水平長度達 26.6 公尺，因此長程吹灰器行程需達 13.3 公尺，為國內各燃煤電廠最長之吹灰器。大一、二號機於民國 106 年與 107 年陸續併聯商轉，鍋爐高溫區吹灰器已使用多年，近期發生數次損壞事故，影響機組穩定運轉，因此需進行破損肇因分析及研擬改善策略。

本研究針對吹灰器進行材料性

質檢驗，量測其運轉進退槍時振動情形，建立結構力學模擬分析模型，利用模擬及試驗鑑定其破損肇因，並根據破損原因及現場施工可行性，研擬改善方法。如微調吹灰器幾何尺寸，提高結構承受疲勞之能力，或進行吹灰器管外流場分析，對於吹灰器外管輪廓加工，以減少紊流擾動引致之振動，改善方法皆以模擬驗證改善成效，以期能減緩運轉異常情形，並提高機組運轉可靠度。

2 成果及其應用：

本計畫目標研究大林一、二號機鍋爐長程吹灰器破損肇因並探討改良建議，主以材料分析及結構力學、熱應力、燃氣流體應力分析，結合運轉振動量測驗證事故原因，針對弱點進行加強，研擬減緩破損策略。主要研究項目為：吹灰器外管幾何模型之建

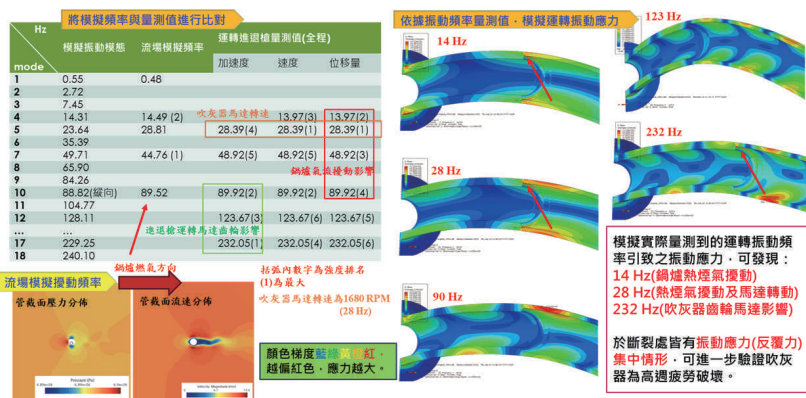
立及調查運轉數據；吹灰器外管之材料試驗及分析；吹灰器進退槍運轉振動量測分析；外管之結構應力、振動模態應力、運轉振動應力、熱應力分析；外管受熱煙氣擾動之熱流應力分析；整合量測試驗及各模擬分析探討事故發生原因；外管結構幾何之修正

與改良效果分析驗證；建議方式包含尺寸改良、加工改良、外管輪廓減緩燃氣擾動等。

本研究實際量測吹灰器運轉振動狀態，與模擬及運轉資料驗證，發現有熱煙氣、吹灰器馬達轉速、吹灰器齒輪馬達激發之振動，彙整結果如圖 1 所示。結構應力分析結果，外管斷裂處即為結構應力集中處、共振模態應力集中處及運轉振動應力集中處。因此可總結，斷裂處為結構應力(靜力)及振動模態應力(反覆力)之集中處，如圖 2 所示。兩者重疊造成結構高週疲勞破壞。若從材料金相分析，破斷面亦以疲勞破斷面特徵為主，應為長期運轉疲勞造成破壞，與應力分析結果互相驗證。

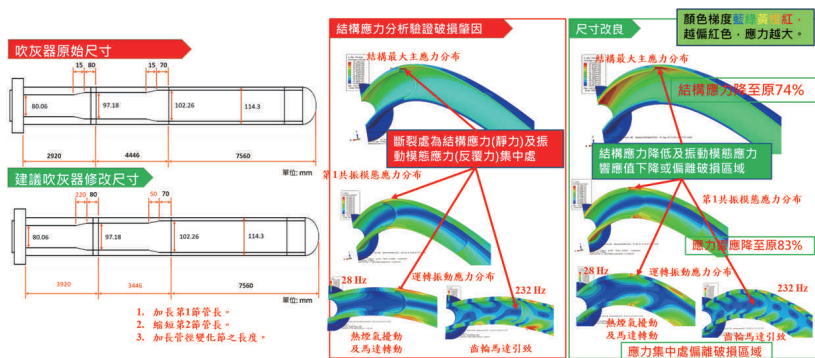
研究根據以上分析結果重點，研擬改善破損效應之建議如下：(1) 尺寸改良 (加

長第 1 節管長、縮短第 2 節管長及加長管徑變化節之長度)，可降低結構應力(原本之 74%) 及第 1 振動模態應力響應值(原本之 83%)，如圖 2 右所示，亦使運轉振動應力偏離破損區域，減緩疲勞破壞。(2) 僅以切削加長第 1、2 節管徑變化節長度：分析管徑變化節長度達 220 mm 左右時，可降低結構應力(原本之 83%) 及第 1 振動模態應力響應值(原本之 89%)，同樣使運轉振動應力偏離破損區域。另因採用 T91 並改良尺寸後改於第 2、3 節管徑變化處斷裂，後續也建議於第 2、3 節進行切削加長改善。(3) 修改外管輪廓減緩熱煙氣擾動：嘗試破壞煙氣不穩定之紊流及減小氣流壓力，或調整氣流擾動頻率，減少吹灰管共振被激發之可能，以減小振動應力，減緩疲勞效應。



資料來源：本研究繪製

圖 1 結構運轉振動應力分析與量測及流場分析驗證



資料來源：本研究製作

圖 2 吹灰器結構改良設計及模擬驗證

研究人員：能源研究室：廖佳麒、陳瑞麒、高全盛、吳浩平

大潭電廠 GE7HA.02 氣渦輪機轉子模態分析

Modal Analysis of the Gas Turbine GE7HA.02 in Datan Power Plant

Abstract

Datan Units No. 7 to 9 belong to the GE7HA.02 gas turbine produced by the GE Company. The gas turbine is fundamentally different from the traditional steam turbine. It is assembled from several structural parts. However, past research has lacked the effect of turbine vibration in this gas turbine. Through this research, we measure

the geometric dimensions of the turbine rotor and blades, establish a 3D model, and perform FEM modal analysis to explore the vibration characteristics of the gas turbine rotor. Confirm the mode and frequency of the shaft. The analysis results can be used as a reference for operation and maintenance by power plant operators.

1 研究背景、目的、方法：

大潭 7~9 號機屬於美國奇異公司生產之氣渦輪機 GE7HA.02 機型(圖 1)，氣渦輪機轉子構造不同於傳統汽機，是由數段結構件組裝而成，而過往的研究缺乏針對氣渦輪機轉子振動模態的分析，透過本研究建立氣渦輪機轉子振動模態之分析技

術。對其氣渦輪機轉子及葉片進行幾何尺寸量測、建立實體模型及進行 FEM 模態分析，探討氣渦輪機轉子之振動特性，確認轉軸的模態與頻率，分析的結果亦可供電廠運轉人員作為運轉維護之參考。

2 成果及其應用：

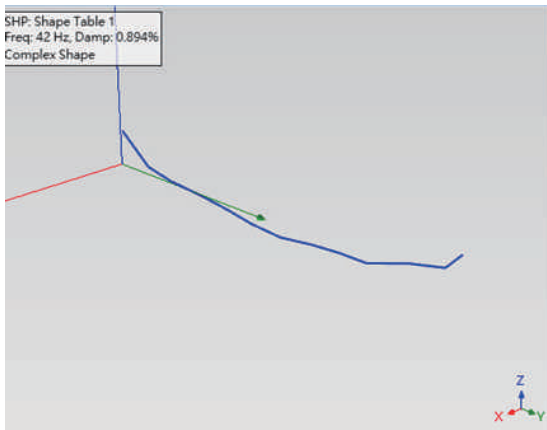
1. 大潭 7-1，7-2 氣渦輪機在運轉之初都有振動過高的問題，振動問題困擾電廠數年，機組可能在當時便已因高振動造成元件壽命減損。
2. 不含渦輪端葉片的轉軸模態測試主要的三個模態頻率，分別為 42、79、108Hz，模態振型分別是 U 型(圖 2)、S 型(圖 3)、W 型(圖 4)的側向振動模態。
3. 含渦輪端葉片的轉軸模態主要的四個模態頻率，分別為 19.7、33.7、42.5、48.7Hz，模態振型是側向振動模態以及 turbine 端葉片與轉軸耦合之模態。
4. 大潭七號機臨界轉速其分別為 1080RPM、2000RPM、2900RPM，轉換成頻率約為 18Hz、33Hz 及 48Hz，分別對應模擬分析出的第 1、2、4 模態，但仍應考慮連接發電機後對整體

- 模態的影響。
5. 前四個模態的最大模態應力位置皆位於 Spacer 與 turbine disk 連接段，大修時應加強檢查該處是否出現裂紋。
 6. 起停機時會在 spacer0 邊緣產生張應力形成低週疲勞，以及該處腐蝕物堆積可能是造成裂紋起始的肇因之一。
 7. spacer0 第二模態(約 51Hz 附近)可能和轉軸模態耦合，產生高週疲勞加速裂紋成長。
 8. 建議可監測起停機或運轉中 49-51Hz 區間附近的振動值是否有過大的現象。
 9. 原廠提出的 spacer0 改善方案包括將進氣濾網改成 HEPA 高效率網、改善 spacer0 底部進氣量以降低溫度、以及在 spacer0 間隙塞入緩衝墊固定 spacer0 減少振動，後續的效果還要持續的觀察。



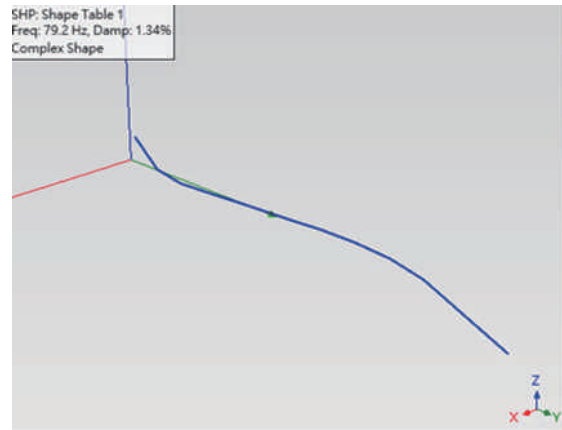
資料來源：本研究製作

圖 1 7HA.02 實體之照片



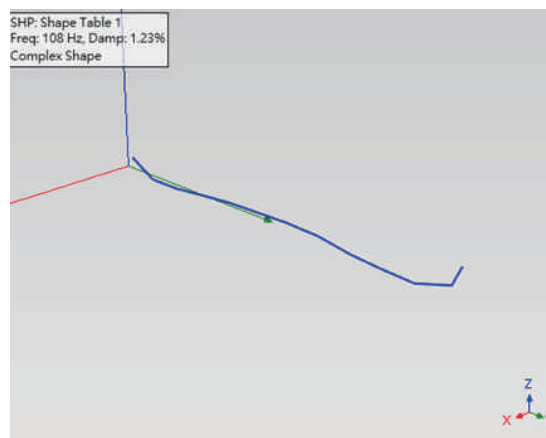
資料來源：本研究製作

圖 2 第一個側向振動振型 (U 型)



資料來源：本研究製作

圖 3 第二個側向振動振型 (S 型)



資料來源：本研究製作

圖 4 第三個側向振動振型 (W 型)

研究人員：能源研究室：石振宇、廖佳麒、陳瑞麒

利用結構共振以分析診斷渦輪機葉片破損狀態之研究 Study on Analysis of the Structural Resonance to Diagnose the Damage Status of Turbine Blades

Abstract

During the repair or regeneration process of turbine blades, applying various non-destructive tests to evaluate the damage status of blades is the key issue. However, non-destructive testing requires technicians with certificates and experience to use different media for preliminary analysis, judgment and classification of the level of damage to the blades. It is difficult to investigate the impact of damage on structural behavior without the accurate judgment standard. Therefore, the diagnosis and analysis technology for the blade damage based on structural behavior by connecting the corresponding resonant frequency and structural modal stress effects would be developed by this study. Additionally, the testing criteria would be standardized to improve the sensitivity of structural damage detection, and variation of the response to structural vibration would be analyzed to establish a basis for diagnosing

the structural condition of blades in this study.

As a result, a vibration modal detection system for the gas turbine blade would be developed to identify suitable frequency bands and sensors for detecting damage mechanisms in this study. The vibration measurement device in high-frequency would be constructed to acquire the natural frequencies of blades. Simultaneously, a geometric model of the blade would be established to analyze the structural vibration modes by using the finite element method. The detected spectrum of the blade would be compared and verified with the simulation analysis results. And then, quantitative standard indicators of the blade damage status will be established according to the statistical method. By integrating measurements and simulations, a detection system for diagnosing the blade damage status will be developed in this study.

1 研究背景、目的、方法：

渦輪機之葉片修護或再生過程中，利用各項非破壞性檢測評估其損傷狀況為重要工作。然而進行非破壞性檢測需依靠具有證照及經驗之技術人員，使用不同媒介對葉片之損傷程度進行初步分析、判斷並予分類，無準確之判定標準，也難以掌控損傷對於結構行為之影響。

因此本研究擬依據結構損傷行為連結其共振頻率及結構模態應力效應，發展葉片損傷診斷分析技術，除了可標準化檢測準則，提升結構損傷檢測靈敏度，亦分析結構振動變化響應，以期建立葉片結構狀態診斷之基礎。

本研究目標開發葉片振動模態

檢測系統，研擬適合檢測損傷機制之頻段及感測器，開發葉片高頻振動量測裝置，進行葉片共振頻率量測。同時建立葉片之幾何模型，使用有限元素分析其結構振動模態；將葉片之檢測頻譜與模擬分析結果

比對驗證，以統計方法建立葉片損傷狀態之量化標準指標，整合各相關量測值及結構分析指標，研擬發展葉片損傷狀態之檢測診斷方法。

2 成果及其應用：

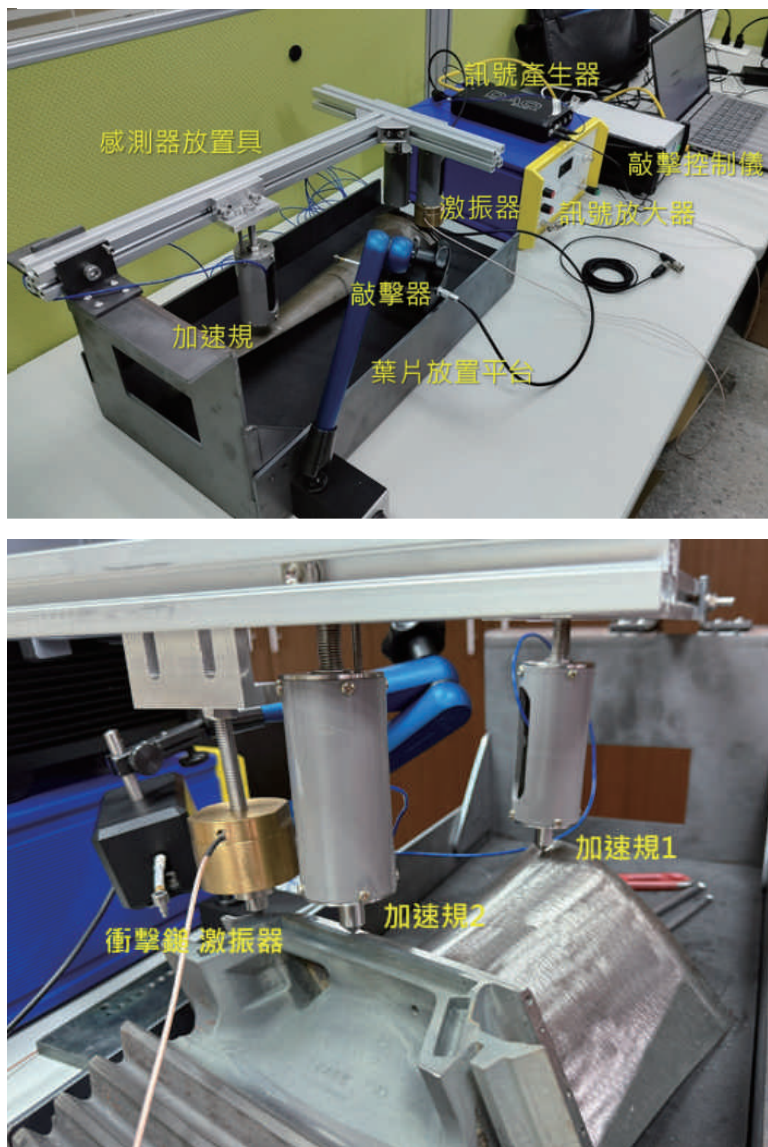
本研究執行步驟如下：建置如圖 1 所示之葉片高頻振動共振模態檢測裝置，研擬擷取共振訊號特徵值統計計算方法 (即 Z 指數)，進行葉片自然頻率量測及建立資料庫，與 RT 同時比對並分類量測葉片之狀態，逆向建立葉片之幾何模型，利用有限元素模擬葉片結構共振模態，再以有限元素法模擬各損傷下共振模態變動情形，葉片之量測頻譜與模擬分析結果比對驗證，解析頻率變動值與各損傷狀態之關聯及試驗，如圖 2 上所示，建立葉片損傷狀態之量化標準指標。

根據高頻響應非破壞解析葉片損傷裝置所量測到的結構共振訊號，所建立之共振訊號特徵統計計算分析軟體，可因應量測物之結構特性 (各種尺寸或不同材質)，以及目標量測值 (材料特性、結構損傷、製程變異)，選取合適之檢測頻段及共振信號特徵 (共振頻率、信號振幅、信號品質因子)，針對每只葉片計算指標指數，並根據其特性 (正常或破損) 進行分類如圖 2 下所示，此計算軟體可較快速判定葉片之狀態，適用於產線大量檢測，亦能作為人工智慧及機器學習訓練前瞻好壞判定

訓練依據，以利後續研發更精細準確之檢測方法。

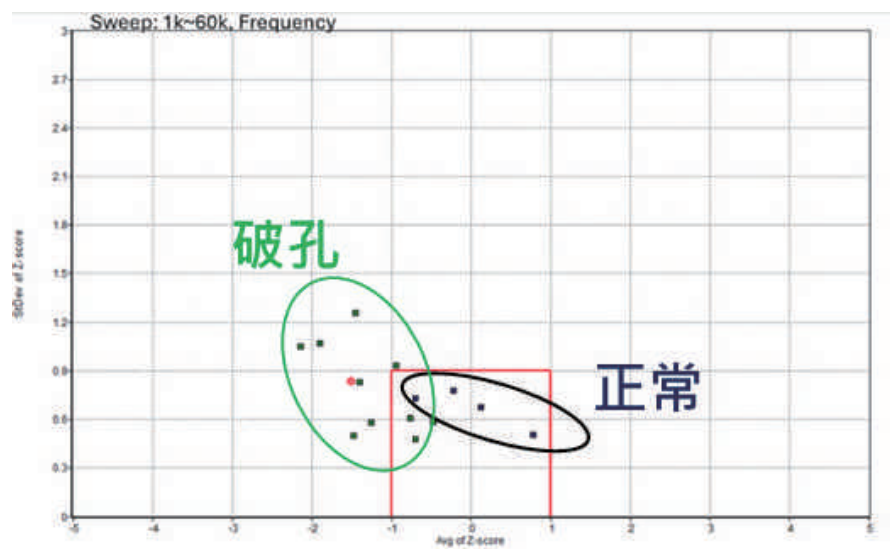
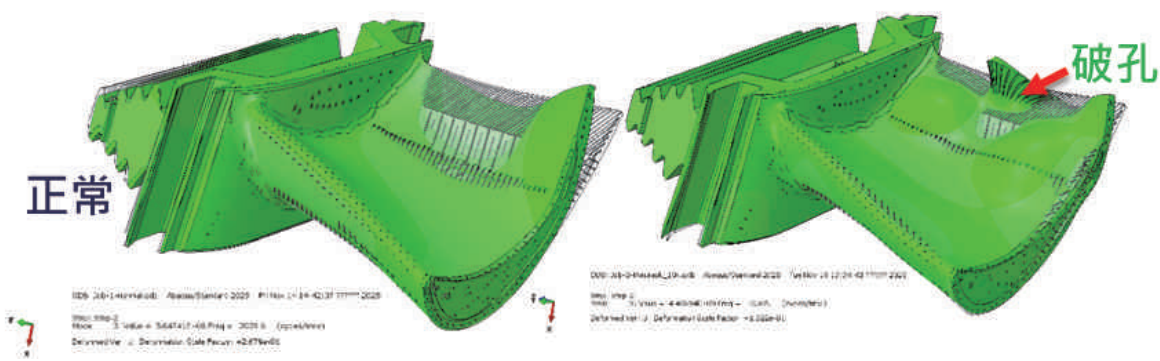
本研究建構葉片結構應力及結構模態分析模型，更依據往例檢測發現之各種缺陷，變更分析模型幾何，模擬各缺陷造成動葉片共振模態變異之行為。模型以葉片模態試驗驗證其可信度，並量測葉片發生破損時，共振頻率變動趨勢與模擬分析結果接近。藉由模擬與檢測數據雙重驗證，可增加結構應力及共振分析診斷之準確率，提供更全面之運維參據，此為數位孿生 (Digital Twin) 技術前瞻概念，於本研究則以氣渦輪機葉片監診進行先期研發。以三菱 M501G 氣渦輪機渦輪段第一級動葉片為分析及量測標的，所建構之結構應力有限元素分析模型，與現場破損狀態及模態試驗結果吻合。並再針對曾檢測發現之破損狀態：腐蝕薄化、薄化造成破孔、撞擊凹陷、流道瑕疵等，進行對應之幾何修正及模擬其共振模態之變化，模擬結果皆可以物理現象解釋，並與量測趨勢接近吻合，驗證此模擬資料對於後續運轉維護及診斷技術發展有可靠之應用性。

二、研究發展主要成果一（六）發電營運與調查規劃



資料來源：本研究製作

圖 1 開發葉片高頻振動量測儀器進行葉片共振頻率之量測



資料來源：本研究製作

圖 2 建構有限元素分析模型分析與量化標準指標

研究人員：能源研究室：廖佳麒、陳瑞麒、石振宇

林口電廠低壓汽機第一級動葉片破損分析

Root Cause Analysis of the Rotating Blade in the First Stage of LP Turbine in Linkou Power Plant

Abstract

During the major overhaul of Linkou Power Plant Unit 3, a crack was detected on a first-stage blade of the low-pressure steam turbine (LPT). Historically, such damage at this specific location has been unprecedented at the plant. Typically, steam turbine blade damage occurs most frequently in the longest blades at the final stage, whereas incidents involving first-stage blades are relatively rare. Consequently, a comprehensive failure analysis—encompassing metallurgical, mechanical, and computational fluid dynamics (CFD) analyses—was imperative. The objective was to conduct a holistic damage assessment to elucidate the crack initiation mechanism in the first-stage blade. These

findings serve as a critical reference for future operations and maintenance, aiming to reduce the operational and maintenance costs of similar generating units. Based on the analytical results, the mechanism of crack initiation and propagation is attributed to the accumulation of corrosive species, which caused grain boundary weakening at the fracture site and significantly reduced fatigue life. Furthermore, this region acted as a local stress concentration zone subject to relatively high tensile stress. Under prolonged operation, this combination led to intergranular fracture, serving as the crack initiation point, with subsequent propagation driven by operational cyclic loading.

1 研究背景、目的、方法：

林口電廠三號機於大修期間，發現低壓汽機第一級動葉片有一處產生裂痕，過去林口電廠從未於此處發現類似的損傷。一般而言，汽輪機葉片損傷最常發生在長度最長的最末級動葉片，第一級動葉片則較少發生，因此有必要對此案進行

完整的破損分析，包括材料分析、力學分析及流場分析，以做出一套綜合性的損壞評估，了解第一級動葉片裂痕的產生機制，未來可做為電廠大修時的參考依據，以降低同類型機組的運轉維護成本。

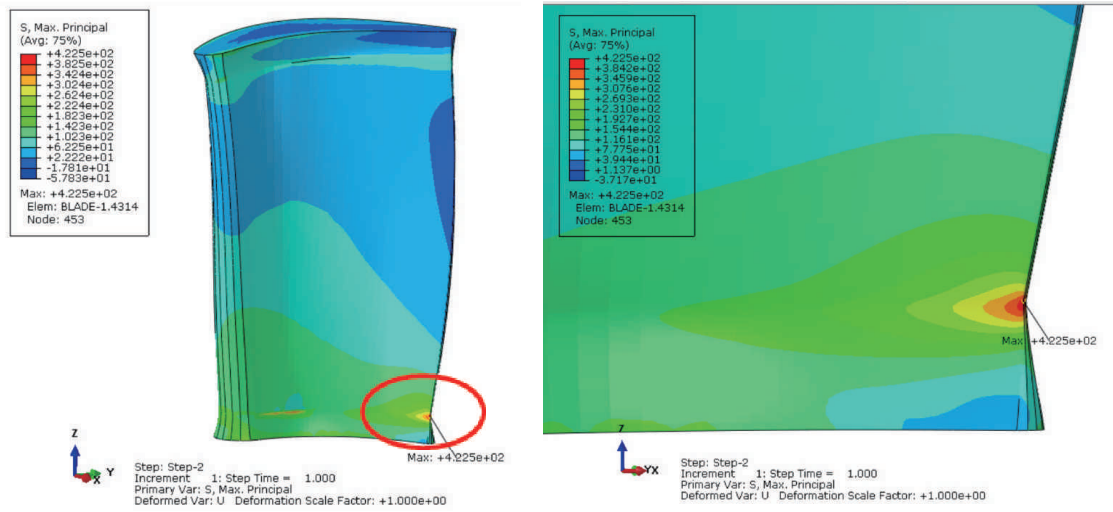
2 成果及其應用：

根據分析結果，裂紋的萌生與成長機制為腐蝕成分的堆積，造成葉片裂紋處晶界的弱化，疲勞壽命大幅下降，且該處為局部應力集中處(圖1)，具相對較大的拉伸應力，在長時間的運轉下產生沿晶破壞，為裂紋的起始點，並因運轉擺盪而持續成長(圖2)。且葉片後緣壓力側表面有明顯可見裂紋，吸力側有疑似裂紋，兩側皆有手工刀具研磨痕跡，推測該葉片可能有經過手工磨除裂紋的動作。葉片後緣下方凹陷處為應力集中區，因運轉產生

疲勞裂紋，成長後的裂紋經手工刀具磨除沒有去除完全，腐蝕堆積物殘留於刀痕，並加速裂紋成長。由SEM破斷面觀察可發現多處新裂紋起始點形貌，推測為手工刀具研磨刀痕處產生新疲勞裂紋，葉片後緣下方主要裂紋從外側往內傳播，壓力側及吸力側上刀痕新裂紋亦自表面往中心成長。SEM破斷面微觀形貌中有多處腐蝕形貌，EDS分析顯示有腐蝕因子S、Cl分布在次表面，壓力側表面凹槽中亦含有S、Cl的成分，推測為表面腐蝕因子擴散進

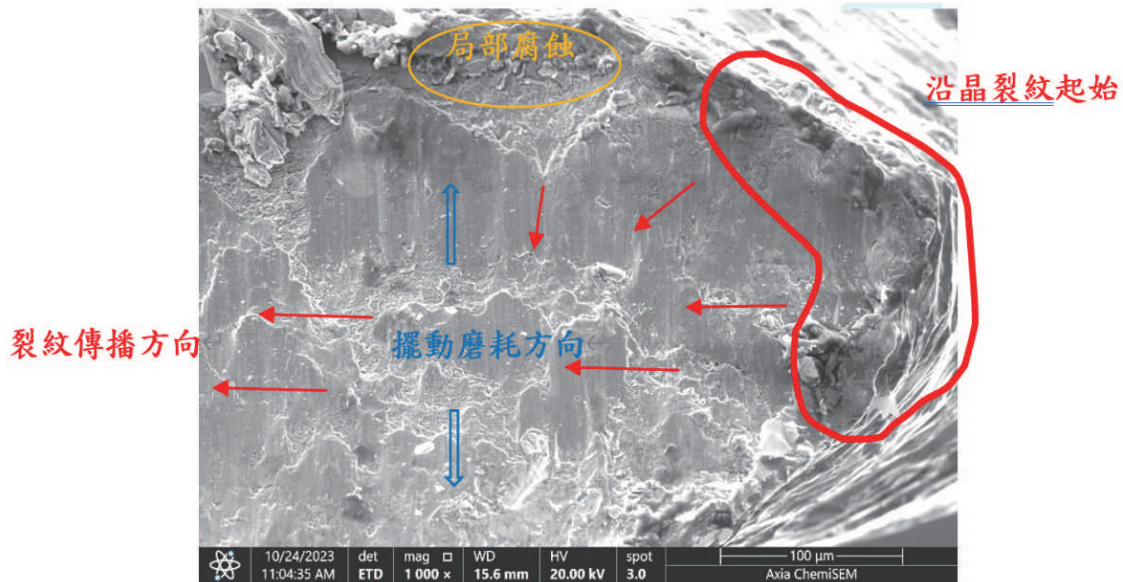
裂縫加速裂紋傳播。葉片後緣處破斷面形貌中，有一截較平坦區域表面磨耗痕跡嚴重，因運轉振盪導致葉片後緣處裂紋上下摩擦擺損，推測為最初斷裂處。葉片材料

母體除 Charpy 衝擊值稍低外，其餘拉伸試驗、維氏硬度、成分組成及金相組織皆符合 ASTM A565 之 422 不鏽鋼規範。



資料來源：本研究提供

圖 1 第一級動葉片葉身最大主應力分布



資料來源：本研究提供

圖 2 破損葉片試片後緣處破斷面 SEM 分析

研究人員：能源研究室：翁願貴、吳憲政、陳瑞麒、吳浩平、李佳樺、陳雅音

大潭電廠 4 號機鍋爐前抵板螺栓斷裂力學分析

Fracture Mechanics Analysis of Bolts on the Front Guide Plate of No. 4 Unit of DaTan Power Station

Abstract

The Housing Guide Plate located upstream of the Heat Recovery Steam Generator (HRSG) of Unit 4-1 at the Datan Power Plant was found to have completely fallen off in February 2024. Preliminary investigation suggests that the cause was the fatigue fracture of the structural connection bolts, but further mechanical analysis is still required. The function of the guide plate is as a fixed flow deflector (guide vane) to direct the exhaust gas from the gas turbine into the HRSG. Its collapse would affect the efficiency of the HRSG, necessitating a shutdown for several weeks of maintenance, which in turn impacts the security of the power supply. The OEM proposed a structural modification—the installation of additional cross-beams—to prevent a recurrence of the same incident. The effectiveness of this modification also needs to be further confirmed through mechanical analysis. This analysis utilizes

the Finite Element Method (FEM) for the structural mechanical analysis of the guide plate. This is combined with a fluid dynamics estimation of the Kármán vortex shedding frequency generated when the high-temperature, hot combustion gas from the gas turbine flows past the plate. It is hypothesized that this frequency couples with the first mode natural frequency (29.17 Hz) of the plate's structure, which likely caused the structural vibration. The long-term cyclic stress led to high-cycle fatigue failure at the modal stress concentration points (the H-beam joints), ultimately resulting in crack penetration and structural failure/collapse. The OEM's proposal to install additional cross-beams is expected to increase the structure's natural frequency, thereby avoiding the resonant frequency potentially caused by the fluid flow. This modification strategy should be effective and feasible.

1 研究背景、目的、方法：

本研究旨在探討 2023 年 12 月大潭電廠熱回收鍋爐 (HRSG) 4-1 爐前抵板 (圖 1) 整體掉落 (圖 2) 的事故原因。此事故造成機組長時間停機，導致嚴重的供電損失。現場檢查發現固定螺栓出現疲勞破壞的「海

灘紋」(圖 3)，以及 H 型鋼支架的斷裂 (圖 4)。因此，研究的核心動機是利用嚴謹的力學分析，找出導致結構疲勞破壞和最終崩塌的根本力學機制，並驗證原廠改善方案的效益，以防止類似事故再次發生。

2 成果及其應用：

本研究採用有限元素方法 (Finite Element Method, FEM) 進行爐前抵板結構的力學分析。具體步驟包括：

1. 幾何建模與材料設定：建立爐前抵板的三維幾何模型，並設定材料為 304 不銹鋼。
2. 靜力分析：模擬螺栓預應力和重力作用下的應力與位移分佈，評估靜態負載是否超過結構的強度極限。
3. 模態分析 (Modal Analysis)：找出爐前抵板結構的固有頻率和模態振型，以識別結構對振動的敏感度與

應力集中點。

4. 流體擾動估算：利用雷諾數 (Re) 和斯特勞哈爾數 (St)，估算氣渦輪機 (GT) 排出的高溫熱燃氣流經爐板時所產生的卡門渦街 (Von Kármán Vortex Street) 頻率。
5. 改善方案分析：模擬原廠提出的加裝橫梁輔助承重的結構修改方案，並重新進行模態分析，評估其在提高固有頻率方面的效益。

靜力分析結果：

在僅施加螺栓預應力和重力後，螺栓

和結構的最大主應力 (約 214.2 MPa) 遠低於 304 不銹鋼的抗拉強度和降伏強度。這表明單純的靜態負荷不足以造成結構破壞。

模態與共振分析結果：

1. 爐前抵板的前三個固有頻率分別為：29.17 Hz、43.4 Hz、46.3 Hz。
2. 流體擾動估算結果顯示，卡門渦街的頻率約為 26.8 Hz。
3. 此渦街頻率與結構的第一模態固有頻率 29.17 Hz 極為接近，強烈暗示發生了共振 (Resonance)(圖 5)。
4. 模態振型分析顯示，最大模態應力位於螺栓與螺帽交接處和垂直 H 型鋼與斜撐 H 型鋼的交界處 (圖 6)，這些位置與現場觀察到的螺栓疲勞斷裂和 H 型鋼斷裂點完全吻合。

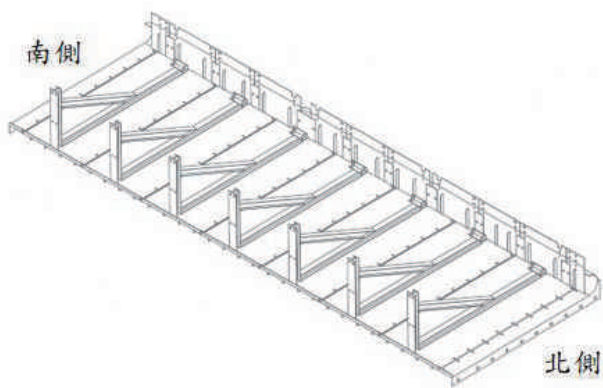
改善方案分析結果：

1. 原廠改善方案能將第一模態頻率從 29.17

Hz 大幅提升至 40.3 Hz。

2. 頻率的提升使結構固有頻率遠離流體渦街頻率 26.8 Hz，顯著降低了共振的可能性。

爐前抵板掉落事故的主要原因是流致振動 (Flow-Induced Vibration) 引起的共振和疲勞破壞。高溫熱燃氣流經爐板時產生的卡門渦街頻率 (約 26.8 Hz) 與爐板結構的第一固有頻率 (約 29.17 Hz) 耦合，導致結構發生劇烈振動。長期的往復應力使得應力集中點 (螺栓、H 型鋼接合處) 發生高週次疲勞破壞，最終失去支撐力而整體崩塌。原廠提出的加裝橫梁方案，透過提高結構的剛性和固有頻率，成功地將其頻率區間移出潛在的共振範圍，證實是有效且可行的結構修改策略。但應持續關注改善後新結構的應力轉移區域。



資料來源：本研究製作

圖 1 爐前抵板示意圖



資料來源：大潭電廠

圖 2 爐前抵板掉落照 (鍋爐內部)



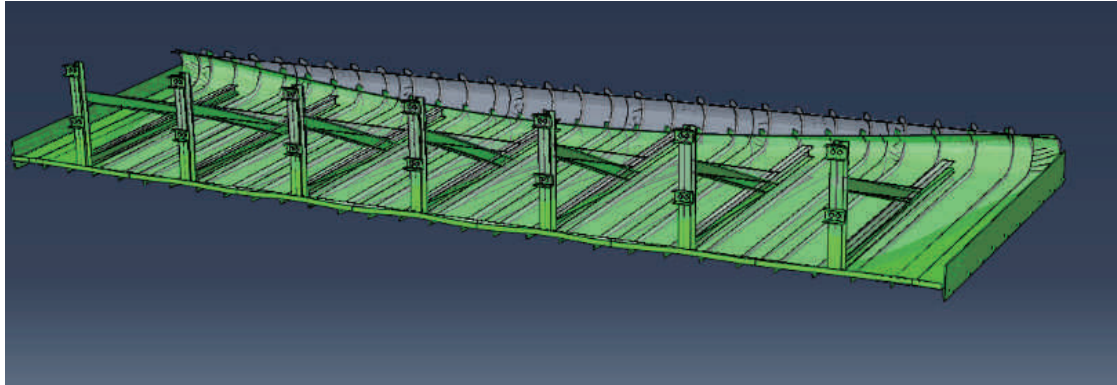
資料來源：大潭電廠

圖 3 鎖固螺栓斷裂面照片



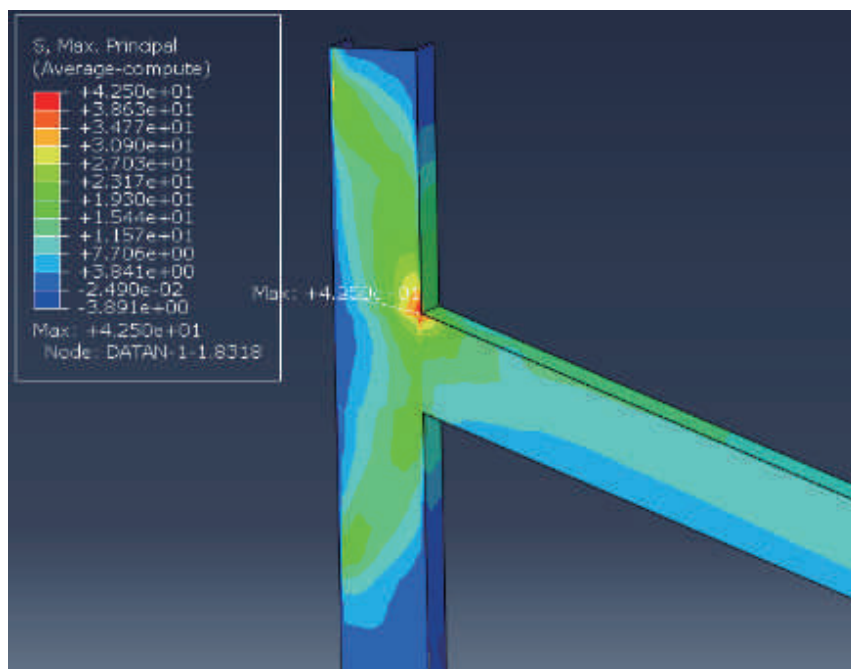
資料來源：大潭電廠

圖 4 中央結構樑斷面



資料來源：本研究製作

圖 5 爐前底板第一模態



資料來源：本研究製作

圖 6 第一模態在中央結構體最大主應力位置

研究人員：能源研究室：石振宇、陳瑞麒

大潭電廠二號機發電機定子損壞肇因研究

Root Cause Analysis of No.2 Generator Stator Failure of Datan Power Plant

Abstract

This study investigates the root causes of stator damage in the GT2-3 and GT2-1 generators at the Datan Power Plant. The root cause of stator damage is found to be stress corrosion cracking (SCC) and high-cycle fatigue in the through-bolts, leading to cracking and eventual bolt failure. This failure results in uneven axial stress distribution in the stator core, increasing friction between the core and through-bolts and enhancing core vibration. These factors collectively cause wear between the core laminations and through-bolts, leading to insulation damage and interlaminar short circuits, ultimately resulting in core lamination and through-bolt melting. Material analysis reveals corrosion at the neck of the through-bolts and martensite formation due to thermal stress in the damaged

area. Mechanical simulation shows that the natural frequency of the through-bolts is close to the operating frequency of the unit, prone to resonance and stress concentration. Through material analysis, mechanical simulation, and vibration modal testing, this study confirms the relationship between through-bolt resonance and crack formation. Recommendations are proposed to reduce the likelihood of similar incidents, including the use of HEPA filters, increasing the guiding angle at the neck of the through-bolts, applying a corrosion-resistant coating, and adjusting the natural frequency of the through-bolts to avoid 60 Hz and 120 Hz. The study concludes that GT2-3 and GT2-1 stators share the same failure mechanism, with GT2-1 representing an early stage of failure similar to GT2-3

1 研究背景、目的、方法：

本研究旨在探討大潭電廠二號機 GT2-3 和 GT2-1 發電機定子損壞的根本肇因。研究發現，定子損壞的主要原因是貫穿螺栓因應力腐蝕龜裂 (SCC) 和高週疲勞而產生裂紋，導致螺栓斷裂。螺栓斷裂使得定子鐵芯的軸向應力分布不均勻，增加鐵芯與貫穿螺栓之間的摩擦，並增強定子鐵芯的振動。經由圖 1 及圖 2 試驗驗證，這些因素共同作用，造成鐵芯片與貫穿螺栓之間的擺損磨耗，鐵芯絕緣層損壞後引發層間短路及大容量渦電流流過，最

終導致鐵芯片和貫穿螺栓熔化，貫穿螺栓絕緣層如圖 3 所示。材料分析顯示，貫穿螺栓頸部存在腐蝕現象，且在熔損區域觀察到熱應力引起的麻田散鐵，其硬度趨勢如圖 4。力學模擬分析可知，貫穿螺栓的自然頻率接近機組的運行頻率，容易產生共振，加劇應力集中。透過材料破損分析、力學模擬及振動模態測試，確認了貫穿螺栓共振風險與裂紋形成的關聯性，並提出改善建議以降低未來類似事故的發生機率。

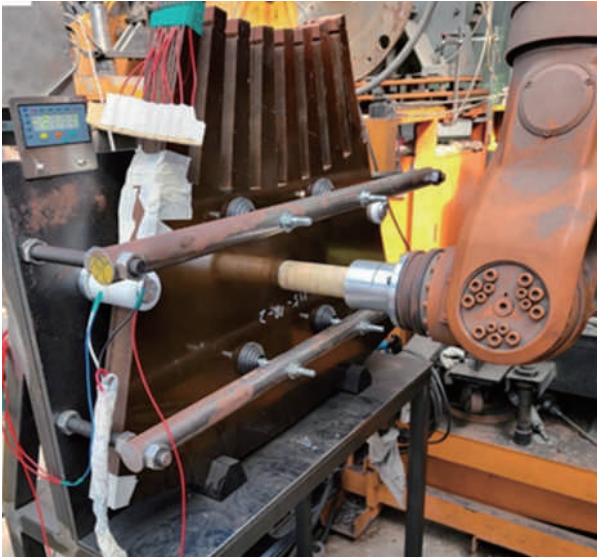
2 成果及其應用：

研究結論認為，GT2-3 和 GT2-1 定子具有相同的破損機制，

GT2-1 可視為 GT2-3 的早期破損階段。為防止類似破損事故再次發生，

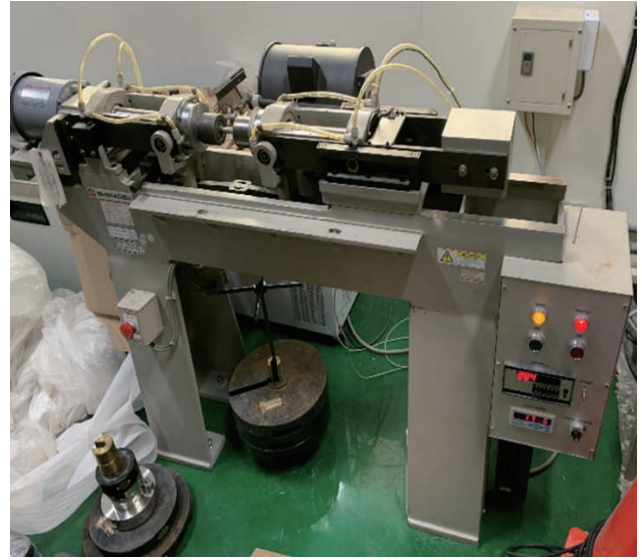
建議採取以下措施：(1) 使用 HEPA 過濾器，增加貫穿螺栓頸部的導角曲率半徑，塗覆防腐塗層，並調整貫穿螺栓的自然頻率，使其遠離 60Hz 和 120Hz；(2) 針對

發電機定子之熔損防止，建議於定子中段區加裝溫度及振動感測器，以監視定子運轉中溫度及振動變化，以早期預防同樣事故之損壞。



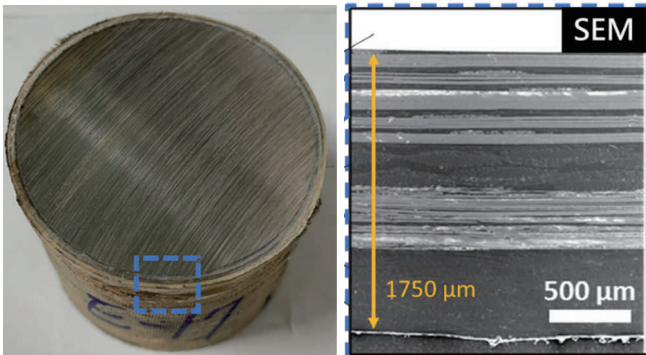
資料來源：本研究提供

圖 1 擺損磨耗試驗機



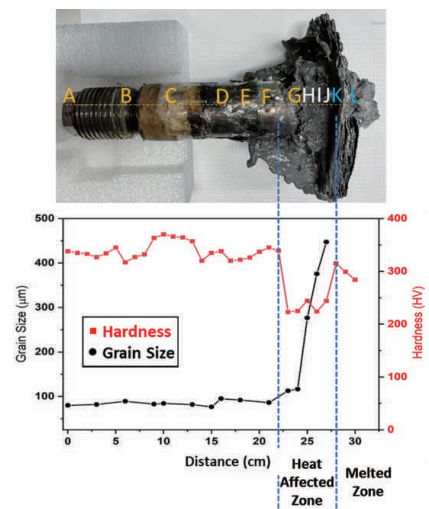
資料來源：本研究提供

圖 2 迴轉疲勞試驗機



資料來源：本研究提供

圖 3 貫穿螺栓絕緣層結構形貌及 SEM 照片



資料來源：本研究提供

圖 4 熔融貫穿螺栓 #2 之微硬度分佈趨勢圖

研究人員：能源研究室：鄭仔璇、吳憲政、陳瑞麒、陳勇達、謝沅學、石振宇、廖佳麒

葉片噴鋸製程深度學習瑕疵檢測之模型優化評估研究

Research on an Optimized Deep Learning Defect Detection Model for Blade Spray Welding Process

Abstract

This study develops an optimized deep learning-based defect detection model for blade spray welding processes using vibration-derived time–frequency representations. Tri-axial vibration signals collected by smart tags are transformed into Mel-spectrogram images via short-time Fourier transform (STFT) and Mel-scale filtering, enabling convolutional neural network (CNN)–based classification.

A VGG19 model pre-trained on ImageNet is adopted with transfer learning to distinguish normal and abnormal process states. Without modifying the original network architecture, an enhanced input representation is proposed by stacking Mel-spectrograms from three vibration axes into the RGB channels of a single image, thereby increasing input information richness while

maintaining architectural compatibility.

Experimental results show that the proposed design improves accuracy, precision, recall, and F1-score from approximately 90% to over 94%, with training accuracy exceeding 94.85% and stable convergence. Group-based cross-validation achieves an average accuracy of $95.4\% \pm 1.68\%$. Additional analyses, including calibration curves, score distributions, ROC curves, and AUC, confirm strong discriminative performance, reliable probability estimation, and the absence of data leakage. The results demonstrate that effective integration of multi-axis vibration features significantly enhances defect detection performance in blade spray welding processes.

1 研究背景、目的、方法：

因應供電需求持續攀升，台電修護單位需頻繁進行氣渦輪機組葉片之鋸修與再生作業，其中葉片噴鋸製程為影響再生效率、良率與後續運轉可靠度之關鍵環節。於噴鋸製程中導入感測裝置以蒐集製程訊號，並結合深度學習模型進行製程狀態辨識，已成為提升製程監測精度與品質管控效率之重要研究方向。既有研究顯示，將噴鋸製程中量測之三軸振動訊號經時頻轉換為影像特徵，並結合卷積神經網路進行分類，具備良好之正常與異常狀態辨識潛力。

然而，既有方法中三軸振動資

訊於模型輸入階段之表達方式仍具優化空間。本研究在既有流程架構下，採用智慧貼紙蒐集之三軸振動訊號，經短時傅立葉與梅爾濾波轉換為頻譜影像，並以 VGG19 遷移學習模型進行瑕疵辨識。在不更動原有模型架構與訓練策略之前提下，將單一灰階頻譜複製為 RGB 通道之方式，優化為三軸振動對應 RGB 三通道之輸入頻譜設計，如圖 1，以提升輸入特徵資訊密度，並評估其對葉片噴鋸製程瑕疵辨識效能之影響，建立具高辨識效能與可重現性之智慧化製程監測流程。

2 成果及其應用：

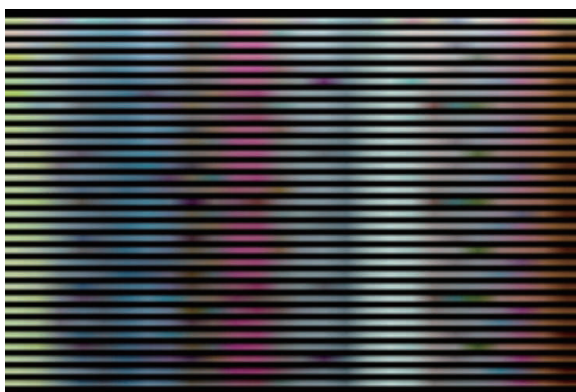
1. 實驗結果顯示，經輸入特徵優化後之模型，其準確度、精確度、召回率及 F1-score 等主要績效指標，均由原本約 90% 提升至 94% 以

上，顯示模型於製程正常與異常狀態辨識上，具備明顯之效能增益。
2. 相較於將單一灰階梅爾頻譜複製為 RGB 通道之基準方法，將 X、Y、

Z 三軸振動所生成之梅爾頻譜分別對應至 RGB 三通道，可使模型於卷積初期即同時擷取多方向振動特徵，進而提升製程異常辨識之準確性與穩定性。

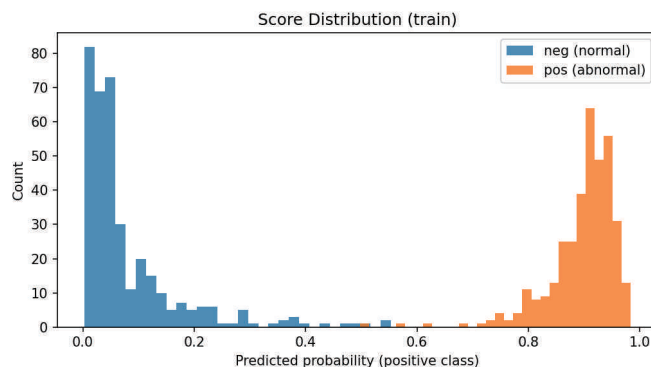
3. 透過來源訊號 (src_id) 為分組基準之五折群組式交叉驗證評估，模型平均分類準確率達 0.9541 ± 0.0168 ，顯示在不同資料分割情境下，模型仍能維持一致之辨識效能，具備良好之泛化能力。
4. 由圖 3 分析模型學習曲線可知，其訓練準確率可穩定達 94.85% 以上，損失值低於 0.15，且訓練與驗證曲線未出現明顯發散現象，顯示模型訓練過程穩定，未發生明顯過擬合情形。

5. 透過混淆矩陣、ROC 曲線及其曲線下面積 (AUC)、Precision-Recall 曲線與模型校準曲線 (Calibration Curve) 等多項視覺化分析結果顯示，模型不僅具備良好之正負樣本可分性，亦能穩定輸出具一致性之預測機率分布如圖 2。
6. 綜合模型辨識效能與穩定性評估結果，本研究所建立之深度學習模型可作為葉片噴鋸製程中之製程狀態監測與異常判斷輔助工具，有助於即時掌握噴鋸製程品質變化，降低事後返工與檢修風險，並提升葉片再生噴鋸製程之生產效率與品質一致性。



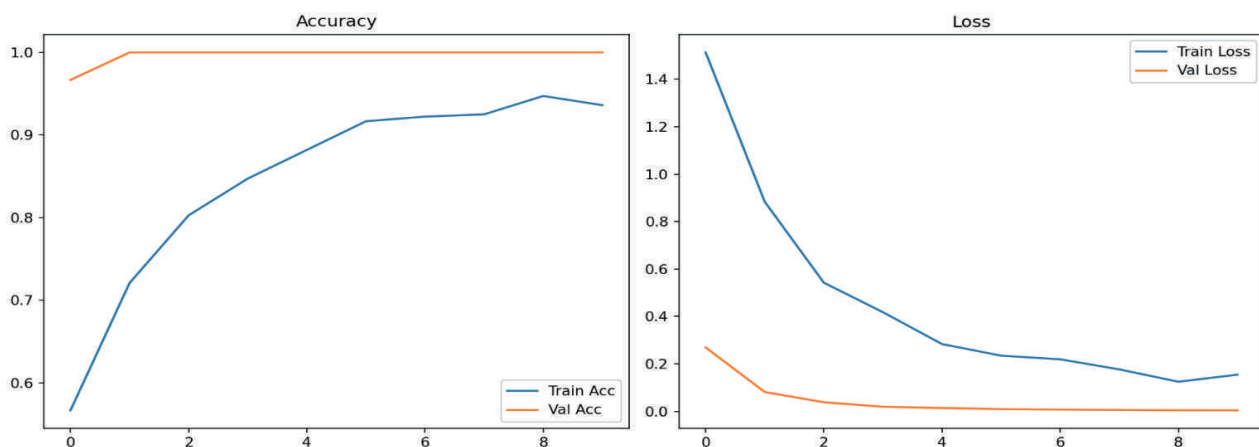
資料來源：本研究提供

圖 1 三軸振動數據對應至 RGB 三通道之梅爾頻譜圖



資料來源：本研究提供

圖 2 訓練資料之模型預測機率分布圖



資料來源：本研究提供

圖 3 葉片噴鋸製程瑕疵辨識模型之學習曲線

研究人員：能源研究室：葉佐端、吳憲政

台中發電廠六號機燃煤鍋爐壽命評估

Life Assessment of No.6 Coal-Fired Boiler in Taichung Power Plant

Abstract

This study evaluates the residual life of No.6 coal-fired boiler components at Taichung Power Plant, which has been in operation for over 20 years. The assessment covered the main steam pipe (MS), main steam valve (MSV), high temperature reheater pipe (HTR), reheater outlet header (RHO), secondary superheater outlet header (SHO), and platen superheater outlet short pipes. Non-destructive metallographic replica technique was applied to examine creep voids, microstructure degradation,

and carbide precipitation in the heat affected zone (HAZ). Hardness measurements were performed on base metal, weld metal, and HAZ. Fifteen heat exchange tubes were removed for mechanical property and chemical composition analysis. Based on MLAS and accumulated in-house database, creep life consumption was evaluated. Most components showed creep life consumption in the range of 10–70%, and the estimated remaining service life is approximately 4–36 years under normal operating conditions.

1 研究背景、目的、方法：

台中發電廠六號機裝置容量 550 MW，其鍋爐由 B&W 公司製造，屬燃煤單汽鼓水牆管輻射式鍋爐，蒸汽設計溫度與壓力分別為 542 °C 與 178 kg/cm²，於民國 85 年 5 月併聯運轉。至 105 年 6 月底累計運轉時數約 16.4 萬小時，起停次數 60 次。為掌握設備老化狀況，於 106 年 1 至 3 月大修期間進行壽命評估，採用金相複製膜法於重要管件銲道熱影響區進行取樣，並於實驗室進行顯微組織與碳化物分析。研究方法包括：(1) 金相複製膜取樣 46 點；(2) 光學顯微鏡 (200X) 觀察潛變孔洞與組織變化；(3) FE-SEM 分析碳化物析出；(4) 現場硬度量測 (母材、HAZ 及銲道各 5 點)；(5) 切取 15 支熱交換管進行尺寸、機械性質及成分分析；(6) 依 MLAS 準則評估潛變壽命消耗。

如圖 1 所示，本研究針對高壓

主蒸汽管及主蒸汽閥規劃金相複製膜取樣位置，主要集中於銲道熱影響區及鄰近母材，以評估長期高溫運轉下之潛變劣化情形。圖 2 為主蒸汽管材料之顯微組織觀察結果，可見晶界碳化物析出與局部潛變孔洞等特徵，顯示部分銲道熱影響區已出現初期潛變損傷，但尚未形成連續裂縫，整體仍屬可監控之劣化階段。

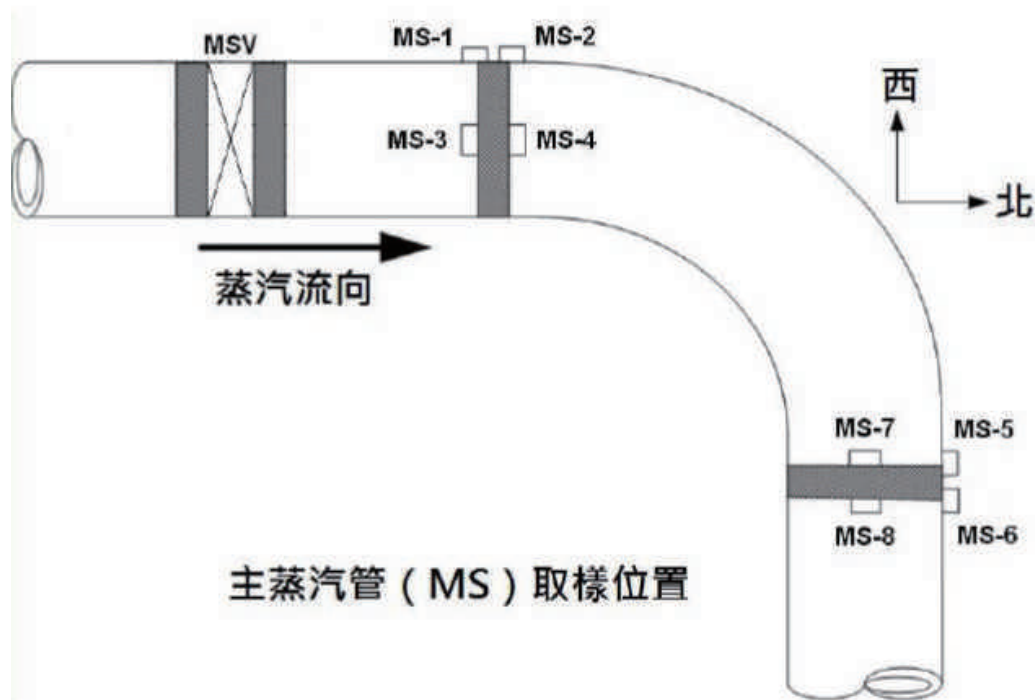
表 1 為高壓主蒸汽管各取樣位置 (MS-1 ~ MS-4) 之硬度測試結果。母材硬度約 113–125 HV，部分區域略低於合理下限，顯示長期高溫使用後可能產生材料軟化；熱影響區硬度約 144–170 HV，銲道約 159–162 HV，整體仍在合理範圍內。硬度分布結果與顯微組織觀察相互印證，可作為評估設備潛變壽命之依據。

2 成果及其應用：

本研究完成中六機鍋爐大型蒸汽輸送管線複製膜取樣共 46 點，以及 15 支熱交換管之切管分析，綜合金相觀察、硬度量測、碳化物析出分析與機械性質試驗結果，獲得以下重點成果：1. 潛變損傷狀況：多數銲道熱影響區呈現第一至第二級潛變損傷，主要為晶界獨立孔洞或方向性孔洞，尚未出現明顯連結裂縫，顯示目前仍屬可控劣化階段。2. 材料硬度變化：部分主蒸汽管與高溫再熱管母材硬度低於合理硬度下限 (120 HV)，反映材料長期高溫使用後之軟化現象；少數銲道硬度低於合理範圍 (170 HV)，需納入後續追蹤管理。3. 顯微組織與析出物演變：局部區域觀察到回火麻田散鐵板狀結構鈍化及碳化物粗

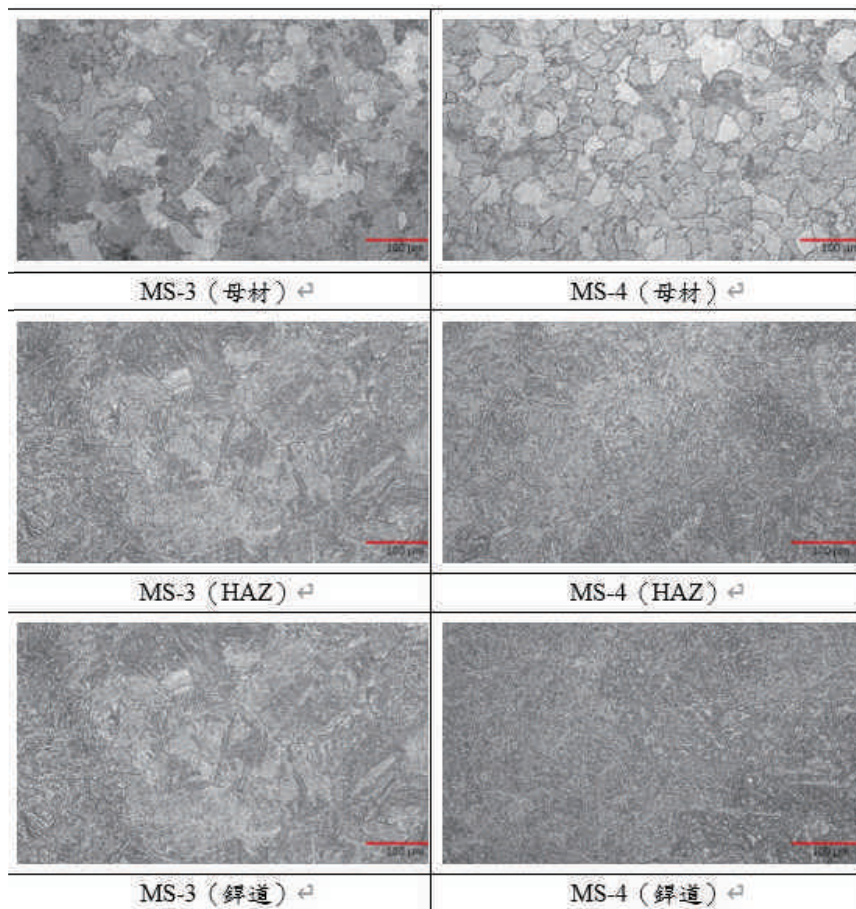
化現象，與高溫長時間運轉所造成之組織演變趨勢相符。4. 熱交換管檢測結果：切管之機械性質與化學成分均符合材料規範要求，未發現異常劣化或嚴重減薄情形。5. 壽命評估結果：綜合 MLAS 評估準則，設備潛變壽命消耗率介於 10 ~ 70%，在正常運轉與適當維護條件下，推估剩餘壽命約為 4 ~ 36 年。

應用價值本研究成果建立中六機鍋爐潛變劣化評估基準資料，可作為延役評估與更新規劃之技術依據，並提供後續大修作業與重點監測位置判定之參考。透過系統性壽命評估與持續追蹤，可有效降低突發性故障風險，提升機組運轉安全性與供電穩定性。



資料來源：本研究提供

圖 1 高壓主蒸汽管 (MS) 與主蒸汽管閥 (MSV)



資料來源：本研究提供

圖 2 主蒸汽管路顯微組織分析

表 1 高壓主蒸汽管與集管硬度測試結果

取樣位置		1	2	3	4	5	AVG
MS-1	母材	126	127	121	125	125	125
	熱影響區	171	172	143	169	167	169
	銲道	161	155	154	163	160	159
MS-2	母材	119	118	115	117	118	118
	熱影響區	140	139	148	143	148	144
	銲道	160	156	153	160	164	159
MS-3	母材	118	122	120	122	125	137
	熱影響區	153	172	176	172	165	170
	銲道	159	161	169	166	159	162
MS-4	母材	113	111	113	115	114	113
	熱影響區	166	157	156	155	174	160
	銲道	162	163	161	161	168	162

資料來源：本研究提供

新通霄電廠 3 號機高溫材料微觀組織資料庫建立

The Microstructure Database of No.3 HRSG in New TUNG-HSIAO Power Plant

Abstract

The purpose of this study is to establish the data for microstructure and hardness of the heat recovery steam generators HRSG 3-1 and HRSG 3-2 of Tung-Hsiao #3 during the construction stage. Metallographic and hardness sampling was carried out at a total of 168 locations, including HP30, HP41, HP40, MS, IP10, IP21, IP20, HTR, as well as SMS, MSV, HTR and BP in the turbine hall, as a basis for future life assessment. The evaluation methods employed non-destructive replica metallography to obtain in-situ metallographic information of each component, supplemented by rebound hardness testing and ultrasonic hardness testing to measure component hardness. The main conclusions of this study are as follows: 1.The material database for the HRSGs of Tongxiao Unit 3 has been

successfully established. 2.Abnormal metallographic examination results indicate that, for HRSG 3-1,3-2 and the turbine hall, the anomalies are mainly abnormal microstructures observed in the base metal, weld metal and heat-affected zone. 3.Analysis of carbide precipitation shows that carbides are observed at most locations, with only a few locations showing no apparent precipitation; it is recommended that these be continuously monitored during future major overhauls. 4.Hardness test results show that, at several locations of P91 material, the hardness of the weld metal and heat-affected zone is higher than the reasonable hardness range for P91. After additional heat treatment, the hardness at these locations was reduced to within the acceptable range.

1 研究背景、目的、方法：

本文係針對建造階段之通霄發電廠三號機熱回收鍋爐 3-1、3-2 的高壓三次過熱器出口集管、高壓四次過熱器進口集管、高壓四次過熱器出口集管、主蒸汽管、中壓一次再熱器出口集管、中壓二次再熱器入口集管、中壓二次再熱器出口集

管、再熱蒸汽管，以及汽機房之主蒸汽管、主蒸汽關斷閥、再熱蒸汽管與旁通管等部位，共計 168 個位置進行微觀組織、硬度及成分取樣，建立鍋爐材料基礎資料，作為未來壽命評估之依據。

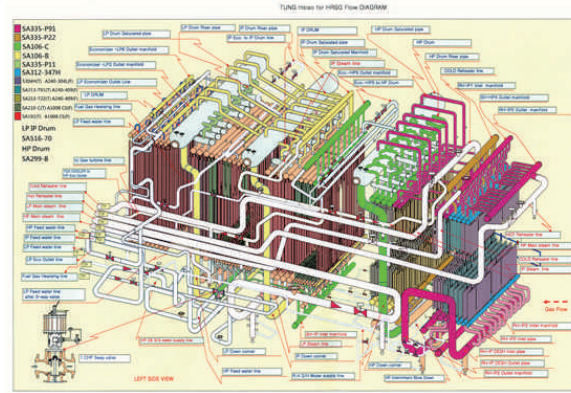
2 成果及其應用：

通霄三號機為天然氣複循環機組，為日本三菱公司製造，其裝置容量為 892.6 MW，主蒸汽設計壓力與設計溫度為 15.6 Mpa / 601.7°C。每部複循環機組採用 2GT+1ST 模式，每部機組有 2 部熱回收鍋爐，如圖 1 所示。熱回收鍋爐是利用燃氣渦輪燃燒後之高溫煙氣，使其依序通過省煤器、蒸發器、過熱器及再熱器，將給水加熱為高溫高壓蒸汽並送往蒸汽渦輪機做功，以提升整體發電效率並降低燃料消耗。通霄電廠三號機為新建機組，本所於機組建造階

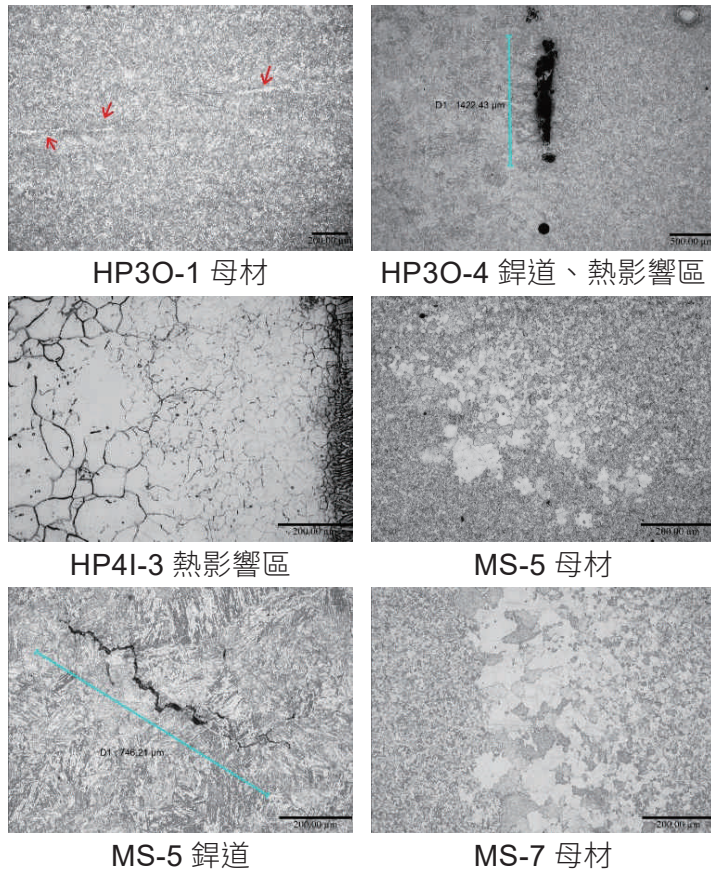
段前往現場取樣，作業內容涵蓋金相複製膜現場取樣、現場硬度量測、現場分量測、金相複製膜觀察、碳化物形貌觀察及資料庫建立等項目，以系統性蒐集機組初始材料狀態，並建立關鍵組件之微觀組織資料庫，作為後續材料壽命管理之依據。本研究主要結論如下：1. 完成通霄三號機熱回收鍋爐材料資料庫建置。2. 異常金相顯微組織分析結果顯示，熱回收鍋爐 3-1、3-2 及汽機房異常皆以母材、銲道及熱影響區之異常組織為主，HRSG3-1 瑕疵與異常組

織如圖 2 所示。3. 碳化物析出分析結果顯示，多數位置可見碳化物析出，僅少數位置未見析出，建議於後續大修時持續追蹤。4. 硬度分析結果顯示，P91 材質中數處鐳

道與熱影響區硬度偏高，高於 P91 合理硬度值，經追加熱處理後，各測點硬度均下降至合理範圍。



資料來源：本研究提供
圖 1 通三機熱回收鍋爐圖



資料來源：本研究提供

圖 2 HRSG3-1 金相顯微組織與物理損傷分析結果

研究人員：能源研究室：孫千茹、高全盛、詹勝凱、曾千洵、蘇奎元

南部火力發電廠 #1 號機熱回收鍋爐壽命評估

Remaining Life Assessment of No.1 HRSG in Nan-Pu Power Plant

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the residual life of the #1 HRSG components at the Nan-Pu Thermal Power Plant, which has been in operation for 23 years. The integrity of several critical components was assessed, including the main steam pipe in the turbine building, the main steam pipe elbows of HRSG 1-1 and HRSG 1-2, and the outlet headers of the 1st and 2nd superheaters. The inspection of these steam-carrying components was performed using non-destructive metallographic replication to obtain both regular replicas for microstructural observation and detailed assessments of carbide morphology, creep cavity evolution, and general microstructural degradation. The consumed creep life was evaluated

using the MLAS (Metallurgical Life Assessment System) originally developed by MHI. Results of the examination indicated that the consumed creep life in the heat-affected zones (HAZ) was approximately 20–60% for the main steam pipe, 20–40% for the main steam pipe elbows, and 20–40% for the 1st and 2nd superheater outlet headers, respectively. Based on a nominal design life of 40 years for the #1 HRSG boiler components, the estimated remaining life under normal operating and maintenance conditions is approximately 16 to 32 years. A few sampling locations exhibited early signs of spheroidization, and the carbide clusters showed initial dispersion characteristics. These areas should be continuously monitored in subsequent inspections.

1 研究背景、目的、方法：

南部發電廠 1 號機熱回收鍋爐屬於立式排熱回收 / 強制循環型式，由 2 部氣渦輪機配屬 2 部熱回收鍋爐，2 部鍋爐產生之蒸汽匯集後供給 1 部汽輪機做功發電，即所謂 2 對 1 複循環機組。南部火力發電廠 #1 號機為 2 對 1 複循環機組，其熱回收鍋爐為立式排熱回收 / 強制循環型式。於民國 84 年 9 月開始併聯商轉，運轉至今 (107 年 1 月) 總共達 311,730 等效運轉小時 (GT11 + GT12)，其間之起停次數共達 4406

次 (GT11 + GT12)。對於負載變動大或起停次數多之複循環機組，利用壽命評估技術，掌握集管箱與主蒸汽管等高溫高壓大型組件老化衰變趨勢與熱疲勞損傷。

民國 103 年曾進行 #1 號機高壓主蒸汽管與集管、第一過熱器、第二過熱器與管線彎頭位置之壽命評估，於 107 年 #1 號機大修時，進行汽機房主蒸汽管、主蒸汽管彎頭、第一過熱器出口集管與第二過熱器出口集管之追蹤。

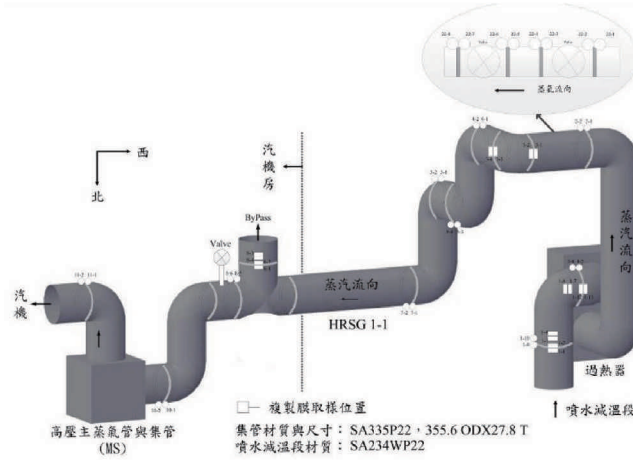
2 成果及其應用：

本文係針對運轉已 23 年之南部火力發電廠 #1 機熱回收鍋爐之汽機房主蒸汽管、1-1HRSG 與 1-2HRSG 之主蒸汽管彎頭、第一、第二過熱器管等進行壽命評估，評估方法是以非破壞之複製膜法到現場取得各組件金相資料，再分別就潛變孔洞變化、顯微結構改變及碳

化物型態加以分析，最後以 MLAS 評估準則，評估各取樣點之壽命消耗百分比，各管件銲道熱影響區之潛變壽命消耗 (以保守計) 如下：汽機房主蒸汽管為 20~60%；主蒸汽管彎頭為 20~40%；第一過熱器出口集管為 20~40%；第二過熱器出口集管為 20~40%。實驗結果如圖

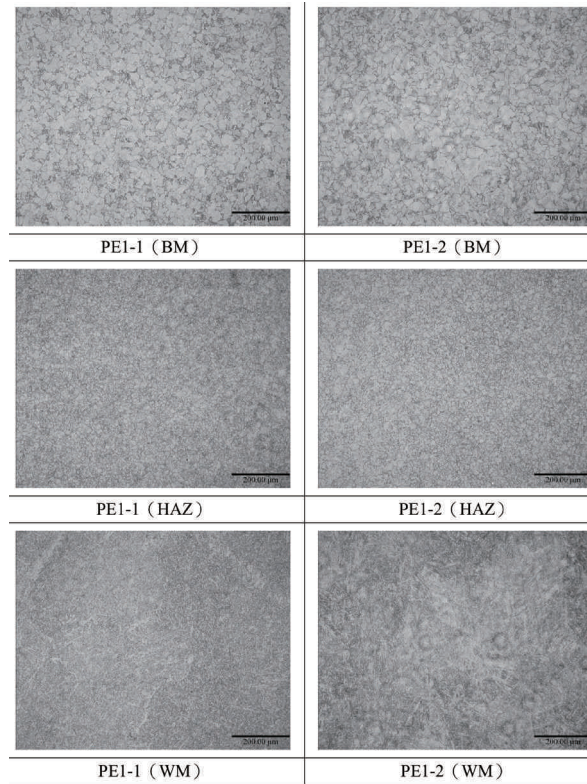
1 及圖 2 所示。若以機組 40 年之使用壽命計算，機組在正常運轉維護下之剩餘壽命約為 16~32 年。部分取樣區域已觀察

到球化現象，碳化物群落亦呈現初步分散之組織特徵，建議後續持續追蹤。



資料來源：本研究提供

圖 1 熱回收鍋爐 1-1 之管線彎頭銲道與過熱器 #1 複製膜規劃取樣位置



資料來源：本研究提供

圖 2 1-1HRSG 主蒸汽管彎頭 (PE1-1) 物理破壞及顯微組織分析結果

研究人員：能源研究室：孫秉蔚、高全盛、曾千洵、詹勝凱、蘇奎元

南部火力發電廠 #4 號機熱回收鍋爐壽命評估

Remaining Life Assessment of No.4 HRSG in Nan-Pu Power Plant

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the residual life of No.4 HRSG components of NanPu power plant, which has been operated over 20 years. The safety critical components were assessed in this study included the high pressure main steam pipe, medium pressure main steam pipe, secondary superheater outlet header and stub tubes, secondary reheater outlet header and stub tubes. The inspection method of these steam delivery pipes was conducted on the microstructure of regular replicas and extraction replicas, and evaluating the consumed creep life was based on the life assessment system which is called MLAS (Metallurgical life

assessment system) has been developed by MHI. According to the researches in the past of our company, and referring to MLAS, all the test results were gathered and analyzed. Then all the consumed creep lives and their remaining lifetimes of the pipes can be evaluated. The test locations (HPMS-6、HPMS-8、HPMS-11、HPMS-12、HPMS-14、HPMS-15) of creep lives on pipes and tubes are in the range of 30~60%. All other locations of their creep lives on the pipes and tubes are in the range of 20~40%, and their evaluated remaining lifetimes are in the range of 24~32 years under normal operation and maintenance circumstances.

1 研究背景、目的、方法：

鍋爐系統是火力發電廠中用來產生高溫、高壓蒸汽以推動蒸汽渦輪機、進而產生電力之重要單元。在鍋爐眾多構件當中，如過熱器、再熱器及主蒸汽管等等，長期處於高溫、高壓以及腐蝕之環境下，根據文獻與實驗得知，鍋爐管件在正常運轉條件下發生損壞之機制，主要來自潛變、疲勞或腐蝕行為所造成，因此其劣化程度確實有跡可循，如管壁薄化程度、機械性質改變、金相組織中潛變孔洞生長與併合、碳化物形貌或結構型態變化，以上特徵均可透過儀器分析與量測來評估其壽命消耗。

南部火力發電廠四號機裝置容量 251.4 MW，為燃燒天然氣之複循環機組，由 1 部氣渦輪機配屬 1

部熱回收鍋爐，再把 1 部鍋爐產生之蒸汽匯集供一部汽輪機發電，即 1 對 1 複循環機組。氣渦輪機發電出力為 159MW，汽輪機發電量為 92.4MW，其熱回收鍋爐由 MHI 公司設計製造，屬立式三壓 (Triple Pressure) 自然循環式熱回收鍋爐，蒸汽溫度與壓力之設計值分別為低壓系統 322.3 °C / 0.64 Mpa、中壓系統 300.2 °C / 2.76 Mpa、高壓系統 540 °C / 11.62 Mpa。機組於民國 92 年 6 月開始併聯商轉，迄 112 年運轉超過 20 年，為掌握各組件老化狀況，乃利用 112 年 1 月份大修期間進行壽命評估工作，評估方法採用大型集管金相複製膜法，進行各項實驗儀器綜合評估法。

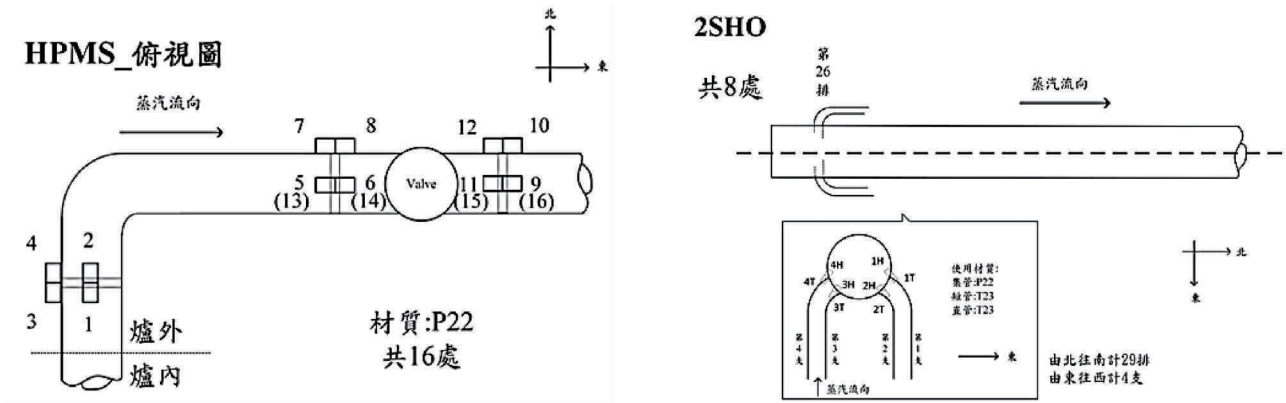
2 成果及其應用：

本文係追蹤運轉逾 20 年之南部火力發電廠四號機熱回收鍋爐系統 (HRSG) 之高壓主蒸汽管、中壓再熱蒸汽管、二次過熱器出口管、二

次再熱器出口管等管件進行壽命評估，評估方法是以非破壞之複製膜法到現場取得各組件金相資料再分別就潛變孔洞變化、顯微結構改變

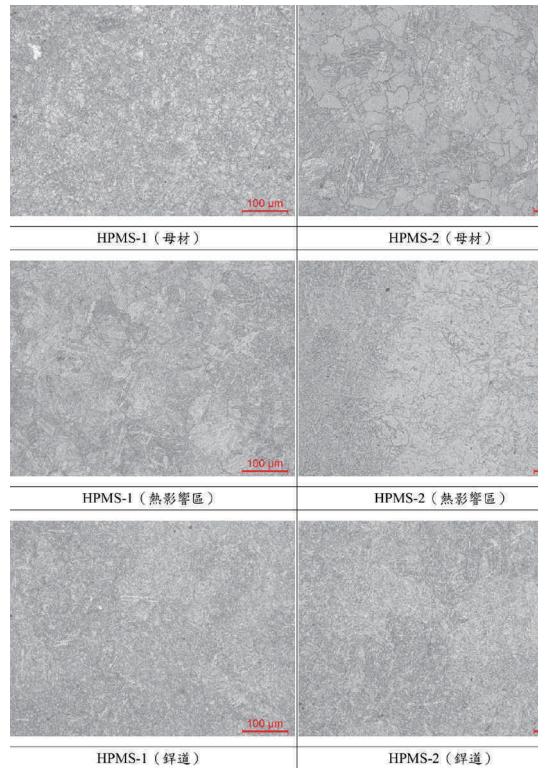
加以分析，如圖 1 所示，綜合上述測試，再依據本公司過去研究累積之資料庫外，並參考日本三菱公司 (MHI) 所建立之殘餘壽命評估準則技術，評估上述物理破壞、顯微組織變化及析出物分佈等三項結果，計算出管件之潛變壽命消耗量 (0~100%)

與其剩餘壽命年數，如圖 2 所示。取樣位置 HPMS-6、HPMS-8、HPMS-11、HPMS-12、HPMS-14 及 HPMS-15 潛變壽命消耗率 30~60%，其餘大多數管件壽命消耗率為 20~40%，估計在正常運轉維護之下剩餘壽命年數為 24~32 年。



資料來源：本研究提供

圖 1 高壓主蒸汽管 (HPMS) 與二次過熱器出口集管與短管 (2SHO) 複製膜規劃取樣位置



資料來源：本研究提供

圖 2 高壓主蒸汽集管複製膜物理破壞及顯微組織分析結果 (200x)

研究人員：能源研究室：蘇奎元、高全盛、曾千洵、楊學文、曾振邦

大林發電廠二號機鍋爐蒸汽輸送管件狀態追蹤評估

The Evaluation for Condition Tracking of No.2 Boiler in Dalin Power Plant

Abstract

The purpose of this study is to establish the data for microstructure and hardness of MS,1RHO,2RHI,2RHO,2SHO,3SHI,3SHO, RH By Pass pipes in Dalin#2 USC power plant during construction stage. The evaluation method is to obtain the 73 metallographic data of each component by the non-destructive replica method, and measure their hardness by applying the re-bound hardness method. The main conclusions of this study are as follows:1. This research project has inspected parts and components of Talin Unit#2 basing on

database 2314-0904 established in 2023. 2. The 11 microstructure have microcracks. 3. In terms of the strength of P22 and P12 materials, 1 BM hardness are lower than 120HV,2 BM hardness are over 170HV, and the hardness of 4 WM sites are lower than 180HV. In the P91 and P92 materials, 9 BM hardness are lower than 180HV the hardness of 13 WM sites are lower than 200HV.4. It is recommended to track the abnormal location of the microstructure and hardness.

1 研究背景、目的、方法：

大林二號機燃煤鍋爐裝置容量為 800 MW，鍋爐為燃煤之超臨界汽力機組，製造廠家為 IHI，其運轉主蒸汽出口段設計壓力與設計溫度為 27.2 Mpa/608℃、再熱蒸汽出口段設計壓力與設計溫度為 6.5 Mpa/607℃於 107 年商轉併聯，如圖 1 所示。

有鑑於本公司超超臨界機組經濟壽齡長達 40 餘年，以及民營電廠既有之超臨界機組高溫材料破損經驗，在發電廠主導下，以本公司既有機組施作壽命評估經驗為藍本，規劃建立超超臨界鍋爐材料為觀組織資料庫，掌握高溫材料微觀組織

變化歷程，並於 109 年首次大修 2 年後持續追蹤。

本研究將以 109 年建立起微觀組織資料庫，規劃 112 年工作涵蓋金相複製膜現場取樣、現場硬度量測、金相複製膜觀察、資料庫建立等四項主要工作。研究內容依停機大修之工期，比照先前 109 年取樣結果，針對主蒸汽管、高溫再熱器管與集管、一次過熱器管、二次過熱器管、三次過熱器管、水牆管以及其餘重要組件進行複製膜現場取樣與硬度量測，並將膜片與硬度值資料攜回實驗室進行分析與資料庫建檔及追蹤，如圖 2 所示。

2 成果及其應用：

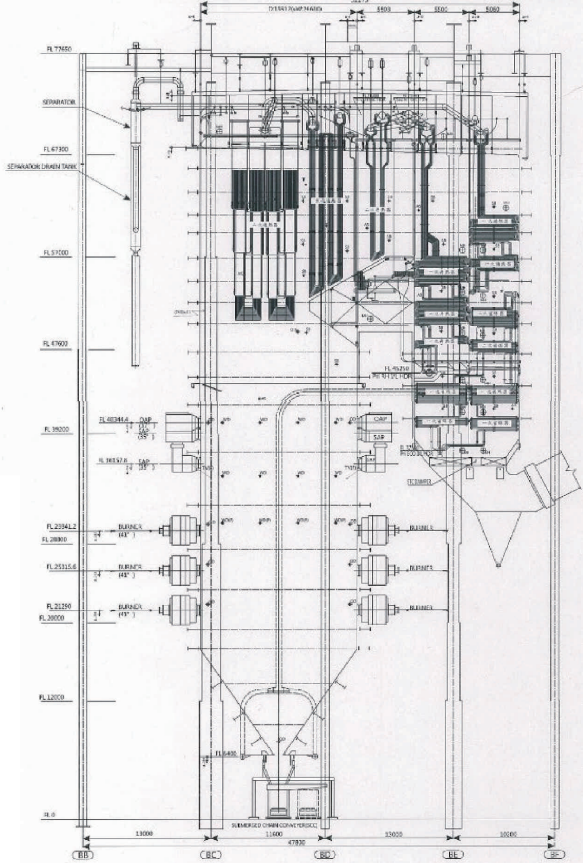
本研究參考 109 年取樣紀錄，取樣位置依 109 年 #2 機位置取樣共約 73 處進行重點追蹤，並配合貴廠需求增減數量，取樣位置涵蓋一次再熱器出口集管、二次再熱器進/出口集管、二次過熱器出口集管、三次過熱器進/出口集管、主蒸汽管、再熱蒸汽管等 73 個位置進行

微觀組織與硬度建立基本資料，為未來建立壽命評估之基礎。評估方法是以非破壞之複製膜法到現場取得各組件金相資料，與應用彈跳式硬度試驗法量測組件硬度。本研究主要討論如下：1. 此研究計畫根據 2314-0904 所建置微觀組織資料庫進行追蹤評估鍋爐材料使用狀態。

2. 分析金相組織中，發現 11 處顯微組織存在微裂紋。3. 在 P22 與 P12 之強度方面，1 處母材低於 120HV，2 處母材超過 170HV，熱影響區與銲道低於 180HV

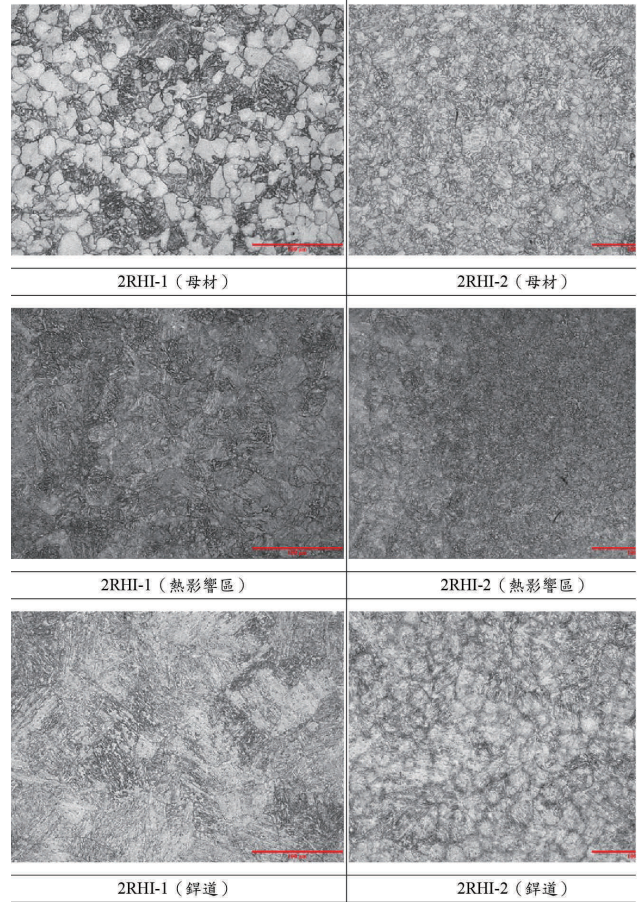
有 4 處，高於 250HV 有 2 處。在 P91 與 P92 材質，9 處母材低於 180HV，熱影響區與銲道低於 200HV 有 13 處。4. 建議對顯微組織與硬度異常等位置進行追蹤。

大林電廠 超臨界機組鍋爐構造圖



資料來源：本研究提供

圖 1 大林發電廠新機組鍋爐圖



資料來源：本研究提供

圖 2 高壓主蒸汽集管複製膜物理破壞及顯微組織分析結果 (200x)

南部火力發電廠熱回收鍋爐爐管銲接條件評估

Evaluation of Welding Conditions of Heat Recovery Boiler Tubes in Southern Thermal Power Plant

Abstract

This study focuses on the low-pressure superheater elbow sections of Units #1–3 at a NanPu thermal power plant. The original design material is SA192CD. Three materials—SA192CD, SA213 T11, and SA213 T22—were evaluated in combination with ER70, ER80, and ER90 welding consumables under different post-weld heat treatment (PWHT) conditions (none, 670 °C, and 700 °C). The effects of these variables on mechanical properties and microstructures were investigated to select suitable welding combinations and to evaluate the properties of U-bend elbows after annealing, thereby improving boiler tube welding quality and unit operational reliability. The results are summarized as

follows: 1. After annealing, the hardness of the U-bend elbows decreased, indicating a reduction in residual stresses induced by cold bending. 2. Abnormal microstructures and relatively low hardness were observed in the welds of #1 full, #2 full, and #4 lower weld passes (ER70), which are attributed to welding process effects causing discrepancies in microstructure and hardness of some ER70 welds. 3. Among the experimental parameters, condition #12 (T11/ER80/T11 with PWHT at 675 °C for 70 min) exhibited the best welding and PWHT performance. Additionally, annealing the elbow sections at 680 °C for 70 min provided favorable welding material quality.

1 研究背景、目的、方法：

南部電廠 #1~3 機低壓過熱器設計材質為 SA192CD，尺寸為 OD 38 mm × T 2.6 mm，設計壓力為 1.1MPa，設計集管與鰭管溫度分別為 210 與 371.1°C。自民國 100 年至 112 年熱回收鍋爐 #1-2 的低壓過熱器 U 型彎頭段發生數次破管，破管外觀如圖 1，發生破管位置為彎頭母材與銲道熱影響區皆有，歷次分析肇因為脆脆型應力

腐蝕破裂、氧腐蝕、衝激腐蝕、殘留應力等。為求改善此問題，電廠同仁提出換管計畫，先請本所評估 SA192CD、SA213 T11、SA213 T22 材質，搭配 ER70、ER80、ER90 銲條，銲後熱處理條件（無、670°C、700°C）等實驗規劃，進行先期評估。評估不同銲接條件對機械性質影響，選用合適之銲接組合，進而提高銲接品質與運轉可靠度。

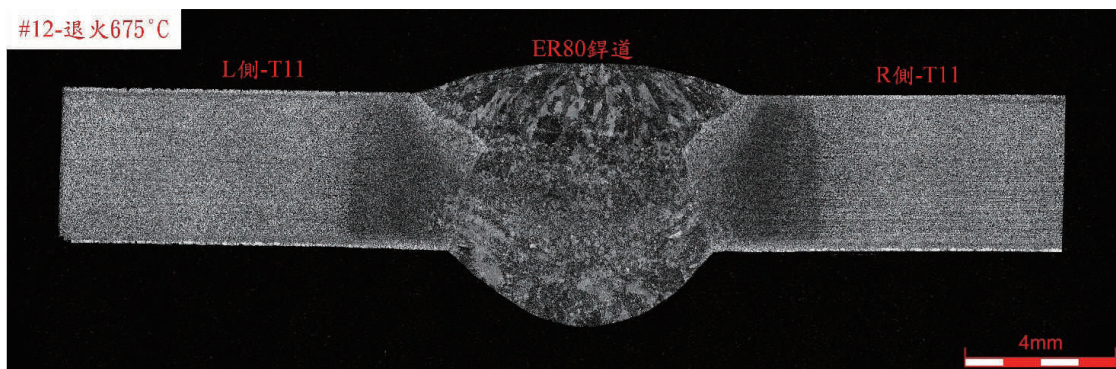
2 成果及其應用：

各送樣彎頭段之合金元素均符合 ASME 規範成分。因彎管加工，量測最彎處略有偏離設計尺寸。SA192CD 為正常肥力鐵與波來鐵組織。SA213 T11 與 T22 為正常肥力鐵與波來鐵組織，但內外壁均有脫碳層，與是否經過退火處理無關。彎頭退火後，彎頭段均有降低冷彎加工之應力，SA192CD 從 171.9 - 178.6HV 降為 152.6 - 157.6HV，T11 從 204.6 - 204.6HV 降為

186.2 - 188.7HV，T22 從 211.2 - 214.3HV 降為 164.8 - 166.7HV。#1 全、#2 全、#4 下銲道 (ER70) 之組織異常，且硬度偏低，應為銲接製程導致部分 ER70 銲道結果不同。研究結果顯示以 #12(T11/ER80/T11, 675 °C / 70 min) 銲接與銲後熱處理條件最適合，其金相與硬度如圖 2 與圖 3 所示，並彎頭段採用 680°C / 70 min 退火處理，具備良好銲接品質。

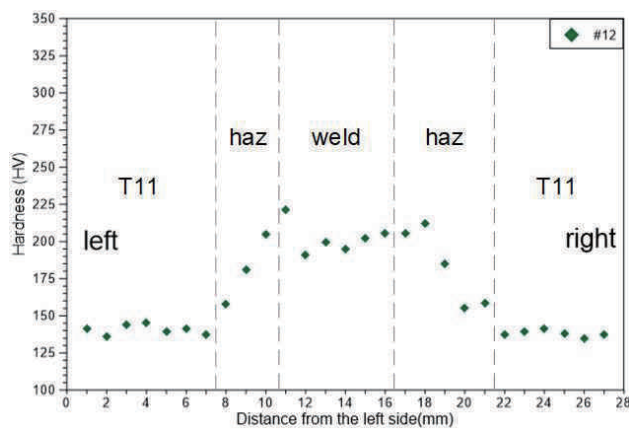


資料來源：本研究提供
圖 1 低壓過熱器爐管破損外觀



資料來源：本研究提供

圖 2 銲接爐管 #12 巨觀金相



資料來源：本研究提供

圖 3 銲接爐管 #12 硬度分布

研究人員：能源研究室：高全盛、曾千洵、蘇奎元、楊學文、曾振邦、孫千茹

林 1 機爐管疲勞變形與高溫潛變狀態監測系統建置

Research on Construction of Monitoring System of Status of Boiler Tube of Linkou Power Plant

Abstract

There are 3 supercritical steam generators in Linkou Power Plant currently, and the 3 generators have operated for 5 years. Since 2022, Linkou Unit 1 and Linkou Unit 2 have suffered from ruptured boiler tubes, and ruptured boiler tubes cause boiler out of service. In these ruptured boiler tube accidents, boiler tubes had longitudinal cracks and circumferential cracks. Longitudinal and more severe cracks might be a creep phenomenon of boiler tubes. Circumferential cracks might be a thermal fatigue phenomenon of boiler tubes. In order to understand what cause longitudinal

cracks and circumferential cracks of boiler tubes and avoid boiler out of service, this research constructs a monitoring system of status of boiler tubes in Linkou Unit 1.

The monitoring system measures and records temperature of boiler tubes in Linkou Unit 1. In addition, this research analyzes data of temperature of boiler tubes and speculate cause of longitudinal cracks and circumferential cracks. These data show temperature of parts of boiler water wall is higher than that of neighborhood. Operators of power station can refer to these data and make better operation.

1 研究背景、目的、方法：

林口電廠目前共有 3 部超超臨界鍋爐發電機組，3 部機組都已運轉超過 5 年。自民國 111 年開始，林 1 機和林 2 機陸續發生破管停機事故。林 1 機和林 2 機的破管停機事故中，發現爐管有出現縱向裂紋和周向裂紋的狀況。在破管事故中，爐管縱向裂紋伴隨魚嘴形裂口，推測是爐管高溫潛變的現象。爐管周向裂紋疑似是爐管熱疲勞的現象。

為了更進一步了解爐管縱向裂紋和周向裂紋的形成原因，藉以改善林口電廠鍋爐破管的狀況，本研究於林 1 機鍋爐現場建置一組爐管溫度監測系統，測量和記錄爐管的溫度，並且分析爐管的溫度數據。分析數據後，發現部分水牆溫度高於鄰近區域的水牆溫度。數據及分析可供電廠人員參考，做為調整鍋爐運轉的依據。

2 成果及其應用：

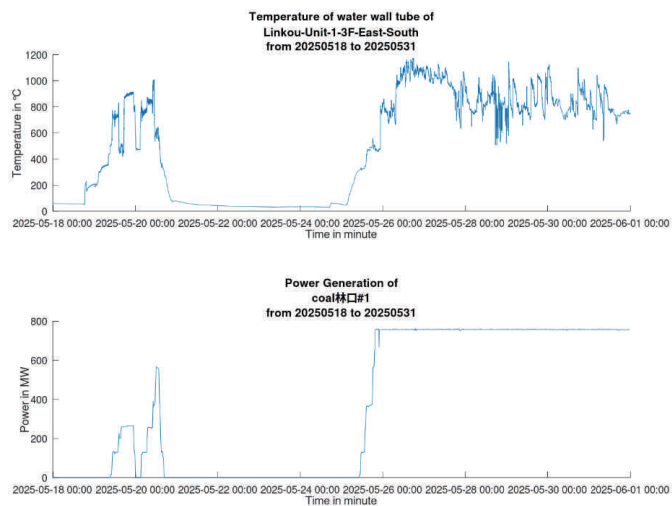
1. 林 1 機水牆管煙氣溫度監測系統 (如圖 1) 可監測林 1 機鍋爐邊界水牆管附近的煙氣溫度，避免爐管因高溫潛變而發生破管事故，增加供電裕度。

2. 林 1 機水牆管煙氣溫度數據 (如圖 2) 分析發現歷年因高溫潛變得破管事故原因，可供電廠人員參考。



資料來源：本計畫提供

圖 1 林 1 機水牆管煙氣溫度監測系統



資料來源：本計畫提供

圖 2 林 1 機水牆管煙氣溫度曲線圖

研究人員：能源研究室：蔡志祥、高全盛

林 3 機鍋爐邊界溫度分布測量與潛變破壞之研究

Research on Temperature Measurement of Boundary of Boiler and Creep in Linkou Unit 3

Abstract

There are 3 supercritical steam generators in Linkou Power Plant currently, and the 3 generators have operated for 5 years. Since 2022, Linkou Unit 1 and Linkou Unit 2 have suffered from ruptured boiler tubes, and ruptured boiler tubes cause boiler out of service. In these ruptured boiler tube accidents, boiler tubes had longitudinal cracks and circumferential cracks. Longitudinal and more severe cracks might be a creep phenomenon of boiler tubes. Circumferential cracks might be a thermal fatigue phenomenon of boiler tubes. In order to understand what cause longitudinal

cracks and circumferential cracks of boiler tubes and avoid boiler out of service, this research constructs a monitoring system of status of boiler tubes in Linkou Unit 3. The monitoring system measures and records temperature of boiler tubes in Linkou Unit 3. In addition, this research analyzes data of temperature of boiler tubes and speculate cause of longitudinal cracks and circumferential cracks. According to the analysis of data of temperature, Operators of power station can refer to these data and make better operation.

1 研究背景、目的、方法：

林口電廠目前共有 3 部超超臨界鍋爐發電機組，3 部機組都已運轉超過 5 年。自民國 111 年開始，林 1 機和林 2 機陸續發生破管停機事故。林 1 機和林 2 機的破管停機事故中，發現爐管有出現縱向裂紋和周向裂紋的狀況。在破管事故中，爐管縱向裂紋伴隨魚嘴形裂口，推測是爐管高溫潛變的現象。爐管周向裂紋疑似是爐管熱疲勞的現象。

為了更進一步了解爐管縱向裂紋和周向裂紋的形成原因，藉以改善林口電廠鍋爐破管的狀況，本研究於林 3 機鍋爐現場建置一組爐管溫度監測系統，測量和記錄爐管的溫度，並且分析爐管的溫度數據。分析數據後，發現部分水牆溫度高於鄰近區域的水牆溫度。數據及分析可供電廠人員參考，做為調整鍋爐運轉的依據。

2 成果及其應用：

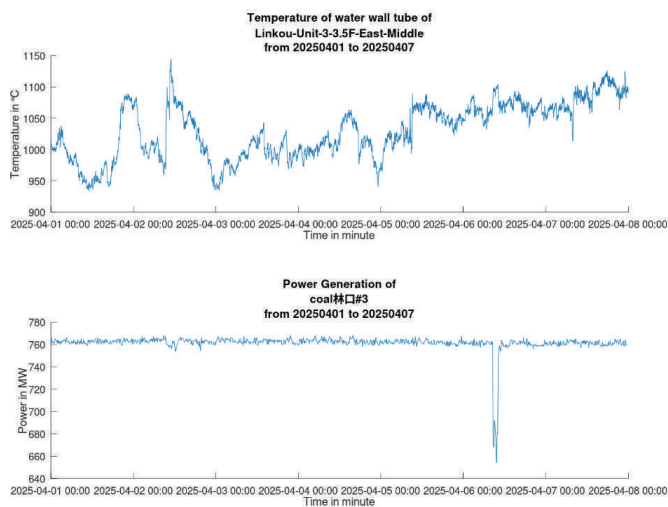
1. 林 3 機水牆管煙氣溫度監測系統 (如圖 1) 可監測林 3 機鍋爐邊界水牆管附近的煙氣溫度，避免爐管因高溫潛變而發生破管事故，

增加供電裕度。
2. 林 3 機水牆管煙氣溫度數據 (如圖 2) 分析可供電廠人員參考。



資料來源：本計畫提供

圖 1 林 3 機水牆管煙氣溫度監測系統



資料來源：本計畫提供

圖 2 林 3 機水牆管煙氣溫度曲線圖

研究人員：能源研究室：蔡志祥、高全盛、曾千洵、蘇奎元、曾振邦、楊學文

柴油機組燃用低硫燃油及生質燃油情資調查

Research on the Use of Low Sulphur Fuel and Biofuel in Diesel Units

Abstract

In response to environmental emission regulations, the Company has successively conducted trial burns of low-sulfur fuel oil in its diesel generator sets. To comply with these measures, CPC Corporation meets the required sulfur content by blending diesel into the fuel. However, this blending process alters the fuel's viscosity-temperature characteristics. Consequently, it is necessary to either adjust the fuel inlet temperature to satisfy the Original Equipment Manufacturer's (OEM) viscosity requirements or modify the blending ratio. Therefore, conducting research to evaluate the potential impacts of using low-sulfur fuel on diesel generator sets is essential.

Furthermore, the net-zero power transition is a high-priority issue for the

Company. Although diesel generator sets are characterized by high fuel costs, lower efficiency, and limited capacity, their fast-start capability makes them irreplaceable in terms of grid resilience. Reducing emissions from these units would contribute significantly to the net-zero transition. Converting to biofuels is one such decarbonization method, as evidenced by numerous international cases. Although the Company's original plan to include biofuel conversion in its decarbonization roadmap has been temporarily suspended, it remains necessary to conduct preparatory research. Investigating the exact composition, quality control specifications, and potential operational impacts of biofuels will serve as a vital reference for future re-evaluation.

1 研究背景、目的、方法：

因應環保排放要求，本公司之柴油機組（如圖 1）陸續試燒低硫含量之燃料油，中油公司為配合該措施，以柴油混摻達到含硫量符合需求，然而隨著柴油混摻，會使其黏溫特性改變，進入引擎前的溫度需要調整，以符合原廠要求的黏度區間，或是需再調整混摻比例，因此有必要進行相關研究，以了解柴油機組燃用低硫燃油可能的影響。

此外，電力淨零轉型為本公司相當重視的議題，柴油機組雖有

高燃料成本、低效率及發電容量小等缺點，但具備快速啟動能力，有其不可取代性，如能將其減排亦對於電力淨零轉型有所幫助，改燒生質燃油即為其中一種減排方式，許多國家亦有相關案例。本公司雖原有將改燒生質燃油納入減碳路徑規劃，但因故暫緩執行，惟仍有必要事先投入相關研究，如生質燃油之確切組成、品管規範及對機組可能之影響等，有助於未來重啟評估之參考依據。

2 成果及其應用：

本研究針對低硫與生質燃油進行情資調查，雖然本公司柴油機組應用生質燃油部分暫處觀望，惟考量柴油機組其快速啟動對電網韌性之不可取代性，未來導入如再生柴油不失為兼顧柴油機組資產延續與火力淨零轉型路徑之一。鑒於目前

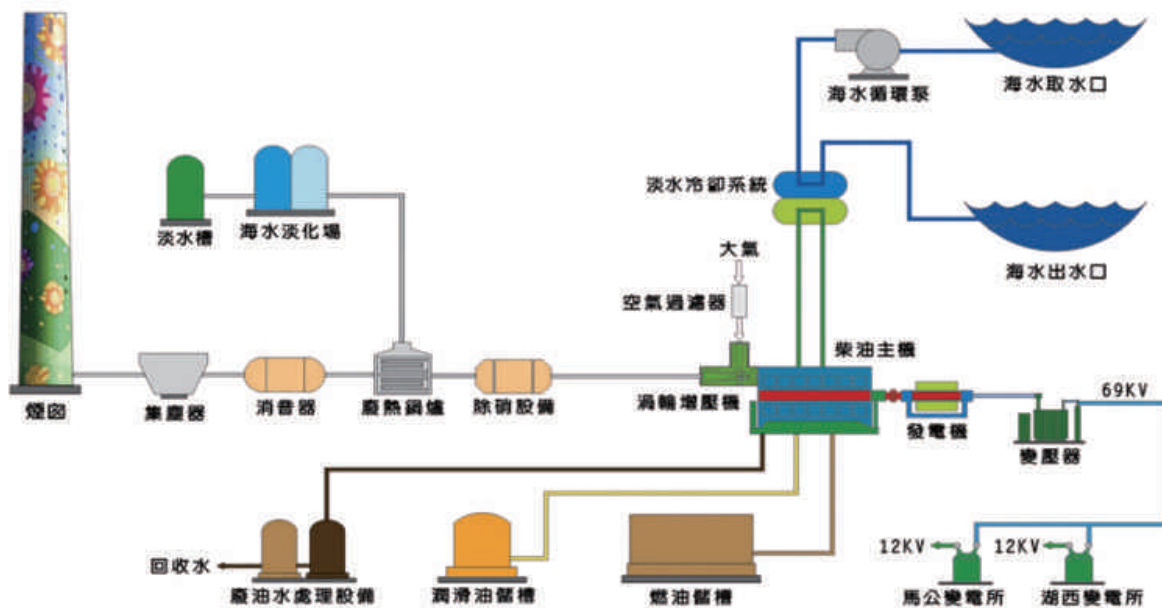
國際生質能源技術日新月異且市場價格波動劇烈，建議持續追蹤國際現況與市場行情走勢，以確保未來轉型策略兼具經濟效益與可行性。

結合離島電廠試燒現況與本研究調查結果，針對柴油機組改燒低硫燃油和生質柴油，提供之建議如下：

1. 關於本公司之 0.1% 低硫燃油試燒部分，依據台灣中油 (CPC) 2025 年底牌價，0.1% 低硫燃油每公秉約新台幣 21,885 元，較原先使用之 0.5% 燃料油高出約 18% 燃料成本。儘管燃料成本增加，採購規範仍須嚴訂黏度下限並要求潤滑性報告，以確認低硫燃油之較低潤滑性造成燃油系統損害。在實際運維上，換油前建議執行新舊油品之「相容性」與「總沉澱老化」檢測，確保混合後無瀝青質油泥析出以免堵塞管路；長期運轉則應依原廠建議升級進氣閥潤滑與油泵密封系統，並改用低鹼價 (如 BN 30~40) 潤滑油，以確保機組運轉可靠度。

2. 依據 Argus Media 2025 年 7 月 國際

行情，再生柴油 (HVO) 每噸約新台幣 5.7~6.7 萬元，而傳統生質柴油 (FAME) 約新台幣 4 萬元。若選用 HVO，其比起 FAME 多出之「綠色溢價」，有不須改裝、長期儲存與更高減碳效益之優勢，惟採購上須強制要求添加潤滑劑並出具 HFRR < 460 μm (潤滑性指標) 證明；若選用 FAME 雖然相對便宜，但需承擔改裝成本，如將燃油系統中之油封換為氟橡膠或鐵氟龍材質，避免密封失效導致洩漏，並須監控油品之氧化穩定性與水分含量，防止油品酸敗。在運維上，兩種油品均具強烈溶劑效應，切換初期需大幅縮短濾網檢查週期，並密切監控潤滑油是否因燃油稀釋而產生聚合結膠，導致機組故障。



資料來源：本公司電廠簡介

圖 1 尖山發電廠柴油機組系統圖

研究人員：能源研究室：江衍成、李泰成、林均翰、楊泰然

乾式低氮燃燒器機構流體現象與燃燒模擬分析

The Combustion Simulation Improvement of Dry Low Emission Combustor

Abstract

This study focuses on combustion kinetic and thermo-fluid simulations of the annular-type combustor used in large-scale power generation turbines. The analysis includes design assessment of each component in the complex DLE combustor structure and evaluation of how its aerodynamic characteristics influence downstream flame behavior, cooling strategy, and mechanical design. A literature review, was first conducted on heavy-duty industrial gas turbine combustors, multi-nozzle configurations, and interactions among multiple swirling flames. Aftermath, estimates target simulation parameters based on reasonable ranges obtained from prior studies, then investigates the complete upstream and downstream flow path, combustion-CFD module applicability, damper air-distribution

effects, air-allocation rate assumptions and verifications, distribution patterns of simulation results, and their correlation with monitoring measurements, followed by an analysis of numerical stability and time-scale relationships. Then, integrates and discusses all simulation outcomes, identifies technical issues, and proposes future research improve-ment plans followed by addresses the numerical-stability problems using higher-resolution turbulence models and suggests strategies to improve the prediction of heat-release target parameters. In final stage of this research, summarizes the completeness of the developed CFD techniques, discusses how they can be positioned for practical engineering applications, and proposes possible engineer-ing extensions of the analytical methods established in this study.

1 研究背景、目的、方法：

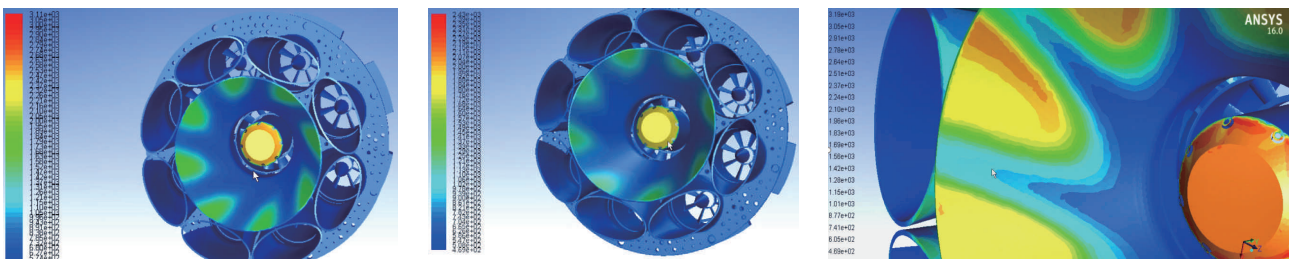
鑒於台電公司各電廠改建和新增使用氣渦輪機組發電的配比增高，以及此類型機組可支援較快速升降負載，以利更具效率的電力調度，故研究其機組熱元件的負荷和壽命有其必要性，其由熱元件內部冷卻流場設計、熱燃氣與火焰行為和材料與塗層選用影響。由於機組上無法觀測熱元件內熱燃氣流場和火焰現象，以致各電廠在燃燒調校時須完全仰賴原廠技師，以及無法從調校曲線修正係數和監控數據得知背後的熱流場行為改變，是故建立可模擬分析核心熱元件的技術可對了解內部熱流場、熱流場對材料表面燒損（如圖 1）和壽命和維護方面有所助益。本研究針對大型發電機組之環罐式燃燒器進行燃燒動力化學與熱流模擬分析。分析包含針對低氮排放的複雜型燃燒器結構各部位進行設計分析和探討其部位空氣動力特性對下游火焰燃燒狀況以及機構

冷卻策略與設計之影響。本研究先針對發電用重型工業燃燒器和多噴嘴燃燒器以及多個旋流火焰之間相互影響之基本特徵等層面進行文獻回顧。描述預期模擬目標參數進行估算，透過文獻探討得到基本通用合理值的級距，爾後探討包含了燃燒器上下游完整流道結構，以及燃燒模組（如圖 2）適用性分析、減震器空氣配率之影響分析、空氣分配率假設與驗證、模擬結果分布與實體相互驗證，最後探討求解之數值穩定度與時間尺度關係。將所有模擬測試結果統整並討論，提出該階段之技術問題，擬後續規劃如何改善，以及改善數值穩定度之技術問題而使用解析程度更高之紊流模型（DES）如圖 3，並提出改善預測熱釋放目標參數之策略。最後總結本案所建立技術之完整度，嘗試提出對實務工程應用端的定位如何切入，以及如何延伸應用本案建立之分析技術。

2 成果及其應用：

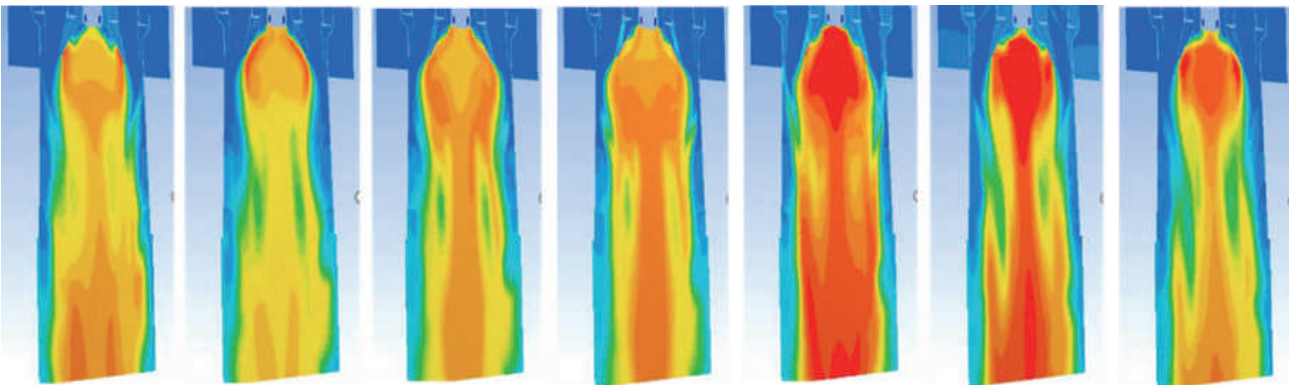
1. 已建立更完善的熱元件熱流場分析技術平台與分析邏輯，可供燃調、維護、材料壽命分析評估和機構功能理解方面有所參考建議，進而減少維護成本。
2. 本研究分析技術的建立已應用至其他構

型燃燒器和混氫燃燒模擬分析，如西門子 SGT2000E V84.2 燃燒器以及弱旋流燃燒器。NO_x 預測已可預測與滿載電廠數據驗證度高的結果。



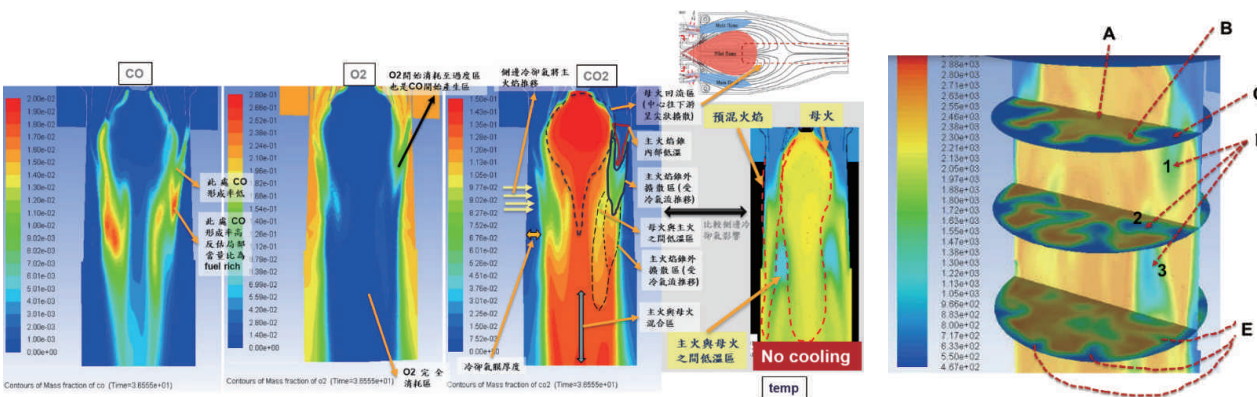
資料來源：本計畫提供

圖 1 燃調參數測試之母火壁面溫度趨勢



資料來源：本計畫提供

圖 2 EDM 火焰發展過程之時間解析測試



資料來源：本計畫提供

圖 3 壁面冷卻氣流之 O₂/CO/CO₂ 分布特性與 DES 模組細部解析現象
研究人員：能源研究室：林均翰、李泰成、江衍成、黃偉哲

大林發電廠廠用水腐蝕抑制劑特性評估研究

Research on Characteristics Evaluation of Corrosion Inhibitors for Service Water in Talin Power Plant

Abstract

This study aims to evaluate the corrosion inhibition effectiveness of the Service Water System at the Dalin Power Plant. By employing electrochemical techniques and water quality analysis, the performance of the currently used silicate-based inhibitor was compared with commercial molybdate-based alternatives. Experimental results demonstrated that all tested inhibitors exhibited excellent corrosion inhibition efficiency at their optimal concentrations. Notably, the currently used inhibitor displayed stable resistance to pitting corrosion across all tested concentration ranges. Based on a comprehensive evaluation, it is

recommended to continue the use of the current inhibitor. However, a review of the currently low operating concentration is advised to prevent the system from approaching the threshold of failure due to dilution. The conclusion suggests revising procurement specifications by tightening acceptance criteria for corrosion rates and establishing comprehensive monitoring indicators, including pH, conductivity, and metal ions. By implementing rigorous inventory management and anomaly diagnosis protocols, the risk of equipment perforation can be mitigated, thereby ensuring the operational safety of the power generation units.

1 研究背景、目的、方法：

大林發電廠超超臨界機組之廠用水系統採密閉循環設計，其穩定性攸關供電安全。目前電廠依原廠建議使用偏矽酸鹽類腐蝕抑制劑，惟現行集中採購規範未能完全針對大林電廠之特定水質與材質條件量身訂定，且缺乏現用藥劑與其他商用藥劑(如鉬酸鹽類)之客觀性能比較數據，致使水質控制與驗收標準缺乏優化依據。

本研究旨在評估現行矽酸鹽藥劑與商用鉬酸鹽藥劑之防蝕效能。期透過量化數據釐清不同抑制劑在實際運轉條件下之特性，建立適用於電廠之藥劑選用評估流程，並作

為未來精進防蝕策略、修訂採購規範及建立綜合監測指標之技術基礎。

採系統性試驗與水質分析雙軌並行。選用與廠內管線材質相同之 ASTM A106 Grade B 碳鋼試片(如圖 1)，針對現用藥劑(ARKO 531)及兩款商用藥劑(Nalco TRAC 100、MEGALON MC-407)進行測試(如圖 2)。利用循環極化電化學技術(如圖 3)量測腐蝕電位、臨界孔蝕電位及再鈍化能力，並結合離子層析(IC)與電漿光譜(ICP)分析水質成分，以綜合評估防蝕效率與最佳操作濃度(如圖 4)。

2 成果及其應用：

1. 試驗證實，現用藥劑(ARKO 531)及受測之商用藥劑在最佳濃度下，對碳鋼之防蝕效率均超過 93%，腐蝕速率低於 0.03 mpy，遠優於一般工業標準(<1.0 mpy)，皆屬

「極佳」等級。
2. 現用矽酸鹽藥劑(ARKO 531)在 0.1% 至 2% 濃度範圍內皆展現穩定的鈍化特徵。特別是在 0.2%~0.5% 濃度區間，其抗孔蝕

電位與再鈍化能力表現最為均衡，且對濃度波動的容忍度優於部分商用鉬酸鹽藥劑（高濃度下反而抗孔蝕能力下降）。

3. 分析顯示，廠用水樣若長期未受控（如藥劑衰退、pH 下降），其腐蝕環境將急劇惡化，甚至比未處理水更具侵蝕性（出現正向遲滯環），證實維持有效藥劑濃度與鹼性環境之重要性。
4. 綜合考量防蝕效能與操作寬容度，建議續用現行 ARKO 531 藥劑，但應檢討目前偏低之操作濃度（換算約 0.02%-0.05%），建議提升至 0.2%-0.5% 或加強監測，避免因稀釋逼近失效邊緣。

5. 建議未來採購規範應納入更嚴格之驗收標準，將碳鋼腐蝕率上限訂為 1.0 mpy（銅材 <0.1 mpy），並要求供應商提供針對局部腐蝕（孔蝕）之抑制證明。
6. 建立「控制 - 診斷 - 行動」之閉環管理機制。除例行監測 pH 值與藥劑濃度外，應增列導電度、氯離子及金屬離子（鐵、銅）趨勢作為診斷指標，以便早期發現海水洩漏或微生物腐蝕徵兆。
7. 實施庫存藥劑之有效性檢測，並建立異常時之分級應變程序，透過定期之預膜與化學清洗維護管路健康，降低設備穿孔風險。



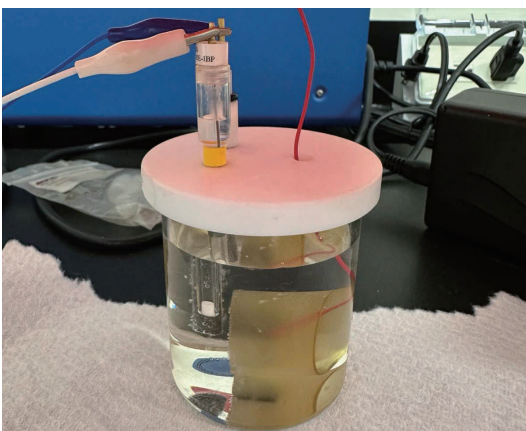
資料來源：本研究提供

圖 1 製作電化學試片



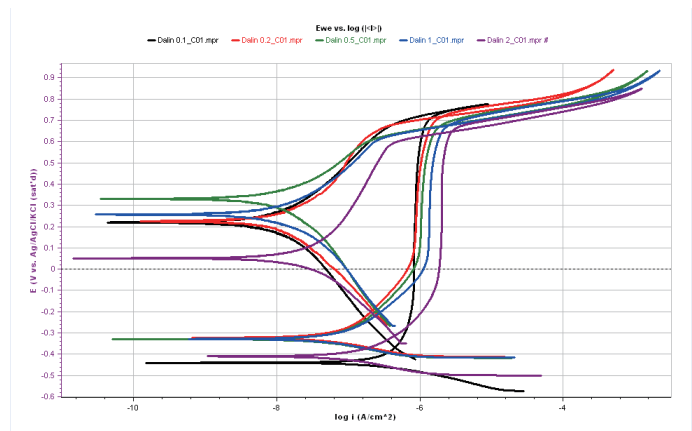
資料來源：本研究提供

圖 2 大林與林口電廠之腐蝕抑制劑樣品



資料來源：本研究提供

圖 3 電化學試驗槽之設置



資料來源：本研究提供

圖 4 大林 #1 藥劑不同濃度溶液之極化曲線

研究人員：能源研究室：黃偉哲、李泰成、林均翰、江衍成

化學與環境研究室：陳俐安

複循環發電機組附設碳捕集系統運轉性能模擬分析研究

A Simulated Study on Operating Performance for Combined-Cycle Units with Carbon Capture System

Abstract

This study focuses on simulating and analyzing the operational performance of gas-fired combined cycle units with an added carbon capture system. The results indicate that as the carbon capture rate increases, both the gross power generation and net power generation of the power plant significantly decrease, with the net power generation experiencing a more pronounced decline. This is primarily due to the increased auxiliary power consumption of carbon capture system related equipment and the increased steam extraction from the medium-pressure steam turbine to supply the steam required for solvent regeneration. Taking a 90% carbon capture rate as an example, gross power generation, net power generation, and net efficiency decrease, while auxiliary power consumption and net heat rate increase. Nevertheless, the carbon capture system can significantly reduce the

power plant's CO₂ emission intensity.

To reduce the energy consumption of the carbon capture system, the study evaluated the impact of solvent regeneration energy consumption on power plant performance. Simulation results show that reducing solvent regeneration energy consumption can effectively improve the power plant's power output and efficiency. When solvent regeneration energy consumption decreases, gross power generation, net power generation, and net efficiency increase, and the net heat rate decreases. This improvement is mainly attributed to the reduction in steam required for solvent regeneration, which significantly reduces the steam extraction from the medium-pressure steam turbine and consequently increases the extraction pressure and temperature, thereby maintaining the steam turbine's power output.

1 研究背景、目的、方法：

天然氣在能源轉型過程被視為重要的橋接能源，燃氣機組具有低碳之優點，透過以氣代煤，可以發揮兼顧穩供與環保的功能，因此未來本公司火力機組將以燃氣複循環發電機組占大宗，然而若能將其進一步減排，將可舒緩電力淨零轉型過程大量再生能源開發的壓力，其

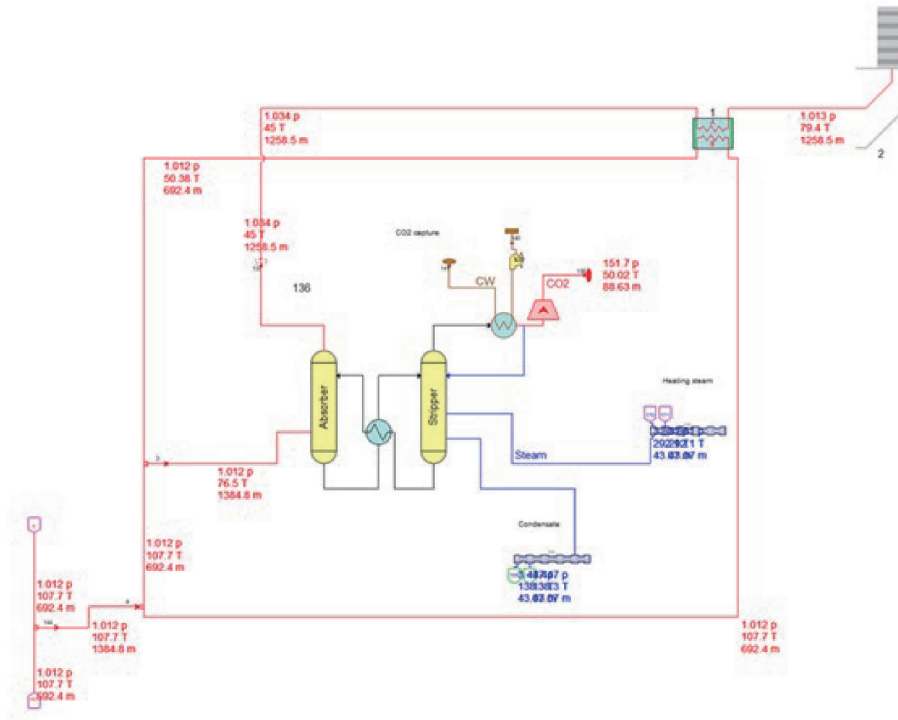
中以氫作為機組的替代燃料及使用碳捕集及封存技術 (CCS) 皆為未來燃氣複循環發電機組減碳可能採取的策略，本計畫則針對燃氣複循環發電機組附設碳捕集系統之運轉性能進行模擬分析研究，將有助於公司既有及新設複循環機組未來評估導入碳捕集系統之參考依據。

2 成果及其應用：

1. 本計畫利用熱功分析軟體建立既有燃氣機組模型，模擬分析顯示能耗懲罰 (Energy Penalty) 的具體數值，在 90% 捕集率下，雖然 CO₂ 排放強度下降，但也導致電廠淨效率下降。歸因於捕集設備的輔助電力消耗增加，以及為了溶劑再生需從汽輪機抽取大量蒸汽，導致發電出力下降，燃氣機

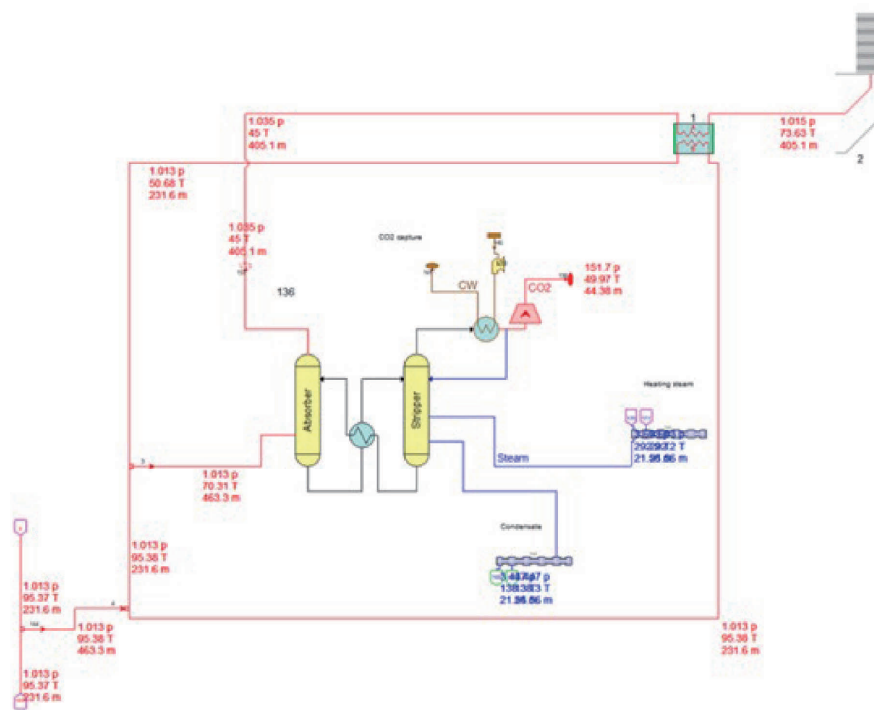
組增設碳捕集系統運轉性能模擬之碳捕獲系統示意圖如圖 1 和圖 2。

2. 利用熱功分析軟體分析溶劑再生能耗對機組性能的影響。模擬分析顯示，當溶劑再生能耗下降，所需抽取的蒸汽量減少，進而讓機組淨發電量增加，淨效率提升。



資料來源：本計畫提供

圖 1 既有燃氣機組增設 90% 碳捕集系統運轉性能模擬之碳捕獲系統示意圖



資料來源：本計畫提供

圖 2 既有燃氣機組增設 90% 碳捕獲系統和煙氣再循環運轉性能模擬之系統示意圖
 研究人員：能源研究室：詹明賢、李泰成、高靖棣

氫的輸儲路徑與天然氣管線混氫之調查及研究

Investigation and Research on Hydrogen Transportation, Storage, and Hydrogen-Mixed Natural Gas Pipelines

Abstract

In 2022, Taiwan's National Development Council unveiled its net-zero transition goals, with hydrogen energy identified as one of twelve key strategic action plans. Globally, hydrogen is recognized as a vital clean energy source for achieving carbon neutrality, with primary applications in power generation, industry, and transportation.

Aligning with this global trend, Taiwan Power Company is exploring the application of hydrogen for thermal power generation. The success of this initiative hinges on two key factors: the advancement of hydrogen co-firing technology and a reliable supply of clean hydrogen. Given Taiwan's energy landscape, which is similar to that of Japan and South Korea, imported hydrogen will be essential in the short to medium term. Over the long term, it will be able to do transition to produce green hydrogen as Taiwan's renewable energy capacity grows. The low energy density of hydrogen, however, presents a significant challenge for long-distance transport, a problem the international community is

still working to resolve with viable storage and delivery solutions. Consequently, proactive researches and investigations are crucial to address potential issues before implementing hydrogen co-firing.

Furthermore, for short-distance hydrogen transportation within countries, besides using high-pressure hydrogen cylinders/tankers and pure hydrogen pipelines, many countries, such as the United States and the United Kingdom, are injecting a small amount of hydrogen into existing natural gas pipelines as part of their net-zero transition efforts. However, blending hydrogen may still raise safety concerns because the small size of the hydrogen molecule leads to a higher tendency to leak, requiring improved sealing. Alternatively, there has the potential for hydrogen embrittlement if pipelines are exposed to hydrogen over the long term. Therefore, it is necessary to conduct relevant investigations and researches on the technologies of hydrogen blending in natural gas pipelines.

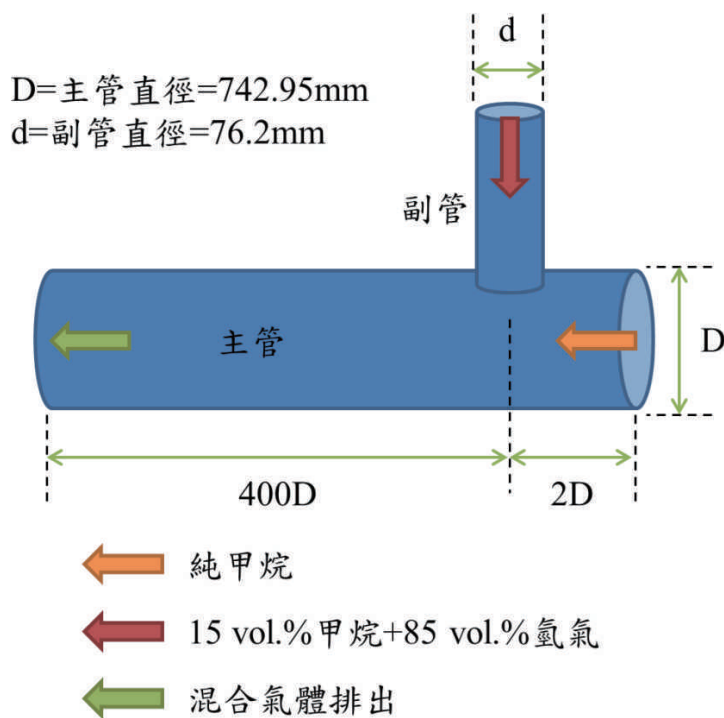
1 研究背景、目的、方法：

將氫氣混入天然氣管線為能源轉型的一項策略，其優勢在於能有效利用既有基礎設施，以相對較低成本實現快速減碳。國際間已有多項相關示範與驗證計畫，並取得初步成果，證實該技術具備可行性。然而，混氫氣體的物理特性與流動行為會因氫氣比例、管徑及壓力等因素之變化而異，這使得現有的管線、閥門與設備的適用性，成為必須評估之課題。本計畫主要探討了兩項管線混氫技術的風險，其一為氫分子體積極小，可能增加管線介

面處的洩漏機率；另一則為長期暴露於氫氣環境可能導致管線金屬材料產生氫脆現象，進而削弱其延展性與韌性。此外，為掌握天然氣與氫氣混合流動行為，本計畫根據參考文獻資料建立一套天然氣管線混氫的模擬技術，模擬幾何如圖 1 所示，透過計算流體力學方法，針對混合氣體在天然氣管中的流動行為進行分析，可取得混合後之氫氣體積分率分佈如圖 2，有助於掌握可能衍生之問題。

2 成果及其應用：

1. 本計畫完成氫氣輸儲技術與國際管線混氫發展的調查分析。評估包含高壓氣態氫、液態氫、液態氫及液態有機氫載體等不同輸儲路徑的技術成熟度與適用情境；並彙整國際指標性示範計畫，以了解推動天然氣管線混氫需優先解決的技術挑戰與安全對策。
2. 本計畫建立天然氣管線混氫輸送的流場模擬技術，利用計算流體力學軟體建構管線混氫模擬模型。



資料來源：本計畫提供

圖 1 天然氣管線混氫試驗模擬幾何之尺寸示意圖



資料來源：本計畫提供

圖 2 氫氣體積分率分佈縱切面模擬結果

研究人員：能源研究室：李泰成、詹明賢、黃偉哲、江衍成、林均翰、李尚謙、崔宇雄

MW 級混氫發電應用平台技術調查及評估研究

Investigation and Evaluation Research on the Construction of MW-Level Hydrogen Co-Firing Power Generation Application Platform

Abstract

Hydrogen is regarded worldwide as a critical option for achieving net-zero emissions or carbon neutrality. Global hydrogen applications primarily focus on power generation, industrial processes, and transportation. Drawing on international practices, Taiwan's hydrogen roadmap is categorized into power generation, industrial process technology, and transport vehicles, with Taiwan Power Company primarily responsible for hydrogen co-firing applications in power generation.

In addition to the development of co-firing technology, securing a sufficient

supply of clean hydrogen is a strategic priority for Taipower. However, different hydrogen production methods result in variations in gas volume, composition, and pressure. Researching how to integrate these diverse hydrogen sources into power plant co-firing units is a prerequisite for implementation. Given that current clean hydrogen technologies are still in their early stages and remain costly, this project targets 1~10 MW gas turbine units as a planning benchmark, utilizing them as a platform to evaluate hydrogen co-firing applications from various hydrogen sources.

1 研究背景、目的、方法：

氫能是潔淨能源，世界各國視其為達成淨零排放或碳中和願景的重要選項，國際氫能應用以發電、工業及運輸等市場為主，參考國外作法，我國氫能應用規劃可分為發電應用、工業製程技術及運輸載具等面向，台電公司主要負責氫能混燒之發電應用。

除混氫技術發展外，如何取得足量潔淨氫能亦是台電公司導入氫能混燒之重點。本計畫透過廣泛蒐集及彙整甲烷裂解、再生能源電解水產氫及混氫發電機組之技術情資，有助於充分了解不同氫氣來源與發電設備之技術成熟度與適用性，並藉由於實際場址(圖 1)進行

潔淨氫燃料供應系統與 MW 級發電機組之整合初步規劃，示意如圖 2，盤點系統介面可能衍生之技術問題。相關成果未來可應用在本公司規劃 MW 級氫能示範場域於興達發電廠，作為設備採購規範制定與系統細部設計之重要參據。

氫能應用為本公司推動能源轉型與邁向淨零排放的策略選項，本計畫研究成果有助於提升相關業務人員對於產氫端至發電端的審查與評估能力，透過先期掌握技術門檻、設備匹配性與潛在運轉風險，有助於降低未來實體技術導入與工程建置之不確定性。

2 成果及其應用：

1. 本計畫進行小規模 MW 級混氫發電機組建置之前置評估作業，成果有助於工程顧問(AE)及發電設備採購(EPC)之參考，並可推展本公司與中研院去碳燃氫發電應用合作進度。
2. 本公司有取得潔淨氫能應用於發電之需求，本計畫調查潔淨產氫

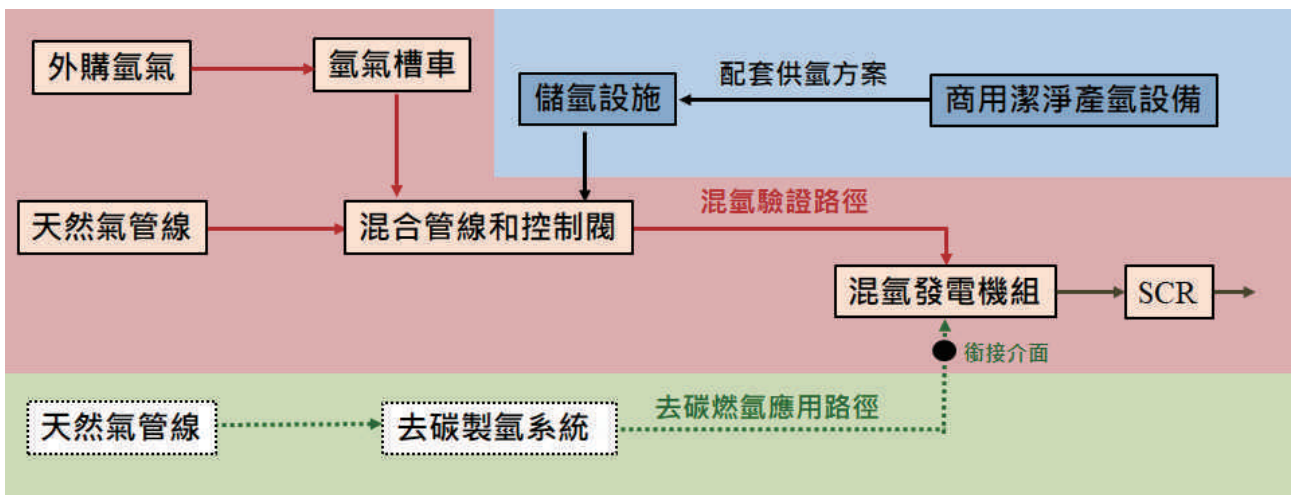
系統之設備供應商，掌握其技術發展現況，有助於公司評估產氫系統之導入。

3. 本計畫進行小規模 MW 級混氫發電機組與產氫系統之整合規劃初步藍圖，有助於未來國內自產潔淨氫能應用於電廠發電機組之參考評估依據。



資料來源：本計畫提供

圖 1 興達發電廠 MW 級混氫發電應用平台之規劃場域 (占地面積約 8,400 平方公尺)



資料來源：本計畫提供

圖 2 潔淨氫燃料供應系統與 MW 級混氫發電機組之初步規劃示意圖

研究人員：能源研究室：李泰成、黃偉哲

泰興工程顧問公司：游成全、楊菁菁、劉維中、郭彥芃、王文輝、周世惟、黃鉞倉、曾妍妮

(一) 化學綜合試驗與環境檢驗

Abstract

To enhance the credibility of tests, the Chemical Testing Section introduced the Environmental Testing Laboratories and the ISO/IEC 17025 laboratory management system. In 2025, the Environmental testing Laboratory was certified by Taiwan Accreditation Foundation (TAF) certification. The accredited scope includes 6 items in water and 3 items in toxicity characteristic

leaching procedure (TCLP). The Materials Laboratory was accredited by Taiwan Accreditation Foundation (TAF) certification. Accredited scope includes 10 elements in Carbon and Low-Alloy Steel, 7 items in Copper Wires, 9 elements in 300 series of Aluminum Alloy, Coating Mass in Hot Galvanized articles, and Mercury content in Coal.

業務摘要：

化檢組配合 ISO/IEC 17025 環境檢驗室及材料實驗室認證的推廣，藉以提升實驗之公信力，環境檢驗室於 114 年獲得全國認證基金會 (TAF) 的認證，認證範圍包含放流水檢測類 6 項、廢棄物檢測類 3 項。另於 96 年「材料實驗室」通過全國認證基金會 (TAF) 的認證，目前認證範圍包含碳鋼及低合金鋼 10 元素、銅電線 7 項、鋁矽合金 300 系列 9 元素、熱浸鍍鋅器材鍍鋅量、煤炭中汞成分。

主要試驗內容：

1. 電力系統各類物料 - 金屬、木材、塑膠、橡膠製品及防腐劑等之化學成分與物理特性試驗。

2. 各類水質及水處理材料特性分析。
3. 固體廢棄物及毒性溶出物質分析檢驗。
4. 金屬及工程材料機械特性檢驗。
5. 電力器材破損及異物分析。
6. 特定器材相關標準之制定、審查及定型試驗。
7. 火力電廠燃煤中重金屬、硼、鹵素 (氟、氯、溴) 等成份元素檢驗。
8. 火力電廠爐管例行大修、非預期破管及新購管件檢驗分析。

主要研究案：

1. 「集塵濾袋循環使用及高值化再生之研究」：開發高效率清潔技術以促進濾袋循環再用，延長濾

袋壽命並降低採購與處理成本。

2. 「電廠純水樹脂系統運轉異常現象診斷分析及現行維護基準調查」：建立樹脂異常之診斷技術，並提升劣化樹脂的再生清洗效率。
3. 「電廠鍋爐運轉檢測數據資料庫建置研究」：藉由建置鍋爐檢測數位資料庫，完善組件試驗履歷與診斷預警機制，以數據驅動維護策略，強化發電設備可靠度。
4. 「南二機熱回收鍋爐壽命評估」：藉由複製膜技術評估設備重要組件之材料壽命、掌握材料老化程度，以提高機組運轉之安全性與可靠度
5. 「高壓絕緣塗料材料特性研究」：調查市面絕緣塗料特性及研擬適當規範要求，將有助於提高公司使用絕緣塗料品質。
6. 「輸電線路用先進導體材料」：面對用電不斷攀升已直接衝擊既有電網之額定

容量。研究新材料應用有助於提升導體送電容量，以提升電網韌性。

破損分析與診斷服務案例：

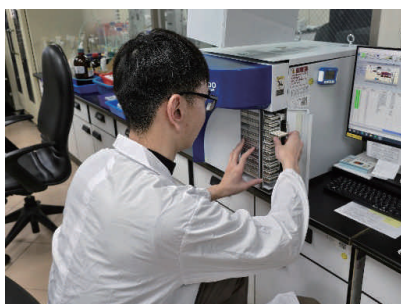
1. 提供外部單位高壓 **XLPE** 事故電纜取樣規劃、見證解剖分析及試驗服務，釐清重要電力電纜事故原因並與現場單位研擬相關改善建議。
2. 協助燃煤電廠釐清石膏變色成因。有助於公司精準改善除塵與脫硫操作，確保副產物符合國家標準。
3. 協助鑑定 **7No.8** 架空地線斷裂肇因，並分析故障電流流向對線材機械性質的損害，有助於公司優化輸電線路巡檢策略
4. 辦理燃煤電廠機組結晶物鑑定與水質分析，釐清 **SCC** 鹽害及 **APH** 銨鹽結塊成因，並研擬水源控管與脫硝注氨優化建議。

年度業務概述：

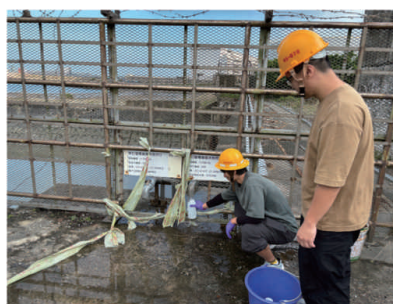
化檢組持續以專業技術與新穎試驗設備，辦理本公司各單位所委辦之各種電力器材及環保相關之化學及物理特性試驗，114 年在同仁努力下，完成各單位委託申請試驗工作數量共 39,541 件。並辦理下列重要業務。

1. 參加 **ERA** 國際實驗室間水質及 **TCLP** 檢測項目能力比對計畫；**ASTM-PTP** 鋁矽合金、碳鋼 / 低合金鋼能力比對計畫，成績良好。
2. 辦理 114 年度化學實驗室間水質分析比較作業共 11 間實驗室參加。

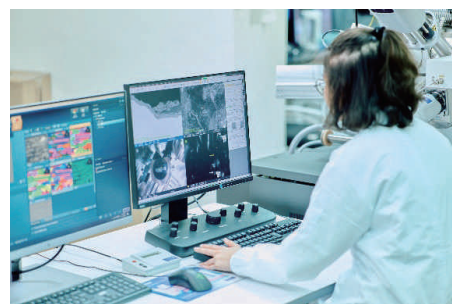
3. 辦理大潭及林口電廠每月放流水水質檢測。
4. 辦理燃煤電廠煤灰中主次要成分、毒性特性及再生粒料環境用途溶出程序試驗、燃煤電廠電絮凝 FGD 除砷水樣、濕地水及微量重金屬成分檢測、礙子污損液 ESDD 及 NSDD 調查、水中微量金屬分析 (ICP-MS) 等。
5. 辦理各電廠送本所分析之大修爐管、臨時破管、新購爐管檢驗共 7 廠 19 案。
6. 辦理電力器材破損及異物分析共 19 案。
7. 辦理電力設備器材製造廠廠商資格定型見證試驗及現場複評共 14 廠次 58 人天。
8. 電力設備器材中間檢查共 35 廠次 37 人天、在廠驗收共 543 人天。
9. 電力設備器材製造廠廠商資格審查、定型試驗及承製能力書面審查共 119 案 260 人天。
10. 辦理本公司火力燃煤電廠燃煤中汞、重金屬及鹵素 (氟、氯、溴) 含量調查檢測。
11. 114 年度本組之公司外營業收入共 665 萬元。



電廠燃煤中汞含量分析



林口發電廠放流水水質分析採樣



鍋爐爐管金相 SEM/EDS 分析

114 年度化檢組工作數量 / 營收統計表

檢驗項目	工作數量	工作營收 (萬元)	檢驗項目	工作數量	工作營收 (萬元)
絕緣油多氯聯苯檢測	519	381	鐵基材料分析試驗	1046	335
固體廢棄物成分分析	672	444	鋁基材料分析試驗	472	102
水樣檢測	8877	2135	銅基材料分析試驗	545	204
煤灰成分分析	3829	626	電解液成分分析試驗	1673	101
土壤成分分析	210	85	煤炭成分分析試驗	3301	202
石膏成分分析	263	117	金屬材料特性試驗	1023	86
其他重金屬成分分析	246	93	塑膠橡膠特性試驗	7842	441
鍍鋅材料分析試驗	1563	685	鍍鋅器材特性試驗	2080	130
材料金相顯微分析	1021	414	在廠試驗	490	1160
電力器材品保作業	172	496	其他	3685	2614
現場複製膜取樣作業	12	42	合計	39541	10893

(二) 燃料、油料與氣體試驗

Abstract

The major test content of Oil and Coal Testing Section is the inspection of fuels such as coal, fuel oil, natural gas, etc., the test of oil products such as insulating oil, lubricants, hydraulic fluid, grease, etc., and analysis of SF₆ gas and dissolved gas-in-oil and calibration of gas detectors for electrical power equipment. In addition to ensuring

quality compliance with specifications, these relevant data are further applied in fault diagnosis of electrical power equipment, lubricating oil monitoring and tribological failure detection. And through the utilization of these diagnostic results to improve the efficiency of asset management of Taipower's equipment.

業務摘要：

油煤試驗組主要的測試內容為煤、重油、柴油、天然氣等燃料之檢驗，絕緣油、潤滑油、液壓油、油膏等油品之測試以及電力設備用 SF₆ 氣體測試、絕緣油中氣體分析與氣體偵測設備校驗。

相關數據除用以確保品質符合規範外還進一步應用於電力設備維護監測及故障診斷分析、機械設備潤滑油監測分析與磨潤故障偵測，並運用相關診斷結果增進台電設備的資產管理效能。

年度業務概述：

油煤試驗組 114 年度經常性試驗工作完成量為 55,523 件，純化處理公司各單位回收或事故 SF₆ 氣體 6324 kg，公司外試驗收入 2,581 萬元。另積極建立各種具優勢性之電力設備試驗、監診、處理技術，以擴大對公司內外服務，提高營運績效。本年度除經常性試驗業務外，完成下列重要工作：

1. 開發新技術、修訂各項診斷指標、發表研究成果與技術經驗傳承。
 - (1) 完成「變壓器故障診斷案例分析」，並持續推動「變電設備油氣試驗智慧診斷法研究」、「溶解性氣體分析技術精進研究」、「潤滑油抗氧化劑殘餘量與壽命關係及除酸、油泥設備過濾效果評估研究」等研究計畫。
 - (2) 整合變壓器歷史數據，系統化開發台電專用 DGA 診斷流程，實際運用於 114 年異常案例，內檢結果驗證本流程之效果良好。
 - (3) 114/7 運用研究成果召開「氣體絕緣電力設備基準修訂會議」邀集各單位(輸、供、發、配、核發、技合廠)針對 23 kV 空氣 GIS、GIT 及 SF₆ 氣體使用及維護診斷

基準行修訂，並於 8/1 發布執行。

- (4) 114/9 月協助釐清彰工 R/S 及龍潭 E/S 變壓器底部絕緣紙疑似水痕問題，經跨部門(油煤組、化檢組、化環室)合作，確認水痕來源為變壓器廠現場人員施作時未穿著防護衣之汗液所致，有效協助本公司業管單位確認未來變壓器監製之強化策略，相關成果並由所長於 114/12/23 董總晨會時分享，獲董總肯定並指示有功人員予以獎勵。
- (5) 將本組相關核心能力及經驗分享公司相關單位，進行技術經驗傳承如下：
 - A. 林訓中心「114 年度第 1 期煤炭採樣與試驗班」授課。
 - B. 林訓中心「114 年度(第 67 期)變電設備維護/工程養成班(一)(二)(三)」授課。
 - C. 林訓中心「114 年度(第 67 期)電機運轉維護養成班(一)(二)」授課。
 - D. 林訓中心「114 年度第 1 期大型變壓器維修班」授課。
 - E. 訓練所本部 114 年「變電

設備檢測與診斷技術與案例研討進階班課程」授課。

2. 天然氣查核試驗服務：

- (1) 大潭電廠天然氣線上熱量計每週準確性查核，114 年全年 51 次，本所與第三方實驗室熱值年平均差異為 0 kcal/m³，本所與線上熱量計平均熱值差異為 4 kcal/m³，皆符合品質要求。
- (2) 「興達、南部、大林、通霄、大潭等電廠發電用天然氣買賣契約」之每月準確性查核，本所與中油各實驗室之年平均熱值差異為 -1 ~ -5 kcal/m³，與中油線上熱量計年平均差異為 -6 ~ 5 kcal/m³，皆符合品質要求。

3. 電力變壓器與充油電纜維護監測及故障診斷業務：

- (1) 電力變壓器與充油電纜之絕緣油中氣

體分析，發現異常立刻通知運轉單位，預防事故發生。

- (2) 協助現場設備進行事故鑑定與異常肇因分析，便於運轉單位擬訂維修與防治對策。

4. 潤滑油監測與機械潤滑故障診斷業務：

提供液壓油、冷凍油、齒輪油、潤滑脂等機械潤滑診斷，為公司內外服務，發現機械潤滑或油質異常，提醒運轉單位及早處理，避免機器設備故障，成效良好。

5. 實驗室品質查證：

- (1) 參加澳洲 BHP 燃煤、德國 DCC 煤炭、ASTM 絕緣油、ASTM 潤滑油、ASTM 燃料油、ASTM 油中氣體與糠醛等各項國際能力試驗，結果均能符合試驗品質要求。
- (2) 油煤實驗室之 TAF 延展認證，於 114/5/26 順利取得認證，提供顧客更優質的服務。

6. 業務執行照片：



變壓器油中氣體分析



煤炭硫分分析



絕緣油含水量分析

114 年度油煤試驗組分項工作數量統計 (單位：件)

燃煤試驗	6,432	油中氣體分析及診斷	10,024
潤滑油試驗	3,217	糠醛、甲醇及聚合度分析	2,314
絕緣油試驗	10,528	SF ₆ 成分與分解氣體分析	111
燃料油試驗	433	電氣設備氣體分析	7,944
油膏試驗	62	維護試驗氣體分析	13,140
油料水分計及比重計校驗	48	水分、純度等檢測設備校正	527
天然氣試驗	485	合計	55,523

114 年度變壓器油中氣體分析與故障診斷統計 (單位：台)

	發電單位		供電單位 (E/S & D/S)	配電單位 (S/S)	其他	合計
	核能	水、火力				
1. 件數	68	727	3059	935	1206	5995
2. 變壓器台數	39	483	1792	798	612	3724
3. 須注意台數	1	14	45	18	29	107
4. 異常台數	0	5	10	4	16	35
5. 須注意所佔比例 %	2.56	2.90	2.51	2.26	4.74	2.87
6. 異常所佔比例 %	0.00	1.04	0.56	0.50	2.61	0.94

(三) 高電壓試驗

Abstract

The core business of high-voltage testing section includes: (1) Testing of power equipment, including transformer, arrester, fuse, and switchgear, (2) Inspection of testing power equipment for civil use, including transformer and switchgear, (3) AC dielectric withstand test for power cable,

(4) Measurement of partial discharge and diagnosis, (5) Calibration service for high voltage measuring system in Taiwan, (6) Review of Type Test Report for Taipower Company, (7) Survey for electrical equipment accident of Taipower Company, (8) Short circuit test.

業務摘要：

高壓試驗組核心業務包括：
(1) 電力器材試驗，包含變壓器、避雷器、熔絲與配電盤、(2) 辦理經濟部能源署授權之民間電力器材檢驗，包含變壓器與配電盤、(3) 電力電纜施作交流耐壓竣工試驗、

(4) 部分放電檢測服務、(5) 國內重電廠家之高電壓試驗系統校驗、(6) 台電公司定型試驗報告之審查、(7) 台電公司電力器材事故會勘。(8) 短路試驗。

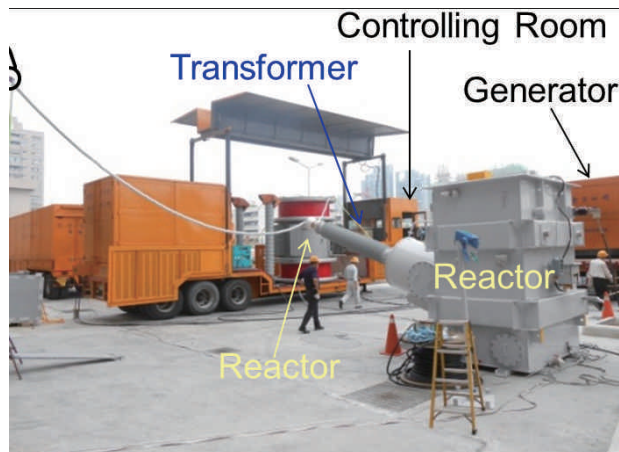
年度業務概述：

1. 電力器材試驗：本組「高電壓試驗室」已獲財團法人全國認證基金會 (TAF) 的 ISO 17025 認證，認證範圍有：衝擊電流試驗、衝擊電壓試驗、交流耐壓試驗、配電變壓器特性試驗、保護熔絲熔斷時間 - 電流試驗、配電盤特性試驗…等。本組會同材料處及業務處辦理本公司採購之配電變壓器、避雷器、懸垂礙子、熔絲鏈、電力熔絲…等各項配電器材之製造商承製能力審查、定型試驗見證、驗收與故障會勘，也為民間廠商提供試驗服務。
2. 經濟部能源署認可之「高壓用電設備檢驗機構」：本組為經濟部能源署認可之「高壓用電設備檢驗機構」，600V 以上「避雷器」、「電力及配電變壓器」、「熔絲」、「氣體絕緣開關設備」、「斷路器」及「高壓配電盤」等六項電力設備，可在本組高電壓

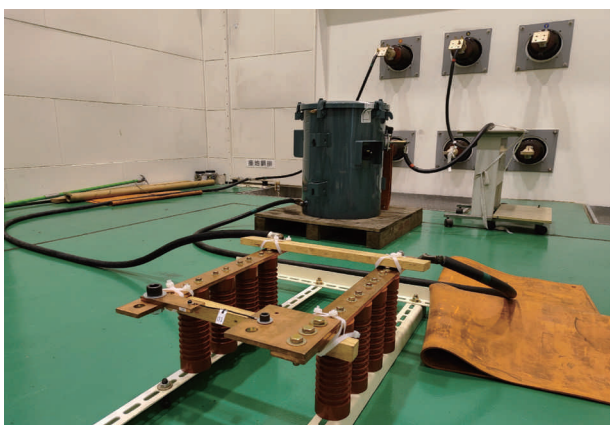
- 試驗室進行「特性試驗」或「出廠試驗」，若製造商因故無法至本組試驗，本組可至製造商試驗場所監督「特性試驗」或「出廠試驗」之施行。
3. 為本公司各單位新建及既設電力電纜施作變頻與 60Hz 交流耐壓試驗。
4. 為台電各單位之電力電纜與其接頭提供部分放電檢測服務。
5. 校正台電各單位與國內重電製造廠家之試驗設備，包含交流高壓、直流高壓、衝擊電壓、損耗因數…等。本組「高電壓校正實驗室」依 IEC 60060-2(2010) 校正交流電壓 10kV~300kV 的項目，已獲財團法人全國認證基金會 (TAF) 的 ISO 17025 認證。
6. 再生能源 / 儲能案廠之電力品質量測。
7. 配電電力器材與低壓斷路器 / 配電盤瞬時短路試驗。



配電變壓器溫升試驗



電力電纜交流耐壓竣工試驗



短路試驗室試驗區



短路試驗室控制室

114 年度高壓試驗組工作數量 / 營收統計表

部 門	工作數量 (件)	營收 (仟元)
電力器材課	5,324	44,927
高壓技術課	1,105	29,713
運轉維護課	4,565	204,955
合 計	10,994	279,595

(四) 電度表、變比器及相關計量與保護設備試驗

Abstract

Taipower Company relies on electricity meters and instrument transformers for accurate electricity billing, and the Electricity Metering Section is responsible for their calibration and testing. The Electricity Metering Section's core functions encompass standard calibration, periodic testing, acceptance testing, and type testing of these critical components. As the quality of these components directly impacts Taipower Company's profitability, continuous improvement in testing capabilities, techniques, and methods is paramount to ensure testing reliability and quality. All testing activities in 2025 were completed

successfully, achieving all anticipated goals. Furthermore, we have continued to support the company's 'Power Grid Resilience Plan' for transmission and distribution systems to ensure superior power stability. We also actively participated in technical seminars and planning for the AMI (Advanced Metering Infrastructure) rollout. Notably, we introduced a new 'Single-Phase Meter Accelerated Aging Test' to evaluate meter reliability, durability, and performance stability, while also estimating their service life. All acceptance and performance testing tasks were completed on schedule

業務摘要：

電度表、變比器為本公司營運電費計量元件，相關修校試驗為本組的主要業務，包括電度表與變比器之標準校正、定期試驗、驗收試驗及定型試驗，其品質攸關公司的收益甚巨，因而工作中持續的改善測試能力及測試技術與方法之開發，以提昇測試可靠度及品質，114年各項試驗業務均順利達成預期目

標。此外，廣續配合辦理公司輸配電系統電網強韌計畫，提供更好的供電穩定性，及積極參與本公司AMI(智慧電表基礎建設)建置各項技術研討與規畫，新增「單相電表加速老化試驗」工作項目，藉此評估電表的可靠性、耐久性與性能穩定性，並推算其使用壽命。如期完成各項驗收及性能試驗工作。

年度業務概述：

1. 完成高低壓電子式電表定型特性 26 批 100 具、智慧電表驗收 82 批共 1,927 具、FAN 模組驗收試驗共 13 批 144 具。
2. 完成北市等營業區處試驗台共計 99 台試設備校正，標準表校正試驗 198 具。
3. 完成發變電所電度表校驗計有 1226 具。
4. 會同辦理各廠家電子式電表及變比器定型試驗、401 條款監督試驗、中間檢查及老化試驗。
5. 新增「單相電表加速老化試驗」

- 工作項目，藉此評估電表的可靠性、耐久性與性能穩定性，並推算其使用壽命。
6. 廣續配合辦理公司輸配電系統電網強韌計畫，提供更好的供電穩定性。
7. 為資訊化管理，建置本組「電表組資訊應用管理系統」。
8. 持續提供現場測試 345kV 保護用比流器激磁電流曲線，並以電子檔供本所高壓研究室建模使用。
9. 協助材料處辦理智慧型電子式電表及變比器廠商承製能力審查。

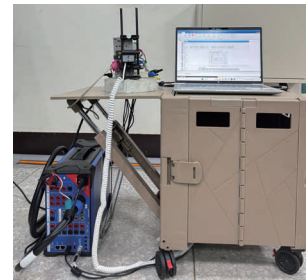
10. 協助配電處及材料處完成 C004 及 C043 新版材規修訂。
11. 配合台中發電廠 6.9 kV SWGR TE-42 搶修比流器試驗、大潭發電廠 G/S #1 號機主變跳脫事故 BCT 試驗、大潭發電廠 GT7-1 GCMCB 事故比壓器試驗及台中發電廠 345 kV GIS (#3710) 跳脫，比流器試驗。
12. 應經濟部標檢局新竹分局邀請，派員為該局 114 年度「電度表檢定檢查技術研討會」擔任講師，分別就電表計量原理、機械構造、電表通訊及竊電案例等主題講授相關課程。
13. 完成「電度表與變比器試驗室 TAF-1945」監督評鑑，辦理 TAF 0850 電能校正實驗室實驗室主管、報告簽署人及品質主管變更現場評鑑審查，並配合本所「TAF(認證編號: I0018)」
- 檢驗機構，辦理延展實地評鑑作業。
14. 依工安組規定，修改新版安全作業標準(所外)，更改「施工前工具箱集會及危害告知活動紀錄表」。
15. 特種校驗課林課長哲毅赴新加坡，參加 2025 年東亞暨西太平洋地區電力事業協會 (AESIEAP) 舉辦之 CEPSI 2025 論文發表。
16. 針對 111 年至 113 年智慧電表測試時發現之問題類型做盤點，提供配電處做「AMI 電表品質管控精進報告」。
17. 滾動檢討儀器組與本組 Power Meter 分工測試方式及因應現場試驗需求。
18. 修訂本組變比器課「比流器激磁電流試驗工作說明書」、「變比器部份放電試驗工作說明書」、「比壓器試驗工作說明書」及「比流器試驗工作說明書」以符合需求。



電表通訊交互可用性實驗室



高壓計費用變比器耐壓試驗



三相可攜式電表試驗設備

114 年度工作實績統計表

部門	工作項目	本年度實績				
		工作數量			工作人天	營收 (仟元)
		目標值	實際值	差異 (%)		
電表校驗課	電力用戶校修、發電廠計量設備校修及變電所計量設備校修	6,000	10,369	72.8%	1,608	61,514
特種校驗課	標準校正、特性驗收、定型試驗、設備校正及其他	3,170	4,951	56.2%	1,985	34,311
變比器課	發變電所完工試驗、特性驗收、定型試驗及其他各類委託試驗	15,200	22,641	49.0%	2,238	105,735
合計		24,370	37,961	55.8%	5,831	201,560

(五) 儀器校驗、檢修、電驛維修與電量標準維持

Abstract

1. Establishment and maintenance of TAF electricity standard.
2. Tests of Intelligent Electronic Devices and Relays in various power substations.
3. The characteristic test of newly purchased instruments of each business department and the regular calibration of quality control instruments.
4. Overhaul and maintenance of various precision electronic instruments.
5. Instrument control and power monitoring system test.
6. Periodic on-site calibration of instruments used for operation indication.
7. High Voltage Insulating Tester calibration and maintain.

業務摘要：

1. TAF 電量標準之建立與維持。
2. 各發變電所智慧型保護裝置及電驛試驗。
3. 各事業部新購儀器之特性試驗及品管用儀器之定期校驗。
4. 各種精密級電子儀器之檢修與維護。
5. 儀控及電力監控系統試驗。
6. 運轉指示用儀表定期現場校驗。
7. 高壓試驗儀器及測定器之校驗及檢修。

年度業務概述：

1. 本年度儀器組完成各類儀器、電驛、磁場計、噪音計等校修，共計 25,355 件。
2. 配合本公司既有申請 ISO 系列驗證通過之各單位，完成相關電量測量測儀表之檢驗與試驗用儀器設備的定期校正。
3. 執行各單位工程竣工各式儀表、轉換器、多功能電表等試驗。
4. 發電廠及變電所運轉電力監控系統儀表轉換器等定期或大修之現場校驗。
5. 磁力磁場計校正服務，提供符合 IEEE Std 644-1994 之規定。
6. 發電廠及變電所之智慧型保護電驛特性驗收試驗及定期試驗。
7. 智慧型變電所 GOOSE 策略驗證及建立標準測試程序。
8. 建立並維持本公司電量校正標準並追溯國家及國際標準，目前已建置電量校正實驗室，並自行建立完整之自校系統項目包括：(1) 直流電壓、(2) 直流電流、(3) 交流電壓、(4) 交流電流、(5) 電阻等五大類標準校正系統。
9. 完成工安環保領域之特殊儀器，如磁場、噪音計、照度計等定期品管校驗。
10. 物理量儀器如紅外線輻射測溫槍、熱電偶功能校正器、密度計(恆溫壓力計)之校驗及自動電壓調整器(AVR)試驗。
11. 試驗器類及各類型攜帶型儀表校驗。
12. 高壓儀器類之校驗：高壓絕緣測定器、絕緣測定器、油耐壓試驗器、高壓相序計(檢電棒)、交直流高壓表、直流高壓試驗器、交流高壓試驗器、高壓(避雷器)洩漏電流測試器、高壓真空測試器、油耐壓試驗器校正器。



發電廠變電所監控儀表定期校驗



IEC-61850 IED 模擬測試訓練平台



電量校正實驗室精密儀器校正



校驗室儀器校驗

114 年度工作實績統計表

單位類別	營收金額	占比	工作類別	試驗項目	營收金額	占比
	千元	%			千元	%
發電單位	47,673	31.3	發輸配電設備大修 或定期維護	竣工試驗儀表類	6,140	4.0
供電單位	23,456	15.4		定期維護儀表類	31,612	20.8
配電單位	57,268	37.6		電驛試驗類	69,842	45.9
工程單位	12,337	8.1	所內試驗室業務	ISO 品管儀表	33,257	21.8
外部顧客	4,477	2.9		標準儀器	7,365	4.8
其他單位	1,523	1.0		磁力磁場計	3,033	2.0
綜合研究所	5,635	3.7		電驛修校	1,060	0.7
合計	152,309	100		合計	152,309	100

(六) 電力設備試驗

Abstract

The task of Power Apparatus Testing Section is to assist Taipower and other companies with executing the new build electric Commissioning test, put-in service electric test, and maintenance electric test to assure the quality in compliance with specification. The under test apparatus

includes Generators, Transformers, Circuit Breakers and Transmission line, etc. Test items include insulation, voltage withstand, partial discharge, winding sweep frequency response and dielectric frequency response test, etc.

業務摘要：

電力設備試驗組配合本公司及公、民營各工程、發電、供電、業務系統等單位，執行各項電力設備裝置竣工、加入系統前之各項絕緣、特性試驗及運轉後之定期維護試驗，促使各電力設備達到符合品

質規範要求，確保系統供電安全。電力設備有發電機、變壓器、斷路器、輸電線等，測試項目則有絕緣、耐壓、部份放電、繞組頻率響應，介質頻率響應等。

年度業務概述：

1. 執行公司內外發變電所電力設備 (發電機、變壓器、開關設備等) 電氣維護試驗。
2. 執行公司內外發變電所電力設備 (發電機、變壓器、開關設備等) 電氣完工試驗。
3. 執行水力電廠發電機組調速機、水輪機效率等機械特性試驗。
4. 執行發變電所電力設備 (變壓器、開關設備等) 加入系統前試驗，包含短路電流、交流遞升加壓及對相等試驗項目。
5. 執行發變電所電力設備 (發電機、變壓器、開關設備等) 部份放電試驗。
6. 執行發變電所電力設備 (發電機、變壓器、開關設備、線路等) 紅外線、紫外線量測。
7. 執行輸電線路 (架空線、電力電纜等) 加入系統前試驗，含線路常數及對相等試驗項目。
8. 執行發變電所接地網大地電阻係數、接地電阻等試驗。
9. 協助執行電力變壓器、開關設備等電力設備出廠查驗及會同驗收。
10. 協助執行電力設備故障及事故調查試驗。
11. 協助加入系統試驗操作程序書審查及支援參與電廠電力設備採購規範草擬。
12. 年度特殊或重要事件參與：
 - (1) 大潭 G/S ST70 發電機加入系及統對相試驗。(114/3)
 - (2) 參與發電處舉辦之大潭、興達及台中電廠複循環計畫，影響機組運轉之重要議題討論會議，對興達、台中發電機定子 Carbon Tracking (碳化電痕) 議題表述意見。(114/3)
 - (3) 辦理 TAF ISO/IEC 17020 檢驗機構 I0018 證書展延，認證有效期間 114 年 11 月 14 日~117 年 11 月 13 日。(114/3)
 - (4) 南部電廠 GT22 主變壓器汰換後，短路、遞昇及加入系統對相試驗。(114/6)
 - (5) 台中電廠 GT2-1、UAT21、GT2-2、UAT22 Tr. 完工試驗，GT2-1 短路、遞昇及加入系統

對相試驗。(114/10)

(6) 114 年變電設備試驗、診斷技術與案例研討進階班，電力變壓器部分放電試驗及電氣特性試驗經驗分享。

(114/10)

(7) 興達電廠 TT2、GT2-2、UAT22、UAT31 GT3-2、UAT32 完工試驗。

(114/11)

(8) 協助再生處仁澤地熱發電機故障，漢鐘公司檢修，本組提供相關檢驗經驗。(114/11)

13. 持續新試驗技術開發：

(1) 建立「發電機絕緣劣化線上監測暨檢測數據管理系統」及引進電磁干擾劣化偵測技術 (EMI Survey)，藉由活線監測及 EMI 能量頻譜掃描，於活電下施做非侵入性設備缺陷量測，藉建立個別頻譜模型及例行性追蹤，提供設

備維護評估及異常預警防範。

(2) 持續推廣掃頻響應分析 (Sweep Frequency Response Analysis, SFRA) 及絕緣頻率響應 (Dielectric Frequency Response, DFR) 等技術應用，除提供變壓器繞組構造變形量或移位等資訊，另藉由絕緣頻率響應量測介電常數對頻率的變化，提供絕緣紙中含水量化性量測方法以外之一種電氣量測參考。

(3) 電力變壓器去磁技術，用於變壓器解聯及線圈直流電組測試後產生的鐵心剩磁，以可攜式設備磁交流法進行去磁。

(4) 持續加強超音波、高低壓電纜頭感測器、設備外殼接地線、內建 UHF 感測器等多種部分放電量測技術，強化電力設備的絕緣劣化狀況研判。

14. 業務執行照片：



至中興電工進行檢驗
機構能力比對試驗
(114/04)



星能公司七股昇壓站
(星光光 G/S) 遞昇加
壓試驗
(114/04)



明潭發電廠 #6 發電機綜
合絕緣試驗
(114/05)



新塹 S/S 69kV 新塹 ~
永華線搶修對相試驗
(114/07)

114 年度電力設備試驗組工作數量 / 營收統計表

部 門	工作數量 (件)	標準人天	工作人天	對外收入 (仟元)	營收 (仟元)
絕緣試驗課	8,816	2,894	1,021	4,818	54,051
特種試驗課	6,076	2,232	1,865	4,276	28,812
機械試驗課	3,749	1,232	753	927	27,938
系統試驗課	1,606	2,320	946	28,199	50,101
合 計	20,247	8,678	4,585	38,220	160,902

(一) 專利申請

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
新型	M677769	斷路器動作時間數據分析系統	供電處	2025/9/8	2035/9/7	2027/11/30
發明	I607341	用於網路實體隔離之單向傳輸系統與方法	資訊系統處	2015/11/12	2035/11/11	2026/11/30
新型	M621819	三端電力線路故障定位修正系統與電腦可讀取儲存媒體	電驛室	2021/8/26	2031/8/25	2027/12/31
新型	M678515	電力系統	電驛室	2025/9/10	2035/9/9	2027/12/20
發明	I831043	三端電力線路故障定位修正系統與方法、以及電腦可讀取儲存媒體	電驛室	2021/8/26	2041/8/25	2027/1/31
發明	I779800	具有連絡斷路器之雙匯流排電力系統的保護電驛邏輯、與雙匯流排電力系統	電驛室	2021/8/26	2041/8/25	2027/9/30
發明	I838902	導入 GOOSE 應用策略的保護邏輯規劃及供電系統	電驛室	2022/10/6	2042/10/5	2027/4/10
發明	I853314	以二進制總和參數控制輸出之數位邏輯電路及配電系統	電驛室	2022/10/6	2042/10/5	2027/8/20
美國發明	US12265112B2	THREE-TERMINAL POWER LINE FAULT LOCATION AND CORRECTION SYSTEM AND METHOD	電驛室	2022/7/14	2043/5/5	2028/10/1
新型	M560020	螺栓缺陷檢測裝置	核能發電處	2018/1/9	2028/1/8	2026/5/10
新型	M607619	快插拔高壓肘型電壓感測器	配電處	2020/10/15	2030/10/14	2027/2/10
新型	M607618	配電級落雷計數器	配電處	2020/10/15	2030/10/14	2027/2/10
新型	M611633	套管免壓縮式預鑄型高壓電纜直線接頭	配電處	2020/11/23	2030/11/22	2026/5/10
新型	M620672	洩漏電流預警系統	配電處	2021/8/13	2031/8/12	2026/11/30
新型	M621241	含電壓偵測功能之故障指示裝置	配電處	2021/9/15	2031/9/14	2027/12/10

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
新型	M636051	架空纜線束帶結構	配電處	2022/8/11	2032/8/10	2027/12/31
新型	M636052	熱塑材之電力用高分子橫擔結構	配電處	2022/8/11	2032/8/10	2027/12/31
新型	M637111	防滑人孔蓋	配電處	2022/8/11	2032/8/10	2028/1/31
新型	M634642	高分子聚合遮蔽型熔絲鏈開關	配電處	2022/8/11	2032/8/10	2027/11/20
新型	M643112	緊湊型電表箱	配電處	2023/4/11	2033/4/10	2028/6/20
新型	M657265	絕緣接線夾	配電處	2024/3/28	2034/3/27	2029/6/20
新型	M658252	高壓架空電纜線	配電處	2024/3/28	2034/3/27	2029/7/20
新型	M657642	熔絲鏈開關之組接件	配電處	2024/3/28	2034/3/27	2029/6/30
新型	M665174	家用移動式電源裝置及局部化供電系統	配電處	2024/9/27	2034/9/26	2027/12/31
新型	M664033	無源式責任分界點開關	配電處	2024/9/27	2034/9/26	2027/11/30
新型	M666572	具複合式成型紮線之架空配電線路的固定架構及其複合式成型紮線結構	配電處	2024/11/20	2034/11/19	2028/2/10
新型	M677025	天災停電預測系統	配電處	2025/7/11	2035/7/10	2028/11/10
新型	M678847	配電線路搶修人員外出背包	配電處	2025/9/19	2035/9/18	2026/12/31
發明	I797506	套管免壓縮式預鑄型高壓電纜直線接頭及其施工方法	配電處	2020/11/23	2040/11/22	2026/3/31
新型	M625443	能防止植物攀越的拉線裝置	台南區營業處	2021/10/21	2031/10/20	2031/10/20
發明	I792624	能防止植物攀越的拉線裝置	台南區營業處	2021/10/21	2041/10/20	2033/2/10
新型	M623951	直立式識別機台	大潭發電廠	2021/9/7	2031/9/6	2031/2/28
新型	M623950	門禁管理暨工安查核系統	大潭發電廠	2021/9/7	2031/9/6	2031/2/28

四、研發活動

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
發明	I558050	鐵磁共振抑制裝置	台北供電區 營運處	2015/8/19	2035/8/18	2026/11/10
發明	I627420	電力測試系統	台北供電區 營運處	2016/9/7	2036/9/6	2028/6/20
發明	I758972	電力安全防護系統	台北供電區 營運處	2020/11/25	2040/11/24	2032/3/20
美國 發明	US11710958B2	POWER SYSTEM WITH ENHANCED POWER SAFETY	台北供電區 營運處	2021/10/28	2041/11/19	2027/1/25
新型	M601345	電力訓練裝置	新桃供電區 營運處	2020/7/3	2030/7/2	2026/9/10
新型	M614576	無人機巡視空拍輸電 線路監測系統	台中供電區 營運處	2020/12/18	2030/12/17	2026/7/20
發明	I776157	電驛資訊即時管理系 統及其即時管理方法	台中供電區 營運處	2020/5/22	2040/5/21	2032/8/31
發明	I737531	用於變電所斷路器零 件裝卸的起重裝置	台中供電區 營運處	2020/11/2	2040/11/1	2031/8/20
發明	I818747	具有驅鳥裝置之空斷 開關設備	台中供電區 營運處	2022/9/28	2042/9/27	2042/9/27
日本 新型	JP3230297U	変電所の断路器部品 を積み卸しするため の持ち上げ装置	台中供電區 營運處	2020/11/2	2030/11/2	2030/12/22
新型	M622213	用於故障指示器的監 視裝置	嘉南供電區 營運處	2021/9/10	2031/9/9	2027/1/10
新型	M638931	電動門監控系統	嘉南供電區 營運處	2022/10/31	2032/10/30	2026/3/20
發明	I838934	電動門監控系統	嘉南供電區 營運處	2022/10/31	2042/10/30	2027/4/10
發明	I731723	鐵塔之接地電阻裝置 及具有低接地電阻裝 置之鐵塔	高屏供電區 營運處	2020/6/19	2040/6/18	2026/6/20
發明	I765754	具有消除感應電壓的 電路裝置	高屏供電區 營運處	2021/6/24	2041/6/23	2026/5/20
發明	I839879	決定導線支撐結構之 架線橫擔長度的電子 裝置與方法	花東供電區 營運處	2022/10/4	2042/10/3	2027/4/20
新型	M527582	電力設備圖資系統	綜合研究所	2016/4/22	2026/4/21	2026/4/21
新型	M528488	電業水資源管理支援 系統	綜合研究所	2016/5/23	2026/5/22	2026/5/22
新型	M545310	深地層處置之需求管 理系統	綜合研究所	2017/4/27	2027/4/26	2026/7/10

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
新型	M555581	高阻抗故障自動偵測裝置及偵測模組	綜合研究所	2017/8/2	2027/8/1	2026/2/10
新型	M562311	採用煤灰水泥固化物基底層之道路結構	綜合研究所	2018/2/26	2028/2/25	2028/2/25
新型	M561679	水中有機汙染物處理裝置	綜合研究所	2018/2/26	2028/2/25	2028/6/10
新型	M568871	含煤灰水泥固化物之地層結構	綜合研究所	2018/8/1	2028/7/31	2028/7/31
新型	M583465	煤灰磚	綜合研究所	2019/3/28	2029/3/27	2029/3/27
新型	M586270	電廠排煙脫硫廢水回收系統	綜合研究所	2019/6/4	2029/6/3	2027/11/10
新型	M597413	預測目標物壽命之電子設備	綜合研究所	2019/12/12	2029/12/11	2026/6/20
新型	M597391	量測裝置	綜合研究所	2019/12/16	2029/12/15	2026/6/20
新型	M597389	量測裝置	綜合研究所	2019/12/16	2029/12/15	2026/6/20
新型	M599393	用於智慧電表系統的三相四線式智慧電表	綜合研究所	2020/3/31	2030/3/30	2026/7/31
新型	M599394	用於智慧電表系統的單相三線式智慧電表	綜合研究所	2020/4/1	2030/3/31	2026/7/31
新型	M604885	耐磨耗檢測裝置	綜合研究所	2020/8/12	2030/8/11	2026/11/30
新型	M608349	單相二線式智慧電表	綜合研究所	2020/9/3	2030/9/2	2030/9/2
新型	M614960	非侵入式負載監測系統	綜合研究所	2020/12/4	2030/12/3	2030/12/3
新型	M616151	具有中空結構的建築板材	綜合研究所	2021/6/9	2031/6/8	2027/8/20
新型	M624279	智慧型微藻養殖系統	綜合研究所	2021/7/7	2031/7/6	2028/3/10
新型	M619160	電力系統的即時最低頻率值估算系統	綜合研究所	2021/7/9	2031/7/8	2031/7/8
新型	M622482	電力饋線圖資彙整顯示設備	綜合研究所	2021/8/24	2031/8/23	2028/1/20
新型	M624395	脫硝觸媒生產設備	綜合研究所	2021/10/22	2031/10/21	2028/3/10

四、研發活動

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
新型	M630926	微水力發電系統	綜合研究所	2021/12/30	2031/12/29	2028/8/20
新型	M633553	基於非侵入式設備負載監控的用電解析系統	綜合研究所	2022/1/24	2032/1/23	2029/10/31
新型	M633755	巡檢機器人	綜合研究所	2022/7/4	2032/7/3	2027/10/31
新型	M640630	渦輪機葉片龜裂結構	綜合研究所	2022/12/23	2032/12/22	2026/4/30
新型	M644565	洞道通訊設備固定結構	綜合研究所	2023/4/24	2033/4/23	2029/7/31
新型	M644588	長期電力負載預測系統	綜合研究所	2023/4/27	2033/4/26	2029/7/31
新型	M658127	圖資服務系統	綜合研究所	2024/2/19	2034/2/18	2027/7/20
新型	M662577	智慧化自動消泡系統	綜合研究所	2024/3/22	2034/3/21	2026/11/10
新型	M674956	直立型風機裝置	綜合研究所	2024/11/7	2034/11/6	2026/9/20
新型	M667069	輸電鐵塔之塔基監測系統	綜合研究所	2024/12/3	2034/12/2	2028/2/20
新型	M678295	利用底灰去除水中重金屬系統	綜合研究所	2025/5/15	2035/5/14	2026/12/20
新型	M676716	濕地之動態滯洪容量估算方法	綜合研究所	2025/8/5	2035/8/4	2026/10/31
發明	I404943	電力相位檢測設備、方法及電腦程式產品	綜合研究所	2009/6/18	2029/6/17	2026/8/10
發明	I424878	以胺基吸收劑製造具多孔穿透性固態基材之方法	綜合研究所	2010/7/9	2030/7/8	2028/1/31
發明	I409220	苯胺基官能基固著矽膠固體吸收劑之製備方法	綜合研究所	2010/12/8	2030/12/7	2027/9/20
發明	I411192	電力保護系統及方法	綜合研究所	2011/5/4	2031/5/3	2027/9/30
發明	I431287	礙子狀態監測方法	綜合研究所	2011/10/28	2031/10/27	2031/10/27
發明	I464418	高壓饋線電力相別檢測方法、系統及裝置	綜合研究所	2012/10/30	2032/10/29	2028/12/10
發明	I550521	電子標籤裝置	綜合研究所	2015/1/28	2035/1/27	2026/9/20
發明	I598217	飛灰塑木複合材之製造方法	綜合研究所	2015/10/13	2035/10/12	2026/9/10
發明	I587222	基於類神經網路之水庫水位預測系統及方法	綜合研究所	2016/6/29	2036/6/28	2026/6/10

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
發明	I618016	水庫水位之預測顯示系統及方法	綜合研究所	2016/7/5	2036/7/4	2027/3/10
發明	I624444	利用飛灰產製天目釉陶瓷品之方法	綜合研究所	2016/9/6	2036/9/5	2027/5/20
發明	I662423	風力發電之預測顯示系統及方法	綜合研究所	2017/2/6	2037/2/5	2028/6/10
發明	I639940	利用圖磚技術的設備圖資顯示方法及系統	綜合研究所	2017/6/6	2037/6/5	2029/10/31
發明	I623890	由多個類神經網路組成的發電量預測系統與其方法	綜合研究所	2017/7/4	2037/7/3	2027/5/10
發明	I729295	太陽能电站監控方法	綜合研究所	2018/6/11	2038/6/10	2027/5/31
發明	I672662	區域太陽能發電狀況預測方法與裝置	綜合研究所	2018/6/21	2038/6/20	2028/9/20
發明	I700479	用於檢測觸媒活性的裝置	綜合研究所	2019/3/11	2039/3/10	2026/7/31
發明	I690365	選擇性催化還原觸媒用硬化液、選擇性催化還原觸媒的硬化處理方法	綜合研究所	2019/5/21	2039/5/20	2026/4/10
發明	I712794	預測目標物壽命之電子設備	綜合研究所	2019/12/12	2039/12/11	2026/12/10
發明	I794567	量測裝置及其製法	綜合研究所	2019/12/16	2039/12/15	2026/2/28
發明	I706123	一種水鳥之大規模棲息點位之水深測量方法	綜合研究所	2019/12/19	2039/12/18	2026/9/30
發明	I724731	自動卸載電力保護系統與自動卸載電力保護方法	綜合研究所	2020/1/2	2040/1/1	2030/4/10
發明	I717277	電解海水氫氣應用發電系統	綜合研究所	2020/5/15	2040/5/14	2027/1/20
發明	I737432	電力系統發生跳機事件後的最低頻率值預測方法	綜合研究所	2020/8/4	2040/8/3	2031/8/20
發明	I776204	耐磨耗檢測裝置	綜合研究所	2020/8/12	2040/8/11	2028/8/31
發明	I739581	單相二線式智慧電表	綜合研究所	2020/9/3	2040/9/2	2031/9/10
發明	I755062	失活脫硝觸媒的再活化方法及再活化設備	綜合研究所	2020/9/16	2040/9/15	2028/2/10
發明	I782469	高濃度含硼廢水處理方法	綜合研究所	2021/3/31	2041/3/30	2026/10/31

四、研發活動

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
發明	I786711	智慧型微藻養殖系統及其方法	綜合研究所	2021/7/7	2041/7/6	2029/12/10
發明	I790743	饋線可併網容量計算方法	綜合研究所	2021/9/14	2041/9/13	2029/1/20
發明	I784736	電力系統的廣域同步儀系統	綜合研究所	2021/10/1	2041/9/30	2029/11/20
發明	I823162	多孔脫硝觸媒的製備方法	綜合研究所	2021/10/22	2041/10/21	2026/11/20
發明	I783803	蒸汽壓力量測方法	綜合研究所	2021/12/1	2041/11/30	2026/11/10
發明	I804091	礙子洩漏電流預測系統	綜合研究所	2021/12/8	2041/12/7	2026/5/31
發明	I790863	低耗能之二氧化碳捕集裝置	綜合研究所	2021/12/17	2041/12/16	2029/1/20
發明	I791352	用於分離二氧化碳之真空變壓吸附方法及其系統	綜合研究所	2021/12/17	2041/12/16	2029/1/31
發明	I820563	材料壽命預測方法	綜合研究所	2022/1/5	2042/1/4	2026/10/31
發明	I802245	基於非侵入式設備負載監控的用電解析系統及用電解析方法	綜合研究所	2022/1/24	2042/1/23	2029/5/10
發明	I801302	用於無線電力裝置之頻率選擇表面結構	綜合研究所	2022/8/11	2042/8/10	2029/4/30
發明	I827418	渦輪機葉片龜裂之修護方法	綜合研究所	2022/12/23	2042/12/22	2029/12/20
發明	I815774	水鳥棲地之水位調控方法	綜合研究所	2023/4/27	2043/2/12	2029/9/10
發明	I831681	落雷預測方法及其運算裝置	綜合研究所	2023/4/27	2043/4/26	2027/1/31
發明	I839196	長期電力負載預測系統	綜合研究所	2023/4/27	2043/4/26	2027/4/10
發明	I852524	低成本綠色低碳混凝土製品及其製法	綜合研究所	2023/5/2	2043/5/1	2026/8/10
發明	I861904	非侵入式電器負載辨識系統及方法	綜合研究所	2023/5/26	2043/5/25	2030/11/10
發明	I857730	電桿傾斜無線感測系統	綜合研究所	2023/8/4	2043/8/3	2030/9/30

類別	專利證號	專利名稱	單位	專利權始日	專利權止日	年費有效日期
發明	I904478	動輪葉片自動排序系統及其方法	綜合研究所	2023/9/23	2043/9/22	2026/11/10
發明	I897135	輸電線路故障定位方法及系統	綜合研究所	2023/12/7	2043/12/6	2026/9/10
發明	I890286	雙層液晶頻率選擇表面結構	綜合研究所	2024/1/24	2044/1/23	2031/7/10
發明	I900990	單層液晶頻率選擇表面結構	綜合研究所	2024/1/24	2044/1/23	2031/10/10
發明	I882660	PIN 型二極體頻率選擇表面結構	綜合研究所	2024/1/24	2044/1/23	2031/4/30
發明	I879403	基於電力數據的最小統計區域劃分方法及裝置	綜合研究所	2024/1/25	2044/1/24	2028/3/31
設計	D185791	水庫水位預測顯示之圖形化使用者介面	綜合研究所	2016/6/21	2031/6/20	2026/9/30
設計	D187419	太陽光電預測系統介面	綜合研究所	2017/5/19	2032/5/18	2027/12/20
美國發明	US10643128B2	POWER GENERATION PREDICTION SYSTEM AND A METHOD THEREOF	綜合研究所	2018/7/5	2038/7/5	2027/11/6
美國發明	US11196380B2	POWER GENERATION PREDICTION SYSTEM AND METHOD THEREOF	綜合研究所	2019/12/19	2040/3/9	2029/6/7
美國發明	US11883812B2	Method And Apparatus For Regenerating Deactivated Denitration Catalyst	綜合研究所	2020/12/1	2041/11/26	2027/7/30
美國發明	US12460983B2	METHOD FOR MEASURING STEAM PRESSURE	綜合研究所	2022/11/30	2043/8/2	2029/5/4
美國發明	US12422840B2	METHOD OF PREDICTING MATERIAL LIFE	綜合研究所	2022/12/30	2044/3/28	2029/3/23
日本發明	JP7394941	蒸氣壓計測方法	綜合研究所	2022/9/13	2042/9/12	2026/11/30

(二) 發表之論文

題目	作者	部門	刊物或研討會名稱	發表日期
以人工智慧自動化進行水面浮渣清除探討	張茱琪、曹志明、傅弼豐、吳俊賢	化學與環境研究室	2025年(第39屆)環境分析化學研討會暨中華民國環境分析學會114年度會員大會	114.5
利用曝氣提升廢水酸鹼值參數探討	傅弼豐、曹志明、吳俊賢、張茱琪	化學與環境研究室	2025年(第39屆)環境分析化學研討會暨中華民國環境分析學會114年度會員大會	114.5
電解法應用於廢水除氨技術探討	傅弼豐、曹志明、吳俊賢、張茱琪	化學與環境研究室	2025年(第39屆)環境分析化學研討會暨中華民國環境分析學會114年度會員大會	114.5
持續性足量藻體投入對水中魚類衝擊及共存系統潛力分析	吳俊賢、傅弼豐、張茱琪、曹志明	化學與環境研究室	2025年(第39屆)環境分析化學研討會暨中華民國環境分析學會114年度會員大會	114.5
大型發電級之乾式低氮排放燃燒器之熱流模擬分析	林均翰	能源研究室	第35屆燃燒與能源學術研討會	114.5
虛擬同步機控制在微電網固態變壓器之應用	江文莊、謝國聖、林士傑、李兆惠	電力研究室	2025 IEEE IAS Annual Meeting Incorporating the Industrial & Commercial Power Systems Asia Conference	114.6
含氮廢水資源進行藻類二氧化碳利用固碳應用評估	吳俊賢、傅弼豐、張茱琪、曹志明	化學與環境研究室	2025年(第39屆)環境分析化學研討會暨中華民國環境分析學會114年度會員大會	114.5
Utilizing Fly Ash from Coal-Fired Power Plants to Join ZrO ₂ and Crofer by Reactive Air Brazing	張書維 ^{1,2*} 、薛人愷 ² 、黃亮維 ³	¹ 台電綜合研究所化學與環境研究室、 ² 台灣大學材料科學與工程學系、 ³ 國家園子能科技研究院	SCI 國際期刊—Materials	114.4

題 目	作者	部門	刊物或研討會名稱	發表日期
燃煤電廠 SCR 脫硝觸媒壽命診斷分析	曹志富、陳心儀	化學與環境研究室	2025 年 (第 39 屆) 環境分析化學研討會暨中華民國環境分析學會 114 年度會員大會	114.5
火力電廠低壓汽機葉片龜裂之維護處理	黃泰源、吳憲政、鐘震洲、陳瑞麒、廖家麒	能源研究室	114 年第十六屆破壞科學研討會	114.9
輸電級地下電纜系統的預防性診斷與局部放電評估	林閔洲、陳冠銘、李嘉龍、曹昭陽、張建國	高壓研究室	2025 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting 暨 Industrial & Commercial Power Systems (I&CPS)-Asia Conference.	114.6
超臨界鍋爐結垢基本化學清洗藥劑腐蝕調查研究	吳俊賢、張茱琪、傅弼豐、曹志明	化學與環境研究室	114 年度防蝕工程年會暨論文發表會壁報	114.8
再生能源併熱網區諧波潮流追蹤及應用研究	吳旻哲、柯喬元、唐城	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
次氯酸鈉對海水設備及管路材質影響探討	陳俐安、張書維	化學與環境研究室	114 年第十六屆破壞科學研討會	114.9
電力設備循環水系統濁度對腐蝕抑制劑應用分析	陳俐安、張書維	化學與環境研究室	114 年防蝕學會年會暨論文發表會	114.8
電廠飛灰應用於氧化鋯 /Crofer 合金異質接合製程與氣密特性研究	張書維 ^{1,2} 、薛人愷 ² 、黃亮維 ³ 、李睿綱 ¹	¹ 台電綜合研究所化學與環境研究室、 ² 國立台灣大學材料科學與工程學系、 ³ 國家原子能科技研究院	中國材料科學學會 114 年年會	114.11
直流技術於低壓電網之應用與案例研析	江文莊、謝國聖、程泓瑋、廖清榮	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
氫氣 / 甲烷 / 空氣動量比、當量比和微混合燃燒器幾何參數優化對燃燒的影響	Yi-Xiang Yang, Wei-Che Huang, Tai-Cheng Li, Jyun-Han Lin, Shouyin Yang	能源研究室	15th Asia-Pacific Conference on Combustion	114.5

四、研發活動

題目	作者	部門	刊物或研討會名稱	發表日期
氫氣微混合火焰中 OH* 化學發光與紋影圖像的比較分析	YixiangYang, Wei-Che Huang, Tai-Cheng Li, Jyun-Han Lin, Qi-Ren, Lin, ShouyinYang	能源研究室	第 35 屆燃燒與能源學術研討會	114.5
一般常壓化學清洗液對鋼材爐管的腐蝕破壞現象	吳俊賢、張茱琪、傅弼豐、曹志明	化學與環境研究室	第 16 屆破壞科學研討會	114.9
直流供電導入家用電器之研究	謝國聖、程泓璋、廖清榮、王金墩、張志聲	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
智慧電表之電磁相容與可靠度之研究	謝國聖、林哲毅、簡呈榮、廖清榮、王金墩	電力研究室、電表組	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
熱回收鍋爐沖放管路破管肇因分析	高全盛、曾千洵、蘇奎元、楊學文、孫千茹、孫秉蔚	能源研究室	114 年度防蝕工程年會暨論文發表會壁報	114.8
基於 OPAL-RT 平台的 Inverter 模型建構與驗證	程泓璋、江文莊、謝國聖、廖清榮、王金墩、張志聲	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
電力系統韌性評估指標計算方式之改良研究	吳宇軒	電力經濟與社會研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
以四足型機器人於變電所進行自主巡檢與智慧診斷應用實例	李政崇、陳彥仲、李建霖、張建國	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
變流器型資源電磁暫態模型需求規範概述	陳翊璋、陳柏豪、林湘芸、梁威志、張志聲	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
微型區域之負載特性分析	陳玉芬、賴宜均、陳立維	負載管理研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
電業淨零路徑規劃與策略研析	楊宗霖、吳宇軒、卓金和、洪育民	電力經濟與社會研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11

題 目	作者	部門	刊物或研討會名稱	發表日期
台電架空輸電線路之雷擊風險評估	陳柏江、林彥廷、林閔洲、沈文豪	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
太陽光電案場故障之案例探討與 EMTP 模擬分析	陳柏江、林彥廷、林閔洲、郭政謙	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
利用硬體迴路技術探索 AVR 在電壓擾動中的動態響應	蔡羽智	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
同步調相機的建置與測試	吳承翰、謝曉惠、曾彬鴻	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
電力系統於變流器電源高占比下之旋轉慣量與系統強度挑戰	吳承翰、謝曉惠、曾彬鴻	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
處理 AMI 數據離群與缺失之整合性預測框架	賈方霽 ¹ 、許湘伶 ² 、顏廷諭 ³ 、張文奇 ¹	台電綜合研究所負載管理研究室 ¹ 、高雄大學 ² 、中山大學 ³	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
輸電級圖資資料自動化處理機制	陳俊瑋	負載管理研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
區域電網孤島運轉動態模擬分析	林湘芸、梁威志、曹昭陽	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
國際負載提升類型需量反應方案之應用研析	施政樟 ¹ 、陳俊瑋 ¹ 、蔡欣茹 ² 、詹穎儒 ³ 、蔡吳廷 ⁴	台電綜合研究所負載管理研究室 ¹ 、台電業務處 ² 、台灣經濟研究院 ³ 、工業技術研究院 ⁴	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
微電網保護功能之回顧與實務應用研析	洪碩甫、梁威志、陳翊璋	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11

四、研發活動

題目	作者	部門	刊物或研討會名稱	發表日期
狀態監測技術應用於國內電力變壓器之研究	余政達、林彥廷、林閔洲、沈文豪、李建霖、陳彥仲、林威廷	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
家用小型儲能供電系統測試	江文莊、謝國聖、程泓瑋、廖清榮	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
應用 LSTM 模型預估礙子洩漏電流之研究	林彥廷、陳柏江、郭政謙	高壓研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
台電配電圖資應用於 CIM 標準資訊研究	蔡森洲、林必達、游晴幃、王晴、黃暉玢	負載管理研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
計量設備管理系統開發	蔡森洲 ¹ 、王晴 ¹ 、游晴幃 ¹ 、李蕙卉 ² 、薛博駿 ² 、林必達 ¹ 、黃暉玢 ¹ 、蕭惠文 ³	台電綜合研究所負載管理研究室 ¹ 、台電配電處 ² 、崧旭資訊股份有限公司 ³	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
生成式 AI 應用於台電氫能領域之知識檢索與問答系統	郭家宏、林呈鴻、蕭宇竣、林昱呈	資訊與通信研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
超高壓輸電洞道導入 5G 企業專網輔助人員巡檢概念驗證	劉宇恒、羅尹孜、徐珮真、洪瑞呈、陳以彥、王金墩	資訊與通信研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
中央校時後衛系統之時間同步精確度評估與研究	廖文聘、洪瑞呈、陳以彥、莊元億、高東義、范正	資訊與通信研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
VCB 設備點檢導入 XR 技術應用研析	徐珮真、劉宇恒、洪瑞呈、陳以彥、王金墩	資訊與通信研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11

題 目	作者	部門	刊物或研討會名稱	發表日期
運用光達與地理資訊系統量化越冬水鳥的水深偏好：對適應性濕地管理的啟示	洪建恆	化學與環境研究室	The International Society for Ecological Modelling Global Conference 2025	114.10
基於 XGBoost 之非侵入式用電負載即時分類器與家電多事件模式辨識技術研究	黃秉偉 ¹ 、蔡宗霖 ² 、施政樟 ¹ 、王金墩 ¹ 、許炎豐 ¹ 、張文奇 ¹	台電綜合研究所負載管理研究室 ¹ 、工業技術研究院 ²	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
兩階段電力系統韌性評估機制：流程設計與個案分析	吳宇軒	電力經濟與社會研究室	IEEE PES GTD Conference and Exposition Asia 2025	114.11
大潭電廠 4 號機鍋爐前抵板斷裂力學分析	石振宇、陳瑞麒	能源研究室	2025 中國機械工程學會年會暨第 42 屆全國學術研討會	114.12
電網跟隨型與基於下垂控制之電網形成型變流器之無縫切換	莊承翰、黃世杰、沈柏榮、李永泰、蘇偉府、江文莊	電力研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
台電公司氫能技術發展	李泰成	能源研究室	第 35 屆台日工程技術研討會—能源與環境組	114.11
應用無人機於鍋爐水牆區域目視檢測與開發深度學習瑕疵辨識模型	高全盛、顧宏基、葉佐端、陳昱光、蘇奎元、楊學文、林靖鈞	能源研究室	鍋爐知識	114.11
基於 IEC 與 IEEE 標準之智慧變流器資訊研析與應用	張廖俊魁、卓啟翔、許乃倫、蘇亮宇	資訊與通信研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11
變流器資源各功能表現對時間精度要求之研析	蘇亮宇、許乃倫、張廖俊魁、卓啟翔	資訊與通信研究室	第 46 屆中華民國電力工程研討會暨第 22 屆台灣電力電子研討會	114.11

(三) 技術服務

序號	服務項目	服務對象
1	113 年系統尖峰負載分析	企劃處
2	113 年度下營 D/S 及官田鋼 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
3	大林六號機水牆管特性評估	大林發電廠
4	微電網及教育訓練教室之建置規劃	訓練所
5	#1、#2 機 GIL 部分放電測試 (113 年第 4 次試驗)	核三廠
6	中二機鍋爐汽牆管洩漏分析	台中發電廠
7	113 年度高屏供路北、岡山、南工及大鵬變電所電力品質量測分析	高屏供電區營運處
8	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (台中供電區營運處 台中 ADCC)	台中供電區營運處
9	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (台北供電區營運處 台中 ADCC)	台北供電區營運處
10	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (花東供電區營運處 鳳林 E/S)	花東供電區營運處
11	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (台北供電區營運處 基隆 ADCC)	台北供電區營運處
12	幼獅 S/S 電壓驟降監測系統建置	桃園區營業處
13	113 年度台中供鹿英 G/S、中港風 G/S 及大離風 G/S 電力品質量測分析	台中供電區營運處
14	朴子 S/S 電壓驟降監測系統建置	嘉南區營業處
15	113 年度新營區處聯宏工業股份有限公司電力品質量測分析	新營區營業處
16	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (新桃供電區營運處 新竹 ADCC)	新桃供電區營運處
17	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (高屏供電區營運處 高雄 ADCC)	高屏供電區營運處
18	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (嘉南供電區營運處 新營 ADCC)	嘉南供電區營運處
19	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (嘉南供電區營運處 龍崎 E/S)	嘉南供電區營運處
20	113 年即時閃電偵測資料之傳送及應用 (電力調度處高雄中央調度中心)	電力調度處高雄調度中心
21	113 年即時閃電偵測資料之傳送與應用 (電力調度處)	電力調度處
22	大潭發電廠 #6 機 SCR 觸媒性能檢驗	穩合實業股份有限公司

序號	服務項目	服務對象
23	113 年利澤 D/S 電力品質量測分析	台北供電區營運處
24	桂山發電廠粗坑機組調速機 IEC 61850 資訊模型規劃	桂山發電廠
25	花東 161kV 東成 - 鹿野 OPGW 線汰換樣品分析	花東供電區營運處
26	114 年大鵬 E/S 及燁屏 C/S 電力品質量測分析	高屏供電區營運處
27	棟榔 D/S 電壓驟降監測系統建置	嘉南供電區營運處
28	AI 資料中心電力品質量測分析	台北南區營業處
29	協和電廠 3 號機與開關廠直流電路系統量測	協和發電廠
30	台灣高鐵之聚合礙子絕緣耐力 (洩漏電流)、絕緣特性 (紫外光線)、硬度、鹽害分佈圖、表面觀察、潑水性等檢測分析 (第 13 批 -40 串)	國立清華大學
31	台灣高鐵之聚合礙子絕緣耐力 (洩漏電流)、絕緣特性 (紫外光線)、硬度、鹽害分佈圖、表面觀察、潑水性等檢測分析 (第 14 批 -20 串)	國立清華大學
32	台灣高鐵之聚合礙子絕緣耐力 (洩漏電流)、絕緣特性 (紫外光線)、硬度、鹽害分佈圖、表面觀察、潑水性等檢測分析 (第 15 批 -25 串)	國立清華大學
33	五股 S/S 及頭前 D/S 轄下用戶諧波電流分析	台北西區營運處
34	#2 機 GIL 部份放電測試 (114 年第 1 次試驗)	核三廠
35	114 年度永康 S/S 及易宏興 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
36	113 年尖山發電廠直流特性量測	尖山發電廠
37	114 年度新營區處台昌樹脂企業股份有限公司電力品質量測分析	新營區營業處
38	新桃供青溪 D/S 事故電力電纜特性分析	新桃供電區營運處
39	林 #2 機 SCR 新觸媒特性分析	林口發電廠
40	提供 110~113 年度申請家電汰舊補助群組用戶資料	工研院綠能所
41	台灣高鐵之聚合礙子絕緣耐力 (洩漏電流)、絕緣特性 (紫外光線)、硬度、鹽害分佈圖、表面觀察、潑水性等檢測分析 (第 16 批 -25 串)	國立清華大學
42	114 年度下營 D/S、威致 C/S 及官田鋼 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
43	114 年度台南 P/S、永康 S/S 及易宏興 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
44	114 年度新營 P/S、下營 D/S、柳營 D/S 及轄下大用戶電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
45	114 年度柳營 D/S 即榮特 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處

四、研發活動

序號	服務項目	服務對象
46	本公司 113 年夏月、非夏月最高負載前 3 日、夏月及非夏月週六半尖峰最高負載日之各類售電別負載分析資料	會計處
47	通霄發電廠 GT5-1 87G 電驛監測	通霄發電廠
48	大 1、2 機鍋爐壓力件 (SUPER304H) 特性評估	啟伸有限公司
49	113 年度配電圖資臺灣通用版電子地圖更新	配電處
50	114 年度新榮重 C/S 及東盟 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
51	114 年度新營 P/S 及榮剛 C/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
52	協和電廠 3 號機及 4 號機 UPS 電源諧波分析	協和發電廠
53	大 1、2 機鍋爐壓力件 (SUPER304H) 珠擊深度 & 硬度分析	大林發電廠
54	興達 3 號機二次過熱器出口段 (T22) 漏水分析	興達發電廠
55	通霄 #61HRSG 主蒸汽管洩漏分析	通霄發電廠
56	中三機 304H 爐管液滲檢測異常分析	台中發電廠
57	1140514-FTU 增設再生能源併聯配電饋線網路功能試驗 (定型)	祥正電機
58	複雜三腳椅之蠟模 3D 列印新製服務	益銓國際有限公司
59	114 年沙崙 D/S 電力品質量測分析	台北供電區營運處
60	114 年松樹 PS 電力品質量測分析	新桃供電區營運處
61	114 年觀音 P/S 及榮成 D/S 電力品質量測分析	嘉南供電區營運處
62	台灣寶理塑膠股份有限公司大發廠之閃電落雷資訊查詢	台灣寶理塑膠
63	結合通訊功能之線路故障指示器及集中器現場勘查量測	配電處
64	114 年和仁 D/S 儲能用戶線長時間電力品質量測分析	花東供電區營運處
65	金水基地監視器主機行動網路訊號勘查量測	通信處
66	1140723-FTU 增設再生能源併聯配電饋線網路功能試驗 (例行性)	祥正電機
67	108~112 年度高壓以上 AMI 用戶依選定類別群組歷史用電資料	台灣綜合研究院
68	114 年苗栗 P/S 及頭份 P/S 電力品質量測分析	新桃供電區營運處
69	通霄 GT61 第 2 級靜葉燒損肇因分析服務	通霄發電廠
70	仕遠光電股份有限公司之閃電落雷資訊查詢	仕遠光電

序號	服務項目	服務對象
71	金門地區電力系統即時慣量估算	塔山發電廠
72	新桃 69kV 觀音草漯地線汰換樣品分析	新桃供電區營運處
73	1140715-FTU 增設再生能源併聯配電饋線網路功能試驗 (例行性)	健格科技
74	114 嘉峰 D/S 亟裕路 C/S 電力品質量測分析	高屏供電區營運處
75	金門地區再生能源併網量上限探討	配電處
76	通霄 GE LM2500 XPRESS GAS TURBINE GENERATOR 燃燒調校數據分析服務	通霄發電廠
77	嘉南 69kV 白河 - 曾文線雷擊樣品分析	嘉南供電區營運處
78	金門電力系統淨負載限制評估	塔山發電廠
79	彰工升壓站電壓諧波背景值量測分析	台中供電區營運處
80	澎湖 ~ 尖山紅、白線運轉潮流範圍及機組分段超速保護跳脫保護機制研析	尖山發電廠
81	興達電廠複循環機組廠內用電 TIE CB 先併後切可行性評估	興達發電廠
82	大潭電廠 #2-1 與 2-3 機熱回收鍋爐材料壽命評估	大潭發電廠
83	中七機水牆管管壁減薄分析	台中發電廠
84	提供電動車小客車及電動巴士用電量資料	國立中興大學
85	林一機 SCR 觸媒活性分析 (114 年大修取樣)	林口發電廠
86	林三機 SCR 觸媒活性分析 (113 年大修取樣)	林口發電廠
87	林 #3 機 SCR 新觸媒特性分析	林口發電廠
88	鍋爐水牆管金相組織分析	電力修護處
89	114 年度保生 D/S 及塘尾 D/S 電力品質量測分析	新桃供電區營運處
90	114 年度朝山 D/S 及營盤 D/S 電力品質量測分析	新桃供電區營運處
91	114 年度新營區處聯宏工業股份有限公司電力品質量測分析	新營區營業處
92	114 年彰啤及永興開閉所電力品質量測分析	台中供電區營運處
93	協和電廠冷凝器 #4-1 水箱破漏肇因分析	協和發電廠
94	PSS®E dongle key 租借	國立成功大學

(四) 與國外技術交流

* 本交流機構係依英文字母順序排列。

1. 東亞暨西太平洋地區電力事業協會 (AESIEAP)

東亞暨西太平洋地區電力事業協會 (The Association of the Electricity Supply Industry of the East Asia and the Western Pacific, AESIEAP) 成立於西元 1975 年，由該地區之各國主要電業、相關電力設備廠商、顧問研究機構或學者專家所組成，屬區域性之非官方電力事業國際組織。

2025 年電力事業研討會 (CEPSI) 與第 50 屆理事會暨執行委員會議於 114 年 10 月 28 至 11 月 1 日在新加坡舉行，由本所鍾所長年勉率調度處、配電處及本所代表與會，會議主題為「推動能源轉型」，旨在呼籲能源價值鏈上的領導者加速區域合作、強化系統韌性，共同邁向淨零 (Net-Zero) 能源未來。鍾所長代王總經理耀庭出席 AESIEAP 執行委員會暨第 50 屆理事會議，掌握國際電業組織會務動向及未來活動規劃；除了參與組織決策外，鍾所長更受邀擔任 Plenary 4 「電網革新：AI 在電網營運的應用」與談人，與科技及能源產業代表共同探討從電網營運到資產管理和勞動力自動化，AI 對當今公用事業營運及未來發展之影響。此外，本公司於技術發表會中發表 5 篇論文，其中本所張立欣以「Identification and Replacement of High Energy-Consuming Home Appliances」研究榮獲「Electricity Sales & Customer Experience」類最佳論文 (Best Technical Paper Award)，會議期間另參訪萊茵豪森、GE Vernova、微軟實驗室等，順利完成技術交流。

透過參與本次會議，有助於本公司了解 AI 在電網營運的最新趨勢和挑戰，學習國際電業與科技巨頭的成功經驗，並可作為台電未來推動電網數位轉型與自動化營運之重要參考 (如圖 1、2)。



圖 1 本所鍾所長 (圖中) 率隊參加 AESIEAP 電力事業研討會 (CEPSI)



圖 2 鍾所長擔任 Plenary 4 與談人，與全球科技及能源產業代表合影

2. 亞洲電力獎 (Asian Power Awards)

本公司各單位於 114 年參加「2025 年亞洲電力獎」(Asian Power Awards 2025) 甄選，共獲 4 項獎項。其中，配電處以「區域電網儲能計畫—區域供電規劃與實踐」榮獲「年度備用電源計畫」金牌獎；系統規劃處以「推進半導體先進製程之供電規劃」獲頒「年度輸配電工程計畫」銀牌獎；環境保護處以「電力設備 SF6 減量方法與成效」榮獲「年度永續發展計畫」台灣獎；綜合研究所以「以廣域量測系統進行系統即時調頻輔助服務需求量估測」獲頒「年度智慧電網計畫」台灣獎。本公司自 2008 年參與亞洲電力獎，迄今累計獲得 67 個獎項，充分展現本公司在技術創新及永續經營上的努力與投入。

3. 彭博新能源財經 BloombergNEF(BNEF)

彭博新能源財經 (BNEF) 是全球能源轉型研究的領導機構，致力於提供具前瞻性的能源相關分析與見解，其研究範疇涵蓋潔淨能源、先進交通、創新材料及大宗物資等多個領域，核心優勢在於獨家專有的全球資料數據庫，能提供精闢的市場洞察，清晰呈現新興能源科技領域的投資、經濟性和政策趨勢。BNEF 以獨立觀點和高品質分析著稱，其定期發布之《新能源市場長期展望》報告被視為業界權威，為全球能源轉型策略提供重要的參考依據。BNEF 的客戶遍布全球 50 個國家，涵蓋超過 2,500 個機構，包括公用事業、能源公司、金融機構及政府單位，而本公司現為其會員之一。藉由與 BNEF 進行交流與合作，可快速掌握全球能源產業多元發展趨勢，作為本公司經營發展及策略布局之參考。本所 114 年與 BNEF 交流內容如下：

- (1) 3月12日舉辦 BNEF 美國川普能源政策分享會，由 BNEF 亞太區研究主管 Dr. Ali Izadi 深入分享川普上任迄今之能源政策總結、能源轉型技術投資、能源採購成本影響等議題。本公司王總經理率相關業管包含、企劃處、開發處、發電處、燃料處及本所約 20 位主管同仁，交流成果豐碩 (如圖 3)。



圖 3 總經理 (右六) 擔任 BNEF 美國川普能源政策分享會主席

- (2) 9月1日 BNEF 全球執行長 Jon Moore 率團隊拜訪總經理，就台灣能源轉型策略與本公司進行深入交流，會中主要討論再生能源高滲透挑戰、電價結構及 AI 資料中心對電力需求的影響，本公司由王總經理親自接見與談 (如圖 4)



圖 4 BNEF 全球執行長 Jon Moore (右六) 來訪並由總經理 (左五) 及本所研發室團隊陪同參加交流

- (3) 9月5日舉辦「AI、資料中心與電力需求」分享會，邀請 BNEF 日本、韓國及台灣研究負責人 David Kang 就 AI 資料中心市場現況、全球資料中心預測與比較、對電力系統的影響，以及日本與韓國公用事業在 AI 相關領域的最新發展等議題進行討論交流，本公司與會人員包含本所相關部門、系規處、開發處、調度處、發電處等單位代表共約 30 位，此會議有助於瞭解全 AI 發展最新現況及展望 (如圖 5)。



圖 5 本所王副所長 (中) 主持 BNEF 「AI、資料中心與電力需求」分享會

- (4) 10月3日舉辦 BNEF 「台灣平均化能源成本 (LCOE)」報告分享會，邀請 BNEF 台灣分析師就台灣各項發電技術的平均化能源成本 (LCOE) 及未來發展趨勢，包括燃煤、燃氣、太陽能與離岸風力發電等技術進行討論交流，本公司與會人員包含本所相關部門、系規處、開發處、調度處、發電處等單位代表共約 25 位，此會議有助於未來規劃 2050 年淨零碳排目標與推動策略之參考 (如圖 6)。



圖 6 本所蒲副所長 (中) 主持 BNEF 「台灣平均化能源成本 (LCOE)」報告分享會

4. 日本電力中央研究所 (CRIEPI)

本公司與日本電力中央研究所 (CRIEPI) 長期以來依據雙方簽訂之技術合作合約，每年輪流主辦技術交流年會，並視需要進行資料分享、人員互訪和邀請專家指導等相關研發活動，有助本公司持續獲取電業研發新知、提升研發水平，促進技術交流與合作關係。

第 35 屆 CRIEPI/TPC 技術交流年會於 114 年 9 月 9 至 12 日在日本我孫子市舉辦，由本所張副所長率領 5 位人員出席，雙方聚焦創新研發策略 R&D and Clean Energy Strategy、電網韌性 Grid Resilience、地震地質分析 Geological Analysis for Earthquake、以氣候預測降低風險 Climate Forecast on Risk Reduction 及加速太陽能應用 Accelerating Solar Adoption 等主題進行探討與交流 (如圖 7)。



圖 7 本所張副所長 (前右一) 率領同仁出席第 35 屆 CRIEPI/TPC 技術交流年會

5. 美國電力研究院 (EPRI)

美國電力研究院 (EPRI) 係美國著名的非營利能源研究機構，致力於為全球電力產業的發電、輸電、用電及能源與環境挑戰提供解決方案。EPRI 擁有遍布全球 45 個國家的約 850 個會員，並投入大量經費進行研發，以推動能源技術發展。本公司相關單位多年來均依需要參與其研究計畫，並將研究成果實際應用，以解決公司營運之問題。本公司 114 年度與 EPRI 交流內容如下：

- (1) 參與核能類 4 項研究計畫，包括核一廠室外乾貯冷熱測試作業程序評估 (1-119775)、Cask Loader 軟體使用群組 1-073349、核能全會員計畫 (P41) 及核能補充計畫，除能取得核能最新數據資料外，並吸收國外最新的檢測 / 維修 / 改善 (SGMP、BWRVIP、MRP、FRP、Decommissioning) 資訊，藉以改善電廠運作流程，增進營運績效並與世界核能資訊接軌。另參與非核能類 8 項研究計畫，包括台灣電力系統設置超高壓直流輸電系統之系統分析研討 (PS40E)、分散式能源整合計畫 (P174)、能源與環境分析模組 (PS201A)、電力系統轉型之新興技術分析 (PS201C)、整合策略系統規劃 (ISSP) 架構於台電系統之應用 (1-118950)、

- 鍋爐和汽輪機蒸汽以及系統水化學 (P226)、氣渦輪機先進元件與技術 (P217)、低碳倡議 (LCRI) 及輸電資產管理分析 (P34.001/P34.004)，與其他國際會員共同分攤計畫費用，取得國際最新相關資料及研究報告，達到效益分享的目的。相關交流成果可作為本公司推動微電網相關計畫之參考借鏡。
- (2) 為深入交流電力發展新趨勢，透過專業對話，掌握國內外電力技術發展脈動，本所邀請 EPRI 資深副總經理 Daniel Brooks 及 10 位高階主管來台，於 7 月 30 至 31 日與 EPRI 共同舉辦「數位轉型論壇暨低碳倡議整合會議」，聚焦探討 AI 資料中心設址就近電源的重要性，以及全球能源轉型趨勢、電業相關最新技術應用、電網韌性強化、數位轉型與人工智慧 (AI) 應用等關鍵議題，期能深化雙邊合作，共同推動前瞻電力技術發展 (如圖 8、9)。

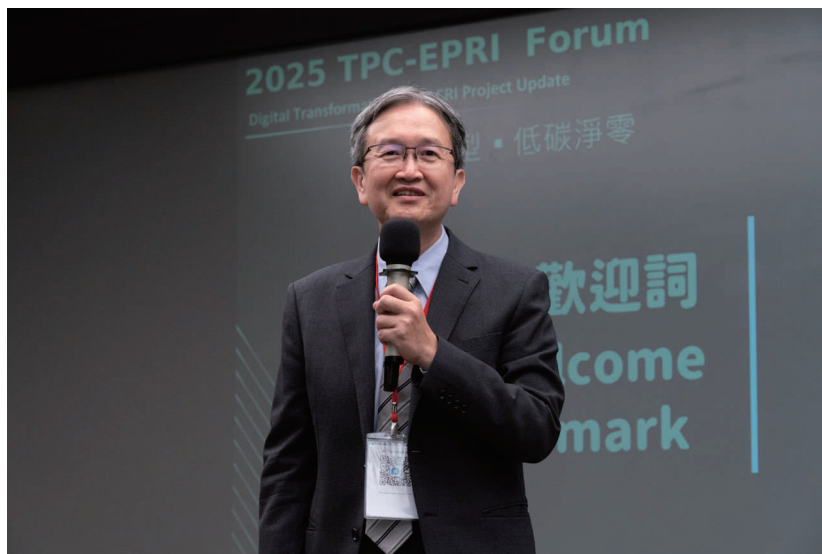


圖 8 總經理於 TPC-EPRI FORUM 致歡迎詞



圖 9 TPC-EPRI 2025 數位轉型論壇暨 LCRI 整合會議

- (3) 為掌握全球電力產業在深度去碳化及人工智慧 (AI) 資料中心電力需求兩大核心議題上的最新挑戰與機會，並藉由與各國電業高階主管交流營運經驗，以推動相關政策規劃，本所鍾所長年勉率團參加以「電力創新：AI 與能源前景 (Powering Innovation: AI & the Future of the Energy Landscape)」為主題的 EPRI 2025 年夏季研討會 (如圖 10)，於 114 年 8 月 7 日至 15 日前往美國加州聖地牙哥與會，並順道參訪 EPRI Palo Alto Lab。代表團與各國專家針對淨零路徑規劃與實施、再生能源整合、電網現代化與韌性、儲能技術應用，以及 AI 在電力系統的應用等議題，進行深入交流。除參與各項議程，與國際電力產業專家交流外，本公司為參考能源轉型與淨零排放目標的最新技術資訊與策略規劃，特別安排於 Palo Alto Lab 進行兩場核心會議。上午場次主要聚焦於電力產業深度去碳化所需的碳捕集與封存 (CCS) 技術及其應用，下午場次則深入探討 AI 資料中心的爆炸性電力需求及其對電網規劃與營運帶來的挑戰與機會。兩場會議皆由 EPRI 資深專家主持，並邀請相關領域主管與研究團隊進行深入交流。透過本次參與 EPRI 夏季研討會及參訪 Palo Alto Lab，深入了解國際電力產業發展趨勢及技術，並與各國電業高階主管交流經驗，獲益良多。



圖 10 本所鍾所長 (左三) 率隊參與 EPRI 2025 年夏季研討會

6. 國際電力研究交流協會 (IERE)

本公司為國際電力研究交流協會 (IERE) 之會員，藉由與各會員國討論高層關切議題及獲得國際電力技術成果與經驗分享，可提升本公司國際知名度，深化國際合作交流管道。

114 年 5 月 26~29 日本公司與 IERE 共同舉辦「2025 IERE-TPC Taipei Net-Zero Workshop」(如圖 11)，主題為「Towards Net-Zero: Strategies and Innovations in the Power Industry」，會議邀請 IERE 全球會員及能源相關機構代表約 50 人，以及本公司公服處、核發處、配電處、本所共 17 位長官同仁。本次會議由 IERE 主席 Munib AMIN 及本所鍾所長代表致詞後揭開序幕，會議針對低碳技術、電網韌性、智慧能源管理及環境永續等議題進行討論交流，會中邀請 IEEJ 高級研究總監 SHIBATA Yoshiaki、台灣大學趙教授修武、中山大學盧教授展南、德國 RWE Generation SE 策略發展總監 Ingo BIRNKRAUT、本所王副所長金墩擔任 General Chair、張副所長志聲及陳主任曉薇擔任 Keynote Speech 及 Special Session 講者，並由日本 (CRIEPI、The Kansai Electric Power Company、IHI、The Chugoku EPCO、Chubu Electric Power Co)、馬來西亞 (TNB Research Sdn. Bhd.)、德國 (RWE)、香港 (CLP Power)、台達電子、本公司配電處、本所電經室、電力室及資通室進行共 15 篇技術論文發表；5 月 29 日安排赴小粗坑電廠進行技術參訪 (如圖 12)，交流順利圓滿。



圖 11 2025 IERE-TPC Taipei Net-Zero Workshop 與會人員合照



圖 12 與會人員赴小粗坑電廠技術參訪

7. 麻省理工學院能源倡議未來能源研究中心 (MIT Energy Initiative, MITEI)

麻省理工學院能源倡議 (MITEI) 為西元 1995 年發起之計畫，旨在整合科學、創新和政策，以改變世界的能源系統，為了加速達成目標，該倡議另成立未來能源研究中心，以推動產業與 MIT 之間的互動，共同面對全球能源和氣候挑戰，研究範圍包含電力、運輸、工業、儲能、低碳能源、建築、碳管理等領域之研究。為洞察國際電業發展趨勢、掌握頂尖能源研究機構最新研究方向及成果等，本公司於 112 年正式加入旗下能源倡議未來能源研究中心會員，會員權益包括：參加重點領域研討會、系列研討會、中央研發諮詢委員會、年度研究會議、春季研討會及獲得相關研究報告等。

114 年 4 月 22 日 MIT 能源倡議前主任 Professor Robert C. Armstrong 率領 6 位代表、周顧問及李博士共 8 位來訪交流，雙方就儲能、能源系統建模、電網韌性、低碳燃料等議題進行交流，本公司由董事長、總經理率相關主管同仁共同與會交流 (如圖 13)。



圖 13 董事長與總經理參與麻省理工學院 (MIT) 能源倡議來訪交流

(五) 綜合研究所統籌全公司研究計畫項目

編號	計畫名稱	主辦單位	研究期間	經費(千元)
1	本公司發展策略及永續經營管理	企劃處	111-115	15,718
2	台中發電廠碳封存先導試驗	營建處	113-125	63,752
3	萬里水力發電計畫崩坍地補充調查及效益再評估技術服務工作	營建處	113-114	3,296
4	地質資料庫建置及整合應用研究	營建處	114-117	3,607
5	電力設施附近生態調查監測與保育復育規劃	環境保護處	112-116	8,289
6	污染防治之管理與技術研究	環境保護處	113-115	36,830
7	綠色企業深化研究	環境保護處	111-115	5,049
8	溫室氣體減緩與調適研究	環境保護處	111-115	29,390
9	環教及景觀之規劃	環境保護處	111-115	17,195
10	環保政策溝通與落實	環境保護處	113-115	7,032
11	電力設施計畫環境影響評估	環境保護處	112-116	39,842
12	台電資料庫發展圖像研究案 (114-115)	資訊系統處	114-115	1,763
13	數位發展策略與應用推動研究	資訊系統處	112-116	6,963
14	台電多雲架構下雲端治理及數位韌性實踐之研究	資訊系統處	114-115	2,006
15	水力發電計畫調查規劃研究	電源開發處	111-115	32,195
16	火力發電計畫規劃	電源開發處	112-116	34,244
17	未來新電力負載型態對於系統合理夜間備用容量率之評估	電源開發處	113-115	1,920
18	大型機組配合調度單位排程結果之即時調度技術研究	電力調度處	113-115	6,185
19	儲能系統加入於全黑起動路徑規劃與分析	電力調度處	113-116	1,385
20	再生能源發電量削減規則之研究	電力調度處	114-115	1,479
21	核能電廠緊急應變計畫區檢討修正暨緊急應變計畫豁免評估	核能電廠緊急計畫執行委員會	111-114	4,185
22	核能電廠國際熱水流程式維護合作及救援策略模擬精進計畫	核能安全處	110-114	1,456
23	電廠事業廢棄物環境賀爾蒙檢測技術及監控系統開發	核能安全處	112-114	1,501
24	核電廠各階段嚴重事故模擬技術提升及應用	核能安全處	113-118	2,124
25	核能一、二、三廠緊急應變計畫區內民眾防護措施分析及規劃檢討修正	放射試驗室	113-115	2,285
26	綠能開發計畫調查規劃	再生能源處	111-115	2,068

編號	計畫名稱	主辦單位	研究期間	經費(千元)
27	強化電網系統穩定度與可靠度	綜合研究所	112-116	50,453
28	智慧電網資通訊標準檢測及應用技術之建立	綜合研究所	112-114	36,508
29	分散式電源應用與饋線韌性技術開發	綜合研究所	112-116	114,593
30	前瞻通訊技術研究	綜合研究所	110-114	36,402
31	即時動態模擬應用於電力設備性能驗證之研究	綜合研究所	111-115	39,092
32	IEC 61850 下之資通訊分析與應用研究	綜合研究所	112-114	23,714
33	先進資通訊暨資安技術導入與應用研究	綜合研究所	112-114	29,935
34	風機與電廠發電設備健康診斷及安全性評估	綜合研究所	112-116	19,863
35	電力組件先進再生及延壽更新技術研發	綜合研究所	113-116	191,388
36	鍋爐材料保固技術建立與應用	綜合研究所	112-114	29,667
37	電業水資源與環境管理技術研究	綜合研究所	111-115	3,676
38	電化學應用與電池儲能技術研究 (I)	綜合研究所	114-118	83,898
39	二氧化碳捕集、封存與再利用技術研究 (III)	綜合研究所	110-114	104,434
40	電廠資源永續與煙氣淨化技術研究	綜合研究所	112-116	12,980
41	電業生態保育與海洋牧場技術研究	綜合研究所	112-116	11,397
42	國際交流暨科技研發創新策略規劃和評估	綜合研究所	112-114	4,741
43	電業材料再生利用與檢測診斷技術	綜合研究所	113-116	2,186
44	小區域電能供需平衡與智慧用戶電能技術開發與推廣研究	綜合研究所	113-117	12,549
45	電力電子應用分析	綜合研究所	112-116	13,605
46	電力設備智慧診斷與災害防制技術	綜合研究所	113-117	16,180
47	火力機組效能提升與氫能發電應用研究	綜合研究所	113-117	36,871
48	分散型能源發電技術應用與整合評估	綜合研究所	113-117	135,902
49	電力設備熱流工程性能分析及控制技術研究	綜合研究所	110-114	914
50	電力設備油氣試驗整合之故障診斷技術研究	綜合研究所	113-117	3,700
51	配電維護與配電圖資應用研究	綜合研究所	113-115	40,086
52	能源轉型對電力部門之衝擊與因應策略	綜合研究所	114-116	31,781
53	需求端智慧電能管理與服務技術研究	綜合研究所	110-114	36,695
54	用戶經營管理策略與前瞻科技應用規劃	綜合研究所	114-116	22,878

註：上表第 2 欄所列各項計畫包含本所統籌之各項母計畫及突發計畫；第 5 欄所列經費為計畫當年度實際執行金額。



台電公司綜合研究所
Taiwan Power Research Institute
Taiwan Power Company

所本部：台北市羅斯福路四段 198 號
TEL: (02) 8369-5758
FAX: (02) 2364-9611
樹林所區：新北市樹林區大安路 84 號
TEL: (02) 2681-5424
FAX: (02) 2682-2793