

出國報告（出國類別：實習）

售電大數據服務應用之研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：王世儒(用電分析專員)

派赴國家/地區：美國

出國期間：113年12月4日至113年12月15日

報告日期：114年2月6日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：售電大數據服務應用之研習

頁數 30 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司人力資源處/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

王世儒 / 台灣電力公司 / 業務處 / 用電分析專員 / 02-23666672

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113 年 12 月 4 日至 113 年 12 月 15 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：114 年 2 月 6 日

關鍵詞：大數據 (Big Data)、人工智慧 (AI)、機器學習(Machine Learning)

內容摘要：

本次出國參訪涵蓋了與美國電力技術研究院 (EPRI)、加州獨立電力調度中心 (CAISO)、KC Exousia Consulting 及 PowerInfo 等機構的深入交流，並聚焦於電業大數據的應用與發展，以提供台電在數位轉型與電力市場優化上的參考。

EPRI 針對 AI 在電業的應用提供了寶貴見解，展示如何透過 AI 強化電力系統的監測與預測能力，進一步提升電網營運效率。CAISO 則分享了 ISO Today 應用程式，該工具運用大數據技術提供即時的電力供需、碳排放與價格資訊，並透過視覺化呈現來強化電網調度的透明度與決策支援。KC Exousia Consulting 在負載預測方面展現了 AR 與 LSTM 演算法，透過歷史數據訓練模型，精確預測未來電力需求，以提升需求面管理能力。而 PowerInfo 則聚焦於電網視覺化技術，展示 CIM 模型的數據分析與轉換能力，為電業提供更直觀的管理工具。

透過此次參訪，深入了解美國電業如何運用大數據與 AI 技術進行需求面管理與用戶服務優化，這些經驗將為台電在大數據運用、人工智慧、用戶服務和數位轉型等方面提供了多元思路。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網
(<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

壹、出國緣起與目的.....	2
貳、出國行程.....	3
參、參訪單位.....	3
一、EPRI	3
二、CAISO	15
三、KC Exousia Consulting	21
四、PowerInfo	25
參、心得與建議.....	29

壹、出國緣起與目的

在全球能源市場快速變遷的背景下，電力產業正面臨數位轉型的挑戰。隨著市場自由化的推動，各國售電業者紛紛採取數據驅動的策略，透過大數據分析及人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 技術提升營運效率，並發展更具競爭力的客戶服務模式。美國作為電力市場改革與技術創新的領先國家，許多電力公司已成功運用大數據技術進行用戶行為剖析，發展客製化的售電增值服務，同時將生成式人工智慧 (Generative AI) 技術應用於智慧營運與需求面管理，以強化用戶體驗並提升電力供應效率。為因應未來能源市場變革，本次赴美考察的核心目標即是瞭解美國售電業如何透過大數據與 AI 技術推動數位轉型，並藉此作為本公司未來規劃智慧營運策略的參考依據。

隨著能源轉型趨勢的加速，電業不僅需要確保穩定供電，更須因應綠能併網、用電行為變化及市場競爭加劇所帶來的挑戰。在開放用戶選擇權的環境下，美國售電業已逐步運用 AI 與大數據技術進行負載預測、需求面管理以及動態定價，以優化電網運作並提升市場競爭力。而透過用戶行為分析，美國電業可根據消費者的歷史用電數據、行為模式及偏好，提供精準的個人化服務，進一步提升客戶黏著度。這些創新模式為全球電業提供了有價值的借鏡，因此，透過本次考察，期望蒐集美國售電業在大數據分析與 AI 應用上的成功案例，作為本公司未來發展智慧化營運藍圖的重要參考。

本次考察將透過實地參訪美國多家電力技術與數據應用領域的機構，以獲取第一手的實務經驗。首先將造訪美國電力技術研究院 (EPRI)，交流其在電力領域如何運用 AI 進行營運優化與電網管理，並探討 AI 技術於電力市場的未來應用趨勢。接著將參訪加州獨立電力調度中心 (CAISO)，了解其如何透過大數據技術進行電網負載調控、需求面管理以及再生能源發展的調度策略。抵達西雅圖後，將拜訪 KC-Exousia Consulting 顧問公司，了解該公司如何運用大數據技術於智慧電網解決方案，以提升電力調度效率。最後，將拜訪 PowerInfo 電力系統軟體供應商，探討數據驅動的電網視覺化分析工具如何幫助電業進行探索性數據分析，以優化電力資源配置與市場營運模式。

本次參訪期望能夠獲取美國電業在運用大數據分析技術發展客戶增值服務的創新模式，並觀摩 AI 在電業的應用案例，以作為本公司未來發展策略的重要依據。同時，藉由與美國電業領域的專業機構交流，進一步瞭解市場趨勢、技術發展及最佳實務，為未來本公司在電力大數據應用上的決策提供科學依據，並強化需求面管理能力，以應對能源轉型帶來的挑戰與機遇。

貳、出國行程

- 研習日期：113 年 12 月 4 日至 113 年 12 月 15 日，共計 12 天。
- 出國行程：

日期	地點	參訪機構
12/4(三)	往程	
12/5(四)、12/6(五)	矽谷	美國電力技術研究院 (Electric Power Research Institute, EPRI)
12/9(一)、12/10(二)	沙加緬度	加州獨立電力調度中心 (California Independent System Operator, CAISO)
12/12(四)	西雅圖	KC-Exousia Consulting 顧問公司
12/13(五)	西雅圖	PowerInfo 電力系統軟體供應商
12/14(六)-12/15(日)	返程	

參、參訪單位

一、EPRI

(一)美國電力技術研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)簡介

美國電力技術研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)成立於 1972 年，當時正值美國經歷能源危機，電力需求快速增長，但資源供應面臨極大壓力，迫使電業尋求技術突破以解決資源有限與需求增長之間的矛盾，其成立初衷是為了促進科學研究與技術創新，協助電業提升資源使用效率、改善電力系統可靠性，並確保能源的持續供應。作為非營利研究機構，EPRI 的使命是為全球電業提供科學根據，推動技術進步，並應對日益複雜的能源挑戰。

成立以來，EPRI 持續在能源技術創新領域發揮著重要作用。隨著全球能源轉型與數位化進程的加速，EPRI 將大數據技術作為其研究的核心之一，專注於智慧電網、再生能源整合、儲能技術優化及預測分析的應用。透過將大數據與人工智慧相結合，EPRI 開發了多種解決方案，用於提高電網運行效率和資源配置能力。例如，EPRI 推出了基於大數據的實時監測與故障診斷技術，能即時分析來自電網的感測器數據，幫助快速定位潛在問題並提供優化策略，從而顯著提升電網穩定性與營運效率。此外，EPRI 在設備管理方面也取得了重大進展，透過數據分析來監控設備狀態並預測維護需求，為延長基礎設施壽命和降低運維成本提供了具體方案。

除了電網管理和設備維護，EPRI 在推動大數據技術在再生能源整合中的應用上也是不遺餘力。隨著風能、太陽能等間歇性能源的大規模併網，電網面臨更高的不穩定性。EPRI 利用天氣數據、能源產出數據和市場需求數據開發了動態調度模型，幫助電網營運商更高效地整合再生能源，並通過優化儲能系統的充放電策略來平衡供需。此外，EPRI 也積極探索分散式能源數據的整合與分析技術，推動電網的數位化與分散化進程。

未來 EPRI 計劃進一步深化大數據技術在電業的應用，特別是在生成式 AI 的結合上。未來的研究將集中於如何利用生成式 AI 來模擬複雜的能源供需場景，為電網營運和政策制定提供更科學的決策依據。EPRI 也將致力於開發更多基於大數據的預測模型，用於應對極端天氣事件以及能源供應不穩定帶來的挑戰。同時，隨著分散式能源與智慧電網的快速發展，EPRI 計劃設計新一代數據平台，用於實現分散式能源的全面數據整合與優化。

為了推動全球能源轉型，EPRI 的研究將不僅局限於技術層面，還將著眼於建立統一的數據標準與框架，以促進全球電力數據的共享與協作。透過這樣的努力，EPRI 希望能為智慧電網的全球化發展提供技術支撐，並成為能源技術創新的全球引領者。

(二) 參訪內容

感謝 EPRI 亞太區總經理連天干(Tiangan Lian)博士安排專家學者 Jeremy Renshaw 博士分享 EPRI 有關的大數據運用及人工智慧的相關案例與研究成果：

1、Pano AI：運用人工智慧的野火監測與預警系統

Pano AI 是一家致力於運用人工智慧技術進行野火(wildfire)監測與預警的新創公司，專注於解決日益嚴峻的極端氣候所帶來的挑戰。這家公司擅長運用影像辨識與機器學習技術，為政府機構、消防部門以及社區提供更早期、更準確的火災風險預測與實時監測解決方案，目的是縮短火災反應時間並減少野火對生態系統和人類安全的威脅。

Pano AI 的技術是基於高解析度的 AI 攝影系統，這些攝影機被重點部署於高風險的野火區域，以全天候捕捉地形與環境的實時變化。系統採用人工智慧和電腦視覺技術，結合大數據分析以快速識別潛在的火災風險。攝影機不僅能提供高畫質影像，還能同時結合地形特徵、植被密度、風向以及濕度等多項關鍵環境因素進行分析，資料經過即時處理與分析，Pano AI 可以準確定位火源，生成預警訊息並自動通知相關部門，為決策者和消防人員縮短反應時間。Pano AI 已被應用於美國多個野火高風險地區，並得到了消防機構和環境管理機構的高度評價。許多地區報告指出，Pano AI 的系統有效提升了火災監測的效率，顯著縮短了從火源發現到應對的時間，減少了火災的蔓延範圍，並降低了對周邊社區的威脅。此外，隨著資料的不斷累積，模型變得更加精準，能夠識別更細微的火災跡象，進一步提高了風險預測的可靠性。

與傳統野火監測方法相比，Pano AI 的技術不僅提升了精確性與效率，還大幅降低人工巡查和傳統監測手段的局限性。傳統監測手段往往受到地理條件的限制，而 Pano AI 的攝影系統能夠彌補這個不足，實現全天候的監測。此外，該系統還具有極高的擴展性，未來可進一步應用在更多高風險地區，並為其他氣候相關災害管理提供技術參考。

隨著全球面臨極端氣候，野火的頻率與強度日益增加，Pano AI 作為創新解決方案，不僅是對當前危機的直接應對，更是實現長期環境保護與人民安全的重要方向。透過持續技術創新，Pano AI 將為野火預防提供有效率且可靠的工具，並在應對全球極端氣候中扮演不可或缺的角色。



圖表 1：Pano AI 攝影系統 Resource：Pano AI

2、無人機與人工智慧在輸配電設備檢測中的融合應用

無人機與人工智慧的結合正逐步改變輸配電(Transmission and Distribution, T&D)設備檢測的方式，這項技術進步為傳統的檢測方法帶來了更高的安全性、更低的成本和更高的效率。EPRI 正致力於研究如何通過無人機和 AI 技術，實現更安全、更便宜且更有效的電力設備檢測方法，為電業提供突破性解決方案。

檢測輸配電基礎設施的主要目的是降低停電風險，通過準確定位需要維修或更換的設備，確保電網的穩定性與可靠性。傳統的檢測方式如使用直升機等飛行器進行空中巡查，攀爬電桿、使用吊車和徒步檢查等，不僅耗費大量人力、時間和資源，在偏遠地區或危險環境中還存在一定的安全風險。而導入無人機技術既能覆蓋更多區域，又能讓檢測人員留在地面，大幅降低風險。與此同時，人工智慧的快速發展進一步提升了檢測的精準性與效率。EPRI 著手結合這兩種技術，探索如何改變傳統檢測的操作模式，提升數據的可用性與分析能力。

EPRI 的研究基於先前無人機影像捕捉的經驗，結合低成本的無人機技術與 AI 模型，開發出一種全新的輸配電設備檢測方法。無人機可以快速捕捉大量高品質影像，而 AI 則負責分析影像中的細節，如識別設備破損、老化和其他潛在問題。這一方法極大地減輕了人工處理的負擔，並提高了檢測的精準度。EPRI 收集了來自全美公用事業的約 7,000 張輸電設備影像，並對這些影像進行了篩選與標記，確定影像中的元件是運行正常還是存在缺陷。這些經過標記的影像被分享給 AI 開發者與研究人員，幫助他們理解檢測標準與判

斷準則，進一步訓練模型。

EPRI 還採用了未曾用於訓練的資料集來測試這些 AI 演算法，以模擬其在實際應用中的表現。儘管這是許多演算法首次被應用於輸電基礎設施的檢測，其預測結果仍展現出不錯的準確性，顯示出這一研究方向的巨大潛力。研究成果顯示，無人機與 AI 的結合能顯著提升輸配電設備檢測的效率和效果。首先，這一方法降低了檢測的成本與風險，使檢測人員無需親身進入高危險區域即可完成巡檢工作。其次，AI 技術能以有效率且精確的方式分析大規模影像數據，快速識別出需要維修或更換的設備。此外，EPRI 的測試結果表明，這些模型能為公用事業提供可靠的決策依據，幫助其更快地應對電網故障風險。

EPRI 計劃在未來收集超過 10 萬張輸配電設備影像，並持續精進模型的效能，最終實現與傳統檢測方法相媲美甚至超越的檢測效果，這些研究成果將為輸配電檢測的標準化與技術升級提供指引。雖然完全自動化檢測在短期內仍難以實現，但無人機與 AI 技術的逐步融合正穩步推動檢測方法的改進。EPRI 將繼續專注於這些技術的應用，通過提供客觀、統計有效的測試數據，為公用事業評估技術現狀與性能提供支援。此外，EPRI 的長期目標是實現輔助檢測的進一步增強，讓輸配電設備檢測變得更安全、更有效率、更經濟。這一創新的方法不僅有助於降低營運與維護成本，還將成為電業邁向數位化與智慧化的重要里程碑。



圖表 2：無人機在現場測試中拍攝變電站設備 Resource：EPRI

3、使用衛星圖像識別美國西部的瀕危樹木

使用衛星圖像識別美國西部的瀕危樹木是一項針對電力設施安全的創新研究，其主要目的是通過先進的遙測技術及機器學習模型，對靠近輸配電線路的瀕危樹木進行早期檢測，從而減少樹木倒塌導致的線路損壞與供電中斷。這項研究建立在 EPRI 早期在美國東部地區的研究基礎上，進一步擴展至美國西部，聚焦於利用多光譜衛星圖像和機器學習技術進行樹木受壓(stressed)程度檢測和分類。

研究選擇了加州的三個地點作為試驗場地，這些地點具備三項重要條件：(1)擁有大量受壓和枯死的樹木、(2)具有衛星圖像和航拍數據、(3)地面環境便於進行實地驗證。研究中利用 LiDAR 數據對樹冠進行劃分，生成樹木的精確樹冠地圖，幫助樹醫師定位並評估現場 500 棵樹木的狀態。這些實地評估數據隨後被用於訓練和測試兩種機器學習模型：隨機森林模型(Random Forest)與支持向量機模型(Support Vector Machine, SVM)。

研究測試了一個包含七個樹木受壓程度分類的模型，這些分類包括 0%、20%、40%、60%、80% 的受壓程度，以及枯死的樹木。該模型的準確率達到 72.5%。為進一步提升檢測的準確性，研究另外簡化成二元分類問題。該模型將樹木分為兩類：需要維護行動的高受壓樹木，以及受壓程度較低或無受壓、僅需持續監測的樹木，簡化模型的準確率提升至 82%，顯示其在實際應用中的更大潛力。

此項研究的亮點在於其對樹木受壓的早期檢測能力，這使得靠近輸電線路的植被管理變得更有效率。透過準確識別需要維護的瀕危樹木，此技術有助於減少電力基礎設施的潛在損害，並降低維護成本與事故停電的風險。此研究不僅展示多光譜衛星圖像與機器學習技術的融合應用，也為植被管理和電網安全提供了一種可靠且先進的解決方案。



圖表 3: 使用衛星圖像識別美國西部的瀕危樹木示意圖 Resource: EPRI

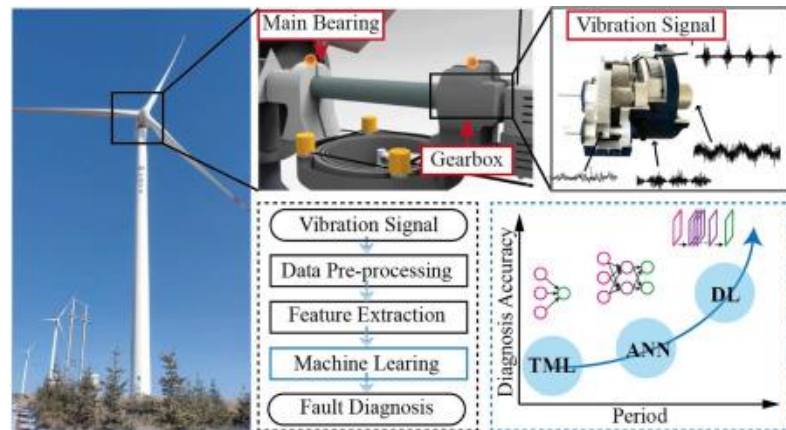
4、機器學習在風力渦輪機傳動系統中的應用

風力渦輪機的傳動系統(Drivetrain)是風力發電穩定運行的核心，但其齒輪箱與發電機故障卻是導致營運和維護(O&M)成本增加及渦輪機停機的主要原因之一。及早預測齒輪箱與發電機的損壞情況，能幫助操作人員合理安排低成本的預防性維護，延長風力渦輪機的使用壽命並提高發電效率。為滿足此需求，EPRI 開發了一套基於機器學習的方法，用於風力渦輪機驅動系統狀態監測，目的是降低營運成本，並預防災難性故障的發生。

在這項研究中，EPRI 利用風力渦輪機的資料採集與監視系統(SCADA)數據，分為訓練集、測試集和驗證集，並使用這些資料集建立一系列機器學習模型，旨在評估模型的表現以及機組狀態退化趨勢。這些模型能夠及早檢測設備損壞跡象，為操作人員提供足夠的時間安排維護工作，避免設備進一步惡化或引發重大損壞。

EPRI 的方法亮點在於其技術的通用性和可擴展性。通過針對不同風力渦輪機平台以及多家齒輪箱與發電機供應商進行測試，驗證這些模型在不同設備和場景中的適用性與準確性，而高泛化能力的模型為風力渦輪機產業提供了一種通用的解決方案，能夠在不增加額外硬體成本的情況下，充分利用現有 SCADA 數據進行分析。研究成果顯示，基於機器學習的監測方法能夠顯著降低風力渦輪機的營運和維護成本，通過及早檢測損壞，避免重大設

備故障的發生，不僅延長了設備的使用壽命，還提高了發電系統的整體運行效率。這些技術的成功應用不僅限於風力渦輪機，也可推廣至其他包含齒輪箱與發電機的發電設施，為風力發電業提供了一個低成本、高效率的解決方案。隨著機器學習技術的不斷進步，這種監測方法有望進一步提升其準確性與適用範圍，成為推動再生能源產業發展的重要技術基石，從而產生更大的公共效益。



圖表 4：機器學習診斷風機齒輪故障示意圖 Resource : ScienceDirect

5、Learning to Run a Power Network (L2RPN)

Learning to Run a Power Network (L2RPN) 是一項國際性挑戰賽，其目的是測試強化學習(Reinforcement Learning, RL)技術在電網控制中的潛力，追求以最具成本效益的方式實現電網的安全、穩定運行，同時保障設備和人員的安全。隨著各國政府致力於推進電力部門的去碳化以及其他產業的電氣化，以實現 IPCC 的氣候目標，L2RPN 挑戰賽的探索具有重要的社會意義。

強化學習是人工智慧的一種重要技術，通過讓智慧代理(Agent)與環境交互，學習在不同情境下的最佳行動，以實現長期目標的最大化。代理根據環境的狀態(State)選擇行動(Action)，並通過獎勵(Reward)訊號不斷優化策略(Policy)。強化學習不依賴事先標記的數據，而是透過試錯的方式探索解法，特別適用於動態和不確定的環境。隨著深度學習技術的發展，深度強化學習(Deep RL)結合了神經網絡和強化學習，能解決複雜的高維度問題，如遊戲策略、自動駕駛和機器人控制等。儘管強化學習面臨高計算成本和訓練效率等挑戰，其自學與適應能力使其成為解決現實世界中複雜問題的重要方法，並在能源管理、

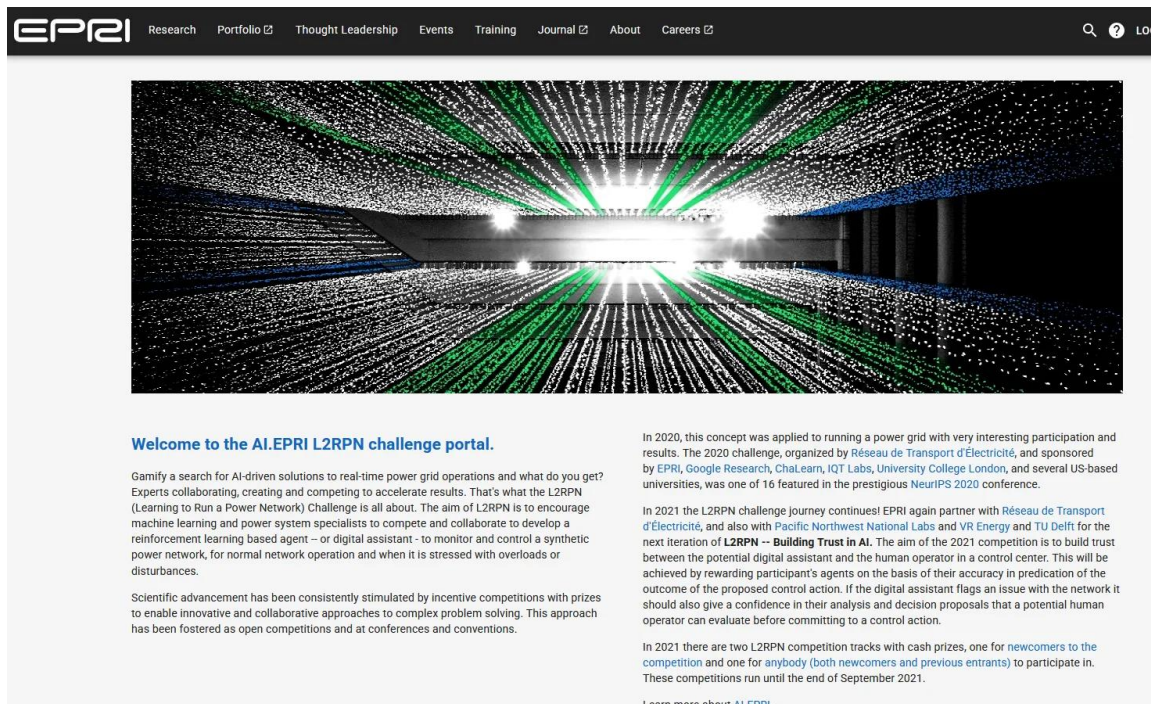
金融交易等領域展現出巨大潛力。

目前用於電網控制的傳統軟體、計算方法和最佳功率流解決方案，無法在合理的計算時間內滿足短期時間範圍內的實時電網營運需求。另由於電力生產與消費模式的改變，電力系統的運行越來越傾向於隨機化(stochastic)控制問題，而非傳統的確定性(deterministic)控制問題。為了解決這些複雜性，開發新一代的計算方法成為必然。

L2RPN 的核心目標在於探索強化學習技術作為電網控制的解決方案。比賽中參賽者需訓練 RL 代理模型來識別和利用電網中未充分挖掘的靈活性，這些潛力往往是傳統解決方案或調度員未曾察覺的。RL 技術的導入有望與調度員協作或並行運作，以優化電網的安全性與可靠性。同時，強化學習代理可以促進更多再生能源資源的接入，降低運行成本，並確保穩定供電，避免對電力設備造成損害。

這項挑戰的另一個重要目的是推動電網控制問題的受眾範圍更加廣泛，鼓勵來自電力系統領域與強化學習/機器學習領域的專家共同合作。這種跨領域的合作將不僅深化電網營運中的技術創新，還將建立一個匯聚多領域知識的研究與應用生態。

L2RPN 的亮點在於其創新的賽題設計和應用目標，它不僅讓強化學習技術直接參與解決實際的電網控制問題，還將未來能源轉型中面臨的關鍵挑戰，如成本優化、再生能源整合和設備保護，納入到技術探索之中。通過這項挑戰，參賽者不僅能推動 RL 技術在電網領域的應用邊界，也為全球能源系統的數位化與智慧化貢獻了重要的技術支援。



圖表 5：L2RPN 競賽網頁 Resource：EPRi

6、Generative AI Beta Test on EPRi

訪談中 EPRi 介紹了他們如何應用生成式 AI 中的檢索增強生成(Retrieval-Augmented Generation, RAG)來提升研究效率。EPRi 利用 RAG 技術檢索其龐大的技術報告和文獻資料庫，為研究人員提供更加有效率的搜尋工具。這一創新應用能幫助研究人員節省大量時間，不再需要手動翻閱大量文檔，而是透過 AI 快速找到相關的技術資料和研究內容，從而將更多精力投入到關鍵的研究工作中。

RAG 技術是先從文本資料庫中檢索相關資料後，結合提示詞 (prompt) 讓大型語言模型(Large Language Model, LLM) 生成內容。這讓使用者能夠快速獲得具體且清晰的答案，進一步提高工作效率。但此技術目前仍處於測試階段，尚未達到完全成熟和穩定的應用水平，因為生成式 AI 的「幻覺」(Hallucination)會使其在生成內容時自信地輸出錯誤或虛假的訊息，表面上看起來可信，但實際上與事實不符。儘管 RAG 技術為研究提供了極大的便利，我們在使用這些生成內容時仍需保持謹慎，務必進一步驗證 AI 提供的資訊是否準確可靠，而不能完全依賴 AI 的結果。

因此，在探索生成式 AI 的應用時，雖然技術能夠提供便利並提升效率，但也需要謹慎面對技術的局限性，尤其是在尚未完全成熟的階段，對 AI 的結果進行必要的審查和校

對，從而在利用技術優勢的同時，避免因錯誤資訊而影響研究的正確性和可信度。這段訪談內容不僅展示了 EPRI 在生成式 AI 應用方面的前沿探索，也提醒我們在技術創新中要秉持謹慎與理性的態度。

7、經驗分享

此次訪談的最後，EPRI 分享了一個極具啟發性的觀點：「更大量(好)的資料、更大的模型、更多的思考時間」(model large (clean) data, model large model, and more long time to think)，意即 AI 的發展的核心問題—資料的重要性。隨著 AI 技術的日益進步，確實看到了許多創新技術和解決方案接連出現，但真正能夠推動這些技術發揮價值的，並不是僅僅依賴於演算法的複雜度，而是回歸到最基本的根本：資料品質及其多樣性。

無論 AI 的技術多麼強大，若擁有的資料數量不足，或者資料品質不佳，即便使用再強大的 AI 模型，也無法取得令人滿意的應用成果。AI 的發展過程就如同建造一座大廈，資料便是這座建築的地基。資料量與資料多樣性決定了 AI 可以學習的深度與廣度，而資料品質則決定了 AI 模型預測與決策的準確性。因此，在追求技術進步的同時，必須時刻關注資料的基礎工作，確保其足夠強健以推動 AI 的應用場景。

當擁有高品質且多樣化的資料時，配合更先進的演算法和模型，加上能夠支撐長時間訓練運算的硬體設備，AI 的能力將會大幅提升。隨著 GPU 的逐漸普及，大幅的提高了運算效率，以往需要數月訓練的模型，如今在幾天甚至幾小時內便可完成。隨著硬體的進一步進化，將能進行更大規模、更長時間的模型訓練，讓 AI 在更大的資料集上學習，提升其對複雜問題的理解能力；資料的多樣性能幫助 AI 模型更全面地應對現實中的各種情境，減少模型對單一資料模式的依賴，從而提升其泛化能力。而資料品質的提升不能僅僅依靠數量的增長，還需要透過標記與清理等方法，確保資料在細節上的準確性與一致性，這樣才能為 AI 的訓練提供可靠的基礎。

最後，EPRI 方面對未來 AI 的發展仍充滿信心，他們相信隨著資料、技術和硬體的同步進步，AI 的應用潛力將進一步被挖掘。不僅能在更短的時間內取得更好的成果，也能將

AI 的應用擴展至更多更複雜的領域。在技術快速更迭，應始終保持對基礎工作的重視，因為只有牢固的基石，才能建構起令人驚嘆的未來科技藍圖。

(三) 小結

氣候差異對於一個地區的自然環境和災害防治至關重要。美國西岸的溫帶地中海型氣候與台灣的亞熱帶氣候，雖然在地理特徵上存在顯著差異，但兩地都面臨著各自獨特的天然災害挑戰。台灣常年面臨颱風和地震的威脅，這些自然現象不僅考驗著國家的防災能力，也影響著基礎設施的韌性。相比之下，美國西岸，特別是加州地區，則更常遭受野火的肆虐。這些天然災害不僅造成巨大的經濟損失，更對當地居民的生活安全構成嚴峻威脅。在面對這些挑戰時，兩地都展現出積極因應的態度和創新思維。台灣在電力基礎設施管理方面已經邁入智慧科技時代。台電公司運用先進的人工智慧技術，如 RAG 技術，顯著提升了客戶服務的效率。此外，導入無人機技術為輸電線路的維護帶來革命性的改變，不僅提高了作業效率，更大幅降低了人員作業風險。而在美國，儘管在野火防治方面仍有改進空間，但近年來在災害預防和應對技術上也持續投入大量資源。以加州為例，歷經近年頻繁且具毀滅性的野火後，當地政府和電力公司正積極尋求更先進的預警和防護系統。對台灣而言，這些國際經驗提供了寶貴的借鑒，必須持續強化防災韌性，特別是在颱風和地震等自然災害頻發的環境中。這不僅需要先進的技術支援，更需要系統性的整合和持續的創新。穩定供電是維持社會正常運轉的關鍵，因此在關鍵基礎設施的防護和電網韌性上，必須保持高度警惕和投入。通過學習和借鑒不同地區的災害防治經驗，可不斷完善自身的防災體系，為社會的安全和穩定提供更有力的保障。這種持續學習和創新的精神，正是提升國家整體防災能力的關鍵所在。



圖表 6：與 EPRi 團隊合影

二、CAISO

(一)加州獨立電力調度中心 (California Independent System Operator, CAISO) 簡介

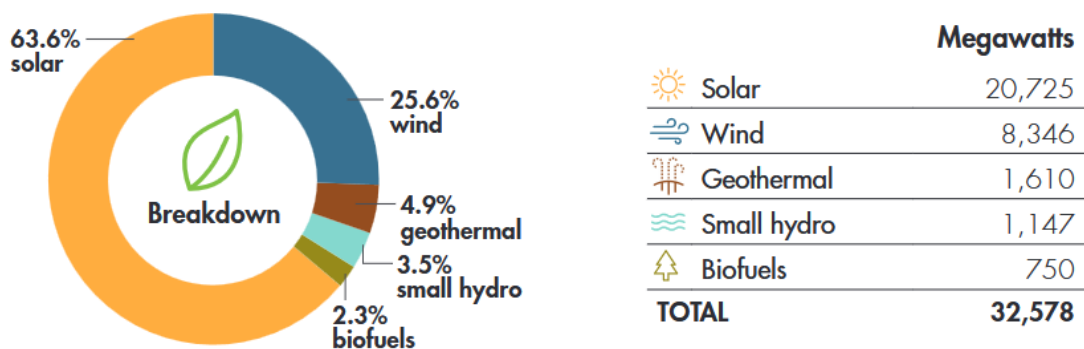
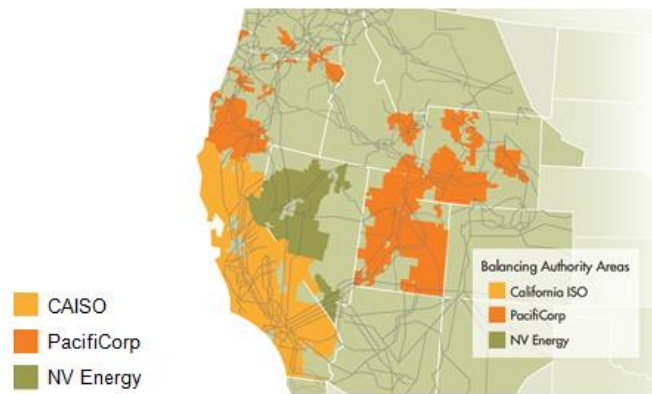
加州獨立電力調度中心 (CAISO) 成立於 1998 年，其核心使命是確保加州電力市場的公平、開放與高效運行，並為全州的電力消費者提供穩定可靠的電力供應。作為全美最先進的電力市場營運機構之一，CAISO 的成立目的是推動電業的市場化改革，打破傳統的垂直整合模式，促進競爭，提升電力傳輸與分配的效率。此外，CAISO 亦肩負著統籌管理再生能源併網的重任，致力於實現加州能源結構向清潔能源的轉型。

CAISO 負責管理全加州以及部分鄰近地區的廣大電網，包含全州數千萬用戶的電力需求。隨著再生能源發電比例的不斷提升，CAISO 在整合風能、太陽能等間歇性能源資源方面，取得了顯著的成效。為解決再生能源的波動性對電網穩定性的挑戰，CAISO 開發了一系列創新技術，包括即時市場調度系統、儲能資源的整合應用，以及跨區域電力交易計劃，這些舉措有效提升了電網的韌性與靈活性。此外，CAISO 利用高頻感測數據和先進的數據分析工具，實現了實時電網監控與智慧調度，為能源市場參與者提供透明和可靠的數據。

作為全球能源轉型領導者，未來 CAISO 將持續推動其數位化和智慧化發展，以應對再生能源比例進一步提升所帶來的挑戰。CAISO 計劃結合人工智慧與大數據技術，強化電力需求的預測能力，並優化資源配置。同時，隨著分散式能源資源(Distributed Energy

Resources, DERs)和儲能設備的普及，CAISO 將積極探索如何更好地將這些新型資源納入電網，從而構建一個更加靈活且有效率的能源系統。此外，CAISO 還計劃加強與社區和市場參與者的合作，透過數據共享和透明化的市場機制，促進能源管理的協同發展，進一步支援加州的清潔能源目標。

此次參訪 CAISO 的目的是交流如何運用大數據技術應對再生能源發展的挑戰，特別是在高比例再生能源併網情境下，維持電網穩定與高效運行的成功案例。加州在能源轉型中的經驗，特別是在數據整合與智慧調度方面的創新實踐，為全球電業提供了寶貴的參考。希望能夠藉由此次參訪，了解 CAISO 如何將大數據應用於再生能源的調度與管理，並將這些經驗運用於電力規劃與管理工作中，助力能源轉型的實現。



圖表 7：CAISO 供電區域與再生能源裝置容量(Dec, 2024) Resource：CAISO

(二) 參訪內容

CAISO 開發的 ISO Today 應用程式是一款即時監測與分析電力市場運行情況的視覺化

分析平台，提供使用者即時的電網狀態、供需平衡、能源來源、碳排放以及市場價格資訊，幫助電力市場參與者、政策制定者與一般用戶更透明地了解加州電力系統的運作。應用程式的功能涵蓋 Home(首頁)、Demand(電力需求)、Supply(電力供應)、Emissions(碳排放) 以及 Prices(電力價格)，讓使用者能夠全面掌握加州電網的即時數據。

首頁(Home)為使用者提供了電網的即時運行狀態，包括目前裝置容量(Capacity)、系統負載(Demand)以及備轉容量(Reserves)。這些資訊能夠幫助使用者了解電力系統是否處於穩定狀態，並能夠查看即時的電力趨勢。透過數據視覺化，應用程式呈現了當前再生能源的供應占比，以及未來幾小時內可能的可用電力，讓 CAISO 能夠提前因應供需變化。

在電力需求(Demand)功能中，ISO Today 提供了詳細的即時負載數據，包括當前系統負載、未來幾小時的預測需求，以及電網的儲備能力。應用程式透過歷史趨勢分析與機器學習技術，預測當日與次日的尖峰負載，幫助調度員做出更準確的資源配置。此外，需求趨勢(Demand Trend)與資源充足率趨勢(Resource Adequacy Capacity Trend)等數據圖表，讓使用者能夠快速了解電力需求的變化，確保電網營運能夠穩定應對未來的負載挑戰。

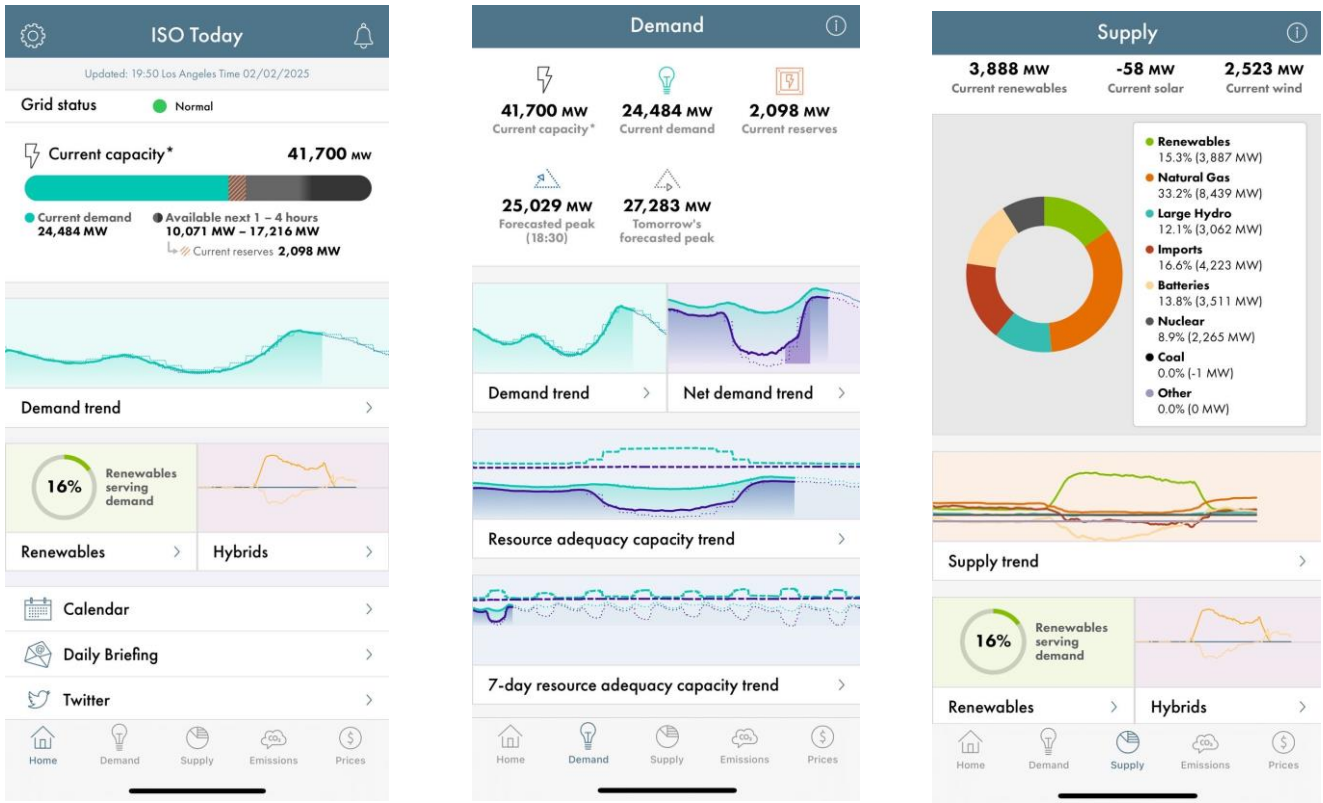
電力供應(Supply)功能則詳細顯示了當前各種能源來源的供應情況，包括再生能源、天然氣、核能、水力發電、進口電力與儲能電池等不同能源占比。應用程式透過動態圖表展示當前電網的發電結構，並能夠追蹤再生能源的即時發電量。這些資訊對於再生能源併網管理至關重要，使用者可以透過應用程式觀察風能、太陽能等再生資源的即時輸出，進一步了解再生能源在電網中的貢獻。此外，電力供應趨勢圖表幫助電力市場參與者評估能源結構的變化，確保電網供應充足。

碳排放(Emissions)功能則提供了電力生產所產生的二氧化碳排放量與碳排放速率($m\text{TCO}_2/\text{MWh}$)，即時追蹤加州電網的碳排放數據，顯示不同能源來源所貢獻的排放比例，例如天然氣發電、輸入電力、生質能等的排放數據。此外，透過歷史趨勢圖表，使用者可以查看碳排放量的變化，分析不同時段內電力生產的環境影響。這項功能對於能源政策制定者與環保機構而言極具價值，能夠幫助監測再生能源發電對碳排放減少的貢獻，推動更具

可持續性的能源政策。

價格(Prices)功能則提供了即時的電力市場價格資訊，顯示批發電價(Locational Marginal Prices, LMP)，並透過地圖視覺化各區域的電價變化。使用者可以查看日前市場(Day-Ahead Market) 和 15 分鐘市場(Fifteen-Minute Market) 的價格數據，並透過地圖顏色標示不同區域的電價波動。應用程式也提供價格篩選功能，讓使用者能夠根據市場需求變化進行分析，進一步評估市場價格趨勢。這項功能不僅對於電力交易商與市場參與者至關重要，也有助於消費者與企業更好地理解電力價格波動對營運成本的影響。

整體而言，ISO Today 是一款功能強大的能源監控與市場分析工具，透過大數據整合，提供即時的電網狀態、電力供需、價格變動與環境影響資訊，讓電力市場參與者能夠更有效地進行能源管理，而政策制定者則能夠更準確地規劃未來的電網發展方向。在能源轉型與智慧電網技術持續進步的背景下，這類應用程式將在未來的電力市場中發揮關鍵作用。



圖表 8：ISO Today 應用程式畫面 Resource：CAISO

(三)小結

此次參訪 CAISO 讓我有機會體驗其開發的 ISO Today 應用程式，並從實務角度理解該工具如何透過大數據技術提升電網監控與決策效率。這款應用程式整合了電網運作的核心

數據，包括即時電力需求、供應狀況、碳排放以及市場價格，並透過視覺化介面呈現，讓使用者能夠快速掌握電網狀況，進而做出最佳決策。在當前能源轉型與市場自由化的背景下，這類數據驅動的應用程式，無疑為電力調度與需求面管理提供了更有效率的解決方案。

在實際操作中體驗到 ISO Today 在電網即時監控方面的強大功能。首頁清楚顯示了當前的電力容量、需求以及儲備狀況，讓使用者能夠迅速判斷電網是否處於穩定狀態，並透過歷史數據趨勢評估未來的負載變化。這對於電業而言是一個極為關鍵的工具，能夠協助他們在尖峰負載時段前提前規劃調度策略，確保供應充足，避免發生電力短缺或價格波動過大等問題。特別是在再生能源併網比例日益提升的環境下，能夠預測短期內的電力需求變動，對於確保電網穩定運作至關重要。

此外，應用程式的供應與碳排放數據也提供了極具價值的資訊，幫助分析不同能源類型的發電貢獻及其對環境的影響。透過即時顯示各類發電方式的占比，例如太陽能、風能、天然氣、水力發電等，使用者可以清楚地看到再生能源在電力供應中的角色。這不僅能讓電業和市場參與者更好地調整能源調度策略，也有助於政府機構監測減碳政策的實施效果。尤其在碳中和成為全球趨勢的情況下，這類數據的透明度將有助於推動更多再生能源投資，並提高社會對於低碳電力的認識與接受度。

在電力市場價格監控方面，ISO Today 透過價格地圖顯示不同區域的邊際電價(LMP)，並提供日前市場(Day-Ahead Market)和 15 分鐘市場(Fifteen-Minute Market)兩種模式，讓使用者能夠根據不同的市場時間框架分析價格變動趨勢。這項功能對於電力交易參與者而言極具價值，能夠幫助發電業者和售電公司根據市場價格變動制定最適化的交易策略，同時也能讓政策制定者評估價格波動對消費者的影響。在市場機制逐步自由化的趨勢下，這類透明且即時的價格資訊，將有助於市場更有效率地運作，確保電力供應能夠更靈活地應對需求變化。

整體而言，ISO Today 是一款結合即時數據、視覺化分析與機器學習預測的電力監控應用，為電力市場參與者提供了一個高效且透明的決策工具。在能源轉型的挑戰下，如何

更有效地運用大數據技術來提升需求面管理，是電網營運機構與政策制定者需要面對的核心議題。本次參訪讓我更加理解 CAISO 在數據應用方面的努力，也讓我思考如何將這類數據驅動的決策機制導入自身的工作環境，為台灣的電力市場發展提供更具前瞻性的參考。



圖表 9：與 CAISO 團隊合影

三、KC Exousia Consulting

(一) KC Exousia Consulting 顧問公司簡介

KC Exousia Consulting 是一家專注於能源產業的專業顧問公司，致力於為全球客戶提供政策分析、技術研究與市場規劃等多元化的專業服務。該公司在能源政策、智慧電網技術及市場發展策略方面具有深厚的專業背景，協助企業應對能源轉型帶來的挑戰，並制定相應的應對策略，以確保企業能夠在不斷變化的能源市場中維持競爭力。

該公司由 Kwok 創辦，他在 GE(通用電氣)累積了超過 20 年的豐富經驗，熟悉能源產業的政策動向與技術應用，並擁有廣泛的業界人脈與深厚的市場洞察能力。憑藉這些優勢，該公司為客戶提供全方位的能源政策與市場分析，幫助企業理解並適應當地及國際能源法規，確保其營運符合最新的法規要求。此外，該公司也積極協助企業針對各國政策變動制定有效的應對方案，以降低合規風險並確保長遠發展。

在能源市場分析方面，該公司透過專業的數據研究與趨勢預測，提供精準的市場資訊，幫助客戶識別潛在的商機與風險。該公司研究全球能源市場的變化，包括再生能源投資趨

勢、電力交易市場的發展，以及新興技術如何影響電力供應與需求，為客戶制定最具競爭力的市場策略提供科學依據。

該公司在技術諮詢領域亦具備強大專業能力，特別是針對智慧電網與再生能源技術的整合。該公司協助電力企業評估並導入最新的智慧電網技術，如分散式能源資源(DERs)、需量反應(Demand Response)及儲能系統(Energy Storage)，以提升電網營運效率並強化再生能源的併網能力。針對再生能源領域，該公司提供涵蓋技術選擇、系統整合與市場佈局的完整解決方案，幫助企業順應能源轉型趨勢，提升再生能源發電的效益。

透過其在政策、技術與市場領域的綜合專業知識，該公司為能源產業提供高附加價值的顧問服務，幫助企業能源轉型。該公司以務實的策略分析與先進技術應用，協助客戶制定符合未來發展需求的能源管理方案，推動產業智慧化、綠色化與高效能方向邁進。在全球能源市場持續變革的背景下，該公司的專業服務將持續發揮關鍵作用，為客戶提供最具前瞻性的解決方案與決策支援。

(二) 參訪內容

在電力市場的數位轉型與智慧化發展過程中，準確的負載預測對於電網穩定性與市場營運至關重要。根據負責人 Kwok 的經驗分享，自迴歸(AutoRegressive, AR)與長短期記憶網絡(Long Short-Term Memory, LSTM)是目前最常見的負載預測方法。這兩種技術在不同時間尺度的預測需求中各具優勢，能夠幫助電力公司提升需求預測的精確度，優化資源調度，並降低營運風險。

AR 模型是一種經典的時間序列分析方法，其基本原理是利用歷史數據的線性關係來推測未來趨勢。在負載預測的應用上，AR 模型能夠識別電力需求的短期變化模式，特別適用於日內或日間的電力消費趨勢預測。由於其數學結構較為簡單，計算效率高，因此在許多即時應用場景中仍然具有相當的競爭力。然而，AR 模型的局限在於其對非線性趨勢的適應能力較低，當負載受多重因素影響(如氣候變化、節假日或政策調整)時，預測準確度可能受到限制。

相比之下，LSTM 是一種基於遞歸神經網絡(Recurrent Neural Network, RNN)的深度學習技術，專門設計來處理長期時間關聯的資料。由於 LSTM 具備記憶長期歷史資訊的能力，因此在捕捉電力需求的長期趨勢和異常變化方面表現優越。例如，在處理季節性負載變化時，LSTM 模型能夠根據歷史數據的周期性變化，自動調整預測結果，使其更貼近實際需求。特別是在再生能源併網比例上升的情境下，LSTM 能夠有效處理風能、太陽能等波動性因素對負載的影響，提高電力公司對未來供需的應變能力。

在實際應用中，透過 AR 模型對短期負載進行預測，結果顯示其在正常天氣條件下的預測誤差較低，適合作為短期調度的參考。然而，當遇到突發性因素(如極端天氣等)時，AR 模型的預測結果可能產生較大偏差。為了提升預測的穩定性，長期負載預測採用 LSTM，並將 LSTM 預測結果與 AR 模型的輸出結合，形成一套混合式的負載預測框架。這種方法不僅提升了長期預測的準確性，也減少了突發情境對模型的影響，使電網調度更具前瞻性。

而在應用 LSTM 進行負載預測時，發現資料品質對模型效能有極大影響。由於 LSTM 需要大量歷史數據來學習模式，因此數據的完整性與標準化處理變得至關重要。透過特徵工程將天氣、節日、經濟活動等影響負載的因素納入模型，使其能夠更準確地捕捉影響變數與負載之間的關聯。

綜合來看，AR 與 LSTM 在負載預測中的應用各有所長，AR 擅長處理短期負載波動，而 LSTM 則在長期趨勢預測與複雜模式識別上具備優勢，利用不同技術的優勢互補，預期負載預測將更趨智慧化，並為電力市場的營運與調度帶來更高的準確性與靈活性。

(三) 小結

此次參訪 KC Exousia Consulting，讓我對於電力市場如何運用大數據與人工智慧進行負載預測有了更深入的理解。該公司在能源市場的數據應用上有豐富的經驗，特別是在電力需求預測的領域，透過精準的模型與演算法，協助企業優化電網管理與資源調度。這次的交流讓我看到，數據驅動的決策模式已成為電力市場的重要趨勢，而如何選擇合適的模型來提升負載預測的準確度，將成為企業競爭力的關鍵。

根據負責人 Kwok 的經驗分享，AR 模型作為傳統的時間序列分析方法，透過歷史數據的線性關係來預測未來負載變化，適用於短期電力需求預測，特別是日內與日間負載的波動。然而，由於 AR 模型難以處理非線性變數，其預測準確度容易受到突發事件或季節性因素的影響。在這樣的背景下，LSTM 便成為長期負載預測的更佳選擇。LSTM 透過其遞歸結構，能夠記憶長時間的歷史數據，捕捉複雜的趨勢與週期變化，特別適用於能源市場中長期負載模式的預測。

在實際應用方面，Kwok 分享過去如何利用數據驅動的方式來提升模型的準確性。負載預測的關鍵不僅僅是演算法的選擇，更取決於數據的品質與完整性。在導入 LSTM 模型時，透過特徵工程將氣溫、季節、經濟活動等影響電力需求的變數納入模型，並透過數據清理與標準化處理，確保模型訓練的數據品質。在這樣的過程下，LSTM 在面對複雜環境變數時，能夠比傳統統計方法提供更穩定且精準的預測結果。這讓我意識到，在 AI 技術應用於電力市場時，數據的管理與前處理是影響預測精準度的關鍵因素，並且高品質的數據遠比單純提升模型複雜度更為重要。

Kwok 也分享了他在實務上如何將 AR 和 LSTM 兩種模型結合，發展出混合式預測框架。在短期預測方面，仍然依賴 AR 模型來提供即時的負載預測結果，而在長期趨勢的掌握上，則透過 LSTM 來補足 AR 在非線性趨勢預測上的不足。這樣的架構不僅提升了模型的穩定性，也能夠確保負載預測能夠兼顧短期應變與長期規劃。這種靈活的模型架構為電力市場提供了更精準的決策依據，使企業能夠在變動的市場環境中，做出更即時的調整。

這次參訪讓我體認到，電力市場數據應用的價值並不只是技術上的創新，而更在於如何將數據、演算法與業務需求相結合。但同時 Kwok 也提醒，數據的完整性與品質管理才是技術發揮最大價值的基礎。透過這次的交流，我更加確信，在未來的電力市場競爭中，掌握高品質數據並運用適當的 AI 模型，將成為電力企業在市場上維持競爭力的關鍵因素。



圖表 10：與 KC Exousia Consulting 負責人 Kwok 合影

四、PowerInfo

(一)PowerInfo 電力系統軟體供應商簡介

PowerInfo 是一家專注於軟體解決方案的科技公司，致力於提供高效、智慧化的電網管理與數據分析工具，協助全球電業與獨立系統營運商 (ISO) 優化電力系統運作。該公司開發的核心產品 CIMSpy(北美洲版) 和 CIMDesk(歐洲版)，基於通用資訊模型(Common Information Model, CIM)技術，為電業提供先進的數據處理與網路管理解決方案，使得電網數位轉型更有效率且可靠。

在電網模型管理方面，CIMSpy 透過智慧化工具顯著提升電網模型的管理效率與準確性，適應現代電力市場對於數據處理的高度需求。該軟體支援多種國際標準，確保與不同系統之間的無縫整合，使各類電力機構能夠順利運用 CIM 技術來提升營運效率。其市場定位針對電力公司、ISO、研究機構及軟體供應商，幫助客戶實現更精準的電網管理，並促進電業智慧化發展。

該公司由 Dr. Zhu 創辦，他擁有多年在 GE(通用電氣)工作的經驗，對電業的數據處理與電網管理技術有著深厚的專業背景。雖然公司規模不大，但其技術能力與服務範圍卻遍及歐美各國，展現出其在全球電力市場的影響力，其中歐洲輸電系統營運商聯盟

(ENTSO-E)、美國的 PJM 以及各大 ISO 均為其重要客戶。這顯示出該產品在電網管理領域的高適用性與競爭優勢，能夠滿足不同地區電網營運者的需求，提供可靠的數據視覺化與模型管理工具。透過其創新的 CIM 技術應用，PowerInfo 持續為電業提供更有效率、更精準的數據解決方案，並在智慧電網管理的趨勢下，持續推動技術發展，為全球電網營運商提供最佳的技術支援。



圖表 11：PowerInfo 用戶分布（紅色為 CIMDesk、藍色為 CIMSpy）

(二) 參訪內容

PowerInfo 作為一家規模精緻但技術深耕的小型企業，其核心業務之一是針對 CIM 格式進行轉換，並開發出具有高效能的 Model View View Model (MVVM) 的工具 CIMSpy。CIMSpy 具有強大的 CIM 資料視覺化與驗證功能，能夠幫助使用者透過直觀的圖形介面進行 CIM 資料模型的視覺化分析，並進行一致性檢查，確保數據準確無誤。此功能對於處理複雜的電網模型至關重要，能夠快速識別潛在問題並優化模型建置。此外，CIMSpy 還支援多版本 CIM 模型的比較與分析，這對於需要長期維護與優化電網結構的機構來說，提供了極大的便利，能夠幫助電網管理者提升決策精準度。

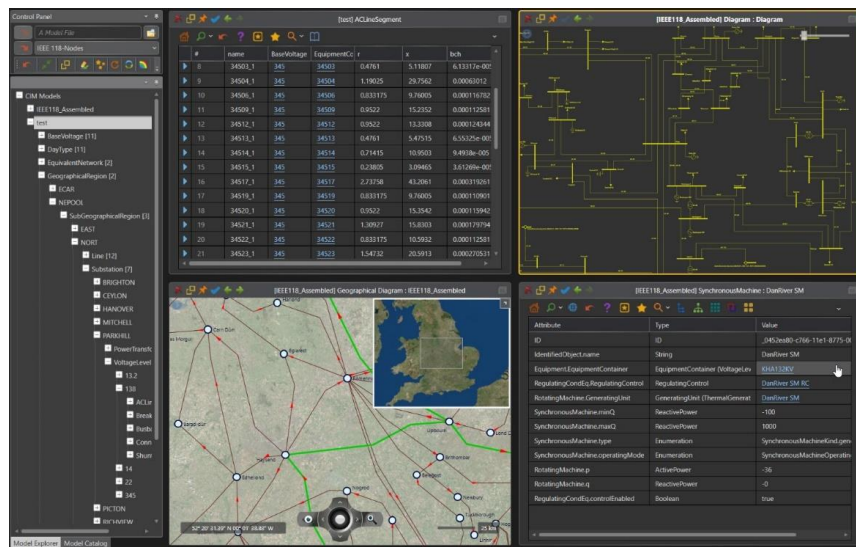
在訪談中另外提到生成式 AI 的問世對於如 PowerInfo 這樣的小型企業而言幫助很大。由於公司人力有限，過去培養一名熟練的工程師往往需要大量的時間與資源，而生成式 AI 能快速生成可用的工具和解決方案，在現有的人力下大幅提高每年可承接的專案數

量，不僅幫助公司解決了人力不足的問題，還提升了服務的品質及效率。

PowerInfo 未來計劃與大學的研究團隊展開合作，進一步優化生成式 AI 在電網視覺化領域的應用。他們的目標是訓練出專為數據視覺化設計的 LLM，以進一步提升工具的智慧和自動化水平。這些語言模型將能夠協助工程師快速生成電力數據的視覺化分析報告，並根據不同的客戶需求提供定制化的解決方案。這一規劃不僅將提升 PowerInfo 的競爭力，也將對整個電業的數位轉型產生積極影響。



圖表 12：Model View View Model 概念圖



圖表 13：CIMSpy 依據不同需求可提供不同資料介面 Resource:PowerInfo

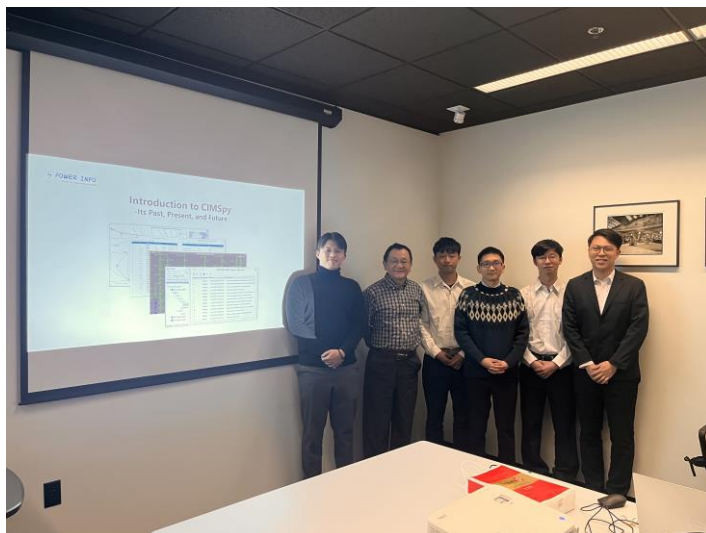
(三) 小結

此次參訪 PowerInfo 了解電力系統軟體的發展以及相關的數據視覺化的應用。PowerInfo 以電網數據分析與視覺化技術為核心，開發了一系列高效的軟體工具，這些工具不僅能夠協助電力公司優化營運，還能夠為使用者提供更直觀的數據展示與決策依據。這些軟體的成功開發並不僅僅依賴於演算法的精進或技術的突破，而是建立在對電力數據的深入理解之上。只有對資料有足夠的熟悉度，才能設計出真正符合需求的軟體，而 PowerInfo 在這方面取的了不錯的成果。

從 PowerInfo 的開發經驗來看，他們並不只是單純地應用 AI 來解決問題，而是透過多年的經驗累積，確保軟體能夠滿足電力市場的實際需求。他們的成功來自於對電力系統數據的高度掌握，以及對用戶需求的精準洞察，代表在追求技術創新的同時，掌握高品質的資料與專業領域知識同樣重要。如果沒有足夠的數據理解力，即使 AI 技術再先進，也難以真正發揮價值，也再次印證了「資料為本」的概念，技術應用的成功，始終建立在紮實的數據基礎之上。

PowerInfo 目前已經成功將 AI 技術應用於軟體開發與客戶服務，但 AI 的潛力遠不止於此。若能將 AI 導入軟體功能，使其不僅僅作為輔助工具，而能夠協助專業人員操作軟體，將會進一步提升軟體的智慧化與實用性。例如，AI 可協助用戶自動化處理數據分析、異常檢測，甚至提供最佳決策建議，減少人工操作的負擔，進一步提升工作效率與準確度。若這樣的技術能夠落實，將使電力系統的數據應用進入全新的階段，為電業帶來更有效率且更智慧的營運模式。

這次參訪讓我感受到技術創新與產業應用之間的緊密關聯。PowerInfo 的成功不僅是技術的成功，更是對數據深度理解後所帶來的價值體現。AI 技術未來在電力軟體領域的應用仍有巨大潛力，而如何將 AI 與軟體開發深度融合，將是下一階段值得關注的重要議題。這次交流不僅看到 AI 在軟體開發中的實際應用，也對於未來 AI 技術如何進一步提升電業的數據應用充滿期待。



圖表 14：與 PowerInfo 負責人 Dr. Zhu 合影

參、心得與建議

這次的參訪機構處處強調資料始終是所有應用的核心基石。無論是人工智慧、大數據分析，還是其他創新技術，其效能的關鍵在於資料的多樣性與品質。如果沒有高品質的資料作為支撐，再先進的技術也無法真正發揮效用。資料的準確性與廣泛性就像建築工程的地基，若地基不穩，即使上層建築再輝煌，終究難以持久。這也讓我更加理解到資料治理的重要性，提醒我們在技術應用之前，必須先確保資料的可靠性。

資料的重要性不僅體現在技術層面，更與領域知識息息相關。在開發應用的過程中，領域知識扮演著不可或缺的角色。例如，對於電業的應用，理解用戶負載的特性、再生能源的波動性以及電網運行的限制條件，這些知識對於數據的篩選與分析至關重要。如果缺乏這些背景知識，即使擁有龐大的資料集，也可能因分析方向錯誤或模型假設不合理而導致結果無法應用。因此，領域知識不僅是資料分析的基礎，更是實際應用之間的橋樑。

而資料的多樣性亦是關鍵。在構建任何技術應用時，必須考慮資料能否涵蓋所有可能的場景與情境，從而確保模型的泛化能力。在電力系統中，不同天氣條件、負載尖峰時段以及突發狀況的數據都需要納入考量。這些多樣化的數據不僅能提高模型的準確性，還能幫助我們提前發現潛在風險，制定應對策略。另一方面，資料的品質同樣不可忽視。資料清理與標記的過程雖然繁瑣，但卻是讓技術真正落地應用的必要步驟。唯有確保資料的準

確性與一致性，技術才能基於可靠的數據基礎，產生實質價值。

當我們在思考各種創新應用場景時，除了追求技術與應用的亮點，同時也要回歸到資料本身，關注其來源、準確性與多樣性。同時，結合多樣的領域知識能使資料與應用場景更貼近現實，進而提升技術的實用性與影響力。只有在資料地基打穩的前提下，我們才能真正利用當前最先進的技術，發展出符合實際需求的應用場景，實現長遠且可持續的價值。

這次經驗給予我一個重要的啟發，即技術創新與資料管理並非孤立的兩件事，而是相輔相成、密不可分的。未來的工作中，我會更加專注於資料的整備與領域知識的深化，因為唯有紮實的基礎，才能支撐起技術的持續進步，進而發展更多元化的服務應用。