

出國報告（出國類別：開會）

參加 2025 LCRI Asia Member Workshop

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：王派毅 綜合研究所能源研究室主任

黃 鐘 綜合研究所企劃資深研究專員

黃秉偉 綜合研究所電機助理研究專員

派赴國家/地區：日本

出國期間：114 年 5 月 12 日至 114 年 5 月 16 日

報告日期：114 年 7 月 11 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 2025 LCRI Asia Member Workshop

頁數 51

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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

王派毅/台灣電力公司/綜合研究所/能源研究室主任/(02)2360-2271

黃 鐘/台灣電力公司/綜合研究所/企劃資深研究專員/(02)2360-1174

黃秉偉/台灣電力公司/綜合研究所/電機助理研究專員/(02)2366-1371

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：114 年 5 月 12 日 至 114 年 5 月 16 日

派赴國家/地區：日本/東京、大阪

報告日期：114 年 7 月 11 日

關鍵詞：美國電力研究院、東京電力公司、能源轉型、電網韌性、低碳能源

內容摘要：(二百至三百字)

(一) 本公司於 2024 年加入美國電力研究院 (EPRI) 之低碳資源倡議 (Low-Carbon Resources Initiative, LCRI) 計畫，並於 2025 年受邀參加 LCRI Asia Member Workshop，此會議聚焦全球脫碳趨勢資訊之分享，議程涵蓋發電轉型選項到全球燃料供應鏈及經濟政策影響等關鍵主題。透過韓國及日本等各自之區域觀點，讓各會員分享其脫碳策略，使本公司掌握亞洲區域脫碳方法及未來發展藍圖。

(二) 本公司目前正在進行非侵入式家電負載解析研究，旨在開發非侵入式家電負載解析平台。綜合研究所利用這次赴日參加 LCRI Asia Member Workshop 機會，順道赴東京電力集團旗下 Energy Gateway Co., Ltd.，旨在深入了解其基於前述解析技術所推出的商業服務模式，欲借鑑其成功經驗，協助本公司進一步規畫此技術的商業化策略與應用方向。

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

一、 出國任務與行程	2
二、 東京電力集團旗下 Energy Gateway Co., Ltd. 參訪	3
(一) 東電 Energy Gateway Co., Ltd. 之交流內容	3
1. Energy Gateway Co., Ltd. 簡介	3
2. Energy Gateway 基於 NIALM 技術的 ienowa 服務	4
(二) 東電對 ienowa 服務之願景	5
三、 參與 LCRI Asia Member Workshop 會議	8
(一) LCRI 協助各會員達成淨零策略的方法	8
1. LCRI 提供的資源	8
2. LCRI 未來發展與 2025 年優先發展事項	9
3. LCRI 各技術委員會與其執行示範計畫簡介	10
(二) LCRI Asia Member Workshop 會議簡述	12
(三) LCRI Asia Member Workshop 會員簡報簡述	16
1. 韓國電力公司(KEPCO)簡報簡述	16
2. 東京電力公司(TEPCO)簡報簡述	22
3. 關西電力公司簡報簡述	26
4. 東京瓦斯簡報簡述	32
5. 大阪瓦斯簡報簡述	36
6. ENEOS Xplora Inc. 簡報簡述	43
四、 心得與建議	49
(一) 出國參訪後心得	49
(二) 出國參訪後建議	50
(三) 結論	51

一、出國任務與行程

- (一)本公司於 2024 年加入美國電力研究院 (EPRI) 之低碳資源倡議 (LCRI) 計畫，LCRI 的成立旨在應對當前的能源轉型挑戰，並加速實現全球淨零排放的未來。其核心目標是透過嚴謹且獨立的研究，協助能源公司降低投資風險、優化技術整合，並在向可持續能源未來轉型的過程中，領先於法規和市場變化。LCRI 致力於闡明技術和燃料選擇在提供清潔、可靠和負擔得起的能源方面的作用和價值，並建立行業領先的建模能力，以理解新興燃料在能源經濟中的作用和影響。具體來說，LCRI 旨在加速難以減排領域的商業部署，並採用整合的能源系統方法來檢視未來能源格局。
- (二)本公司於 2025 年受邀參加於大阪舉辦之 LCRI Asia Member Workshop，此會議聚焦全球脫碳趨勢資訊之分享，議程涵蓋發電轉型選項到全球燃料供應鏈及經濟政策影響等關鍵主題。透過韓國及日本等各自之區域觀點，讓各會員分享其脫碳策略，使本公司掌握亞洲區域脫碳方法及未來發展藍圖。
- (三)本公司代表團赴日與 LCRI 其他會員進行深入交流，認為 2025 年 LCRI 亞洲地區會員應優先合作事項包括：
1. 推動短中期解決方案，以實現高效且有效的能源系統轉型。
 2. 加強跨產業合作，將潔淨能源資源與經濟發展相結合。
 3. 持續關注技術和低碳燃料的選擇性、部署和資產利用最佳化。
 4. 加強人員培訓方面的投資，並提供利害關係人參與策略的指導。
- (四)本公司目前正在進行非侵入式家電負載解析研究，旨在開發非侵入式家電負載解析平台。綜合研究所利用這次赴日參加 LCRI Asia Member Workshop 機會，順道赴東京電力集團旗下 Energy Gateway Co., Ltd.，旨在深入了解其基於前述解析技術所推出的商業服務模式，欲借鑑其成功經驗，協助本公司進一步規畫此技術的商業化策略與應用方向。

表 1-1 出國行程簡述

日期	行程內容
5 月 12 日 (一)	自台灣前往日本
5 月 13 日 (二)	參訪東京電力集團旗下 Energy Gateway Co., Ltd.
5 月 14 日 (三)	參加 2025 LCRI Asia Member Workshop 第 1 天會議
5 月 15 日 (四)	參加 2025 LCRI Asia Member Workshop 第 2 天會議
5 月 16 日 (五)	自日本返抵台灣

二、東京電力集團旗下 Energy Gateway Co., Ltd. 參訪

本公司目前正在進行「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」研究計畫，旨在開發非侵入式家電負載解析(Non-Intrusive Appliance Load Monitoring, NIALM)平台。該平台整合以下關鍵技術：暫態電力特徵擷取傳感器、物聯網(IoT)資料收集平台、家電運轉辨識分類器模型、以及具備家電運轉狀態自動標籤功能的用戶互動人機介面，以實現高效能的負載解析並為後續商業化奠定基礎。

本次出國參東京電力集團旗下 Energy Gateway Co., Ltd.，旨在深入了解其基於 NIALM 技術所推出的商業服務模式，借鑑其成功經驗，以協助本公司進一步規畫 NIALM 技術的商業化策略與應用方向。

(一) 東電 Energy Gateway Co., Ltd. 之交流內容

本次參訪拜會 Energy Gateway Co., Ltd. 社長酒井正充 (Masamitsu Sakai) 及東京電力控股公司海外事業室課長大下友也 (Tomoya Ohshita) 進行交流 (照片如圖 2-1 至圖 2-4 所示)。以下概述本次參訪所了解之 Energy Gateway 基於非侵入式家電負載解析 (NIALM) 技術的商業模式及服務發展現況：

1. Energy Gateway Co., Ltd. 簡介

Energy Gateway 是東京電力控股公司 (TEPCO) 於 2018 年 2 月 15 日宣布成立的子公司。該公司旨在利用物聯網技術，提供智慧能源管理與相關服務，促進能源的高效使用和數位化轉型。其主要業務有 3 項：

- (1) IoT 平台服務：開發和提供基於物聯網的能源管理解決方案，例如智慧電錶數據分析、家庭能源管理系統 (HEMS) 等，幫助用戶即時監控和管理能源消耗。
- (2) 智慧家庭應用：結合智慧電錶和 IoT 技術，提供每 30 秒一次的電力消耗數據 (相較於一般智慧電錶每 30 分鐘一次的數據)，為電力公司和消費者提供更精細的能源使用洞察，進而促進節能和智慧化應用。
- (3) 能源數位化：支援能源轉型，透過數據分析和雲端技術，實現電力供需的精準調節，提升電網效率。

Energy Gateway 是東京電力公司為因應日本能源市場自由化和數位化需求而成立的子公司，專注於提供基於物聯網的智慧能源解決方案。其服務涵蓋智慧電錶數據分析、

家庭能源管理、電網供需調整等，旨在提升能源效率並支持低碳轉型。

2. Energy Gateway 基於 NIALM 技術的 ienowa 服務

Energy Gateway Co., Ltd. 提供的 ienowa 服務是一款基於 NIALM 技術結合 AI 和 IoT 技術的智能家居能源管理平台，旨在通過電力傳感器和應用程式實現家庭電器用電的可視化與智能化管理。

ienowa 服務通過在分電盤安裝單一電力傳感器，利用 Informetis 公司的機器分離推定技術（NIALM），無需更換智能家電即可實現以下功能：

(1) 電器級別用電監測：

- 即時用電數據：透過電力傳感器，ienowa 可近乎即時顯示家庭總用電量及個別電器的用電量（如冰箱、空調、電視等，最多支持 10 種主要家電）。用戶可通過 ienowa 應用程式查看每周或每月用電排行，了解哪些電器耗電最多，從而作為節能或更換老舊電器的參考。
- 電費預測：提供月末電費預測功能，幫助用戶掌握例如夏季或冬季空調高用量時的電費情況，方便進行節能調整。

(2) 智能家居整合：

- IoT 設備聯動：ienowa 可與智能鎖、智能家電控制器…等第三方 IoT 設備連携，實現遠程控制家電或自動化操作。例如，用戶可通過應用程式關閉忘記關掉的電器，或與智能家電控制器聯動以操作特定設備。

(3) 家庭監護與聯繫功能：

- 輕度監護：通過監測電器使用情況（如電視或 IH 電磁爐的運行狀態），用戶可推測家中狀況，例如留守兒童的活動，實現非侵入式的家庭監護。
- 與住宅管理者的溝通：應用程式允許用戶直接與房屋製造商或物業管理公司聯繫，無需查找紙質聯繫方式或在白天撥打電話，簡化設備維修或諮詢流程。

(4) AI 角色互動：

- 應用程式內建 AI 角色 Chobi，可與用戶互動，提供用電資訊、節能建議或生活支持。根據服務提供者的客製化，AI 角色可能有所不同。

ienowa 的核心技術依賴 Informetis 的 NIALM 電器分離技術，通過分析分電盤的總電流和電壓數據，識別各電器的獨特用電特徵。支持的 10 種主要電器類型(截至 2024 年 8 月)：冰箱、待機電力（包括常耗電設備）、空調、電子鍋、微波爐、洗衣機、高熱家電（電暖器、吹風機、熱水壺等）、電視、IH 電磁爐。

（二）東電對 ienowa 服務之願景

酒井社長表示，目前最成功的商業模式是透過住宅銷售公司、物業管理公司或房屋製造商，將 ienowa 服務整合為 IoT 智能家居解決方案的一部分。雖然 ienowa 服務需額外安裝傳感器，初期費用包含傳感器設備及入戶安裝費約新台幣 11,000 元，對一般民眾而言是一筆不小的開支，但對新建案來說，這筆費用相對低廉。透過安裝傳感器提供 ienowa 服務，建案能以智慧家居為賣點，有效吸引潛在客戶。



圖 2-1 本所黃秉偉專員與 Energy Gateway 酒井社長於 Energy Gateway 辦公室前合照



圖 2-2 與東京電力大下課長、Energy Gateway 酒井社長於該社辦公室進行交流



圖 2-3 Energy Gateway 酒井社長說明在配電盤安裝傳感器的過程

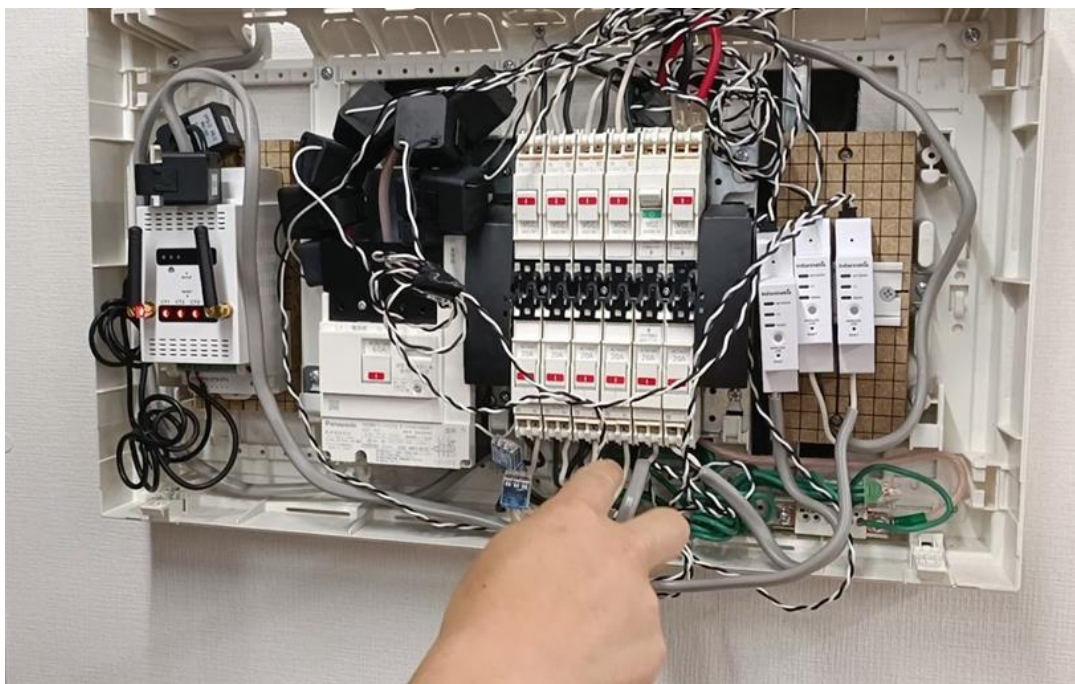


圖 2-4 每個傳感器配備 4 個通道用於監測電流，可根據需求協同多個傳感器運作

三、參與 LCRI Asia Member Workshop 會議

全球正經歷著一場前所未有的能源轉型，旨在實現淨零排放，以應對氣候變遷帶來的嚴峻挑戰。這項轉型不僅要求大幅減少溫室氣體排放，更需確保能源供應的可靠性與經濟可負擔性。在此背景下，EPRI 的 LCRI 計畫扮演著關鍵角色，其透過全球合作與技術創新，協助各國與企業克服實現淨零目標所面臨的諸多不確定性，包括政府政策、市場訊號、技術商業化、消費者情緒、法規與公眾觀感等。本次 LCRI 亞洲會員會議，匯集了來自日本、韓國等地的主要能源企業，共同探討亞洲地區能源的未來與去碳化策略，並分享各自在淨零之路上的努力與挑戰。

(一) LCRI 協助各會員達成淨零策略的方法

LCRI 致力於透過多面向的策略與支援，幫助其會員實現淨零排放目標，尤其在不確定的時代背景下，扮演著引導者的角色。首先，LCRI 強調採取整合性的能源系統方法，以檢視未來的能源發展。這意味著不僅關注單一能源來源或技術，而是將電力、天然氣、石油與天然氣、設備製造商 (OEMs)、工程採購和施工 (EPC) 等所有相關部門納入考量，以實現能源經濟的整合，加速低碳燃料在難以減排領域的商業應用。

其次，LCRI 透過提供技術選擇性來確保可靠性和可負擔性。LCRI 的價值領域包括：

- 強化利害關係人參與：與各方協作，確保去碳化路徑符合廣泛需求。
- 創建資源以提供策略資訊：開發工具與資料庫，協助企業制定決策。
- 引領技術進步：推動新興技術的研發與商業化。
- 擴展知識體系：分享研究成果與最佳實踐，促進知識傳播。
- 支持會員實施：協助會員將研究成果應用於實際項目。

1. LCRI 提供的資源

LCRI 提供的資源涵蓋了低碳發電技術部署的各個階段評估與開發（如成本與設計研究、技術評估、價值鏈與供應鏈評估、試點與示範研究、環境、健康與安全評估）、設計與調試（如技術要求與設計規範、前端工程設計 FEED 研究、設計審查）、運營與維護（如最佳實踐分享、品質保證/控制與驗收測試、性能與可靠性工程、資產生命週期管理與運營、監控、分析與過程控制、設備檢查、維護與修理、環境/法規遵循、升級、改造、循環選項分析）以及壽命終止與再利用活動（如場地再利用、環境合規、

退役規劃、適用性評估)。

LCRI 的高價值成就體現在多個方面：已發布超過 550 份可交付成果，與超過 100 個外部利害關係人組織進行了接觸，並成功槓桿約 7.75 億美元的資金。其具體成果包括：

- 為參與會員建立了與大型客戶共同評估技術與燃料選擇的框架。
- 識別了能源、工業、資料中心和移動交通部門的跨部門耦合機會。
- 對終端使用技術選項和系統影響進行了比較評估。
- 開發了識別和評估新興燃料用於彈性應用機會的工具。
- 行業特定參考資料，以支持長期能源任務和目標提供。
- 美國以及全球能源經濟評估模型開發。
- 新興燃料和碳捕捉對環境和周遭居民健康的影響評估。
- 當地人力影響和利害關係人參與的調查。
- 擁有世界最大的再生柴油測試計畫和多個商業氫氣混合測試先導示範計畫。
- 發電廠和汽電共生廠的低碳燃料轉換指南建立。
- 氫氣和二氧化碳的散裝儲存研究與示範計畫推動。
- 鍋爐與燃氣機組基礎燃燒和排放數據，以及處理和應用低碳燃料的落地計畫撰寫。

為支持這些工作，LCRI 還開發了多種互動工具，例如再生燃料地圖集 (Renewable Fuels Atlas)、電解製氫技術經濟分析計算器 (Electrolysis Techno-economic Analysis Calculator) 和能源路徑探索工具 (Energy Pathways Exploration Tool)，這些工具幫助用戶比較不同過程和國家的能源流動和碳排放強度。

2. LCRI 未來發展與 2025 年優先發展事項

展望未來，LCRI 的技術範疇不斷演進。從 2019 年起，規劃情境主要關注氫能和碳管理，演變為現在更加側重於氫能和永續燃料，以及碳管理和碳移除（包括生質能和二氧化碳直接空氣捕捉）。LCRI 認識到電力和天然氣在轉型中的重要作用，並將重點放

在實用性、可靠性、可負擔性和經濟發展上，強調全球經濟範圍內的協作來支持新興技術的部署。

LCRI 2025 年的優先事項包括：提供乾淨、可負擔、可靠的能源選項；加速近期和中期解決方案以實現高效能源系統轉型；理解各地區和區域所受的地緣政治及經濟影響及解決方案；連結潔淨能源資源與經濟發展資源；加強跨部門合作；平衡短期與中長期需求；持續關注技術和燃料選擇性；開發可操作資源以支持項目評估、部署和資產再利用；增強人力影響和培訓，並提供利害關係人參與策略指導。

3. LCRI 各技術委員會與其執行示範計畫簡介

(1) 電解製程技術委員會執行計畫說明

- 杜克能源公司 PEM 電解槽示範：評估電解槽性能、以及測試微型氣渦輪機進行氫氣專燒的連續排放監測系統相容性。
- 再生能源轉氫氣轉電力系統性能評估：整合 AEM 電解槽、儲能系統與燃料電池進行研究。
- 巴西國家石油公司 (Petrobras) 合作氫氣微電網示範：計畫中包含 PEM、儲能和微型氣渦輪機整合測試。
- 加州大學爾灣分校氫能整合研究：整合鹼性電解、氫氣儲存、可專燒氫氣之微型渦輪機和氫燃料電池系統整合示範。
- 南方電力公司：替代水源供應研究。

(2) 碳氫化合物處理技術委員會執行計畫說明

- 紐約電力局 (NYPA) / 聯合愛迪生公司 (ConEd) 的工業應用熱解示範：系統設計與可行性研究。
- 國家燃料公司 (National Fuel Gas Company)：二氧化碳壓縮站內柴油內燃機尾氣二氧化碳捕捉改造可行性評估。
- 南方電力公司 (Southern Company)：美國國家碳捕捉中心 (National Carbon Capture Center) 整體碳管理項目。

(3) 二氧化碳捕捉與燃料技術委員會執行計畫說明

- 南方電力公司：國家碳捕捉中心的氫氣生產與碳基化學物質合成技術的測試。

(4) 再生燃料技術委員會執行計畫說明

- 消費者能源公司 (Consumers Energy)：e-Gas 生產用於氫氣樞紐整合案例研究與市場評估。
- 聯合愛迪生公司/布魯克海文國家實驗室 (Brookhaven National Lab) /石溪大學 (Stony Brook Univ.)：生質乙醇與合成甲醇在公用事業資產中的利用和長期儲存。
- 國家燃料公司：二氧化碳壓縮站廢熱回收與燃燒廢氣用於低碳氫氣和合成甲烷生產的技術發展。

(5) 輸送與儲存技術委員會執行計畫說明

- 西北天然氣公司 (NW Natural)：Mist 天然氣儲存設施的氫氣地下多孔岩石儲存示範計畫 (HyMist)。
- 管道研究理事會國際組織 (Pipeline Research Council International)：天然氣再利用管道缺陷容忍度驗證示範。
- 南方電力公司：伊利諾伊州地下地質構造中氫氣儲存機會評估。
- 巴爾的摩燃氣電力公司 (Baltimore Gas & Electric)：Spring Gardens 氫氣混合設施的系統設計、安全與測試計劃審查。

(6) 終端使用技術委員會執行計畫說明

- Novelis Inc.：鋁熔爐富氧燃燒中提高效率並促進碳捕捉與廢熱再利用。
- 內布拉斯加州公共電力區 (Nebraska Public Power District, NPPD)：I-80 州際高速公路重車氫氣加氫廊道研究。
- 南方電力公司：整合式氫能驅動微電網應用於公用事業電力和氫氣車輛研究。
- 奧馬哈公用電力區 (Omaha Public Power District, OPDD) 的碳零資料中心。

(7) 發電技術委員會執行計畫說明

- 田納西河谷管理局 (TVA): 再生柴油用於潔淨與可調度發電 (測試完成並報告), 尼布拉斯加州電力區的氫氣內燃機示範 (項目重新規劃), 賓州州立大學的燃氣渦輪機熱段部件長期測試, 韓國電力公社 (KEPCO) 的氫燃燒器設計與測試, 以及加州大學爾灣分校的氫燃料微型渦輪機測試。這些示範項目提供了寶貴的實地數據和經驗, 驗證了新興燃料的性能、排放、可操作性和安全程序。

(二) LCRI Asia Member Workshop 會議簡述

EPRI 所主導的 LCRI 作為全球能源轉型領域的重要技術交流平台, 持續匯聚來自世界各地的能源企業、研究機構與政策制定者, 共同探討實現淨零排放目標所需的關鍵技術與策略。在 2025 年於大阪舉辦的 LCRI Asia Member Workshop 會議中, 來自東北亞地區的多家會員紛紛發表其在低碳燃料開發、淨零科技創新以及碳管理技術方面的最新研究成果與實務進展, 展現了該地區在全球能源轉型中的積極角色與技術領導地位, 本公司代表團亦與各會員公司進行交流 (照片如圖 3-1、3-2、3-3 所示)。這些參與會議的會員涵蓋了能源產業鏈的各個環節, 從傳統的石油天然氣探勘生產, 到電力供應與輸配電, 再到綜合性能源服務提供, 形成了完整的產業生態系統。本公司亦於本次會議中就目前公司面臨之 2050 淨零挑戰、以及發電端淨零技術的研發成果進行簡要報告, 以下就各會員於會議中表達之未來低碳能源研發方向做簡要之說明:

1. 韓國電力公司 (KEPCO) 則在氫氣混燒發電技術方面展現出積極的進展, 該公司刻正推動燃氣機組 20% 混燒示範專案, 並建立了潔淨氫能組合標準 (CHPS) 市場機制。韓國在氫氣混燒技術的發展反映了東北亞國家對於無碳燃料應用的迫切需求, 該公司認為, 在距離綠氫生產中心較遠的地理條件下, 氫氣作為氫載體的運輸和儲存優勢使其成為實現脫碳的重要選項。
2. 本公司簡報以國發會 2050 淨零目標, 要求電力業在當年度達成每年可封存 4,020 萬公噸二氧化碳、以及當年度發電量的 9-12% 為氫氣能作為引言, 帶出目前公司進行之低碳發電計畫, 如綜合研究所樹林所區 65kW 微型燃氣機組混氫研究計畫、興達電廠去碳燃氫合作計畫、台中減碳技術園區每年 2,000 公噸碳捕捉廠計畫、以及台中發電廠碳封存試驗計畫等 (照片如圖 3-4 所示)。
3. 東京電力公司控股集團 (TEPCO) 作為日本最大的電力公司之一, 在 LCRI 會議中詳細介紹了其邁向碳中和的全面活動策略。該公司提出四層技術挑戰架構, 從基礎的零排放電源開發到最終的負排放技術應用, 展現了系統性的技術發展路徑。特

別值得關注的是 TEPCO 在需求端電氣化方面的創新實踐，包括 Eco-Cute 熱泵熱水器的大規模推廣以及虛擬電廠(VPP)技術的實際應用，為電力系統的靈活性與韌性提升提供了寶貴經驗。

4. 關西電力公司的氫能策略與專案則展現了建構完整氫能供應鏈的雄心，該公司提出的「Set Net Zero by 2050」目標包括建立從海外採購到國內生產的多元化氫能供應體系，目標在 2050 年時取得全國 30%的氫能市場份額。特別是其在姬路地區建立的氫能接收站計畫，利用當地工業集群效應，為跨行業氫能需求提供整合式解決方案。
5. 在天然氣產業轉型方面，大阪瓦斯與東京瓦斯兩家日本主要都市天然氣供應商在會議中展示了其在合成甲烷技術開發方面的領先地位。東京瓦斯主導成立的全球首個合成甲烷國際聯盟「e-NG Coalition」標誌著這項技術從研發階段邁向全球市場推廣，而大阪瓦斯開發的 SOEC 甲烷化技術更是展現出 85-90%的突破性能源轉換效率。這些技術創新的重要意義在於能夠充分利用既有的天然氣基礎設施，為能源轉型提供成本效益的解決方案。
6. 日本的 ENEOS Xplora Inc. 作為 ENEOS 集團旗下專門從事石油天然氣探勘與生產的子公司，在會議中分享了其從傳統 E&P 業務向環境友善事業轉型的「雙軌並進」策略，特別是在碳捕捉、利用與封存(CCS/CCUS)技術方面的突破性進展。該公司在美國德州營運的 Petra Nova CCUS 專案為目前全球最大的燃煤發電廠燃燒後碳捕捉、並結合石油增產(Enhanced Oil Recovery, EOR)專案，已成功封存超過 420 萬噸 CO₂，為業界樹立了重要標竿。

這些企業在 LCRI 會議中的技術分享不僅展現了個別公司的創新能力，更重要的是體現了東北亞地區在全球能源轉型中的集體努力與協作精神。從氫能技術的多元化發展到合成燃料的商業化進程，從碳捕捉技術的創新應用到數位化管理的深度整合，這些企業正在為實現 2050 年淨零排放目標提供關鍵的技術支撐與實務經驗。透過 LCRI 這個國際平台的技術交流與合作，東北亞能源企業不僅加速了本地區的能源轉型進程，也為全球氣候行動貢獻了重要力量。以下詳細介紹各家企業在 LCRI 會議中發表的具體研究成果與技術發展現況，因各會員企業均表示會議簡報中具有機敏內容，因此本報告僅以文字方式簡述各會員企業之簡報。



圖 3-1 全體會議參與人員合照



圖 3-2 本所王主任派毅針對其他會員簡報提問情形



圖 3-3 本公司代表團合照



圖 3-4 本所黃鐘專員報告本公司淨零目標以及相關研究成果情形

(三) LCRI Asia Member Workshop 會員簡報簡述

1. 韓國電力公司(KEPCO)簡報簡述

韓國作為全球首個將綠色成長列為國家優先政策的國家，正積極推動碳中和目標，並在氫能與氨氣混燒發電技術方面取得重要進展。

(1) 背景與區域合作必要性

i 東北亞地區合作背景

韓國、日本、台灣等東北亞國家在推動無碳燃料應用方面面臨共同挑戰。由於這些國家距離綠氫生產中心較遠，在運輸綠氫方面存在重大物流限制，因此綠氫成為實現無碳燃料的可行替代方案，具有更易於儲存和運輸的優勢。從能源安全角度來看，電廠能源來源多元化對國家能源安全至關重要。燃煤電廠在基載電力供應中仍然不可或缺，而將現有電廠改造為氨氣混燒，可確保能源轉型期間的供電可靠性。同時，充分利用現有燃煤電力基礎設施可以最大化避免資產閒置，避免昂貴的新投資，同時維持穩定的電力供應。

ii 韓國市場現況

- 2027 年：在 1,000MW 超超臨界燃煤電廠進行 20%氨氣混燒商業示範
- 2030 年：預計氨能發電量達 15.5TWh
- 2038 年：預計利用氨能發電量達 43.8TWh

(2) 韓國 2030 年國家自定貢獻目標

韓國設定 2030 年國家自定貢獻 (NDC) 目標，相較 2021 年水準減少 31.7%的溫室氣體排放。根據歷史數據顯示，韓國溫室氣體排放從 1990 年約 320 百萬噸二氧化碳當量，持續上升至 2018 年峰值約 760 百萬噸，隨後開始下降，目標在 2030 年降至約 450 百萬噸。

(3) 韓國潔淨氫能組合標準 (Clean Hydrogen Portfolio Standard, CHPS) 市場

i CHPS 市場概述

潔淨氫能組合標準(CHPS)旨在透過氫能競爭機制供應潔淨且永續的無碳電力。
該市場於 2024 年 5 月開始招標程序，同時引入潔淨氫能認證系統。

潔淨氫能認證分級標準（公斤 CO₂ 當量/公斤 H₂）：

- 第一級：0~0.1
- 第二級：0.1~1
- 第三級：1~2
- 第四級：2~4

預期潔淨氫能/氨氣發電量：

- 2030 年：15.5%（2.4%）
- 2038 年：43.9%（6.2%）

ii CHPS 市場進展

市場機制：

- 拍賣制度：企業競標 15 年期合約
- 政府補貼抵銷潔淨氫能成本
- 2024 年 CHPS 市場參與結果：韓國南部電力公司（KOSPO）得標

具體項目：

- 目標電廠：KOSPO 三陟燃煤電廠 1 號機組（1,022MW）
- 期程：準備 3 年+交易 15 年（2028-2042 年）

進展與未來計畫：已開始在三陟電廠建設必要的氨氣儲存基礎設施，包括改善接收站碼頭和建設新設施。時程規劃為：

- 2024 年 4 月：合約與基本設計
- 2024 年 10 月：動工
- 2027 年 3 月：試運轉

- 2027 年 7 月：完工

(4) KEPCO 研發重要成果

- 發電領域：燃氣輪機高溫部件（2014 年）、500MW 整合控制系統（2014 年）、1GW 超超臨界機組運轉系統（2016 年）
- 潔淨/再生能源領域：脫硫/脫硝技術（1992-2014 年）、CO₂ 捕捉廠（2013 年）、離岸風電基礎建設技術（2017 年）、鈣鈦礦太陽能電池（2021 年）
- 輸電領域：765kV 本土化（2002 年）、本土化頻率調節儲能系統（2015 年）、500kV 雙極高壓直流輸電（2017 年）
- 配電領域：配電自動化系統（2000 年）、能源獨立微電網（2014 年）、先進計量基礎設施 AMI 2.0（2022 年）

(5) 氫能與氨氣發電研發

i 無碳燃料發電概述

KEPCO 正積極推動將化石燃料替換為無碳燃料（氫氣與氨氣）的發電技術。整體技術鏈包括：

氫氣生產：綠氫、藍氫

運輸：液化氫氣（-253°C）、有機氫化物載體、氨氣載體（液化氨氣）

發電應用：複循環燃氣電廠（CCPP）、燃料電池、燃煤電廠氨氣混燒

ii 氫氣/氨氣燃氣輪機研發

氫氣/氨氣燃氣輪機燃燒測試中心：KEPCO 建立完整的測試設施，包括燃料供應系統（氫氣/氨氣測試設備、天然氣管線、混合器、流量控制器、加熱器等）、空氣供應系統、燃燒室測試設備、控制室與分析設備

重要研發項目：

ii.i 150MW 燃氣輪機氨氣混燒改造技術開發與示範

- 期程：2023 年 4 月至 2028 年 3 月（60 個月）

- 目標：開發運轉中 F 級燃氣輪機燃燒室改造技術，透過示範驗證運轉穩定性與可靠性
- 參與機構：包括 SK E&S、韓國南部發電公司、韓國西部電力公司等

ii.ii 氬氣燃燒分析測試關鍵設計與運轉標準確定（與 LCRI 合作）

- 期程：2023 年 9 月至 2025 年 8 月（24 個月）
- 目標：透過氬氣燃燒器性能測試與分析，確定燃燒器設計與運轉準則
- 現況：已完成氬氣燃燒器設計與製造，正在進行性能測試

iii 氬氣/氬氣鍋爐研發

KEPCO 具備多個不同規模的混燒測試設備：0.1MWth 循環流體化床混燒測試設備、1MWth 氬氣測試設備、0.7MWth（最大 1MW）粉煤混燒測試設備、1.4MWth 粉煤測試設備（僅用於煤炭與生質燃料）

重要研發項目：

iii.i 氬氣混燒發電示範

- 期程：2023 年 4 月至 2027 年 12 月（57 個月）
- 主要參與者：KEPCO、KOSPO、現代電力系統、BHI、斗山能源、韓國能源技術研究院
- 目前進展：

2023 年：開發最佳氬氣混燒系統（燃燒器、煙氣脫硫、測試設施升級等）

2024 年：設計 1MWth 氬氣燃燒器，進行性能測試與改善迭代

2025 年：氬氣燃燒器先導測試，鍋爐改造基本設計

- 未來計畫：

2026 年：開發最佳運轉技術，燃燒器安裝至鍋爐

2027 年：氬氣混燒示範與運轉技術開發

iii.ii 燃煤電廠氨氣混燒比例階段提升最佳改造設計指南與彈性燃燒系統開發（與 LCRI 合作提案）

- 期程：24 個月（2025 年 7 月至 2027 年 6 月）

- 預算：110 萬美元

- 主要交付項目：

針對氨氣混燒比例提升各階段開發最佳改造設計

開發低 NO_x、高彈性氨氣燃燒系統

- 目標：

最小化氨氣發電的資本支出/營運支出

改善設施可靠性並提升彈性

iv 藍氫技術研發：20kW 藍氫生產系統

- 建設期間：2021 年 12 月開始建設，2022 年 3-8 月運轉

- 技術特點：

利用天然氣優勢的低碳氫氣：使用天然氣基礎設施、反應過程中無 CO₂ 生成、搭配再生能源實現近零排放

低能耗與無需用水：用電量僅為綠氫的 1/8

碳銷售高獲利：碳產量為氫氣的 3 倍

碳價格：0.4-500 美元/公斤

v 碳捕捉封存技術（CCS）

重要研發項目：

v.i 燃煤電廠 CCS

- 規模：從 500MW 燃煤電廠（超超臨界）分流 10MW

- 產能：200 噸 CO₂/日

- 煙氣來源：燃煤鍋爐
- 溶劑：KEPCO 的 KoSol-6
- 啟動：2013 年 5 月
- 地點：韓國保寧，韓國中部火力發電廠 8 號機
- 成就：2020 年完成 10,000 小時連續運轉，完成 150MW 複循環電廠前端工程設計

v. ii 天然氣複循環電廠 CCS

- 規模：1MWe 天然氣複循環電廠濕式洗滌 CO₂ 現場測試
- 產能：10 噸 CO₂/日
- 煙氣來源：天然氣複循環電廠
- 溶劑：KEPCO 的 KoSol-L
- 啟動：2024 年 10 月
- 地點：韓國蔚山，東西電力天然氣複循環電廠（948MWe）
- 進展：完成先導設施前端工程設計、詳細設計與建設，試運轉進行中

(6) 結論

KEPCO 在能源轉型過程中展現了全面且前瞻性的戰略規劃。從政策層面的綠色成長到技術層面的氫氣與氨氣發電技術開發，KEPCO 不僅配合韓國 2050 年碳中和目標，更積極投入研發資源，建立完整的技術鏈。

特別值得注意的是，韓國在氨氣混燒技術方面的態度積極，顯示其在無碳燃料發電技術方面的決心與能力。對於台灣等同樣面臨能源轉型挑戰的國家而言，韓國的經驗提供了重要的參考價值，特別是在政策規劃、技術開發路徑、產業合作模式等方面，都值得深入研究與借鑑。

2. 東京電力公司(TEPCO)簡報簡述

東京電力公司控股集團 (TEPCO) 作為日本最大的電力公司之一，肩負著引領日本能源轉型與實現碳中和目標的重要使命。TEPCO 採用控股公司架構，下轄四大核心子公司：東京電力燃料及電力株式會社（負責火力發電與燃料採購，與中部電力合資成立 JERA）、東京電力電網株式會社（負責輸配電）、東京電力能源夥伴株式會社（負責電力零售）及東京電力再生能源株式會社（負責潔淨能源開發）。TEPCO 服務區域雖僅占日本全國面積的 10%，但電力銷售量卻占全國總量的 28%，在日本電力產業中扮演關鍵角色。隨著數據中心需求激增，根據日本電力廣域運營推進機關（OCCTO）預測，數據中心與半導體工廠的電力需求將從 2025 年的 0.47GW 大幅成長至 2034 年的 6.16GW，其中東京地區成長最為顯著。

(1) 碳中和戰略目標與實施路徑

TEPCO 制定了明確的碳中和時程表：2030 年將電力供應的 CO2 排放量較 2013 年減少 50%，2050 年挑戰實現能源供應 CO2 排放量淨零。公司使命定義為「開發能源未來，提供舒適生活」，願景是「創造舒適安全的碳中和社會價值」。

TEPCO 將碳中和技術挑戰按技術難度與商業不確定性分為四個層次：

- 第一層：基礎措施：零排放電源開發與終端電氣化，技術成熟、商業模式明確的「穩健措施」。
- 第二層：支援間歇性分散式再生能源：透過需求反應 (DR)、車電整合 (V2G)、能源管理系統 (EMS)、儲能、電轉氣 (P2G) 等技術穩定電力系統。
- 第三層：難減排部門挑戰：推動氫氣、氨氣、永續航空燃料 (SAF)、合成甲烷等碳中和燃料的生產、運輸、使用與儲存。
- 第四層：負排放技術：包括碳捕捉、利用與封存 (CCUS)、直接空氣捕捉 (DACCS) 等新興技術。

(2) 需求側電氣化戰略

i 住宅用熱泵熱水器推廣

TEPCO 最大的成功案例是「Eco-Cute」住宅用熱泵熱水器推廣。該技術源自 1995

年 DENSO 與中央電力研究所(CRIEPI)的 CO₂ 冷媒研究,1998 年三方合作開發,2001 年商業化。截至 2025 年 3 月,累計銷售達 1000 萬台。隨著太陽能發電發展,用電型態從夜間轉向日間,2022 年推出「陽光 EcoCute」配合太陽能發電時間。假設 2025 年後銷售的 Eco-Cute 具備需求反應功能,到 2030 年需求反應潛力可達 5.46GW,相當於日本 2030 年太陽能裝置目標的 5%,對提升再生能源利用貢獻巨大。

ii 需量反應示範計畫

- Eco-Cute 需量反應:2025 年 4-6 月與約 150 戶用戶合作,驗證日間有效利用再生能源的調整容量。系統由 TEPCO 能源夥伴株式會社發出控制指令,透過能源閘道器與製造商雲端服務控制用戶設備。
- 建築熱儲存:與讀賣新聞大樓合作,利用 2000 噸熱儲存槽進行需求反應,在電力過剩時段蓄熱,高峰時段釋放。
- 虛擬電廠驗證:整合 4 棟建築太陽能發電供應美術館用電,驗證區域能源管理系統效果,計畫推廣至學校、公園等市有設施。

iii 電動巴士與充電設施

與 Michinori Holdings 合作開發電動巴士整合式能源管理系統,目標實現「碳中和+韌性」與「偏鄉電動巴士商業模式」。系統包含營運管理與電力供需調整兩大功能,能促進區域再生能源使用並提升區域韌性。TEPCO 開發多功能電動車充電解決方案,涵蓋家用、辦公、路途及目的地等場景,具備 V2H(車電住宅)、V2B(車電建築)等雙向能源流動功能,讓電動車成為移動式儲能設備。

(3) 間接電氣化:氫能技術發展

i P2G 示範計畫成果

2016 年 TEPCO 與山梨縣、Toray、高岡東光啟動日本首個綠氫供應鏈試營運。在米倉山建置 10MW 太陽能電池搭配 1.5MW PEM 電解系統,驗證氫氣生產、儲存、運輸與利用技術。測試結果顯示 PEM 電解設備能快速準確響應太陽能輸出波動,在 10 毫秒級響應測試中展現優異跟隨性能,具備參與高速備轉市場的技術條件。電解設備由 3 個 500kW 機組組成,採用 Toray 供應的 100 層多層膜

結構。

ii 山梨氫能公司 (YHC) 營運模式

2022 年 2 月成立 YHC，採用「在地生產在地使用」模式，透過現場電解器避免氫氣運輸成本，並可模組化擴大容量。目前營運專案包括：

- TAISEI U-LEC：容量 500kW，氫氣用於混凝土板養護蒸氣
- 住友橡膠：容量 500kW，氫氣用於輪胎製造蒸氣
- Himejirika：容量 14.8MW 建設中，氫氣與氧氣用於石英玻璃加工
- 三得利白州：容量 16MW 建設中，日本最大 PEM 電解系統，氫氣用於塑膠瓶消毒蒸氣

YHC 創新在於將電解設備定位為配電網路的分散式可調度資源，為太陽能主導的配電網路提供靈活性服務，實現電力系統與氫能系統的耦合優化。

(4) 發電端技術發展

i 浮動式垂直軸風力發電

2024 年 9 月，TEPCO 參與的聯盟獲選 NEDO 次世代浮動式離岸風力技術開發專案。核心創新是浮動垂直軸風力發電技術，風力發電機與浮動基礎整體旋轉。相較傳統水平軸設計，具有不受風向影響、重心較低、維護便利、噪音較小等優勢，有望大幅降低浮動式離岸風力發電成本。

ii 微藻燃料生產

TEPCO 專注開發 Botryococcus 藻類，成功培育出 TEPMO-26 菌株。該藻類具雙模式特性：綠色時光合作用並分裂，橙色時儲油浮於水面。提取的碳氫化合物可製成永續航空燃料、生質柴油、塑膠、化妝品等，目前重點發展降低設備成本與提升生產速度。

iii 混凝土廢料回收技術

開發創新回收技術，利用破碎混凝土中氫氧化鈣與 CO₂ 反應形成碳酸鈣，體積增加 12% 並提升強度。該技術整合火力發電廠 CO₂ 利用、廢混凝土處理與再生

骨材生產，實現多重環境效益。

(5) 火力發電去碳化與技術整合

JERA 制定環境目標 2035，推動火力發電潔淨化。LNG 電廠將轉換為氫氣混燒，燃煤電廠轉換為氫氣混燒，採用雙燃料技術逐步提高清潔燃料比例。同時大力發展再生能源，透過最佳化與數位化實現多元能源協調發展。TEPCO 重視數位技術應用，包括感測器與自動測量、人工智慧數據處理、預測性維護等，提升系統效率與可靠性。面對勞動力短缺挑戰，推動智慧維護與自然災害對策技術，確保電力系統穩定運行。

(6) 社會層面分析與未來展望

TEPCO 基於技術經濟分析繪製日本 2050 年碳中和邊際減排成本曲線，涵蓋約 11 億噸 CO₂ 減排需求。分析顯示，需求側電氣化、太陽能發電、儲能等措施具有較高成本效益，應優先推動。合成燃料、氫氣火力發電等高成本技術需透過創新與規模化逐步降低門檻。

- 技術發展趨勢：未來幾年將迎來關鍵突破期，電氣化技術更加成熟普及，再生能源成本持續下降，系統整合技術重要性上升，數位化轉型加速推進。
- 國際合作重要性：TEPCO 強調與 EPRI、LCRI 等國際夥伴深化合作，共同應對技術不確定性較高領域的挑戰，促進最佳實務分享與亞洲區域合作。

(7) 結論

TEPCO 將需求側電氣化視為「非常穩健的措施」，不僅能有效減碳，還能提升電網可靠性並促進國內再生能源最大化利用。供應側重點突破儲能、氫能、浮式風機等關鍵技術，為高比例再生能源電力系統奠定基礎。政策支持對技術發展與推廣具有關鍵作用，建議設計差異化激勵機制，完善標準規範，為產業發展提供明確指引。作為大型公用事業企業，TEPCO 承諾持續推進碳中和技術研發應用，加強國內外合作，為實現全球碳中和目標貢獻力量。通過全面的技術布局與深度思考，TEPCO 正以實際行動詮釋大型能源企業在氣候變遷時代的責任擔當，其經驗做法對其他國家與地區的能源轉型具有重要參考價值。

3. 關西電力公司簡報簡述

關西電力公司成立於 1951 年 5 月 1 日，是日本重要的電力公司之一，服務於關西地區，涵蓋大阪、京都、神戶等主要城市。公司具備穩健的財務實力，穆迪信用評等為 A3 級，資本額達 34 億美元，總資產 623 億美元，年營收 280 億美元，員工總數 31,628 人。在發電能力方面，關西電力擁有總裝置容量 27,849MW，其中包括水力發電 8,259MW、火力發電 13,001MW、核能發電 6,578MW 以及再生能源 11MW。公司經營四大業務領域：能源、生活/商業解決方案、資訊通信以及輸配電服務。電力網路基礎設施包括輸電線路 18,829 公里、配電線路 133,459 公里，年度總售電量達 117 TWh。關西電力積極參與海外專案投資，在全球 12 個國家擁有 23 個專案，裝置容量達 2,852MW（其中 2,820MW 已投入營運）。這些專案涵蓋風力、水力、火力發電以及天然氣等多元化能源組合，分布於挪威、芬蘭、英國、愛爾蘭、德國、新加坡、寮國、印尼、澳洲、菲律賓、台灣以及美國等地。

(1) 零碳願景 2050 與三大關鍵策略

關西電力提出「Set Net Zero by 2050」的企業目標，致力於 2050 年實現淨零碳排放。為達成此目標，公司制定三大關鍵策略：

i 第一戰略：需求側零碳排放

推動電氣化進程，透過去碳化電力來源滿足用戶需求。在住宅與商業領域，推廣全面電氣化；在工業領域，提供再生能源解決方案；在運輸領域，支援電動車輛、燃料電池車輛以及電動船舶的普及。同時建構微電網系統，整合分散式能源資源。

ii 第二戰略：供應側零碳排放

在發電端導入非化石燃料電源，包括風力發電、太陽能發電、核能發電以及氫能發電。特別著重於氫氣共燃技術的開發，將現有天然氣發電廠改造為氫氣共燃設施。同時推動碳捕捉與封存（CCS）技術的應用。

iii 第三戰略：創建氫能驅動社會

建立完整的氫能供應鏈，從海外採購氫氣，並在日本國內建立氫氣生產、儲存、運輸與利用的完整體系。目標成為氫能供應商，為運輸業及其他工業部門提供

清潔氫能。

(2) 氫能供應鏈建立計畫

關西電力規劃於 2030 年前建立完整的氫能供應鏈，透過全供應鏈的積極參與來實現此目標。公司將結合海外採購與國內生產，確保氫能的成本競爭力。氫能將作為火力發電廠的燃料，同時供應給運輸業及其他工業部門客戶，目標在 2050 年時取得全國 30% 的氫能市場占比。

(3) 氫能供應鏈三階段架構

i 第一階段：生產

- 海外採購：參與海外氫能生產專案的投資與開發
- 國內生產：建立本地氫能生產設施，為本地消費做準備，並研究利用核能進行氫氣生產的可能性

ii 第二階段：儲存與運輸

- 接收站建設：發展儲存設施和管線等基礎設施
- 運輸網路：建立完整的氫氣運輸系統

iii 第三階段：利用

- 火力發電廠：在天然氣發電廠實施氫氣共燃技術
- 氫能銷售：為運輸業和其他工業部門的去碳化做出貢獻

(4) 液化氫供應鏈發展

關西電力致力於發展海外與日本姬路地區之間的液化氫供應鏈。液化氫將運送到關西電力的發電廠以及其他工業用戶。整個供應鏈分為上游（供應側）和下游（需求側）兩部分。

上游供應來源主要來自海外氫能生產基地，透過專用液化氫運輸船運送到日本。下游需求端包括姬路第一發電廠和姬路第二發電廠的發電需求，以及其他工業和運輸業的氫能需求。

(5) 姬路地區作為接收站的適宜性

姬路地區是日本重要的工業園區，集中了眾多製造業終端設施，為氫能供應鏈接收站提供理想條件。該地區除了關西電力自有發電廠的氫氣共燃發電外，還能與周邊企業合作，建立跨行業需求的區域整合供應鏈。

姬路地區聚集了多家重要工業企業，包括：

- 大賽璐公司（化學工業）
- 新日本製鐵公司（鋼鐵工業）
- 山陽特殊製鋼公司（鋼鐵工業）
- 日本觸媒公司（化學工業）
- 神戶製鋼公司（重工業）
- 三菱重工業公司（重工業）
- 鐘化公司（化學工業）
- 川崎重工業公司（重工業）
- 旭硝子公司（化學工業）

這種工業集群效應使姬路地區成為建立氫能接收站的絕佳地點，能夠有效整合多元化的氫能需求。

(6) 大規模氫氣運輸可行性研究

關西電力正在進行大規模氫氣運輸的可行性研究，以實現從姬路地區到日本各地的成本效益氫氣國內運輸。該專案由新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)資助，參與機構包括關西電力、JR 西日本、日本貨物鐵道、NTT 陽極能源、松下電器以及日本電信電話公司。研究涵蓋兩大應用領域：

i 姬路地區氫能利用

包括氣電複循環發電廠(NGCC)和工業工廠的氫能需求，透過接收站、加氫站等設施建立完整的氫能供應網路。

ii 從姬路向全日本供應氫能

利用燃料電池列車、地下管線等方式，向全國各城市提供氫能服務。具體應用包括：

- 燃料電池列車運輸系統去碳化
- 利用通信管線建設氫氣管線網路
- 建立氫氣加氣站網路
- 為辦公大樓和商業設施提供氫能應用和熱能需求

(7) 氫氣混燒發電示範專案

關西電力在姬路第二發電廠進行氫氣混燒發電示範專案，利用現有燃氣輪機機組進行氫氣共燃技術驗證。該專案已進入示範階段，並開始向 2025 年大阪世博會場地供應部分氫能發電電力。

i 專案目標

為促進氫能的社會實施，需要建立能夠創造大規模氫能需求的氫氣燃氣輪機發電技術。該示範專案旨在建立氫能發電的運營技術。

ii 專案時程

- 2021 年度：可行性研究階段
- 2022-2023 年度：前端工程設計與設備安裝階段
- 2024-2025 年度：示範運行階段

iii 專案概要

為建立商業化階段所需的綜合運營技術，包括維護和安全措施，專案將進行可靠性、安全性等驗證工作。

專案採用多元化氫氣供應方式：

- 現場電解製氫：利用電解設備在發電廠內生產氫氣
- 場外氫氣供應：透過槽車運送氫氣瓶到發電廠

iv 向世博會供電的歷史意義

關西電力自 2025 年 4 月開始向大阪世博會場地供應氫氣混燒發電電力。這具有特殊的歷史意義：1970 年大阪世博會時，關西電力曾供應核能發電電力作為「未來能源」；2025 年世博會則供應氫能發電電力，象徵能源技術的時代演進。

(8) 氫燃料電池船與海洋充電站

關西電力與岩谷公司等夥伴合作，開展氫燃料電池船商業運營的相關倡議，該專案獲得 NEDO 支援。專案期間為 2021-2024 年度，參與機構包括岩谷公司、關西電力、名村造船、東京海洋大學等。

i 專案特色

- 開發氫燃料電池船與能源供應系統
- 建立海洋充電站的能源管理系統
- 基於船舶運行時程表進行海洋站能源管理，最佳化電力和氫能供應
- 設計 2025 年世博會期間的電池船營運路線

(9) 氫能環境價值鏈追蹤系統

關西電力開發氫能環境價值鏈追蹤系統，目標是透過持續追蹤氫能從上游（發電）到下游（終端用戶）的環境價值鏈，提供數據驗證氫氣的生產時間、地點、方式、路徑及環境影響，有助於確保氫能基於其環境足跡進行選擇。2022-2024 年期間，關西電力在核能發電廠進行氫能追蹤系統示範，確認系統運行正常。該系統能夠完整追蹤從核能發電廠到燃料電池車輛和各種需求端的氫能流動。

(10) 與 EPRI 的合作概況

關西電力與 EPRI 合作開發綠氫最佳化模型，旨在利用再生能源以低成本生產氫氣。由於設備設施成本和營運成本的降低對於使用再生能源生產氫氣至關重要，因此開發此最佳化模型來最小化氫氣生產成本。

i 最佳化模型架構

輸入項目：電力和氫氣消費概況、價格和碳強度數據、各種設備數據

邊界條件：用水量限制、土地面積限制、輸電容量限制等

輸出項目：成本最小化的設備配置、各設施的最佳運行模式、氫氣生產單價、生產量和二氧化碳排放量

ii 氫氣生產系統配置

該系統透過在氫氣消費地點安裝再生能源發電、電解設備和儲能電池，利用能源管理系統（EMS）實現高效氫氣生產。系統包括：再生能源發電設備、電解槽、氫氣儲存槽、儲能電池系統、電網連接

(11) 結論

關西電力正積極建立國際氫能供應鏈和國內氫氣生產專案，以實現電力部門及相關領域的去碳化。透過 2025 年大阪世博會，公司致力於開發技術並推動新創新的導入，以實現氫能和去碳化社會。

由於氫氣和氨等非化石燃料技術的資訊不斷更新，包括發展趨勢、課題、成本、新進入者等，關西電力透過與 EPRI 促進各種發展和見解的分享，適當推進氫能和去碳化專案的考量。

該公司的氫能戰略展現了從技術研發、示範驗證到商業化應用的完整路徑，為日本乃至全球的氫能產業發展提供重要參考。透過與國際夥伴的合作以及在 2025 年世博會的技術展示，關西電力正在氫能社會的建設中扮演重要的領導角色。

4. 東京瓦斯簡報簡述

東京瓦斯成立於 1885 年，是日本主要的綜合能源企業，擁有員工 15,963 人。業務涵蓋能源解決方案、都市開發、網路基礎設施和海外事業。截至 2024 年 3 月，天然氣客戶 880 萬戶，電力客戶 390 萬戶。2023 財年天然氣銷售量 126 億立方公尺，電力銷售量 254 TWh，合併營收 220 億美元。

公司擁有完整的液化天然氣供應鏈：4 座接收站、超過 60,000 公里管線網路、2.8GW 天然氣發電廠、11 艘液化天然氣運輸船。2023 財年進口液化天然氣約 1,100 萬噸，主要來自澳洲、馬來西亞、俄羅斯等國。再生能源裝置容量 1.3GW，計劃 2030 年擴大至 6GW。

(1) 碳中和策略架構

i 三大核心原則

培育綠色轉型(GX)：在電力部門擴大再生能源應用，在熱能部門推進先進能源利用、導入合成甲烷(e-methane)和氫能、發展碳捕捉利用與封存(CCUS)技術。

確保能源供應韌性：透過能源資源多元化、整合大型集中式與分散式系統，確保轉型過程中的供應穩定。

有效利用既有基礎設施：最小化轉型的額外社會成本，充分利用現有液化天然氣和都市燃氣基礎設施。東京瓦斯認為合成甲烷是最具成本效益的選項。

ii 階段性路線圖

- 2020 年代：奠定天然氣和電力脫碳技術基礎，推進天然氣高效利用
- 2030 年代：部署脫碳技術並大規模推廣，發展氫能和離岸風電
- 2040 年：實現二氧化碳排放減少 60%，天然氣和電力均達 50%碳中和
- 2050 年：完全實現碳中和

(2) 氫能技術發展

i 水電解技術突破

東京瓦斯開發觸媒塗佈膜(CCM)直接塗佈技術，採用捲對捲製程大幅提升製造

效率並降低成本。電極面積從 2021 年的 25 平方公分擴大至 2023 年的 1,250 平方公分，未來將達 5,000 平方公分以上。SCREEN 公司已建設 6GW/年級量產工廠，預計 2025 年中期開始商業生產。

ii 無鈹觸媒開發

為降低成本，公司已將鈹用量減少至歐盟 2030 年目標的 1/6。目前與 H2U 公司合作，運用 AI 技術探索高熵合金作為無鈹觸媒。透過高通量合成測試，從 200 萬種候選材料篩選出 2 萬種，再測試超過 20,000 個樣品，最終發現比鈹更具活性的材料。

iii 氫能應用示範

在東京 HARUMI FLAG 住宅區建立完整氫能應用系統，包括氫氣管線、加氣站、住宅用燃料電池等。與橫濱市合作，利用污水處理廠資源進行氫能技術驗證。

(3) CCUS 技術發展

東京瓦斯重點發展四大 CCUS 技術：直接二氧化碳利用、燃料轉換(合成甲烷生產)、礦化技術、封存與提高石油採收率。同時與地球環境產業技術研究機構合作開發微氣泡技術，能高效儲存二氧化碳並應用於客戶端 CCU 服務。與住友商事進行直接空氣捕捉結合碳封存(DACCS)的可行性研究。

(4) 合成甲烷技術創新

i 技術原理與優勢

合成甲烷透過反應 $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ 產生，具四大優勢：

- 可直接使用既有基礎設施，降低額外投資
- 提升產業競爭力，企業可專注核心產品投資
- 促進亞洲碳中和，推動日本技術海外擴展
- 脫碳化難以電氣化的高溫工業製程(200°C 以上)

ii 創新甲烷化技術

傳統薩巴蒂爾方法整體效率僅 50-60%，存在成本高、規模化困難等問題。東京

瓦斯開發兩項創新技術：

- 混合薩巴蒂爾技術：目標效率 80%，透過有效利用甲烷化廢熱進行水電解，整合設備降低成本，模組化設計便於擴大規模。
- PEMCO₂還原技術：目標效率 70%，單步驟直接合成大幅降低成本，具備生產多種副產品的潛力。

iii 技術示範設施

在橫濱技術站建立完整示範設施，包括 1.7MW 大型電解槽、800kW 太陽能發電、甲烷化設備等。甲烷化設備生產能力 12.5 標準立方公尺/小時，甲烷濃度 97%(最高 99.8%)，觸媒壽命超過 20,000 小時。這是全球首個獲得清潔天然氣認證的合成甲烷生產設施。

(5) 全球合作項目

i 美國 ReaCH4 旗艦項目

由東京瓦斯、東邦瓦斯、三菱商事、Sempra Infrastructure 四家日美企業合作推動的全球首個商業規模合成甲烷供應鏈項目。位於德州/路易斯安那州，鄰近 Cameron LNG 廠，充分利用既有液化天然氣基礎設施、豐富的再生能源和完善的運輸網路。

ii 馬來西亞可行性研究

與 Petronas 和住友商事合作，利用馬來西亞豐富的水力發電資源，建立從綠氫衍生合成甲烷出口至日本的供應鏈。目前正進行潛在廠址勘查和詳細研究。

iii 澳洲 Pre-FEED 研究

與 Santos、大阪瓦斯、東邦瓦斯合作，在庫珀盆地 Moomba 地區進行合成甲烷生產研究。該地區具備豐富的太陽能 and 風能資源，以及完善的管線網路基礎設施。

iv 其他國際合作

與 Shell 建立全面合作夥伴關係，涵蓋合成甲烷、氫氣、再生天然氣和碳捕捉封存。在歐洲與 TES、Total Energies、Engie 等公司合作，在亞太地區與 INPEX、

Pertamina 等展開合作項目。

(6) 全球推廣倡議

i e-NG Coalition 國際聯盟

2024 年 10 月 20 日在比利時布魯塞爾成立全球首個合成甲烷國際聯盟，由 TES 公司 Yves Vercammen 擔任主席，東京瓦斯小林雄二擔任副主席。聯盟目標包括提升全球認知、推動政策倡議，成員涵蓋日本、歐洲、美國、韓國等地的主要能源企業。

ii 商業化關鍵要素

加速商業化需要三個關鍵要素：

- 建立二氧化碳會計制度，確保合成甲烷供應鏈不增加大氣中二氧化碳
- 建立區別合成甲烷與天然氣的認證系統
- 建立彌補合成甲烷與液化天然氣成本差距的制度

iii 社會實施路線圖

- 技術建立階段(2022-2025)：綠色創新基金支持的研發和小規模示範
- 規模化階段(2026-2030)：區域合作模式和本地生產消費，目標達都市燃氣供應量 1%
- 社會實施階段(2030 年後)：大規模海外供應鏈建立和全面商業化

(7) 結論

東京瓦斯的碳中和策略展現了傳統能源企業在氣候變遷挑戰下的積極轉型典範。透過系統性技術創新、策略性國際合作和前瞻性政策倡議，正在重新定義天然氣公司在低碳能源時代的角色。其技術創新為全球氫能產業提供重要解決方案，多元化國際合作建構全球合成甲烷供應網路，e-NG Coalition 的成立推動產業政策發展。經驗證明傳統能源企業可成為能源轉型的積極推動者，透過善用既有基礎設施結合創新技術，在低碳轉型中發揮關鍵作用。

5. 大阪瓦斯簡報簡述

大阪瓦斯集團 (Osaka Gas / Daigas Group) 作為日本知名的綜合能源公司，致力於在 2050 年前實現碳中和目標。本報告概述該公司在合成甲烷(e-methane)技術開發、再生能源推廣以及國際合作等面向的重要倡議與策略。大阪瓦斯成立於 1905 年，擁有超過百年的營運歷史，目前集團員工總數達 21,159 人，母公司員工 1,137 人。截至 2024 年 3 月的營運數據顯示：

- 總客戶數：1,030 萬戶
- 天然氣客戶：500 萬戶
- 電力客戶：180 萬戶
- 天然氣銷售量：66 億立方公尺
- 電力銷售量：15.3 TWh
- 年度營收：154 億美元
- 獲利：15.1 億美元
- 上游及 LNG 投資：在 5 個國家進行投資
- LNG 採購運輸：年採購量超過 1,000 萬噸，擁有 8 艘以上的 LNG 運輸船隊
- LNG 接收站：在 3 個國家營運接收站，在日本擁有 50 年營運經驗
- 天然氣輸送配送：日本境內管線總長度達 63,000 公里
- 天然氣行銷：在 5 個國家開展天然氣行銷業務
- 發電事業：在 4 個國家營運總裝置容量 6.2GW 的發電廠

(1) 2050 碳中和目標與策略

i 大阪瓦斯的碳中和目標：

2030 年目標：

- 透過擴大天然氣和再生能源使用，推動低碳化

- 貢獻減少 1,000 萬噸/年的二氧化碳排放
- 推動 5GW 再生能源開發
- 在天然氣管網中導入 1%以上的合成甲烷

2050 年目標：

- 透過增加再生能源及導入合成甲烷，實現發電來源和都市燃氣的脫碳化
- 促進和擴大合成甲烷事業
- 透過創新技術實現集團事業的碳中和

(2) 能源碳中和策略框架

大阪瓦斯的能源碳中和策略基於 S+3E 原則(安全性 Safety + 能源安全 Energy Security、環境 Environment、經濟效率 Economic Efficiency)，包含三大支柱：

i 電力能源碳中和

- 擴大再生能源來源和使用（太陽能、風能、生質能）
- 透過儲能系統提升能源供應穩定性
- 實現火力發電廠零排放

ii 熱能碳中和

- 確保天然氣供應穩定性並減少碳排放
- 從天然氣向合成甲烷的無縫轉換
- 透過國際合作推動合成甲烷
- 透過 SOEC 甲烷化技術創新擴大合成甲烷來源和使用

iii. 負排放技術

- 永續森林開發和管理以直接移除二氧化碳
- 有效利用碳權，針對客戶特定需求量身訂做

- 探索、開發和評估負排放技術，如直接空氣捕獲（DAC）

(2) 合成甲烷技術特點與優勢

合成甲烷是透過回收大氣中排放的二氧化碳，並與氫氣合成所產生的替代天然氣。其主要特點包括：

- 碳循環利用：透過碳捕獲利用（CCU）技術，不增加大氣中的二氧化碳含量
- 基礎設施相容性：與天然氣成分幾乎相同，可直接使用現有的天然氣基礎設施和設備
- 成本優勢：作為氫載體進行國際運輸時，相較於液氫和氨具有成本優勢

根據日本政府綠色成長策略，合成甲烷被選為次世代熱能產業的 14 個重點領域之一，具有四大價值：

- 脫碳化熱需求：解決佔能源需求 60% 的熱需求脫碳化問題，特別是電力無法產生的高溫熱能
- 降低社會成本：透過使用現有天然氣基礎設施和設備，大幅降低社會轉換成本
- 強化能源安全：透過在日本國內外不同地點生產合成甲烷，降低地緣政治風險
- 碳中和亞洲：出口具競爭力的日本產業技術，促進亞洲地區環境保護和經濟成長

(3) 大阪瓦斯合成甲烷倡議

i 全球化布局

大阪瓦斯正在 5 個地區進行專案，包括出口至日本和當地生產當地消費的模式：

亞太地區：

- 澳洲（對日出口）：與 INPEX 合作，目前在日本進行示範，未來將在澳洲等地大規模化

- 澳洲（當地消費）：與 Santos、ATCO 合作，進行可行性研究
- 新加坡（當地消費）：與 CityEnergy 合作
- 馬來西亞（生質 SNG）：與 IHI、Petronas 合作
- 台灣：與中油公司合作

美洲地區：

- 美國中西部：與 TALLGRASS、Green Plains 合作
- 美國德州和路易斯安那州：與東京瓦斯、東邦瓦斯、三菱商事、SEMPRA 合作
- 秘魯：與 Marubeni、PERU LNG 合作

其他地區：

- 中東：與東京瓦斯、三菱商事合作
- 全球專案：與 Shell、東京瓦斯以及 TES 合作

ii 甲烷化技術發展路徑

大阪瓦斯開發三種甲烷化技術，以實現 2050 年合成甲烷商業化和淨零排放：

ii.i 薩巴蒂爾甲烷化 (Sabatier Methanation)

- 目標：大規模商業化
- 合作夥伴：與 INPEX 合作，由 NEDO 出資
- 規模：400 立方公尺/小時（相當於 1 萬戶家庭用量）
- 技術特色：使用大阪瓦斯自主開發的專利催化劑技術
- 示範地點：INPEX 長岡油田附近
- 發展階段：2020-2030 年技術開發，目標 2030 年商業化

ii.ii 生物甲烷化 (Bio-methanation)

- 目標：產生當地使用能源
- 應用場所：2025 年世博會及污水處理廠
- 技術原理：透過甲烷菌進行甲烷合成，高度利用來自垃圾和污水污泥的沼氣
- 潛力評估：關西地區 26 座大型污水處理設施
- 污水污泥氣化：4,700 萬立方公尺/年
- 廢棄生質塑膠利用：14,400 萬立方公尺/年
- 甲烷化技術導入：24,600 萬立方公尺/年
- 發展階段：技術開發→示範→2030 年商業化

ii.iii SOEC 甲烷化（固體氧化物電解池甲烷化）

- 目標：提升效率以降低成本的次世代高效技術
- 資金來源：綠色創新基金專案
- 技術特色：結合 SOEC 共電解與甲烷化，直接從水和二氧化碳合成甲烷
- 發展階段：2022-2024 年實驗室規模（0.1 立方公尺/小時）→2025-2027 年台架規模（10 立方公尺/小時）→2028-2030 年試驗工廠規模（400 立方公尺/小時）

（4）其他永續發展倡議

大阪瓦斯積極投資新興技術領域：

- 碳權品質評估：開發 AI 技術評估碳權品質，根據 100 多項標準評估其一致性
- 電動車儲能電池可靠性：由集團子公司 KRI 開發儲能電池劣化診斷和壽命預測技術
- 地質氫（美國）：投資美國 Koloma 公司，從事地質氫的探勘、開發和生產
- 次世代聚光太陽能熱發電（澳洲）：在澳洲成立 FPR Energy，與 CSIRO、RFC

(5) 與 EPRI LCRI 的國際合作

i 技術交流與合作

大阪瓦斯與 EPRI LCRI 的技術指導委員會進行技術意見交流，並與參與 LCRI 的美國天然氣公司和研究機構就脫碳化策略交換意見。

ii 實地考察與討論

合作內容包括：

- 技術討論：與 EPRI LCRI TSC 成員討論生質燃料、合成燃料、電解技術、氫管線和儲存技術、CCS 和二氧化碳捕捉技術
- 示範參觀：參觀 NREL 在 LCRI 框架下的電解示範，討論從綠氫生產到利用的整體系統最佳化
- 策略對話：與美國天然氣公司（SoCal Gas、Con Edison、Dominion、San Diego Gas & Electric、Southern Company）討論在脫碳化策略和政策下利用天然氣基礎設施的策略

(6) 結論

大阪瓦斯作為日本領先的綜合能源公司，透過系統性的碳中和策略，致力於在 2050 年實現淨零排放目標。公司的核心策略包括：

- 技術創新：開發多元化的甲烷化技術，從現有的薩巴蒂爾技術到未來的 SOEC 高效技術
- 基礎設施優勢：充分利用現有天然氣基礎設施，實現成本效益的能源轉型
- 國際合作：透過全球夥伴關係，建立多元化的合成甲烷供應鏈
- 階段性目標：設定明確的 2030 年中期目標（1%合成甲烷導入）和 2050 年長期願景
- 創新投資：持續投資新興技術，包括地質氫、儲能技術、碳權評估等

大阪瓦斯的碳中和倡議不僅展現了傳統能源公司的轉型決心，更為亞太地區的能源轉型提供了重要的技術路徑和合作模式。透過合成甲烷技術的開發和推廣，該公司正在為實現區域性碳中和目標做出重要貢獻，同時也為日本的綠色成長策略和亞洲地區的永續發展奠定堅實基礎。

6. ENEOS Xplora Inc. 簡報簡述

ENEOS Xplora Inc. (原名 JX Nippon Oil & Gas Exploration) 是 ENEOS 集團旗下專門從事石油天然氣探勘與生產 (E&P) 業務的子公司，隸屬於永續事業部門。該公司於 2025 年 1 月正式更名為 ENEOS Xplora，象徵著其「以地球能源賦能未來」的全新使命。公司的使命是「探索地球的無限可能，為社會創造價值」，願景則是「透過地下技術與創新，成為實現永續社會的關鍵推手」。公司採用「雙軌並進」的企業策略，在轉型期間讓核心業務「傳統 E&P 事業」引領「環境友善事業」發展，直至後者成長為核心業務。在此策略框架下，傳統 E&P 業務定位為核心事業，環境友善業務則為成長業務。

(1) E&P 業務全球佈局

ENEOS Xplora 在全球 8 個國家擁有超過 30 個專案，建立了完整的國際業務網絡：

i 主要營運地區

- 東南亞 (65%)：包括越南、馬來西亞、印尼等國
- 中東 (16%)：主要在阿聯、卡達等地區
- 其他地區 (16%)：涵蓋其他重要市場
- 北美 (3%)：美國等地區

ii 重點專案

- 日本：國內天然氣生產設施
- 越南：海上石油開發平台
- 巴布亞紐幾內亞：海上天然氣開發
- 印尼：陸上油氣田開發
- 馬來西亞：海上油氣田營運
- 阿聯/卡達：中東地區油氣專案

- 美國：北美頁岩氣開發

(2) 碳捕捉與封存 (CCS) 發展歷程

ENEOS Xplora 致力於成為亞洲地區 CCS 技術的領導企業，認為 CCS 是最可行的去碳化技術，因為現有的石油天然氣 E&P 技術具有可轉移性，且被廣泛視為實現大幅 CO₂ 減排的關鍵措施。

i 2000 年：Zero Flare 專案（阿聯阿布達比）

- 中東地區首個利用酸性氣體作為注入劑的專案
- 成功實現 CO₂ 和 H₂S 的減排
- 同時提升石油產量

ii 2007 年：CDM 專案（越南）

- 全球石油天然氣產業首個獲得 CDM 核准的專案
- 實現 CO₂ 減排
- 提升石油產量

iii 2011 年：CO₂-EOR 先導測試（越南）

- 東南亞首個海上 CO₂-EOR 專案
- 實現 CO₂ 減排
- 提升石油產量

iv 2017 年：Petra Nova CCUS 專案（美國德州）

- 全球最大的燃燒後捕捉增強採油回收商業化專案
- 實現 CO₂ 減排
- 提升石油產量

v 2022 年至今：大型 CCS 專案（日本）

- 日本首批大型先進 CCS 專案之一

- 預計 2030 年開始營運
- 實現 CO₂ 減排

(3) Petra Nova CCUS 專案詳析

Petra Nova CCUS 專案位於美國德州，是全球最大的燃煤發電廠燃燒後捕捉增強採油回收商轉專案。該專案自 2017 年啟動以來，已成功捕集並注入超過 420 萬公噸的 CO₂ 至 West Ranch 油田。

i 流程說明

- CO₂ 來源：來自 Parish 發電廠的燃煤發電廠廢氣
- COGEN 設施：Petra Nova 的發電與蒸氣產生
- CCS 設施：Petra Nova 的碳捕捉系統
- CO₂ 管線：德州沿海企業公司負責運輸
- 石油開採：透過 CO₂ 注入進行增強採油
- CO₂ 注入與封存：將 CO₂ 永久封存於地下儲油層

ii 商業架構

專案採用複雜的合資架構，包括：

- Petra Nova Holdings LLC (100%)：由 DOE、JBC、NRG 三方組成
- Petra Nova Power I, LLC：負責發電設施
- Petra Nova CCS I, LLC：負責碳捕集設施
- Petra Nova LLC (50%) 和 Texas Coastal Ventures, LLC：分別持有 50% 股權
- TCV Pipeline, LLC 和 West Ranch Oil Field：負責管線運輸與油田營運

iii 設施配置

- 碳捕捉系統：包括吸收塔、再生塔、壓縮機、冷卻塔、煙道等完整設備
- West Ranch 中央設施：包含 CO₂/水/油分離設備、循環壓縮機、閃蒸氣壓縮機、油水儲槽、各式管線等
- 注入井網：多個注入井與生產井的完整井網系統

(4) CCS 價值鏈建構與強化

ENEOS Xplora 正在建構完整的 CCS 價值鏈，涵蓋從 CO₂ 排放源到最終封存的全過程：

i 核心技術能力

- E&P 專業技術：運用現有油氣探勘開發技術進行地質評估
- 分離與捕集：CO₂ 分離捕集技術
- 儲存場址選擇：地質評估與最適封存地點選擇
- 注入井鑽井：運用鑽井技術建設注入井
- CO₂ 運輸：與船運公司合作最佳化液態 CO₂ 運輸
- CO₂ 注入與封存：安全注入與長期監測
- 監測：持續監測確保封存安全

ii 關鍵合作夥伴

- Japan Drilling Company (JDC)：參與 JX 集團增加注入井鑽井技術與營運能力，強化 CCS 價值鏈（擁有 3 座自升式鑽井船、1 座半潛式鑽井船）
- 船運公司合作：透過與船運公司的夥伴關係處理液態 CO₂ 運輸最佳化

(5) 日本 CCS 專案現況

ENEOS Xplora 積極參與日本國內的 CCS/CCUS 專案發展，由 ENEOS、J-POWER 和 ENEOS Xplora 於 2023 年 2 月聯合成立，計畫將來自西日本煉油廠的 CO₂ 運輸並封存至西九州外海地下儲層。ENEOS 負責 CO₂ 分離捕捉設備、J-POWER 負責 CO₂ 儲存設施與海運運輸、ENEOS Xplora 負責儲存探勘與評估，選擇 CO₂ 儲層。

(6) 與 E&P 業務結合的新事業

ENEOS Xplora 運用既有 E&P 技術開發新業務領域，建立不受油氣價格波動影響的新事業基礎。

i 氦氣事業：

- 技術運用：氦氣位於與油氣類似的地下儲層，可運用現有鑽井與評估技術進行開採
- 市場前景：氦氣目前供需緊張，價格呈上升趨勢
- 商業潛力：商業化後有潛力成為重要的新收入來源

ii 天然氫氣探勘

在日本建立天然氫氣探勘據點，該領域在日本的進展相對緩慢，具有早期進入優勢。

(7) 海外 CCS 專案

- 馬來西亞半島 CCS 專案 (2022)：PETRONAS 與 JX NOEX 同意為 PETRONAS 在馬來西亞半島海上油田開發提出聯合提案，運用 CCS 技術進行開發。
- 馬來西亞海上 CCS 專案 (2022)：PETRONAS、JGC Holdings 與 JX NOEX 簽署聯合合作研究備忘錄，旨在研究馬來西亞 CCS 開發潛力。該研究不僅針對馬來西亞國內工業排放的 CO₂，也包括來自海外的 CO₂，如日本。
- 澳洲海上 CStore 1 專案 (2021)：JX NOEX 簽署聯合研究協議，參與開發 CStore 1 專案。該專案包含從澳洲工業源捕集 CO₂，並在亞太地區海上安全運輸與封存 CO₂ 於海底儲存設施。

(8) 結論

ENEOS Xplora Inc. 正處於歷史性的轉型期，從傳統石油天然氣探勘生產企業轉型為綜合性永續能源解決方案提供者。公司運用深厚的地下技術專業，在 CCUS、氫氣、直接空氣捕集等前瞻技術領域建立領導地位，同時透過國際合作與創新研發，為實現碳中和社會貢獻關鍵技術與解決方案。

透過「探索地球、創造價值」的使命指引，ENEOS Xplora 將持續推動技術創新，
建構永續能源生態系統，為全球能源轉型與氣候變遷因應貢獻重要力量。

四、心得與建議

（一）出國參訪後心得

1. 參訪 Energy Gateway Co., Ltd. 提供了一個深入了解 NIALM 技術商業化的寶貴機會。該公司專注於將 AI 與 IoT 技術應用於能源管理，其旗艦產品 ienowa 利用 NIALM 技術實現了家庭電器用電的智能監測與管理。現場展示的 ienowa 應用程式操作介面直觀且用戶友好，能即時呈現模擬家庭的用電數據、電費預測及節能建議，令人印象深刻。Energy Gateway 成功將 NIALM 技術整合於新建案的智能家居解決方案中，透過住宅銷售公司、物業管理公司及房屋製造商推廣，顯示了其商業模式的創新性與市場潛力。這次參訪不僅展示了 ienowa 的技術實力，也為我們發展自有 NIALM 商業服務提供了重要的啟發。
2. 參加 2025 LCRI Asia Member Workshop 後，了解日本和韓國在低碳能源轉型方面的積極投入與豐富經驗，本公司可以從中學習並借鑒多項關鍵策略和工作內容，如下所示：
 - **最大化利用現有電力或天然氣基礎設施**

日韓兩國均強調在能源轉型中利用現有的電力、天然氣和工業基礎設施，透過燃料轉換（如氫氣和氨氣混燒）或技術改造（如 CCS）來降低成本和減少資產閒置。本公司因擁有數個燃煤和燃氣電廠，可以持續關注並研發氫氣或氨氣的混燒改造技術，並評估現有天然氣管網用於輸送低碳燃料（如合成甲烷或氫氣混合氣）的可行性，從而避免大規模新建電力或天然氣基礎設施所帶來的高成本和時間壓力。
 - **多元化低碳燃料路徑的發展**

日本積極發展合成甲烷、氫氣（包括液化氫和有機化合物載體）和氨氣，而韓國則專注於氫氣和氨氣。這顯示了採取多樣化燃料策略的重要性。本公司應評估自身資源稟賦、地理條件和工業結構，選擇最適合發展和引進的低碳燃料組合。
 - **推動整合性能源系統與部門耦合**

LCRI 及日韓案例都強調了能源系統的整合（電力、工業、交通、建築）以及部門耦合（如電轉氣 P2G、工業熱能利用、資料中心去碳化）的重要性。本公司可借鏡此模式，開發跨部門整合的能源模型和去碳策略，例如鼓勵大型工業園區與電廠合作，共同發展碳捕捉與利用（CCU）或氫能應用，實現能源和物質流的

效率最大化。

- **加強研發與示範項目投入**

日韓兩國在氫能（電解、儲存、運輸）、氨能、CCUS（碳捕捉、運輸、再利用、封存）以及新興燃料生產（微藻燃料、熱裂解制氫）方面投入了大量研發和試點與示範項目。台灣應大幅增加在低碳能源技術研發上的投資，並積極參與國際合作示範計畫，透過實際操作積累經驗、識別技術瓶頸並優化解決方案。

- **建立穩健且多元的低碳燃料供應鏈**

日本將著重於建立全球合成甲烷和液化氫供應鏈，韓國則關注氨氣的基礎設施建設。作為島嶼經濟體的最大電力供應者，本公司更需優先考慮建立安全且多元的低碳燃料和載體供應鏈，降低對單一來源的依賴，並確保能源韌性。

- **設計有效的政策與市場機制**

韓國的 CHPS 市場和清潔氫能認證系統為清潔能源提供了明確的政策框架和激勵措施。日本的綠色創新基金則支持技術發展。台灣可以檢視並完善自身的碳定價、排放交易和清潔能源標準等市場機制，以加速去碳化目標的實現，並引導企業和資金投入到綠色轉型中。

- **加強關注「難以減排」產業部門的減碳計畫**

日韓的策略都認識到鋼鐵、化工和高溫熱需求等行業在去碳化方面的挑戰。台灣作為一個以出口產品為導向的經濟體，應為這些「難以減排」的產業設計專門的去碳策略，例如推廣氫氣還原煉鋼、發展工業熱泵或提供客製化的 CCUS 解決方案。

- **強化公眾參與與安全管理**

本次會議之中數家會員企業提到新技術（如氫能和 CCS）的公眾接受度和安全問題。未來本公司在推動新興能源技術時，應加強與社會大眾的溝通，提升透明度，並建立嚴格的安全標準和應急響應機制，以贏得公眾信任和支持。

- **投入先進經濟模型建立與數據分析**

EPRI 的 REGEN 模型和各種數據庫（如再生燃料地圖集、電解製氫技術經濟分析計算器）在決策中扮演重要角色。本公司可借鑑這些經驗，投資於自身的綜合能源經濟模型和數據平台，以支持更精準的能源規劃和政策制定。

（二）出國參訪後建議

根據參訪觀察及 ienowa 產品的特性，針對本公司下一代傳感器設計精進提出以下建

議，以進一步提升產品的實用性與用戶體驗：

1. 傳感器尺寸優化

建議本公司下一代傳感器的設計以斷路器大小為目標，使其更易於安裝在配電盤內。此設計能大幅簡化安裝流程，降低對新建案或現有住宅的改造成本，並提高市場接受度。

2. 加入 LED 狀態指示燈

建議在本公司下一代傳感器上加入 LED 燈，用以顯示傳感器的運作狀態。此功能可方便安裝人員在安裝過程中進行測試，同時也便於用戶在遇到問題時快速確認傳感器的工作狀況，提升問題排查效率。

3. 新增重置按鈕

建議為本公司下一代傳感器加入實體重置按鈕，讓用戶能輕鬆重置設備。此功能有助於用戶在遇到異常時自行進行初步問題排除，減少技術支持的需求，提升用戶滿意度。

4. 小結

這些建議旨在優化本公司下一代傳感器的安裝便利性與用戶友好度，進一步提升產品的市場競爭力。希望未來能持續與東電 Energy Gateway 交流，共同探索 NIALM 技術在能源管理領域的更多可能性。

（三）結論

總體而言，實現淨零排放是一項全面、複雜而緊迫的任務，需要跨國界、跨產業的深度合作與持續創新。LCRI 透過其研究、示範計畫和協作平台，為會員提供了寶貴的知識、工具和支援，幫助他們應對能源轉型中的諸多不確定性。

日本和韓國作為亞洲地區的領先經濟體，在淨零目標下展現出高度的決心和多元化的實踐。兩國的策略不僅涵蓋了供應側的清潔能源生產（如氫氣、氨氣、合成甲烷、再生能源、CCUS），也深入到需求側的電氣化、能源效率提升和去碳化解決方案。特別是他們對新興低碳燃料（如氫氣和氨氣）的研發與示範投入、現有基礎設施的創新利用、以及建立全球供應鏈的努力，都為其他尋求去碳化的國家提供了重要的借鑒。

面對共同的去碳挑戰，國際合作、知識共享和技術轉移顯得尤為關鍵。透過借鑒日韓的成功經驗與正在進行的工作，並結合自身的獨特條件，各國可以更有效地制定和實施其低碳能源發展策略，共同塑造一個清潔、可靠、可負擔的能源未來。