

出國報告（出國類別：開會）

參加 2019 美國電力研究院(EPRI) 夏季研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：鍾炳利 總經理

薛人豪 總經理特別助理

沈德振 綜合研究所副所長

顏宏益 核火工處北部施工處副處長

派赴國家：美國

出國期間：108 年 8 月 11 日至 108 年 8 月 18 日

報告日期：108 年 10 月 05 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2019 美國電力研究院(EPRI)夏季研討會

頁數 87 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

鍾炳利 /台灣電力公司 /總經理室 /總經理 / 2366-6222

薛人豪 /台灣電力公司 /總經理室 /總經理特別助理 / 2366-5088

沈德振 /台灣電力公司 /綜合研究所 /副所長 / 2360-1003

顏宏益 /台灣電力公司 /核火工處北部施工處 /副處長 / 2606-2203

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：108 年 8 月 11 日~108 年 8 月 18 日

出國地區：美國

報告日期：108 年 10 月 05 日

分類號/目

關鍵詞：智慧電網、再生能源、能源儲存、需求端管理、能源小鎮

內容摘要：(二百至三百字)

EPRI 每年定期舉辦夏季研討會，邀請特定對象之電力機構最高階主管，藉由參加 EPRI 夏季研討會，可與各國電業高階主管交換相關營運經驗，並探討如何透過互聯的智慧技術達成企業快速轉型，以規劃與推動電業未來具前瞻性的營運政策。

EPRI 今年於美國芝加哥舉辦 2019 夏季研討會，研討會議主題為「智慧轉型(Intelligent Transformation)」，研討在全球積極追求去碳化(Decarbonization)之大趨勢下，電力產業現在與未來面臨之挑戰與因應策略，以及如何智慧轉型與轉移典範，邀請各國政府官員、電業主管機構與專家、電業高階主管交流與討論因應策略與作為。

另本公司未來將採購電廠燃氣機組電力相關大型設備，於研討會後安排參訪西門子之先進複循環電廠、GE 公司燃氣渦輪發動機生產廠、全負載測試中心、先進高溫材料研究室、3D 列印中心；並對大潭燃氣機組與 GE 公司技術專家研討交流試運轉經驗。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

第一章 出國任務與行程	1
壹、 出國任務	1
貳、 行程	1
參、 美國電力研究院(EPRI)簡介	2
第二章 研討會與參訪內容	3
壹、 研討會	3
一、 研討會議程	3
二、 研討會重點	4
貳、 技術參訪	31
第三章 心得與建議	70
壹、 未來低碳發展趨勢-電動車	70
貳、 未來低碳發展趨勢-電轉氣(power to gas, P2G)	70
參、 推動國際資通訊標準	71
肆、 加強國外電業及研究機構交流	71
伍、 政策、法規制度面配套措施	72
陸、 燃氣復循環機組性能測試驗證：	72
柒、 評估增加氣渦輪機燃料變動範圍：	73
捌、 燃氣復循環機組系統模組化：	73
玖、 提昇新型氣渦輪機組維護技術：	73
第四章 研討會議資料	74
第五章 參考文獻	84

第一章 出國任務與行程

壹、出國任務

EPRI 每年定期舉辦夏季研討會，邀請特定對象之電力機構最高階主管，藉由參加 EPRI 夏季研討會，可與各國電業高階主管交換相關營運經驗，並探討如何透過互聯的智慧技術達成企業快速轉型，以推動電力機構相關營運政策。

EPRI 今年 8 月 12~13 日於美國芝加哥舉辦 2019 夏季研討會，會議主題為「智慧轉型」(Intelligent Transformation)，研討在全球去碳化(Decarbonization)之趨勢下，電力產業現在與未來面臨之挑戰與因應策略，以及如何智慧轉型。

另本公司未來將採購電廠燃氣機組電力相關大型設備，於研討會後安排參訪西門子之先進複循環電廠(OCE)、GE 公司燃氣渦輪機組生產廠、全負載測試中心、先進高溫材料研究室、3D 列印中心；與 GE 公司技術專家與工程總工程師研討大潭燃氣機組試運轉經驗。

貳、行程

本次出國行程為 108 年 8 月 11 日至 8 月 18 日共計 8 天，出國行程計畫表如下表。

出國行程計畫表

日期	工作內容
8/11-11	往程(台北—芝加哥)
8/12	1. 參加 EPRI 夏季研討會(第 1 天) 2. 會後與 EPRI 高階主管討論智慧電網、再生能源整合與管理、區塊鏈、EIOT 等相關議題

日期	工作內容
8/13	1. 參加 EPRI 夏季研討會(第 2 天) 2. 會後與 EPRI 高階主管討論討論火力發電空汙、水汙染相關環境保護問題 3. 芝加哥—底特律
8/14	參訪美國西門子公司 Oregon Clean Energy Center(先進複循環電廠)
8/15	底特律—格林維爾；赴 GE 公司參訪
8/16	赴 GE 公司參訪；格林維爾—芝加哥
8/17~18	返程(芝加哥—台北)

參、美國電力研究院(EPRI)簡介

美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)為世界知名之電力研究機構，各國電力公司如東京電力公司、法國電力公司、韓國電力公司等皆為其會員，提供參加其電業各領域的研究成果。

美國電力研究院主要之研究領域包括:發電(Generation)、能源與環境(Energy and Environment)、電力輸送與使用(Power Delivery and Utilization)、核能(Nuclear)，在每個研究領域下均有許多的研究主題，有關 EPRI 研究之領域及主題請參考第肆章 參考資料。

本公司為解決電力營運包括發、輸、配、變電及能源與環境等方面的問題，相關單位多年來均依需要參與其相關研究計畫，並將其研究成果轉移至實際應用，以解決公司營運、前瞻性技術發展、能源政策發展，以及未來經營管理等相關問題。

第二章 研討會與參訪內容

壹、研討會

2019 年夏季研討會共有 7 個主題，探討整合能源網互聯的智慧技術，以協助電業實現快速智慧轉型，這些技術可以減少碳排放、提升與強化電網彈性、增加客戶選擇權，並改善電網營運與規劃。研討會也探討採用先進數位技術，優化不斷發展的綜合能源網、減少碳排放，並為客戶、電業和社會提供價值。研討會議程及重點說明如下：

一、研討會議程



EPRI 2019 Summer Seminar Agenda

August 12-13, 2019

Chicago, Illinois

The integrated energy network is undergoing a rapid transformation enabled by interconnected, “intelligent” technologies that increase carbon reduction, enhance resilience, grow customer choice, and improve grid operation and planning. The 2019 Summer Seminar examines the adoption of the advanced digital technologies that will optimize the evolving integrated energy network, reduce carbon, and chart a pathway to enhance value to customers, utilities, and society.

DAY 1

Session 1: INTELLIGENT TRANSFORMATION

Session 2: ENVISIONING THE FUTURE

Session 3: UNCOVERING NEW PATHWAYS TO LOWER CARBON

Session 4: REDEFINING RESILIENCY

Session 5: DECIPHERING THE DATA BEHIND THE STORY

DAY 2

Session 6: SECURING THE EDGE OF THE GRID

Session 7: SHIFTING THE PARADIGM

Closing: REFLECTIONS ON INTELLIGENT TRANSFORMATION

二、研討會重點

SESSION 1: INTELLIGENT TRANSFORMATION

- Mike Howard, President and CEO, EPRI
- Anne Pramaggiore, Senior Executive Vice President and CEO, Exelon Utilities

第1節 智慧轉型：在幾年前尚未受到電業關注的先進數位技術，現在已成為改善電網運維、提供電網彈性與擴展的必要條件。從發電到用戶終端用電，“智慧”電網技術快速的成長，正在優化公用事業運維、加強電網抵禦新威脅、並提升客戶體驗。數位技術可實現經濟高效能的減碳、跨域耦合協作、整合能源網絡與提升消費者參與，數位化的創新也可促進全球整體經濟體系的加速減碳成效。



圖1 EPRI 院長Mike Howard歡迎大家參與研討會

因應地球溫室氣體排放增加，全球暖化問題日益嚴重，根據EPRI資料顯示(如圖2)：目前全球大氣層累計CO₂當量約3,200 Gt，如果沒有效管控碳排量，到2070年將增加約3,500-4,100 Gt。2070年地球上升溫度要控制在2°C以內，則要管控CO₂增加當量約在1,170 Gt以內；為確保地球永續發展，減少碳排放已成為全球各國必須共同努力之目標。由於電業為碳排放主要產業之一，而全球能源使用及用電也持續成長中，預估2050年全球能源使用量將增加40%、用電量將增加65%，因此如何提供潔淨、可靠、安全、又負擔得起的電力，同時提升民眾高品質的生活，成為全球電業共同面臨的艱鉅挑戰。

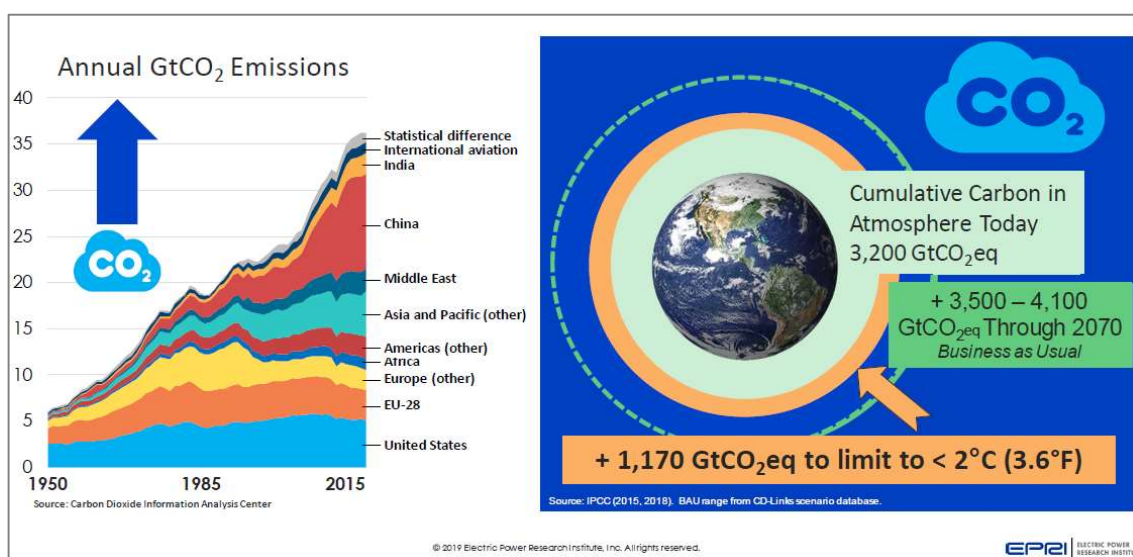


圖2 全球大氣層累計CO₂約當量情境

美國訂定2030、2050年全國及主要碳排產業的減碳目標，針對能源產業排放CO₂之目標訂為6-5-4-1，即2005年時排放約6 Gt CO₂、目前約排放5 Gt CO₂、2030年排放目標為4 Gt CO₂、2050年排放目標則為1 Gt CO₂ (如圖3)；為達成上述目標，將加強能源產業降低碳排之相關研發(如圖4)，積極採用減碳技術提升能源效率、潔淨電力(太陽光電、風力及先進核能電力)、具彈性與韌性的連結電網、連結用戶、整合電網及能源網、電氣化(電動車)及其他低碳能源(如儲能、氫氣、氨、碳捕捉/利用/封存)，並結合AI、數據分析及資安等創新技術。

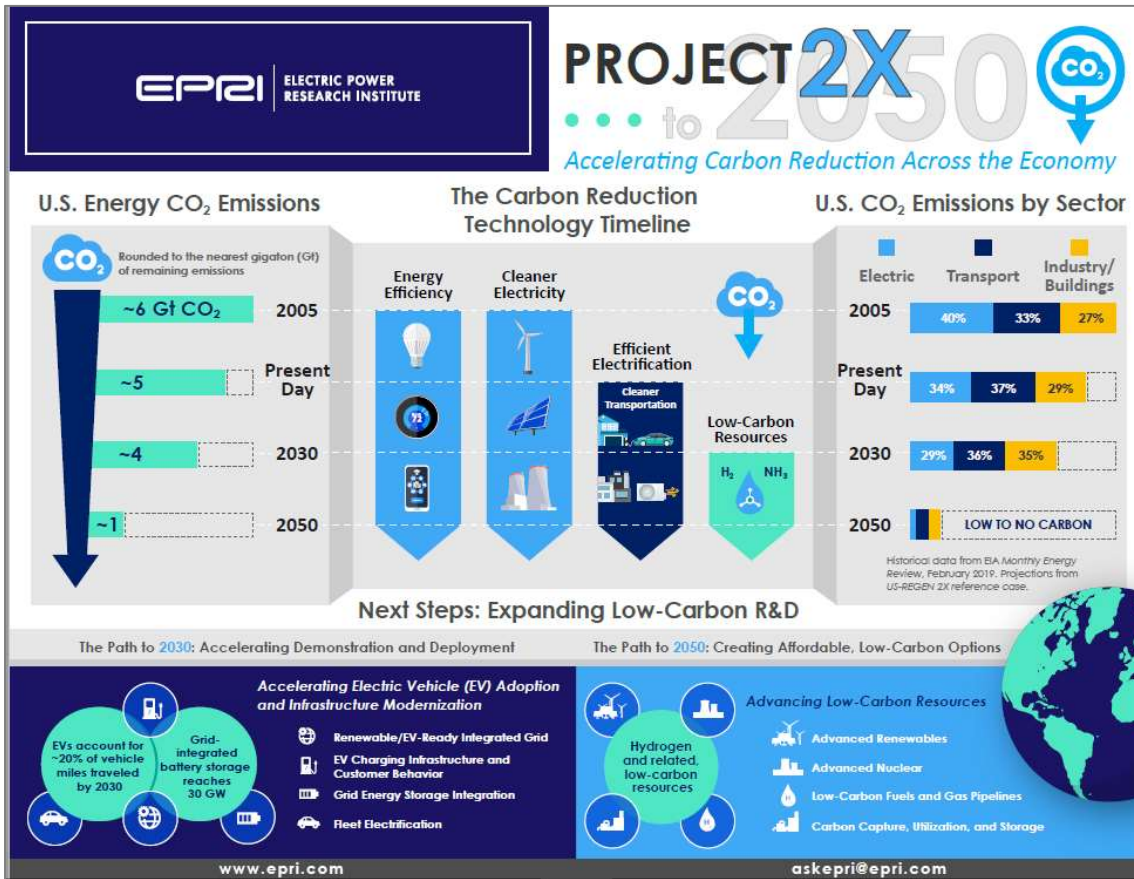


圖3 美國未來2030、2050年減碳目標

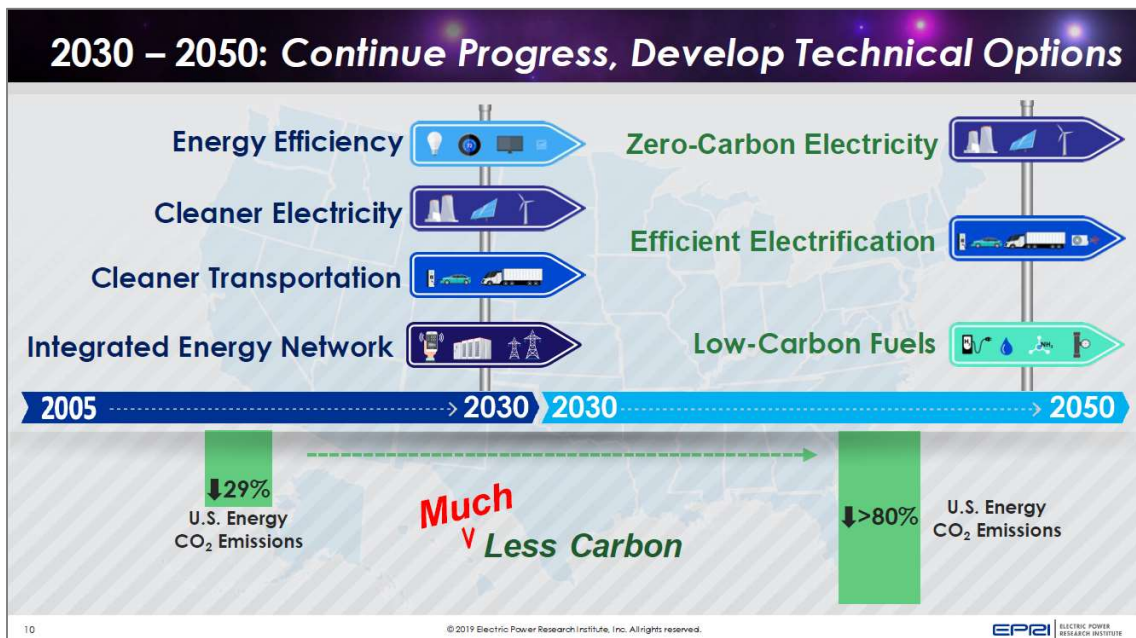


圖4 加強能源產業降低碳排之相關研發工作，積極採用各項減碳技術，期望在2050年降低80%碳排量

在積極增加潔淨再生能源電力(太陽光電、風力及先進核能電力)方面，目前已增加328 TWh再生能源電力，預估在2030年增加至581 TWh再生能源電力，如果屆時核能發電除役，則需額外增加175 TWh，總計為756 TWh再生能源電力(如圖5)。

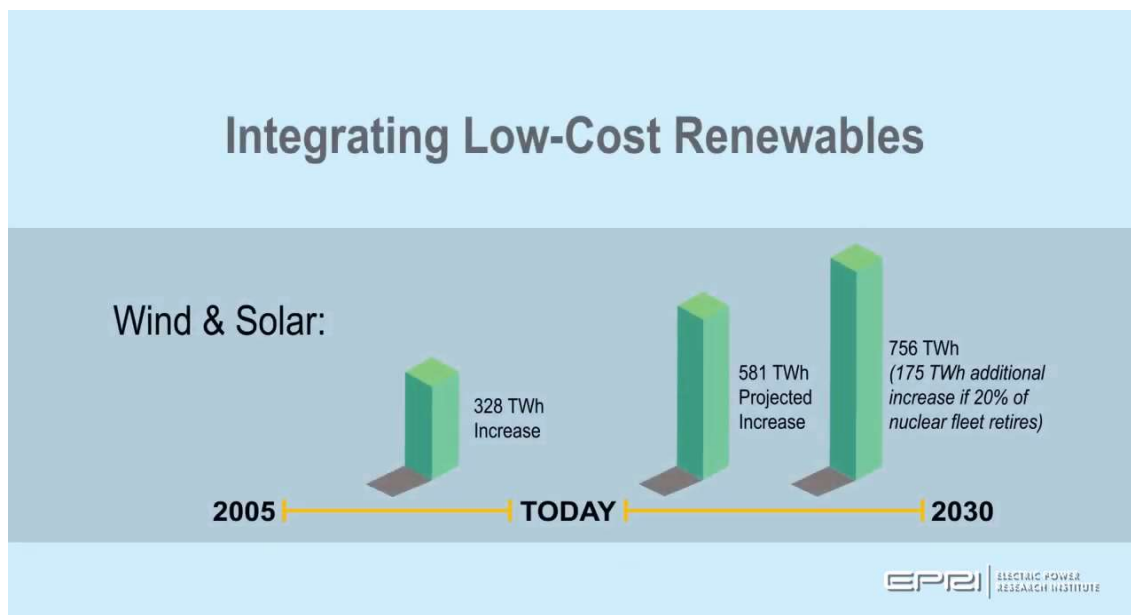


圖5 美國2030年潔淨再生能源發電目標

在增加電網級儲能(抽蓄水力及儲能設備)方面，目前裝置1GW儲能系統，在2030年增加至30GW以上儲能系統(如圖6)。

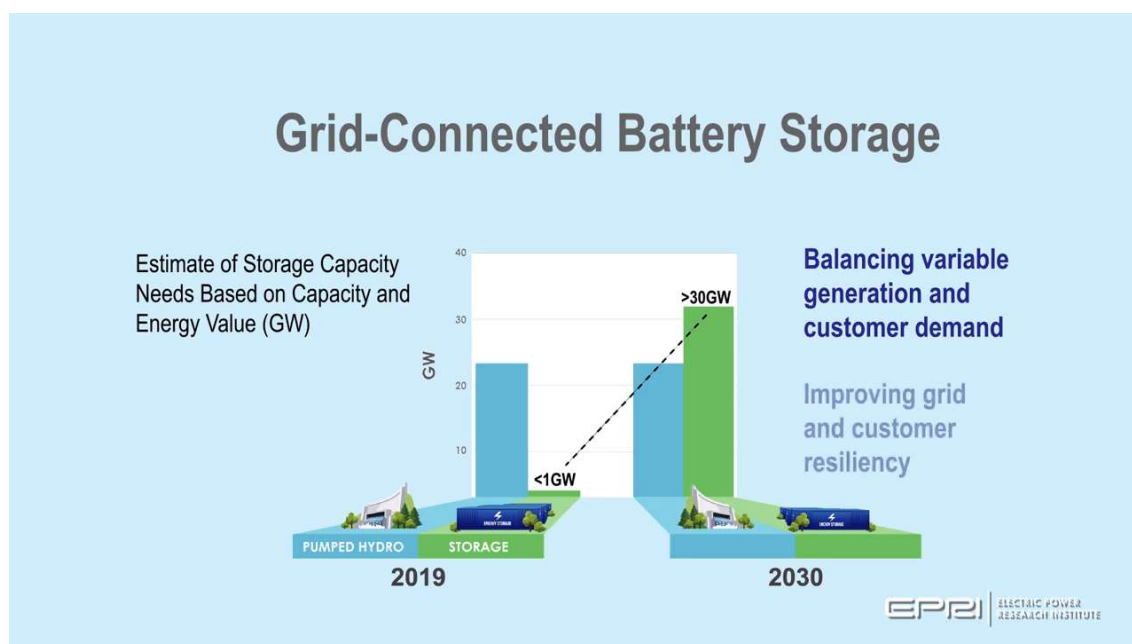


圖6 美國2030年儲能裝置容量目標

SESSION 2: ENVISIONING THE FUTURE

Looking Ahead to 2030

Moderator: Mike Howard, President and CEO, EPRI

- Maria Pope, President and CEO, Portland General Electric
- Enrico Viale, Head of North America Region, Enel S.p.A.
- Kevin Payne, President and CEO, Southern California Edison
- Christoph Frei, Secretary General and CEO, World Energy Council

第 2 節 展望未來：展望未來2030年

電業轉型為數位電業會是什麼樣子？參考世界能源會 (World Energy Council, WEC) 2019年全球能源議題觀測-大趨勢 (參考圖7)，高度不確定性的議題如：數位化(Digitalization)、資料人工智慧(Data AI)、電子儲能(Electric Storage)、電力市場設計 (Market Design)及商品價格等；以及須優先處理議題如：經濟成長、電價、再生能源、能源效率與能源補貼等。

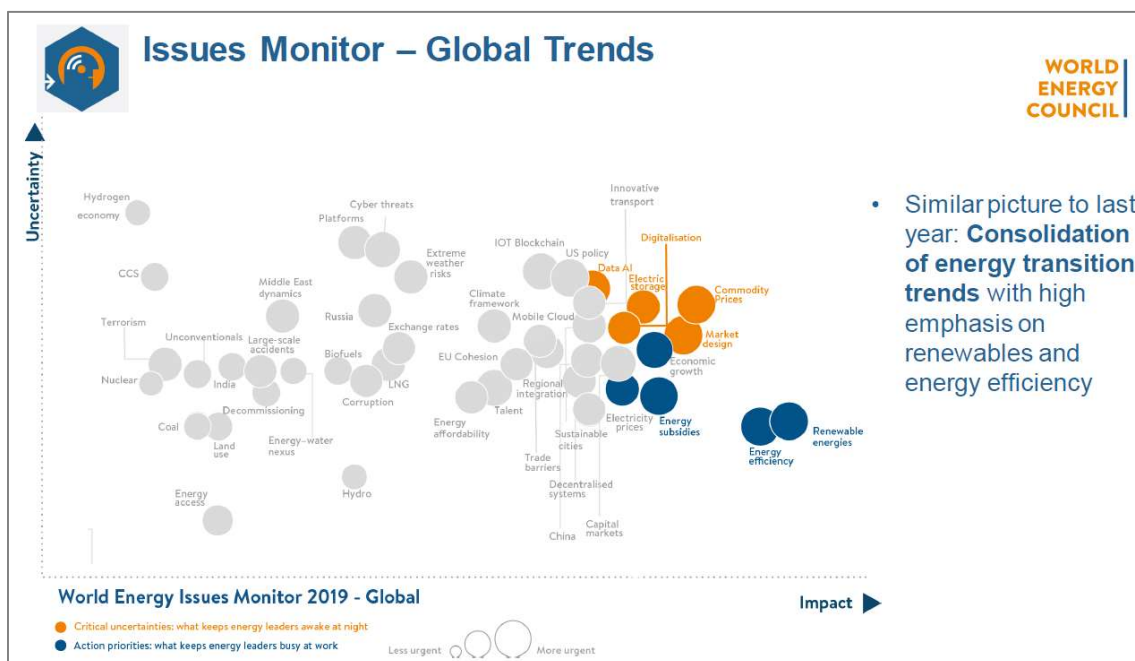


圖7 2019年全球能源議題觀測-大趨勢

電業必須解決哪些技術和監管挑戰才能實現數位電業願景？

參考世界能源會(World Energy Council, WEC) 2019年全球能源議題觀測-從2010年創新技術追蹤資料(參考圖8)，伴隨著分散式系統及新電力市場的創新發展，電子儲能(Electric Storage)、再生能源及創新的交通運輸等技術也跟著起飛。

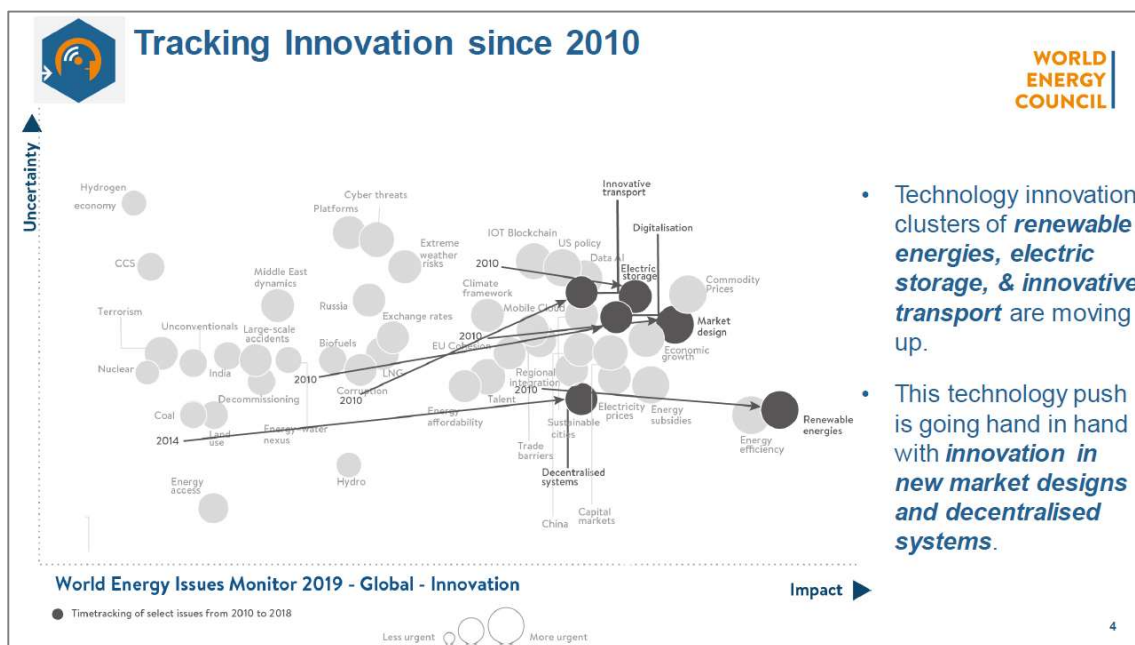


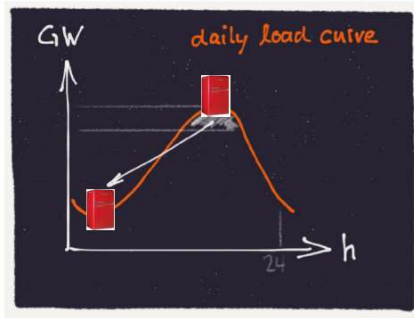
圖8 從2010年能源產業創新技術追蹤資料

另物聯網(IoT)技術之興起與快速發展，將造成電業重大衝擊影響，例如：能源的去除中介化(Uberization)創新模式，經由分散式帳本/區塊鏈(Distributed Ledgers / Blockchain)促使區域內大量點對點(Peer to Peer)能源或再生能源電力自主交易的實現，不再需要經由傳統電業集中式交易系統進行能源交易，同時亦可大幅降低建置電網基礎設施之需求(參考圖9)。

未來因應大量間歇性再生能源(PV、風力發電)之發展，除可利用儲能設備儲存剩餘之再生能源電力外，亦可利用多餘之再生能源電力，用來分解水而產生氫氣(Power to Gas)，產生的氫氣一方面可提供氫氣使用者直接使用或儲存起來備用，另一方面也可以與既有氣網混合後，提供用戶更彈性使用能源。

“uberisation in energy”

WORLD
ENERGY
COUNCIL



Internet of things (IoT) in energy

automating transactions between large numbers of small devices

enabled by distributed ledgers / blockchain

has potential to deliver system services at scale

and thereby reduce physical infrastructure needs

圖9 創新範例- 能源的去除中介化(Uberization)

Cadent氣網公司創新案例：Cadent氣網公司(Cadent Gas)擁有、運維英國最大的天然氣分銷網絡，為西米德蘭茲郡、英格蘭西北部、英格蘭東部及倫敦北部的1,100萬個家庭與企業運送天然氣。英國約有50%的天然氣用戶係由Cadent Gas氣網公司管道系統提供服務，未來該公司將可利用剩餘之再生能源電力來分解水而產生氫氣(Power to Gas)加入氣網，使用更潔淨的能源，同時創造PtX(Power-to-X)的新商業模式(參考圖10)。

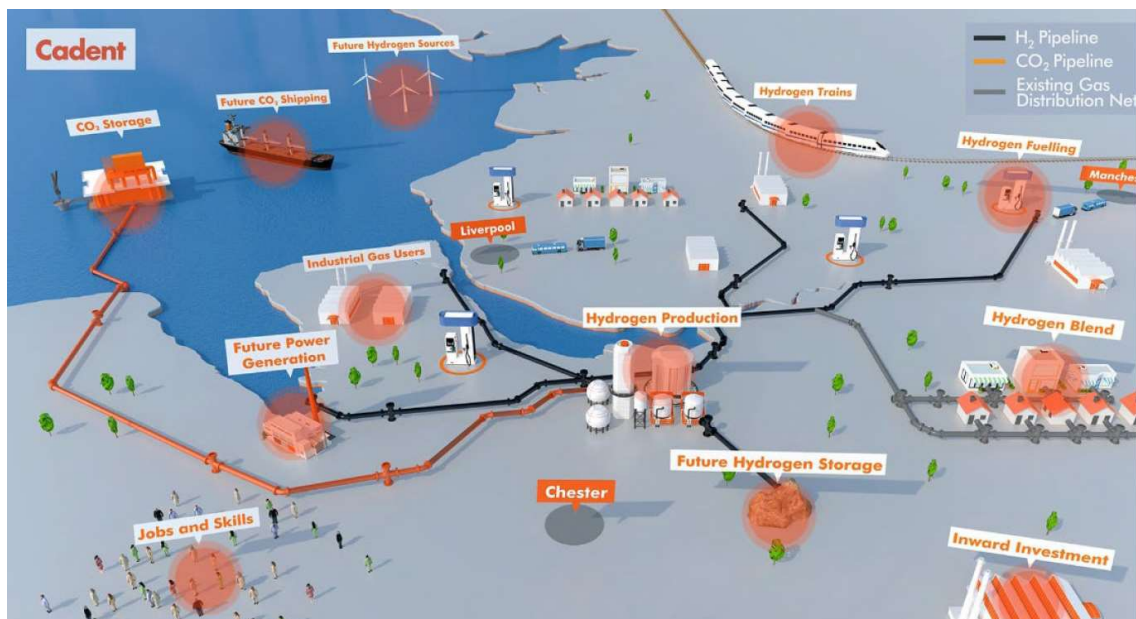


圖10 Cadent Gas氣網公司PtX新商業模式

SESSION 3: UNCOVERING NEW PATHWAYS TO LOWER CARBON

Accelerating Economy-wide Emission Reductions

Moderator: Arshad Mansoor, Senior Vice President, Research and Development, EPRI

Part One: The Path to 2030 – Accelerating EV Adoption and Infrastructure Growth

- Setting the Stage: Jamie Dunckley, Technical Leader, Energy Utilization, EPRI
- Anne Pramaggiore, Senior Executive Vice President and CEO, Exelon Utilities
- Doran Barnes, CEO, Foothill Transit
- Phil Jones, Executive Director, Alliance for Transportation Electrification

第 3 節 探索降低碳排放的新途徑 - 加快減碳速度

潔淨能源與能源效率使電業大幅減少碳排放量，未來低碳新興驅動力包括：更多再生能源、提高能源效率及加速採用電動車，美國2030年電動車減碳目標：比2005年減排23% (如圖11)。

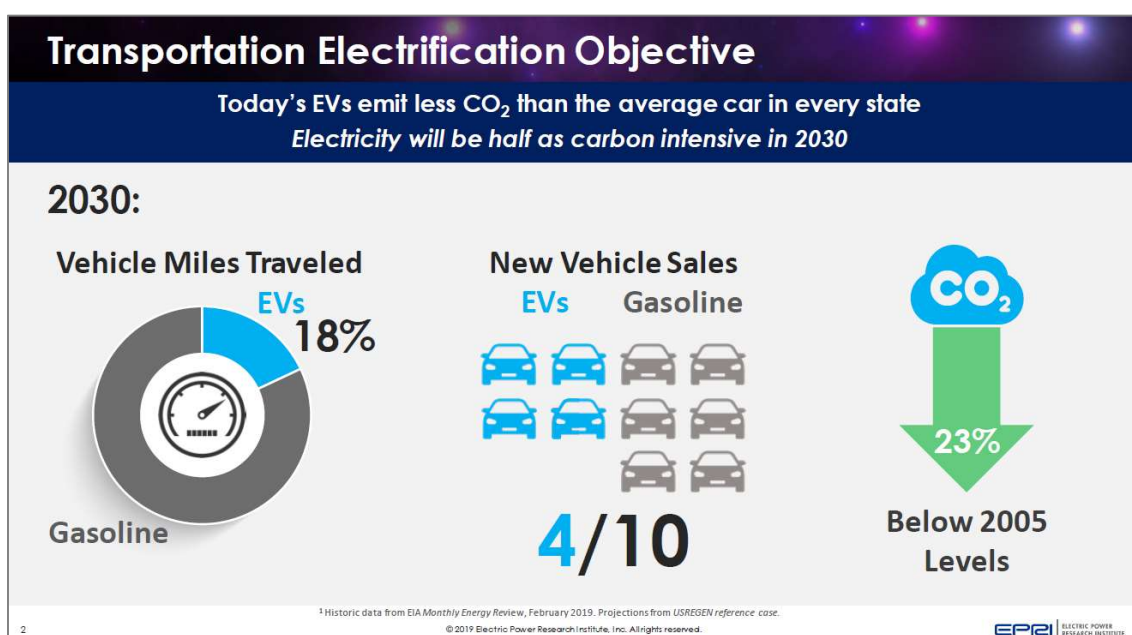


圖11 美國2030年電動車及碳減排目標

美國自2010年來電動車銷售量逐年成長，目前約有124萬輛(如圖12)，同時全球電動車銷售量也逐漸增加。

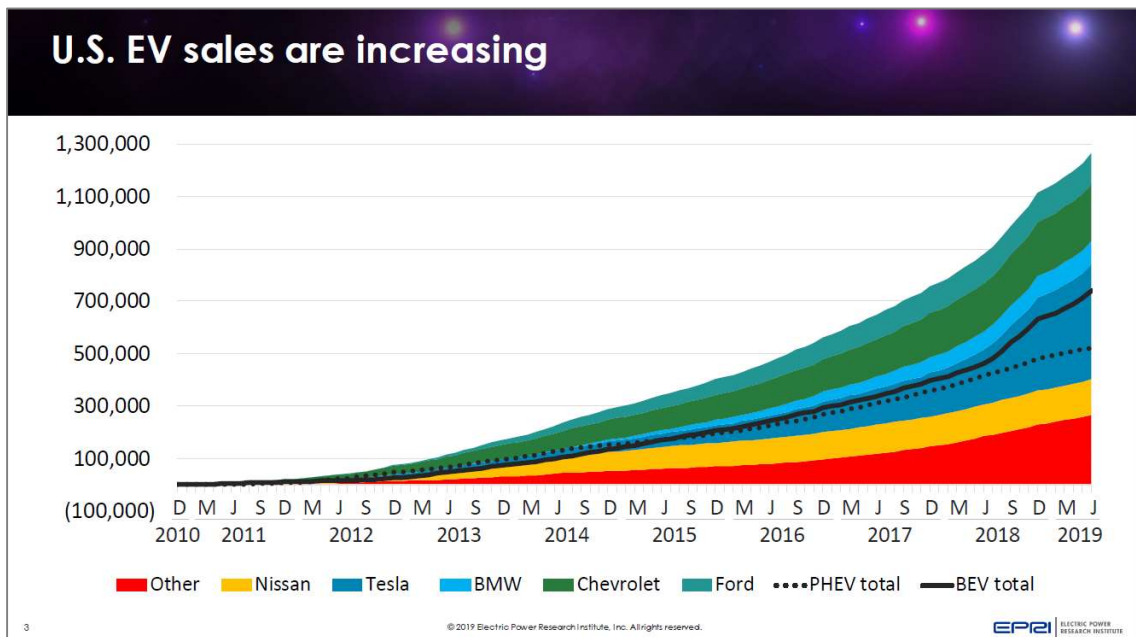


圖12 美國歷年(2010-2019年)電動車銷售量

2018年美國電動車銷售量約361,000輛(市場占比約2.1%)、歐洲電動車銷售量約488,000輛(市場占比約2.3%)、中國大陸電動車銷售量約110萬輛(市場占比約4.2%)，當然電動車的成長也導致電池組價格逐漸下降的趨勢(如圖13)。

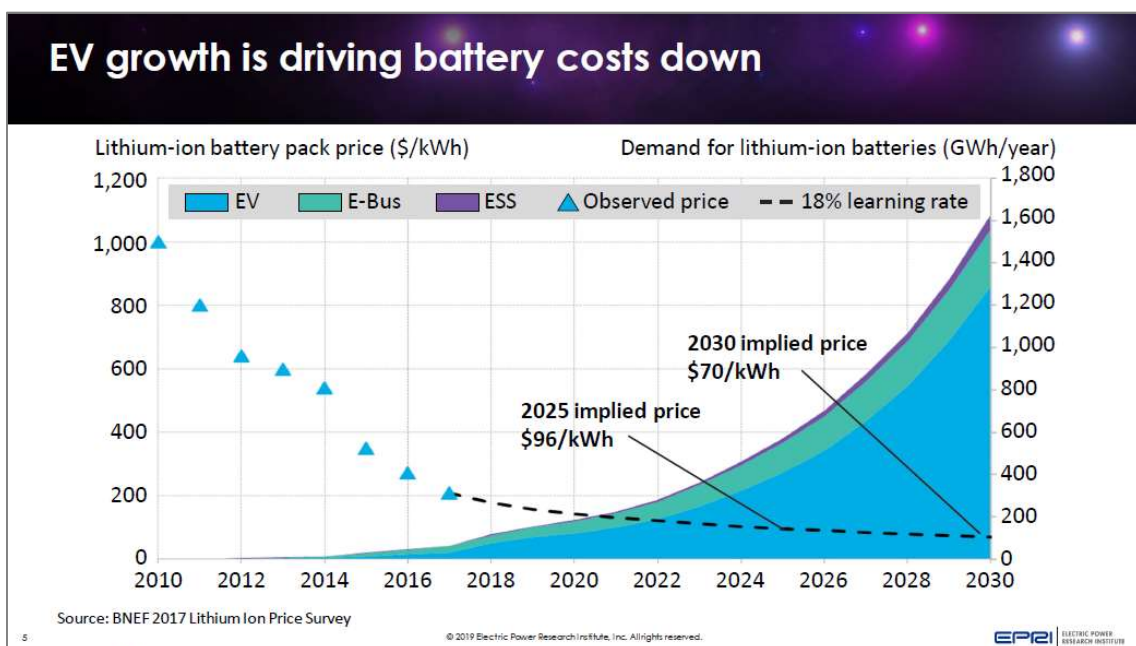


圖13 電動車的成長導致電池組價格逐漸下降的趨勢

因應電動車逐步發展，為滿足用戶不同的需要，發展出各種用途的車款，電動車的種類及航程有逐年增加之趨勢(如圖14)，預估在2022年市場上將會有約130種的不同車款。

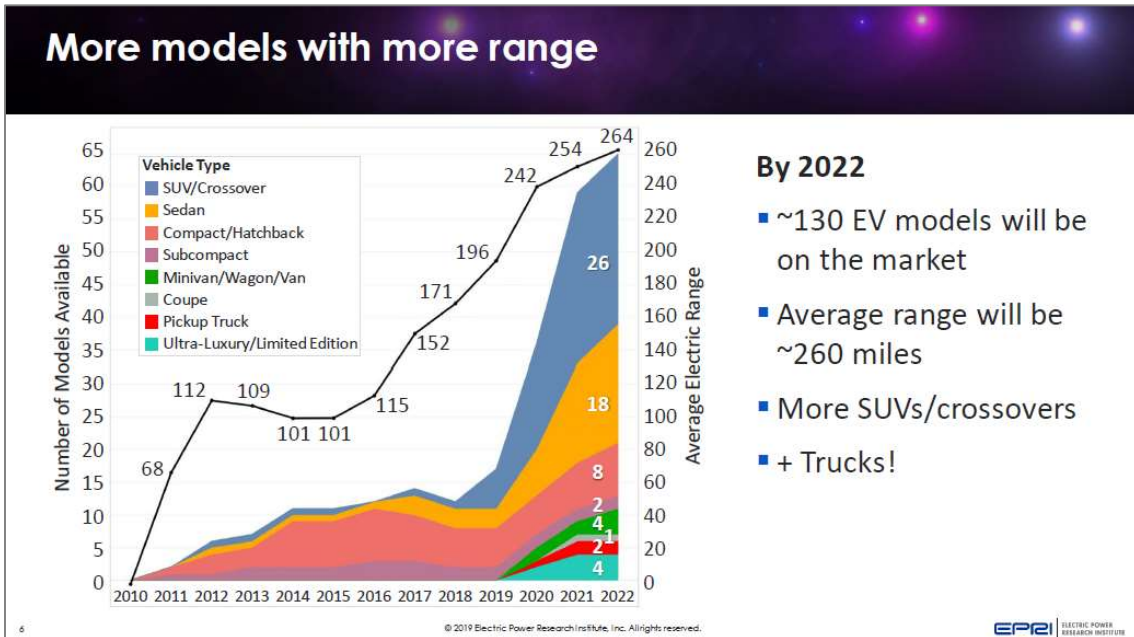


圖14 電動車的種類及航程逐年增加

電動車發展涉及法規制度及技術面之議題，如充電介面接頭標準、充電站與電網連結標準，以及充電戶、充電站與電力公司的連結與互通互運性等問題必須要克服(如圖15)。

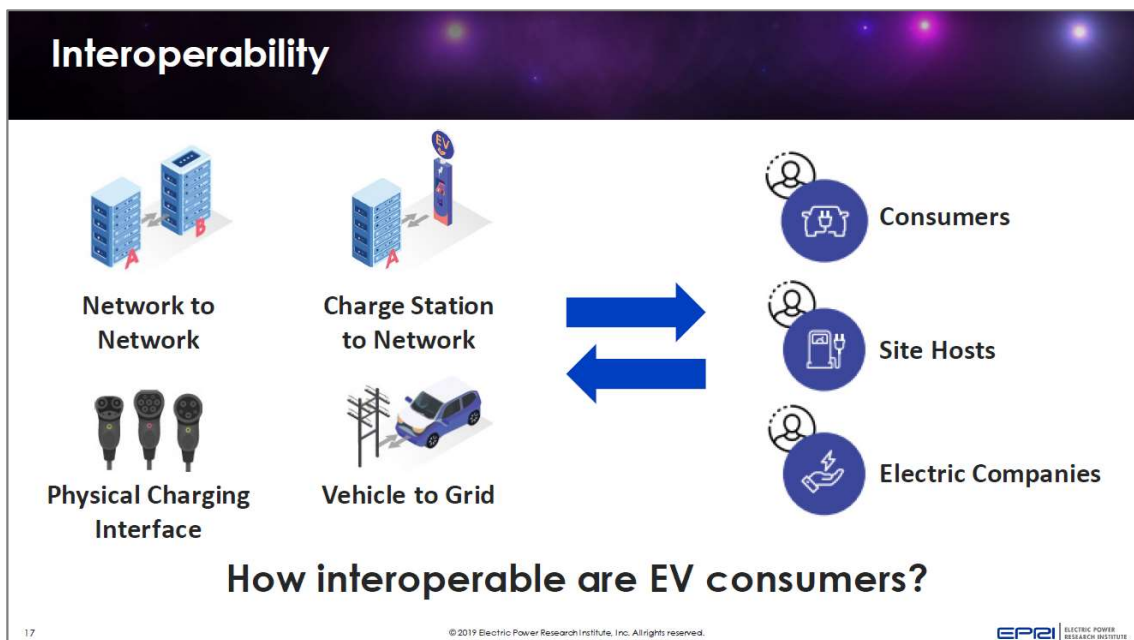


圖15 電動車互通與互運性

Part Two: Beyond 2030 – Advancing Low-carbon Fuels

and Decarbonization

- Setting the Stage: Neva Espinoza, Director, Generation Research and Development, EPRI
- Stan Connally, Executive Vice President of Operations, Southern Company
- Maria Korsnick, President and CEO, Nuclear Energy Institute
- Mike Rutkowski, Senior Vice President, Research and Technology Development, Gas Technology Institute

根據美國環保署(U.S Environmental Protection Agency, EPA)、聯合國跨政府氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2014年資料顯示：全球溫室氣體排放占比分別為65% CO₂(石化及工業)、11% CO₂(林業及土地使用)、16% 甲烷(農業廢棄物處置或燃燒)、6% N₂O(農業肥料)、2% 氟化氣體。以產業別區分全球溫室氣體排放占比(如圖16)，電力與供熱25%、農林業及土地使用24%、工業21%、交通14%、其他能源10%、建築物6%。

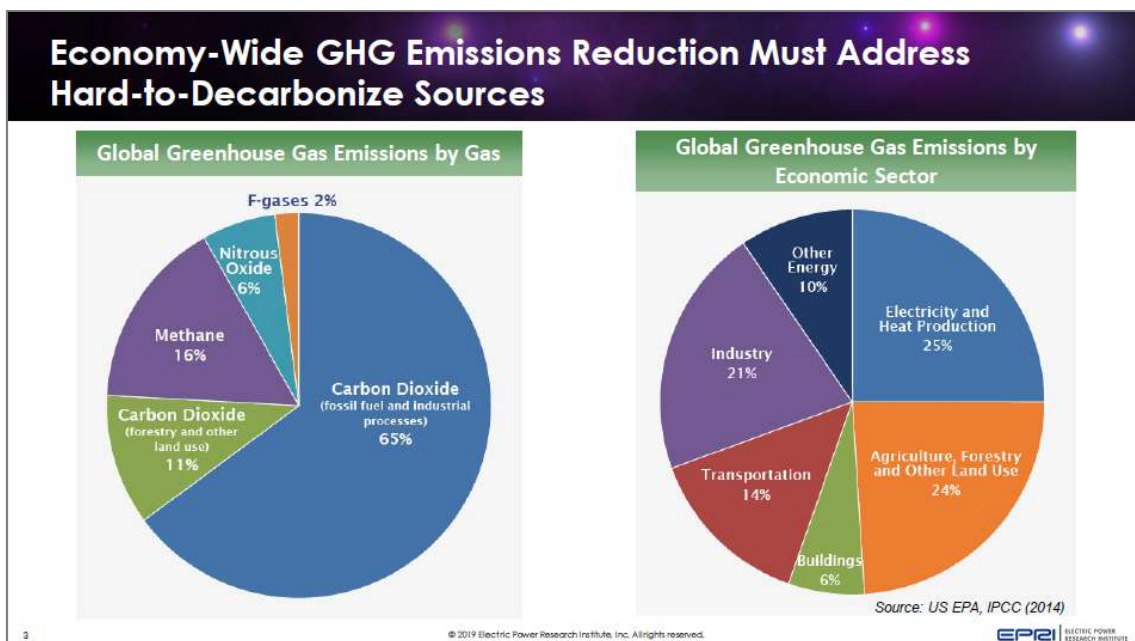


圖16 溫室氣體排放類別與產業占比

在低碳化(Decarbonization)的潮流趨勢下，除了加速採用電

動車去碳外，美國電業尋求如何讓碳排量能夠有效降低？因此許多電業也積極訂定未來碳排放的願景目標(如圖17)。

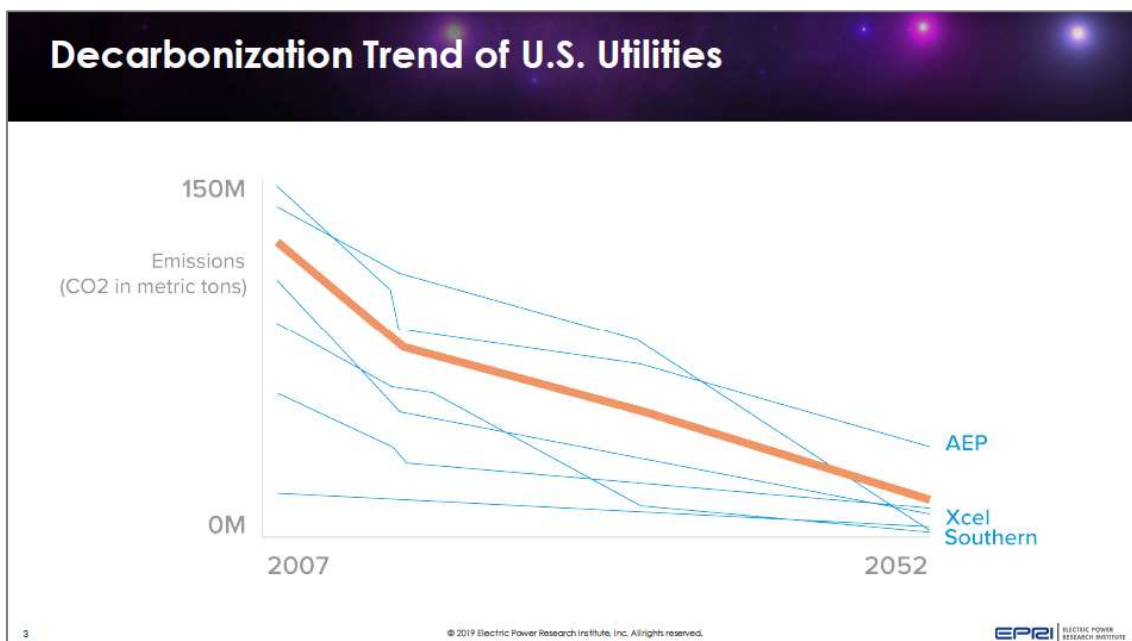


圖17 美國電業積極訂定未來碳排放願景目標

以美國南部電力(Southern Company)減碳目標為例，在2018年減少35%，在2030年希望減少50%，到2050年則要達到零碳的遠大目標(如圖18)。

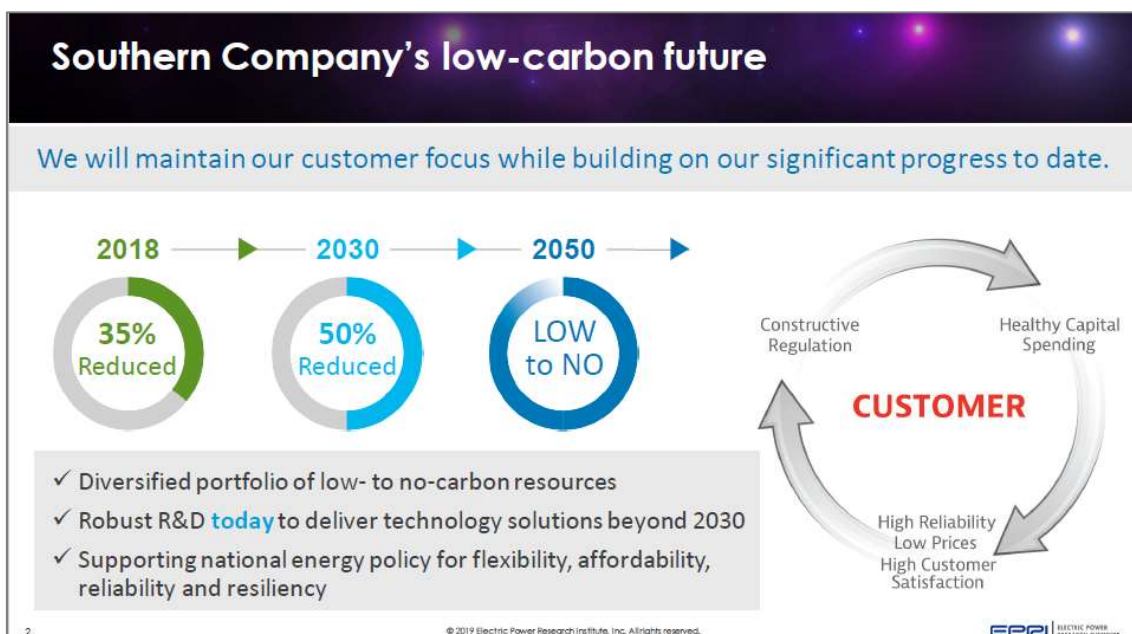


圖18 南部電力(Southern Company)未來減碳目標

但要如何達到零碳目標，也許「天然氣+氫氣」是實現未來目標的一條可能之路(如圖19)，利用剩餘之潔淨能源造氫，並混合天然氣與氫氣的比例，提供各項的應用，包括鍋爐、複循環機組及工商、一般用戶使用。

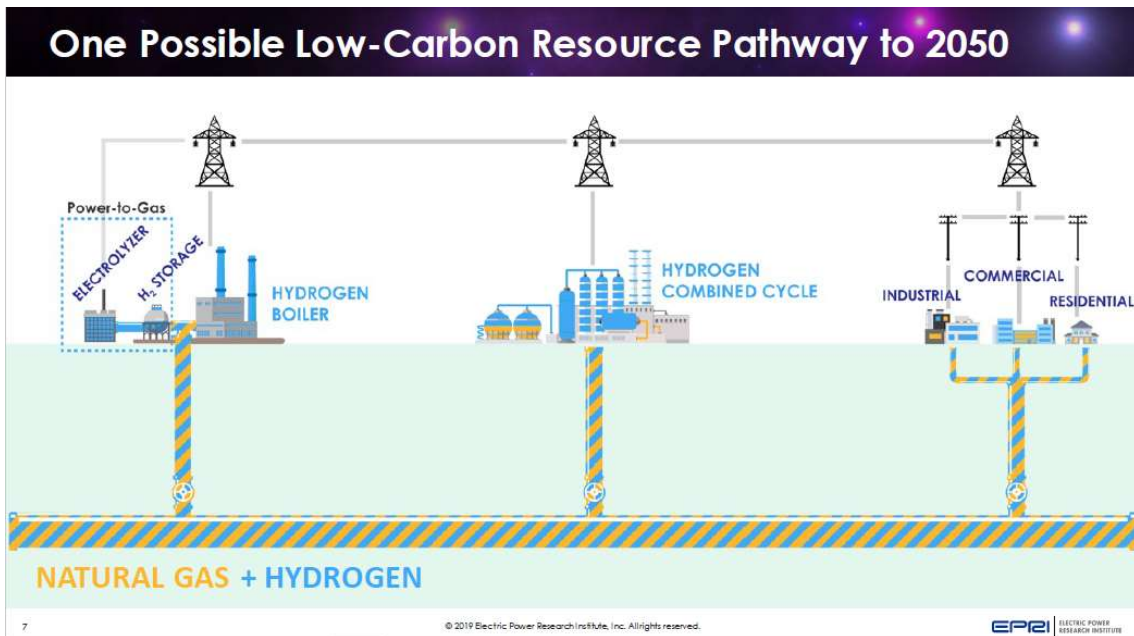


圖19 2050年低碳能源可能之路徑之一為發展氫能源

另外應用先進CO₂捕捉與儲存(CCS)技術，將CO₂注入油井，提高石油採收率(Enhanced Oil Recovery, EOR)如圖20。

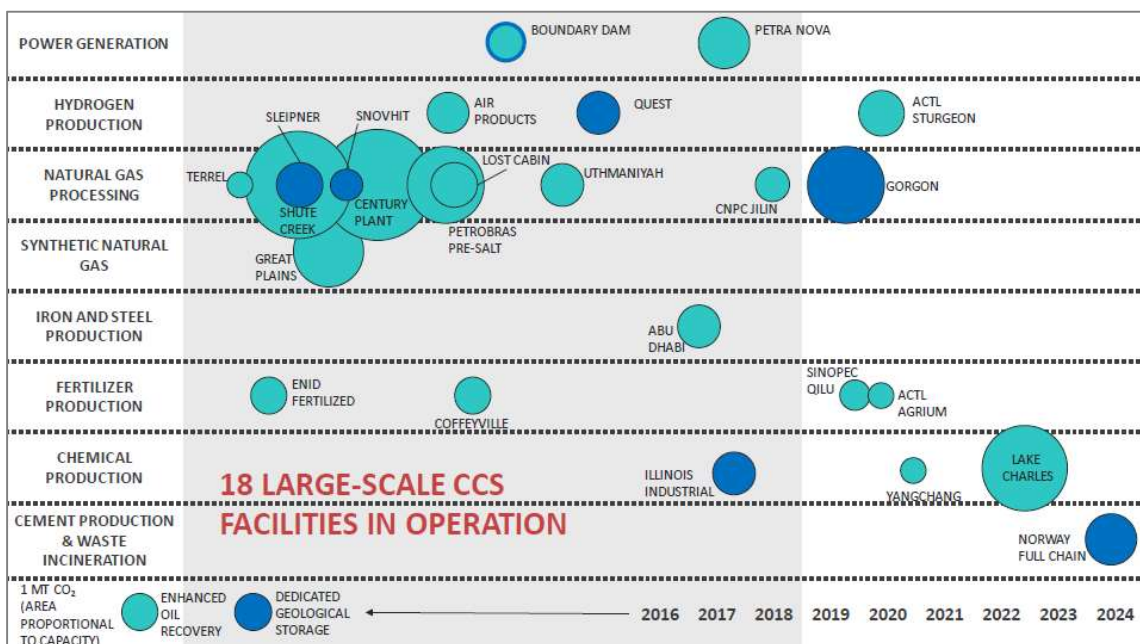


圖20 18個大型碳捕捉與儲存(CCS)營運設施

SESSION 4: REDEFINING RESILIENCY

Emerging Technologies Benefiting Customers and the Grid

Moderator: Anda Ray, Senior Vice President, External Relations and Technical Resources, EPRI

- Jerry O'Sullivan, Deputy Chief Executive, Electricity Supply Board
- Elliot Mainzer, Administrator and CEO, Bonneville Power Authority
- David Springe, Executive Director of the National Association of State Utility Consumer Advocates (NASUCA)

第4節 重新定義彈性 - 新興技術使用戶與電網均受益

能源轉型的四大驅動力4D包括：去碳化(Decarbonisation)、去中心化(Decentralisation)、數位化(Digitalisation)與民主化(Democratisation)，亦即使用潔淨的、分散式的再生能源、數位化達成電網自動化與智慧化、用戶擁有充分的自主選擇權(如圖21)。



圖21 能源轉型四大驅動力

以愛爾蘭為例，2018年能源配比為：燃氣50.8%、再生能源占

比33.3%、燃煤8.8%、燃泥碳5.4%、燃油0.4%、進口0.5%、其他0.8%，2020年再生能源占比目標為37% (如圖22)。

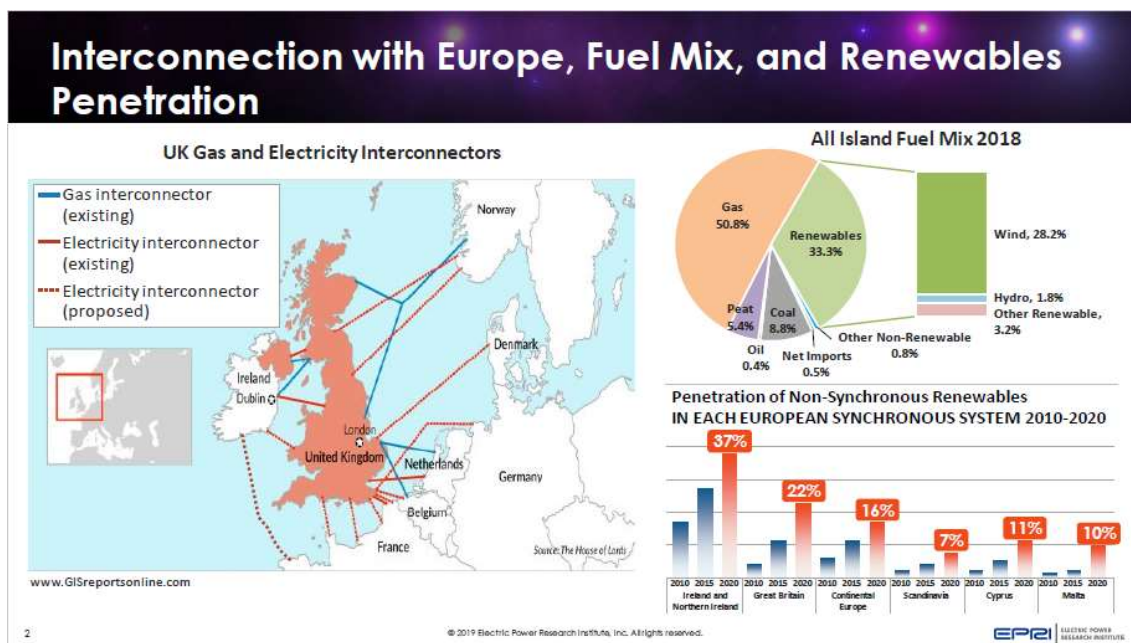


圖22 愛爾蘭2018年能源配比

為期進一步減碳，政府2019年訂定氣候行動計畫(如圖23)，2030年新車有90%以上為電動車、再生能源發電占比70%、2024全面布建智慧電表、2025年所有燃煤機組除役。

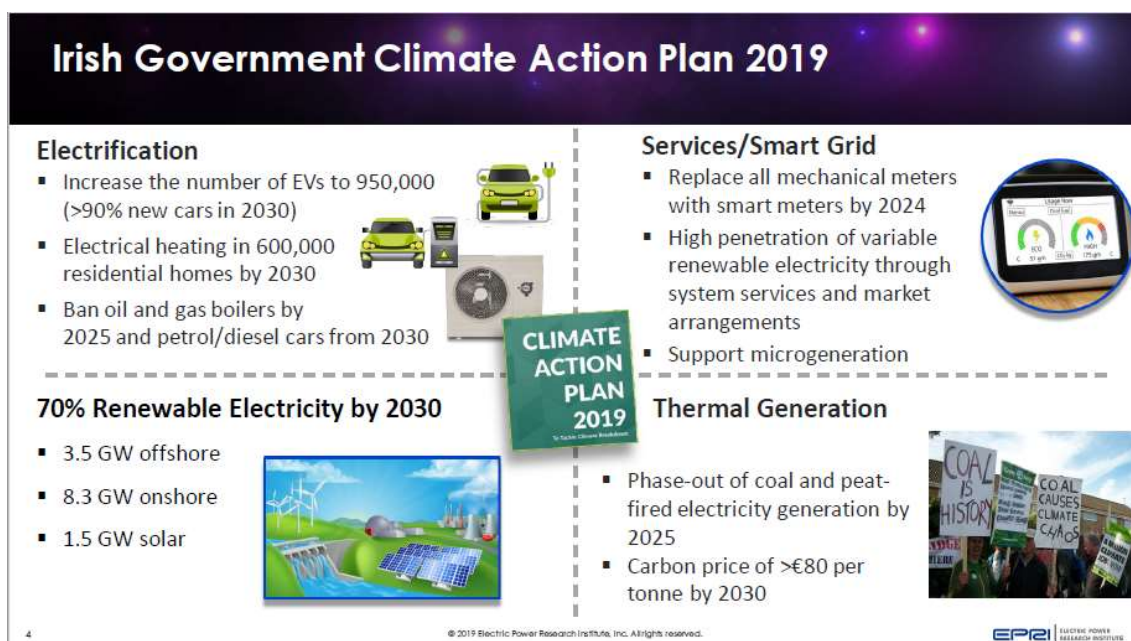


圖23 2019年愛爾蘭政府訂定氣候行動計畫

2019年愛爾蘭電力總需求29.5 TWh，因應電動車與供熱需求，2027年估算高中低電力需求分別為45 TWh、41 TWh、34.5

TWh，需求比率分別增加52%、40%、17% (如圖24)。

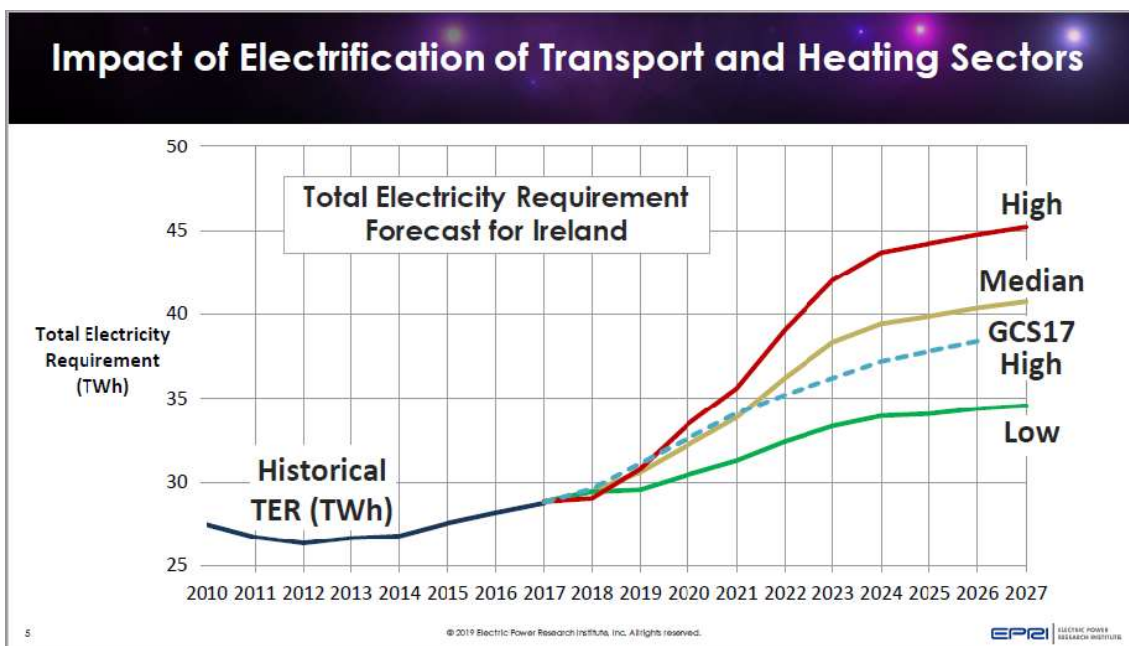


圖24 2027年愛爾蘭電動車與供熱對電力需求的影響

受氣候影響的再生能源，以及大量儲能設備加入電力系統，加上電動車、需求面管理、系統慣量減少及壅塞管理等問題，2030年愛爾蘭面臨的挑戰-系統複雜度逐步增加(如圖25)。

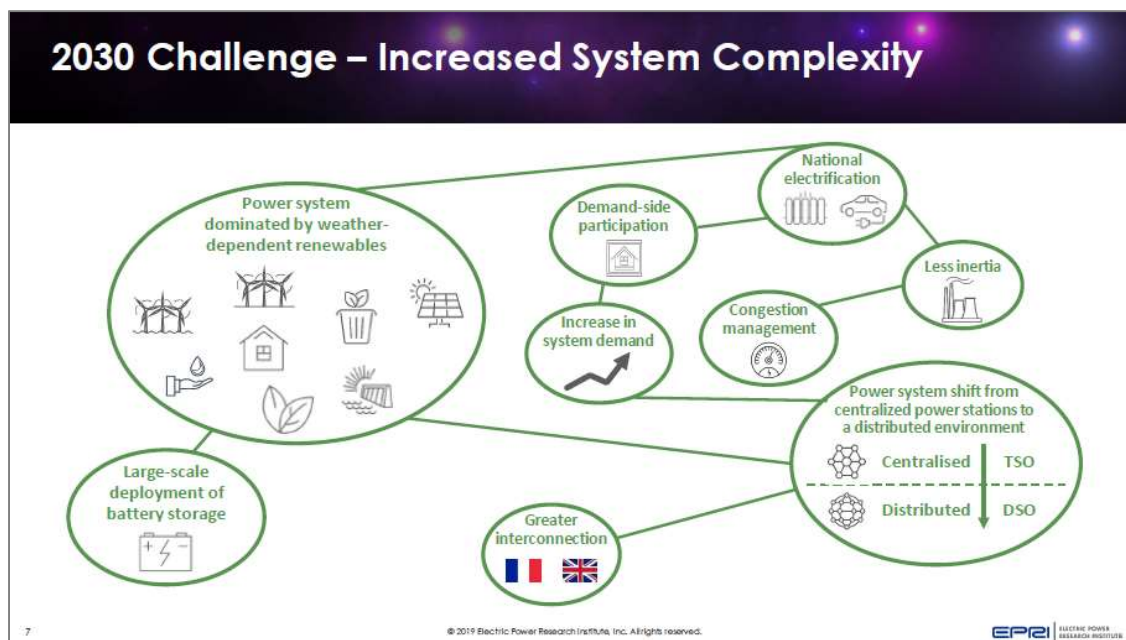


圖25 2030年愛爾蘭面臨的挑戰-系統複雜度逐步增加

因應系統複雜度所面臨的挑戰，愛爾蘭為確保電力系統穩定與強韌性，解決方案包括：加強跨國電網連結、電池儲能、氫儲能、需量反應、創新系統控制、輔助服務等 (如圖26)。



圖26 確保電力系統穩定與強韌性之解決方案

愛爾蘭電力系統在2050年要達成零碳目標，其優勢包括：明確減碳目標、豐富風力資源、再生能源整合專業；其劣勢包括：缺乏大型水力及核能發電、跨國電網連結不足、電動車及供熱電力需求、用電持續成長等(如圖27)。

Achieving a Net-Zero Carbon Irish Electricity System by 2050

pros

- Large wind resource (onshore / offshore)
- Expertise in VRE integration
- A leader in smart networks
- Clear national carbon targets
- Stable regulatory/policy regime

cons

- No large hydro or nuclear
- Limited interconnection
- Electrification of heating and transport sectors
- Electricity demand growth

© 2019 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved. EPR | ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

圖27 2050年愛爾蘭電力系統要達成零碳目標優劣勢分析

SESSION 5: DECIPHERING THE DATA BEHIND THE STORY
Artificial Intelligence and Data Analytics Deliver Value Across the Grid

Moderator: Andrew Phillips, Vice President, Transmission and

Distribution, EPRI

- Setting the Stage: Drew McGuire, Program Manager, EPRI
- Steve Sundstrom, Group Vice President, Utility Segment, C3.ai
- Brian Hurst, Vice President and Chief Analytics Officer, Exelon Utilities
- Joachim Vanzetta, Chair of the Board, ENTSO-e, and Director, System Control, Amprion

第5節 解碼故事背後的數據：人工智慧與數據分析創造跨域價值

透過創新方法-例如無人飛機、先進傳感器、資通信與數位技術整合電力系統，進行設備狀態監控、資產分析與預知性維護管理(如圖28~30)，利用人工智慧與大數據分析、所有能源利害關係者的協作參與，可大幅提升電網運維效能、更好客戶服務與更高的客戶價值，同時繼續降低成本。

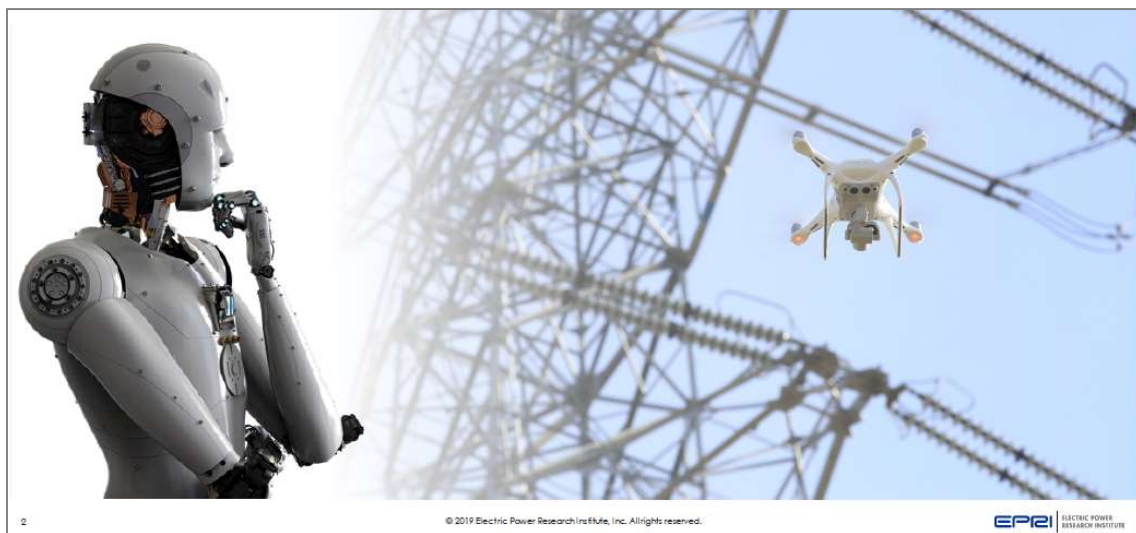


圖28 創新方法-無人飛機進行電力系統狀態監測

運用先進感測器、測量技術及具雙向通信功能的控制，可應用於發電、輸電、配電及用戶端，並對電網狀態的變化作出動態的回應(如圖29)。

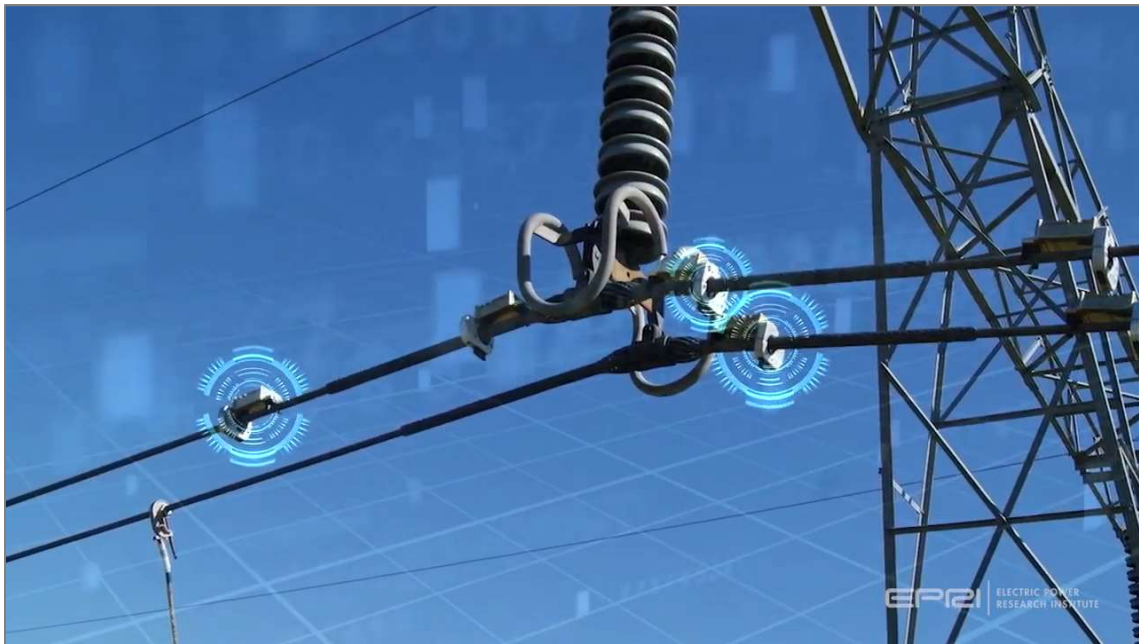


圖29 創新方法-先進傳感器、資通信與數位技術

大量電網狀態監測資料利用人工智慧與大數據分析，有效提升資產運轉效能，預診斷故障設備與維護管理(如圖30)。

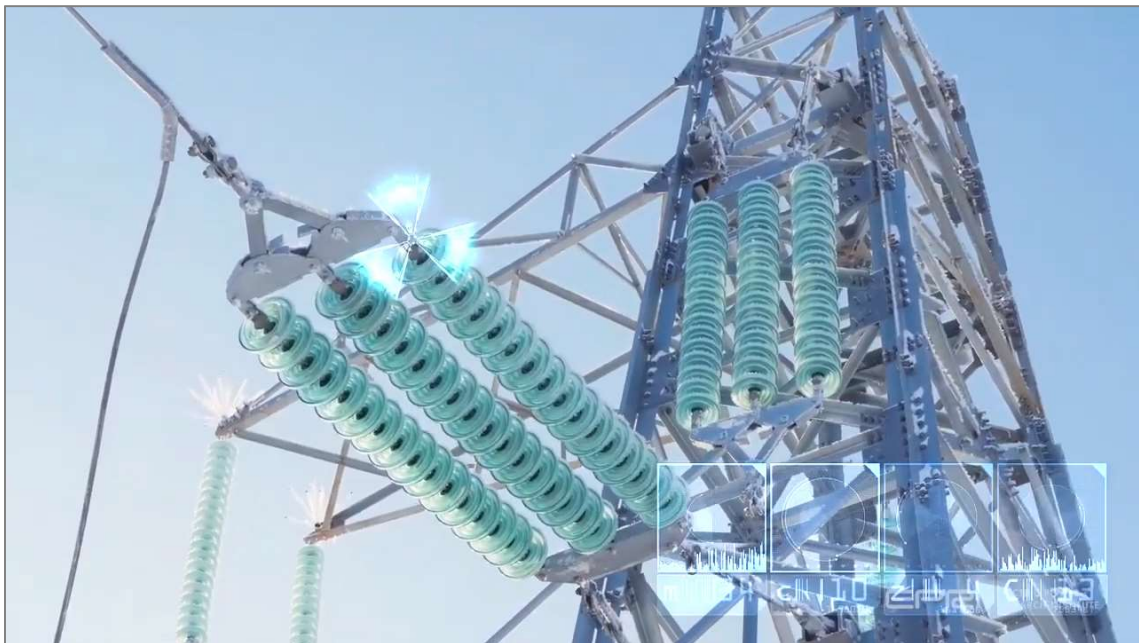


圖30 創新方法-狀態監測數據分析與預診斷故障設備

預診斷包含訓練階段與預測階段，首先需蒐集即時數據，利用先進AI學習技術，建置預測模型，利用建好的預測模型進行預測。以電網設備故障檢測為例，需要收集與標記大量資料，透過AI影像/模式辨識(Pattern Recognition)故障圖案(如圖31)，深度學習技術如主動學習、轉移學習等相當重要。



圖31 AI影像辨識(Pattern Recognition)故障圖案

建置AI大數據分析預診斷系統，需要配合大量訓練資料(檢測資料、影像資料、設備維護相關資料等如圖32)與資產相關領域知識，以發展運轉即時監控及設備預診斷、設備/零件生命週期管理、保養與維修管理、決策支援管理等功能。



圖32 深度學習需要大量設備影像訓練資料

透過創新方法-例如用戶端智慧電表布建，電力使用資料成指數般成長，利用人工智慧與大數據分析，可提升用戶能源使用效率、積極參與需量反應、負載預測與管理(如圖33)。



圖33 用戶端智慧電表布建

透過分析智慧電表用電資料，可以解析家庭中各整電氣設備每月、每天或每小時用電情形與電費資料。智慧家庭經由能源管理系統預測與機器學習模型，可以依氣候預測資料，預測電氣設備用電情形並做智慧化用電建議與調控(如圖 34)。

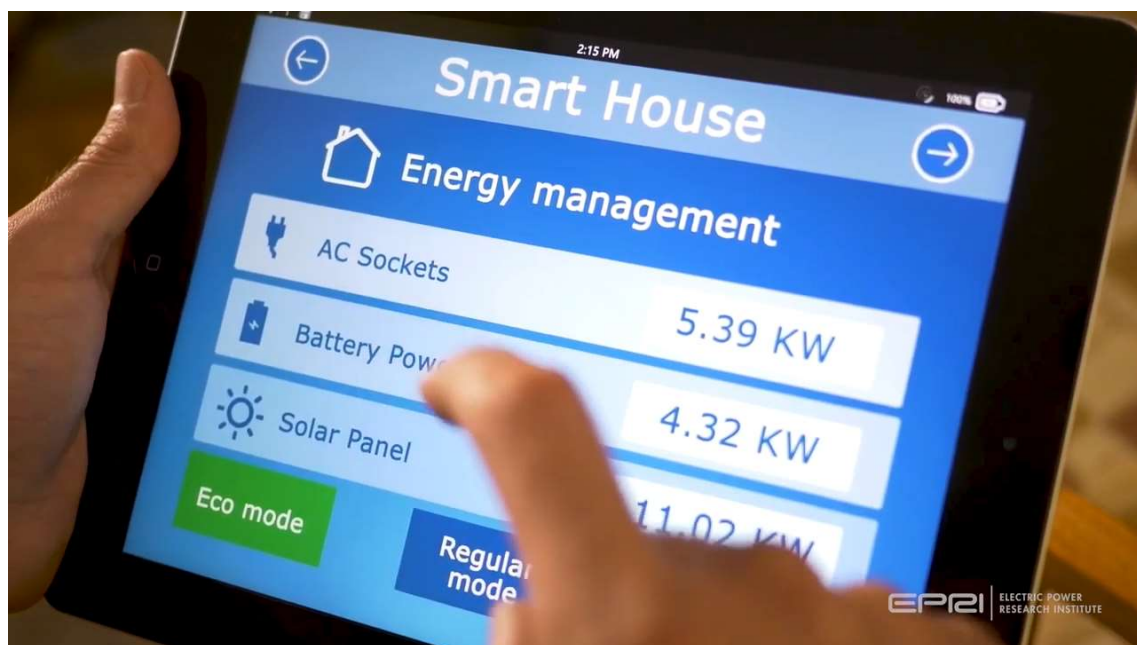


圖34 智慧家庭智慧化用電建議與調控

SESSION 6: SECURING THE EDGE OF THE GRID

Cyber Security for the Future Power System

Moderator: Katie Jereza, Director, External Relations, EPRI

- Setting the Stage: Matt Wakefield, Director, Information, Communication, and Cyber Security, EPRI
- Pedro Pizarro, CEO, Southern California Edison
- Scott Aaronson, Vice President, Security and Preparedness, Edison Electric Institute and Secretary, Electricity Subsector Coordinating Council
- Anjos Nijk, Managing Director, European Network for Cyber Security (ENCS)

第6節 保護電網邊陲端點 - 未來電力系統的網絡安全

提升電力系統運作的安全與可靠度是電網的重要任務，任何設備間訊息的交換，可能成為駭客攻擊的標的，潛在的漏洞更可能影響到電網運作的安全性。

為有效降低風險，在擬訂通信和控制策略時，必須清楚瞭解這些分散式能源網絡安全的潛在漏洞，加強瞭解不斷變化的威脅，並提高智慧電子設備的運轉可視性，以及持續精進防範網絡威脅的技術解決方案。

隨著愈來愈多用戶端(非公用事業)擁有的併網型分散式能源(DER)如：太陽光電、儲能、電動車與併網負載等設備併入電網，因其具資訊通信能力與遙控功能，造成電業控制系統外部威脅大為增加(如圖35)，電網「網絡安全」益形重要。

但目前「網絡安全」措施大都聚焦在防禦駭客攻擊目標，較少著重於如何縮小被駭客攻擊區域上，對於電網邊陲端點設備資安也較少著墨。因此除以防火牆內部實體網路區隔(Segmentation)，加強資安防護的做法外，對於電網邊陲設備如感測器、控制器或現場攝影機，仍須透過資安設備進行動態監控，辨認其異常特徵值，異常狀況發生時，可自動進行網路隔離，避免多重風險同時發生，減緩駭客更進一步的攻擊。

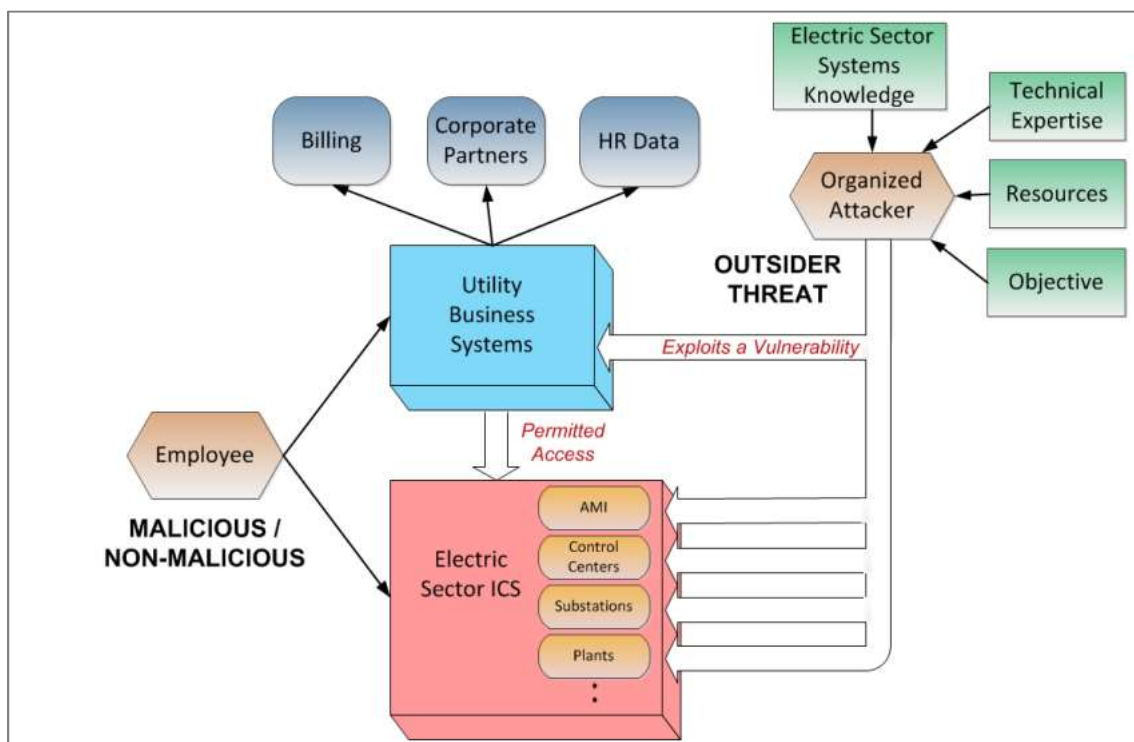


圖35 Anatomy of Threat Activity (Source : EPRI Cyber Security Strategy Guidance for the Electric Sector)

另外，利用單向資料傳輸設備來防止駭客攻擊，電廠、控制中心與變電所的網路傳輸都是單向的連接到外部的資訊中心，以避免駭客連線至內部重要控制系統區域。而控制中心對設備遠端監控與傳送指令雙向傳輸，可將接受訊息與傳送指令以單向資料方式分開兩次傳輸，以避免駭客以傳統雙向傳輸模式，提供偽造訊息並發送錯誤指令給控制設備的風險。

因應智慧電網發展，愈來愈多用戶端設備併入電網，目前電業由建置傳統資安防護機制，也逐漸發展新的資安技術服務，例如：將電網IT/OT設備資料透明化，同時監控即時動態資料，以防止異常事件發生；利用AI技術強化網路資安防護，將被動式轉為主動辨識具高度資安風險的特徵值；利用AI演算法自動判讀、分類與查檢資安事件，減輕人力負擔並提高其準確率。

此外，資安防護方案的實施仍需要政府政策與法規制度的配套措施，以解決統一資安標準與跨區域協作方式，方能建立同等水平的整體網路安全。

SESSION 7: SHIFTING THE PARADIGM

The Convergence of Regulation, Policy, and Technology Innovation

Moderator: David Victor, Professor, School of Global Policy and Strategy, University of California, San Diego

- Barbara Nick, CEO, Dairyland Power Utility
- Clara Poletti, Chair of Board of Regulators, Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER)
- Daniel Simmons, Assistant Secretary, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy
- Brandon Presley, Northern District Commissioner, Mississippi Public Service Commission

第7節 典範轉移 - 監管、政策與技術創新的融合

近年隨著大氣系統的改變，異常極端氣候造成氣候暖化與極地渦旋，極地渦旋掃過美洲大陸的頻率越來越高，範圍也愈來愈廣。北極氣團朝南侵襲，籠罩中西部地區的北部，再擴散到東部大部分地區，橫跨10多個州範圍，極端氣候導致全球部分區域某些時候甚至比北極更寒冷(如圖36)。

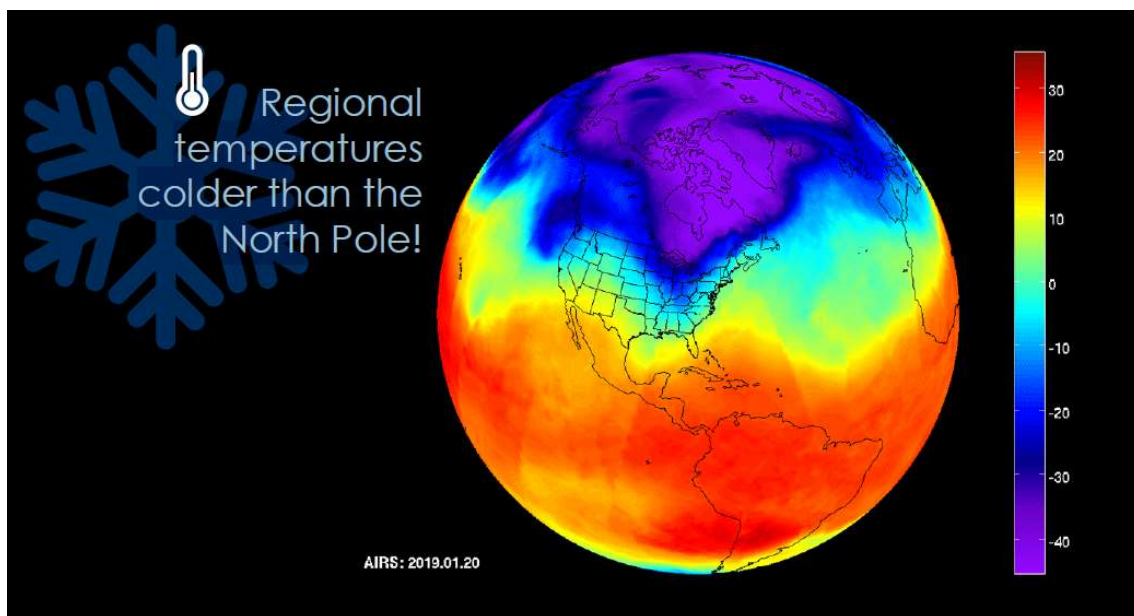


圖36 極端氣候導致全球部分區域比北極更寒冷

以2014年為例，全美地區遭「極地渦旋」冰封，中西部氣溫介於攝氏零下23到零下40度之間。另以2018年為例，受到強烈極地冷氣團急速南下影響，在美國與加拿大東岸形成夾帶暴雪與大浪的「炸彈氣旋」(Bombogenesis)，造成紐約、多倫多等多個大城紛紛陷入暴風雪之中。極地渦旋打破各地低溫紀錄，比南、北極還冷，也造成電力系統的故障與中斷，使維修工作更形艱困(如圖37)。

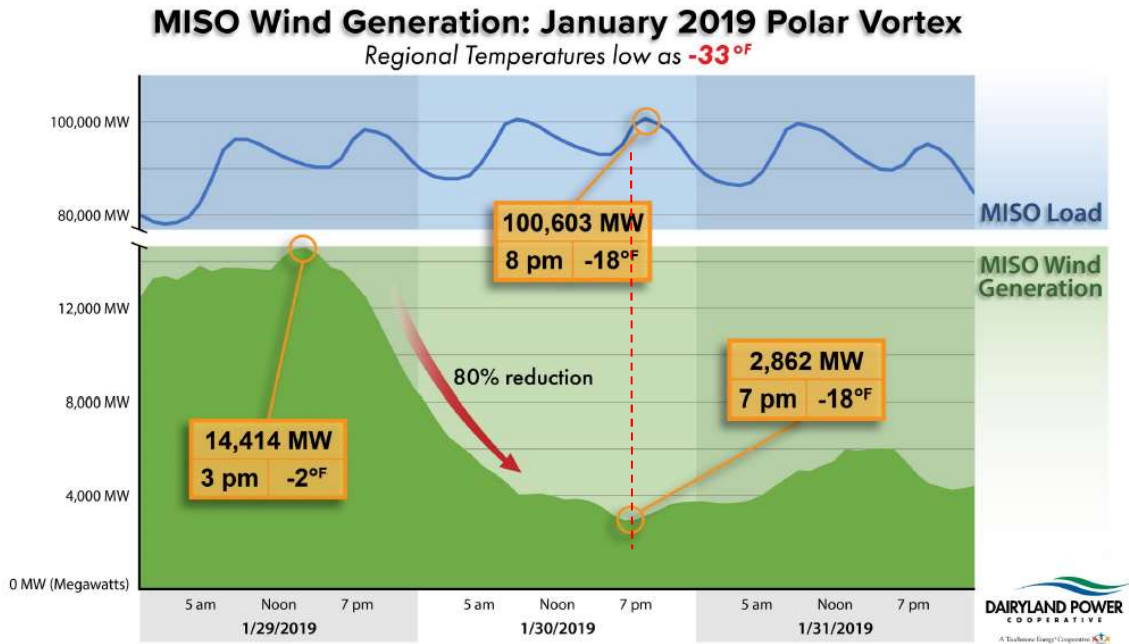


圖37 極端氣候造成電力系統的故障、維修艱困(NBCnews.com)

極地渦旋常造成受害地區進入緊急狀態，對人民的食衣住行等基本生活產生極大影響，甚至危及生命安全與財產損失的事件，同時也對電力供需平衡與調度造成極大的挑戰。

以2019年元月極地渦旋為例，美國2/3地區被冰封，暴風雪與寒流席捲美國中西部，明尼阿波里斯氣溫驟降至攝氏零下33度，法戈零下36度，芝加哥零下33度，體感溫度則低於零下46度，與南極無異。由美國中部電力調度中心 (Midcontinent Independent System Operator)資料顯示(如圖38)，極端氣候溫度降低，導致風力發電出力由14,414MW降至2,862MW(減少80%出力)，但負載端電力需求反而增加，必須其他能源來彌補。

圖38 2019年極地渦旋對電力調度之影響



電業需要為用戶提供安全、可靠、可負擔的能源，而供電的品質與效益也是建構在電力系統的安全與可靠度上，但隨著間歇性再生能源的普及與併入電網、氣候變遷及極端氣候、天然災害增加等諸多因素衝擊，電力系統的運作面臨了更多變化與前所未有的衝擊，需要具備足夠的彈性(Resilience)或靈活度(Flexibility)來因應。

因應異常極端氣候所需的彈性能力，包括：隨時供應所需電力與解決系統擾動的問題，在遭遇重大事故或異常狀況時，必須能事先預測與進行調適措施，而能快速恢復正常運作。因此，電業迫切需要有別於傳統電業技術的創新技術，例如：評估各種變化及狀況進行電力系統的運轉和規劃、針對負載需求型態尋求最適發電配置、整合電網和氣象等資訊的再生能源發電預測平台，以更有效地掌控電網運作。

但電力系統的韌性，除依據可靠度的標準而不同外，並要考量每個地區的特性，以及經濟成本考量、來達到最適化的韌性程度。例如：我國的電網有三大特色皆與電網韌性政策息息相關：電力屬於孤島系統，電力中斷需自行復原，無法藉國外資源供給緊急電力；台灣島嶼地形深受氣候變遷影響，極端氣候(高溫與降雨)情況日趨頻繁；電網在區域上存在負載不均的現象，北部

或中部電力供給不足，需將電力輸送至電力供給不足地區，增加輸電系統長度，導致電網脆弱度提高。

目前我國在提升電網韌性上重要作法包括：「智慧電網總體規劃方案」含智慧調度與發電、電網韌性息息相關的輸配電自動化與強化電網結構與管理、儲能系統、需求面管理、資通信基礎建設、法規制度人力等主題；「推動強化配電線路防災韌性計畫」針對電桿韌性從事研究改善；工程面增加電網的強固性；「配電系統強固五年計畫」加速汰換老舊設備與饋線、布建智慧電表與配電自動化等、強化人工智慧的運用、導入人工智慧自動隔離故障，以迅速恢復其他部分的運作。

透過創新的電力技術與轉移典範，不論是因應再生能源發電的不穩定性、影響發電效率甚大的天氣預測、輸配電自動化導入人工智慧以自動隔離故障、電力系統運轉上的階層調度自動化與即時調度、狀態監控與資產管理、狀態基礎或預測性設備維護策略、國際主流資通信標準導入、以及提高電壓和頻率支持等與電網互相連結的能力、防災救災型微電網運用，都有助強化整合再生能源的發電與強化電網的韌性。

另外在用戶負載端布建智慧電表，使電業更能掌握用電資料，也促進電力零售市場的產品，讓負載端用戶能依自己的用電的習慣與需求，來自主選擇最適合的電費計價方案。同時因應再生能源發展，逐步建置電網端及用戶端儲能設備及電動車，未來結合多項儲能輔助服務、需量反應(Demand Response)與電動車的商業模式與服務，使電業在電網上有更多之彈性工具可以使用，電力調度可以更具彈性與韌性。

另外也需要電業的監管法規與能源政策進行動態思考，相關法規制度與標準也要與時俱進，並訂定配套措施與產業發展策略(如提供經濟誘因、創新與研發符合國際化標準產品)，提升智慧電網相關產業發展與競爭力，並進軍國際市場。

貳、技術參訪

此次考察行程包括：西門子公司 Oregon Clean Energy Center(先進複循環電廠)、GE GreenVille HA gas turbine製造中心、全負載測試中心、先進高溫材料研究室、3D列印研發中心。

(一) 西門子公司 Oregon Clean Energy Center(先進複循環電廠)

1. Oregon, OCE 潔淨能源中心:

於2017年7月商轉(如圖39)，該複循環機組型式為2部氣渦輪機搭配1部汽輪機(氣渦輪機型號為SGT6-8000H、汽輪機型號為SST6-5000)，其蒸汽冷凝器冷卻方式採半氣冷式，並引進美國五大湖水作為冷卻水源，再輔以冷卻塔空氣冷卻後重複循環使用，機組淨出力為869MW，淨廠效率為60%(ISO條件下)，而該廠為自動化操作之電廠，僅配置人力約4-5人為該廠之特色，若發生機組跳機時，均由外部維修團隊投入搶修。

Oregon Clean Energy Center
Overview

Location	Oregon, OH, USA
Configuration	2 x 1 SGT6-8000H
Total power output	869 MW net
Plant efficiency	~ 60 % net
Generator type	SGen6-2000H
Steam turbine type	SST6-5000
Commercial operation	July 2017

SIEMENS
Ingenuity for life



圖39 美國Oregon, OCE潔淨能源中心

美國Oregon, OCE潔淨能源中心係德國西門子公司建置並

代為運轉及維護(O&M)工作。該中心收集各項氣渦輪機組件的運轉測試數據包含燃燒器及氣渦輪機葉片關鍵組件，有助詳細分析燃燒過程，並將測試數據回傳SIEMENS供研發提高機組效率與穩定度可靠度等。



圖 40 美國 Oregon, OCE 複循環發電機組



圖 41 參訪美國 Oregon, OCE 潔淨能源中心

俄勒岡州清潔能源中心（OCE）耗資超過8億美元，2013年5月1日獲得建造許可，2014年11月開始施工興建，於2017年7月1日開始商業運轉。OCE可提供超過70萬戶家庭用電電力，並為俄亥俄州提供價格合理，清潔可靠的電力。

OCE天然氣複循環電廠產生的電力比同樣容量的燃煤電廠產生的二氧化碳減少50%，氮氧化物和硫氧化物排放減少90%。在技術與價格的嚴峻考驗下，以天然氣為燃料的電廠正在改變發電結構格局。為了將碳排放量降至1992年以來最低水平，天然氣發電是一項重要的主導因素。

從美國發電的成本分析比較，1000個家庭所需用電約1000度的電力(1000千瓦-時)，若由傳統的燃煤電廠發電需花費95.10美元，由燃天然氣複循環氣渦輪機電廠則需約75.20美元，核電廠花費95.20美元，水力電廠約83.50美元。當環境要求更嚴謹時，上述差距更大，例如配有碳捕獲和儲存功能(CCS)的燃煤電廠，

每發電1000千瓦-時成本約需144.40美元，配備碳捕獲功能的燃氣電廠成本約需100.20美元。目前頁岩氣開採已經允許使用水力壓裂技術，天然氣燃料取得充足，價格相對便宜，為減碳需求，發電結構從燃煤大規模轉換為燃天然氣。10年前，燃煤電廠在美國產生了大約一半的電力，但現在已下降為三分之一。聯邦數據顯示，2015年天然氣已經超過煤炭，成為發電的主要燃料。據估計，2016年天然氣占美國發電量的34%，煤炭佔30%，核能19%，可再生能源佔15%。



圖 42 美國 Oregon, OCE 潔淨能源中心

2. 西門子公司氣渦輪機(GT)技術與研發

- (1)西門子柏林廠建造於1904年，初期該廠區主要製造生產工業用途、發電用途及船舶動力用之蒸汽輪機設備，當時製造之蒸汽輪機輸出低於1MW。西門子公司米爾海姆(Mülheim)廠區自1948年開始氣渦輪機研發工作，其氣渦輪機的技術發展已經有70年的經驗。柏林廠區於1969年開始氣渦輪機的製造，

此後，蒸汽輪機的製造生產則轉移至米爾海姆(Mülheim)廠區。1972年柏林廠製造出第1部發電廠用之氣渦輪機，型號為V93.0(62.5MW)。1977年開始，西門子成為柏林廠區唯一的主人。1978年發展出機組型號V94.1之氣渦輪(116MW)。1980年，發展出V94.2氣渦輪機(148MW)，此機型後來變更型號為SGT5-2000E。1996年，發展出SGT5-4000F氣渦輪機。1998年，併購美國西屋公司(Westinghouse)非核能發電機部門。2011年，發展出SGT5-8000H氣渦輪機，創造世界最高GT效率紀錄。2016年，柏林廠裝運第1,000部氣渦輪機。

- (2) 2016年西門子H級複循環燃氣渦輪機在全球刷新了三項紀錄，位於德國杜塞道夫港口Lausward的Fortuna機組，在驗收之前的試運行階段，其最大電力輸出達603.8MW，創造了同類單軸配置的複循環發電機組的新紀錄。新機組的淨發電效率達到61.5%左右，不僅刷新了世界紀錄，同時也改寫了西門子於2011年5月在德國南部Irsching的Ulrich Hartmann電廠創造的60.75%的淨發電效率紀錄。另外還可以提供給杜賽道夫市300MW的區域供熱。(燃料總效率達85%)
- (3) 本公司使用西門子氣渦輪機的電廠有南部發電廠及興達發電廠，南部發電廠有6台V84.2型氣渦輪機，民國82年5月後陸續商轉，興達發電廠有15台V84.2型氣渦輪機，民國87年4月後陸續商轉，為台灣工業及民生用電做出很大的貢獻。V84.2型號後來西門子變更型號為SGT6-2000E。
- (4) 目前西門子公司發電系統用60Hz氣渦輪機有4種機型，型號分別是SGT6-2000E、SGT6-5000F、SGT6-8000H及最新的SGT6-9000HL，隨著材料科技及加工技術的發展，運轉維護經驗的

累積，發電量及效率性能不斷提升，西門子公司最新氣渦輪機為HL-Class機型，空壓機為12級軸流式，壓縮比為24:1，複循環機組廠淨效率可達63%以上(如圖43)，中期目標預期可達65% (LHV, ISO standard reference conditions)。

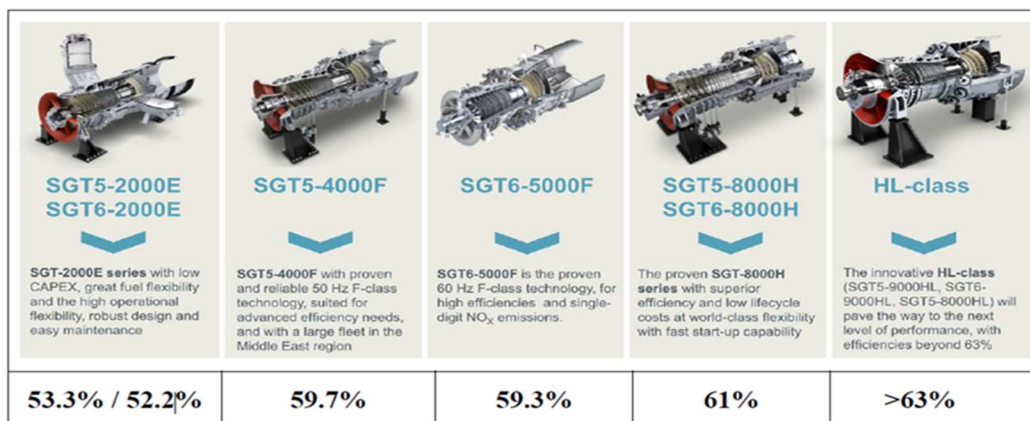


圖43 西門子氣渦輪機複循環發電效率進展

- (5) Siemens於西元1998年將美國西屋公司併購後，吸收西屋經驗並於2000年後啟動H型技術研發計畫。SGT6-8000H自2013年在南韓Dangjin及美國佛羅里達州正式商業運轉後，目前已有多部機組商業運轉實績。西門子適用於複循環發電廠之大型蒸汽輪機有4種機型，型號分別是SST-3000、SST-4000、SST-5000及SST-6000。隨著科技的進步，為提升發電量及效率而發展出更多蒸汽輪機設備相關技術，包含3D高中壓汽機葉片、新型汽封技術、低壓汽機葉片沖蝕防止技術、加長低壓汽機末級葉片長度等。

(6)西門子公司發電系統用60Hz氣渦輪機4種機型SGT6-2000E、SGT6-5000F、SGT6-8000H及最新的SGT6-9000HL之單循環及複循環機組運轉性能比較表(表1-1、表1-2)。

表1-1 西門子氣渦輪機單循環機組性能比較表

Simple cycle power generator GT (ISO 標準條件)				
Type	SGT6-2000E	SGT6-5000F	SGT6-8000H	SGT6-9000HL
Power output	117MW	250MW	310MW	388MW
Gross efficiency	35.4%	39.3%	40%	42.3%
Heat rate	10,169kJ/kWh	9,160kJ/kWh	9,000kJ/kWh	8,519kJ/kWh
Turbine speed	3600rpm	3600rpm	3600rpm	3600rpm
Pressure ratio	12:1	18.9:1	21:1	24:1
Exhaust mass flow	368kg/s	588kg/s	650kg/s	700kg/s
Exhaust temperature	532°C	598 °C	645 °C	680 °C

表1-2 西門子複循環機組性能比較表

Combined cycle power generator(ISO 標準條件)			
Type	SCC6-8000H 1S/1x1	SCC6-8000H 2x1	SCC6-8000H 3x1
Net Plant Power output	460MW	930MW	1,390MW
Net Plant efficiency	61%	61%	61%
Net Heat rate	5920 kJ/kWh	5910 kJ/kWh	5910 kJ/kWh
Number of gas turbines	1	2	3
Pressure/reheat	Triple/Yes	Triple/Yes	Triple/Yes
Combined cycle power generator(ISO 標準條件)			
Type	SCC6-9000HL 1S/1x1	SCC6-9000HL 2x1	
Net Plant Power output	577MW	1,154MW	
Net Plant efficiency	>63%	>63%	
Net Heat rate	<5,714 kJ/kWh		
Number of gas turbines	1	2	
Pressure/reheat	Triple/Yes	Triple/Yes	

(7)Siemens檢修週期(如圖44):

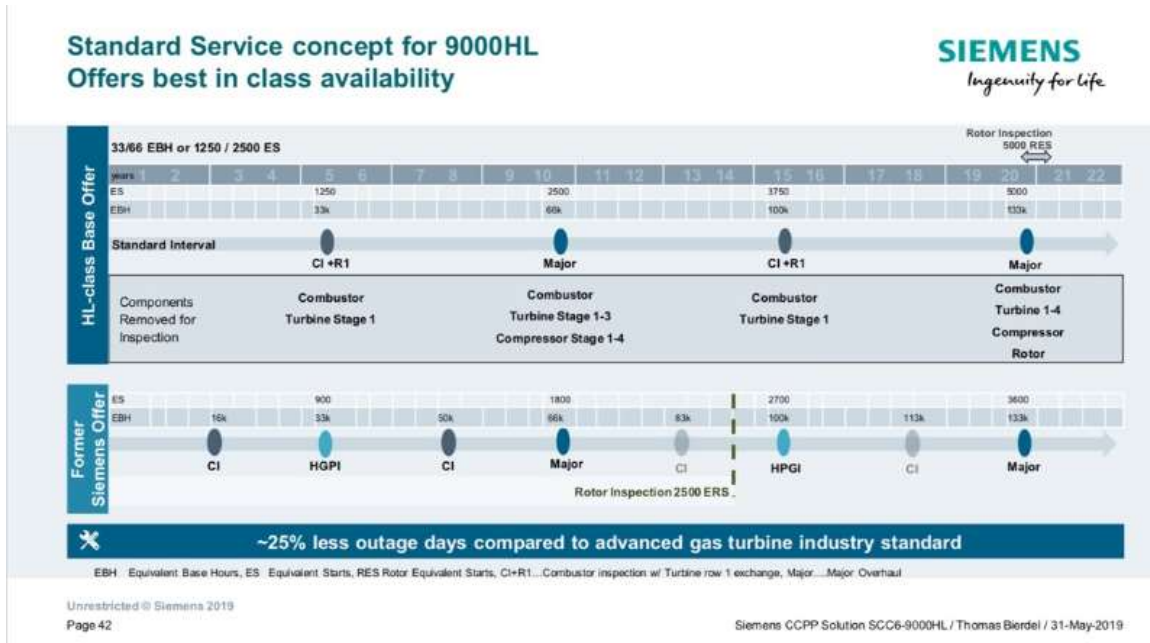


圖 44 Siemens 檢修週期

a. Siemens SCC6-9000HL檢修週期

- (a) 33,000EOH或1,250ES時執行CI+R1(範圍包含燃燒室與渦輪機第1級葉片)。
- (b) 66,000EOH或2,500ES時執行MI(範圍包含燃燒室與渦輪機第1~3級葉片和壓縮機第1~4級葉片)。
- (c) 100,000EOH或3,750ES時執行CI+R1(範圍包含燃燒室與渦輪機第1級葉片)。
- (d) 133,000EOH或5,000ES時執行MI(範圍包含燃燒室與渦輪機第1~4級葉片和壓縮機轉子)。

b. 本公司現有Siemens V84.2先前提供檢修週期:

- (a) 4,000EOH及8,000EOH執行內檢
- (b) 24,000EOH執行MI(開蓋檢查)。

Siemens機組檢修停機時間較短，相較業界其他先進式機組減少**25%**。(EOH 等效運轉時數，ES等效起動次數，ERS 轉子等效起動次數，CI+R1 燃燒室檢查與渦輪機第1級葉片更換，MI 開蓋檢查。)

(8)Siemens 數位化的現場服務，增加產能及改善檢修時間(如圖 45):



圖 45 Siemens 數位化服務示意圖

a. Robotic Arm used for Field Service

- (a) 機器手臂運用於燃燒器的組裝有效地增加機組大修便利性。
- (b) 讓維護工作在安全性方面晉升一個層級。

b. Remote Field Assistance brings Expert Experience to Your Site

- (a) 在任何時間，超越時空限制，提供所需之專業知識，滿足現場需求。
- (b) 有了Remote Field Assistance Service，現場員工可即時與原廠專家交流。

c. Digital Field Service Protocols

- (a) 在客戶機組停機期間全面性收集資料。
- (b) 進一步讓檢修範圍最佳化以改善機組可用率。

(9)Siemens HL系列氣渦輪機精進技術如下：

- a. 螺栓緊迫式高精度齒合轉子。
- b. 空氣冷卻式4級葉片渦輪機
- c. 環罐式燃燒系統
- d. 液壓式間隙最佳化控制
- e. 前瞻式技術運用，提升機組效率至63%以上
- f. 3D葉形 - 3D最佳化葉形，提高壓縮機效率及輸出、提高非滿載時及在不同環境溫度下的效能。
- g. 先進燃燒系統 - 運用先進耐熱塗層減少冷卻空氣使用量及改善密封性減少洩漏，增加預混燃燒器數量，縮短熱燃氣通過的時間。
- h. 超效率的葉片內部冷卻技術 - 先進幾何微結構、方向性固化葉片製造技術取代單晶製程、提高葉片壽命。
- i. 先進耐熱塗層 - 雷射雕刻工藝、犧牲層技術、增加堅固性。
- j. 第4級葉片之精進 - 獨立式排列、內部冷卻通道、不需開蓋即可更換、減少外部損失。

以上所有技術皆通過Siemens公司自有測試設備及實境測試。

(10)Siemens HL系列氣渦輪機開發階段利用數位化科技以縮短開發時程及提高品質：

- a. 全方位式結果分析，以多角度進行結果判讀。
- b. 虛擬實境模擬氣渦輪機組裝過程。
- c. 對於大型物件進行3D掃描，精確取得外形資料。
- d. 電腦輔助設計及製造(CAD/CAM)。
- e. 堆疊式製造技術。
- f. 雲端大數據資料庫使用，即時取得測試資料。
- g. Siemens公司在工程設計階段已依靠數位化科技進行前瞻式數位技術的開發。

Siemens所有技術皆經過測試與驗證

- a. 在2013~2014年執行設計階段關鍵技術的驗證。
- b. 在2014~2015年執行製造階段關鍵技術的驗證。
- c. 從2014年開始執行冷卻技術的驗證，包含驗證耐熱塗層、第4級葉片之冷卻通道等。
- d. 2019年在Duke 能源公司Lincoln電廠開始執行HL系列機組試運轉測試及驗證。
- e. 預計於2020年在SSE plc公司Keadby電廠開始執行HL系列機組試運轉測試及驗證。

Siemens公司的測試3步驟：

- a. 在潔淨能源中心測試組件。
- b. 在Berlin測試中心執行原型機的測試。
- c. 現場安裝後的試運轉，如在Lincoln電廠和Keadby電廠所進行的測試與驗證。
- d. 為確保機組的高可靠度與可用率，Siemens公司對於各項產品及技術皆會執行整合性的測試與驗證。

(11)Siemens HL系列機組為結合過去經驗與新技術的最佳結晶。

複循環機組效率超過63%以上，50Hz 1對1複循環機組出力高達870MW，60Hz 1對1複循環機組出力也可至595MW。各項特點如下：

- a. 單一緊迫螺栓轉子 – 內部有冷卻空氣通過讓機組具備冷機起動與熱機起動的能力，轉子冷卻空氣通過固定碟盤，皆為已驗證之技術。因為緊迫螺栓與齒合式設計，所以轉子於現場進行重組是一件簡單的工作。
- b. 12級葉片壓縮機 – 可調式進氣導葉與2級可快速反應的靜葉片以改善非滿載效率及提高負載變化速率，為第3代協調式壓縮機。進化後的3D葉形提高了壓縮機的效率，而且所有

葉片的拆裝不需將轉子吊出或重組。

- c. 軸承 – 液壓間隙最佳化控制減少機組性能劣化速度及因間隙所造成的損失。
- d. 燃燒器 – 先進環繞排列罐式燃燒系統具備燃料雙燒能力，50Hz機組的燃燒器數量為16個，60Hz機組的燃燒器數量為12個。
- e. 4級葉片渦輪機 – 因渦輪機段殼體有冷卻空氣降溫，所以循環能力變高。所有的動、靜葉片皆有高效率的內部冷卻空氣流道降溫，而且皆為先進材料合金製造及含耐熱塗層之3D葉形。葉片更換不需將轉子吊出，因此在更換第1級動、靜葉片和第4級動葉片不需要開蓋。

(12)Siemens HL-class氣渦輪機的開發歷程：

- a. 2014年開始設計演化，至2017年推出HL系列氣渦輪機。
- b. 2014年開始執行相關測試及驗證，2020年開始現場試運轉測試。
- c. 2016年開始進行製造。
- d. 2017年及2018年分別開始Lincoln電廠及Keadby電廠更新安裝HL系列機組，並於2020年開始執行試運轉。

(13)Siemens HL系列機組將會是未來具挑戰性的市場中最具競爭力的氣渦輪機。目前已有3部機組的訂單，包含Duke能源公司Lincoln電廠採購2部SGT6-9000HL機組，預計將於2020年進行試運轉，SSE plc公司Keadby電廠採購1部SGT5-9000HL機組。SSE plc公司Keadby電廠將於2020年第1次點火。這個計畫對於噪音、出力及效率的要求非常高，因此SSE plc公司選擇SGT5-9000HL 1對1的複循環機組，該公司表示對於能夠採購到一流技術、高效率及可靠度與低排放具傑出性價比的機組感到非常

滿意。

Siemens公司亦曾於埃及的Beni Suef、Burullus及New Capital電廠在27.5個月內安裝24部SGT5-8000H氣渦輪機和12部SST-5000汽輪機，提供14.4GW的發電量滿足4000萬居民的用電需求，創下新的紀錄，發電效率也超過61%。建造過程中，提供20,000個現場工作機會以及超過16,000名的設備製造工人需求，使用超過74萬立方公尺的混凝土，近5萬噸的鋼構，近2,000公里的電纜，約1,000公里的訊號線，創造每個月近400萬的人工時，並訓練出600名專業的埃及技術員工，機組運轉後每年將節省超過13億元的燃料支出。

Siemens HL系列機組演化自H系列，使用經驗證之技術、具保險資格、可融資且在50Hz及60Hz機組皆具銷售實績。相關技術規格如下圖46：

Performance data for simple cycle operation			Performance data for combined cycle operation			
	50 Hz	60 Hz	50 Hz		60 Hz	
			CC 1x1/1S	CC 2x1	CC 1x1/1S	CC 2x1
Power output	593 MW	405 MW				
Fuel (examples)	Natural gas, LNG, distillate oil, other fuels on request					
Frequency	50 Hz	60 Hz				
GT ramp-up	85 MW/min	85 MW/min				
Efficiency	42.8%	42.6%				
Heat rate	8,411 kJ/kWh (7,972 Btu/kWh)	8,451 kJ/kWh (8,010 Btu/kWh)				
Turbine speed	3,000 rpm	3,600 rpm				
Pressure ratio	24:1	24:1				
Exhaust mass flow	1,050 kg/s (2,205 lb/s)	725 kg/s (1,543 lb/s)				
Exhaust temperature	670° C (1,238° F)	670° C (1,238° F)				
NO _x emissions	Down to 2 ppm with SCR	Down to 2 ppm with SCR				
CO emissions	10 ppm	10 ppm				
Net heat rate						
			<5,714 kJ/kWh (<5,416 Btu/kWh)		<5,714 kJ/kWh (<5,416 Btu/kWh)	
Number of gas turbines						
	1	2	1	2	1	2
Pressure/reheat						
	Triple/Yes	Triple/Yes	Triple/Yes	Triple/Yes	Triple/Yes	Triple/Yes
Steam temperature						
	>600° C (>1,112° F)	>600° C (>1,112° F)	>600° C (>1,112° F)	>600° C (>1,112° F)	>600° C (>1,112° F)	>600° C (>1,112° F)
Physical dimensions						
	50 Hz	60 Hz				
Weight (approx.)	497,000 kg (1,095,700 lb)	305,000 kg (672,400 lb)				
Length	13.0 m (42.6 feet)	10.8 m (35.4 feet)				
Height	5.3 m (17.4 feet)	5.0 m (16.4 feet)				
Width	5.5 m (18.1 feet)	4.3 m (14.1 feet)				

Note:
Simple cycle ratings are gross values at ISO ambient conditions.
Combined cycle ratings are net values at ISO ambient conditions.
Actual performance will vary with project-specific conditions and fuel.

圖 46 Siemens HL 系列機組技術規格演化

目前新燃氣複循環機組效率已達63%以上，性能評比時亦應考慮納入效率衰退曲線面積；為確認新機組性能衰退情形，建議投標時廠家需提出熱效率(含校正曲線)及衰退曲線並納入評比，保證值效試分兩次，建造完成調校後及由廠家負責運維一定期間(O&M)後，依效試相關規定執行兩次效試，驗證保證值及估算法機組長期平均衰減率(至少10年)。

(二) 奇異公司格林維爾研發中心

發電行業面臨重大變化，天然氣供應增長，汙染物排放標準趨嚴，燃煤電廠遭輿論抨擊以及可再生能源的持續擴張。燃氣輪機複循環發電技術不斷發展，提供更高的機組效率和更低的電力成本。先進的複循環設備提供更高的操作靈活性，更快的啟動時間，更高的機組效率和廣泛的燃料靈活性，同時保持高水平的機組可靠性。



圖47 先進高溫材料研究中心

GE公司已開發出50 Hz和60 Hz頻率配置的HA燃氣渦輪機產品，於ISO條件下，複循環機組淨效率能夠達到62%以上。型號7HA燃氣渦輪機頻率為60Hz，型號9HA燃氣渦輪機頻率為50Hz。7/9HA燃氣輪機共享設計平台和技術特性，提高性能並積累經驗，同時將產品風險降至最低。型號HA產品代表其結合GE型號F和型號H級原型設計產品而成的最佳產品。消除了原H級設計的蒸汽冷卻和冷卻空氣系統，從而提高了操作靈活性，簡化了安裝及操作保養。

本次參訪美國奇異公司格林維爾研發中心(如圖48)，HA燃氣輪機已經在GE位於南卡羅來納州格林維爾的最先進的測試工廠，以實際進氣燃料進行了全尺寸嚴格的運轉測試。於工廠執行全尺寸實體測試(與電網隔離)之優點，包括可以驗證50和60 Hz單位、在測試期間同時改變速度和負載的能力、可完整的針對壓縮比及相關氣渦輪機設計規範之要求條件進行實際測試。

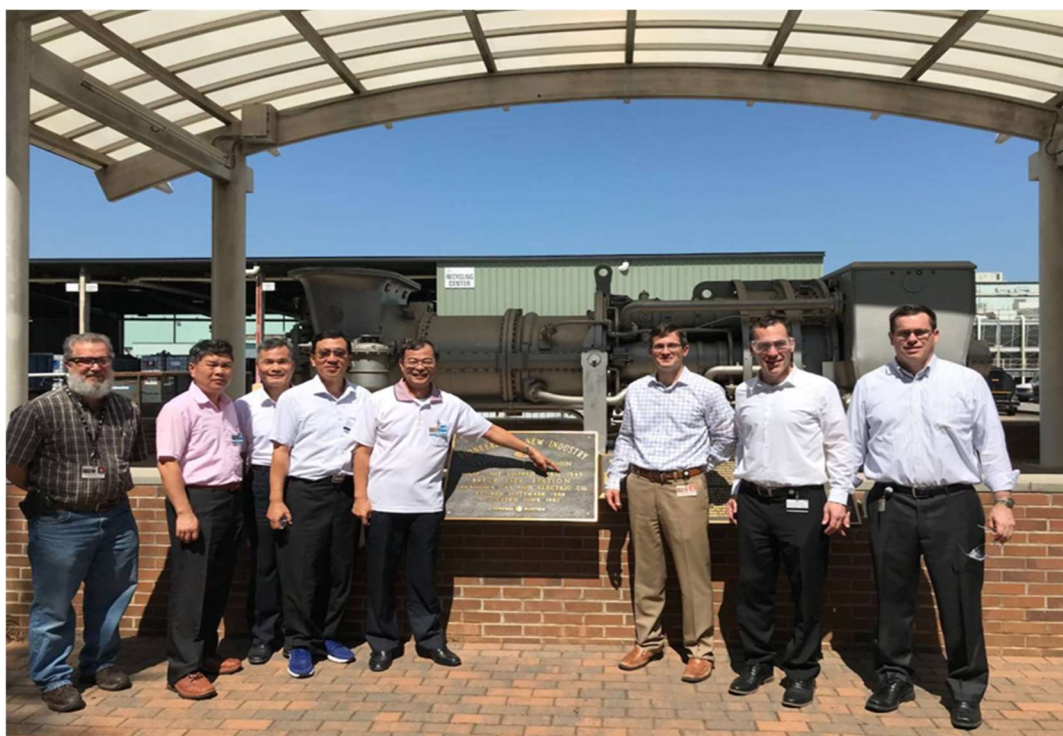


圖48 參訪美國奇異公司格林維爾研發中心

第一台型號9HA.01氣渦輪機於2016年6月17日在法國電力公司(EDF)Bouchain發電廠投入商業運轉。2016年第一台7HA.01和7HA.02在日本名古屋市的兩個發電廠和美國德克薩斯州投入商業運轉。

1. 複循環機組之市場需求

歐盟再生能源管理部會(歐洲議會和歐盟理事會,2009年)制定了再生能源生產和促進能源的總體政策。它要求歐盟在2020年之前再生能源至少需滿足20%的能源總量需求。截至2015年6月15日,歐盟26%的電力來自再生能源(歐洲議會和歐盟理事會,2015年)超過2009年的目標。雖然再生能源占比的成長對環境非常有益,但在電網管理中,卻屬於無法穩定供應的能源選項,必須有足夠的備用能源來彌補再生能源供應不穩之中斷風險,例如低風速影響風力發電或陰天影響太陽能發電。再生能源的不穩定性產生必須存在互補的電源需求,電網運營商需要高效且操作靈活的解決方案來應對波動的能源供應狀況。這些方案必須結合可靠性,可用性和可維護性,以確保電力系統穩定,而這些趨勢正在增加市場針對複循環發電廠的需求(具備高效能,操作靈活的燃氣渦輪機組)。

GE公司燃氣渦輪機技術進展由英文字母標識。H級定義為燃燒溫度高於1,430°C的機型。燃燒溫度之定義,係指傳統的T4或渦輪機第一級靜葉片入口溫度。參考基準位於第一級靜葉片(S1N)冷卻端的下游處,並代表 Brayton cycle中的峰值工作溫度。H級機組係基於E和F級系統架構,累積相當之製造和操作經驗,其發展歷程如圖49所示。

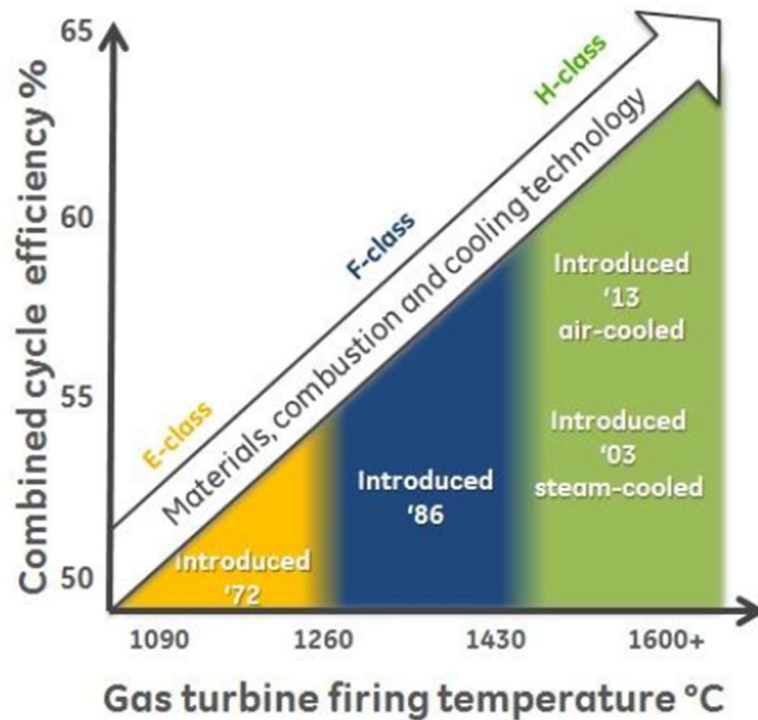


圖49 GE公司E、F、H型氣渦輪機發展史

2. H 型氣渦輪機過往技術及沿革

GE的H級技術開發始於1990年初，致2003年達成第一次商業運營（COD）。這種原始的H級燃氣輪機開創了許多新功能，包括4級之空氣冷卻渦輪機和壓縮機入口處的4級可變導葉。Matta, Mercer和Tuthill（2000年）發展了第一批H級燃氣輪機的設計和製造工程。如圖50所示，共製造了六台原裝H級燃氣渦輪機，每台燃氣渦輪機均投入商業運轉。第一台9H在英國威爾士的Baglan Bay運轉。其他9H在日本東京附近的TEPCO Futtsu廠運轉，從2008年到2010年有陸續投入商業運轉。兩個7H在美國加利福尼亞州Inland Empire運轉，2008年和2010年陸續投入商業運轉。這些電廠累計已超過255,000小時的運轉。



圖50 GE公司H型氣渦輪機經驗實績

從這些工廠的運營和維護中獲得的經驗和知識已被應用於新一代H級產品的開發，型號為7HA和9HA。7/9HA燃氣渦輪機之熱燃氣冷卻方式採用空氣冷卻，係透過軸封、材料、塗層的不斷精進而達成。「H」表示H級燃燒溫度，加上表示空氣冷卻的「A」。

3. 7 / 9HA 燃氣渦輪機結構演變

7HA和9HA燃氣渦輪機為改良式進化產品，結合了原有H級燃氣渦輪機的原型設計經驗和F級燃氣渦輪機的現場實際運轉經驗。7HA和9HA的速度和幾何尺寸係數分別為1.2（7HA）和0.083（9HA）。7HA應用於60 Hz市場，而9HA應用於50 Hz市場。相關速度和幾何尺寸係數已常規性應用於工業級燃氣渦輪機，包括GE Power提供的7 / 9E型和6 / 7 / 9F型燃氣渦輪機。

7 / 9HA壓縮機是針對7F.05型的改良版產品，是對原7F燃氣渦輪機的改進。ISO條件下，7F.05在單循環時可發電241MW。截至2016年6月，共有21個7F.05機型投入商業運轉。

7 / 9HA使用DLN 2.6+燃燒筒，DLN為Dry-Low NOx的縮寫。DLN 2.6+型燃燒筒結合了GE DLN系統的最佳功能，並於10年前

應用於9F型燃氣渦輪機。

7 / 9HA渦輪機具有四級並且以7 / 9H燃氣渦輪機相同的壓力比運作。熱燃氣路徑構造設計以F型和H型設計運轉經驗為基礎，並參考引用GE航空（飛機發動機）的設計製造技術。圖51顯示了7 / 9HA燃氣渦輪機的過往技術及沿革。

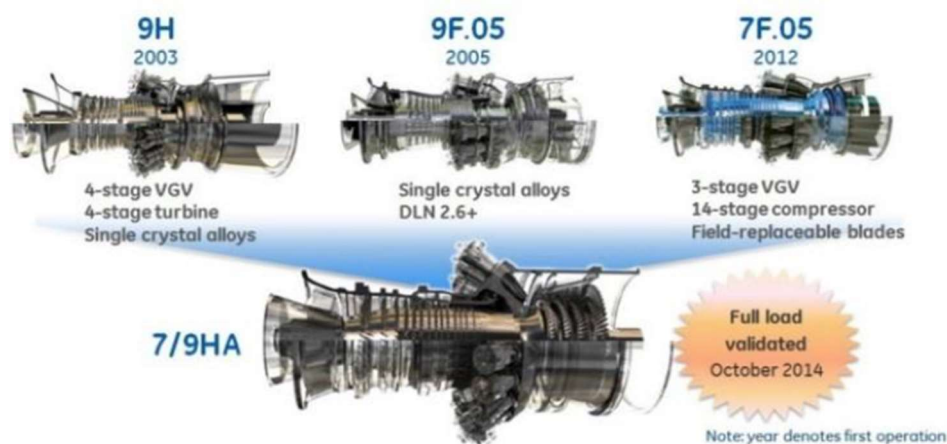


圖51 GE公司7/9HA型氣渦輪機演進史

7 / 9HA系列之燃氣渦輪機為7HA和9HA提供兩種規格尺寸。7HA.01型和9HA.01型首先開發，7HA.02型和9HA.02型隨後發展。「.02」是「.01」的流量放大版，透過增加壓縮機入口和渦輪機出口區域以增加更多空氣流量，從而導致功率輸出的增加。增加壓力比以維持中後段壓縮機及渦輪機第一級和第二級中的空氣流力性能。因此，壓縮機及渦輪機間的流道在兩型間並沒有改變。壓縮機和渦輪外徑在.02型和.01型之間都沒有變化。原始「.01」型產品中預留了相關設計裕度值，以增加進口和排氣區域而不會改變法蘭間的外部尺寸。7HA.02型和9HA.02型的總長度增加約1米。同時增加燃料供應能力和燃料噴嘴尺寸，以適應維持恆定燃燒溫度所需相應增加的流量。

表4提供了HA產品的單循環和複循環配置的輸出能力。這些性能值是基於燃氣渦輪機設計準則（2015版）所訂條件之ISO標準與淨值顯示。SS是1x1單軸配置的縮寫。

表 4 HA 型產品的單循環和複循環配置的輸出能力

	Gas Turbine Output (MW)*	SS Combined Cycle Output (MW)*	Combined Cycle Efficiency *
7HA.01	280	419	61.8%
7HA.02	346	509	62.0%
9HA.01	429	643	62.6%
9HA.02	519	774	62.7%

註： Net, ISO, Gas Turbine World (2015 年)

該系列產品已具體量產化及模式化，可充份配合該系列產品套組應用於不同規模電廠之需求。例如，7HA.02和9HA.02產品平台提供“line-of-sight”，可分別達成超過600和860 MW的複循環電廠淨發電量輸出和超過63%的複循環電廠淨效率。同時，現場經驗結合關鍵燃氣渦輪機技術進步，將延長維護周期和元件壽命，從而降低生命週期成本。

7/9HA型壓縮機是7F.05燃氣輪機的改良型產品。7F.05壓縮機採用14級結構，設有入口導葉，後面是三級可變導葉。有兩處空氣抽出可供熱燃氣通道冷卻。該壓縮機採用了最新的空氣動力學設計和耐久性增強功能。包含三維空氣動力學，現場可更換葉片和“超精密加工”或葉片塗層的應用。這些元件相結合，可提供更高效率，更廣泛的可操作性，最低的損耗，最佳的可靠性和可維護性。7F.05壓縮機是GE新的全速滿載（FSFL）測試設備中首個經過驗證的產品。顯示壓縮機的可操作性，空氣動力學性能，波動裕度和可靠性均可滿足或超過要求。9HA.01壓縮機如圖52所示。

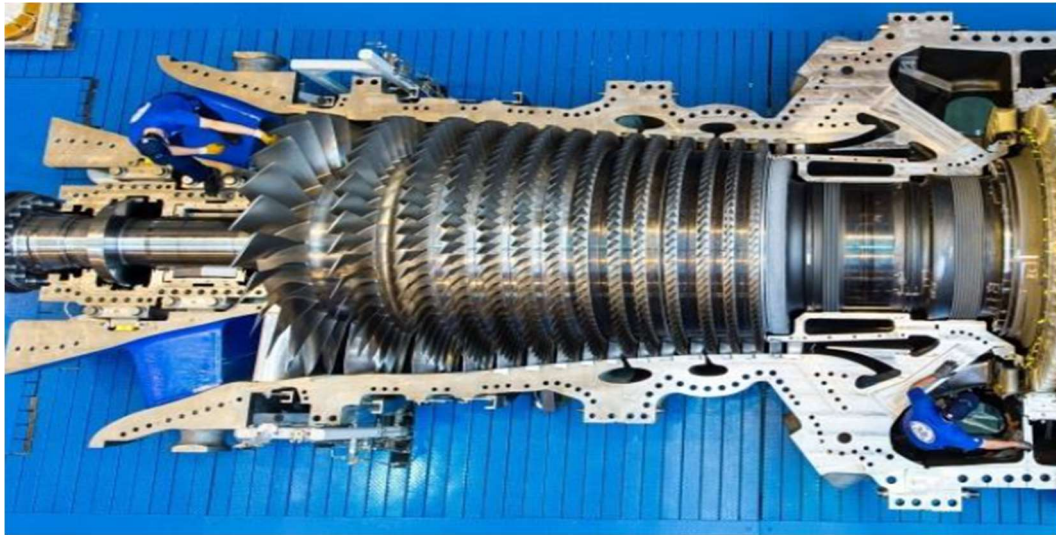


圖52 7/9HA型氣渦輪機之壓縮機

有關7/9HA型燃燒筒，7/9HA燃氣渦輪機係設計於排放值低於25/15 ppm的NO_x/CO（負載於30%至100%狀況下）。基於GE針對燃燒技術之研發和測試能力以及數百萬小時的DLN燃燒器經驗，H級燃燒溫度下可達到此標準。通過降低燃燒溫度或將排氣端採用選擇性觸媒還原（SCR），可以保證7HA型和9HA型的均勻排放更低。

9HA.01型燃氣渦輪機採用經過驗證的DLN 2.6+燃燒技術，此技術在100多台9F.03型和9F.05型燃氣渦輪機上已可靠運行超過240萬小時。它代表了DLN 2.6+燃燒系統在設備性能，可操作性，燃料要求，可靠性和低排放方面的持續進步。該系統採用多個燃料迴路供應6個燃料噴嘴，其中五個燃料噴嘴沿中心噴嘴周向排列，利用燃料分級燃燒來實現低排放和靈活的可操作性。

7HA.01型和7HA.02型燃氣渦輪機採用燃燒改進，可進一步降低排放標準並提高調節能力。在早期版本的DLN 2.6+燃燒系統中使用的四元迴路已被重新利用以直接將燃料噴射到燃燒反應區中。這種新的“軸向燃料分級”（AFS）系統可以降低NO_x排放並提高調節比。它還減少了熱負荷，結合先進的材料和塗層，提供最先進的耐用性。圖53中顯示了7HA型燃燒器以及來自全尺寸實驗室測試時的火焰照片。



圖53 GE公司7HA型氣渦輪機燃燒器測試火焰照片

除AFS外，9HA.01型和9HA.02型燃氣渦輪機從2017年中期開始，改進原有預混燃料噴嘴。五個燃料噴嘴沿中心噴嘴周向排列之配置方式，可以用相同數量的帶有較小管狀預混合器的陣列代替。每個管通過標準端蓋回路單獨供應氣體燃料。燃油供應閥和管道與原系統相同，可應用原有的控制和操作方式。管式預混合器實現了更高的混合效率，使得在高燃氣溫度下能夠降低NO_x。圖54顯示了這種新的預混配置。該燃燒器型號為DLN 2.6e。雙燃料能力可用2號餾分作為標準備用燃料。該裝置在負載下可由任何一個氣態或液態燃料供給。燃燒系統可以在液體燃料上符合25/15 ppm的NO_x / CO排放標準，並透過注入水以減少NO_x。



圖54 GE公司9HA型氣渦輪機管式預混合器

用於7 / 9HA型的渦輪機與經過驗證的原始H級四級燃氣輪機（7 / 9H）非常相似，除了取消蒸汽冷卻，冷卻空氣和相關設

備的簡化。7/9HA型選用的金屬是已在F型和H型燃氣渦輪機上運行超過5000萬小時，經過驗證的合金。基於這種運轉經驗和使用最先進分析方法的結合，渦輪機冷卻得到了增強。渦輪機內部和外部殼體透用被動措施適應熱膨脹以最佳化其間隙。

繼承原始的H型燃氣渦輪機之耐磨的蜂窩狀護罩以及較短的鏟斗，GE利用其航空事業部之技術針對噴嘴氣流路徑增強密封性。

在與多所大學，國家實驗室和GE全球研究中心合作的幫助下，以計算流體動力學（CFD）應用於組件測試。由CFD產生的渦輪機部分和相應的速度場如圖55所示。圖中顯示了可分辨的尾流和邊界層效應。此物理現象對於優化渦輪機空氣動力學和冷卻結構非常重要。



圖55 GE公司7/9HA型氣渦輪機燃氣流場CFD分析

4. FSFL 驗證 7/9HA 型燃氣渦輪機

2008年，GE在美國南卡羅來納州的格林維爾開發了世界上最大，具備全速，全負荷（full-speed, full-load 簡稱FSFL）之燃氣渦輪機測試設施。該側試設施與供電網路隔離，可提供50和60Hz燃氣渦輪機系統的全面滿載驗證。該設施首次使用是針對2011年生產的7F.05型壓縮機，隨後是2012年的7F.05型燃氣渦輪機。美國和沙烏地阿拉伯安裝7F.05型機組的發電廠已達成商業運轉（COD）。

該設施隨後用於驗證9HA.01型和7HA.01型燃氣渦輪機。圖

56中的設備為9HA.01型。燃燒系統位於觀察區域的中心位置，壓縮機位於左側，渦輪機位於右側。

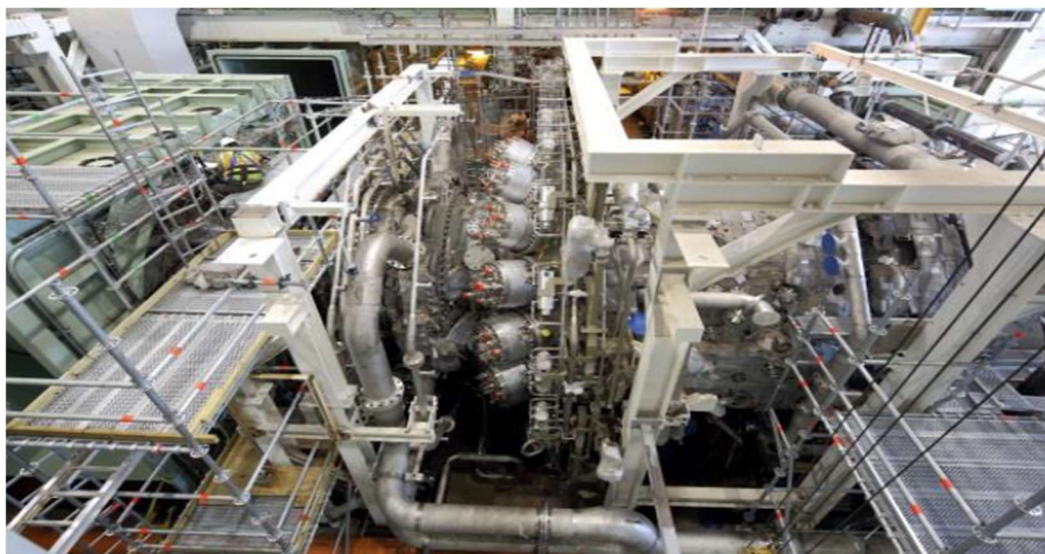


圖56 GE公司9HA.01型氣渦輪機於工廠執行FSFL測試

圖57顯示了HA燃氣渦輪機驗證的總體測試計劃，圖58為運入測試設施試驗台的7HA.02型，9HA.02型亦於2018年在該工廠進行驗證。



圖57 GE公司7/9HA型氣渦輪機產品執行FSFL驗證測試計畫



圖58 GE公司7HA.02型氣渦輪機進入FSFL驗證測試工廠

FSFL設施的開發是為達成與供電網路隔離下執行運轉測試。FSFL的關鍵組件是燃氣渦輪機，負載壓縮機和啟動裝置。該設施的開發是為了使負載壓縮機能夠利用實際燃氣渦輪機運轉時的全壓縮級距，以提供相關的測試驗證。大型工業用燃氣渦輪機的渦輪機部分產生大約兩倍於驅動燃氣渦輪機壓縮機所需的功率，其餘部分驅動發電機以轉換成電能。

在GE的FSFL設施中，壓縮機吸收原本應由發電機傳輸到電網的功率，這種獨特的佈置允許燃氣渦輪機在滿載負荷條件下運轉而不必連接到電網。增設壓縮機的儀錶還可以使壓縮機量測出的驗證數據量增加。與實際的燃氣輪機壓縮機相比，壓縮機可以在運轉曲線上的不同點處操作。此外，壓縮機可在與整體燃氣渦輪機相較更嚴謹的條件下操作。FSFL測試配置如圖59所示。

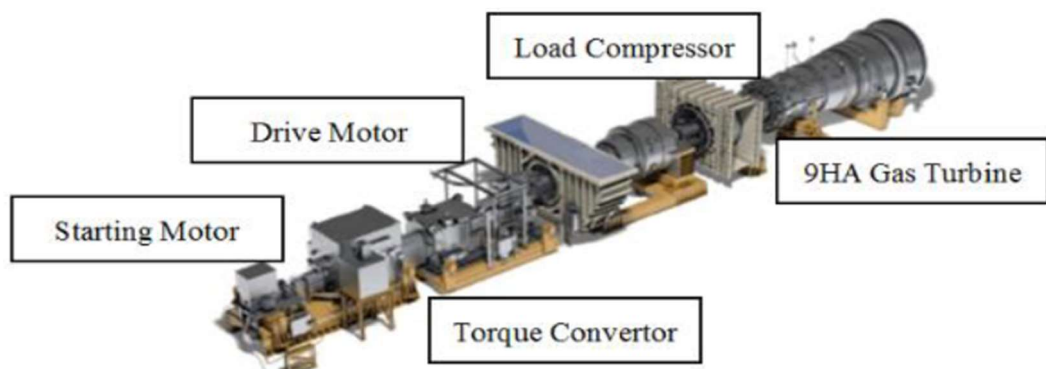


圖59 GE公司於工廠執行FSFL測試配置圖

FSFL可以對燃氣渦輪機進行全面的測試，其可操作範圍大於一組渦輪機在發電廠現場可執行的項目。燃氣渦輪機及其系統的FSFL測試驗證與連接到電網，運轉超過8,000小時的燃氣渦輪機組相當，因其可測試各種條件。與聯結至電網相較，FSFL可將速度作為測試變量。這包括不同負載曲線，等效環境範圍，高頻/低頻以及氣體和液體燃料瞬態負載變化的能力。該設施和方法允許整個燃氣渦輪機的驗證符合電網規範可操作性和穩定性的全球要求。這些要點總結在表5中。

表5與電網隔離執行FSFL測試相較併網測試之優點

Validation Area	Impact	GE Test stand Facility	On-Grid Prototype
Performance	HR/MW/RAM	● Full Map	● Limited
Fleet Risk	RAM/Operability	● Full Map	● Not quantified
Pressure Ratio Surge Risk	RAM/MW/HR	● Full Map	● Not quantified
Exhaust Characteristics	HR/RAM	● Limits Validated	● Site Limited
Hot/Cold Flexibility	MW/HR/RAM	● Full Map	● Site Limited
Load following Capability	Ramp Rate/RAM	● Fully Quantified	● Site Limited
Grid Code Compliance	RAM/Dispatch	● Limits Validated	● Grid Limited
Test Schedule Flexibility	Adaptability to new requirements	● GE Control	● Dispatch Control
Test Cost	Investment	● Expensive	● Potential Revenue
Test Stand Growth	Future Technology	● Very Scalable	● Limited to Site
Data Quality	RAM/Operability	● High Quality	● Limited in Field
Validation Date	Product volume	● 2 Years earlier	● After COD

在驗證期間，將近6,000個傳感器和儀器收集有關燃氣渦輪機運行和組件的所有方面的數據。這相當於在測試期間不斷截取的8,000多個數據流。與連接到電網的燃氣渦輪機組預期性能相比，FSFL測試中的燃氣渦輪機性能反映在更廣泛的可運轉操作情境。從電網中隔離有助於在一系列等效負載條件下進行非常規運轉速度（90%-110%速度）之運轉測試。可變速度還可以在相當於-37°C至50°C的環境溫度下進行測試。壓縮機流量和壓力可以在穩態和暫態條件下測量。與超過530個實際運轉中機組的運行範圍相比，在FSFL測試設施中進行的測試結果明示壓縮機可在更大的操作範圍進行驗證，如圖60所示。

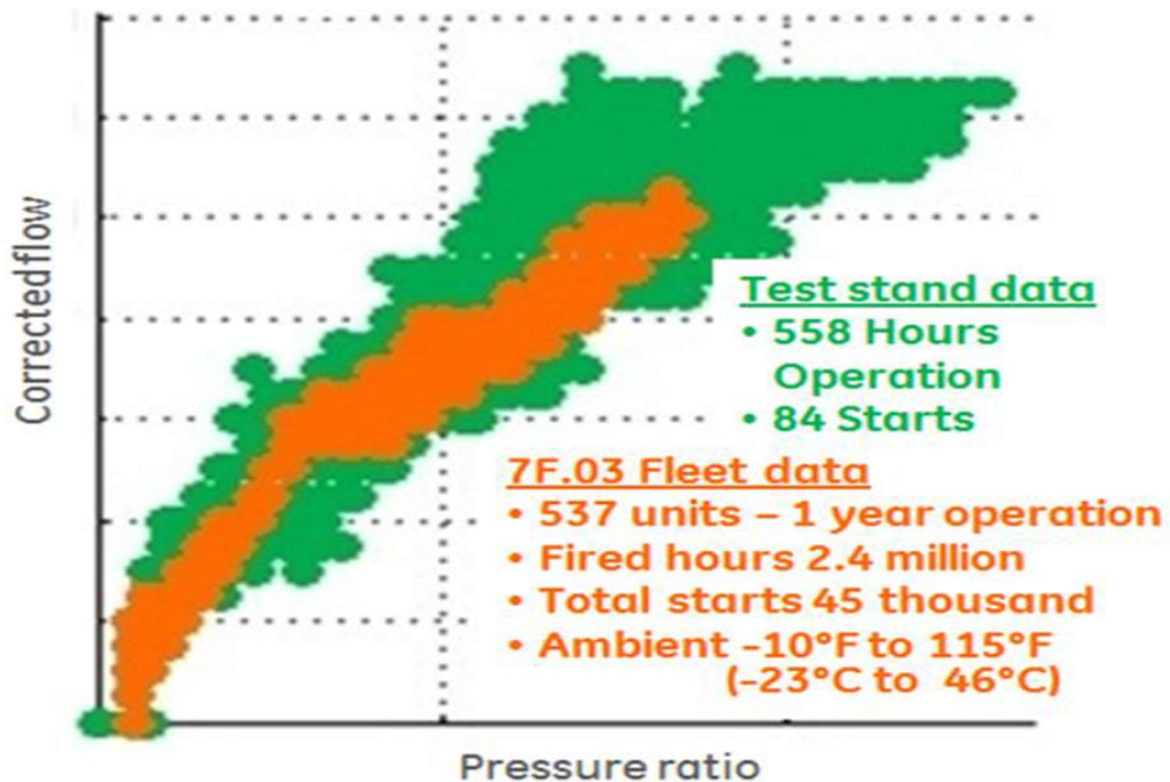


圖60 全速、全負載FSFL測試驗證

這種測試方法被認為是優於聯結到電網的燃氣渦輪機組產品驗證，運行時間為8000小時，並且相關作業是保險公司可承保的範圍。

通過使用沿流動路徑施加的應變儀和光探針來驗證壓縮機空氣動力學。高頻疲勞(HCF)驅動器和響應預測在速度、負載、環境溫度和工作壓力變化範圍內得到驗證。加載的速度變動大於 $\pm 10\%$ ，為頻率和運行條件變化提供參數靈敏度，並驗證燃氣渦輪機在現場運行的速度範圍。可變入口導葉的調節加上負載壓縮機上的背壓閥的操作提供了完整壓縮機負載圖的驗證方式。多次的啟動，關閉和跳脫有助於驗證預期的暫態行為。

壓縮機運轉之喘振線係基於實際喘振現象建立。測試時可刻意將負載壓縮機調節到喘振狀態並監測其響應來量化喘振裕度。這種驗證方式在連接到電網的燃氣渦輪機上是不可能執行的，此測試並可提供對系統能力的額外驗證。在高度監控的條件下執行燃氣渦輪機暫態事件預測分析，包括電網事件，快速啟動

和峰值啟動，燃料傳輸和負載抑制。這些結果也為分析方法的準確度提供了可靠的反饋。

標準FSFL驗證測試計劃和時間表如圖61所示。該程序分為三個部分：驗證，演示和發展。如上所述，GE已完成9HA.01型和7HA.01型的FSFL測試。驗證包括廣泛的測試，提供測量結果用以驗證預測分析。對於9HA.01型和7HA.01型，在收集點的範圍內，預測值與測量值結果之吻合度非常好。可根據量測結果，對配置進行一些小幅設計修改。這種可驗證燃氣渦輪機組有效性的能力展示了FSFL設施的益處。



圖61 全速、全負載FSFL測試驗證計畫

演示階段建立在離網能力的基礎上，以發揮完整的機組負載能力。一般聯網操作測試時若無法維持電網穩定性，則無法輕易地執行大型燃氣渦輪機以及相關的複循環測試。被測試的9HA.01型和7HA.01型燃氣輪機以每分鐘超過15%的速度快速裝載和卸載。從包括基本負載的多個操作點執行對等效斷路器開啟條件的負載抑制。

測試的發展階段採用更廣泛的方法收集熱燃氣路徑溫度信息，以了解各機組設計平台的升級潛力。測試致力於探索HA型燃氣渦輪機技術的增長能力，以便進行未來的升級。可收集115%額定輸出和燃燒溫度超過標準運行溫度55°C之運行的數據、改變熱燃氣路徑組件的冷卻供應，以了解對組件溫度和壽命能力的影響。業主和電力公司希望通過在發電廠的整個生命週期內升級設備來提高產量和效率。E型和F型燃氣渦輪機設計平台的發展演進史充分證明了這種趨勢。9HA.01型和7HA.01型總體性能如表6所示。

表6. 9HA.01型與7HA.01型產品執行FSFL測試總體結果

Validation criteria	9HA.01 capability	7HA.01 capability
Turbine output	> 429 MW	> 280 MW
Turndown in guarantee	< 30% BL	< 20% BL
Grid stability	+/- 3%	
Gas variation (Modified Wobbe Index)	+/- 15%	
	(lean-to-rich natural gas & LNG)	
NOx emissions at	< 25 ppm	

本公司目前對於機組承受天然氣沃貝指數要求為±2%內，惟如GE新型機組等已可承受±15%之燃料品質，為有利於未來燃料採購，應研究天然氣沃貝指數變動範圍加大納入新燃氣複循環機組之評比項目，並如何驗證廠家新機組沃貝指數變動能力，及對機組效率與熱元件之影響。

5. GE 公司 7/9 型產品操作和燃料靈活性

操作靈活性已成為燃氣渦輪機之複循環機組必備特性。操作靈活性定義為發電廠能夠穩健地操縱以適應各種發電需求的能力。這包括強大的啟動，快速裝載，快速符合排放標準，高效率、快速調節負載，符合電網規範，燃料靈活性和整體控制。

7 / 9HA型燃氣渦輪機以飛機發動機技術為基礎，可提升效率，同時保持基載和部分負載運轉的效率。為實現操作靈活性，在開發過程中需注意的是，應充分利用運轉中電廠的現場經驗及現代控制系統，組合並有效分析這些數據。HA型產品具有以下能力：

- (1) 啟動後不到30分鐘即可完成氣渦輪機滿載運轉。
- (2) 符合排放條件下每分鐘負載變動達15%。

(3) 最低負載可以調節至基本負載30%以下。

(4) 燃料靈活性，能夠使用氣態和液態燃料。可以使用各種氣體燃料，包括富含天然氣（乙烷，丙烷和丁烷），頁岩氣，次級天然氣（含有N₂和/或CO₂作為添加物）和液化天然氣（LNG）。

燃料從氣體轉移到液體，燃料從液體到氣體的轉移，與其他形式的大規模發電（例如燃煤鍋爐或核電廠）相比，燃氣渦輪機複循環提供明顯更好的效率或負載特性。結合最先進的DLN燃燒器以快速調節負載或維持低負載下符合排放標準的能力，使電廠能夠在頻繁的瞬態操作期間滿足嚴格的排放限制。

6. 7HA 的發展沿革與技術彙總

7HA的發展歷程，沿用9F的DLN 2.6+燃燒系統，氣渦輪機從F系列的3級葉片增加到H系列的4級葉片，先發展出50Hz的9HA.01機型，然後才開發出60Hz的7HA.01機型，最後放大進氣量後推出9HA.02與7HA.02。

7HA 的技術要點如下：

- (1) 壓縮機第1級鈦合金動葉片
- (2) 壓縮機葉片共14級皆可於現場更換
- (3) 電動可調式進氣導葉(IGV)
- (4) 電動式可變式靜葉(VSV)
- (5) 由第10級抽出壓縮空氣冷卻動葉片
- (6) 由第8與11級抽出壓縮空氣冷卻內缸及靜葉片
- (7) DLN 2.6+軸向燃料分級低壓燃燒器
- (8) 兩件式渦輪機內缸殼體
- (9) 1~4級冷卻式渦輪機動、靜葉片
- (10) 第3與4級渦輪機動葉片護環

DLN2.6e燃燒系統可提高運轉彈性和燃燒室的冷卻效果、低氮氧化物濃度、燃料使用的彈性、最低運轉負載可至30%等優點，而特點如下：

(1) 燃燒室殼體延伸至傳導區

讓傳導區縮短、減少洩漏、為傳導區量身訂做的冷卻設計

(2) 先進式預混效果

低氮氧化物濃度、改善運轉彈性、燃料使用的彈性可達 $\pm 15\%$ MWI、可燃燒50%比例的氫氣

(3) 軸向燃料分級燃燒

低氮氧化物濃度、改善可運轉之最低負載

7HA氣渦輪機的冷卻系統由F系列機組的冷卻系統再簡化，具整合型的熱燃氣道及燃燒室冷卻系統功效、冷卻空氣不需再進行熱交換降溫等特點。7HA全速全載測試之設備包含先進式氣渦輪機、壓縮機、轉速齒輪箱、扭力轉換器、驅動馬達及起動馬達，全長約50公尺。

特點包含：

(1) 不需併網，可全載測試

(2) 測試50Hz或60Hz機組皆可

(3) 可使用氣體或液體燃料

(4) 可執行機組試運轉所有測試及驗證雙生數位化的功能

(5) 安裝及定期維修

具體成果如下：

(1) 2011年驗證完成先進式壓縮機

(2) 2012年驗證完成7F.05氣渦輪機

(3) 2014年驗證完成9HA.01氣渦輪機

(4) 2015年驗證完成7HA.01氣渦輪機

(5) 2016年驗證完成7HA.02氣渦輪機

(6) 2019年驗證完成9HA.02氣渦輪機

(7) 預計2021年驗證運用在7HA機組上所有技術

奇異公司會持續投資驗證技術的可靠度

7. 電廠的建造、安裝與運轉維護

用於HA型燃氣輪機的燃氣輪機配件是根據'Prime Packaging'的原理設計的。燃氣渦輪機室和相關附屬組件已經模組化，以實現最佳的可施工性，便於安裝和簡化維護保養。模組包括管道，閥門，電子設備，照明，儀錶空氣管路，走道和爬梯。這些模組可以在工作條件和品質俱佳的工廠完整執行製造和組裝。燃氣渦輪機和相關附屬組件的安裝通常是發電廠建廠與試運轉的關鍵要徑。使用模組化安裝可將建造與試運轉部分工期降低至少25%，從而加快試運轉速度並提高電廠投資之回報。同樣，簡化維護保養可減少機組執行維護作業停機影響之發電量，從而增加電廠可用率。這些模組在燃氣渦輪機周圍以構建拼裝的方式在發電廠施工現場堆疊建造。該概念如圖62所示。

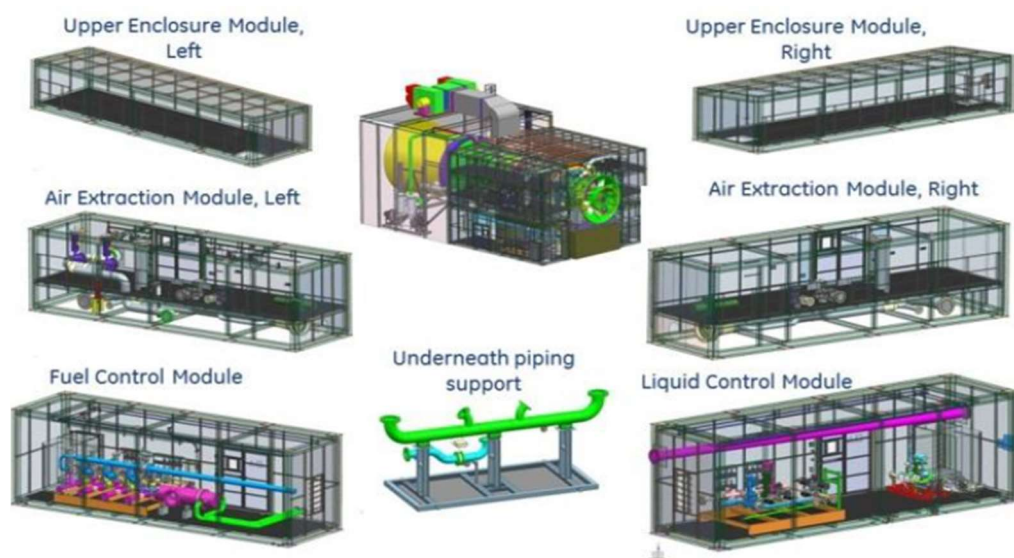


圖62 氣渦輪機與附屬組件模組化

氣渦輪機運轉時造成振動的主要原因與轉子的平衡有關。一般氣渦輪機廠家在出廠前均會測試轉子的平衡及校正，以確保轉子轉動時產生的振動在容許範圍而增加運轉的穩定性；惟在運輸過程中，如發生較大的碰撞或衝擊影響轉子的平衡，則可能會導致氣渦輪機在現場運轉時振動幅度超出容許範圍。

對氣渦輪機轉子而言(圖63)，每個葉輪是獨立的，葉片裝在葉輪上，所有葉輪以一支或多支螺栓串接緊鎖，葉片與葉輪之間有通氣孔以進行冷卻。

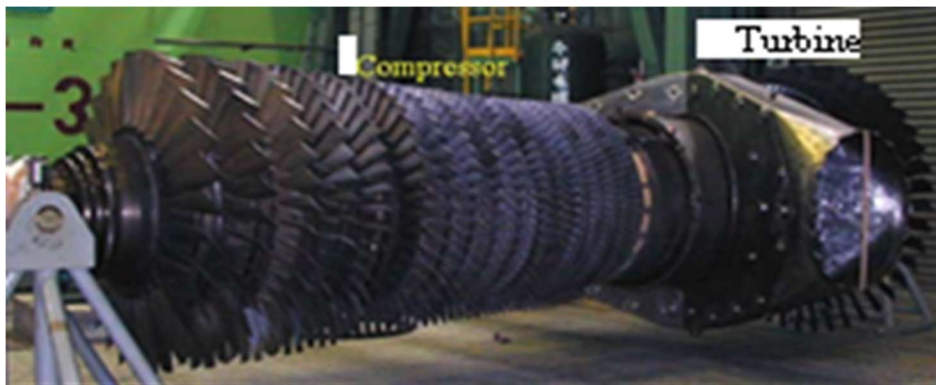


圖 63 數級葉輪串成的氣渦輪機轉子

空氣經由通氣孔冷卻轉軸與葉片，是氣渦輪機轉子的特色。此通氣孔徑大小有別，導致空氣流通量不同。使得轉子在負載初期，因冷卻不均勻而導致轉子膨脹量不同，造成軸彎曲出現一倍頻高振動。此高振動通常持續二個小時以上，慢慢的轉子膨脹量達到飽和，振動值大幅移動後穩定在一個數值(圖64)。

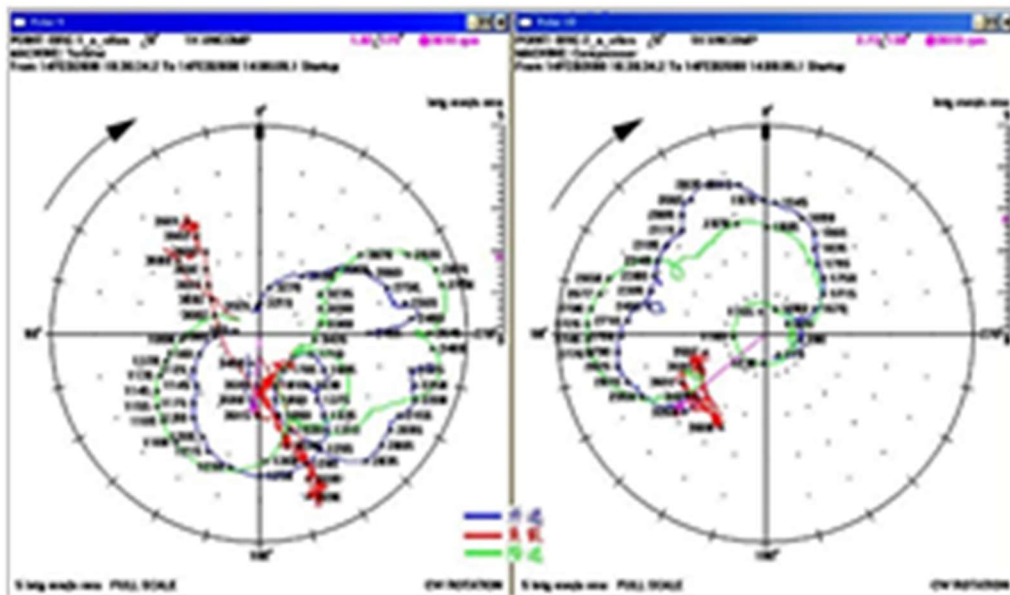


圖 64 氣渦輪機升、降速及負載殼振動 Polar 圖

8. GE 公司 3D 列印中心



圖 65 參訪 3D 列印技術中心

- (1) 3D 列印的作法，其實是源於 GE 的航太部門，但後來發現燃氣發電機更新零件少量多樣的需求，也很適合使用 3D 列印技術。舊有燃氣發電機製造零件的做法是要先開模才能製造，如果打造一個模具只印一兩個零件很不經濟，以 3D 列印來製造燃氣發電機零件速度較快，可較以往早一年交貨、且成本更低，品質也更好。此外，3D 列印可以在同一零件混合不同材料，以前要分成 5 個不同部件來開模，現在一次就可以印出來。
- (2) GE 的 3D 列印技術可應用在形狀複雜的氣渦輪機組預混合器，在燃氣渦輪發動機中，與空氣混合的燃料在燃燒器中燃燒，產生高能燃燒流體。燃燒流體經由通道被引導至渦輪機，其中燃燒流體在空氣動力學上與渦輪機葉片相互作用，從而推動它們。渦輪機可通過軸聯接到壓縮機，使得渦輪機的旋轉葉片驅動壓縮機。通過將燃料更徹底地混合

到供應到燃燒器的壓縮空氣中，可以實現更完全的燃燒反應，從而減少燃料消耗並減少廢氣排放。

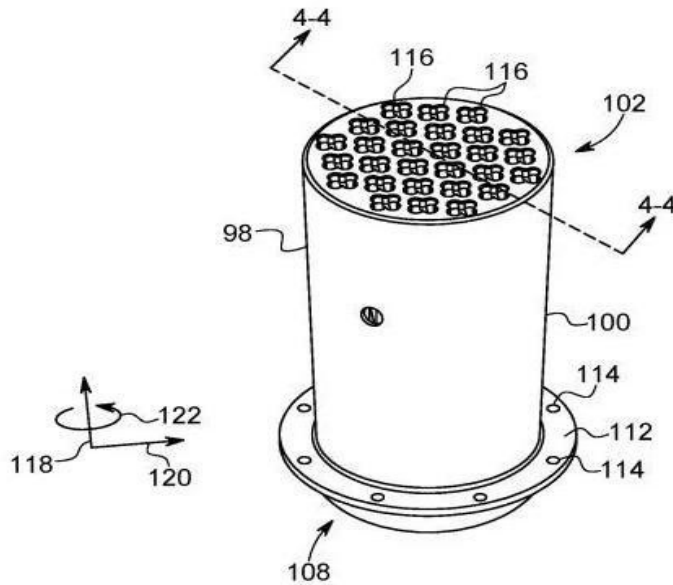


圖66 3D列印預混合器

- (3) 壓縮空氣和燃料通過預混合器的螺旋通道，使燃料 - 空氣混合物可以更徹底地混合。預混合器包括多個流體流動路徑，其中每個流動路徑具有葉狀橫截面，橫截面沿著流動路徑的長度扭轉，在流過流動路徑的流體中引起渦旋運動，從而更徹底地混合燃料和壓縮空氣。而流動路徑的橫截面的尺寸可沿著流動路徑的長度收縮，從而產生錐形流動路徑。

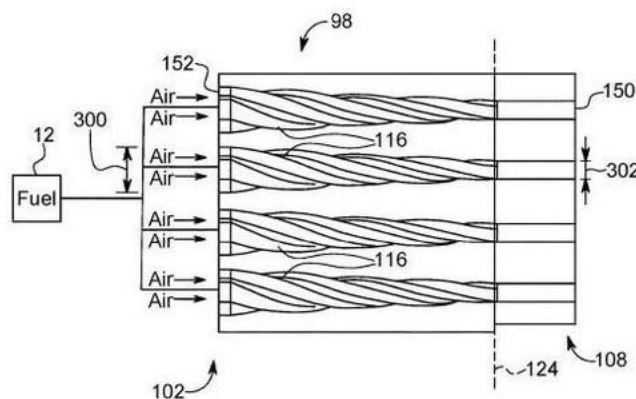


圖67 3D列印預混合器的側面透視圖

- (4) 3D列印技術使得製造複雜形狀的預混合器成為現實，預混合器帶來的旋渦運動有助於使液體燃料與空氣霧化和混

合，使得除了氣體燃料之外還能夠使用液體燃料。並且可以產生噴射穩定的火焰，帶來較低的動態性和較高的火焰穩定裕度，而高出口速度可用於減少或消除火焰回火風險。

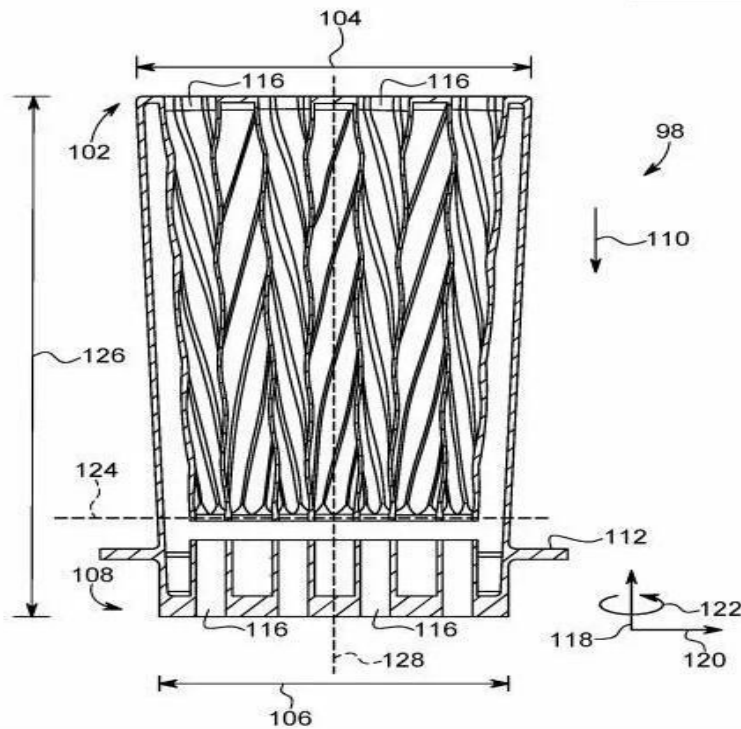


圖 64 3D 列印預混合器的透視圖

(三) 氣渦輪機特色

1. 氣渦輪機主要由空氣壓縮機、燃燒器和渦輪機組成，在參訪完奇異公司及西門子公司所介紹之氣渦輪機，蒐集目前各廠家氣渦輪機的規格經參考型錄後彙整如表 7 所示，壓縮級數可藉以提升效率，理論上提高壓縮機的壓縮比可以增加氣渦輪發電機組整體的效率；然而實際上，壓縮機的運作會因摩擦力等因素產生葉形損耗、二次流損耗、葉片流損耗、葉片尖端間隙損耗導致壓縮機需要更多能量輸入，進而使效率下降，故各家廠家會從氣渦輪機整體的效率作考慮，就壓縮機的壓縮機級數與壓縮比作最佳化設計。以 MHPS 的 J 系列為例，其壓縮機級數與 F 系列的 16 級和 G 系列的 17 級相比雖然減少到 15 級，但壓縮比仍由 F 系列的 16 和 G 系列的 20 提高到 23。

表7 三菱、奇異與西門子之氣渦輪機各自優勢與設計特點比較表

Vendor		MHPS	GE	Siemens
Type		M501JAC	7HA.02	SGT6-9000HL
ISO Base Rating (MW)		425	384	405
Compressor	Number of Stages	15	14	12
	Compression ratio	23	23.1	24
Combustor	Number of Cans	16	12	12
	Cooling Method	Air Cooled	Air Cooled	Air Cooled
Turbine	Number of Stages	4	4	4
Rated Speed		3,600 rpm	3,600 rpm	3,600 rpm
Approx. L × W × H (m)		15.0 × 5.6 × 5.6	9.8 × 4.0 × 4.3	10.8 × 5.0 × 4.3
Approx. Weight (ton)		347	273	305
Efficiency(%, LHV)		44.0	42.6	42.6
Heat Rate (kJ/kWh, LHV)		8,182	8,450	8,451
Exhaust Flow (kg/s)		738	730	725
Exhaust Temperature (°C)		649	650	670
Exhaust Emission	NOx (ppm@15%O ₂)	25	25	25
	CO (ppm@15%O ₂)	9	9	10
Turn Down Load (%)		50	38	30
Ramp Rate (MW/min)		42	60	85
Starting Time (minutes)		< 30	< 30	< 30

2. 各廠家氣渦輪機主要元件特點彙整如下表 8 所示，提高

氣渦輪機進口燃氣溫度可提升效率，取決於材料科學之進步，當前氣渦輪機葉片主要使用阻熱塗層技術(Thermal Barrier Coating, TBC)，將氣渦輪入口燃氣溫度推進到 1500°C 以上；隨著材料科技進步，近年來研發中的陶瓷基複合材料(Ceramic Matrix Composite, CMC)，能使氣渦輪機入口燃氣溫度再向上提升。

表8 三菱、奇異與西門子之氣渦輪機主要元件特點比較表

Vendor	MHPS	GE	Siemens
Type	M501JAC	7HA.02	SGT6-9000HL
Compressor	因應負載變化而需不同進氣量時，可以調整進氣端的導流靜葉片(Vane)及前3段的可調動葉片，同時可藉由低壓、中壓、高壓的洩氣室設計，可減少旋轉失速的發生並維持高性能操作。	當環境溫度變化而必需做氣渦輪機最佳化操作調整時，可控制壓縮機入口的進氣導流葉片(IGV)和3段可變式靜葉片(VSV)，進而控制進氣量。所有葉片均可在現場做更換，簡化維修保養程序是其另一優點。	前1~4段可調葉片可因應負載變化而調整，進而控制進氣量，再搭配軸心的軸向偏移液壓控制，可進一步控制壓縮機葉片及渦輪機葉片端部間隙，加強了負載變化時的操作穩定度。所有葉片均可在現場進行更換而不需吊出轉子，簡化維修保養程序是其另一優點。
Combustor	JAC系列結合傳統空氣冷卻與蒸汽冷卻，研發出「增強空氣冷卻系統」(Enhanced Air Cooling)，冷卻空氣經過冷卻、加壓後，先不直接進入燃燒筒，而是先流動於燃燒室外的襯套，再進入燃燒筒。此方法一方面達到冷卻效果，二方面可預熱冷卻空氣，避免燃氣溫度降低，達到效果如同蒸汽冷卻。	GE長期研發DLN燃燒筒(Dry Low NO _x Combustor)。7HA.02使用DLN-2.6燃燒筒，並搭配AFS系統(Axial Fuel Staged)，可於軸向分階段提供燃料，可有效控制火燄溫度，減少NO _x 生成。	H系列採用美國西屋公司ULN燃燒筒技術。相較於DLN燃燒筒，ULN燃燒筒改良了導管(Pilot)以及旋流器燃料噴射(Swirl Fuel Injection)技術，此技術可加速燃料與空氣的混合，也可增加火焰的穩定性。

Vendor	MHPS	GE	Siemens
Type	M501JAC	7HA.02	SGT6-9000HL
Turbine Vane & Blade	靜葉片與動葉片材質均有進行改良，葉片採用三菱所研發的新一代材料，以適用較高的燃氣溫度及蒸汽冷卻的環境，其中第1~3級葉片，是以定向固化的方式所製成的單晶結構材料，可以承受較高熱應力。	動葉片及靜葉片材質採用單晶材料，配合改良的陶瓷阻熱塗層，可允許機件在運轉時，承受更高的溫度及熱應力，進而提高機組效率。	於第1~3段靜葉片上有阻熱塗層，可允許機件在運轉時，承受更高的溫度及熱應力，進而提高機組效率。

第三章 心得與建議

本次參加 EPRI 研討會及技術參訪，討論議題相當重要且廣泛，綜整提出下列心得與建議事項，以做為本公司推展環境政策、智慧電網、複循環燃氣機組建置與營運，以及相關業務之參考。

壹、未來低碳發展趨勢-電動車

依聯合國跨政府氣候變化專門委員會(IPCC) 2014 年資料顯示：全球溫室氣體排放主要為 76% CO₂(石化及工業、林業及土地使用)。因此，由全球先進國家減碳趨勢顯示，能源業為減碳主要產業，其次為交通運輸業(電動車、火車、飛機、輪船)，其中電動車各國均積極訂定未來 2030~2050 之目標，而電動車是一種移動式儲能系統，其充、放電力將衝擊電網電力供應與供需平衡。以愛爾蘭為例，因應電動車與供熱需求，其 2027 年估算高中低電力需求較 2019 年分別需增加 52%、40%、17%，對其電源開發影響頗鉅。

建議：針對我國電動車政策與發展目標，對於我國電力供應之衝擊與電網之影響，宜密切注意並儘早進行衝擊評估分析與研擬因應對策，並建立電動車電力技術、資通信標準與技術、商業模式等示範場域。

貳、未來低碳發展趨勢-電轉氣(power to gas, P2G)

以國外電業要達到零碳目標，正嘗試以「天然氣+氫氣」可能性之研究與試驗，利用剩餘之潔淨能源分解水而產生氫氣，並混合天然氣與氫氣的比例，提供更潔淨的能源供各項應用，

包括鍋爐、複循環機組及工商、一般用戶使用，同時創造P2X(Power-to-X)的新商業模式。

建議：因應能源轉型 2025 年燃氣機組發電占 50%，可加強有關電轉氣(power to gas, P2G)之前瞻性研究與應用，例如：應用於「天然氣+氫氣」複循環機組，以提升效率並降低各種汙染物排放。

參、推動國際資通訊標準

以全球低碳能源轉型的趨勢來看，電業分散式發電(太陽光電、風力發電、儲能系統與電動車)愈來愈重要，但均會面臨資通訊標準及系統間整合之問題，並涉及法規制度及技術面之議題。其中電動車發展如充電介面接頭標準、充電站與電網連結標準，以及充電戶、充電站與電力公司的連結與互通互運性等問題必須要克服。

建議：公司積極推動國際資通訊標準(如 IEC 61850)，將電動車等設備資訊格式與通訊協定標準化，並建立示範場域與相關技術驗證，以利後續大量再生能源、儲能及電動車併網，可接受監測與控制，並進一步能整合互通與互相操作。

肆、加強國外電業及研究機構交流

全球電業面臨劇烈的能源轉型之轉變，因應轉變所需要的新觀念、技術、市場機制、能源政策方向、法規制度等，已成為全球能源轉型重要的新興研究領域。

建議：公司可積極與國外先進電業電業或研究機構進行交流(例如:EDF、PG&E、EPRI、MIT Energy Initiative)，以吸取國外

能源轉型、去碳化(Decarbonization)與智慧電網之發展，已研究或驗證過之經驗與技術成果。

伍、政策、法規制度面配套措施

能源轉型與製化網發展，除需要創新的技術支持外，也需要政府能源政策與電業監管機關的支持與配合，相關法規制度與標準要與時俱進，並訂定配套措施與產業發展策略(如提供經濟誘因、創新與研發符合國際化標準產品)，提升智慧電網相關產業發展與競爭力，並進軍國際市場。

建議：建議可參考國外先進國家與電業能源轉型與智慧電網相關法規制度與配套措施，研擬適合台灣情境的相關法規制度與標準，以利能源轉型能順利成功，相關產業亦能蓬勃發展與國際化。

陸、燃氣復循環機組性能測試驗證：

目前燃氣復循環機組各設計製造廠家技術不斷提昇，由其淨熱效率值推昇至極致(64.36%)，淨熱耗率值下降許多，廠商除了將氣渦輪機入口燃氣溫度提高(高達 1,650°C)來提高效率，其他周邊輔助系統也輔以最佳化設計，使廠耗降低，增加其競標性，效率評比及驗證其保證值均同為重要。

建議：新燃氣復循環機組性能評比時考慮效率衰退狀況；為確認新機組性能衰退情形，建議投標時廠家需提出熱效率(含校正曲線)及衰退曲線，建造完成調校後由廠家負責運維一定期間(O&M)內，依效試相關規定執行兩次效率試驗，驗證保證值及估算機組長期平均衰減率(至少 10 年)。

柒、評估增加氣渦輪機燃料變動範圍：

台電公司已朝自行興建天然氣接收站，需配合燃料彈性及其多樣化之益處，評估新型氣渦輪機接受天然氣沃貝指數(Wobbe Index)變動範圍加大之運轉、天然氣採購及新燃氣複循環機組採購規範。

建議：研究天然氣沃貝指數變動範圍加大納入新燃氣複循環機組之評比項目，並研究如何驗證廠家新機組沃貝指數變動能力，及對機組效率與熱元件之影響。

捌、燃氣複循環機組系統模組化：

氣渦輪機組於工廠會先依各系統的功能作模組化製造及組裝後，如燃料進料系統、空氣壓縮系統、氣渦輪機本體和外保護殼等，再運送至工地現場將各模組進行組裝，參考廠家之安裝施工工期可縮短10%~25%。

建議：應要求廠家針對氣渦輪機和發電機及其他重要系統含保溫系統均須模組化，俾控制品質，及加速現場安裝，可大幅縮短現場安裝工期，並降低工安風險。

玖、提昇新型氣渦輪機組維護技術：

新型氣渦輪機組均為極高效率的高溫機組，針對冷端/熱端元件的裝機或後續的維護工作，均要求更高的精密度及準確度，以確保運轉效率的維持。

建議：相關裝機及後續維護人員，應由原廠培訓並建立證照制度，以深化國內新型氣渦輪機維護技術，厚植人力的培養，拓展國內外高效能氣渦輪機維護工作的商機。

第四章 研討會議資料

壹、研討會議程



EPRI 2019 Summer Seminar Agenda

August 12-13, 2019

Chicago, Illinois

The integrated energy network is undergoing a rapid transformation enabled by interconnected, “intelligent” technologies that increase carbon reduction, enhance resilience, grow customer choice, and improve grid operation and planning. The 2019 Summer Seminar examines the adoption of the advanced digital technologies that will optimize the evolving integrated energy network, reduce carbon, and chart a pathway to enhance value to customers, utilities, and society.

DAY 1

Session 1: INTELLIGENT TRANSFORMATION

Session 2: ENVISIONING THE FUTURE

Session 3: UNCOVERING NEW PATHWAYS TO LOWER CARBON

Session 4: REDEFINING RESILIENCY

Session 5: DECIPHERING THE DATA BEHIND THE STORY

DAY 2

Session 6: SECURING THE EDGE OF THE GRID

Session 7: SHIFTING THE PARADIGM

Closing: REFLECTIONS ON INTELLIGENT TRANSFORMATION

Day 1

August 12, 2019 - Monday	
WELCOME <ul style="list-style-type: none"> Welcome to Summer Seminar: Mike Howard, President and CEO, EPRI Welcome to Chicago: Anne Pramaggiore, Senior Executive Vice President and CEO, Exelon Utilities 	8:00 – 8:15
<p align="center">SESSION 1: INTELLIGENT TRANSFORMATION</p> <p><i>Advanced digital technologies that were at the periphery of the electric grid only a few years ago are now integral to improving its operation, resilience, and expansion. From generation to end use, the proliferation of "intelligent," grid-enabled technologies is optimizing utility operations, strengthening the grid against new threats, and enhancing the customer experience. Digital technologies can enable cost-effective decarbonization, sector-coupling, integrated energy networks, and consumer engagement. Innovations in digitalization could enable further economy-wide decarbonization.</i></p>	
<ul style="list-style-type: none"> Mike Howard, President and CEO, EPRI 	8:15 – 8:30
<p align="center">SESSION 2: ENVISIONING THE FUTURE</p> <p align="center">Looking Ahead to 2030</p> <p><i>Executives leading companies central to the electric industry's transformation will apply a future-focused lens to help visualize the "intelligent transformation" of the integrated energy network. What are some examples of successful transformation in other industries? What will the digital utility look like in 2030 to 2050? Which technical and regulatory challenges must be addressed to make this vision a reality?</i></p>	
Moderator: Mike Howard , President and CEO, EPRI <ul style="list-style-type: none"> Maria Pope, President and CEO, Portland General Electric Enrico Viale, Head of North America Region, Enel S.p.A. Kevin Payne, President and CEO, Southern California Edison Christoph Frei, Secretary General and CEO, World Energy Council 	8:30 – 9:30
BREAK	
<p align="center">SESSION 3: UNCOVERING NEW PATHWAYS TO LOWER CARBON</p> <p align="center">Accelerating Economy-wide Emission Reductions</p> <p><i>Advances in cleaner energy and energy efficiency have enabled significant carbon emission reductions across the electric sector. Accelerating the transformation to a low-carbon future requires an economy-wide, cross-sector approach. Emerging drivers of a low-carbon future will include more renewable energy, enhanced energy efficiency, and increased electric transportation. How can the electric sector serve as a catalyst in doubling the U.S. economy-wide carbon emission reductions achieved since 2005? Is it possible to achieve 100 percent of energy from renewables or inverter-based resources? What role will the digitally enabled fourth "wave" of energy efficiency play in achieving future carbon reductions? How will industry stakeholders measure the success of this transition to a cleaner energy future?</i></p>	
Moderator: Arshad Mansoor , Senior Vice President, Research and Development, EPRI <p>Part One: The Path to 2030 – Accelerating EV Adoption and Infrastructure Growth</p> Setting the Stage: Jamie Dunckley , Technical Leader, Energy Utilization, EPRI <ul style="list-style-type: none"> Anne Pramaggiore, Senior Executive Vice President and CEO, Exelon Utilities Doran Barnes, CEO, Foothill Transit Phil Jones, Executive Director, Alliance for Transportation Electrification <p>Part Two: Beyond 2030 – Advancing Low-carbon Fuels and Decarbonization</p> Setting the Stage: Neva Espinoza , Director, Generation Research and Development, EPRI <ul style="list-style-type: none"> Stan Connally, Executive Vice President of Operations, Southern Company Maria Korsnick, President and CEO, Nuclear Energy Institute Mike Rutkowski, Senior Vice President, Research and Technology Development, Gas Technology Institute 	10:00 – 12:00
LUNCH	12:00 – 1:15

SESSION 4: REDEFINING RESILIENCY Emerging Technologies Benefiting Customers and the Grid <i>Most people know the importance of preparing for emergencies; the challenge lies in planning for high-impact, low-frequency events. New technologies mean that there are constantly changing opportunities to achieve greater resilience. At the grid level, new technologies, such as sensors, monitors and flow controls, enable system operators to harden and better protect the electric grid. At the distribution and end-use levels, distributed energy resources, energy storage, and communication technologies create an opportunity for a "shared integrated grid" where customers' energy assets become part of a shared solution that can enhance grid reliability and resiliency. Consumers are ultimately the beneficiaries of improvements in energy system resilience and may participate in increasing that resilience through their own grid-edge investments. Achieving increased resilience will require more local, decentralized decisions, following a centralized rule set, to ensure consumers' distributed and advanced energy resources can be used by grid operators in an efficient, cost-effective manner.</i>	
Moderator: Anda Ray , Senior Vice President, External Relations and Technical Resources, EPRI <ul style="list-style-type: none"> • Jerry O'Sullivan, Deputy Chief Executive, Electricity Supply Board • Elliot Mainzer, Administrator and CEO, Bonneville Power Authority • Steve Chriss, Director, Energy Services, Walmart • David Springe, Executive Director of the National Association of State Utility Consumer Advocates (NASUCA) 	1:15 – 2:30
BREAK	
SESSION 5: DECIPHERING THE DATA BEHIND THE STORY Artificial Intelligence and Data Analytics Deliver Value Across the Grid <i>The exponential growth of the power system and energy use data delivered through advanced digital technology integration provides an opportunity to improve operations and better serve customers. Adapting the power system for the future requires transformational change to safely and reliably maintain the trillions of dollars of electric industry assets while continuing to reduce costs. Innovative approaches – such as the use of artificial intelligence, unmanned aerial vehicles, advanced sensors and data analytics – and the collaborative engagement of all energy stakeholders are essential to deciphering the story behind the data and delivering greater customer value.</i>	
Moderator: Andrew Phillips , Vice President, Transmission and Distribution, EPRI Setting the Stage: Drew McGuire , Program Manager, EPRI <ul style="list-style-type: none"> • Steve Sundstrom, Group Vice President, Utility Segment, C3.ai • Brian Hurst, Vice President and Chief Analytics Officer, Exelon Utilities • Joachim Vanzetta, Chair of the Board, ENTSO-e, and Director, System Control, Amprion 	3:00 – 4:00
Close the Day: Andrew Phillips , Vice President, Transmission and Distribution, EPRI	4:00

EPRI – TPC Leadership Meeting (1)

At EPRI Summer Seminar, August 12, 2019

The Burnham Room, Loews Chicago Hotel

Time: 4:15 – 5:00pm, August 12th, 2019

Location: The Burnham Room at Loews Chicago Hotel

- Meet and Greet
- Discuss collaboration between EPRI and TPC in power delivery & utilization areas
 - Integrated grid / Smart Grid
 - Electrification
 - Blockchain and Energy Internet of Thing (EiOT), EPRI UBIG...
 - Innovation Summit and Electrification meetings

- More...
- Future Actions

Participants

Taiwan Power Company	Electric Power Research Institute
Mr. Bin-Li CHUNG President of Taiwan Power Company	Mr. Arshad Mansoor Senior Vice President for R&D
Mr. Teh-Chen SHEN Deputy General Manager of TPRI	Mr. Mark McGranaghan VP, Distribution & Energy Utilization
Mr. Jen-Hao HSUEH Special Assistant to the President	Mr. Andrew Phillips VP, Transmission & Distribution Infrastructure
Mr. Hung-Yi YEN Deputy Director of Peipu Construction Office, DNFPP	Mr. Robert Chapman Vice President for Energy & Environment
	Mr. Tiangan (TG) Lian Sr. Regional Manager China / Taiwan

Day 2

August 13, 2018 - Tuesday	
WELCOME <ul style="list-style-type: none"> • Mike Howard, President and CEO, EPRI 	8:00 – 8:05
SESSION 6: <u>SECURING THE EDGE OF THE GRID</u> Cyber Security for the Future Power System <i>Customer-owned (non-utility), grid-connected distributed energy resources (DER) – such as rooftop solar photovoltaics, electric vehicle charging infrastructure, energy storage, and grid-connected loads – are on the rise. To maximize their potential and effectively mitigate risk, it is important to better understand DER cybersecurity vulnerabilities when setting communication and control strategies. Utilities need increased awareness of changing threats and improved operational visibility of intelligent, online devices including a range of grid equipment, distributed resources, and remotely accessible end-user and customer-connected applications. Protection from ongoing cyber threats requires technical solutions. In addition, the successful configuration and implementation of these solutions require the provision of legal regulations and government policy to address the economic framework conditions, minimum standards, and methods of cross-regional cooperation to establish homogeneous levels of cyber security.</i>	
Moderator: Katie Jereza , Director, External Relations, EPRI Setting the Stage: Matt Wakefield , Director, Information, Communication, and Cyber Security, EPRI <ul style="list-style-type: none"> • Pedro Pizarro, CEO, Southern California Edison • Scott Aaronson, Vice President, Security and Preparedness, Edison Electric Institute and Secretary, Electricity Subsector Coordinating Council • Anjos Nijk, Managing Director, European Network for Cyber Security (ENCS) 	8:05 – 9:20
BREAK	
SESSION 7: <u>SHIFTING THE PARADIGM</u> The Convergence of Regulation, Policy, and Technology Innovation <i>Intelligent transformation and the new technologies that come with it require dynamic thinking regarding the regulations and policies that impact the electric sector. The realities of driving transformation can make changes difficult even when technologies are readily available. Societal goals of providing customers safe, reliable, affordable energy, while individualizing choice and control, are faced with the reality of regional differences in resources, policies, and regulation. How can new technologies and regulation converge to enable consumer choice and lower costs while avoiding a digital divide? What needs to be done to change the paradigm and view solutions through an economy-wide lens?</i>	
Moderator: David Victor , Professor, School of Global Policy and Strategy, University of California, San Diego <ul style="list-style-type: none"> • Barbara Nick, CEO, Dairyland Power Utility • Clara Poletti, Chair of Board of Regulators, Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER) • Daniel Simmons, Assistant Secretary, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy • Brandon Presley, Northern District Commissioner, Mississippi Public Service Commission 	9:50 – 11:05
CLOSING Reflections on Intelligent Transformation	
Moderator: Mike Howard , President and CEO, EPRI <ul style="list-style-type: none"> • Pat Vincent-Collawn, Chairman, President, and CEO, PNM Resources, and Chair, EPRI Board of Directors • Marie-José Nadeau, Honorary Chair, World Energy Council and Chair, EPRI Advisory Council 	11:05 – 11:30
ADJOURN	11:30

EPRI – TPC Leadership Meeting (2)

At EPRI Summer Seminar, August 13, 2019

The Burnham Room, Loews Chicago Hotel

Time: 11:40-12:15 , August 13th, 2019

Location: The Burnham Room at Loews Chicago Hotel

- Meet and Greet
- Discuss collaboration between EPRI and TPC in generation areas
 - Advanced Fossil Plants, CO₂ Capture, Utilization, and Storage
 - Cross Sector Technologies...
 - Operations and Maintenance
 - More...
- Future Actions

Participants

Taiwan Power Company	Electric Power Research Institute
Mr. Bin-Li CHUNG President of Taiwan Power Company	Mr. Tom Alley Vice President for Generation
Mr. Teh-Chen SHEN Deputy General Manager of TPRI	Ms. Neva Espinoza Director, Generation
Mr. Jen-Hao HSUEH Special Assistant to the President	Mr. David Sorrick Director, Generation
Mr. Hung-Yi YEN Deputy Director of Peipu Construction Office, DNFPP	Mr. Tiangan (TG) Lian Sr. Regional Manager China / Taiwan

貳、EPRI 研究之領域及主題



Generation

2019 Research Portfolio

Advanced Fossil Plants, CO2 Capture, Utilization, and Storage

- 66 Fossil Fleet for Tomorrow
- 165 CO2 Capture, Utilization, and Storage

Cross Sector Technologies

- 64 Boiler and Turbine Steam and Cycle Chemistry
- 87 Fossil Materials and Repair
- 185 Water management Technology

Environmental Controls and Combustion Performance

- 71 Combustion and Fuel Quality Impacts
- 75 Integrated Environmental Controls
- 77 Continuous Emissions Monitoring
- 194 Heat Rate Improvement

Major Component Reliability

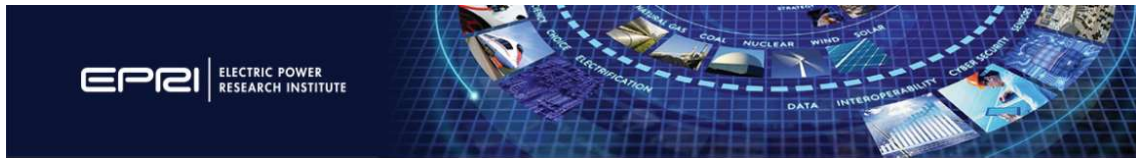
- 63 Boiler Life and Availability Improvement
- 65 Steam Turbines-Generators and Auxiliary Systems
- 79 Combined Cycle Turbomachinery
- 88 Combined Cycle HRSG and Balance of Plant

Operations and Maintenance

- 68 Instrumentation, Controls, and Automation
- 69 Maintenance Management and Technology
- 104 Balance of Plant Systems and Equipment
- 108 Operations Management and Technology

Renewables

- 193 Renewable Generation



Energy and Environment

2019 Research Portfolio

Power Generation

- 49 Coal Combustion Products - Environmental Issues
- 54 Fish Protection
- 55 Water Availability and Ecological Risk
- 195 Endangered and Protected Species
- 196 Water Quality
- 203 Air Quality and Multimedia Characterization, Assessment, and Health

Energy and Environmental Analysis

- 178 Integrated Energy Planning, Market Analysis, and Technology Assessment
- 201 Energy, Environmental, and Climate Policy Analysis

Energy Sustainability

- 198 Strategic Sustainability Science

Environmental Aspects of Renewables and Distributed Energy Resources

- 197 Environmental Aspects of Fueled Distributed Generation and Energy Resources

Environmental Aspects of Transmission and Distribution

- 51 Transmission and Distribution: Environmental Issues
- 60 Electric and Magnetic Fields and Radio-Frequency Health Assessment and Safety

Workforce Health and Safety

- 62 Occupational Health and Safety



Power Delivery & Utilization

2019 Research Portfolio

Distribution

- 174 Integration of Distributed Energy Resources
- 180 Distribution Systems
- 200 Distribution Operations and Planning

Energy Utilization

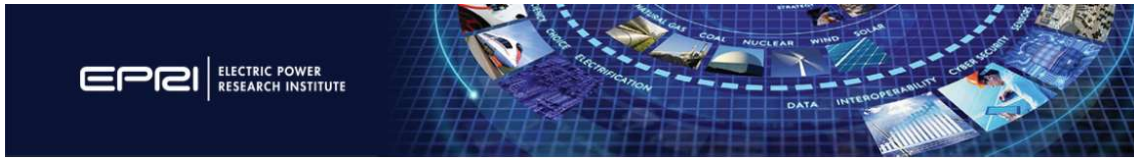
- 1 Power Quality
- 18 Electric Transportation
- 94 Energy Storage and Distributed Generation
- 170 End-Use Energy Efficiency and Demand Response
- 182 Understanding Electric Utility Customers
- 199 Electrification for Customer Productivity
- 204 Advanced Buildings

Information, Communication, and Cyber Security

- 161 Information and Communication Technology
- 183 Cyber Security

Transmission

- 34 Transmission Asset Management Analytics
- 35 Overhead Transmission
- 36 Underground Transmission
- 37 Substations
- 39 Transmission Operations
- 40 Transmission Planning
- 173 Bulk Power System Integration of Variable Generation



Nuclear

2019 Research Portfolio

Materials Management

- 41.01.01 - Primary Systems Corrosion Research Program (PSCR)
- 41.01.02 - Pressurized Water Reactor Steam Generator Management (SGMP)
- 41.01.03 - Boiling Water Reactor Vessel and Internals Program (BWRVIP)
- 41.01.04 - Pressurized Water Reactor Materials Reliability Program (MRP)
- 41.01.05 - Welding and Repair Technology Center (WRTC)
- 41.04.01 - Nondestructive Evaluation Program

Fuels and Chemistry

- 41.02.01 - Fuel Reliability Program
- 41.03.01 - Used Fuel and High-Level Waste Management Program
- 41.09.01 - Radiation Safety Program
- 41.09.03 - Water Chemistry Control Program
- 41.12.01 – Nuclear Fuel Industry Research Program (NFIR)

Plant Performance

- 41.05.01 - Nuclear Maintenance Applications Center
- 41.05.02 - Plant Engineering Program
- 41.05.03 - Instrumentation and Control Program
- 41.07.01 - Risk and Safety Management Program

Strategic Initiatives

- 41.08.01 - Advanced Nuclear Technology Program
- 41.09.02 – Remediation and Decommissioning Technology
- 41.10.01 - Long Term Operations (LTO)
- 41.11.01 - Flexible Operations Program

第五章 参考文献

1. <https://custom.cvent.com/0C2B71276B454075AA018365A85CB80E/files/527bb559fa5b45ae948a319fedda67f3.pdf>
2. <https://oregoncleanenergycenter.com/>
3. <https://oregoncleanenergycenter.com/docs/OCE-Ohios-Most-Efficient-Natural-Gas-Power-Plant-Now-Online.pdf>
4. <https://www.govtech.com/fs/Gas-Fueled-Plants-are-Changing-the-Electricity-Grid-Landscape.html>
5. <https://www.toledoblade.com/Energy/2017/04/04/Natural-gas-plants-rate-high-in-reliability.html>
6. <https://scfuturemakers.com/companies/general-electric-greenville/>
7. https://www.ge.com/power/gas/gas-turbines/7ha-turbine?tr_cp_id=w2Le&tr_a_id=jlBv&tr_pn_id=1Q8W&tr_v_idx=4v&tr_redirect=1
8. https://www.ge.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/product/gas%20turbines/Fact%20Sheet/7ha-fact-sheet-oct15.pdf
9. <https://etn.global/wp-content/uploads/2018/09/ADVANCEMENTS-IN-H-CLASS-GAS-TURBINES-FOR-COMBINED-CYCLE-POWER-PLANTS-FOR-HIGH-EFFICIENCY-ENHANCED-OPERATIONAL-CAPABILITY-AND-BROAD-FUEL-FLEXIBILITY.pdf>