

行政院及所屬各機關因公出國報告書  
(出國報告類別：開會)

參加「美國風力研討及展覽會」、  
「風力大數據及物聯網論壇」暨赴美  
國德州電力可靠度委員會討論再生  
能源相關議題

服務機關： 台灣電力公司電力調度處  
姓名職稱： 徐琨瑋工程師  
派赴國家/地區： 美國  
出國期間： 108.05.18~108.06.02  
報告日期： 108.08.02

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「美國風力研討及展覽會」、「風力大數據及物聯網論壇」暨赴美國德州電力可靠度委員會討論再生能源相關議題  
出國報告

頁數 52 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/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

徐琨璋/台灣電力公司/電力調度處/電機工程師/2366-7418

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 05 月 18 日~108 年 06 月 02 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：108 年 08 月 02 日

關鍵詞：美國風力研討及展覽會、風力大數據及物聯網論壇、美國德州電力可靠度委員會

### 內容摘要：

我國近年推動能源轉型，規劃 2025 年再生能源裝置容量超過 2,700 萬瓩以上，發電占比達到系統 20%，而離岸風電及太陽光電將是重要發展主力。在此一基礎之下，政府規劃 2020 年目標為「示範風場」與「潛力場址」合計設置容量 520MW；另中長期目標為 2025 年合計「潛力場址」與「區塊開發」的設置容量要達成 5,700MW，預計年發電量可達約 215 億度電，年減排碳量約 1,192 萬噸。惟風力發電因風力間歇之問題，如裝置容量持續增加達一定規模後，將對電力系統運轉安全造成衝擊，且風力發電占比最高通常發生在冬季離峰時，在傳統機組併網減少下，系統可靠度可能不足，故需重新檢討及調整現有之系統調度與排程模式與機制，以因應未來之挑戰。為確實訂定適宜策略與機制，需建構完整再生能源發電資料庫，提升發電及負載預測之精確度，進而採購適當之輔助服務容量，以維持系統運轉可靠度。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網

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

# 目 錄

壹、 緣起與目的 .....	1
貳、 出返國行程 .....	4
一、 WINDPOWER 研討暨展覽會 .....	5
二、 風力大數據與物聯網論壇 .....	19
三、 德州可靠度委員會(ERCOT).....	31
參、 心得與建議 .....	44
肆、 致謝.....	50
伍、 參考文獻.....	51

# 圖目錄

圖 1 大會手冊封面.....	8
圖 2 每日展場會議時間表.....	8
圖 3 會場下載公告及手機應用程式.....	9
圖 4 本文作者於會場一隅.....	10
圖 5 展場風機介紹及發電機轉子構造解說.....	11
圖 6 無人機及運輸皮卡.....	11
圖 7 國外專家演講座談會.....	12
圖 8 大數據應用於電力系統之簡報.....	12
圖 9 機械學習於預測系統之介紹.....	13
圖 10 會議討論之研究主題.....	14
圖 11 離岸風場結構示意圖.....	14
圖 12 2018-2030 年離岸風力預測簽約容量.....	15
圖 13 離岸風力供應鏈累計契約資本支出預測.....	16
圖 14 機組及基座數量預測.....	17
圖 15 離岸傳輸組件數量預測.....	17

圖 16 陸域傳輸組件數量預測.....	18
圖 17 會議主持人開場.....	19
圖 18 ERCOT 聯外輸電網路現況.....	33
圖 19 ERCOT 2018 年尖峰紀錄快速簡覽.....	33
圖 20 2014-2018 年度發電度數及尖峰負載需求量.....	34
圖 21 2018 年各種發電能源發電度數.....	36
圖 22 2014-2018 年 ERCOT 風力及太陽能裝置容量成長數據.....	36
圖 23 FWTP 未來新建之輸電線示意圖.....	37
圖 24 ERCOT 參與日前市場輔助服務項目.....	39
圖 25 調頻備轉服務於即時運轉之示意圖.....	40
圖 26 調頻備轉服務(向上)需求量(2018 年 3 月).....	40
圖 27 恢復系統頻率之各級頻率響應.....	41
圖 28 系統慣量對每小時快速反應服務需求之影響.....	42
圖 29 ERCOT 系統慣量之監控畫面及預警提示.....	42
圖 30 2018 年非即時備轉需求量.....	43

# 表 目 錄

表 1 出國行程.....	5
表 2 WINDPOWER 研討及展覽會 4 大區塊說明.....	7
表 3 離岸離力供應鏈累計契約資本支出預測表.....	15
表 4 2030 年組件需求量預測表.....	16

## 壹、緣起與目的

我國近年推動能源轉型，規劃 2025 年再生能源裝置容量超過 2,700 萬瓩以上，發電占比達到系統 20%，而離岸風電及太陽光電將是重要發展主力。台灣風力發展趨勢，除原有陸域風機規劃外，2017 年已完成「示範獎勵」的 2 架示範機組，裝置容量共計 8MW。在此一基礎之下，政府規劃 2020 年目標為「示範風場」與「潛力場址」合計設置容量 520MW；另中長期目標為 2025 年合計「潛力場址」與「區塊開發」的設置容量要達成 5,700MW，預計年發電量可達約 215 億度電，年減排碳量約 1,192 萬噸。惟風力發電因風力間歇之問題，如裝置容量持續增加達一定規模後，將對電力系統運轉安全造成衝擊，且風力發電占比最高通常發生在冬季離峰時，在傳統機組併網減少下，系統可靠度可能不足，故需重新檢討及調整現有之系統調度與排程模式與機制，以因應未來之挑戰。為確實訂定適宜策略與機制，需建構完整再生能源發電資料庫，提升發電及負載預測之精確度，進而採購適當之輔助服務容量，以維持系統運轉可靠度。

根據統計全球風力發電裝置容量於 2018 年已達到 600GW，且光是 2018 年度就增加 53.9GW，未來隨著歐洲、印度和離岸風電不

斷達成新綠能里程碑，持續以此趨勢快速成長，估測全球將於 2022 年風力發電總裝置容量將突破 840GW。美國為全球再生能源規模第二大之國家，其中風力發電之裝置容量有望於 2019 年成為第二個突破 100GW 之國家，對於大量再生能源併網、發電數據統計分析及預測演算法精進皆有大量相關領域之研究與探討。因此，本次計畫將參加「風力研討暨展覽會」(AWEA -WINDPOWER 2019 Conference & Exposition)，該會議內容包含大量再生能源併網、再生能源系統運轉策略、風力市場預測及系統安全分析等議題；另「風力大數據及物聯網論壇」(Wind Power Big Data and IoT Forum)，將聚焦於藉由大數據分析提升系統安全性及可靠度、改善操作流程及效益以及資料分享和通訊協定等議題，並探討實際案例。由於兩會議與會之專家學者來自全美各地之電力及資訊專業領域，將有利於同仁交流學習。

本次計畫亦規劃拜訪的德州電力可靠度委員會 (Electric Reliability Council of Texas, ERCOT) 為該州的最大的電網營運商，且其為一獨立電網，僅有少數幾條直流輸電線與外連結，與台灣系統情況相似。依據統計德州於 2018 年持續稱霸全美風力發電市場，再生能源貢獻了德州約 1/3 的電力(風力貢獻約為 17%)，且比較其他州之投資額及返回率，德州僅花費約 42 億美元就獲得了近 23.3GW 之

發電量，此返回率高於印第安那州 10 倍之多，故其運轉策略及機制設計值得台灣去探討及學習。

## 貳、 出返國行程

出國行程如表 1 所示，本次出國行程 5 月 20 日至 5 月 23 日於美國休士頓參加 2019 年 WINDPOWER 研討暨展覽會 (AWEA-WINDPOWER 2019 Conference & Exposition)，於會場上透過與廠商交流，了解目前風力產業趨勢與目前最新的綠能資訊管理系統及分析軟體，以及聽取到公用事業及學界專家分享之演講，得到各個不同面向之論點。5 月 24 至 5 月 27 日前往奧斯丁拜訪德州可靠度委員會(ERCOT)的黃舜賢博士，因為 ERCOT 已經是再生能源高占比之系統，且其亦運轉整個德州系統，故藉由請教黃博士了解如何在再生能源占比由低至高的過程中，各個階段該做什麼樣的調整，才能使系統穩定且安全的運轉。5 月 28 至 5 月 29 日回到休士頓參加第七屆風力大數據及物聯網論壇(7<sup>th</sup> Wind Power Big Data and IoT Forum)，本論壇參與人員一樣有產業、公用事業及學界人員，但因為是小型論壇會議，所以討論非常深度，也藉由聽取報告及會後交流，了解該如何運用這些大量再生能源數據，穩定地運轉系統、降低自己的成本以及對未來的目標訂定。最後於 108 年 06 月 01 日搭機返國，結束此次 14 日行程。

表 1 出國行程

日期	起訖地點	行程
108.05.18	台北→休士頓	往程
108.05.20~108.05.23	美國 休士頓	1. 參加「美國風力研討暨展覽會」 2. 往程(休士頓→奧斯丁)
108.05.24~108.05.27	美國 奧斯丁	1. 參訪德州可靠度委員會(ERCOT) 2. 往程(奧斯丁→休士頓)
108.05.28~108.05.29	美國 休士頓	風力大數據及物聯網論壇
108.05.30~108.05.31	美國 休士頓	自費於休士頓順道觀光
108.06.01~108.06.02	休士頓→台北	返程

## 一、 WINDPOWER 研討暨展覽會

WINDPOWER 研討暨展覽會(WINDPOWER Conference & Exhibition)是全世界最大的年度風力研討會及展覽會，由美國風能協會(American Wind Energy Association, AWEA)所主辦。美國風能協會為負責美國風力工業之全球貿易協會，該協會成立於西元 1974 年，總部位於美國華盛頓地區，主要代表風電項目開發商、設備供應商、服務提供商、零部件製造商、公用事業、研究人員和其他參與風能行業的人士。此協會擁有數千名風電行業和風能政策提倡之組織，並持續地通過宣傳溝通和教育促進風電增長，期望帶給美國及全球用戶乾淨的能源。

WINDPOWER 是風能經營管理者的年度盛會，近年每年之參與者來自美國 50 個州及 50 個以上的國家，參展公司超過 440 家，展

覽會場蒞臨人數超過 7,600 人。另外，每年參展廠商有 37% 是經營 10 年以上的公司，令人意外的是更有將近 18% 的新創公司參加，廠商分布非常多元。多年來 WINDPOWER 的會議與展覽已經快速增長且發展至可滿足商業需求，並且固定每年舉辦三天之展覽。WINDPOWER 為參展的廠商及觀展的人員提供了寶貴的機會，他們可以藉由此會議與數千人建立聯繫，並且從中得取最新的產品資訊及完整的技術服務，如此可加快他們的業務前進發展。截至目前，WINDPOWER 仍然是西半球最大的風能貿易展。

本次 2019 年 WINDPOWER 之研討及展覽會於 2019 年 5 月 20 日至 23 日在美國休士頓(Houston) 喬治布朗會議中心(George R. Brown Convention Center)舉辦，展覽會場內展示最新的風能技術、大小型組配件、資料整合平台與介面以及行業趨勢等，並且於會場發表年度風能技術發展和可再生能源政策發展之介紹。會場主要分為 4 大部分：研討會議(Committee Meeting & Conference)、展覽(Exhibition)、教育計畫(Education Program)及聯誼活動/餐敘(Networking)，如表 1 所示。依據報名資格的不同，可以參加的項目亦有所限制。

表 2 WINDPOWER 研討及展覽會 4 大區塊說明

區塊	內容
研討會議	包含結構與建築、運輸與物流、公用事業、操作與控制、組件及子系統、機組製造、運轉與維護、發展計劃、零件供應、資料整合系統(包含預測...等)及顧問等 10 個主題。
展覽	超過 400 家公司，展示多元化的產品及服務，並提供參與者、參展廠商或公營事業面對面之商業媒合機會。
教育計畫	提供參與者教育計畫有下列 5 個區域 <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pre-Conference Seminars</li> <li>● Sessions</li> <li>● Stand-Alone Presentations</li> <li>● Poster Sessions</li> <li>● AWEA Booth Presentations</li> </ul>
聯誼活動/餐敘	提供參與者交誼之平台，包括： <ul style="list-style-type: none"> <li>● Annual WINDPOWER Golf Toumament</li> <li>● Opening Reception</li> <li>● Yoga Meet-Up</li> <li>● Open Evening for Corporate Events</li> <li>● Tuesday Evening Meet-Up</li> <li>● Run Like the Wind-Fun Run</li> <li>● Wednesday Evening Meet-UP</li> </ul>

另外，主辦單位除了印製大會手冊提供與會人員，會場亦提供手機應用程式供下載，內容包含演講主題、每日時間表、展場資訊等等，也可輕鬆地將想參加的研討會議先行標註，針對商業媒合也只需掃描 QR 碼，非常快速及便利。(如圖 1、圖 3)



圖 1 大會手冊封面

## EDUCATION PROGRAM SCHEDULE WIND+ Powering the Future. Together.

Monday, May 20					
<b>AWEA Pre-Conference Seminars</b> <i>(Additional registration required)</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>1:00 pm - 5:00 pm - Wind 101: Introduction to Wind Energy</li> <li>1:00 pm - 5:00 pm - The Growing Offshore Wind Industry: Supply Chain Projections and Opportunities Through 2030</li> <li>1:00 pm - 4:30 pm - Learning on the Road: EDF Renewable Energy Trading Floor</li> </ul>					
<b>WINDPOWER Opening Reception</b> 5:00 pm - 7:00 pm   Discovery Green <i>Sponsored by BP</i>					
Tuesday, May 21					
<b>Exhibit Hall Open</b> 9:00 am - 6:00 pm					
<b>Welcome General Session: Powering the Future Together</b> 11:00 am - 12:30 pm   Power Station, Hall A <i>Sponsored by Siemens Gamesa Renewable Energy</i> <b>LIVE</b> at Power Station and broadcasted to AWEA Booth & all other stations					
Power Station <i>Powered by Siemens Gamesa Renewable Energy</i>	Collaboration Station <i>Powered by UL</i>	Tech Innovation Station <i>Powered by GE Renewable Energy</i>	Thought Leader Theater <i>Powered by Mortenson</i>	Fast Track <i>Powered by Utopus Insights</i>	AWEA Booth Presentations <i>(Booth #2403)</i>
1:00 pm - 2:15 pm U.S. Wind Outlook: Where, When, and How Much?	1:00 pm - 2:15 pm A Shared Future: Electrification and Renewable Energy	1:00 pm - 2:15 pm Innovating Offshore Wind Technology Leveraging Existing Offshore Energy Advances	1:00 pm - 2:00 pm Executive Panel on Public Acceptance: Confronting the Reality on the Ground	1:15 pm - 1:40 pm Reconstructing Data Across Met Towers to Improve Wind Energy Production Estimates	
				1:45 pm - 2:10 pm Accessing Africa	2:00 pm - 2:25 pm Keeping Up-To-Date About Trends in Industry News

Program schedule is subject to change. See the AWEA Events app for committee meetings, detailed session descriptions, speaker bios, and more.

3

圖 2 每日展場會議時間表

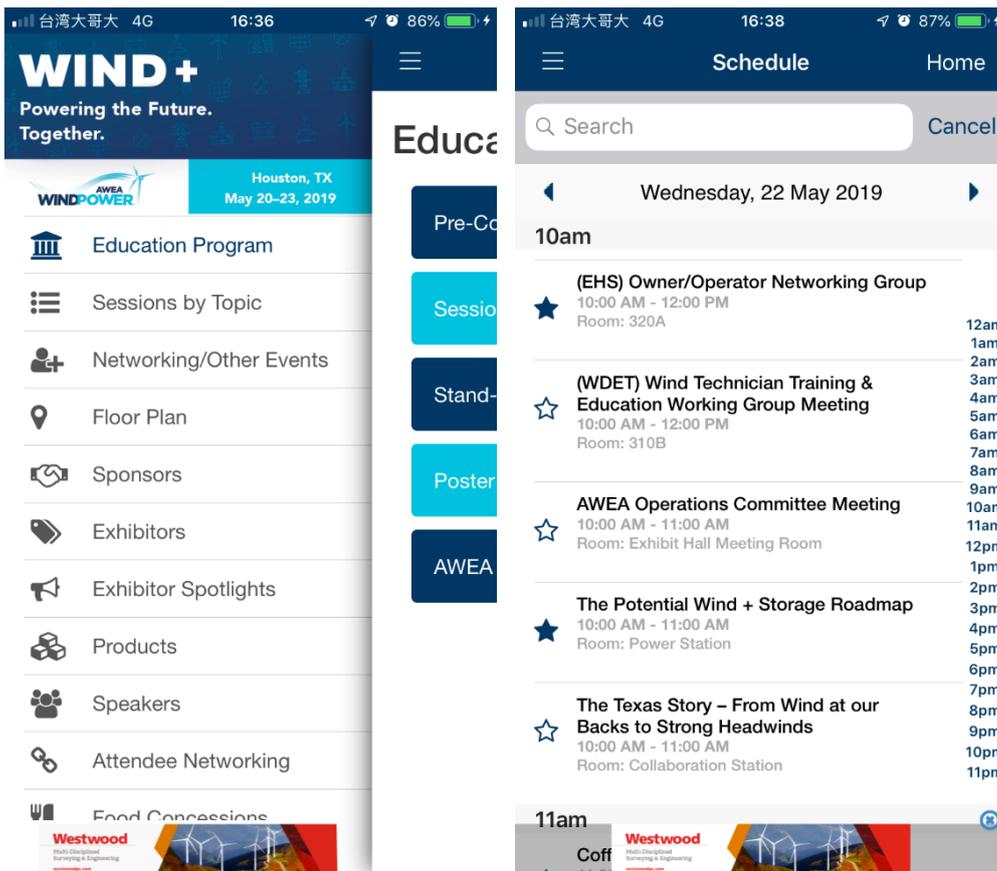


圖 3 會場下載公告及手機應用程式

本次出國計畫主要目的為學習大量再生能源加入系統之機制訂定及操作經驗，故於事前行程安排時，再生能源整合系統、預測系統、離岸風力發電、運轉與維護、策略及機制之演講議題為首選。另外，展覽會場上如介紹所述不管是小型組裝及維修組件、無人機或是大型馬達、風機葉片及運輸車輛，以及本次期望瞭解之數據資訊整合平台...等，展場商品包羅萬象一應俱全，許多知名國際大廠皆有參展，廠商也十分熱心地講解，希望促成彼此之商業行為。



圖 4 本文作者於會場一隅



圖 5 展場風機介紹及發電機轉子構造解說



圖 6 無人機及運輸皮卡



圖 7 國外專家演講座談會

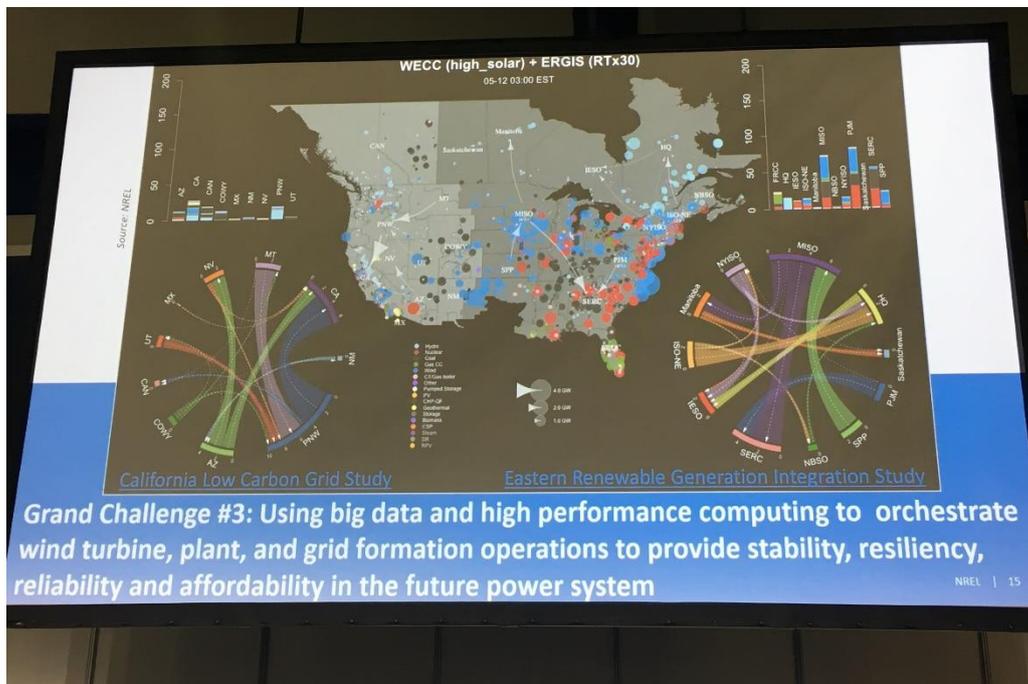


圖 8 大數據應用於電力系統之簡報

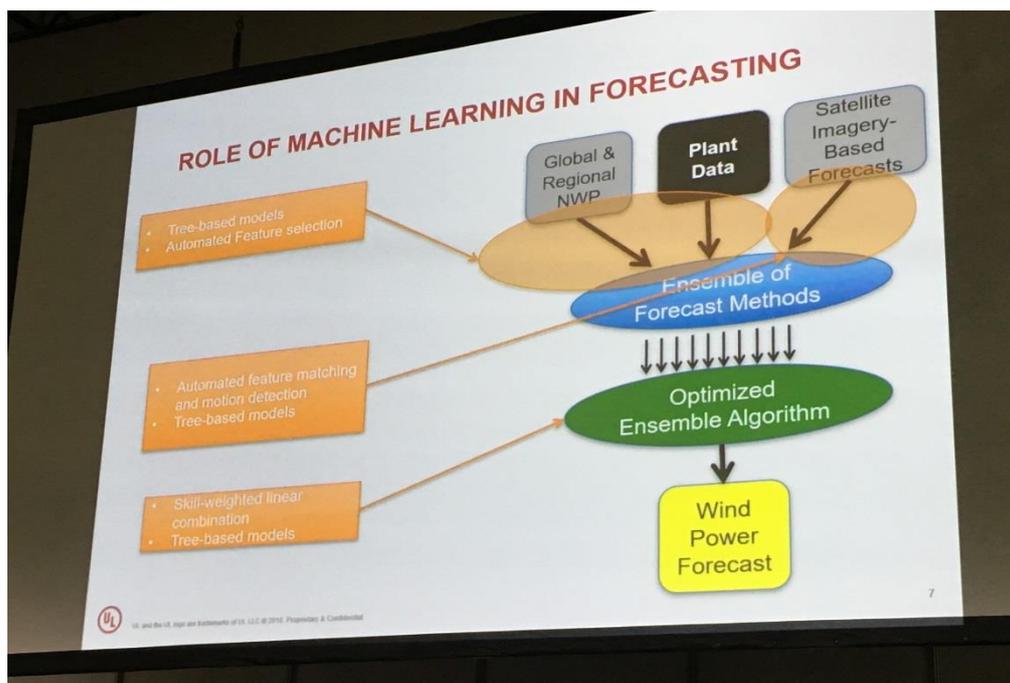


圖 9 機械學習於預測系統之介紹

台灣預計在 2025 年離岸式風力裝置容量將達到 5.5GW，如果能了解國外目前針對離岸風力做了哪些努力以及持續精進之事項，必可鑑往知來地使未來走向正確的方向；此次，於事先報名參加會前研討會-成長的離岸風力產業：放眼 2030 年前供應鏈之目標及機會(The Growing Offshore Wind Industry: Supply Chain Projections and Opportunities Through 2030)，藉由在供應鏈之議題討論上，了解台灣建置離岸風力發電之前、中、後階段可能面臨之問題以及台灣產業之商業機會。

會議初始討論主題聚焦於放眼至未來 2030 年前離岸風力之發展與佈局，以及美國供應鏈產業之商業機會(如圖 10)，分別以下列

幾個方向陳述：

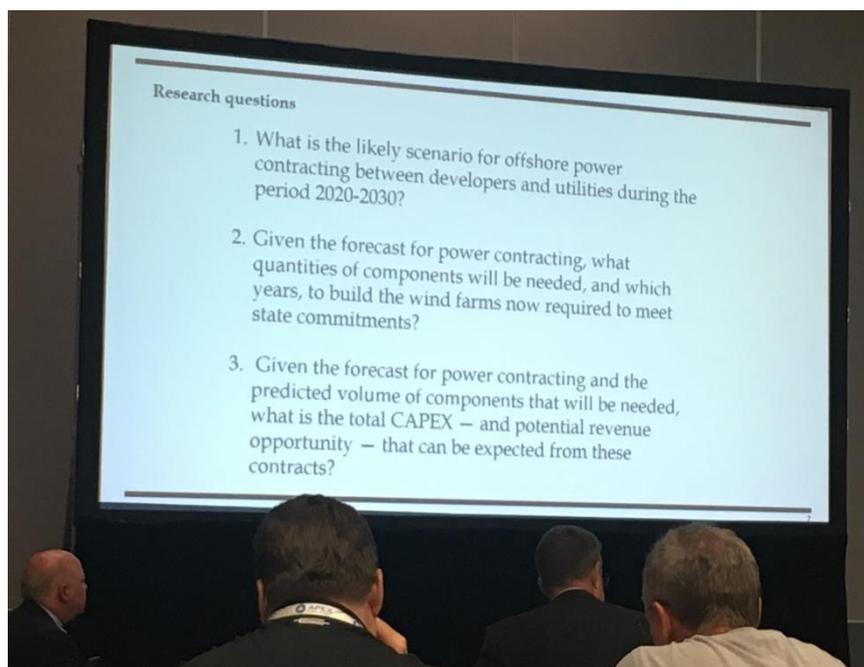


圖 10 會議討論之研究主題

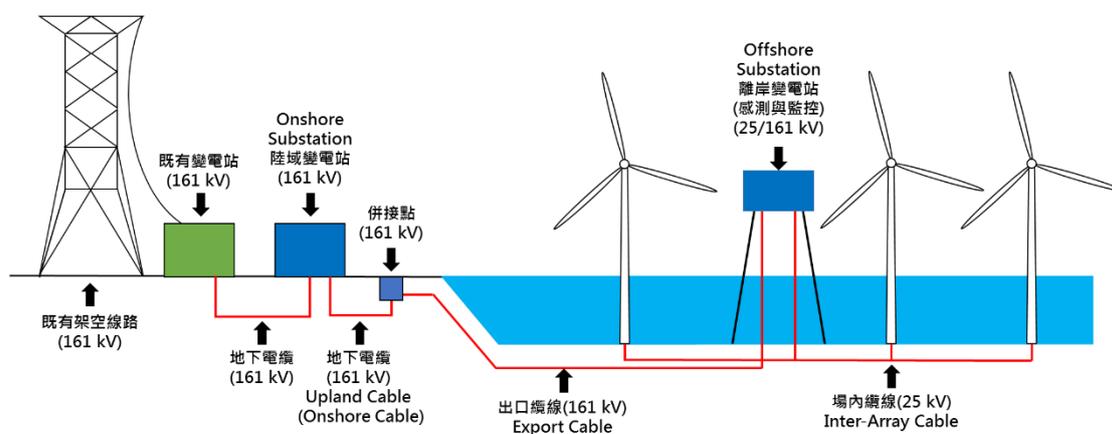


圖 11 離岸風場結構示意圖

- 離岸風力至 2030 年之簽約預測：(以商業視角)

估計至 2030 年各州離岸風力委託裝置容量預估將擴大至 18.6GW(圖 12)，並且有將近 700 億美元(682 億)投入風力市場(表 3)，主要需求之土木及工業組件如

表 4 所示。

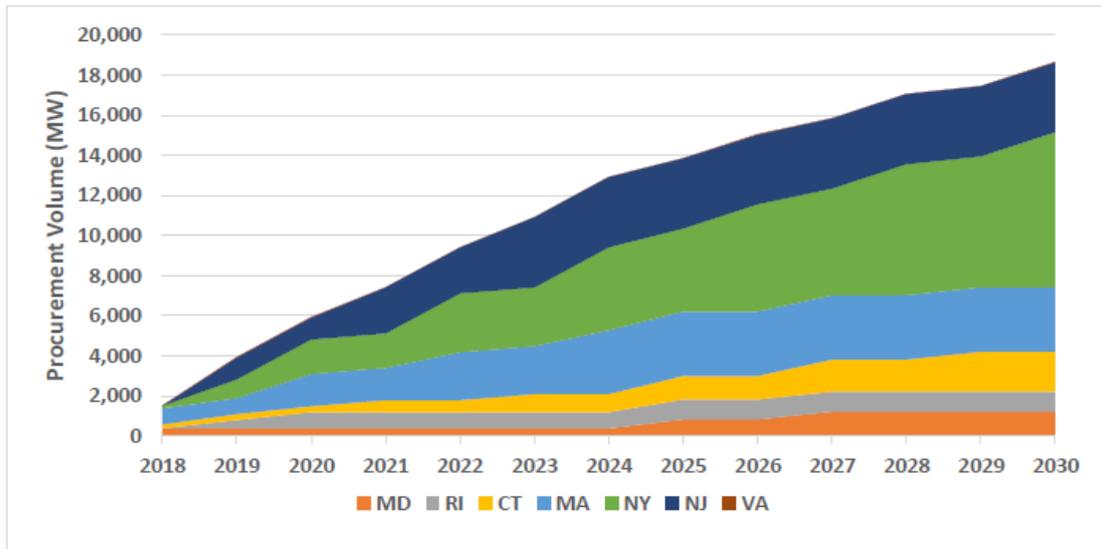


圖 12 2018-2030 年離岸風力預測簽約容量

表 3 離岸離力供應鏈累計契約資本支出預測表

	Capital Expenditure (Billion USD)
More than 1,700 offshore wind turbine & tower	29.6
More than 1,750 offshore turbine & substation foundations	16.2
More than 8,000 kilometers of upland, export & array cables)	10.3
More than 60 onshore & offshore substations	6.8
Marine support, insurance & project management	5.3
Total by 2030	68.2

表 4 2030 年組件需求量預測表

	Estimated Quantities
Onshore substations	17
Upland Cable (km)	457-512
Export Cable (km)	3,496-3,771
Array Cable (km)	3,883-4,535
Offshore Substation (count)	46
WTGs (count)	1,713
Foundations (WTG and OSS)	1,759

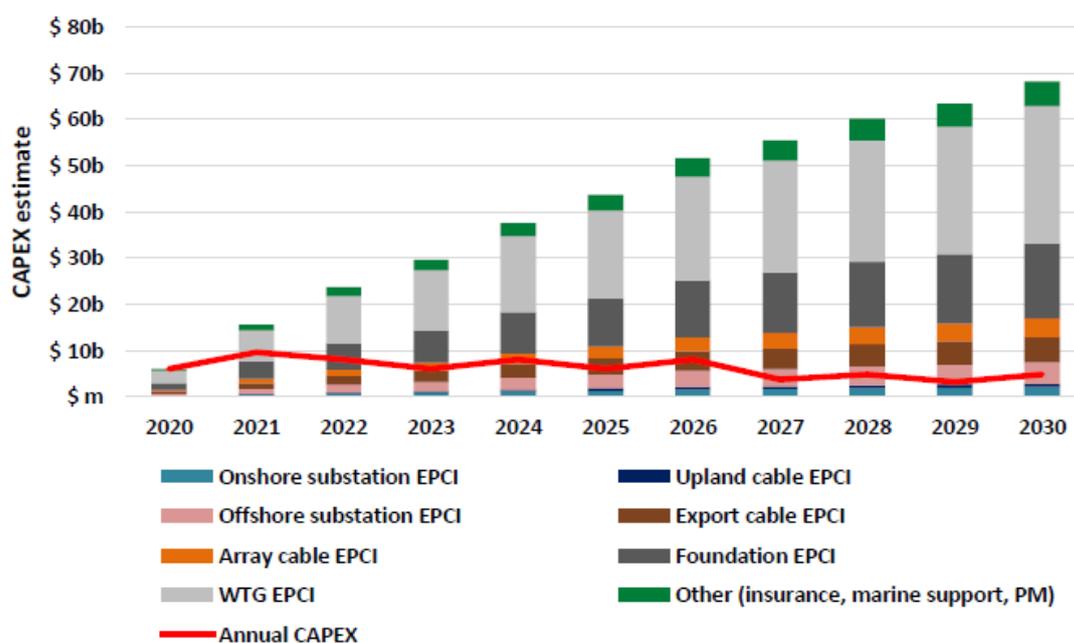


圖 13 離岸風力供應鏈累計契約資本支出預測

- 風力發電機及基座(WTGs & Foundations)

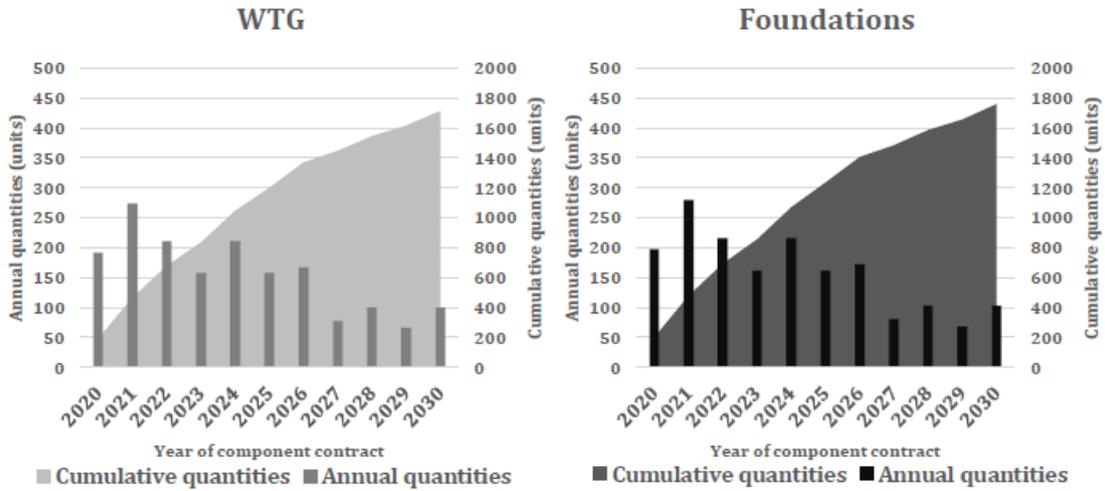


圖 14 機組及基座數量預測

- 離岸(Offshore)：變電站和電纜(Substations & Cables)

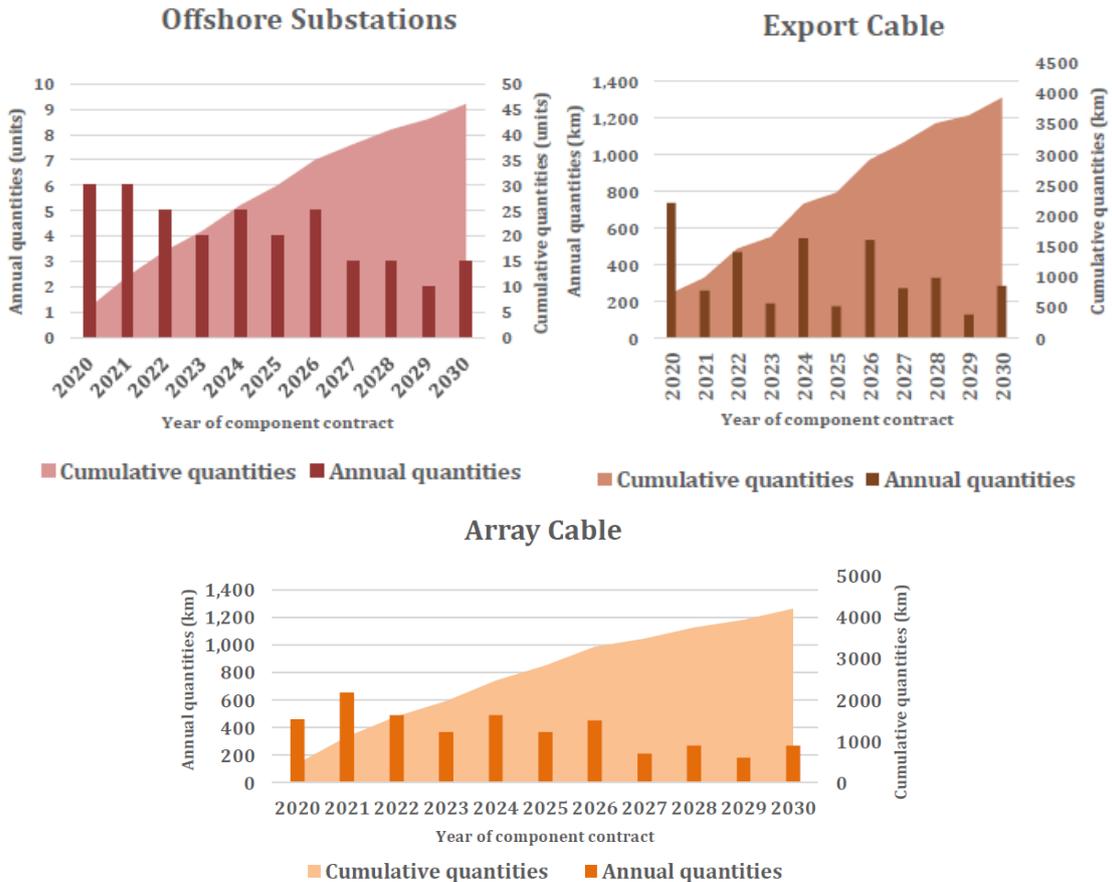


圖 15 離岸傳輸組件數量預測

● 陸域(Onshore)：變電站和電纜(Substations & Cables)

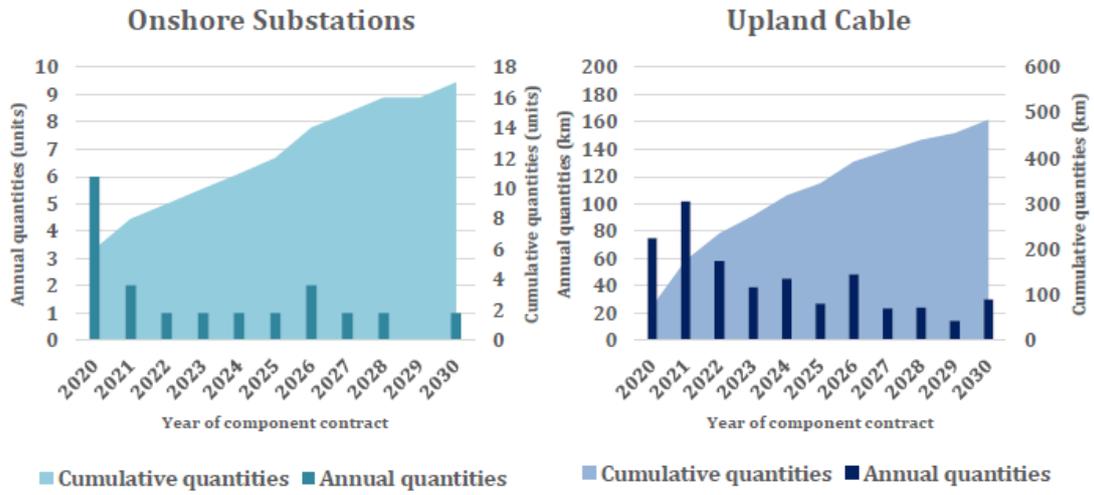


圖 16 陸域傳輸組件數量預測

## 二、 風力大數據與物聯網論壇

第七屆風力大數據與物聯網論壇會議係由 BIS GROUP 主辦，於美國時間 2019 年 5 月 28 及 29 日兩日，在休士頓威斯汀佳樂利亞飯店舉辦。



圖 17 會議主持人開場

此會議論壇非常適合領導階層、管理階層、規劃部門及工程師等參加，因為此次除邀請大數據、物聯網及再生能源整合平台領域之專家學者外，並且邀請了許多公司之決策者與會。如此，會議上可聽到規劃者與工程師分享專業技術及機制訂定外，也可聽到專案管理人及公司決策者在營運過去、現在及未來所遇到或可能遇到之問題。

會議期間各家公司(如 GE、SIEMENS、DNV GL、POWER FACTOR...等)分別簡報自家產品之介面、應用及案例分享等，主要內容整理詳列如下：

## (一) 再生能源與傳統機組之比較

隨著再生能源發展越來越蓬勃，於系統上的占比也越來越高對系統衝擊亦日漸增加，再生能源與傳統電廠之間有很大的差異。

### 1. 傳統火力電廠之優勢：

- 能量密度高，裝置容量偏大，系統慣量主要提供者
- 電廠為廠內設置不受天候影響，故發電出力穩定
- 燃料供給穩定，可接受指令自動調節或大幅度升降載，為系統主要輔助服務提供者

### 2. 傳統火力電廠之缺點：

- 非自產能源，對進口能源依賴性高，燃料供給容易受颱風影響
- 發電依靠化石燃料且需長距離輸送，整體碳排放量較高
- 環保意識抬頭，尋找新址較過去困難，目前普遍於原址重建，新機組容量較大，可能遭遇出口輸電線容量無法承受

### 3. 再生能源發電之優勢：

- 屬自產能源，其開發可減少對進口能源之依賴，節約外匯

- 屬無碳能源，係抑低溫室氣體效應的主要利器之一
  - 屬免用燃料之電源，不受燃料價格上漲的影響，故發電成本穩定
  - 屬分散式電源，可就近供電減少輸電設備投資及輸電損失
4. 再生能源發電之缺點：
- 能量密度低，裝置容量偏小，與火力電源比較，單位建造成本高，期初投資較大
  - 整體裝置容量偏小或非旋轉電機，對於系統慣量提供少
  - 受天候影響，發電出力不穩定，增加調度作業負擔，以致其開發總容量占獨立系統容量之比例受到限制，俾確保系統之供電品質與安全
  - 某些再生能源開發可能對環境生態有負面影響或疑慮，如風力之噪音等

綜上所述，再生能源之魅力在於燃料，但其發電不確定性之缺陷也在於燃料，惟現今科技日漸發達，數位化傳輸已然為日常生活一部分，全世界大數據資料儲存、交換與應用也已普及化，而我們亦身處於物聯網的世界裡，所以相信藉由現在科技來輔助再生能源，將能逐步地減緩再生能源變動對於系統之衝擊。

## (二) 再生能源整合型系統

全世界再生能源發電於系統占比不斷攀升，各個國家逐漸新建大量再生能源以減緩全球暖化及因應能源缺乏。風力與太陽能為目前推廣最多且最快速增長之再生能源，惟此兩項皆會因天候影響而變化，無法獲取穩定之發電量。另外，再生能源裝置容量偏小，為符合再生能源資產擁有者之經濟利益，開發一個再生能源案場，通常以總裝置容量 50 MW 以上作為規劃目標，因此再生能源機組數量將非常多。惟運轉電力系統需掌握每部再生能源機組之狀態、出力及其他所需資訊，得以事先安排系統事故後之因應方案。

隨著再生能源的加入越來越多，許多原本為人工處理之業務，已漸漸地不堪負荷，就算增編人力也無法解決大量資料之問題，如果將資料單純的儲存以及圖形化，係無法有效地了解再生能源之變化，另外像是設備檢修、故障、解聯或發電驟降等問題，亦無法立即地掌握；因此後端業務處理必須額外花許多時間去釐清此現象，導致支出許多額外人力成本。故當世界各國發展再生能源至一定占比後，必將發展一套再生能源管理系統，通常具備之模組統整如下：

### 1. 再生能源運轉估測：

再生能源管理系統，需根據運轉中風場實際產出之數據，制定一套複雜且完善之方法針對提供再生能源評估。經過

分析比較後，使用實際運轉資料將比單獨使用標準預結構法，能更準確地估計長期能源發電情形。下述為採用實際運轉資料所產生之項目。

- 再生能源運轉生產報告
- 動力更新能源生產報告
- 發電損失生產報告
- 運轉能源評估組合
- 評量基準組合
- 效益分析組合

## 2. 電廠圖形化服務：

風力與太陽能發電案場每日產生大量的數據，如果使用得宜將可為潛在的運轉績效改善提供重要的見解，而電廠的運轉者受益於先進的測量及性能監控，才能去識別風場中不可預期之發展與行為。另外，每個再生能源管理系統都應該有屬於自己獨立的角度去提供下述之定期性能報告。

- 月度績效報告
- 電廠診斷及最佳化報告
- 自定義風力異常指數

### 3. 機組圖形化服務：

運轉與維護成本可能因為衰退的風機組件(如齒輪箱、葉片等)而增加。安裝於每台機組之 SCADA 系統，包含各種機組參數和系統遇到的錯誤訊息。藉由對歷史的 SCADA 數據進行資料探勘，可為我們提供一個可靠的方法去監視機組性能及驗證形態或預測是否錯誤，而這些數據對於了解電廠績效、管理運轉電廠之期望、識別機會進行性能最佳化以及節省時間和金錢是非常重要的關鍵。反饋資料項目大致如下。

- 發電及差異報告
- 事件簿分析報告
- 性能診斷及最佳化報告
- 方法諮詢
- 雷達服務

### 4. 檢查：

為確保再生能源於其生命週期內能夠安全且高效的運轉，再生能源之開發商、資產擁有者或投資者，須對於風機及其組件設計一套獨立檢查技術，讓整體管理計劃能夠安全、可靠及利益並存，以實現風場長期營運之目標。檢查項目

及辦理業務統整如下。

- 認證(IAS, ISO17020)
- 工廠 / 港口 / 運輸
- 風場(生命週期之任何階段)
- 製造 / 試運轉
- 保固結束
- 生命週期結束
- 根本原因分析及損壞估測

#### 5. 壽命延長服務(Lifetime Extension Services, LTEs)：

延長風機的運轉年限等同於增加收入，這在已建置之風力裝置市場顯得非常重要。但是，延長運轉年限亦包含潛在的挑戰，像是可能導致更高的運轉與維護成本及增加結構損壞的風險；考慮到相應的安全風險，這些更像是與額外的成本有關聯。風力電場最大限度之壽命延長相關規畫及議題統整如下，。

- 剩餘使用壽命(Remaining Useful Life, RUL)
- 超出設計年限之營運支出及資本支出預測
- 分析許可證及管理框架
- 延長壽命之營運策略

- 負載模擬
- 組件評估

### (三) 再生能源電網解決方案

#### 1. 能源整合預測：

當越來越多的再生能源電網併聯計畫被開發，電力公司及電網營運商開始意識到準確及即時的再生能源發電預測之需求。而專家們也了解必須開始對再生能源的變動性如何影響電網的可靠度、成本及運轉進行長期分析模擬。而這些模擬及預測是針對每個風力和太陽能資源量身訂做的，不會僅是控制聚合型區域預測。

#### 2. 電網維護及規劃

國外的營運團隊了解集中式和分散式再生能源對電網帶來的衝擊，以及經濟與可靠運轉之重要性，而他們於電網整合研究、定制工具開發及數據彙集扮演著重要的角色，並支持它們順利運行。透過模擬風力及太陽能資源數據，它們可幫助規劃者、公用事業專家、聚合商及能源服務提供者等管理和減緩變動性，當然也包含儲能設備。

國外通常將特定地點之再生能源發電文件，產生由秒至年時間規模之合成的數據資料，而這些資料具有季節性和晝

夜性發電模式、出力爬升行為及資源變動等關鍵特性。另外，這些技術具有彈性，可以產生歷史或未來時間周期之發電及再生能源資源文件，提供給廣泛的客戶需求。整理 AWS Truepower 於下列國家應用實際情境。(AWS Truepower 為 UL 旗下子公司，主要負責再生能源技術諮詢、認證和測試服務)

#### (1) 高分辨率風力模擬場景(越南)

越南為受季風影響之國家，如果使用風能可達到或超過該國的能源需求，然而，這種豐富的風力資源受季節性和晝夜性而變化，並取決其與負載與傳輸的相關性，這種變化性可能對開發風能項目之可行性和成本產生重大影響。

為支持高滲透率情境之電網模擬，AWS Truepower 與 GE 能源顧問公司共同合作，確定越南境內 9 GW 之潛在陸域風電場，並在北部、中部及南部等地區實現目標裝置容量。另外，於此案場使用天氣預報模型和功率轉換程序之數值組合，以 10 分鐘之資料解析度模擬風力資源和電廠出力。

其使用轉移機率及創建模仿實際電廠行為之綜合預測，

產生日前每小時風力模擬結果。該數據被用於了解電網特性以及區域風力變化率，並在電網可靠度及開發成本情境下之作用。這些情境評估了變動再生能源發電及區域間輸電項目之成本效益以及可行技術途徑。

## (2) 管理公用事業規模風力及太陽能發電(拉丁美洲)

**AWS Truepower** 受美洲開發銀行委託參與了一項從墨西哥到阿根廷的低碳互聯電力系統淨效益之研究調查。團隊成員有 **Energy Exemplar**，**Quantum**（阿根廷）和智利能源中心，模擬 2015 至 2030 年裝置容量之擴展情境。

於此調查採用地理資訊系統(**Geographic Information System, GIS**)之方法、200 米風速圖以及衛星之太陽能資源圖對潛在之容量進行系統評估，得以估算出國家和資源區域的風力及太陽能可裝置容量(MW)，這些估測為傳輸擴展模組提供容量上限值。而且其使用一套 27 公里之天氣研究和預報 (**Weather Research and Forecasting, WRF**)模型運行模擬大氣變動量，建立了涵蓋 15 年的時間及超過 500 小時之發電概況。於後續採用高品質之測量數據調整模型輸出，執行 **AWS**

Truepower 之電源轉換模型，並依區域進行模擬發電模組。

(3) 整合即時及預測太陽能資訊至網路邊緣應用程式(夏威夷)

AWS Truepower 運行夏威夷的太陽能及風力綜合預測工具，此工具使用即時天氣、發電及電廠運轉資料，為決策目的提供各種時程之潛在出力預測，此系統亦提供一套於配電等級太陽能發電之表前估測方式。

且此系統目前於五個島嶼進行預測，並提供一致的數據集，用於估算看不見的發電及提供狀態認知，從而給予管理電網資源之機會。此系統拓展了分散式資源的預測資料使用，可能應用於智能逆變器、電池運轉、線路電壓調節和其他負載偏移程序。

3. 大氣建模及應用研究

AWS Truepower 展示可以準確地模擬大氣能力，以及其對當地、區域及全球能源產業之影響，並從中脫穎而出。其使用高性能運算執行大數據分析，能夠有效量化即時再生能源及公用電力負載之排程不確定性。我們可以提前預測這些不確定性，而其時間可從分鐘、小時、天、季甚至幾年。

如果客戶需要估算規劃中的太陽能或風力發電廠的潛在發電量，AWS Truepower 的團隊可以準確地模擬發電廠於多個時間尺度上之發電量和變動性，產生跨月滾動式之發電量。這些專業知識亦擴展至規畫最佳電力調度方法，新增電力預測以計算再生能源廠的可預測性，確定預期之其他集中或分散式資源同時發電，甚至預測新的節能技術(例如儲能、智能家電及電動機車)對電力系統負載曲線之影響。

### 三、 德州可靠度委員會(ERCOT)

#### (一) 德克薩斯州簡介

德克薩斯州簡稱德州(TEXAS)，係為美國面積及人口的第二大州，德州面積有 770,885 平方公里約為是台灣的 21.5 倍大，僅次於阿拉斯加州，而人口僅次於加州。

德州有“低稅、低服務”的聲譽，據稅務基金會稱，德州人民之州稅和地方稅為全國最低，而州稅和地方稅收人均 3,580 美元，佔居民收入的 8.4%，在全國排名第七；但德克薩斯州也是缺乏州所得稅的七個州之一。美國從財產稅中收取收入和銷售稅，州銷售稅稅率為 6.25%，但當地稅收管轄區也可能征收高達 2%的銷售稅和使用稅，總稅率最高為 8.25%。

#### (二) 德州可靠度委員會(ERCOT)

德州可靠度委員會(ERCOT, Electric Reliability Council of Texas)為確保德州 75%土地面積及 90%用戶可靠電力服務的非營利組織，且其負責之電力系統為北美電力可靠度委員會(North America Electric Reliability Corporation, NERC)負責之三大戶連電力系統之一，且擔任德州電力市場之獨立系統操作者(Independent System Operator, ISO)。

ERCOT 雖不擁有輸電線或發電機資產，但它調度所有上線設備以保持所有德州人民都有電力可用。在電力系統裡，電網營運商需隨時平衡電力系統發電與負載，以維持系統頻率及可靠度，電力供需平衡於 ERCOT 係透過電力批發市場所完成，而從市場得到之資源僅能提供給電網作為電能平衡及其他可靠度服務。ERCOT 也為批發市場提供財務和會計服務，確保能源交易得到妥善處理，並建立適當的系統以保持這些交易能順利進行。

電網營運商係由德克薩斯州公用事業管理委員會(Public Utility Commission of Texas, PUCT)和德克薩斯州立法機構監管，ERCOT 需符合所有由 NERC(North American Electric Reliability Corporation, NERC)制定系統可靠度標準之規定，並向一個由 16 名成員組成的董事會報告(包括 5 位獨立代表, 3 位用戶代表(工業、商業、住宅用戶)，ERCOT 執行長，PUCT 主席(無投票權)，6 位工業部門代表(投資人擁有之電業 (或輸電擁有者)，城市擁有之電業(municipally-owned utilities)，郡擁有之電業(cooperatives)，發電業，電力市場業(power marketers)以及零售業(retail electric providers))。而 ERCOT 和利益相關者透過開發和評估市場規則，協定和技術去可靠地管理不斷變化的電力系統。ERCOT 僅有少數幾條直流輸電線與外州及墨西哥聯網，但以運轉面來看應屬於獨立系統。下述為 ERCOT 2018 年至 7

月份聯外輸電網路現況及尖峰紀錄統整如下。(圖 18、圖 19)

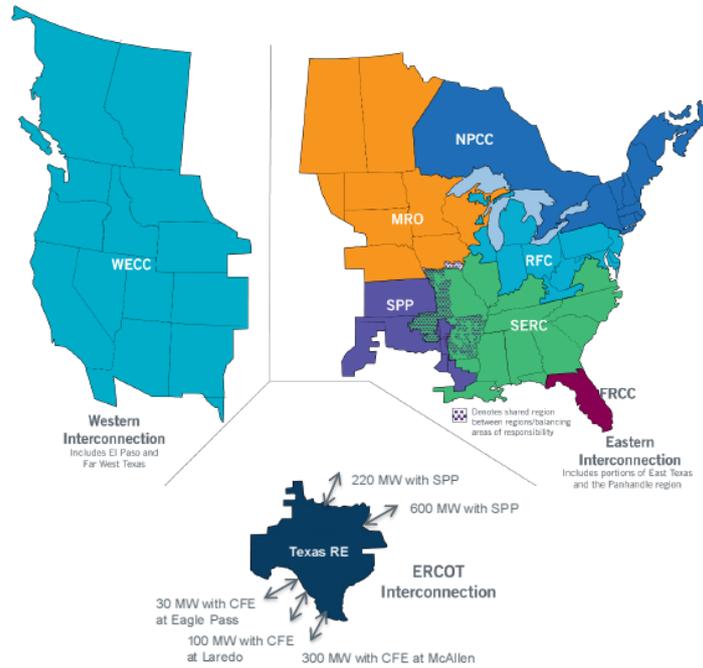


圖 18 ERCOT 聯外輸電網路現況

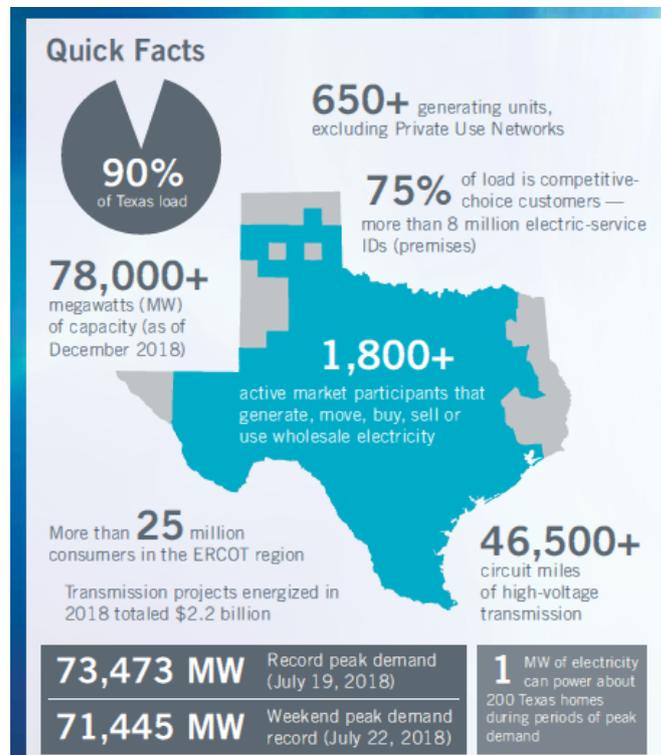


圖 19 ERCOT 2018 年尖峰紀錄快速簡覽

### (三) ERCOT 2018 年電力系統情況回顧

#### 1. 年度發電度數及尖峰負載需求量

德州近年來經濟蓬勃發展和電力需求不斷增長，持續推進 ERCOT 地區的電力消耗達到新的高度。雖然 ERCOT 於 2018 年夏季負載需求量又破了過往紀錄，但其亦準備足夠的發電供給量，滿足了所有用戶之用電需求。自從 2017 年底至 2018 年初幾家燃煤電廠陸續退役後，2018 年夏季系統備用容量率僅 11% 創歷史新低紀錄；不過藉由 ERCOT 及 PUCT 的加強準備，以及強大的市場激勵和卓越的系統性能，使系統得以穩定及高效率地運行。

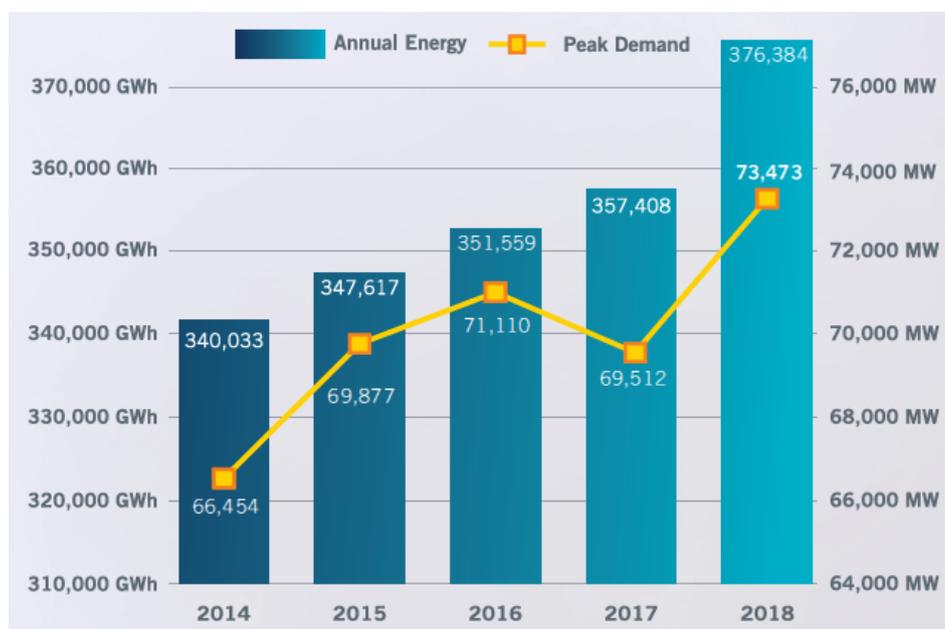


圖 20 2014-2018 年度發電度數及尖峰負載需求量

承上所述，因燃煤機組陸續退役，許多開發商對於 ERCOT 地區興建新機組表現出高度興趣。2018 年除了小型調峰機組逐漸增加，另外因為環保因素、無燃料成本及政府大力支持與補助下，新的風力、太陽能及儲能電池項目提出了創新紀錄的併聯請求。但是，針對再生能源獨特之發電特性，ERCOT 亦持續研究這種不斷變化的能源對系統帶來的影響，以確保能夠維持系統的穩定性及可靠性。

ERCOT 作為 PUCT 和利益相關團體之訊息提供來源，於 2018 年電網營運商提供規劃備用裕度和擬議市場設計變更相關之研究和分析，並於 2019 年初，PUCT 指示 ERCOT 於 ERCOT 市場實施即時共同最佳化。

## 2. 年度能源利用率

消費者於 2018 年使用超過 3760 億度電，比起 2017 年增加了 5%，而這些能源有近乎 19% 是來自於風力發電。(圖 21 之其他部分包含太陽能、水力、石油焦煤、生質能、垃圾掩埋沼氣、餾分燃料油、淨直流連接及躉售負載轉移進口/出口以及躉售儲能負載之調整量)

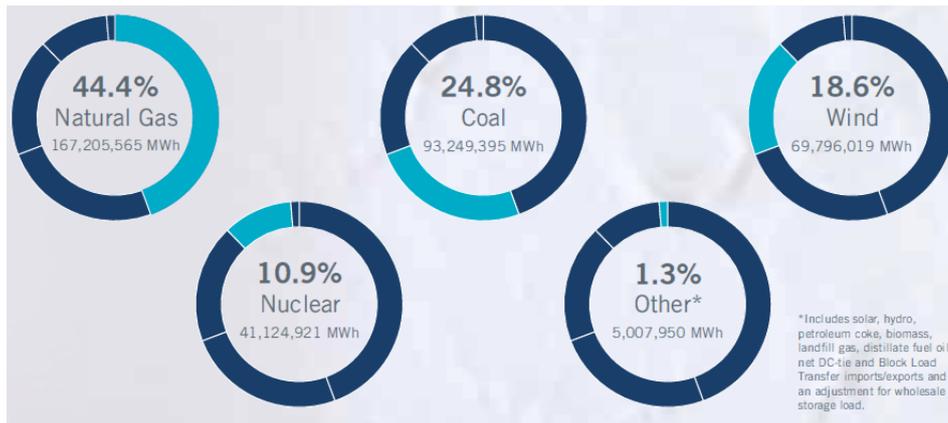


圖 21 2018 年各種發電能源發電度數

### 3. 新機組的開發

電網營運商於 2018 年併聯申請數量與去年相比增加了 30%，而所有這些申請幾乎主要為再生能源和天然氣項目。而 ERCOT 觀察太陽能、儲能電池和具彈性之小型調峰天然氣機組等項目申請數量持續增加，因此亦考慮發展此項目。

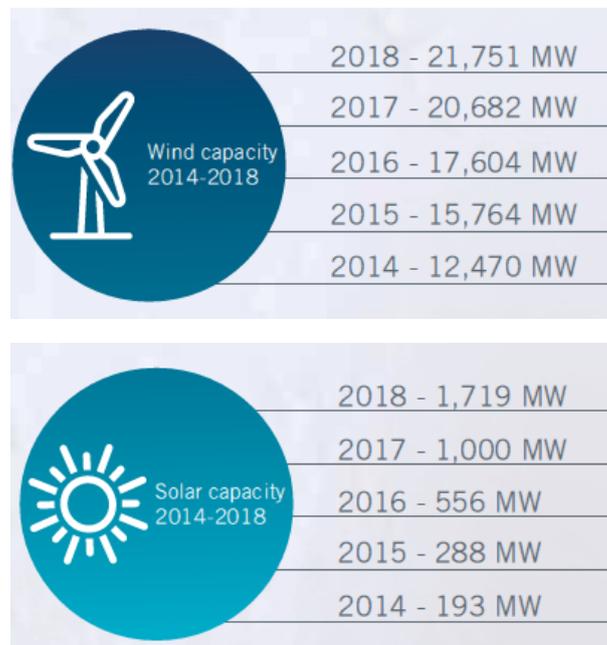


圖 22 2014-2018 年 ERCOT 風力及太陽能裝置容量成長數據

#### 4. 輸電線的改善計畫

2018 年，由於石油和天然氣開採需求，德州西部之電力需求增加了近 500 MW，而該地區之尖峰需求量年增長率約為 8%，且預計至 2023 年以前皆以此速度增長。然而，此增加速度已超過了 ERCOT 管轄下的其他地區(年均增長率約為 1%至 2%)。故為解決德州西部地區日益增加的負載，ERCOT 著手進行一些主要的傳輸容量之增加計畫(Far West TEXAS Project, FWTP)，其董事會批准啟動兩條先前認可的 345kV 輸電線路之第二條線路佈建，以及新建一條新的雙迴路 345kV 輸電線路。這些改善項目將能可靠地提供電力輸送，同時還可以減少線路壅塞。

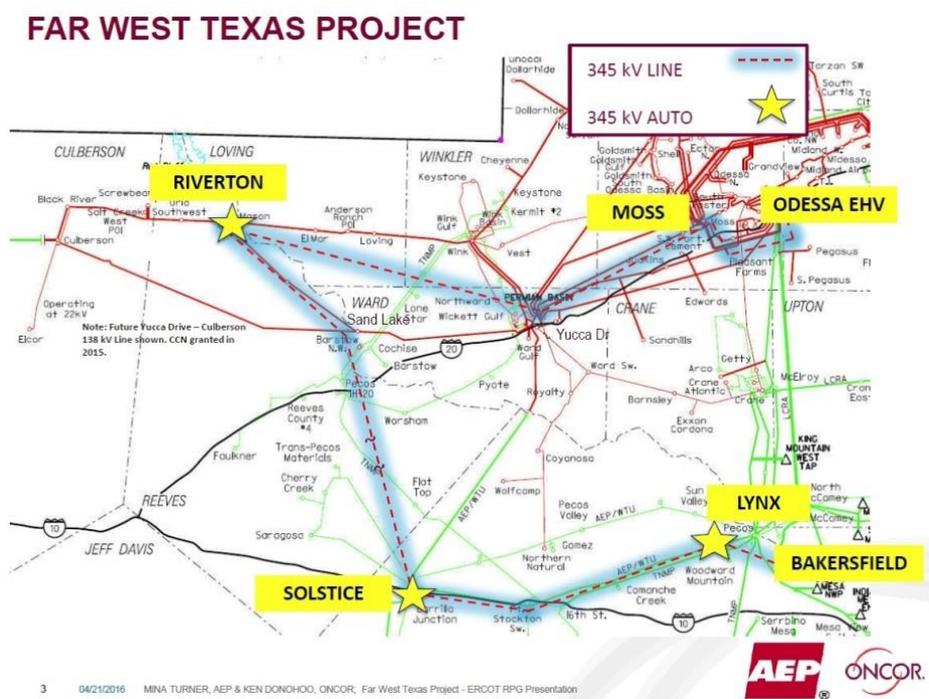


圖 23 FWTP 未來新建之輸電線示意圖

## 5. 新技術的採用

ERCOT 與利益相關方合作開發了一套標準方法，用於獲取已註冊之分散式能源資源 (DER) 之數據，映射至適當之傳輸負載。把註冊之分散式機組映射至其位置，將改善其狀態認知並幫助電網營運商更準確地評估 ERCOT 系統狀況。

儲能科技近年來大幅進步，未來可能於 ERCOT 佔有一席之地，截至 2018 年 12 月合計共超過 2,300 MW 之新的電池容量正在研究中。但因 ERCOT 目前對於儲能之營運情況認知尚且不足，故正與儲能業者及開發人員合作研究，以改善與 ERCOT 共享資訊之方式。

### (四) **ERCOT 輔助服務項目**

近年來 ERCOT 地區大量再生能源併網，使得系統頻率控制逐漸受到挑戰，像是非同步機組、變動快速的風力發電、再生能源預測的不確定性以及負載突增或突降，故必須準備足夠之輔助服務以維持系統頻率之穩定。

ERCOT 之輔助服務係於日前市場所採購，所有參與者(含再生能源)都需提供電能及輔助服務之供給量及報價，且必須透過共同最佳化後，參與者才可得到明日電能與輔助服務之排程；而 ERCOT 於即時運轉時每 5 分鐘執行一次 SCED(Security-Constrained

Economic Dispatch), 考量系統之目前狀況、可能發生的事故狀況、機組報價、機組發電限制(機組實際運轉特性)等因數, 決定目前最經濟之調度模式運行系統, 而所有的發電機(含再生能源)及需量反應皆必須接收輸出發電指令及區域邊際價格。ERCOT 參與日前市場之輔助服務項目為調頻備轉服務(Regulation Service)、快速反應服務(Responsive Service)以及非即時備轉服務(Non-Spinning Service)。(圖 24)



圖 24 ERCOT 參與日前市場輔助服務項目

1. 調頻備轉服務(Regulation Service) :

調頻備轉服務通常採用自動發電控制(Automatic Generation Control, AGC)完成。系統 EMS 於每 4 秒鐘發送頻率控制信

號至電廠機組，電廠端接送到訊號後自動控制提高發電 (Regulation Up)或降低發電(Regulation Down)，使系統頻率能因控制而維持在正常範圍，而這也保持每隔 5 分鐘發送 SCED 訊號不被影響。另外，此調頻備轉服務需求量，需由過去 5 分鐘之淨負載(負載扣除風力及太陽能)與系統變化量判斷，故此需求量將會隨時變化以保持系統安全。

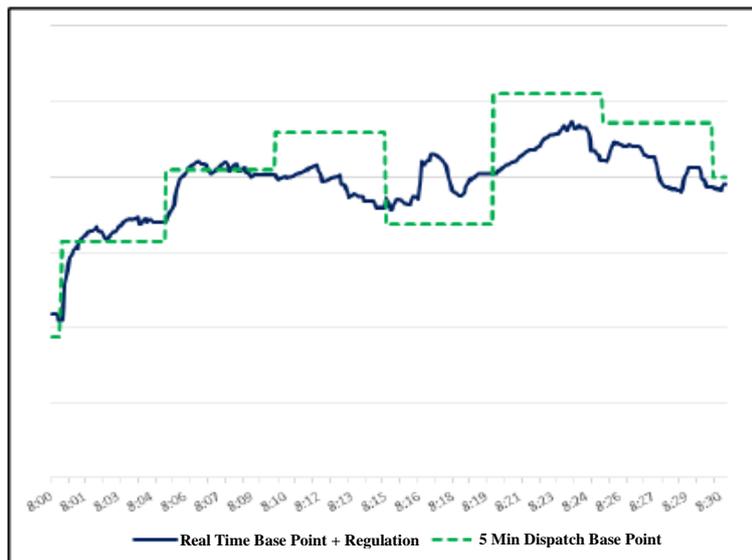


圖 25 調頻備轉服務於即時運轉之示意圖

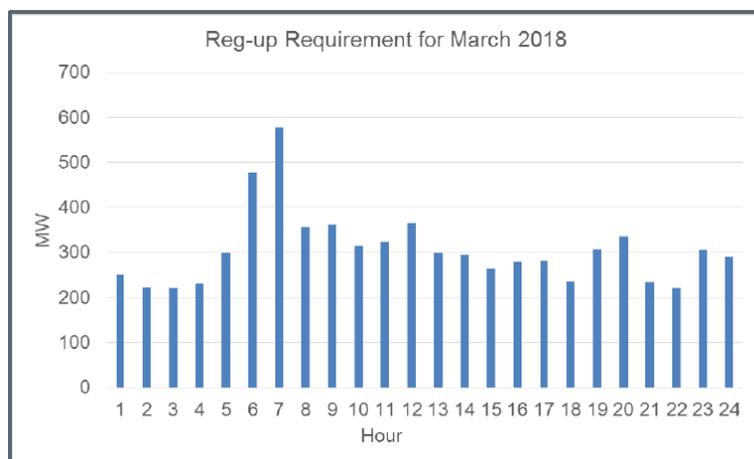


圖 26 調頻備轉服務(向上)需求量(2018 年 3 月)

## 2. 快速反應服務(RRS, Responsive Reserves Service)：

ERCOT 與台灣同為獨立系統，並未與其他任何系統同步互連，故所有併聯至系統之設備都必須參與初級頻率支持，而所有機組(除了核能)都被要求調速器須設定下垂(MW/Hz)及頻率死區(Deadband)。而從 2012 年 3 月起，ERCOT 系統所有風力及太陽能發電機亦須具備類似調速器之響應。

而快速反應服務主要為確保系統發生跳機事故時，有足夠之容量快速執行頻率響應。因此 ERCOT 除了從傳統機組取得快速反應服務，另外亦訂出最多可從負載取得 50% 上限之快速反應容量，也就是低頻後觸發電驛跳脫負載之需量反應(低頻電驛設定為 59.7Hz，且需於 30 週波內執行)。另外，ERCOT 亦於 2014 年開始執行即時監控系統慣量，而隔年(2015 年)推行使用系統慣量來決定快速反應服務購買量。

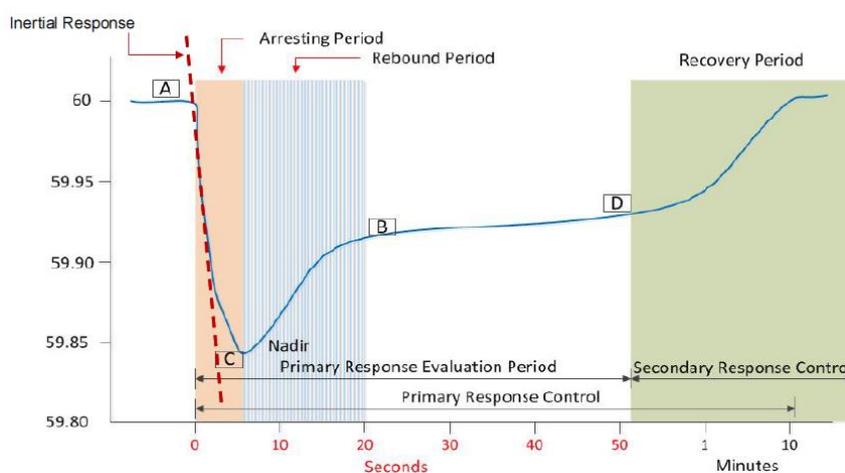


圖 27 恢復系統頻率之各級頻率響應

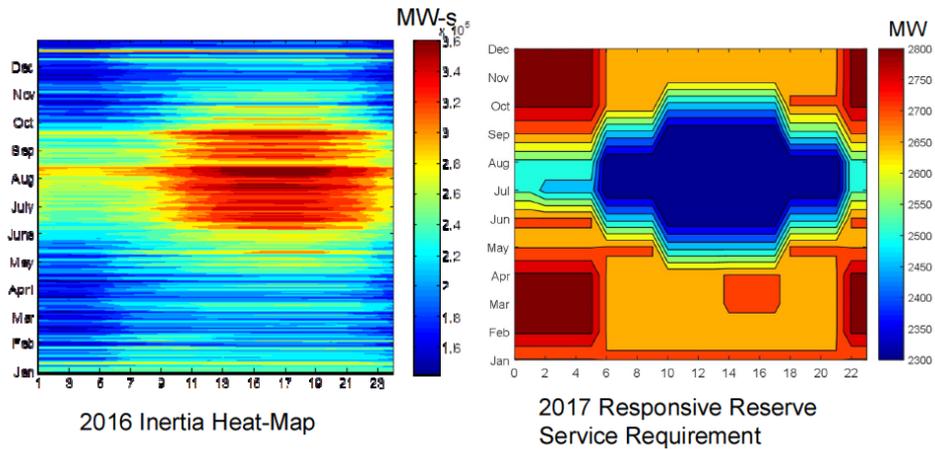


圖 28 系統慣量對每小時快速反應服務需求之影響

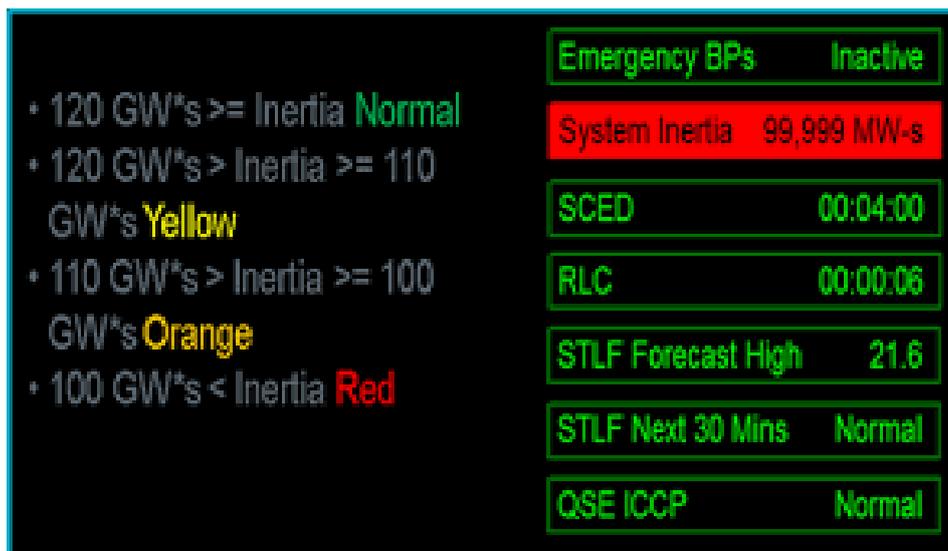


圖 29 ERCOT 系統慣量之監控畫面及預警提示

### 3. 非即時備轉服務(Non-Spinning Service)：

主要為確保有足夠的備轉容量來因應負載預測誤差及設備跳脫後(發電機跳脫及輸電線跳脫造成之壅塞)之替補量。

於 ERCOT 系統定義為 30 分鐘可提供系統電能容量，可以由在線、離線發電機組或需量用戶卸載等方式提供。而其需求量係依據系統負載變化情形、過去預測誤差、季節及時間等因素進行評估而獲得。

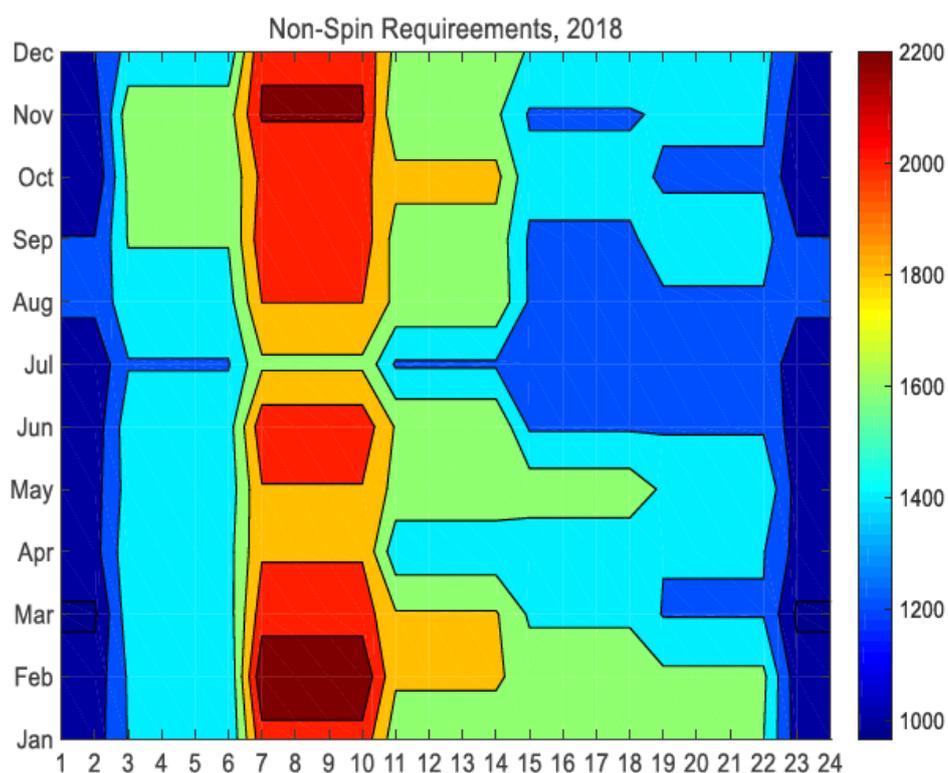


圖 30 2018 年非即時備轉需求量

## 參、心得與建議

近年來台灣再生能源因環保問題及政府鼓勵等因素，大量再生能源申請併入系統，且於系統占比越來越高，而這幾年更是快速增長。政府規劃 2020 年目標為「示範風場」與「潛力場址」合計設置容量 520MW；另中長期目標為 2025 年合計「潛力場址」與「區塊開發」的設置容量要達成 5,700MW，預計年發電量可達約 215 億度電，年減排碳量約 1,192 萬噸。

雖然台電針對上述議題已先行預擬策略也正積極地準備，惟再生能源成長非常快速，很多軟硬體措施恐無法立即到位。藉由這次前往美國開會期間，詢問非常多專家學者，如何順利地於過渡時期維持系統之可靠度，而得到之答案皆大致相同，因為過渡時期屬青黃不接時期，很多項目有其模糊性，故必須藉由良好的暫行機制訂定，以緩解再生能源對系統造成之衝擊性，待未來軟硬體逐漸建置完成後，機制也可配合調整成適應當時系統所需之模式。

作者於這次出國期間不斷地思考，未來面對再生能源高占比之系統該如何因應，以及對於運轉方面有無實質之建議，經與 ERCOT 黃博士以及研討會和論壇會議上之廠家、公用事業及學者等專家請教與交流後，於此提出幾項建議方向。

## (一) 機制訂定

為使系統能穩定運行在每個階段，並且兼顧經濟及效率，相關機制就必須於各種階段及情境下配合修訂，就運轉面建議修訂方向如下：

- 提供完善之設備資料

系統可將再生能源機組獨立或等效建模如其他傳統機組，如此可事前模擬各項安全及穩定度分析。

- 提供即時數據

再生能源比照傳統機組提供機組資訊，如發電量、機組狀態、停檢修排程等資訊，將可助益負載預測準確度及增加系統調度與排程之經濟與安全性。

- 增設快速反應型輔助服務項目

因大量非旋轉電機及小型電機併入系統，對傳統大型機組併聯造成排擠效應，恐導致系統慣量不足，故增設快速反應型輔助服務項目，可幫助系統事故後之頻率響應。

- 輔助服務變動需求量

因再生能源與負載變動量係隨著時間而改變，為維持系統安全及兼顧經濟，建議將輔助服務之需求量隨著系統情況而改變。

- 其他輔助服務提供來源

因目前環保限制及電力設備興建困難，如仍採舊制於傳統機組獲取輔助服務，恐於未來面臨無法滿足輔助服務需求量，建議除目前台電推行方案外，可在尋找其他有潛力之供給者與模式。

## (二) 資訊系統管理

台電目前已建置非常多的監控設備，以及多套的資訊管理系統，但面臨如此複雜之系統及龐大的數據量，該如何做好管理及使用這些數據，就運轉面建議方向如下：

- 整合管理系統

每個國家都有面臨各式系統整合之問題，因為於每個時期都有當時必須處理之議題，且可能必須立即建置系統來處理該項業務，導致各式重複的系統不斷出現，而為維護這些系統，導致人力資源被分散，故整合目前所有管理系統為首要目標。

- 系統參數正規化

因各套系統之發展所採用語法及對參數格式之定義不同，導致描述同一個事實之參數，於各套系統紀錄之格式卻不同，建議將所有使用之資料正規化及標準化，可減少過多資訊判

定及建置重複性。

- 監控資料需求

現今為大數據時代，台電亦有非常龐大的數據量每天都在累積，但是每個資料皆得適得其所，以再生能源而言，CDCC並不需要監看每台風力發電機或單一太陽能板資訊，它們或許只需掌握一個廠域或區域之彙集之發電量即可，而再生能源業者或許就需要知道每部再生能源機組之資訊，因為需求不同，所需要的資料也不同，而且因系統瞬息萬變，運轉人員必須掌握重要的要素，如此才能快速地採取最佳處理模式因應。

- 資料正確性及完整性

資料管理系統必須具備有防錯機制，因為錯誤之資料可危害整個後續資料之正確性，如此恐造成鉅額之損失。另外，因管理系統之資料來源四面八方，當設備損壞或是其他因素導致資料有遺漏缺失，少了這些資訊可能導致連續性問題及分析不夠周全，故建議可研究該如何將遺漏之資料以正確及有效之方式補齊，以維持資料完整性。

### (三) 推廣教育

一個完整的系統除了訂定有良好的機制及健全的架構外，更重

要的是要如何推廣給大家使用，畢竟設計者與使用者可能思考不是同一個層面，所以一套好的系統與機制是經過使用者不斷測試與討論過後而成就的；但是，電力系統非常複雜且專業程度非常高，一般業者與大眾是無法簡易參與的，提出幾項建議如下：

- 參與研討會

國內每年都舉辦幾場專業之研討會，且參與者眾多有廠商、官方代表及各電力領域的學者們，而這些參與者基本都具有電力之基本知識，只需要補充新知及排除疑問，而且因其專業性亦可藉由交流與討論得到其領域之精髓。故透過參加研討會可說是最快速之資訊推廣方式。

- 舉辦教學訓練課程

美國各電力機構皆有對外開授專業知識及機制釋義之課程，如此可吸引有潛力及有興趣之廠商及事業代表參加，並且藉由教學方式能使參與者更深入地了解其精髓所在，在透過參與人員分享給各自事業部及長官同仁，達到推廣之目的也大幅增加其專業知識，降低進入門檻。

- 知識推廣與資訊揭露

因參加教學訓練課程需耗費較多時間及金錢，對於小企業及

學生而言可能較難以負擔；但是現在是處於網路十分發達的世代，可藉由製作簡易教學影片及知識學堂，免費分享至串流平台或官方網頁上供所有人觀看，如此可簡易傳播及教導正確訊息給大眾，而且搭配適當資訊揭露，增加大眾參與感及電力系統掌握度。

最後，針對再生能源高占比系統之挑戰，是馬上會面臨之挑戰，但是 ERCOT 黃博士有句佳言：「沒有不能運轉之系統，只有不能運轉之機制」，在每個階段系統都有不同的挑戰，只要能夠適時地調整各項機制及運轉模式，相信台電一定能夠達成目標，滿足政府與民眾之期待，成為卓越且值得信賴之台灣電力公司。

## 肆、 致謝

感謝公司各級主管給予本次赴美公務行程之推薦及支持，讓職等得以增廣見聞出國歷練，並承蒙德州可靠度委員會黃舜賢博士事前協助安排及熱情接待，使拜訪行程順利且愉快地進行，謹致上最誠摯的謝意。

## 伍、 參考文獻

- [1] AWEA, <https://www.windpowerexpo.org/>
- [2] ERCOT, <https://www.ercot.com/>
- [3] UL, Renewable webpage, <https://aws-dewi.ul.com/>
- [4] UTOPUS INSIGHTS, <https://www.utopusinsights.com/>
- [5] Francis Pelletier, (2019.5.28), “Drive Performance. Drive Results. Drive Profits”, 7<sup>th</sup> Wind Power Big Data and IoT Forum
- [6] Young hun Kim, (2019.5.28), “A Digital Transformation: Using Big Data Analytics to Power Practical Solutions in the Renewable”, 7<sup>th</sup> Wind Power Big Data and IoT Forum
- [7] Rob Budny, (2019.5.28), “Separating Signal From Noise”, 7<sup>th</sup> Wind Power Big Data and IoT Forum
- [8] Yu Ding, (2019.5.28), “Efficiency Metrics for Wind Turbine System-level Performance”, 7<sup>th</sup> Wind Power Big Data and IoT Forum
- [9] Karl Fatrdla, (2019.5.29), “The iSpin Technology”, 7<sup>th</sup> Wind Power Big Data and IoT Forum
- [10] ERCOT Board of Directors, (2019.4), “2018 State of the Grid”, ERCOT Report
- [11] Julia Matevosyan., (2018.2.8), “Integration of Renewable Generation in ERCOT”, North European Energy Perspectives Project Winter Conference
- [12] Julia Matevosyan., (2018.10), “Balancing Electricity – Focus on Operational Management/ Frequency control”, Dena-Symposium,

A Global Perspective on Electricity Ancillary Service, Berlin

[13]Juan Andrade, Yingzhang Dong, Ross Baldick, (2018.10.26),  
“Effect of market changes on the required amounts of frequency  
regulation ancillary services in ERCOT”

[14]吳元康、賴重瑀、謝廷彥、詹博雄, (2017.3), “北美重要電力市  
場的系統操作規則”, Journal of Taiwan Energy Volume 4, No. 1,  
pp. 17-44