

出國報告（出國類別：實習）

太陽光電發電預測技術之研究

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：周儷芬機械資深研究專員

派赴國家：美國

出國期間：106年10月30 - 11月9日

報告日期：107年1月8日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：太陽光電發電預測技術之研究

頁數:53 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：

周儷芬/台灣電力公司/綜合研究所/機械資深研究專員/8078-2286

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(開會)

出國期間：106 年 10 月 30 - 11 月 9 日

出國地區：美國

報告日期：107 年 1 月 8 日

分類/號目：

關鍵詞：加州電力調度中心(California Independent System Operator, CAISO)、太平洋瓦斯及電力公司(Pacific Gas & Electric, PG&E)、聖地牙哥瓦斯及電力公司(San Diego Gas & Electric, SDG&E)、西部電力協調理事會(Western Electricity Coordinating Council, WECC)

內容摘要：(二百至三百字)

1. 加州是美國最積極發展再生能源應用的一州，根據美國能源資訊局(EIA)統計，加州 2016 年來自太陽能電力達到 13.8%，貢獻全州約 1/7 用電量。因此本次出國研習選擇赴太陽光電快速成長的加州，藉由參訪其調度中心及所屬電力公司在再生能源的發展與應用經驗，引進預測技術及分散型電網相關整合之應用，以加速分散型電網技術之發展。
2. 北美電力市場的運作大致可分為：管制機關、獨立調度中心、電力公司(含發電業、配售電業等)三個部分，管制機關如美國能源部、聯邦能源管理委員會，北美可靠度公司制定能源法規、市場運作規範與電力運轉規則等；調度中心則制定市場規則並管理電力市場使之能正常運作，電力公司則扮演提供或購買電力商品者的角色，並針對市場需求開發合適的供電策略及負載管理方案。藉由這次參訪尖峰可靠度機構、加州電力調度中心、太平洋瓦斯及電力公司及聖地牙哥瓦斯及電力公司對北美的整體電力市場架構及運作有更進一步的瞭解。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

出國報告書審核表	I
出國報告提要.....	II
目錄.....	III
圖表目錄.....	IV
壹、緣起與目的.....	1
貳、行程與內容.....	3
參、實習內容.....	4
一、美國電業管制機構及電力系統概述	4
1.西部電力協調理事會(WECC)	11
2.加州電力調度中心(CAISO)	15
3.太平洋瓦斯力公司(PG&E).....	28
4.聖地牙哥瓦斯電力公司(SDG&E).....	33
5. OSIsoft公司	37
二、太陽光電預測技術與應用	42
肆、結論與建議.....	49
參考資料.....	53

圖 表 目 錄

圖3.1.1 北美電力系統可靠性管理組織.....	5
圖3.1.2 北美8個NERC區域可靠度公司轄區圖.....	6
圖3.1.3 美國三大電力傳輸網及8個NERC區域可靠度公司轄區圖.....	8
圖3.1.4 美國三大電力傳輸網及66個電力平衡調度管理局分布圖.....	9
圖3.1.5 北美9個(美國7/加拿大2)獨立系統運營商/區域輸電組織.....	10
圖3.1.6 WECC服務範圍.....	12
圖3.1.7 與Peak Reliability人員合影.....	13
圖3.1.8 Peak Reliability的同步向量計畫資訊.....	14
圖3.1.9 CAISO服務範圍.....	16
圖3.1.10 加州4大電力公司服務範圍.....	17
圖3.1.11 2016年CAISO每月平均每小時各燃料別之發電比例.....	18
圖3.1.12 CAISO各燃料別裝置容量.....	18
圖3.1.13 加州大量太陽光電併入系統造成之「鴨子曲線」.....	20
圖3.1.14 CAISO即時負載、再生能源發電、淨負載、即時電價圖.....	21
圖3.1.15 CAISO 2013~2016年各類再生能源發電量.....	23
圖3.1.16 CAISO水力、風力及太陽光電各月平均發電量.....	23
圖3.1.17 CAISO調度主控制中心.....	24
圖3.1.18 加州電力市場架構.....	25
圖3.1.19 與CAISO人員合照.....	27
圖3.1.20 PG&E公司的DERMS系統架構及應用例.....	30
圖3.1.21 PG&E公司的GOSI/GODO系統架構及應用例.....	32
圖3.1.22 與PG&E Sherman Chen經理合影照片.....	32
圖3.1.23 SG&E服務範圍.....	33
圖3.1.24 Sempra能源集團公用事業組織圖.....	34
圖3.1.25 PXiSE ACT架構圖.....	35
圖3.1.26 PXiSE ACT在夏威夷茂宜島的24MW風場的應用例.....	36
圖3.1.27 與SDG&E公司人員合影.....	35
圖3.1.28 與Sempra Energy公司合影.....	35

圖3.1.29 PI System的階層架構	39
圖3.1.30 傳統的資料蒐集、儲存及取用	39
圖3.1.31 安裝PI system之資料蒐集、儲存及取用	39
圖3.1.32 建立於PI系統之風力發電機組UI介面	40
圖3.1.33 建立於PI系統之再生能源監測UI介面	41
圖3.1.34 與OSISoft公司CEO及客服部人員合影	41
表2.1 出國行程	3
表3.1.1 2012~2016年CAISO系統負載	17
表3.1.2 2007-2016年CAISO電廠新增與除役機組裝置容量	22

壹、緣起與目的

為因應能源永續發展、氣候變遷調適，持續裝設再生能源機組已是全球電業發展的必然趨勢。行政院規劃於 2025 年再生能源裝置容量將佔全系統之 20%，其中風力發電裝置容量目標為 4.2GW(包含陸域風力 1.2GW、離岸風力 3GW)，太陽光電裝置容量建置目標更規劃倍數成長 2025 年將達到 20GW。隨著政府大力推動太陽光電的政策，其併網容量也將逐年增加，由於太陽光電及風力發電的間歇特性，對電力系統調度運轉將造成嚴重的衝擊，綜合研究所執行本公司智慧電網 A8「再生能源發電資訊分析與預測」業務，除進行風力發電預測分析之外，亦開始投入太陽光電發電之預測與應用研究。

加州是美國發展再生能源應用最積極的一州，根據美國能源資訊局 (EIA) 統計，2016 年太陽能對加州供電的佔比接近 10%，加上屋頂型太陽光電系統，加州陽光在電力的貢獻達到 13.8% (solar utility 9.6% + roof top 4.2%)，約佔全州 1/7 用電量。因此本次出國研習選擇赴太陽光電快速成長的加州，盼藉由參訪其調度中心及所屬電力公司在再生能源的發展與應用經驗，引進預測技術的併網應用及分散型電網之相關整合應用，以減少研發初期的摸索時間，加速分散型電網技術之發展。加州電力調度中心(California Independent System Operator, CAISO)為一非營利組織，負責營運加州與部分內華達州地區的電力市場以及管理電網之可靠度，其轄區內有太平洋瓦斯及電力公司(Pacific Gas & Electric, PG&E)、南加州愛迪生公司(Southern California Edison, SCE)、山谷電力協會(Valley Electric Association, VEA)、聖地牙哥瓦斯及電力公司(San Diego Gas & Electric, SDG&E)等 4 大電力公司，用戶數約 3000 萬戶。CAISO 的電力市場包含電能市場(日前與

即時)、輔助服務市場、壅塞管理及不平衡市場等，已建立了相當成熟的機制，並持續檢討改善，因此如何因應大量再生能源併網運轉、輔助服務合適容量之規劃以及配套運轉機制之建立，值得本公司借鏡。此行同時安排前往西部電力協調理事會(Western Electricity Coordinating Council, WECC)，瞭解電網可靠度標準及輸電系統規劃準則之訂定。

本次出國案件係應用 106 年度第 59 號，出國核定書為 1060591 號，人字第 1068101809 號函。

貳、行程與內容

本次行程如表 2.1 所列，10 月 30 日抵達美國加州聖地牙哥，10 月 31 日首站赴聖地牙哥瓦斯及電力公司(SDG&E)，就各項關於再生能源的應用、發電預測技術及需量反應運作機制等議題逐一向專家請益。11 月 1 日赴奧勒岡州波特蘭參訪西部電力協調理事會(WECC)，瞭解電網可靠度標準及輸電系統規劃準則之訂定。11 月 2 日離開波特蘭搭機赴加州舊金山，11 月 3 日開始與加州電力調度中心(CAISO)、太平洋瓦斯及電力公司(PG&E)，就加州政府對於再生能源之相關政策發展、EMS 處理電力系統運轉及管理市場運作之情形進行瞭解。由於出發前已與各機構人員取得聯繫，獲得相關的專家協助講解，在多項議題上均有收穫。106 年 11 月 8 日由加州舊金山國際機場搭機返國，完成此次參訪行程。

實習日期為民國 106 年 10 月 30 日至 11 月 9 日，共計 11 天。

表 2.1 出國行程

日期	活動內容	備註
10/30	台北→洛杉磯→聖地牙哥	(往程)
10/31	聖地牙哥瓦斯電力公司(SDG&E)	聖地牙哥
11/1	聖地牙哥→波特蘭	波特蘭
11/2	西部電力協調理事會(WECC)	波特蘭→舊金山
11/3-11/5	太平洋瓦斯電力公司(PG&E)	舊金山
11/6	加州電力調度中心(CAISO)	佛森
11/7	OSIsoft	舊金山
11/8-11/9	舊金山→台北	(返程)

參、實習內容

一、美國電業管制機構及電力系統概述

美國電業管制機構

電力自由化市場在先進國家的發展皆是透過管制機構進行監督，確保電力的穩定供應與消費者的權益。以美國為例，由於是聯邦制國家，美國能源部(Department of Energy, DOE)是掌管能源相關事務的最高行政機關，制定中央能源政策與整體規劃，州政府則有能源委員會(Energy Commission, EC)掌管地方能源政策的規劃與執行。而電業的管制體系也是採行聯邦與州二級監管體制，在聯邦層級負責電力可靠性監管的機構為聯邦能源管制委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)，各州負責電力公用事業監管的機構則是州公用事業監管委員會(Public Utility Commission, PUC)。2007年，FERC授權北美可靠性公司(North American Electric Reliability Corporation, NERC)負責發輸電系統的可靠性管理，包括標準制定、執行和監管等。由於美國在管制電力發輸配電市場的中央與地方之行政與法治機關分工明確，DOE與EC有行政權、FERC與PUC屬準司法機關可發布管制法令，結構完整；因此電業市場行為均有所依循，其績效亦可受到稽核評估，建立了可靠健全的電力自由化市場環境。如美國聯邦能源管制委員會(FERC)與州公用事業委員會(PUC)會要求各公用電業須提交財務及營運年報，提報資訊內容包括：財務資訊、員工安全、顧客滿意度、系統可靠度、服務品質等。

北美的電力系統可靠性管理組織結構見圖 3.1.1，共分為美國聯邦能源管理委員會(FERC)、北美電力可靠性公司(NERC)、NERC 區域組織(Regional Entities, RE)和監管對象 4 個層級。

FERC 是政府監管機構，具有市場管制實權之機構，其轄下電力可靠度部門(Office of Electric Reliability)規範輸配電公司必須符合 NERC 所制定之電力可靠度標準。執法部門(Office of Enforcement)負責審核與調查能源市場中潛在之違法行為，對於 NERC 及 NERC RE 評估認定違反電力可靠度標準的行為，經調查若違法行為屬實，則可對違法之業者進行懲處。

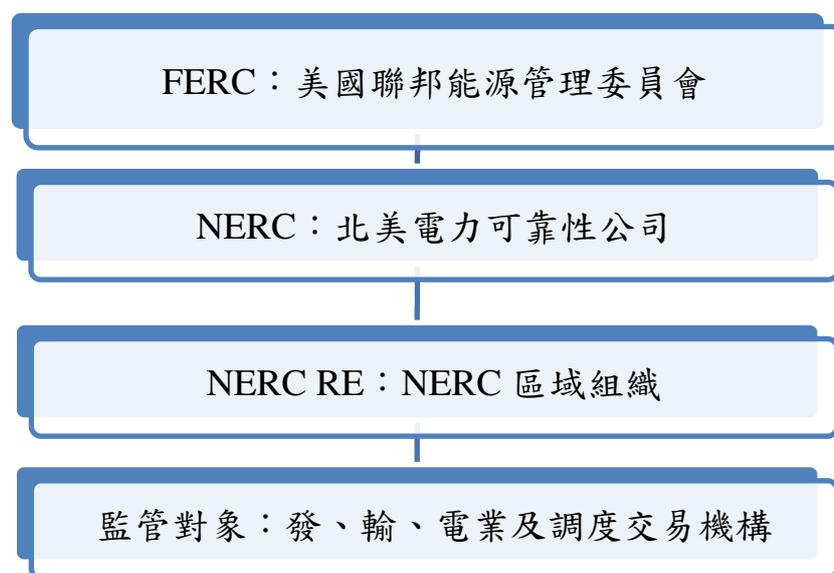
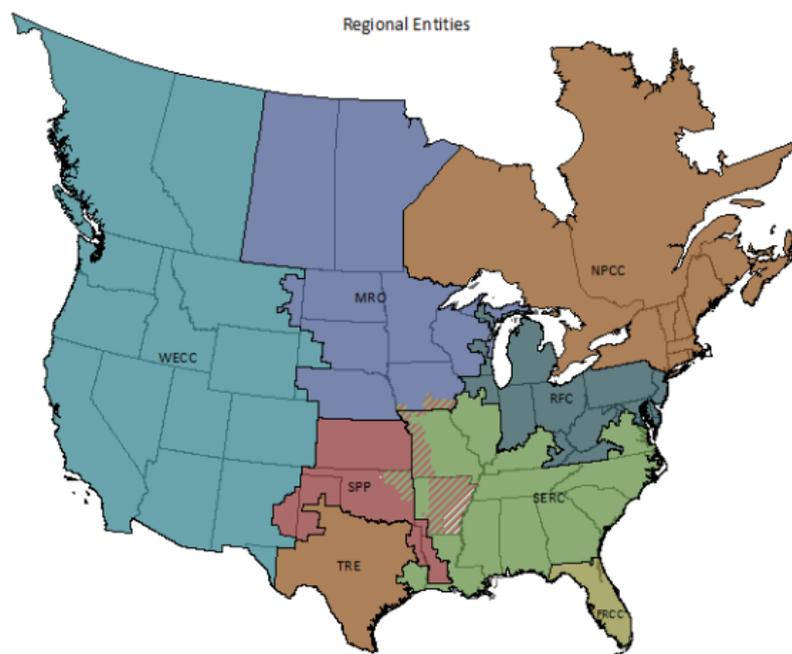


圖 3.1.1 北美電力系統可靠性管理組織

北美電力可靠度公司(NERC)則是接受 FERC 與加拿大政府機關共同授權負責管理北美發輸電系統的可靠運作，其主要職責包括：制定電力可靠度相關市場規則，並監督大型電力系統(Bulk-Power System, BPS) 執行電力可靠度，負責發輸電系統的可靠性評估工作，對發輸電系統進行監測，成立重大事故調查組織，負責電業的教育訓練和運轉人員認證等工作。

Regional Entities, RE 是 NERC 轄下的區域組織，目前在北美不同地區共有 8 個，如圖 3.1.2 所示，其主要任務包括：1. 協調各電網

的發展規劃和設計準則，分析研究影響電力可靠性的各個環節，定期發佈系統運轉情況及供需預測報告，2.對電網運轉資料進行統計分析，3.制定和執行可靠性標準，4.對標準執行情況進行檢查和審計等。



Regional Entities	
FRCC	Florida Reliability Coordinating Council
MRO	Midwest Reliability Organization
NPCC	Northeast Power Coordinating Council
RF	ReliabilityFirst
SERC	SERC Reliability Corporation
SPP RE	Southwest Power Pool, Inc.
Texas RE	Texas Reliability Entity
WECC	Western Electricity Coordinating Council

圖 3.1.2 北美 8 個 NERC 區域可靠度公司轄區圖

2010 年 NERC 發佈大型電力系統(BPS)綜合風險評估的定義，將發輸電系統的可靠性管理拓展到涵蓋發輸電系統和需求側響應的風險管理。NERC 所屬的規劃委員會(planning committee)設立了效能分

析委員會(performance analysis subcommittee)，專責風險指標開發工作。而在北美供電可靠度的工作是由 IEEE 配電可靠性工作組負責，該評估標準從 1998 年起係依據狀態與風險的模型進行評估，已是成熟的評估體系，因此，BPS 風險評估體系中並不包括配電網系統。

美國配電系統可靠度則是由各州的公共事業委員會(PUC)負責，各州的 PUC 相對獨立，可靠性管理模式也不完全相同，各自負責統計轄區內的可靠度資料，並制定因對措施提高所轄區域的配電網可靠度。在美國多數州的公用事業委員會(PUC)採用美國電氣與電子工程師學會 IEEE 公佈的標準《IEEE Std 1366-2012 (Revision of IEEE Std 1366-2003)-IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices》，IEEE 1366 標準對配電系統的可靠度進行分析，其規定運用於供電系統中，用戶供電可靠性的統計分析概念與定義、供電系統用戶供電可靠性指標的計算方法。

美國電力系統概述

美國電業發展，經歷 20 多年電力市場自由化結構性的改革，各地都建立了電力交易機制。市場自由化雖解除了原先對電力價格與數量上的管制，但仍須基於公平競爭與調度獨立性進行管制，以確保電力供應的穩定與消費者權益。因此，政府管制架構明確規範調度中心、市場參與者及主管機關之間的權責。即電力調度中心管制機關的執掌、電力調度中心的權利與義務，均需載明於法令條文中，以法規為依據，管制機關對於所有市場參與者也必須擁有監督管制之實質權力，包括可執行調查之權力、執行法規之權力(懲罰)、對外解釋法規之權力等，以避免市場參與者濫用其市場力。

美國電網在此互利原則的基礎上，透過雙邊、多邊協議或聯合經營等方式相互聯網同步運行，逐步形成了由三大輸配電網構成的電力系統，如圖 3.1.3 所示，分別是東部互聯網(Eastern interconnections)、西部互聯網(Western interconnections)及德州電力可靠協調會(Electric Reliability Council of Texas, ERCOT)。而東部和西部互聯網分別與加拿大的魁北克、安大略以及濱海地區的電網併網運轉；西部的加州電網、德州電網也分別與墨西哥電網同步運行。

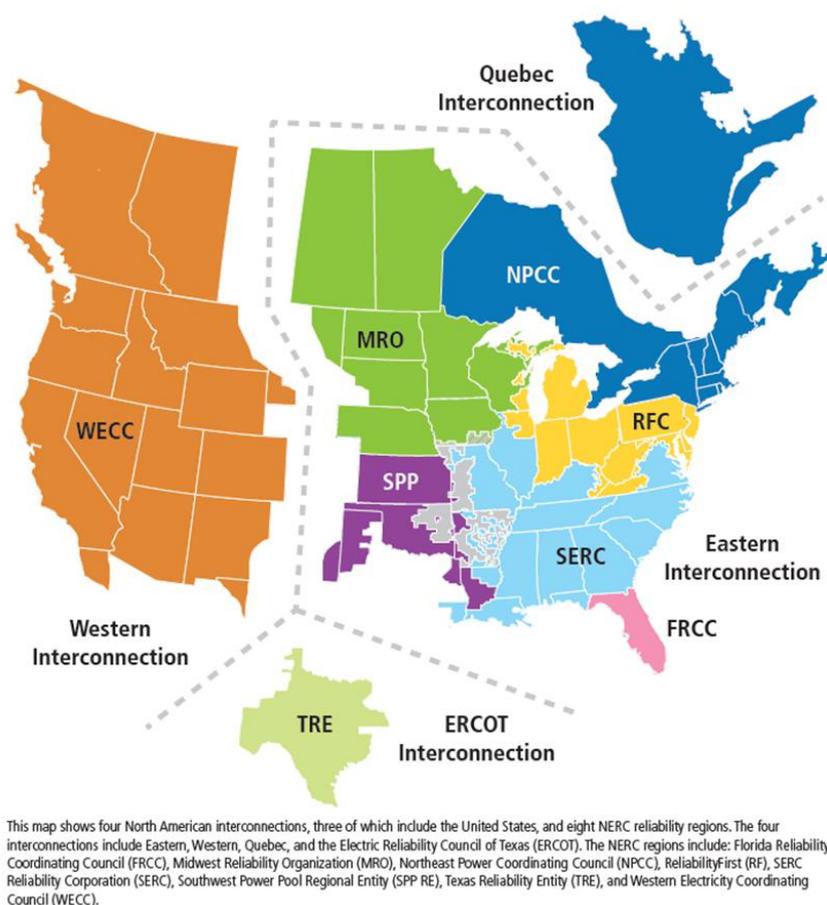
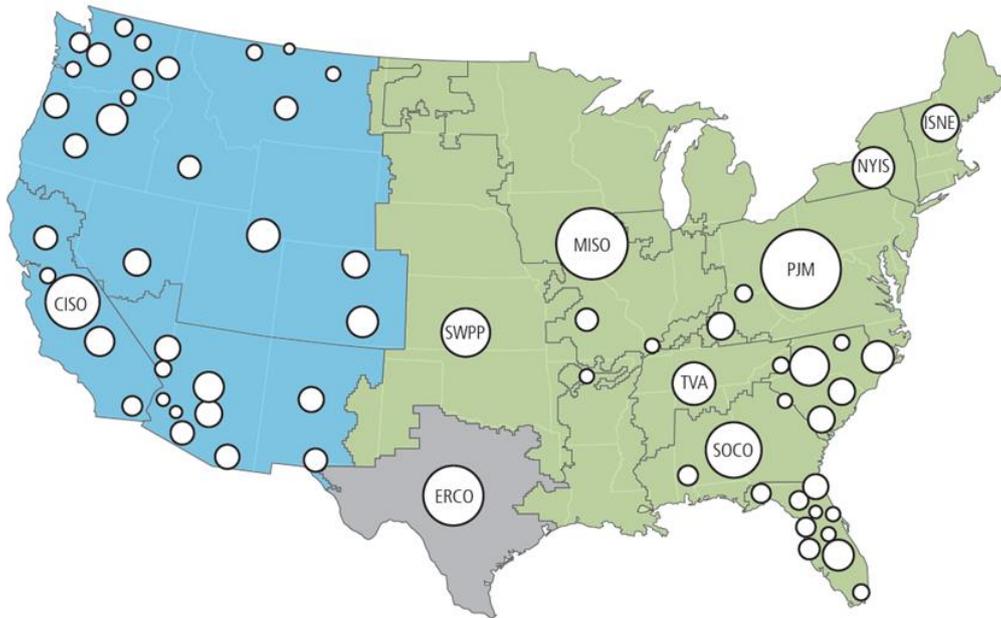


圖 3.1.3 美國三大電力傳輸網及 8 個 NERC 區域可靠度公司轄區圖

三大輸配電網彼此間大部分是獨立的，只以直流輸電線路非同步聯繫；美國電網的實體輸電系統，有 66 個電力平衡調度管理局(BA)負責管理，其分布圖如 3.1.4 所示，圖中圓圈大小大致代表其所經管

電力系統容量的大小。電力平衡調度管理局需確保即時電力供需平衡，維持電力系統安全及可靠運作。如果電力調度失衡就會發生區域或全面的斷電，因此，美國各個電力平衡調度管理局彼此間需確保電力轉換機制的適度管理，同時遵循北美電力可靠度公司(NERC)、美國聯邦能源管制委員會(FERC)所共同發布的強制性可靠度標準。

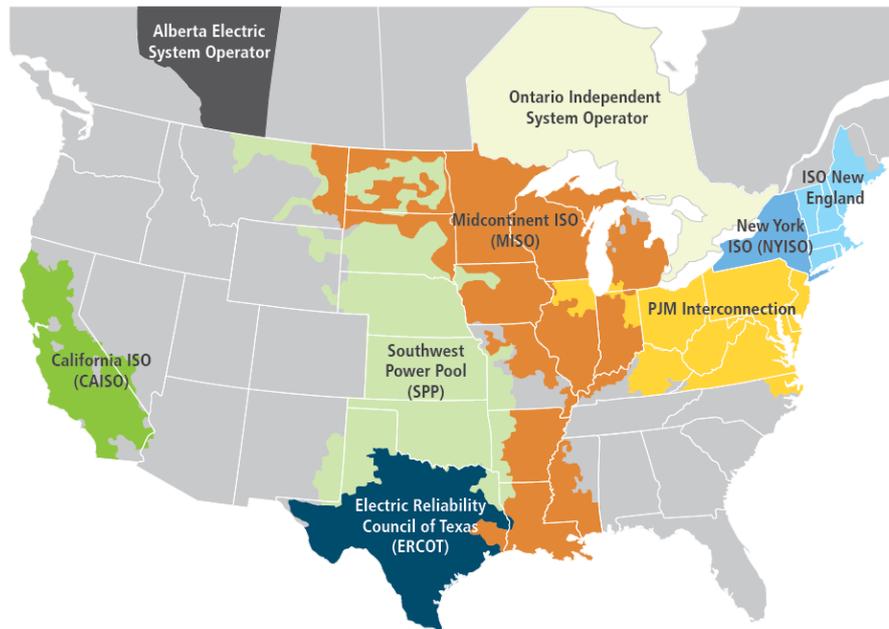


The electricity industry includes the three continental United States electricity system interconnections (Eastern, Western, and the Electric Reliability Council of Texas [ERCOT]), and the 66 balancing authorities that are responsible for maintaining a balance between supply and demand within their areas. The location of the balancing area bubbles is approximate, and the size represents a rough indication of the size of the system managed in each area.

圖 3.1.4 美國三大電力傳輸網及 66 個電力平衡調度管理局分布圖

大部分的電力平衡調度管理局(BA)是由負責特定區域電力平衡責任的電力公司所組成，另外區域輸配電組織(regional transmission organizations, RTO)也具有如同電力平衡調度管理局的功能，美國約 60%的電力系統是由 RTO 管理，如圖 3.1.5 所示，其中有 7 個州級或跨州的市場區域，是由區域輸配電組織(RTO)或獨立系統運營商(ISO)組織的集中式電力市場模式，其餘地區則為傳統批發市場(traditional wholesale market)模式。北美地區目前共有 9 大獨立系統調度中心，

分別為：CAISO、PJM、NYISO、ISONE、MISO、SPP、ERCOT、IESO 及 AESO，其中除 IESO 及 AESO 位於加拿大之外，7 大 RTO 或 ISO 皆在美國境內。



FERC encouraged voluntary formation of ISOs and RTOs through a series of landmark orders that paved the way for open access to transmission and created large, centrally organized power markets in the United States. There are currently seven ISO/RTOs in the United States, and their geographic extent changes periodically.

US ISO/RTO

CAISO	California Independent System Operator
ERCOT	Electric Reliability Council of Texas
PJM	PJM Interconnection
MISO	Midcontinent Independent System Operator
SPP	Southwest Power Pool
NY ISO	New York Independent System Operator
ISO NE	Independent System Operator New England

圖 3.1.5 北美 9 個(美國 7/加拿大 2)獨立系統運營商/區域輸電組織

1. 西部電力協調理事會

北美電力可靠度公司(NERC)共有 8 個區域可靠度組織(Regional Entities)，西部電力協調理事會(WECC)為其中管轄面積最大的 RE。WECC 亦為非營利公用服務機構，非電力供應商(Load-Serving Entity)。在 2011 年發生西南大停電事故的時候，WECC 同時擔任西部互聯系統的兩個管制角色；一是 NERC 的區域機構(Regional Entity, RE)，做為可靠度標準違規的執法代表機構；另一又是在 NERC 註冊的可靠度協調中心(Reliability Coordinator, RC)，負責執行西部互聯網大型電力系統(BES)可靠度運轉的最高層機構；WECC RE 與 WECC RC 同時向 WECC 董事會報告。因此，FERC 在西南大停電後批准 WECC 於 2014 年 1 月成立另一獨立的機構-尖峰可靠度公司(Peak Reliability, the Reliability Coordinator Company)，接收 WECC 的可靠度協調中心(RC)的業務，目的是排除 WECC 同時具有可靠度協調中心(WECC RC)的功能，又與做為 NERC 區域機構(WECC RE)執法角色的利益衝突。2014 年 1 月尖峰可靠度公司(Peak Reliability)開始運作，其成立的目的是要藉由 Peak Reliability 的可靠度管理機制，站在促進社會福利的角度，執行互聯電網內的大型電力系統 (BES) 全面性的即時監督，並進行必要的即時性和季節性的計劃與模擬，以確保 BES 的可靠運轉及資訊的適當分享。

目前 WECC 轄區面積約 1800 萬平方英哩(約 4660 萬平方公里)，服務人口高達 7800 萬人，尖峰可靠度公司(Peak Reliability) 轄下有 38 個電力平衡機構(BA)，涵蓋加拿大卑詩(British Columbia)及亞伯達(Alberta)兩省、墨西哥的巴哈加利福尼亞省北部、及美國華盛頓(Washington)、奧勒岡(Oregon)、加州(California)、愛達荷(Idaho)、內華達(Nevada)、猶他(Utah)、亞里桑納(Arizona)、科羅拉多(Colorado)、

懷俄明(Wyoming)州、及部分德州(Texas)、蒙他拿(Montana)、南達科達(South Dakota)、新墨西哥(New Mexico)等 13 州，如圖 3.1.6 所示。

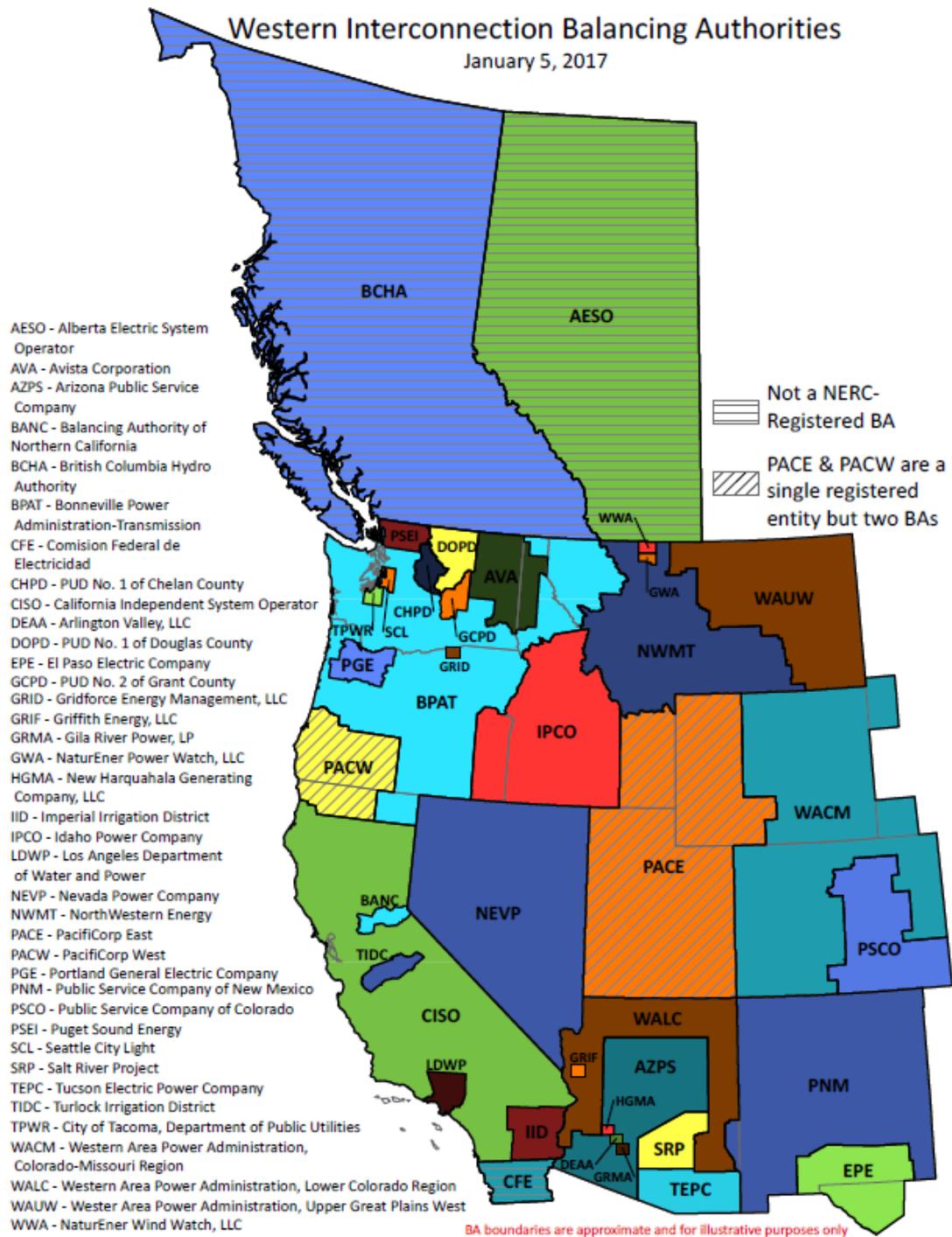


圖 3.1.6 WECC 服務範圍

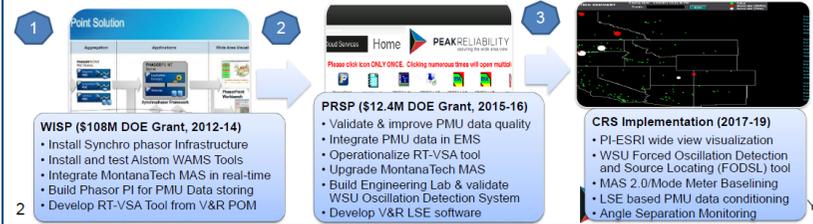
本次參訪尖峰可靠度公司(Peak Reliability)，是由 EMS 網路應用部經理 Dr. Hongming Zhang 主持會議，議程中介紹 Peak Reliability 從 2012-2016 年所執行的西部互聯網路同步向量監測計畫(Western Interconnection Synchrophasor Program,WISP) 及尖峰可靠度公司的同步向量計畫 (Peak Reliability Synchrophasor Program ,PRSP)，該計畫中已可將 400 個 PMU 的即時訊號，經計算線路潮流資訊導入 EMS 中，藉以提昇電力系統安全運轉的強韌性，尤其是在分散型再生能源大量併入系統，將同步向量量測儀導入控制中心，可增加電力系統控制的彈性。目前持續的研究是在整合 Esri 地理資訊系統來建立視覺化的操作平台，讓系統可靠度操作人員能藉由可視化介面更有效率管理控制中心的運轉作業。另針對再生能源發電預測工作方面，Dr. Zhang 表示該機構的風力發電預測應用是委由第三方來執行，而太陽光電的預測目前才在起步階段正要開始相關的研究。圖 3.1.7 為與 Peak Reliability 人員合影，同步向量計畫相關資訊如圖 3.1.8 所示。



圖 3.1.7 與 Peak Reliability 人員合影

Synchrophasor Technology Advancement at Peak

- Starting 2012 thru 2016 Peak Reliability (formerly WECC RC) led Western Interconnection Synchrophasor Program (WISP) and Peak Reliability Synchrophasor Program (PRSP) to continuously promote Synchrophasor technology in the West Interconnection. Following WISP and PRSP projects, we now turns to make Synchrophasor technology operational in Control room.



Success Story Spotlight

- Receive 400 PMUs live data from entities and down sample PMU raw signals and calculated line flows into EMS for Grid Resilience and a Hybrid SE Solution.
- Proven successful in System Model Validation (MOD-033) using PMU by Peak online TSAT and offline GE/PSLF tools.
- Integrated MontanaTech MAS tool in GE-Alstom PhasorPoint (PP) and send online PP/MAS results in EMS. Enable calculating major inter area oscillation modes in real time for Mode Meter baselining.
- Develop Forced Oscillation Detection and Source Location (FODSL) tools in collaboration with WSU. Capture oscillation events and source units effectively.
- Collaborated with V&R Energy to develop Real-time-Voltage Security Analysis (RT-VSA) tool-Peak ROSE for monitoring IROls in Control room.

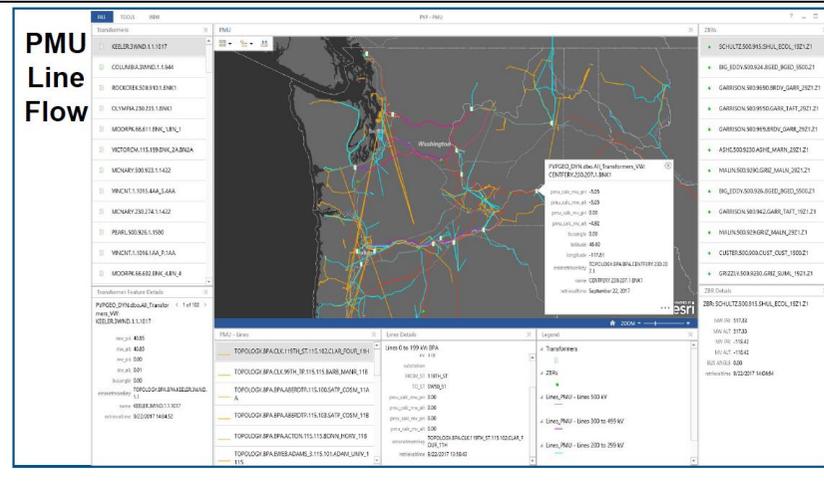
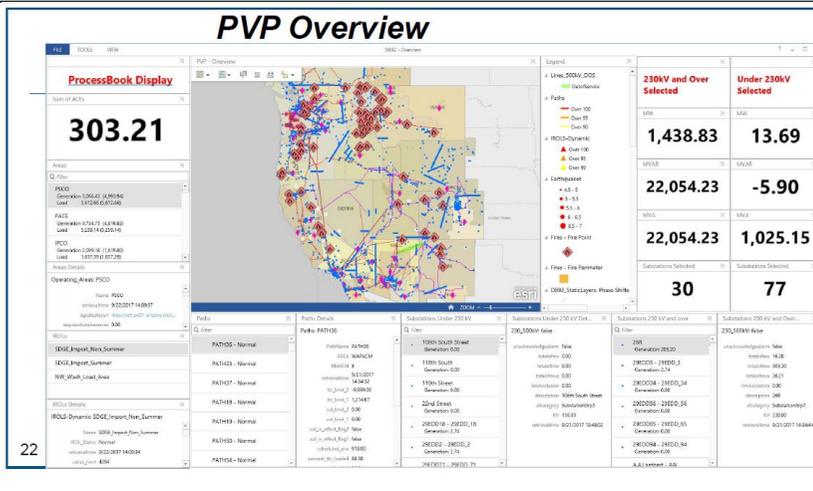


圖 3.1.8 Peak Reliability 的同步向量計畫資訊

2. 加州電力調度中心

(一) CAISO 簡介

加州電力調度中心(California Independent System Operator, CAISO)是在 1998 年由加州州議會立法成立，其董事會(Board of Governors)由 5 人組成，成員由加州州長提名，經州議會同意任命。CAISO 為北美九個獨立系統調度機構/區域輸電組織(ISO/RTO)其中之一非營利機構，負責營運加州約 80%與部分內華達州地區，近 3000 萬人口的電力市場以及管理其電網可靠度，營運經費來源是來自收取電網用戶(含發電端、負載端)的電網管理費用(Grid Management Charge, GMC)，及收取電力市場交易方的手續費用。CAISO 的電網運轉操作受到下列 4 個單位監管：

- (1)聯邦能源管制委員會(FERC)、
- (2)加州公用事業委員會(CPUC)、
- (3)北美電力可靠度公司(NERC)、
- (4)西部電力協調委員會(WECC)。

美國西部互聯電網是由 WECC 所管轄，CAISO 為其轄內 14 個州成員之一，但根據 2018.1.2 CAISO 網站上發布的新聞指出，2019 年春季開始，CAISO 將離開 Peak Reliability(前 WECC RC)，成立自己的 Reliability Coordinator(RC)，並將為西部各州的平衡管制局(BA)提供服務。

CAISO 負責加州地區高壓輸電網路之運作，並負責管理躉售電力市場及提供電力系統之可靠度規劃等相關工作，其服務範圍如圖 3.1.9 所示。CAISO 為美國西部互聯電網內 38 個電力平衡管理局(BA)

規模最大，管轄的電力約佔西部電網 35%。截至 2017 年 6 月，CAISO 系統裝置容量為 71,417MW，系統尖峰負載發生於 2006 年 7 月 24 日為 50,270MW，年度交易金額約為 110 億美元，每天約有 27,000 筆交易，輸電線路共 26,000 英里。轄區內有太平洋瓦斯及電力公司(Pacific Gas & Electric, PG&E)、南加州愛迪生公司(Southern California Edison, SCE)、山谷電力協會 Valley Electric Association(VEA)、聖地牙哥瓦斯及電力公司(San Diego Gas & Electric, SDG&E)等 4 家電力公司(如圖 3.1.10)，服務之用戶約 3000 萬戶。

2012~2016 年 CAISO 系統負載如表 3.1.1 所示。2016 年 CAISO 年平均負載及尖峰負載於前一年(2015 年)，平均負載為 26,047MW，尖峰負載量為 46,232MW。總體而言，過去 5 年的負載變化相對穩定，5 年來最高的尖峰負載發生在 2015 年，尖峰負載量為 47,257MW。

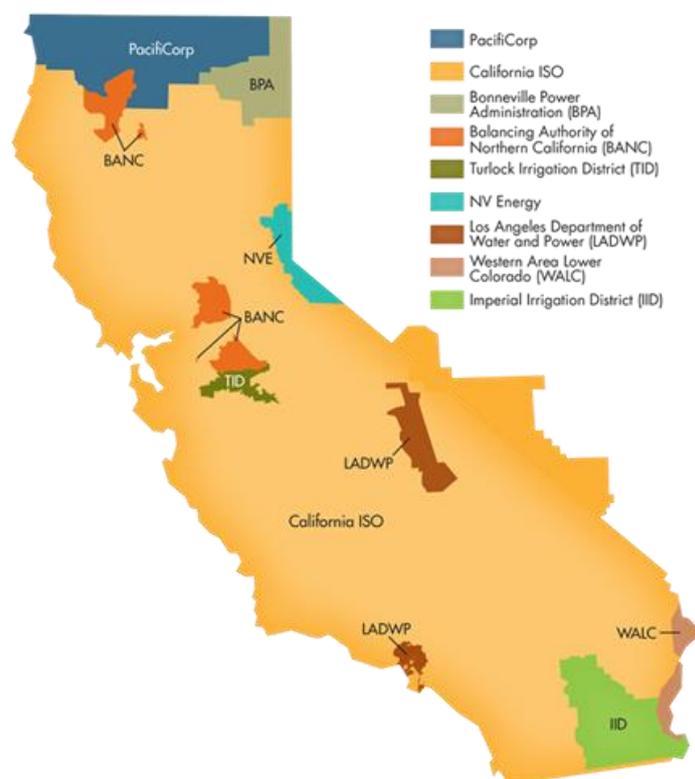


圖 3.1.9 CAISO 服務範圍



圖 3.1.10 加州 4 大電力公司服務範圍

表 3.1.1 2012~2016 年 CAISO 系統負載

Year	Annual total energy (GWh)	Average load (MW)	% change	Annual peak load (MW)	% change
2012	234,584	26,740	3.7%	46,847	2.9%
2013	231,800	26,461	-1.0%	45,097	-3.7%
2014	231,610	26,440	-0.1%	45,090	0.0%
2015	231,495	26,426	0.0%	47,257	4.8%
2016	228,794	26,047	-1.4%	46,232	-2.2%

CAISO 主要電力來源為「天然氣」和「外州進口」的發電量，2016 年天然氣發電量占比約 32%，外州進口約 28%，再生能源約 20%，核能約 8%，水力發電約為 10%。圖 3.1.11 為 2016 年 CAISO 每月平均每小時各燃料別之發電比例。圖 3.1.12 則顯示目前再生能源裝置容量約占全系統容量的 29%，其中太陽光電占再生能源的 48%，加州大量的再生能源機組併網，對 CAISO 系統也造成不同於其他區域的影響，詳如後述。

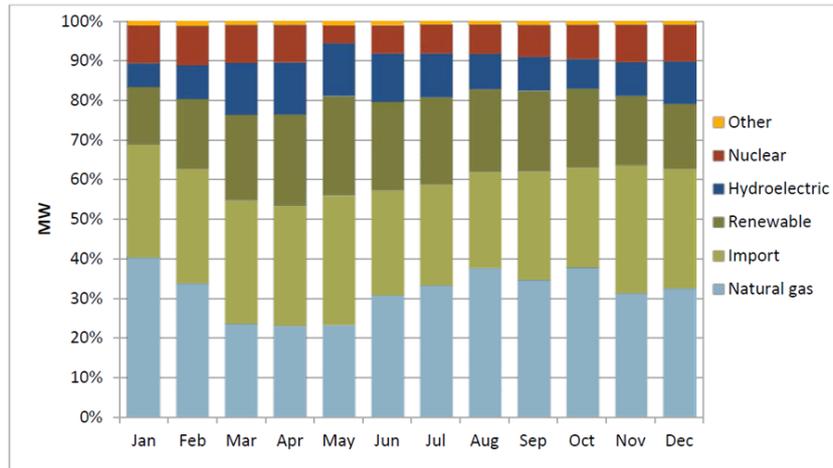


圖 3.1.11 2016 年 CAISO 每月平均每小時各燃料別之發電比例

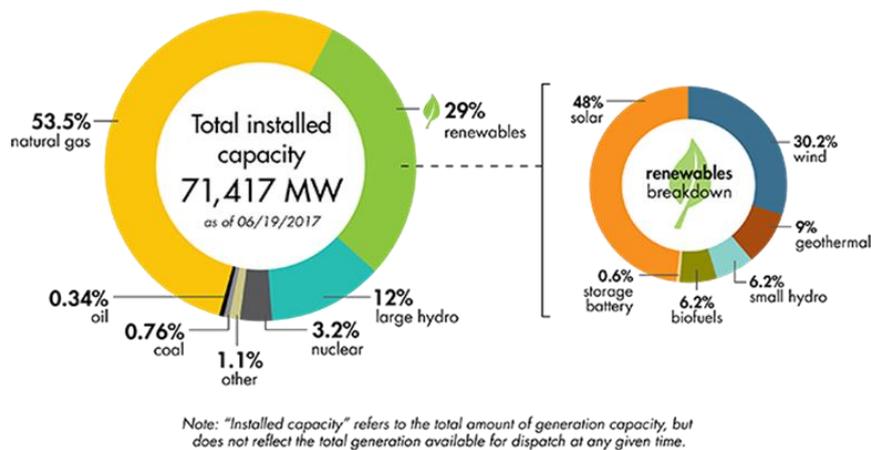


圖 3.1.12 CAISO 各燃料別裝置容量

加州正積極推動再生能源發展，由於在 2030 年前加州溫室氣體排放量將減至低於 1990 年標準之 40% 的目標，因此透過法案(SB350) 要求， 2030 年之前加州再生能源電力採購量須達 50%。為達此一標準，加州能源管理委員會修正了「再生能源投資準則」(Renewables Portfolio Standard, RPS)，該投資準則要求在 2016 年底之前，加州公用事業機構(POUs)、投資者擁有的公用事業(IOUs)、電力服務提供商及社區選擇合作商的再生能源電力總採購量須達 25%，2020 年底以前達到 33%，2030 年以前採購量須達 50%。2015 年加州由投資者所

擁有的三大公用事業(IOWs)包括「太平洋瓦斯電力公司」、「南加州愛迪生電力公司」及「聖地牙哥瓦斯電力公司」等，其再生能源電力採購比例已佔總零售電力之 27.6%。

而如前述，當大量太陽光電併入電網後勢必將改變系統負載的型態，白天太陽光電抵銷大量負載，而到了傍晚因太陽光電無法發電而導致負載突升，此負載特性之趨勢形似鴨子所以也被稱為「鴨子曲線」(Duck Curve)，如圖 3.1.13 所示，圖中顯示 2016 年 5 月 15 日淨負載為 11,663MW，即鴨子曲線已經來到 2012 年時所預估 2020 年才會出現的情境；圖 3.1.14 是 CAISO 開發的 APP 中即時負載、再生能源發電量、淨負載及即時電價顯示圖，可以看出在傍晚時分負載量急速上升的情形(Ramping)，對 CAISO 而言這是個巨大的挑戰，在春夏季下午離峰至傍晚尖峰負載可能在數小時之內劇升 10 至 15GW，因此勢必採取各項因應對策。另由於再生能源陸續併入電網中，扣除風力及太陽光電後淨負載將持續降低，且由於系統必須維持固定容量之強制運行機組 (must run)，導致 2014 年、2015 年開始在白天出現負電價之頻率大幅增加，2020 年之後將出現過多電源之風險，且由於供給過剩問題持續增加，在電力系統中出現負電價之頻率將逐漸提高，因此除進行電源端減量輸出之外，也必須搭配儲能設備來協助維持電力系統之平衡。而 CAISO 目前為使更多再生能源整合進入電網中，提出的解決方案，包括推動時間電價、需量反應方案、儲能系統等。

隨著再生能源和分散式發電(Distributed Energy Resources, DERs)的大量併入電網，系統的彈性越來越重要。加州政府也要求三大公用事業(IOWs)需提交分散式能源規劃(distributed resource plans, DRPs)，內容需詳細評估 IOWs 如何將 DERs 作為分散式電網資產的一部分，

也就是要執行 Distributed Energy Resources Management System (DERMS)工作。除此之外，儲能系統可以透過降低輸配電成本、增加備用容量、提供輔助服務、移峰填谷轉移電力需求時間，藉以提高電網的提高彈性。因此，2010 年加州政府通過法案要求 CPUC 制定合適的儲能採購目標量，加州的儲能發展以政策來主導要求三大 IOUs 執行。2013 年 10 月，根據 AB2514 法案 CPUC 規劃了儲能採購框架，訂下要求加州三大 IOUs (PG&E、SCE 和 SDG&E) 2020 年裝設 1,325MW 儲能系統的目標。後又根據法案將 2020 年的裝機容量目標提高了 500MW，2020 年時儲能裝置容量將達到約 1.8GW。在政策引導下，2016 年底已經達成儲能目標 1.8GW 的一半。其中二個大型儲系統分別是：2017 年 1 月，特斯拉為南加州愛迪生公司 (SCE) 的 Mira Roma 變電所建置輸出功率 20MW，總容量 80MWh 的儲能系統，成為當時全球最大的電池儲能系統；2017 年 2 月 AES 公司在加州 Escondido 市為聖地牙哥瓦斯電力公司 (SDG&E) 設置輸出功率 30MW、總容量 120MWh 的儲能系統。

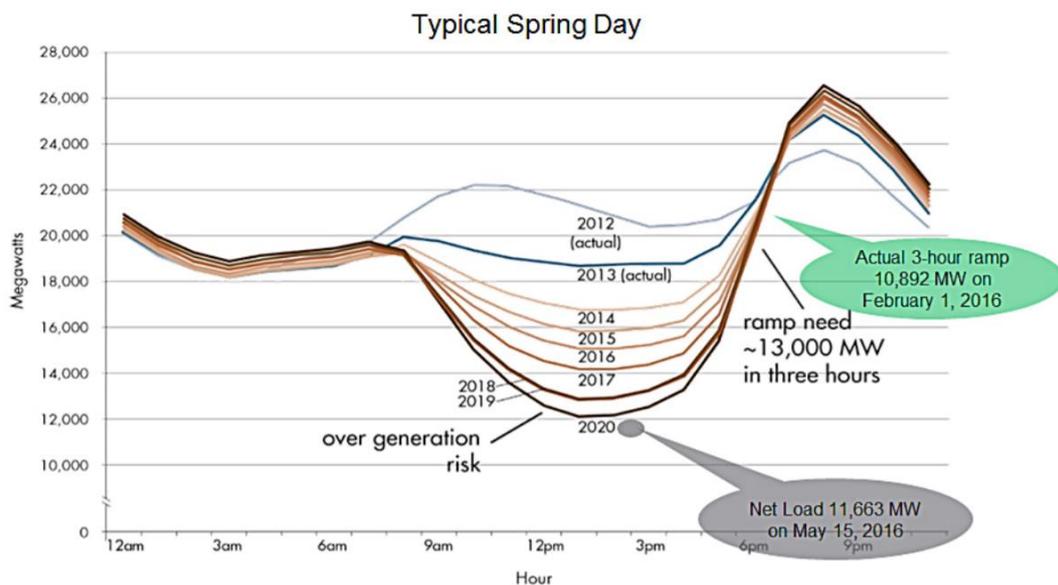


圖 3.1.13 加州大量太陽光電併入系統造成之「鴨子曲線」

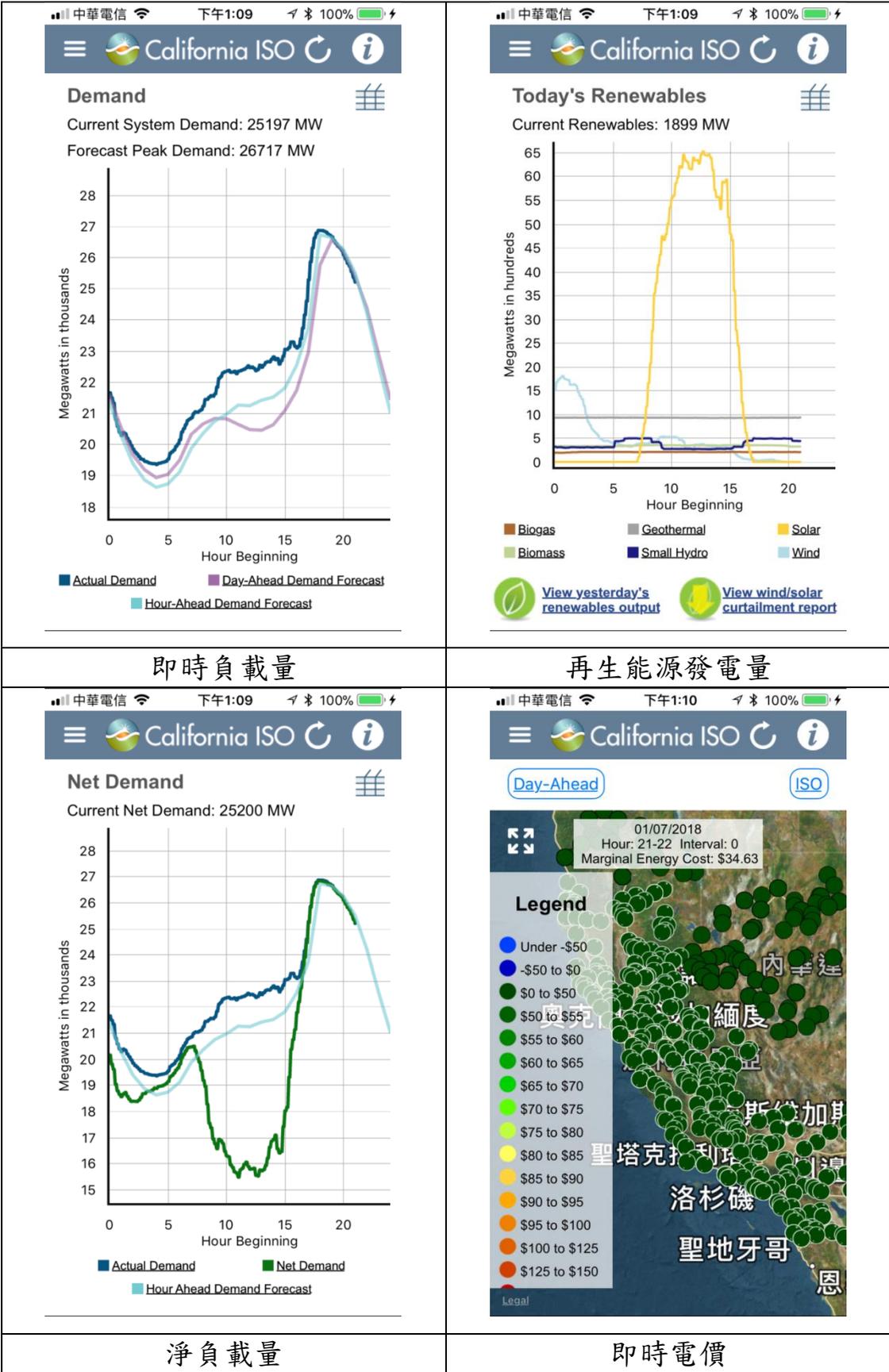


圖 3.1.14 CAISO 即時負載、再生能源發電、淨負載、即時電價圖

2016 年 CAISO 系統裝置容量新增約 2,300MW，在 PG&E 地區約增加約 500MW，在 SCE 與 SDG&E 地區約增加約 1,800MW；此外有超過 200MW 的容量除役，包含地熱和風力發電及較舊的燃氣電廠約 130MW。表 3.1.2 為 2007-2016 年 CAISO 電廠新增與除役機組裝置容量。圖 3.1.15 為 CAISO 2013~2016 年各類再生能源發電量，在 2015 年太陽光電首度成為 CAISO 最大之再生能源發電量，在 2016 年太陽光電相較 2015 年又增加約 32%；風力發電增加約 12%；地熱發電減少約 8%；生質能發電減少約 2%。圖 3.1.16 所示為 2016 年 CAISO 水力、風力及太陽光電各月平均發電量比較。太陽光電每月之平均發電量皆大於風力發電，水力與風力發電則是在 6 月份發電量達至高峰。

表 3.1.2 2007-2016 年 CAISO 電廠新增與除役機組裝置容量

	2007-2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total through 2016
<i>SCE and SDG&E</i>							
New Generation	3,081	1,054	3,045	1,431	547	1,819	10,977
Retirements	(1,116)	(452)	(1,883)	(16)	(1,062)	(69)	(4,597)
Net Change	1,965	602	1,163	1,415	(515)	1,750	6,380
<i>PG&E</i>							
New Generation	2,558	1,033	2,411	426	401	503	7,332
Retirements	(563)	(114)	(674)	(650)	0	(113)	(2,114)
Net Change	1,995	919	1,737	(224)	401	390	5,218
<i>ISO System</i>							
New Generation	5,639	2,087	5,456	1,858	948	2,322	18,309
Retirements	(1,679)	(566)	(2,557)	(666)	(1,062)	(182)	(6,711)
Net Change	3,960	1,521	2,899	1,192	(114)	2,140	11,598

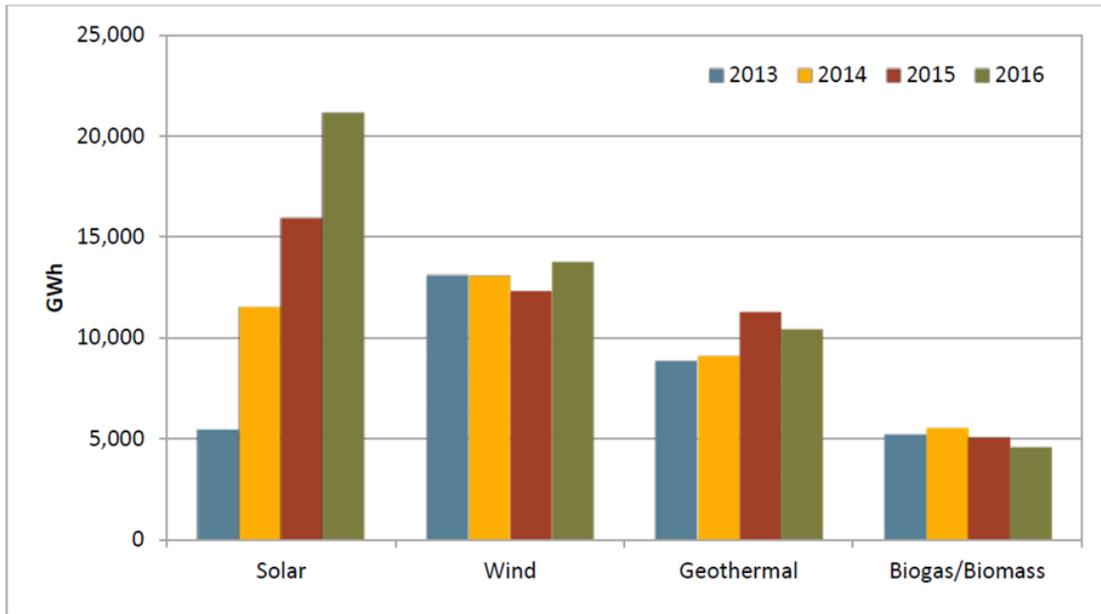


圖 3.1.15 CAISO 2013~2016 年各類再生能源發電量

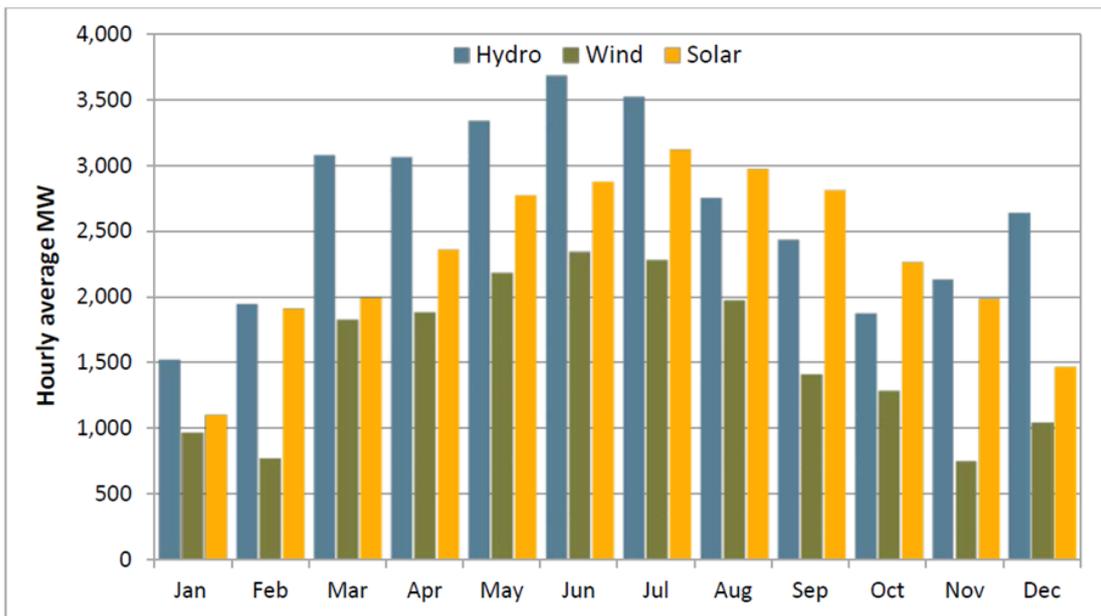


圖 3.1.16 CAISO 水力、風力及太陽光電各月平均發電量

(二) CAISO 電力市場

CAISO 的控制中心分主、副兩地，主控制中心位於舊金山東北邊的佛森(Folsom)，如圖 3.1.17；備援系統設置於南加州洛杉磯附近的阿罕布拉(Alhambra)，具備與主控制中心相同之設備。

CAISO 電力市場，包括電能市場(日前與即時)、輔助服務市場、壅塞管理及不平衡市場等，其中日前市場有二個為 Integrated Forward Market(IFM)、Residual Unit Commitment(RUC)，即時市場有三個 Hour-Ahead Scheduling Process(HASP)、Real-Time Pre-Dispatch (RTPD)、Real-Time Dispatches(RTD)。CAISO 是一個節點市場，節點定價是以局部邊際電價(LMP)來定價，由系統的能量(Energy)價格、阻塞(Congestion)、邊際損失(losses)三部分組成。在這種市場格局中每個發電機的位置是一個定價節點，按該節點的節點電價支付；負載是按一個分區內所有節點電價的加權平均價格收費。輔助服務也是根據包括區域需求來決定，所以價格也是依區域進行結算。CAISO 年度交易額約為 110 億美元。目前 CAISO 的電力市場結構如圖 3.1.18 所示，是由具競爭性的發電市場、電力調度中心、排程協調者(Scheduling Coordinators, SC)、零售業者(Retailers)及配電公司(UDC)等為主體所組成。



圖 3.1.17 CAISO 調度主控制中心

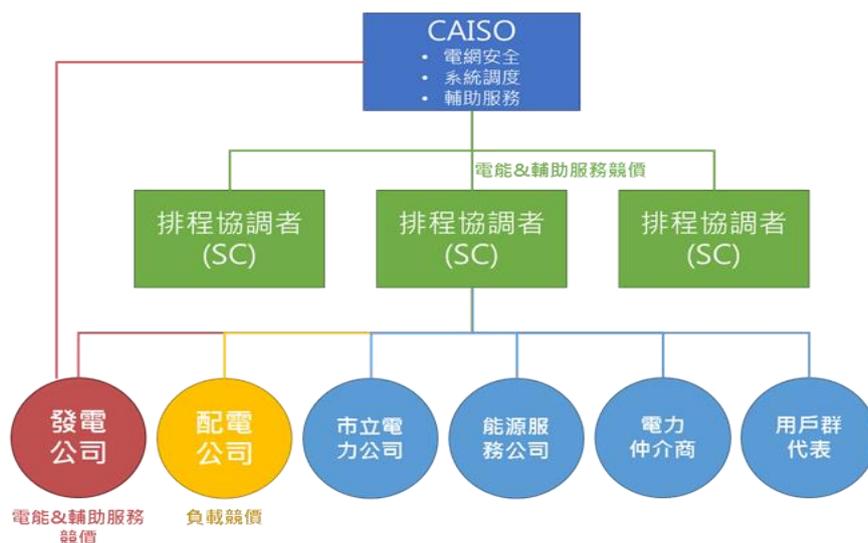


圖 3.1.18 加州電力市場架構

(三) CAISO 的職責

1. 協調一天前(DA)的市場、小時前(HA)的市場，平衡即時市場的電力供給和消耗。
2. 遵照北美電力可靠度公司(NERC)和西部電力協調理事會(WECC RC)所訂定的操作和可靠度標準。
3. 調度、控制轄區內電力公司所擁有的互連電力系統。
4. 為所有的電網用戶提供非歧視、公開的輸電服務以及其他輔助服務。
5. 以整個電網為基礎，協調管理電力網壅塞和停電(故障或檢修)，所有的市場參與者擁有相同的參與原則和相同的市場邊際價格。
6. 透過競爭機制獲取系統輔助服務，並且與電能市場分開，並將電能和輔助服務作為整體供應用戶。
7. 維持輸電系統的穩定運行，制訂電力網的擴充計劃。

(四) 加州再生能源發展目標與主要議題

1. 加州再生能源發展目標為 2020、2025 及 2030 年的占比分別達 33%、40% 及 50%，風力與太陽能的裝置容量將會大幅度增加，其中 2014 年到 2020 年、風力裝置容量將由 7GW 增加 8GW、太陽光電廠將由 6GW 增加至 11GW、分散式的太陽光電將由 5GW 增加至 12GW。系統最大的變化在於分散式的能源供需，總額高達 15GW，最大的來源是分散式的太陽光電 12GW，另有 2GW 需量反應、1.3GW 儲能裝置。
2. 加州電力市場關於再生能源的主要議題包含相關技術的發展與使用、再生能源發電占比預估、再生能源發電預測(包含分散式太陽光電)、間歇性的發電資源如何調度與控制、頻率變動的衝擊、發電端如何滿足負載變動、電力品質與系統穩定度、能源儲存技術與市場發展、線路壅塞的解決方式、虛功率的調整等議題。
3. 未來預期將有過量的再生能源發電以及日負載變動率過高難以因應的情況發生，為此 CPUC 與 CAISO 訂定長期運轉計劃 (Long Term Planning Process, LTPP)，LTPP 每兩年檢討一次，決定再生能源與傳統火力電廠配置以確保系統在未來 10 至 20 年的供電可靠性。

由於 CAISO 總部對於外界參訪有嚴格的管制要求，過程中嚴禁攜帶任何電子產品，因此在參訪其總部期間，會有專人先依事先申請的參訪需求安排參觀動線，首先對 CAISO 的組織、業務內容進行介紹，再依參訪業務與相關人員進行進一步的交流討論，圖 3.1.19 為與 CAISO 人員合影照片。



圖 3.1.19 與 CAISO 人員合照

3. 太平洋瓦斯電力公司

太平洋瓦斯電力公司(Pacific Gas and Electric Company, PG&E)成立於 1905 年，總部設在舊金山，供應該地區天然氣與電力，是當地最大公共事業公司之一，亦是全美數一數二同時提供天然氣與電力的公司。1996 年加州眾議院通過電業解制法案(Assembly Bill 1890)進行加州電業自由化。1997 年 PG&E 公司配合解制法案進行重組成立 PG&E 控股公司，將太平洋瓦斯及電力公司的發、輸、配、售電分割，成為 PG&E Corporation 的子公司，輸電系統控制權交由 CAISO 管理，並售出大部分發電廠僅保留 6.8GW 的發電容量，以確保在電力市場的競爭性。

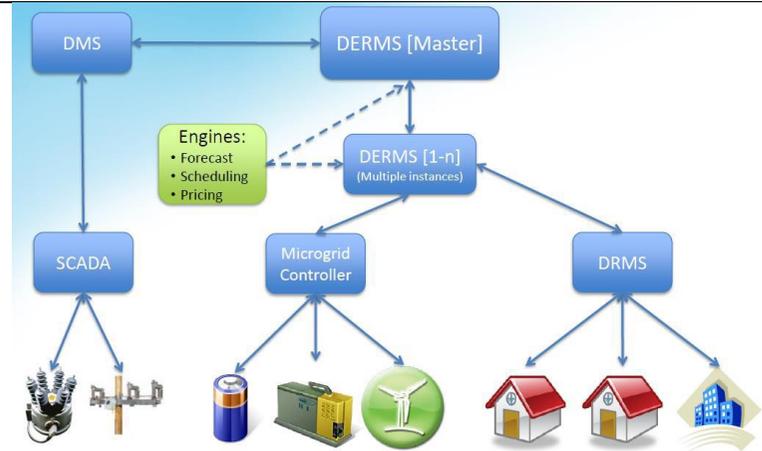
PG&E 公司有 2 萬名左右的員工，負責執行最主要的天然氣及電力供應任務，其擁有 7 萬平方英哩的服務轄區，提供加州北、中部約 1,500 萬民眾的天然氣(430 萬戶)與電力(540 萬戶)服務。主要服務範圍係從北邊的 Eureka 延伸至南邊的 Bakersfield，由西邊的太平洋沿伸至東的 Sierra Nevada。目前的營業項目以輸配電與售電為主，輸配電系統擁有 18,616 英哩互聯傳輸線路及 141,215 英哩配電線路，在 FERC 及 CPUC 的監督下，接受 CAISO 的調度指令，所發的電力必須透過加州電力交易所(PX)交易，配電部門也必須向 PX 購買電力。

由於 PG&E 公司轄區的太陽光電系統裝置容量是全國各電業之冠，截至 2016 年 7 月已超過 25 萬座 PV 系統併入電網，平均每個月還有 6000 座新系統併入，同時在加州的 20 萬輛電動汽車中，也有 8 萬 5 千是位於 PG&E 公司配電網服務範圍，因此如何確保在太陽光電的高滲透率及變動負載情境下，提供安全可靠、具成本效益、可永續發展和靈活的能源服務是 CPUC 及 PG&E 所共同關注的議題。在

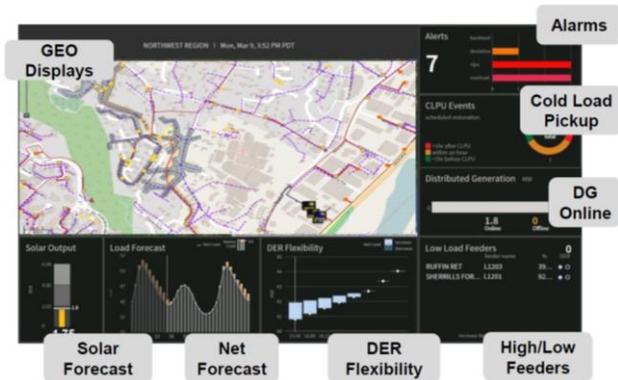
本次 PG&E 公司參訪期間，即由其電網運轉系統部門的資深經理 Sherman Chen 負責主持會議，介紹該公司因應分散式能源資源(DERs)的規劃需求，目前所執行的分散式電能管理系統(Distributed Energy Resource Management System, DERMS) 計畫及 Grid Ops Situational Intelligence (GOSI)計畫，其計畫概要如圖 3.1.20，3.1.21 所示。

PG&E 公司的 DERMS 計畫，結合 GE 電網事業群所開發的分散型能源管理系統、Enphase Energy 公司的智慧變流器及 Solar City 公司的智慧變流器與住宅型儲能整合系統，初期選擇在饋線壅塞地區試行計畫，如配電網壅塞的聖荷西地區有 150 個家用戶及 20 個商業用戶進行示範計畫，該計畫是 CPUC 建立電力投資先導計畫(EPIC)專案計畫基金中的一項計畫，目的就是要透過示範計畫來進行新技術研發達到技術的商品化應用，同時也解決加州分散式能源高透率之影響及評估因應策略。PG&E 公司執行的 DERMS 計畫是全美第 1 個 DERMS 執行案例，其同時在配電端建立分散式電能市場，利用智慧電網與智慧型逆變器(Smart Inverter) 技術，整合、調控轄區內的太陽光電與住宅型儲能電池等系統，以期能在用電高峰期間對公司與用戶皆能獲得最佳經濟效益，同時也利用大數據分析與評估最佳的儲能系統場址。PG&E 初期選在聖荷西地區示範 DERMS 如何進行分散式電能整合及應用功能，後續還將發展 GOSI/GODO 產品，結合大數據演算分析、智慧診斷及視覺化設計，將電網中的即時資訊、故障診斷、預測分析等資訊導入可視化之管理平台，以使配電控制中心人員能更易於掌握即時電網資訊，進而執行電網中的瞬間快速變動之應對決策。

- DER Aggregator (Virtual Power Plant)
 - Real-time monitoring and control for DER
 - Provides DMS appropriately aggregated view of DER
- Grid Optimizer
 - Coordinates conventional grid assets (capacitors, LTCs, etc) and DER
 - Optimizes operations based on current network topology
- Market Enabler
 - Provides market signals to DER



PG&E MV/LV Situation Awareness and DER Flexibility Dispatch



DER scheduling and response



圖 3.1.20 PG&E 公司的 DERMS 系統架構及應用例

Situational Intelligence Tech Demonstration

PG&E is supporting Electric Ops with visualization and analytics

- Grid Operations Situational Intelligence
 - GOSI or go-see
 - Combine isolated data into one viewing window
- Grid Operations Decision Optimization
 - GODO or go-do
 - Add analytics on top of GOSI to provide insights

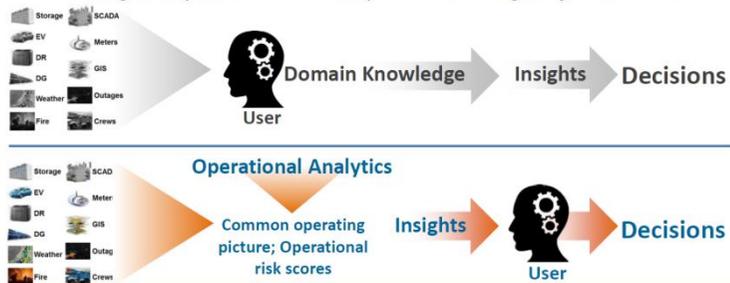
Grid Ops Situational Intelligence

GOSI allows users to “go see” what is happening in real time



From Awareness to Intelligence

Adding analytics to the data produces insights for the user



Growing Analytics

As analytics advance, the required human input decreases

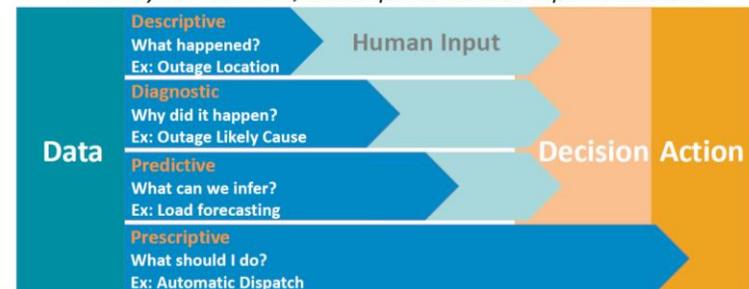


圖 3.1.21 PG&E 公司的 GOSI/GODO 系統架構及應用例

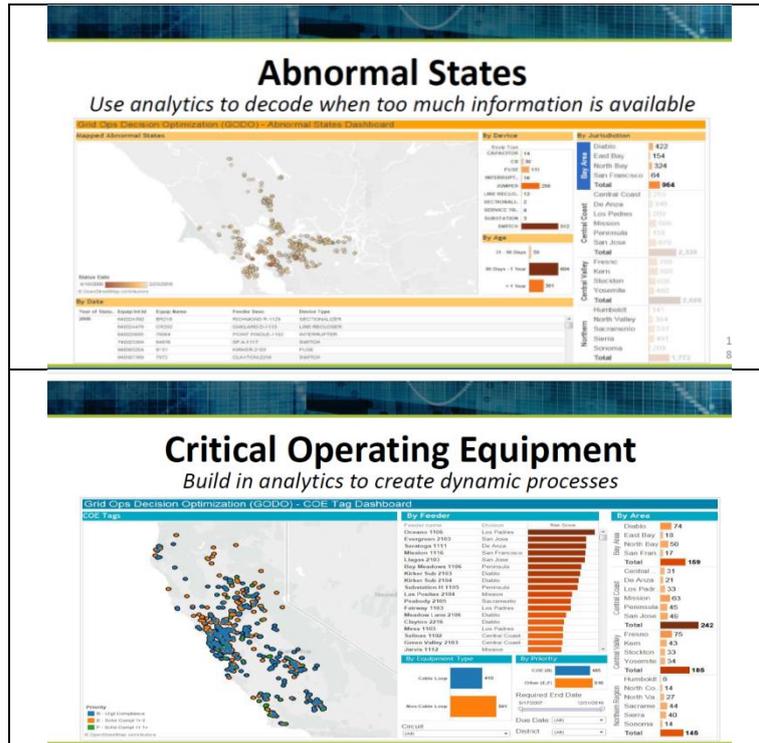


圖 3.1.21 PG&E 公司的 GOSI/GODO 系統架構及應用例(續)

另 Sherman Chen 經理提及，該公司的組織架構在技術應用部門與 IT 部門間會有一個系統整合的部門，以協助應用端在導入新的系統平台時，能得到 IT 部門在軟硬體資源及資安的技術支援，此部門的功能除可最佳化應用系統的布建需求，也有助於整合公司內部的資訊應用資源同時兼具資安的全面管理。圖 3.1.22 為與 PG&E Sherman Chen 經理合影照片。

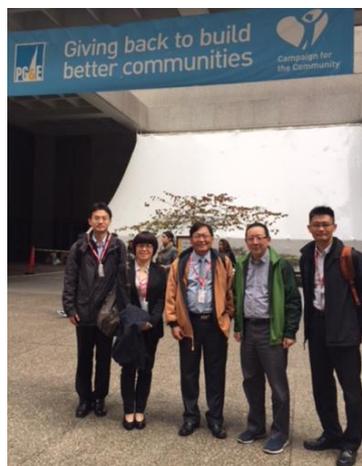


圖 3.1.22 與 PG&E Sherman Chen 經理合影照片

4. 聖地牙哥瓦斯電力公司

聖地牙哥瓦斯及電力公司(SDG&E)成立於 1881 年，是美國 Sempra 能源公司在加州地區提供電力和天然氣的公用事業(IOU)公司子公司，員工超過 3000 人，為 140 萬住宅和商業用戶提供安全、可靠的電力與能源需求；主要服務地區涵蓋加州橘郡南部及大部分的聖地牙哥地區，服務面積約為 4,100 平方英哩；圖 3.1.23 為 SDG&E 於加州的供電區域圖。



圖 3.1.23 SG&E 服務範圍

SDG&E 公司的宗旨為致力於提高該區域的生活品質，並積極發展該地區的能源替代方案，並且希望能透過穩定的能源供給，提升該地區的經濟競爭力。Sempra 能源公司在美國的能源公用事業包括 SDG&E 及南加州天然氣公司，這兩者皆是受管制的公用事業。他們所服務的地區涵蓋多樣化的業務需求，其範圍從墨西哥邊境北邊至加州中部，該服務範圍占地面積達近一半的加州，涵蓋 13 個郡(次於州的行政區)、243 座城市與高達 2150 萬的人口，其中 600 萬平方公尺

為住宅區、28.2 萬平方公尺為商業與工業區。圖 3.1.24 為 Sempra 能源集團公用事業組織圖。

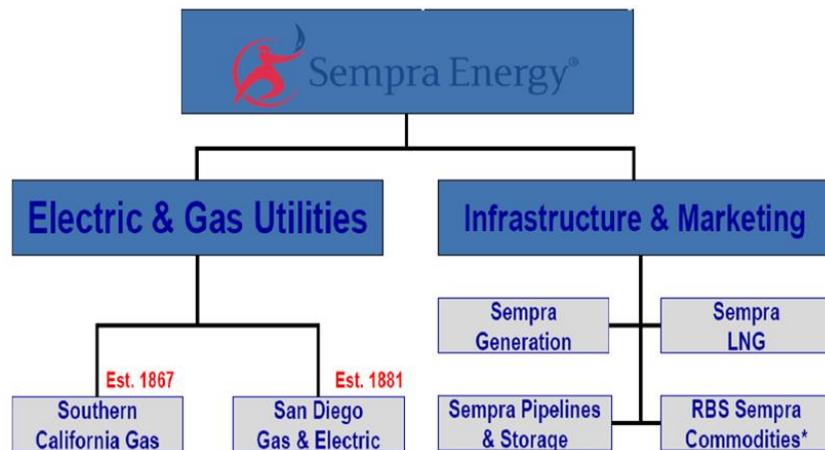


圖 3.1.24 Sempra 能源集團公用事業組織圖

在拜訪 SDG&E 期間，同時參訪其母公司 Sempra Energy 與 OSISoft 公司共同成立 PXiSE 公司，該公司利用 PI System、相量測量單元(PMU)與智慧電網技術發展出一套有別於傳統電力系統控制的技術，PXiSE Advanced Control Technology (PXiSE ACT)。傳統控制技術速度慢，涉及的維護時間也較複雜，PXiSE ACT 是一種高速且精確的電力控制解決方案，其技術關鍵點是利用 PMU 以 60 次/秒高速取樣的數據，結合先進的控制邏輯來驅動電網的穩定性控制，如圖 3.1.25 所示，達到系統有效功率和無效功率的即時動態目標值控制，並可同步協調控制系統內的多種再生能源組合資源。PXiSE ACT 目前已在夏威夷茂宜島的一座 24MW 風場進行測試，該方案已展現可併網更多的風力發電量、以及功率控制、頻率監視，並可接受島上電網控制中心的頻率控制，應用實例如圖 3.1.26 所示。該公司總裁 Patrick T. Lee 及技術長 Dr. Chuck Wells 表示，PXiSE ACT 在微電網上已展現良好的控制績效，後續會大力推廣應用於再生能源與儲能系統

的分散式電網中，以驗證其具經濟性及效能優異的調控應變能力以穩定併聯大量再生能源的電網，並提高再生能源比例及從用戶到電力公司、區域電網間欠彼此協調的效率。圖 3.1.27、3.1.28 分別為與 SDG&E 人員、Sempra Energy 公司人員合影。

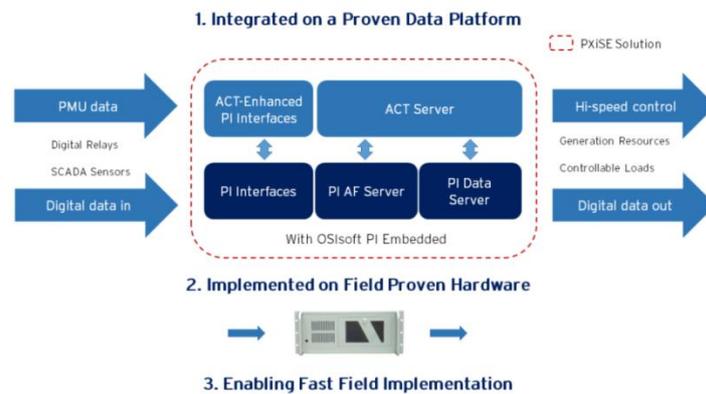


圖 3.1.25 PXiSE ACT 架構圖



圖 3.1.27 與 SDG&E 公司人員合影



圖 3.1.28 與 Sempra Energy 公司合影

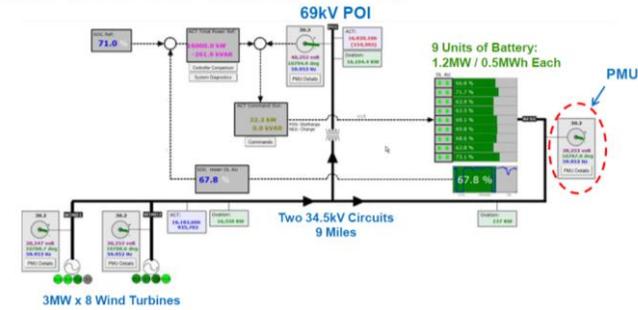
Fast 2-week implementation at Auwahi Wind Farm



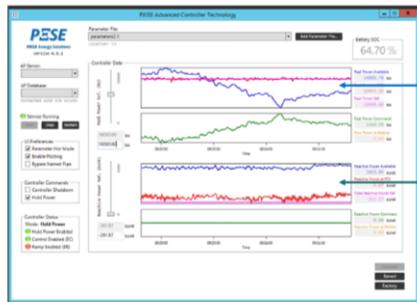
- Wind Farm Commissioned in 2012**
- 24 MW Wind Turbines (3MW x 8)
 - 11MW / 4.4 MWh Li-ion Battery Storage
 - Existing SEL Relays with built-in PMUs
 - Hardware added 2017: PXiSE Computer & I/O Controller

- Control Capabilities**
- Existing Controller (2012 - Industrial PLC/Computer):
 - Ramp Control of Real Power Only
 - PXiSE ACT (2017):
 - Ramp Control of Real and Reactive Power
 - Advanced Frequency and Volt./Var Control

PXiSE PMU-based high-speed feedback control at Auwahi Wind Farm with battery storage



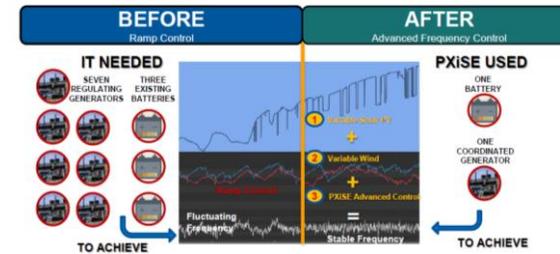
High-speed precision real and reactive power control



Real Power scheduling and curtailment management

Reactive power volt. / var management

Demonstrated result: Operational value with ACT + battery



- Value to an Asset Owners:**
1. Reduce generator capital, O&M, and fuel costs
 2. Enable further increase of renewable mix to lower energy cost

圖 3.1.26 PXiSE ACT 在夏威夷茂宜島的 24MW 風場的應用例

5. OSIsoft 公司

OSIsoft 公司簡介

OSIsoft 公司總部位於加州聖萊安德羅市(San Leandro, CA)。PI System 為該公司唯一產品，是一個開放的資料基礎架構，可以從感測器即時收集大量資料，透過對資料進行高效的儲存、處理和共用，並經過分析以及高效的視覺化處理，提供給操作人員與管理者隨時進行監控，亦即是提供資訊系統整合之橋樑，藉以挖掘出公司企業內巨量數據所隱含價值的利器。PI System 30 多年來，在全球有 125 個國家超過 14,000 個成功導入案例，採用 PI System 的企業涵蓋電力設施、石油天然氣、生技製藥、食品飲料、金屬採礦、紙漿造紙以及資料中心等，大量的導入實例是 PI System 能橫跨多個產業依然展現其價值性、實用性與高穩定性的最佳證明。能有如此大規模的應用，是 OSIsoft 公司的 PI System 能連接 450 個以上的資料傳輸介面，並從多個系統或數據來源中，擷取多種格式、標準或慣常使用的高頻資料(包括時序資料和基於事件的資料)，將資料轉化為統一結構，進而結合、對比、關聯和利用所擷取的資料，所擷取數據並不會因取樣間隔或數據均化而遺失，可隨各種需求即時搜尋資料並經視覺化工具將被動的數據變為主動決策的資訊，以利於實現智慧製造、資產管理、降低風險、改善流程、推動創新，並發掘具有價值的業務和市場機會。

北美地區如 WECC、CAISO、MISO、PJM、PG&E 及 SDG&E 等電業管制機關、獨力調度中心及電力公司，皆已使用 PI System 進行公司內大量即時資料的蒐集與監視，如輸電線路潮流量、各發電機組之發電量(含再生能源)、即時氣象資訊的監視與預測，及電能管理系統(EMS)資料之顯示與歷史數據分析，並且以視覺化之方式呈現。

PI System 簡介

PI System 是一個基於 Client/Server 結構的商品化軟體應用平台，將電業運轉、工廠製程中不同感測器的資料蒐集、儲存，再透過不同的應用工具提供使用者的一個中介的(in-between)架構，並可以快速地呈現及分析相關數據、提供清楚、精確的操作瀏覽畫面。使企業內的人員，無論隨時隨地都可看得到和可以分析相同的資訊。PI System 客戶端的應用工具，可使使用者很容易對工廠級和公司級實施管理，如改進製程技術，全面品質管理(TQC)，故障預防維護等。透過 PI System 更可結合產品計劃、維護管理、專家系統和優化/建模等應用程式，讓 PI System 在監控管理和即時運轉操作之間搭起橋樑的作用。

PI System 主要是由 3 階層(資料蒐集及取用)架構組成，如圖 3.1.29 所示。PI System 的優點是簡化了資料的蒐集與儲存，以前 SCADA、Manual、Excel 運算結果等來源的資料，係分別進入不同的資料庫，終端使用者須依需求去不同的資料庫取得所需的資訊，如圖 3.1.30 所示；而導入 PI System 後，SCADA、Manual 等來源資料可透過 PI 介面蒐集進入 PI 系統，終端使用者僅需透過 PI 的客戶端軟體即可自 PISystem 取得所需的資訊，如 ERP 等資料庫亦可透過所支援的 Integrator 或 System Access 軟體與 PI 連接，以交換所需的資訊，如圖 3.1.31 所示。

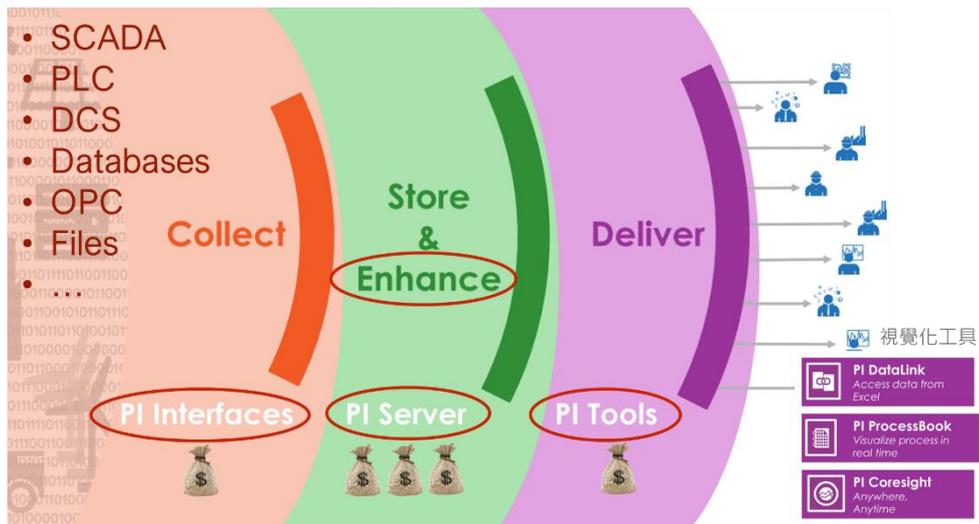


圖 3.1.29 PI System 的階層架構

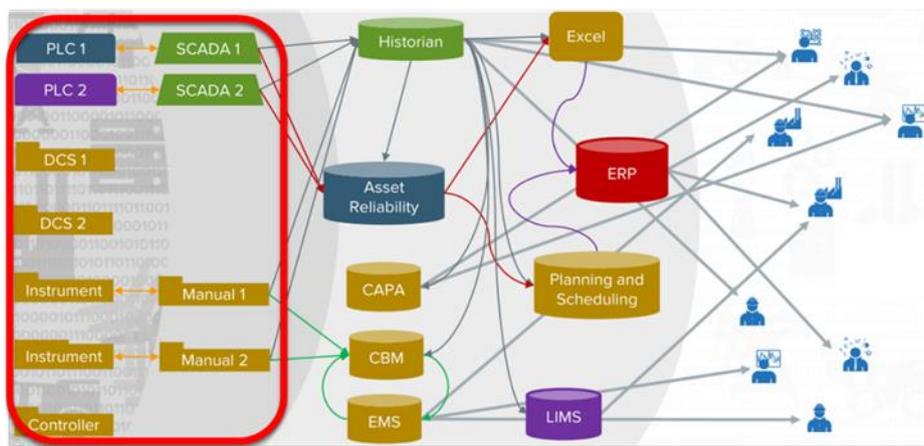


圖 3.1.30 傳統的資料蒐集、儲存及取用

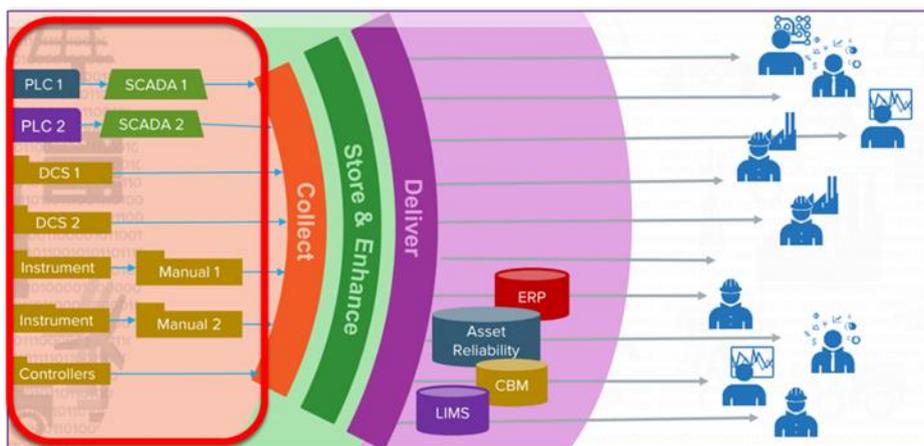


圖 3.1.31 安裝 PI system 之資料蒐集、儲存及取用

目前本所已應用 PI system 的 PI Vision 工具，開發公司風力發電機組風速、發電量、轉子轉速及運轉狀態等的監視網頁如圖 3.1.32 所示，提供風力發電預測開發過程中的機組狀態查詢之用。未來計畫將風機故障診斷、太陽光電系統運維系統的監測，也以 PI 應用工具開發視覺化網頁，供維護及管理人員瀏覽使用。圖 3.1.33 為調度處應用 PI system 於再生能源監控平台及再生能源發電出力之預測顯示畫面。圖 3.1.34 為拜訪 OSISoft 公司時與其創辦人兼 CEO Dr. J. Patrick Kennedy 及客服部資深副總裁 Martin Otterson 合影照片。



圖 3.1.32 建立於 PI 系統之風力發電機組 UI 介面

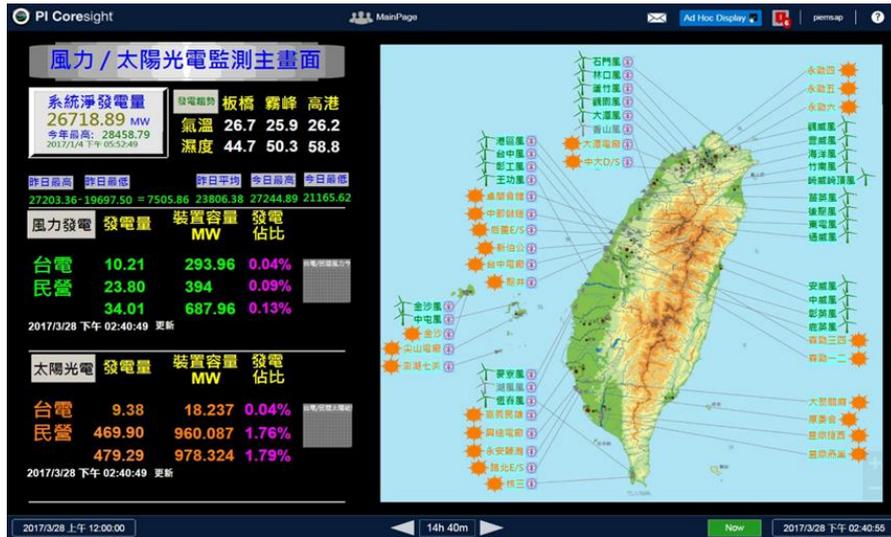


圖 3.1.33 建立於 PI 系統之再生能源監測 UI 介面



圖 3.1.34 與 OSISoft 公司 CEO 及客服部人員合影

二、太陽光電預測技術與應用

再生能源預測資訊應用

加州政府積極推動再生能源政策，依據「再生能源投資準則」(RPS) 要求，2020 年底以前加州公用事業機構(POUs)、投資者擁有的公用事業(IOUs)、電力服務提供商及社區選擇合作商的再生能源電力總採購量須達到 33%，2030 年以前採購量須達 50%。目前加州已是全美太陽光電併網量最高的一州，其所衍生的電力品質與可調度性問題亦造成調度中心與電力市場運作上的挑戰。解決太陽光電對電網的衝擊，如太陽光電系統結合儲能、太陽光電出力預測等議題，都是太陽光電大量應用的配套措施之一。藉由本次參訪也與 CAISO 及 Peak Reliability 人員討論再生能源出力預測的發展與應用。

由於風力發電的應用相較於太陽光電更早，風力發電預測技術的發展起步也早，在歐美有多家公司開發的風力預測分析軟體，因此 CAISO 及 Peak Reliability 的風力發電預測分析皆是採用第三方所提供的服務，並皆已併入調度系統中運用，如圖 3.2.1 上圖所示為 CAISO 在 2016 年預測資料揭露顯示系統的架構圖，可以看到其 Forecasting Service Provider 的資料會匯入 Automated Load Forecasting System (ALFS) 中，但由於其負載預測改善計畫將不再使用其中的 PIRP(Participating Intermittent Resource Program)，因此後續規劃的預測資料傳輸可能架構圖則如 3.2.1 下圖所示。

截至 2016 秋天，CAISO 轄區內的風力與太陽光電裝置容量已超過 13GW，因此再生能源預測的重要性，尤其是 Ramping 的預測更是受到 CAISO 的重視，如 3.2.2 圖所示，依 CAISO 市場運作上的需求，

目前再生能源(風力+太陽光電)預測資訊服務提供者 AWS Truepower 公司是提供每 5 分鐘(5-minute ahead)及每 1 小時(hour-ahead)的風力及太陽光電的預測資訊，供 CAISO 轄區及其鄰近的電力市場使用。而排程規畫中對於發電機組的不確定度 CAISO 則是採行 80%的標準，如圖 3.2.3 所示。本所目前所開發的風力發電預測軟體也提供預測不確定度範圍供應用參考，目前是採用 95%的信心度評估，未來結合調度處的負載預測資訊，將再評估是否調整預測不確定度的信心水平。

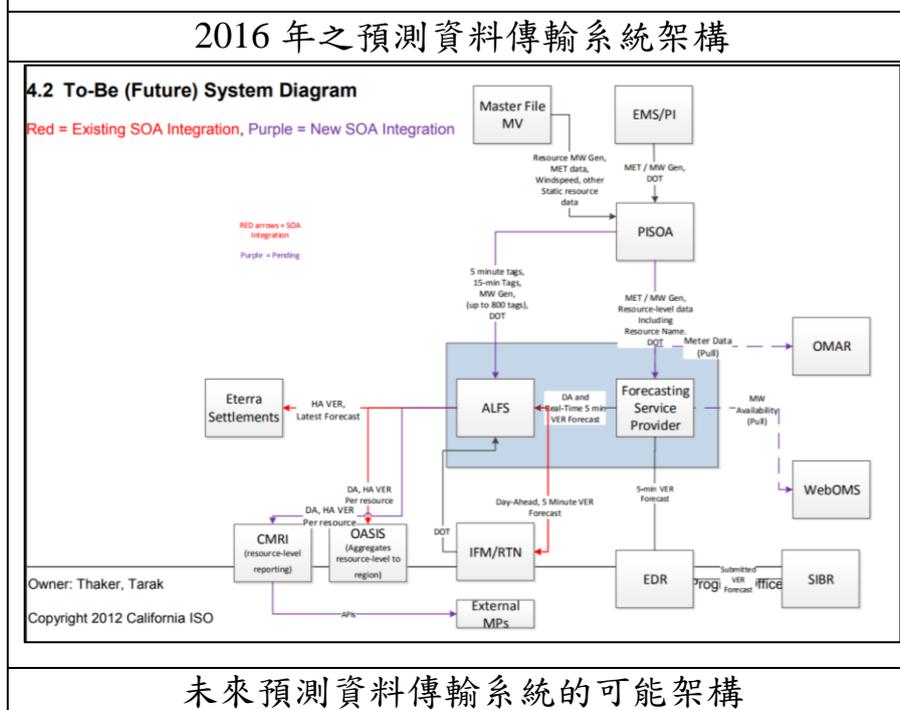
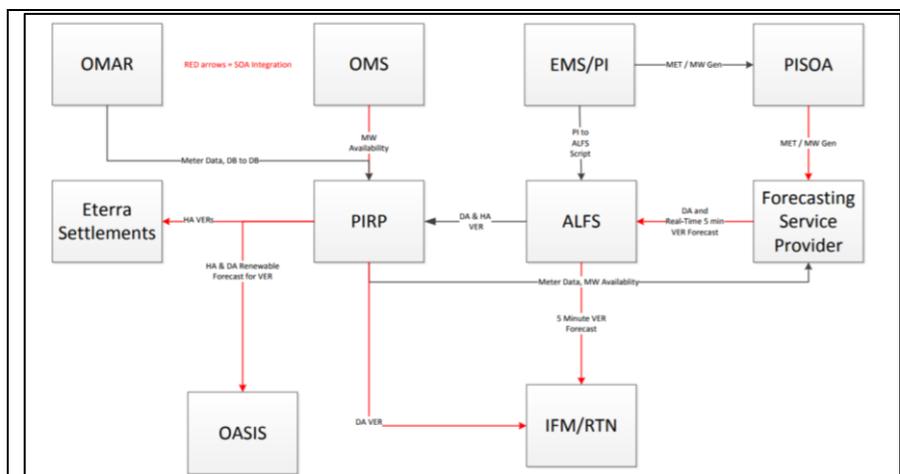


圖 3.2.1 CAISO 預測資料揭露顯示系統架構圖

Ramping Tool CAISO Timeline

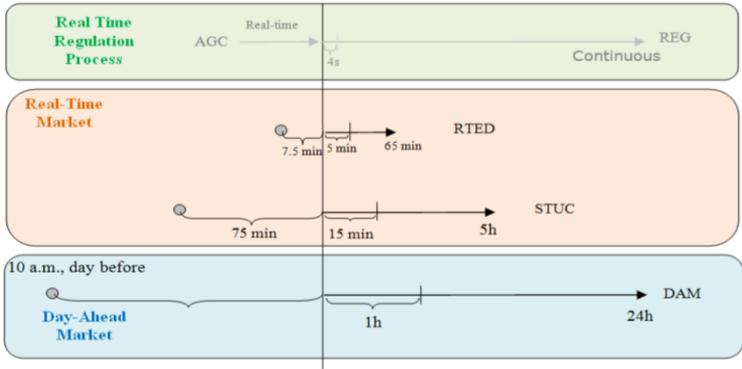


圖 3.2.2 CAISO 電力市場調度需求時間軸

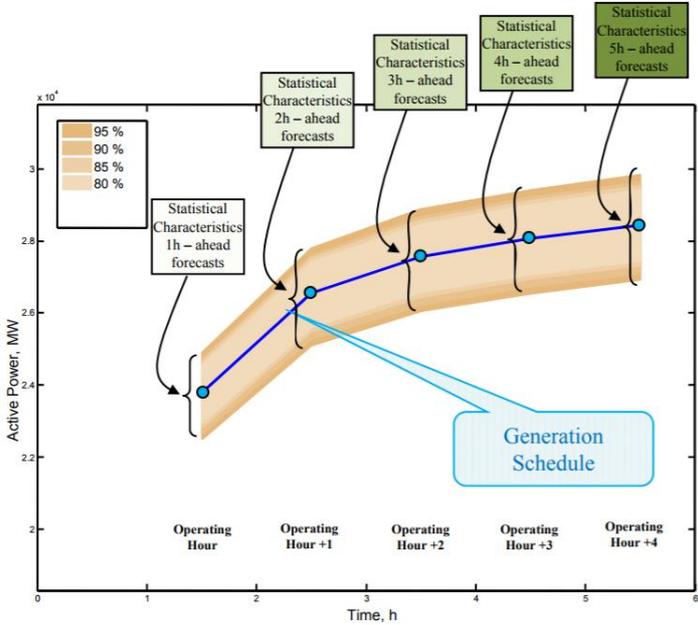


圖 3.2.3 CAISO 電力市場調度需求時間軸

太陽光電預測技術

當太陽光電併網發電量佔比提高時，其波動特性將造成電網不穩定性增加，因此必須針對其波動性及不易調度的特性提出可靈活運用的策略。在太陽光電高佔比地區，除可透過需求面管理及儲能系統的應用之外，如何準確預測太陽光電發電量，降低其出力波動性和不確定性對併網所帶來的挑戰，也是電網運營者關注的配套措施之一。

電力系統中隨著操作機組排程(UC)、經濟調度 (EDC)以及供需平衡的負載頻率控制(LFC)等不同應用需求，太陽光電預測的時間尺度可區分為短期(day ahead、intra-day)與極短期 (intra-hour、nowcasting)的太陽光電發電量預測。如圖 3.2.2 所示，由於太陽光電系統的輸出功率受到全天空日射量(Global Horizontal Irradiance, GHI)影響，在預測不同時間尺度時所採用的氣象資訊也不相同；極短期預測可利用日射量觀測值採用持續性模型預測或是採用全天空影像雲遮量進行預測分析，在數小時之內的預測則是應用衛星雲圖進行雲移動向量分析進行預測，而領前一天(day-ahead)日射量的取得則須利用數值氣象預報的氣象因子進行預測分析以增加預測準確度。

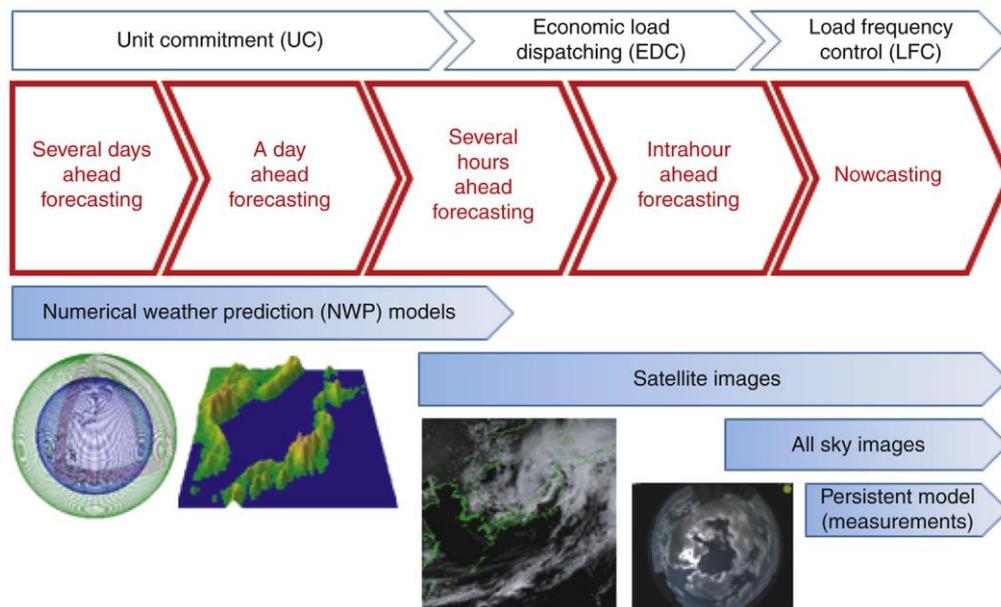


圖 3.2.2 依電力系統調度需求不同時間尺度的預測方法

在本次參訪的機構中，其風力發電預測都已採用第三方的預測資訊，但關於太陽光電預測技術的開發各機構都仍持續在進行研究中，電力公司如 PG&E、SDG&E 也都受到政府(DOE、CEC 等)的要求，進行提升發電預測效能、及與配電網、輸電網整合運用之研究計畫。

2017 年 12 月美國能源部宣佈了提供 8 個總經費達 1200 萬美元的太陽光電預測研究預算，以提升太陽光電發電的預測準確度來維持電網運作的可靠度、穩定性，以利太陽光電的運用更具經濟效益。這些計畫預期將更準確地預測太陽能發電量，使公用事業公司更能有效地管理太陽能的間歇性和不確定性，並提高電網的可靠性。能源部長表示：這些研究計畫將解決大家的期待，亦即更準確地掌握在任何指定的時刻，將會有多少的太陽能發電產出。隨著太陽光電的不斷發展，這些預測工具變得越來越重要，並將確保太陽光電能為美國電力系統的可靠性、可負擔性做出貢獻。

獲得研究經費補助的機構包括國家實驗室、大學等，其須與電業、獨立運營商密切合作共同推動太陽光電預測技術。其中的 4 個計畫目標是在提升太陽光電發電量預測準確度的技術，另外 3 項計畫則是分別與加州電力調度中心(CAISO)，中西部電力調度中心(MISO)和德州電力可靠度委員會(ERCOT)合作，研究與電網規劃、運營系統整合的先進預測技術，這些項目的研究將要驗證新的預測技術是否可以有效地整合能源管理系統(EMS)，並提高電網的運行效率。表 3.2.1 為能源部 8 個研究計劃的負責機構與任務，由此可看出為因應太陽光電的應用對美國電網穩定性的影響，美國的作法是由國家層級的能源部提供預算以進行提升電網可靠度的研究，實質上協助美國電網發展成為一潔淨、可信賴且可負擔的電力事業(clean、reliable and affordable)，以成就全民福祉。國內在推動再生能源發展之際，政府亦應效法先進國家的做法，投入資源協助解決其發展對電網可能的的衝擊影響。

表 3.2.1 美國能源部 2017 年 12 月提供 8 項太陽光電預測計畫

<p>University of Arizona</p> <p>Project Title: Open Source Evaluation Framework for Solar Forecasting Location: Tucson, AZ SETO Award Amount: \$999,808 Awardee Cost Share: \$261,414 Project Description: This project develops an open-source framework that enables evaluations of irradiance, solar power, and net-load forecasts. Team members have previously collaborated on forecasting trials for utilities, developed operational solar and wind forecasts, and led projects using the open-source PVLlib simulation and performance tool. The goal is to make the open-source evaluation framework more easily available for forecast providers, utilities, balancing authorities and fleet operators for non-biased forecast model assessment.</p>
<p>Pacific Northwest National Laboratory</p> <p>Project Title: Development of the Next Weather Research and Forecasting Model – Improving Solar Forecasts Location: Richland, WA SETO Award Amount: \$1,214,872 Awardee Cost Share: \$150,306 Project Description: This project is developing the next generation of solar resource capabilities integrated into the weather research and forecasting (WRF) model to include enhancements for intra-day and day-ahead forecasts of solar irradiance. The new or improved treatments include absorptive aerosol, cloud microphysics, subgrid variability in irradiance, and application of uncertainty quantification techniques.</p>
<p>University of California San Diego</p> <p>Project Title: Hybrid Adaptive Input Model Objective Selection Ensemble Forecasts for Intra-Day and Day-Ahead Global Horizon Irradiance, Direct Normal Irradiance, and Ramps Location: San Diego, CA SETO Award Amount: \$1,316,203 Awardee Cost Share: \$162,500 Project Description: This project develops a Hybrid Adaptive Input Model Objective Selection ensemble model to improve solar irradiance and cloud cover forecasts. Major components of this ensemble include a holistic optimization framework and ingestion of new-generation cloud cover products. The goal is to increase the state-of-the-art predictive capabilities for solar generation from their present values of 10 percent to 30 percent (with a stretch goal of 50 percent) consistently for both global horizon solar irradiance and direct normal irradiance.</p>
<p>National Renewable Energy Laboratory</p> <p>Project Title: Probabilistic Cloud Optimized Day-Ahead Forecasting System Based on Weather Research and Forecasting Solar System Location: Golden, CO SETO Award Amount: \$1,720,806 Awardee Cost Share: \$212,482 Project Description: This project develops a publicly available ensemble-based solar capability for the weather research and forecasting (WRF) model that will serve as a baseline operational solar irradiance forecasting model. The team will use an adjoint analysis technique to adjust the most important variables and calibrate the WRF solar system ensemble to provide accurate estimates of forecast uncertainties. This resulting system will increase the accuracies of intra-day and day-ahead probabilistic solar forecasts that can be used in grid operations.</p>
<p>Brookhaven National Laboratory</p> <p>Project Title: Advancing the Weather Research and Forecasting Solar Model to Improve Solar Irradiance Forecast in Cloudy Environments Location: Upton, NY SETO Award Amount: \$1,600,000</p>

<p>Awardee Cost Share: \$214,195</p> <p>Project Description: This project is developing solar-specific improvements to the weather research and forecasting model for improving prediction of solar irradiance in cloudy environments. Specific areas of improvements are cloud microphysics, radiative transfer, and innovative analysis packages.</p>
<p>Electric Power Research Institute, Inc.</p> <p>Project Title: Probabilistic Forecasts and Operational Tools to Improve Solar Integration</p> <p>Location: Knoxville, TN</p> <p>SETO Award Amount: \$1,800,000</p> <p>Awardee Cost Share: \$759,008</p> <p>Project Description: This project is developing improved probabilistic solar and net load forecasts for three separate utility case studies, each with different operating procedures. The team is using advanced tools to research and develop methods for each utility to manage uncertainty in a reliable and economic manner in daily operations. In addition, they will validate these methods by integrating forecasts and decision making functions into a scheduling management platform to verify the use of probabilistic forecasts to reduce integration costs.</p>
<p>National Renewable Energy Laboratory</p> <p>Project Title: Solar Uncertainty Management and Mitigation for Exceptional Reliability in Grid Operations</p> <p>Location: Golden, CO</p> <p>SETO Award Amount: \$1,698,933</p> <p>Awardee Cost Share: \$331,930</p> <p>Project Description: The project is designing novel algorithms to create probabilistic solar power forecasts and automate their integration into power system operations. Adaptive reserves will dynamically adjust reserve levels conditional on meteorological and power system states. Risk-parity dispatch will be developed to produce optimal dispatch strategies by cost-weighting solar generation scenarios on forecast uncertainty. This project will test the integration of probabilistic solar forecasts into the Electric Reliability Council of Texas' real-time operation environment through automated reserve and dispatch tools that can increase economic efficiency and improve system reliability.</p>
<p>Johns Hopkins University</p> <p>Project Title: Coordinated Ramping Product and Regulation Reserve Procurements in California Independent System Operator and Midcontinent Independent System Operator Using Multi-Scale Probabilistic Solar Power Forecasts</p> <p>Location: Baltimore, MD</p> <p>SETO Award Amount: \$1,738,630</p> <p>Awardee Cost Share: \$482,953</p> <p>Project Description: This project is advancing the state-of-the-art in solar forecasting technologies by developing short-term and day-ahead probabilistic solar power prediction capabilities. The proposed technology will be based on the big-data-driven, transformative IBM Watt-Sun platform, which will be driven by parallel computation-based scalable and fast data curation technology and multi-expert machine learning based model blending. The integration of validated probabilistic solar forecasts into the scheduling operations of both the Midcontinent and California Independent System Operators will be tested, via efficient and dynamic procurement of ramp product and regulation. Integration of advanced visualization of ramping events and associated alerts into their energy management systems and control room operations will also be researched and validated.</p>

肆、結論與建議

北美電力市場的運作大致上可分為管制機關、獨立調度中心、電力公司(含發電業、配售電業等)三個部分，管制機關如美國能源部、聯邦能源管理委員會、北美可靠度公司制定能源法規、市場運作規範與電力運轉規則等；而調度中心則制定市場規則並管理電力市場使之能正常運作；電力公司則扮演提供或購買電力商品者的角色，並針對市場需求開發合適的供電策略及負載管理方案。此次藉由參訪尖峰可靠度(Peak Reliability)公司、加州電力調度中心(CAISO)、太平洋瓦斯及電力公司(PG&E)、聖地牙哥瓦斯及電力公司(SDG&E)對北美的整體電力市場架構及運作有更進一步的瞭解。提供以下心得與建議供參考：

1. 引進及強化資料視覺化技術：此次參訪尖峰可靠度公司、加州電力調度控制中心，皆在調度控制中心的展示畫面上大量使用視覺化、圖形化介面達一目瞭然之效，讓調度操作人員快速掌握系統即時狀況，未來調度圖資應引進資料視覺化觀念及技術。
2. 適時建立分散型能源市場：隨著再生能源大量布建及成本下降，連帶推動儲能系統的應用，更智慧、更可靠的互聯電網正在形成，由美國加州佈建大量太陽光電來看，其變動性的影響對配電系統影響較大，加州公用事業管理局也要求轄區3大電力公司需發展DERMS系統，結合儲能以提升配電網可靠度，相對於建置大型儲能系統較具經濟性。
3. 未來隨著動態、雙向輸送環境的發展，應繼續引進和測試創新的智慧電網技術來改進系統的可靠度，為用戶提供有價值的服務和提供採用潔淨能源的產品選擇。另外可規劃在配電端建立分散型能源市場以交易分散式電能及其建置其管理系統，運用需量反應

及儲能系統，提升再生能源大量併網之系統彈性。但同時亦應注意衍生的網路資安、數據隱私等問題。

4. 建立共同資訊模型：PG&E及CAISO皆已運用共同資訊模型(Common Information Model)技術交換電力系統資訊，雖然WECC因系統尚未完稱更新，仍採資料檔方式，如.csv，交換資料，未來亦會引進CIM技術，提高資料交換有效性。
5. 持續電力系統穩定度與可靠度改善小組會議：尖峰可靠度(Peak Reliability)機構每季會召開一次類似本公司「電力系統穩定度與可靠度改善小組會議」，針對系統的暫態穩定度、電壓穩定度及小訊號穩定度等系統指標進行分析；本公司目前是每2個月召開一次，亦針對前述相關穩定度指標做檢討並研擬相關因應對策，相較之下，在系統穩定度指標分析方面本公司並不亞於國外電力機構。
6. 大量再生能源併網後，由於在電表後端的太陽光電系統發電量更難掌握，使得系統淨負載的預測更加困難。以去年8月21日發生在美國的日全蝕為例，所有電業都已事先做好因應日全蝕發生失去太陽光電出力淨負載增加的準備，然而實際的負載卻有下降的現象，如圖4.1所示；有一說法是大家都跑到戶外觀看日全蝕導致負載下降，但後續分析是因為日全蝕的發生使氣溫下降，如圖4.2所示，導致在盛夏時分冷氣需求降低所致；若日全蝕事件發生在冬季，則太陽被月球遮住後造成氣溫的下降將會使用電量增加；由此可知當電網中有大量太陽光電系統時，淨負載將隨天氣、生活行為等因素變化而更難掌握；美國由國家層級執行太陽光電發電量的相關預測研究，並考量其對電力系統可靠度的影響。建議政府也能提供國家級資源整合，尤其是氣象專業機構投入再生能源相關的研究發展計劃，以因應並降低能源轉型過程中對電力系統

所造成的衝擊。

7. 製作文宣:CAISO有製作調度中心相關簡介小卡(如圖4.3及4.4所示)供參訪來賓索取,內容包含調度中心之環境、目前系統裝置容量、最高尖峰負載量及服務用戶數等相關資訊,值得本公司參考藉以提升企業形象及民眾認同感。

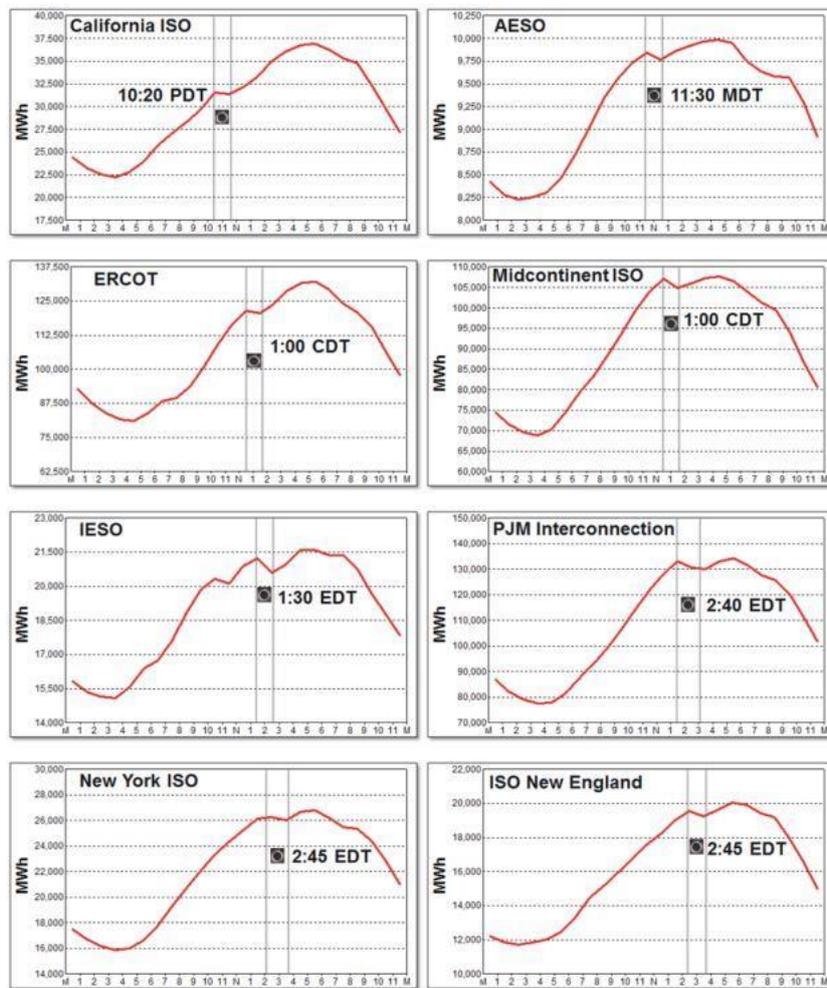


圖 4.1 2017.8.21 全美各大 ISO/RTO 在日全蝕發生時的淨負載

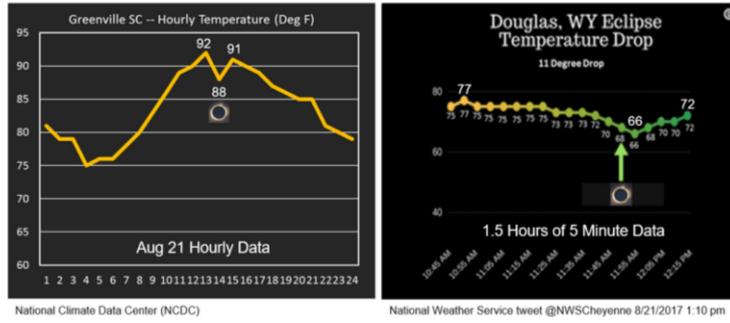


圖 4.2 2017.8.21 南加州 Greenville 和懷俄明州 Douglas 氣溫趨勢



圖 4.3 CAISO 簡介(正面)



California ISO

The California Independent System Operator Corporation (ISO) operates the bulk of the state's wholesale transmission grid. The nonprofit, public benefit corporation provides open and non-discriminatory grid access, supported by a competitive energy market and comprehensive planning efforts. Partnering with about 160 entities, the ISO is dedicated to developing and operating a modern grid that benefits consumers.

The ISO power market matches supply with demand, maintains operating reserves and allocates space on transmission lines. The ISO is regulated by the Federal Energy Regulatory Commission and complies with standards set by the North American Electric Reliability Corporation and the Western Electricity Coordinating Council. A five-member board of governors appointed by the Governor of California and confirmed by the Senate oversees the ISO.

Highlights

- 71,412 MW of power plant capacity
- 50,270 MW record peak demand (July 24, 2006)
- 241 million megawatt-hours of electricity delivered
- 26,000 circuit-miles of transmission lines
- \$11 billion annual market
- 80¢ per MWh grid management charge
- \$195.3 million revenue requirement
- 27,000 market transactions per day
- One of 9 ISO/RTOs in North America
- 30 million people served

California Independent System Operator

www.caiso.com | 250 Outcropping Way, Folsom, CA 95630 | 916.351.4400

CAISO/ISO 4/2016 © 2016 California ISO

圖 4.4 CAISO 簡介(反面)

參考資料

1. WECC 網站，<https://www.wecc.biz/Pages/home.aspx>。
2. CAISO 網站，<https://www.caiso.com/>。
3. PG&E 網站，<https://www.pge.com/>。
4. SDG&E 網站，<https://www.sdge.com/>。
5. OSIssoft 網站，<https://www.osisoft.com/>。
6. PXiSE 網站，<http://pxise.com/>
7. CAISO 2016_Annual Report
8. CEC 網站，
http://www.energy.ca.gov/research/notices/2009-09-29_workshop/presentation/s/07_On_line_operating_tools.pdf
9. AWS Truepower 網站，
<https://www.awstruepower.com/solutions/forecasting-grid-integration/>
10. Photovoltaic and Solar Forecasting State of the Art, REPORT
PVPS T14 01/2013
11. DOE Solar Forecasting 2 網站，
<https://energy.gov/eere/solar/solar-forecasting-2>
12. ITRON 網站
<http://blogs.itron.com/an-unexpected-impact-of-the-solar-eclipse/>