

出國報告(出國類別：實習)

# 需量反應推動策略與市場運行機制等 需求面相關議題研習

服務機關：台灣電力股份有限公司 綜合研究所

姓名職稱：王玟菁 電機工程師

派赴國家/地區：美國

出國期間：108/03/24-108/04/04

報告日期：108/05/31

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：需量反應推動策略與市場運行機制等需求面相關議題研習

頁數 31 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力股份有限公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話 王玟菁/台灣電力股份有限公司/

綜合研究所/電機工程師/(02)2360-1232

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：108/3/24-108/4/4

派赴國家/地區：美國

報告日期：108/5/31

關鍵詞：需求面管理

內容摘要：(二百至三百字)

台電公司長期推動多元化之需求面管理措施，然面臨再生能源佔比提高與自由化的腳步，整體推動策略與市場機制等議題仍待商討，透過本次赴美研習，了解已發展需量反應多年的各大電力機構，針對再生能源加入後，需量反應方案的規劃與費率設計的轉變，及效益評估，與市場運行情形。

本次前往機構含夏威夷電力(Hawaii Electric)、加州獨立調度中心(CAISO)等，主要研習面對高再生能源佔比，電業如何透過需求面管理方案應對。報告主要將介紹費率與需量反應議題，其餘部分將簡要列於結論與心得。

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

## 摘要

台電公司長期推動多元化之需求面管理措施，然面臨再生能源佔比提高與自由化的腳步，整體推動策略與市場機制等議題仍待商討，透過本次赴美研習，了解已發展需量反應多年的各大電力機構，針對再生能源加入後，需量反應方案的規劃與費率設計的轉變，及效益評估，與市場運行情形。

本次前往機構與研習主題如下表列，此份報告主要將介紹費率與需量反應議題，其餘部分將簡要列於結論與心得。

機構	主題
Hawaii Electric Data analysis部門	了解夏威夷電力對於因應再生能源之費率設計與資料應用之方法
Hawaii Electric Demand response部門	了解夏威夷電力如何評估需量反應方案，以及夏威夷如何滿足資源充足性(RA)之需求
SCE	了解SCE如何因應再生能源占比增加，其費率方案與需量反應方案設計策略。
CAISO	了解加州獨立調度中心如何設定需量反應的相關準則，以及針對需量反應方案的標準作業流程。
The Brattle Group	了解美國未來因應再生能源波動之發展趨勢
ConEd	了解ConEd針對AMI之佈建情形與MDMS系統建置

## 目次

壹、	緣起與目的.....	3
貳、	研習內容.....	4
參、	結論與心得.....	30

## 壹、 緣起與目的

台灣的尖峰用電逐年成長，為維持供電穩定避免缺電危機，台電公司長期推動多元的需量反應負載管理措施，然而，目前卻缺乏一套需量反應的成本效益評估機制，導致近期和平電廠鐵塔倒塌時，台電公司透過需量競價向用戶買回電力，卻遭到民眾誤解是無效率行為。因此建立有效的效益評估機制顯現其重要性，透過評估機制審視方案的訂價策略，針對效益不彰的方案進行重新檢討與修正，對於台電公司及整體社會皆有助益。另一方面，面對電業法修正，台電公司預計切割成發電、輸配電業與公用售電業，但國際上輸配電業與售電業推動的需量反應方案定位有明顯不同，台電公司如何將現有方案進行拆分，亦或重新進行設計調整將是預期面臨到的課題。

基於上述研究課題，本計畫鎖定需量反應推動的先進國家—美國，為掌握美國電業推動需量反應的準則或設計方式，作為我國推動不同類型負載管理措施之效益衡量方法以及作業流程的參考依據，接著提出因應電業法修正後，需量反應可納入備用容量或輔助服務之相關建議準則，做為我國未來需量反應參與交易市場之預備。

需量反應的市場認證準則以及成本效益分析在不同電業環境下各自有許多設計要素，為了取得美國各電業或是管制機關對於需量反應成本效益分析之作法，並與關鍵電業進行交流，了解在需量反應成本效益分析方法上可能碰到之困難與阻礙。藉由此次出國訪查，了解美國作為推動需量反應方案的先驅，是如何進行方案的設計與推動，以作為我國之借鏡。

## 貳、 研習內容

### 一、 夏威夷電力公司

#### (一)背景說明

夏威夷是美國最南方的州，主要由 19 個主要的島嶼與珊瑚礁所組成，其中最主要的島嶼為歐胡島，人口占比 72.32%。其他重要島嶼還包括考艾島、茂宜島以及大島等。本次所參訪的對象則為最主要歐胡島上之夏威夷電力公司。

夏威夷位處於太平洋的一個孤島，因此與台電情況類似，過去所使用的能源(煤、油)絕大部分來自進口，因此在能源安全與經濟議題上一直是夏威夷很關切的方向(夏威夷電價為全美最貴的州，2017 年住宅用電平均電價為 0.3 美金一度，所以夏威夷積極的發展再生能源，並且立下 2045 年 100%再生能源佔比之目標。

在本次參訪中，夏威夷電力公司分享了該公司最近簽訂的 7 個太陽光電搭配儲能的 PPA 合約，過去再生能源搭配儲能的成本很高，大約一度要 16~17 分一度，但最近成本突破 10 分以下，因此該 PPA 合約共簽訂了 200MW，對於夏威夷電力的再生能源穩定發展有很重要的突破。

除此之外，夏威夷政府為達到 Net Zero 的目標，提供稅補助跟誘因補助，讓太陽光電成長非常快速，但夏威夷電力也點出其負面效應，因為採 NEM 制度，很多用戶在裝設屋頂太陽光電板後，其單月電費是 0 元甚至是負電費，反而用戶回到家後便不在意節約能源，其用電反而更浪費，因此夏威夷電力公司內部在檢討 NEM 之制度。但夏威夷電力也指出，FIT 也並非是好的制度，日本因為 FIT 費率過高，花了過多再生能源的收購成本。(三倍於電價)。

夏威夷電力負載最高是發生在 10 月，主要因素並不是天氣太熱，而是濕度太高用戶受不了要開冷氣。另外，夏電提到可以透過冷氣銷售數量事先判斷是否會有負載增加的情形。2015 年，冷氣銷售增加，確實也反映在該年的用電量上。

#### (二)夏威夷之需量反應方案

夏威夷電力因應再生能源變動所使用的實體電廠為氣渦輪，另外搭配低頻電驛，除此之外，需量反應亦為其重要工具。在需量反應部分，夏威夷電力公司最主要的方案共

有兩種，分別是 Energy Scout 方案(即直接控制方案)以及 Fast DR 方案(緊急通知型方案)，其方案整理如下。

Energy Scout	10-min Emergency	10-min Emergency, Economic, No generators	10-min Emergency, Economic
方案選擇	10 分鐘緊急方案	10 分鐘緊急、經濟型非發電機方案	10 分鐘緊急、經濟型方案
事件發生期間	平日全天	平日全天	平日全天
Generator Type	緊急發電機或非緊急發電機	抑低負載	非緊急發電機
啟動小時限制	100 小時/年	50 小時/年	300 小時/年
每日事件上限	1	1	1
抑低用電時間限制	無限制	1 小時	無限制
事件次數上限	無限制	50 次/年	無限制
容量回饋	5/kW-月	5/kW-月	10/kW-月
能量回饋	0.5/kWh	0.5/kWh	0.5/kWh

Fast DR	Fast DR(40 events)	Fast DR(80 events)	Maui Fast DR(Generators)	Maui Fast DR(40 events)
方案選擇	快速 DR(40 次事件)	快速 DR(80 次事件)	Maui 快速 DR(發電機)	Maui 快速 DR(40 次事件)
事件發生期間	平日早上 7 點到晚上 9 點	平日早上 7 點到晚上 9 點	平日全天	平日全天
Generator Type	抑低負載	抑低負載	非緊急發電機	抑低負載
啟動小時限制	40 小時/年	80 小時/年	40 小時/年	40 小時/年
每日事件上限	1	1	4	4
抑低用電時間限制	1 小時	1 小時	1 小時	1 小時
事件次數上限	40 次/年	80 次/年	40 次/年	40 次/年
容量回饋	5/kW-月	10/kW-月	5/kW-月	5/kW-月

Fast DR	Fast DR(40 events)	Fast DR(80 events)	Maui Fast DR(Generators)	Maui Fast DR (40 events)
能量回饋	0.5/kWh	0.5/kWh	0.5/kWh	0.5/kWh
最低抑低容量	最少 50kW	最少 50kW		
基準線	10 of 10	10 of 10		

不同方案的用戶數與簽訂抑低容量可參考下表，由表中可以觀察，目前夏威夷電力的用戶比較多選用 Energy Scout 方案，而 Fast DR 方案由於是近期推動之方案，因此選用用戶數較少。

但夏威夷電力也提到，Energy Scout 的小用戶的用戶數看起來雖然很多，但實際上執行率不高，經過統計後下一次事件平均 1 戶抑低量約為 0.4kW。用戶可以選擇 email 或電話通知，需量反應事件大部分是在下午 5 點因為系統負載攀升(Ramp)而啟動。目前發現有些用戶並沒有配合抑低用電，像是把直接控制設備關掉，如果夏電比對資料後發現這種狀況，就會將用戶剔除。目前基準線是採 10 取 10，經詢問後了解是參考加州之作法。

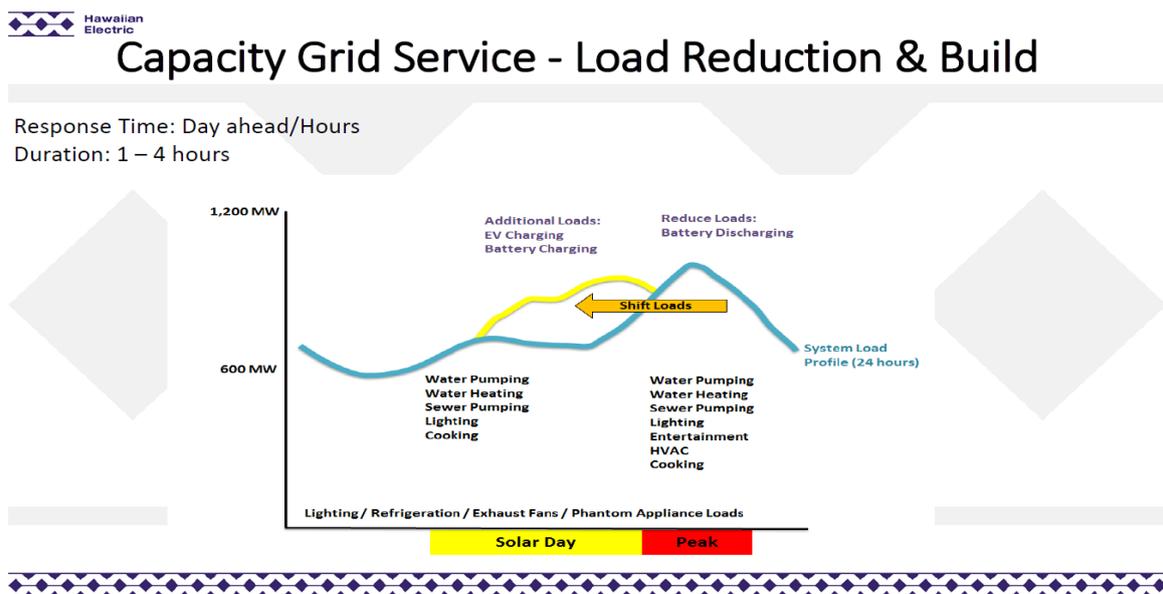
Energy Scout	用戶數	簽訂容量 MW
Commercial & Industrial	30 customers	12MW
Small & Medium Business	160 customers	1MW
Residential	30,000 customers	8MW
Fast DR	用戶數	MW
Commercial & Industrial	30 customers	7MW

### (三)夏威夷因應再生能源之需量反應規劃

由於夏威夷電力的再生能源發展快速，因此在需量反應發展上已經準備由傳統的 Curtailment DR 規劃到 DR 2.0-Demand Flexibility。這兩種 DR 最主要的差異在於 DR2.0 不要求負載抑低，更看重的是負載移轉以及建立負載(Load Build)機制，甚至是 DR 配合輔助服務之需求。

	傳統 DR—Curtailment	DR2.0 Demand Flexibility
Primary Service Need	Peak Shaving	Peak Shaving Load Build Load Shift Ancillary Service
End-user 特徵	Direct Load Control 單向通訊	Flexibility Intelligent Control 雙向通訊
Device Category	Consumption	Production Consumption Prosumer(Storage/EV)

其中，Load Build 的機制係因為夏威夷電力下午平均負載需求大概是 800MW，其中太陽光電自用提供了 400MW。但因為夏威夷電力的部分電廠即使在負載需求很低的時候希望可以持續運作，以避免過高的起停成本產生，所以需要維持一定的 base load。一旦太陽光電發的電過多，反而需要有 Load build 的機制，可能是透過家用儲能或是 aggregator 協助，這目前在茂宜島已經開始進行相關試驗。



夏威夷電力將目前的 DR2.0 機制的需量反應方案命名為 Grid Service，在 Grid Service 的目標部分已經設立了相關目標。歐胡島部分的尖峰負載約為 1,200MW，其 Grid Service 部分希望達到快速頻率反應 36MW、負載抑低方案 44MW、建立負載機制 44MW。換算之後即 80MW 的負載抑低與 80MW 的負載提高機制，約佔尖峰負載的 6.7%。



## Initial Targets for Grid Services

Grid Service Type	Oahu ~1,200 MW Peak	Maui ~200 MW Peak
Fast Frequency Response	36 MW	0
Capacity (Load Reduction)	44 MW	9.8 MW
Capacity (Load Build)	44 MW	8.9 MW

➤ Aggregators will be utilized to achieve the target levels. Starting September 2018 and contract committed until September 2023.

➤ Self-aggregators will also be utilized to achieve the target levels.

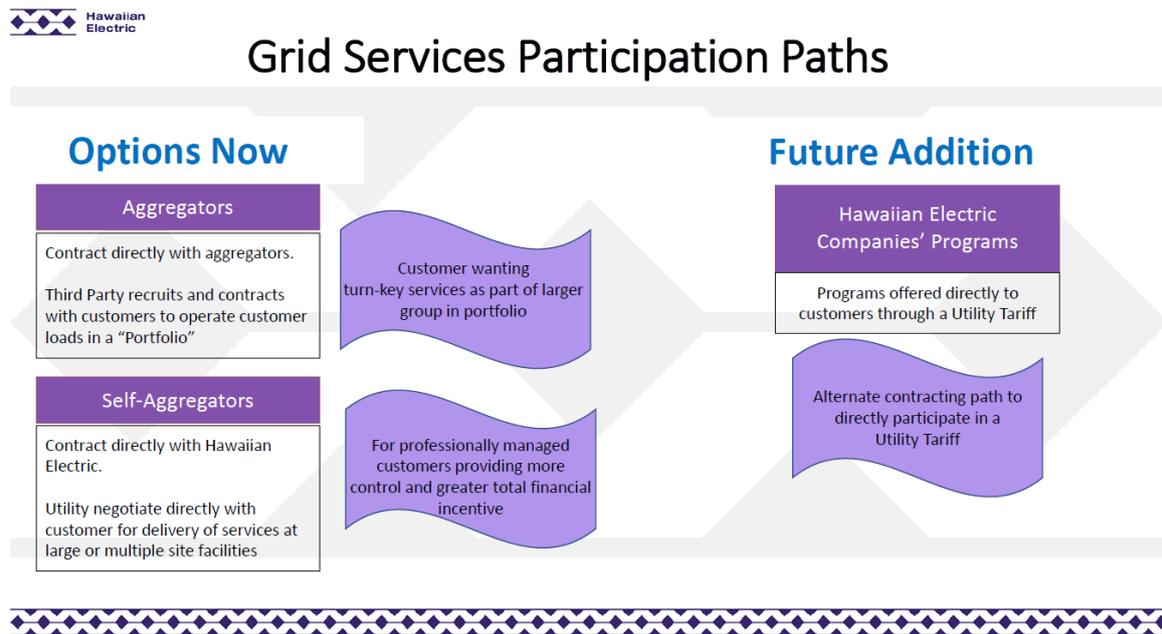
#### (四) 夏威夷的用戶群代表規劃

夏威夷電力在 2015 年的時候透過 RFP 方式引入 Aggregator 制度，但為了維持與用戶之間的關係，夏威夷電力在需求規範中擬定了兩種 Aggregator 的模式，分別為 Firm Provider 以及 Service Provider。Firm Provider 即傳統 Aggregator 模式，透過 Aggregator 去招募用戶，夏威夷電力公司直接通知 Aggregator，其金流亦是夏威夷電力對 Aggregator。

Service Provider 則是類似日本東京電力的做法，透過給 Aggregator 服務費，由 Aggregator 協助夏威夷電力公司招募用戶，並由用戶向夏威夷電力公司簽約，回饋是由夏威夷電力直接給用戶的模式。

但夏威夷電力亦提出目前透過 RFP 採購只是過渡方法，未來希望要建立需量反應方案的機制，以避免每年採購之複雜程序。

夏威夷電力也鼓勵用戶可以自己成為 Aggregator，類似於台電目前的需量競價聯合型方式。



在近期 Aggregator 發展上，夏威夷電力準備公告一個新的採購需量反應 RFP，目前在送 PUC 審核，預計 5 月通過之後開始公告。是有罰則的方案，允許負載端與儲能設備參加，目前夏威夷電力內部評估儲能廠商比較有可能參加。這個 RFP 是一個 5 年期程的計畫，對於台電過去來說 5 年計畫是一個很長期的計劃，但儲能廠商反而對此感到不滿，因為 5 年無法回收儲能的投資費用。夏威夷電力對此事件的立場很堅定，認為這個 RFP 並不是一個讓用戶可以透過參加這個 RFP，就可以從 Aggregator 那邊獲得免費儲能的方案。其 RFP 推動的目的是希望找到本來就有儲能又希望讓儲能發揮附加價值(second benefit)的方案，因此並不打算更動計畫期程。

#### (五) 夏威夷電力的需量反應方案如何認定為備用容量制度

夏威夷電力簡單回應了夏威夷 RA 制度共分為以下三個階段：

1. 第一階段在過去十幾年，是透過 Integrated Resource Planning，IRP 制度，計算需要多少 DR 的需求後，進行後續 DR 的招募。

2. 第二階段在 2014 年開始，因應 duck curve，Power Supply Improvement Plans, PSIPs 制度變成 RA 制度，但由於是非公開資料，所以無法分享。
3. 第三階段則是 2019 年將改為 Integrated Grid Planning，IGP 制度，將一些具有通訊功能的儲能系統以及具有 DR 價值的資源納入。

#### (六) 夏威夷電力的需量反應成本效益評估

夏威夷電力過去在 2003、2009 與 2011 有評估過 DR 方案的成本效益，其結果如下表，但後來不做了。其主要的原由是需量反應方案的計算方式是夏威夷電力公司自己提出，因此這個數字受到外界許多爭議。首先提出來後會有正反兩派意見，一派覺得評估結果太低，一派覺得評估結果太高。另外當 PUC 針對裡頭的數字提出一些問題時，夏威夷電力也很難直接回答問題。

	RDLC 小型用戶直接控制方案			CIDLC 工商用戶直接控制方案		
	2003	2009	2011	2003	2009	2011
TRC	3.5	3.6	5.3	20.1	3.7	6.3
UC/PAC	2.0	1.6	1.8	3.9	1.1	1.2
RIM	2.0	1.6	1.8	3.9	1.1	1.2
PC	無限大	無限大	無限大	30.1	182.7	89.2
SC(無)						

夏威夷電力公司提出，如果方案不具成本效益，夏威夷 PUC 是有權利將方案剔除，但目前還沒發生過。最近在配合美國本島採用新的績效指標機制，透過指標的方式判斷 DR 有沒有達標，而非透過成本效益。另外建議 DR 的效益評估機制要與 Energy Efficiency, EE 一致，EE 是恆常性的降低負載，DR 是可以移轉，兩者評估機制不應該差太多。

#### (七)其他需量反應相關資訊:

夏威夷電力的頻率也是要維持 60Hz，當掉到 59.7Hz 以下會開始啟動低頻電驛，但是提到低頻電驛跟 NEM 制度出現很大的衝突，當低頻發生時，這些 NEM 制度的用戶很可能會被切掉，但有些 NEM 是正在逆送電的用戶因為被切斷反而無法逆送電力回電網，讓系統頻率掉得更快，建議台電未來需要思考這部分的機制。

夏威夷電力也提到目前正在進行輔助服務等級的儲能試驗，應該是在輸電等級部分。夏威夷政府一直希望比照美國本島，透過市場機制提高競爭，雖然是一個很好的概念，但是夏威夷電力公司認為很難實施。

## 二、 南加州愛迪生電力公司(Southern California Edison, SCE)

### (一)SCE的需量反應方案

南加州愛迪生電力公司(Southern California Edison, SCE)服務地區涵蓋 5 萬平方英里之南加州地區，為 500 萬住宅及商業用戶提供服務，為加州三大電力之一。

SCE 推出需量反應方案除了為了吸引用戶參與外，同時也為了滿足 RA(Resource Adequacy)的規定，惟有可調度的需量反應才可納入 RA 的計算中，而關於 DR 納入 RA 的計算公式如下

$$\text{Qualifying Capacity} = \frac{\text{Average ExAnte Load Impact}}{\text{Number of Measurement Hours}} \times \frac{1}{\text{Loss Rate}}$$

上述公式中的 Loss Rate 為配電的線損(3%)。而 SCE 所推出的需量反應方案主要可分成工商業用戶、用戶兩大部分。SCE 針對工商業用戶所推出的需量反應方案有下列 7 種，分別有農業與抽水機之可停電力方案(Agricultural and Pumping Interruptible Program)、需量競價方案(Capacity Bidding Program)、關鍵尖峰電價方案(Critical Peak Pricing)、可選之綁定抑低方案(Optional Binding Mandatory Curtailment)、計畫性抑低方案(Scheduled Load Reduction Program)、夏日折扣方案(Summer Discount Plan Program)、時間電價之可停電力方案(Time-of-Use Base Interruptible Program)。

### (二)SCE針對需量反應方案問題之回應

本次 SCE 接見的需量反應人員剛好正在忙碌，因此僅針對我們提出的問題進行回應，其回應分別如下：

#### 1. 需量反應方案認定為備用容量的機制為合？

DR 是根據其屬性不同被認定到 resource adequacy, RA 機制中的。另外 RA 是屬於 SCE 的備轉容量機制內。因此 SCE 目前是把需量反應認定到備用容量與備轉容量中。

#### 2. 需量反應目前如何因應再生能源？

SCE 目前並沒有使用需量反應去因應再生能源間歇性的計畫，因為目前 SCE 的 DR 還不夠快速去反應再生能源的波動。然而，在未來 SCE 可能會朝向設計搭配儲能的需量反應方案以提高其反應速度。

### 3. SCE 的需量反應成本效益評估機制?

目前 SCE 仍按照 CPUC 公告的成本效益評估準則進行底下需量反應方案的成本效益評估，相關準則可參考 CPUC 公告的資訊。

#### (三)SCE的智慧電表安裝

SCE 過去是針對>200kW 契約容量的用戶安裝 Interval meter，在 2013 年後完成 5 百萬具 AMI 全面布建，。然而有 1.9 萬用戶因為隱私、電磁波(Radiation)等因素申請退出 AMI 布建。

目前 SCE 規劃的 AMI 資料會保存 3 年，但用戶上網登入觀看的數據只會顯示過去 1 年資料。在有智慧電表布建後，其分析從過去透過抽樣的方法已經可以提升到全面性的分析。但 SCE 也特別提到電力公司使用這些用戶的資料可能有隱私的問題，所以在分析上需要小心。

目前 SCE 智慧電表的讀表時間大用戶與住宅用戶不同，大用戶是 15 分鐘一筆資料，而住宅用戶是一小時一筆資料，其智慧電表建置前後的差異可參考下圖。

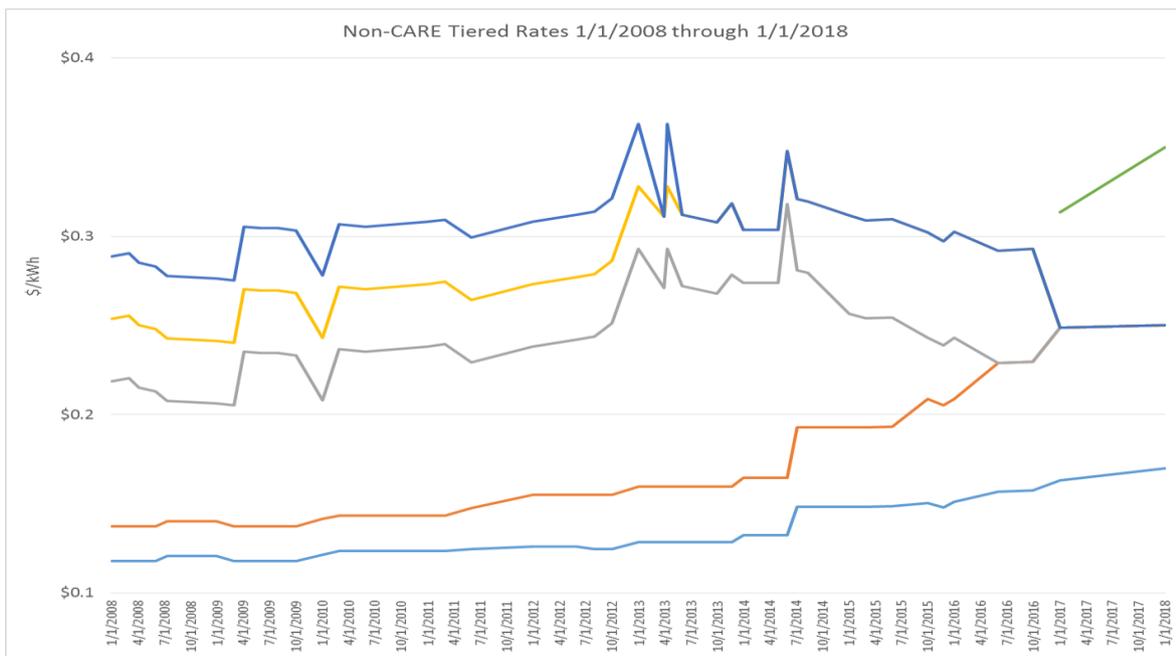
<b>Before SmartConnect</b>	<b>SmartConnect</b>
• Large customers (> 200 kW)	
• Samples of small customers	• All small customers (<= 200 kW)
• 15-Minute	• 15-Minute or 60-Minute (Residential)
• DB2 tables on Mainframe	• ESCDW Teradata
• Row: month (or day) of data	• Row: Interval of data
• Packed (or Zoned) Decimal	• Numeric
• No numeric operations	• Numeric operations
• Less space	• More space
• Download data to SAS server	• Optional
• Convert to numeric	
• Data processing on SAS server	• Optional
• 50,000 accounts	• 5,000,000 accounts

智慧電表可以發揮的應用包括那些用戶比較適合的費率方案(TOU)，藉此可回應 CPUC 的相關問題，包括費率對用戶的衝擊影響分析。最主要是因為 CPUC 希望鼓勵用戶選用 TOU，但又不希望讓低所得的用戶受到太大的衝擊，所以需要進行分析。

AMI 的另一個主要分析的議題是電網的衝擊影響，像是用戶屋頂裝設太陽能板的計費、DR 的潛力分析等，另外像是用戶跟 community 買電而非跟 SCE 買，SCE 負責轉供同時需要提供用電資料給 Community。另外這些用戶 opt out 之後，對於負載預測也會產生影響。最後是電動車成長後，會進一步分析用戶家中用電中電動車的占比，主要是很多的用戶沒有用 EV 費率，直接用家裡的電價進行電動車充電。

#### (四)SCE電價介紹

自從加州能源危機後，加州就開始不同的電價結構設計，最開始有五段累進級距。最高段的部分要涵蓋電表裝置成本與再生能源建置等費用，慢慢演變成高級距的用戶電價越來越高，使得這些用戶慢慢變得很失望，這些最高級距的用戶大概佔 10%。因此，2013 年 SCE 就在思考如何避免這種情形，所以就引入 TOU 方案，讓高級距的用戶可以轉到 TOU 來。同時，讓工商業用戶強制選用 TOU 方案。



2017 年，SCE 開始進行住宅用戶 TOU 的 Opt in 試驗，共 7 萬個用戶參與，特別強調讓那些低收入或是年長者可以容易了解 TOU 方案。2018 年度，SCE 開始試驗 Default 的 TOU 試驗，共 70 萬個用戶參與。

試驗方案最主要的測試內容是尖峰時段的改變，由原本的中午 12 點到下午 6 點變成下午 4 點到晚上 9 點。在 2019~2020 年就要開始新的住宅用戶 TOU，其改變的目的在於因應加州的 Duck Curve。

級距減少的另一個目的是為了讓費率越簡單越好，因為如果有六個級距的時候，很難同時搭配 TOU，累進型 TOU 方案對於用戶而言太過複雜。過去住宅用戶已經有推 TOU 方案，有三種 TOU 方案用戶可以自由選用。但加州政府最近要求 SCE 慢慢讓住宅用戶的 TOU 方案變為預設型，用戶還是可以選擇，但是會變成先預設 TOU。但預設型 TOU 會搭配一年的電費保護機制。因為夏季較高非夏季較低，這個部分是法律規定。

另外，目前 SCE 打算將 CPP 預設為工商用戶的電價方案，可以用戶一樣可以選擇 opt out。此部分方案的 Trigger 是系統需求或是電價過高的時候會啟動。

2017~2018 的住宅用戶 TOU opt in 試驗方案中，找了 2 萬個試驗用戶，然後支付 \$200 的試驗獎勵金(填寫問卷與報名)。試驗計畫強調如何讓低所得用戶與年長者可以理解與配合 TOU 方案，這是全美都關切的事情。在該次的試驗中，測試了三種不同的電價方案。

1. 4-9 peak with 1.5 to 1 on to off peak ratio.
2. 5-8 peak with 3.1 to 1 on to off peak ratio
3. CAISO inspired three season rate (summer, winter, spring)

**Figure 4.1-1: SCE Pilot Rate 1 (January 2017)<sup>35</sup>**

Tariff	Season	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Weekday	Summer	Super Off-Peak (23.2¢)								Off-Peak (27.8¢)								Peak (34.8¢)							
	Winter	Super Off-Peak (22.7¢)								Off-Peak (22.7¢)								Peak (27.3¢)							
Weekend	Summer	Super Off-Peak (23.2¢)								Off Peak (27.8¢)															
	Winter	Super Off-Peak (22.7¢)								Off Peak (22.7¢)															

**Figure 4.1-2: SCE Pilot Rate 2 (January 2017)**

Tariff	Season	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Weekday	Summer	Super Off-Peak (17.6¢)								Off-Peak (29.1¢)										Peak (55.2¢)					
	Winter	Super Off-Peak (17.7¢)								Off-Peak (25.5¢)										Peak (27.6¢)					
Weekend	Summer	Super Off-Peak (17.6¢)								Off-Peak (29.1¢)															
	Winter	Super Off-Peak (17.7¢)								Off-Peak (25.5¢)															

**Figure 4.1-3: SCE Pilot Rate 3 (January 2017)**

Tariff	Season	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Weekday	Summer	Off Peak (16.3¢)											Peak (22.6¢)				Super On-Peak (37.0¢)								
	Winter	Off Peak (18.3¢)											Mid Peak (21.1¢)												
	Spring	Off Peak (18.3¢)											Super Off Peak (10.0¢)				Peak (25.0¢)								
Weekend	Summer	Off Peak (16.3¢)											Mid Peak (18.7¢)												
	Winter	Off Peak (18.3¢)											Super Off Peak (10.39¢)				Mid Peak (21.1¢)								
	Spring	Off Peak (18.3¢)											Super Off Peak (10.0¢)				Mid Peak (21.1¢)								

結果發現低所得的用戶反應效果比非低所得用戶好，主要是冷氣部份。這結果與 PJM、San Diego 不同。試驗結果發現，這些用戶在試驗的那個夏季有負載抑低，但是在下一個沒有參加試驗的夏季，其負載還是有抑低效果。如果家中有裝設智慧恆溫器或是其他設備配合的用戶，則有助於用戶了解 TOU 的價格訊號。

2018~2019 進行 Opt-out 測試，直接寄信給用戶說明更換費率方案，並不用像前一個測試需要用戶同意參加並給予誘因。共計 40 萬戶用戶進行測試，因為是全區的試驗，所以是透過隨機方式挑選。方案是透過收益中立設計的。測試前將評估帳單系統、客服中心、電費保護機制等。共測試兩種電價，發現通訊以及教育是非常重要的。

兩個試驗方案最主要的差異是尖峰時段，一個是 4~9 pm，另一個是根據調查結果發現，有些住宅用戶回到家後要煮飯洗衣服的關係 所以不希望尖峰太長，所以 SCE 提出 5~8pm 尖峰的方案，也許住宅用戶會比較喜歡尖峰時間較短的方案，但結果發現其實沒差。用戶比較反對的是長時間的高電價。

下表是 SCE 不同電價的比較表，夏季理論上平均電價是 22.3 分一度，非夏季是 16.1 分一度。因為過去用戶會抱怨夏季太貴，因此目前是慢慢讓夏季與冬季之間的電費差距減少。

## Demonstration of Seasonal Rate Differentials

<b>Residential Average Rate (¢/kWh) Under Each Rate Structure</b>				
		Summer	Winter	Differences (¢/kWh)
	Months	4	8	
	Average kWh	673	459	
<b>Tiered Rate</b>	Tier Jan. 2018	18.8	18.5	0.3
Preliminary Proposal to TOU Working Group	<b>Cost Based TOU: 4 to 9 peak</b>	22.3	16.1	6.2
	<b>Cost Based TOU: 5 to 8 peak</b>	22.2	16.2	6.0
<b>Current TOU Rates</b>	<b>TOU-D-A w/ Baseline Credit</b>	20.7	17.0	3.7
	<b>TOU-D-B</b>	20.0	18.3	1.7
	<b>TOU-D-1-P</b>	21.1	17.0	4.1
C&I TOU Rates	<b>GS-1 Recorded</b>	18.9	17.0	1.9
	<b>GS-2 Recorded</b>	19.2	14.2	5.0
<b>Proposed TOU</b>	<b>4 to 9 Peak Period</b>	20.0	17.9	2.1
	<b>5 to 8 Peak Period</b>	19.9	17.9	2.0

在試驗前的 90 天、60 天與 30 天前會與用戶通知方案會改為預設 TOU 方案。然後幫用戶模擬原電價方案與新電價方案的電費。如果用戶想要退出方案，可以打電話或是上網申請。到目前為止，SCE 發現大部分用戶還是保有 TOU 方案。最主要的原因是電費保護下的無風險機制受到用戶滿意。SCE 在測試的時候有寄送用戶”歡迎來到 TOU”的相關資料，有些用戶對此也感到興奮。

一開始在 90 天前寄送 40 萬戶試驗方案的通知，一個月後剩下 30.9 萬用戶進行後續 TOU 測試，6%的用戶轉去其他 TOU 方案。然後 8 個月(4 月到 12 月)過後，還有很多用戶留在 TOU 方案中。顯示我們給了用戶選擇權，但只有 12%的用戶退出方案。我們做了很多教育、很多電費模擬試算等動作。

對尖峰抑低部分，4-9pm 的方案尖峰抑低 1.5%，另一個 5-8pm 的方案則因為尖峰時間較短，電價也相對較高，則可以抑低 2%用電。有 60%的用戶可以正確地說出尖峰時段，

而 40%的用戶說是說它們有採取移轉用電行動。因此如何讓用戶可以很清楚的知道尖峰時間帶還是後續重點，後續將會持續宣導並行銷尖峰時間段概念給用戶。SCE 轄區內的行銷團隊、社區溝通組織與 IOU 都正在極力宣導之後要改用新的 TOU 方案的訊息。

SCE 提到用戶喜歡有選擇權，用戶也喜歡電費保護機制。另外費率設計的策略也很重要。SCE 設計了兩種不同的 TOU 尖峰時段電價，讓用戶可以選擇這兩個比較適合他們的方案，用戶感覺他們有更多選擇。另外原電價方案是影響如何讓用戶轉移到時間電價的重要因素。台電比較在意是讓用戶理解 TOU 還是讓用戶理解用越多越貴，不同的概念如何結合在一起宣導會很複雜。但也可以讓用戶專注在尖離峰時段，但同時帶給用戶節電的概念就好。

2020 年 10 月要推動新的 TOU 機制，計畫將所有用戶轉到 TOU 中。需要進行更多試驗以減少用戶影響。在模擬用戶影響後，對於絕大部分用戶的帳單影響只有正負 5 美元一個月。

另外，SCE 特別分享其行銷管道，有海報、路邊招牌、汽車廣告，一開始的訴求主要是讓加州的人記得加州的美麗(Keep remember CA is beautiful)，要盡可能讓這個美麗持續下去。下一階段的廣告就會開始放入 TOU 的內容與其結合，為了讓加州維持美麗所以為什麼需要 TOU。

**APRIL**



Body Copy: Promise to do everything in your power to protect it by using energy in better ways.  
CTA: EnergyUpgradeCA.org

*Publications:*  
Better Homes & Gardens  
Eating Well  
Entertainment Weekly  
People  
Real Simple  
Sports Illustrated

**MAY**



Body Copy: Californians struck gold with clean energy, but it's on you to use it. Energy is cleanest before 4PM and after 9PM. When you use energy at the right times you show California just how much you treasure it.  
CTA: EnergyUpgradeCA.org

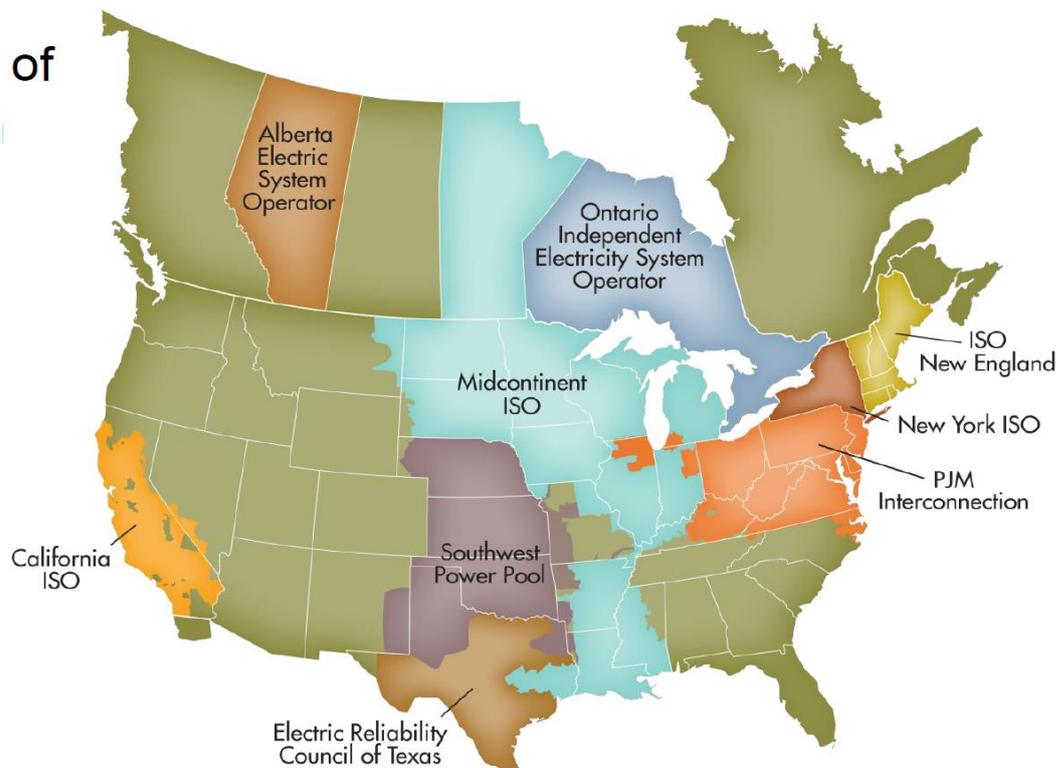




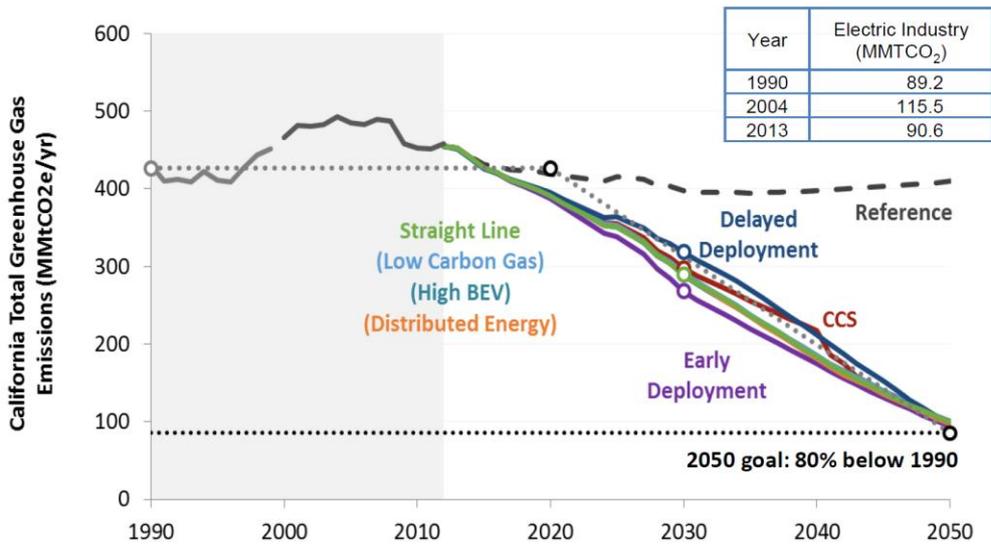

### 三、 CAISO (California Independent System Operator)

#### (一)背景介紹

加州電力調度中心(California Independent System Operator, CAISO)的任務在維持電網的安全與可靠的電力，電力調度範圍包含加州與內華達州地區。CAISO 的電力市場分為能量市場(包含日前市場、小時前市場、即時市場)、輸電壅塞管理市場、輔助服務市場，並由市場中獲得足夠各種電力品質服務商品。

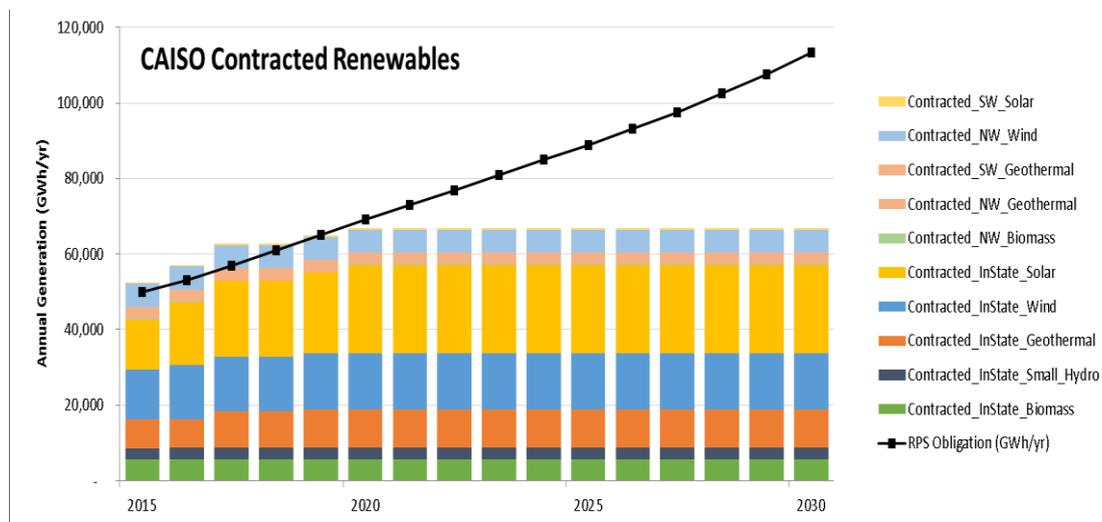


目前加州主要面臨高再生能源佔比下，如何將再生能源整合之問題，以下茲就目前的發展進行介紹。由於加州預計在 2020 年之前，溫室氣體排放應回到 1990 年之水準，在 2050 年之前應較 1990 年排放水準降低 80%，透過下圖的模擬可明確的看出，在 2020 年之後，溫室氣體排放係呈現直線下降的趨勢，這表示必須搭配多項減碳政策，特別是再生能源的發展。

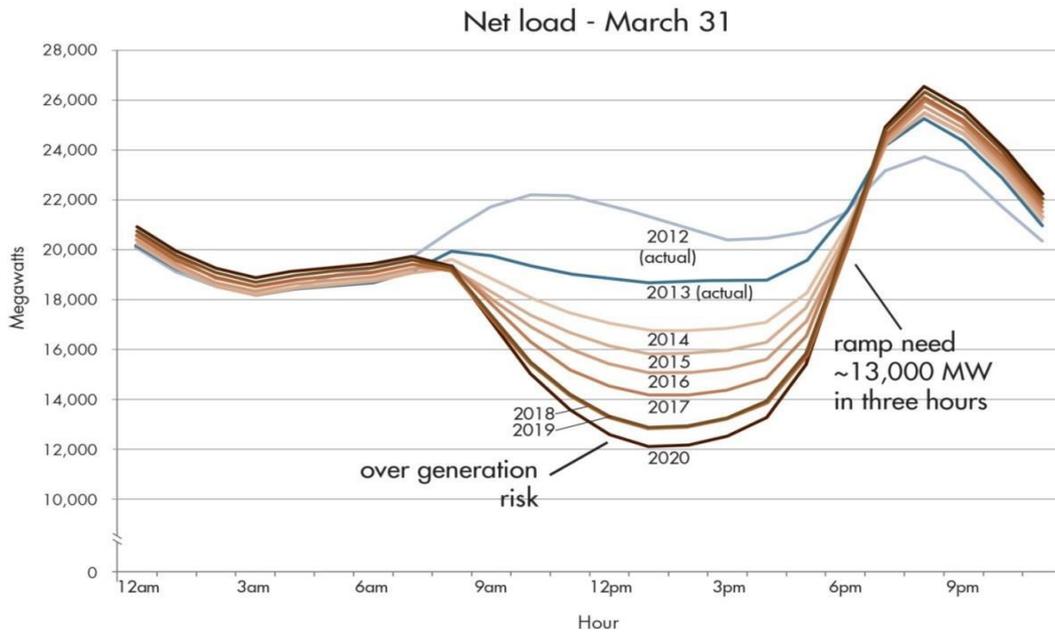


由於加州訂有再生能源配比義務，售電業者必須保證其售電量中之一定比例來自於再生能源發電，因此售電業者必須與再生能源發電業者簽訂購電合約，並在 CAISO 之電能市場中以低價投標，以確保能符合其再生能源配比義務。

從下圖可以看出，由於到 2030 年再生能源配比義務提高到 50%，為達到該義務所需之再生能源發電量快速增加，以目前簽約之再生能源數量仍遠低於 2030 年之目標，換言之，在未來將有大量再生能源發電將投入 CAISO 之電能市場中。預計到 2030 年將有 14.6GW 的分散式太陽光電力系統。



下圖為 CAISO 著名的鴨子曲線，由於再生能源將陸續併入電網中，扣除風力及太陽光電後之淨負載將持續降低，且在系統必須維持固定容量之強制運行機組 (must run)，將導致在從 2020 年之後出現過多電源之風險。



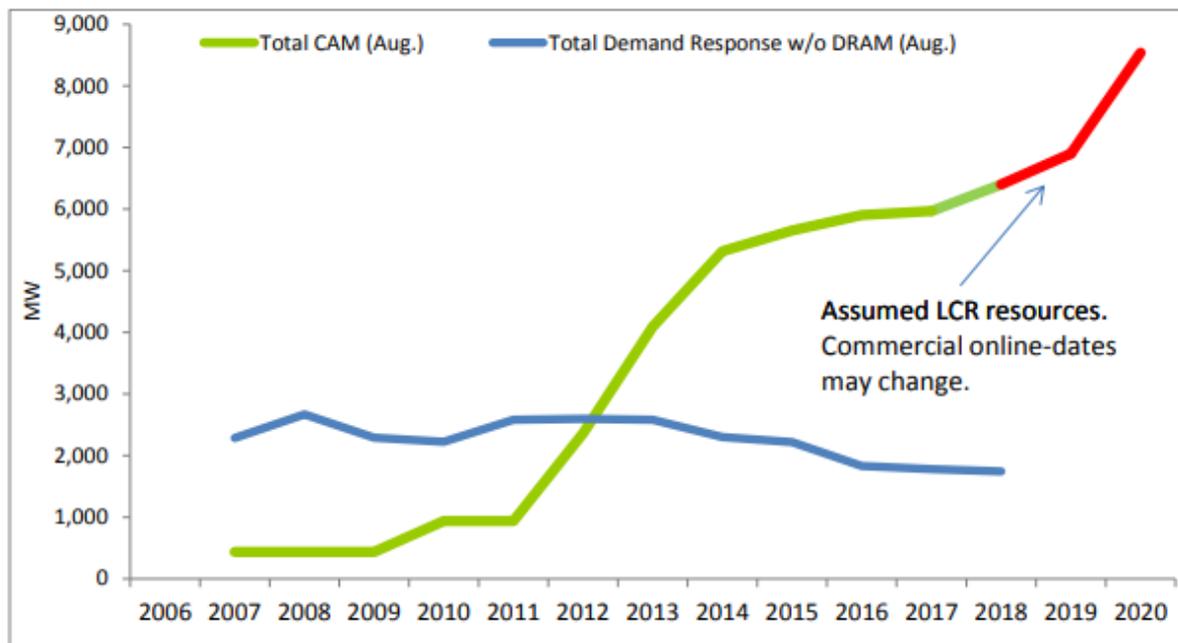
另根據 CAISO 之模擬，在 2024 年白天時段之淨負載甚至為負值，此時除進行電源削減之外，也必須搭配儲能設備來協助維持電力系統之平衡。而為了使再生能源可整合進電力系統中，CAISO 目前提出下列各種解決方案，包括推動時間電價、需量反應方案、儲能系統等。

## (二)CAISO主要需量反應方案

加州公共事業委員會(CPUC)於官網公布資源充足性(Resource Adequacy, RA)之目標，主要希望為提供加州獨立電網操作者穩定的電力，並確保安全可靠之供應，也期望設計提供合適的誘因，鼓勵未來新資源的投入，以平衡電力需求。CPCU 的主要框架是藉由要求 LES 採購容量，以達成 CAISO 所期望之供需平衡。CPUC 的 RA 計劃包含系統需求、區域要求、彈性要求。

- (1) 系統要求(System requirements)：主要跟據加州能源委員會(CEC)對於每個 LSE 的調整預測量加上 15%的備用容量。
- (2) 區域要求(Local requirements)：依照 CAISO 的年度報告，使用每 10 年偶發性的異常天氣事件。
- (3) 彈性要求(Flexible Requirements)：依照 CAISO 的年度報告，使用每月系統運作的前三小時最高負載。

此外，加州公共事業委員會(CPUC)，為維持電力可靠度並且支持新一代資源開發，開始採用中央採購機制(Central Procurement Mechanisms, CAM)，作為成本分配機制，CPUC 設計可透過長期電力購買協議進行容量採購，所分配的容量，可以運用於每個 LSE 的 RA 要求。預計在 2018 年 8 月大約有 6,400 MW 的容量(包含 DRAM 計畫)將會通過 CAM 機制進入 RA；至 2020 年 8 月將會增加至 8,500 MW，對於 CPUC 而言，已經採購了超過 1,700 MW 的容量，以滿足 2018 系統 RA 要求，如下圖所示。



而 CAISO 的需量反應商品有兩種類型，包含 PDR 與 RDRR，無論是參與 PDR 或是 RDRR 的用戶，參與者需要透過需量反應系統(Demand Response System, DRS)註冊帳號，可以在系統上查詢用電量、抑低情況等相關資訊，並可透過系統進行投標的作業，以下分別介紹 PDR 與 RDRR 之方案內容：

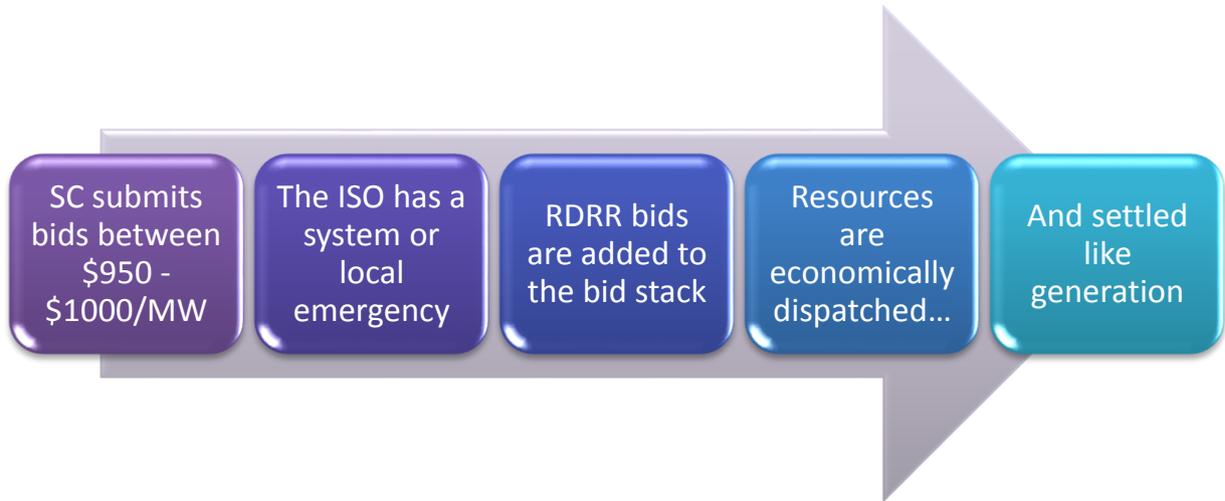
(1) 代理需量資源(Proxy Demand Resource, PDR)：於 2010 年實施，用戶可透過競價方式進入日前市場與即時市場。



◆ PDR 的限制：

- A. 針對日前與即時能量市場(Day-Ahead and Real-Time energy)：至少要有 100kW 的抑低量
- B. 針對日前與即時冷機備轉容量市場(Day-Ahead and Real-Time energy Non-Spinning Reserve)：至少要有 100kW 的抑低量
- C. 可以透過用戶群代表，集結小的參與者，已達到最低的抑低量
- D. PDR 參與用戶當抑低量大於 10MW，或是有參與輔助服務市場需具備遠端遙測 (Telemetry) 功能，並且需符合以下項目
  - Accuracy(準確性)：所有遙測的數據一定要誤差在+/-2%以內。
  - Format(格式)：需要統一遙測回傳的數據格式，例如使用 MW 為計量單位。

(2) 可靠需量反應資源(Reliability Demand Response Resource, RDRR)產品：於 2014 年實施，用戶可參與日前市場，或在系統緊急情況時，提供可靠電能以防止電能危急的情況使用。



- ◆ RDRR 的限制：
  - A. RDRR 參與者必須最少有 500kW 的抑低量。
  - B. 收到調度指令後的 40 分鐘內，需達到最大抑低量。
  - C. 運作時間應連續 4 小時以上。
  - D. 若投入即時調度市場，抑低量不得超過 50MW。

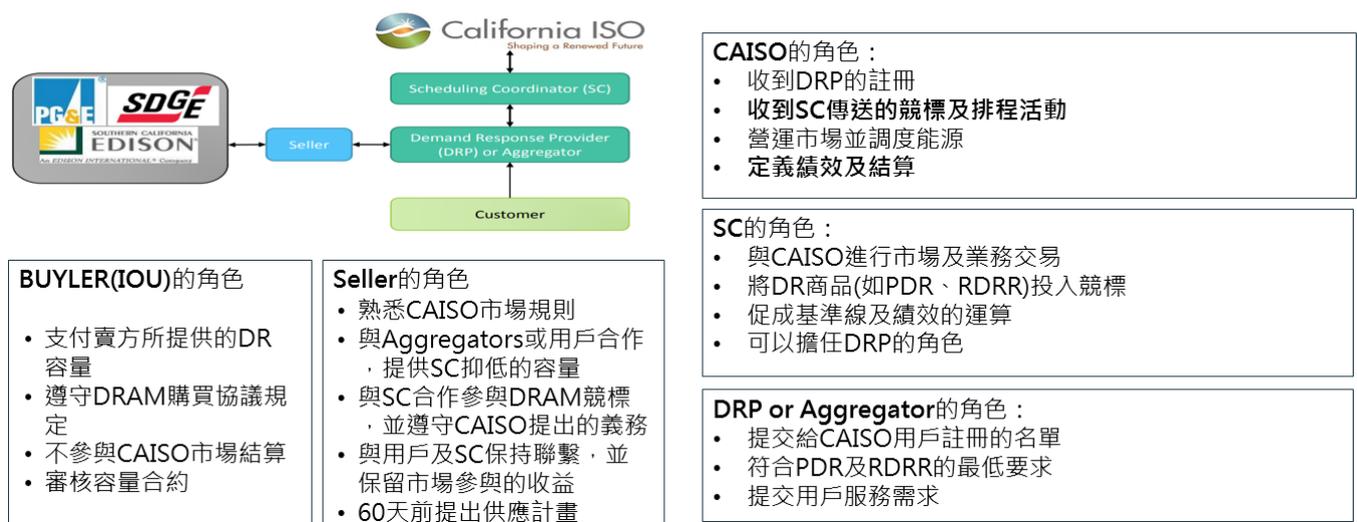
### (3) 加州 DRAM 試驗計畫

2014 年 12 月，加州公共委員會(CPUC)發布 D.14-12-024 決策，要求 SCE, SDGE, PG&E 公司設計並且實施「需量反應拍賣機制示範計畫」(Demand Response Auction Mechanism pilot programs, DRAM)，期間為 2016 年-2017 年；並且之後於 D. 16-06-029 及 D. 17-10-017 決策中，要求持續執行 2018 年及 2019 年 DRAM 示範計畫，時程如表所示。

年度	項目
2016 年	完成第一階段(I)的容量測試
2017 年	完成第二階段(II)的容量測試
2018 年	完成第三階段(III)的容量測試
2019 年	完成第四階段(IV)的容量測試，預計這將成為 DRAM 的最後一年。

CAISO 要求需量反應提供者(包含用戶群代表與電力公司)，將可以抑低的負載量，直接投標至 CAISO 的日前市場進行媒合，視為需量反應的進階方案。此類型的方案不再以系統調度或是避免成本的觀點設計需量反應，DR Provider 可以結合燃料電池、電動車以及 EMS 系統等，進入加州獨立電力調度中心參與投標。該計畫希望能夠進一步解決現行加州需量反應制度問題，以確保加州實施需量反應抑低系統尖峰負載 5%目標。未來加州 Pacific Gas and Electric 公司、San Diego Gas and Electric 公司、Southern California Edison 公司等電力公用事業將於 2020 年達成 5%目標值。

在 DRAM 的運作下，包含 SC 調度員、DRP 需量反應提供者 or Aggregator 用戶群代表、買方及賣方等角色參與，各自負責的工作整理如圖所示。



[https://www.sce.com/wps/wcm/connect/3fefbc02-0678-4ead-810e-98e0a018270d/DRAM4\\_BiddersConference.pdf?MOD=AJPERES](https://www.sce.com/wps/wcm/connect/3fefbc02-0678-4ead-810e-98e0a018270d/DRAM4_BiddersConference.pdf?MOD=AJPERES)

#### (4) 基準線

CAISO 的基準線採用了 10 取 10 法(10-in-10)，取事件前 45 天中找出最近的 10 天做為基準日，接著平均每小時用電資料建立基準線，並且有 20%的負載點調整權重(Load Point Adjustment)。

CAISO 設定負載點調整權重的目的，是用於基準線數值的調整。將 10 取 10 的平均用電量，還需乘上負載點調整權重才會是最終的基準線。而[負載點調整權重]=事件日前三小時的平均用電/事件日前三小時的基準線。舉例而言，如下圖所示，當事件日的 16 點，可依照 12 至 14 時的負載，計算權重=11.23 / 14.57=77.7%。另外，負載點調整的區間為 80%~120%，若高過上限仍以 120%計算。

**Example 7: Event Day/Hour: August 15, 2010 – HE 16**

Load	Meter	Raw Baseline
HE12	11	14
HE13	10.2	14.2
HE14	12.5	15.5
<b>Average</b>	<b>11.23</b>	<b>14.57</b>

$$\text{Load Point Adjustment Ratio} = \text{PDR or RDRR Meter/Raw Baseline}$$

#### (5) 啟動條件

- A. PDR 的啟動條件：日前、即時市場為經濟型投標。輔助服務市場則依照緊急狀況啟動，例如頻率<60hertz 情況下，10 分鐘前通知用戶緊急調度。
- B. RDRR 的啟動條件：當發生緊急狀況時，直接通知用戶降載，包含以下三種情況，分別為系統緊急狀況、ISO 控制電網的輸電緊急狀況、當地輸配電緊急狀況。

CAISO 對於系統電力的供應情況，分為保護通知、運作通知、緊急通知三種類型，並且往下切分為不同等級事件，而在警告階段時，要求節電並啟動需量反應，如下表所示。

類型	事件
Conservation notifications (保護通知)	Flex Alerts(彈性警報)：當電力需求高於供給量時，ISO 將會發送警報通知，呼籲用戶自願性的節約能源。
Operational notifications (營運通知)	Restricted Maintenance Operations(限制檢修工作)：要求發電機組與輸配電設備需要延後維護，以確保電網可以正常使用。
	Alert(警報)：於前一天下午 3 點公佈的預期備轉容量的缺口。
	Warning(警告)：電網操作者將啟動需量反應。
Emergency notifications (緊急通知)	Stage 1 Emergency(第一階段緊急狀態)：緊急性的電力備轉不足(已發生或是預測將發生)，需要受到保護。
	Stage 2 Emergency(第二階段緊急狀態)：ISO 已經採取了緩解作業，無法再提供預期的能源需求，需要透過 ISO 進行市場操作。
	Stage 3 Emergency(第三階段緊急狀態)：ISO 無法滿足緊急備轉要求，電力中斷即將來臨，將發出給電力公司的中斷通知。

### (三)CAISO對於AMI資料區間的建議

CAISO 提到台灣目前電表紀錄 15 分鐘的資料區間很好，因為很多美國的電業並沒有 15 分鐘的資料區間，大部分都還是 1 小時區間。大部分考量都還是資料量問題，SCE 目前就是採 1 小時資料區間。

事實上 CAISO 的 DR 方案，比較傾向看到 5 分鐘的資料區間，因為這對於 settlement 有幫助，因為 CAISO 的 settlement 區間(wholesale level)是 5 分鐘。所以目前 CAISO 的作法是採用 15 分鐘的資料，然後回推 5 分鐘的需量，但這有準確性的問題。

有越精細的資料將有助於更好的 Load 分析，也對於 rate design 也有幫助。但住宅用戶的數量太多，也許 15 分鐘的資料就很足夠，但對於 C&I 用戶，越精細越好。基本上 C&I 用戶也具備更有彈性的負載，他們也更有潛力參加 DR 方案，若能搭配相關技術，也許可以抑低更多。

CAISO 現在已經在觀察 5 分鐘一筆的資料，因為再生能源的間歇性問題。所以希望未來 DR 可以參與這些間歇性的問題。

#### (四)CAISO對於自身DR方案的轉變

CAISO 的要求是，如果發生 contingency 問題(電廠、供電線路)，系統要在 30 分鐘內回復。所以 DR 的通知時間相對重要。

目前 CAISO 正在規劃 Pre-contingency，在供電瓶頸地區先進行 Pre-contingency 的調度，降低該區負載讓該區域更安全。Pre-contingency 的方案是 day-ahead 通知，這是一個新的方案選擇。但問題是，這樣的作法會導致這些區域的用戶被調度更多次，因為 Pre-contingency 的因素。

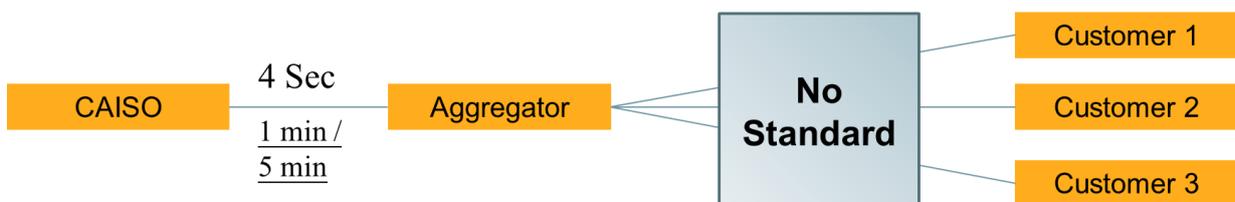
因應調度次數問題，目前 CAISO 在正規畫不要 over dispatch 這些資源的方式，其做法是正在規畫一個 tool，整合更多即時資訊去判斷系統條件，就可以更精確地去使用 DR 資源。

#### (五)CAISO的輔助服務方案

CAISO 的輔助服務的容量費用由輔助服務市場而來，而調度所產生的能量費由能量市場支付(real time market)。CAISO 目前並沒有頻率調整的 DR 方案，主要是考慮到 revenue 的問題。

但 CAISO 提到 Telemetry 需求是一個很大的問題，需要 4 秒的即時資料回傳。CAISO 正在研議調整規範，因為很多 DR 是透過 Aggregation 而來，因此對於 Spinning 考慮放寬到允許 1 分鐘的 telemetry；考慮放寬到 non-spinning 允許 5 分鐘。透過放寬 telemetry 需求，讓更多 Aggregator 可以進入市場。

CAISO 了解 DR 參加輔助服務有需多議題，但認為主要的是 Telemetry，因為 behind meter 有很多儲能，這些儲能是很容易裝設 telemetry，但傳統的 Load 很困難。



至於 Telemetry 的裝置位置部分，CAISO 提到可以是電表端或是設備端，也可以都裝設。如果是 EV 或是儲能 可以裝在設備端就好

至於 Submeter 的 Gaming 議題，建議同時觀察 Submeter 以及 Meter 用電量，交叉比對以避免用戶操弄。但目前 CAISO 並沒有這樣做，也沒有解決方案，因為 CAISO 有設定相關規則，用戶不可以這樣操弄。

#### (六)CAISO對於DR因應再生能源的看法

CAISO 花了很多年時間試圖整合 DR 資源，希望其變成一個穩定的調度發電資源，但實際上 DR 並沒有如預期般運作那麼好。參加緊急型方案的用戶在接到通知時還是很失望，即使 CAISO 已經支付它們錢，它們真的不希望被調度。

在 CAISO 的立場，用戶比較會對費率方案反應，特別是在再生能源佔比高之後的 duck curve 情形發生時。費率方案可以讓用戶 shift and shave 比較重要。因為在很多 PV 進入後，PV 可以提供每天 12 點到 6 點穩定的降載，每天降載還不用通知、不用被抱怨，還不用給錢。

因此對於目前的 CAISO，過去下午的 Load curtailment 的價值越來越低，Load curtailment 在 4~9 點的變得比較有價值，但這時間點對於 C&I 用戶以及住宅用戶更難配合。DR 更重要的變成移轉負載而非是單純抑低負載，最終的目的是希望讓 The Duck Fly，也就是讓 duck curve 平坦一些)。

希望導入 TOU 機制，或是 RTP，希望讓用戶有儲能或是其他可以配合的資源 (flexible load)，可以在緊急的時候提供(像是突然有雲飄過)系統需求。

#### (七)CAISO對台灣的建議

在再生能源導入後，對於 DR 的要求會變得需要更快更短的反應時間。台灣應該要思考如何導入這樣的 DR 資源。CAISO 已經有很多 DR 方案，但還是持續在更新這些方案以利因應再生能源的問題，CAISO 發現 DR 方案目前還不是這麼符合 CAISO 需求，必須搭配一些技術才能達到通知時間較短的目標。未來的 DR 將會慢慢轉型，從 load curtailment 增加 load consumption，同時可以 up and down。建議台灣要提早規劃。

## 參、 結論與心得

本次赴美於夏威夷電力及 CAISO 獲得許多需量反應推動經驗，夏威夷與加州的再生能源佔比非常高，已形成鴨子曲線，因此在方案設計上已和以往不同，不再追求負載抑低，反而為了拯救 ramping rate 可能需增加負載。

而在與 SCE 和 The Brattle Group 的會談中也了解到，除了需量反應方案外，費率方案的設計亦極為重要。考量用戶的實際反應情形，甚至費率設計這種價格型(price-based)的需求面管理方案，其效益更優於誘因型(incentive-based)的需量反應。原因也許在於需量反應需要主動請用戶配合調整用電行為，並以提供誘因與罰則這種獎懲機制實施；而費率方案則是以價格結構的改變，被動促使用戶調整用電行為，並將成果直接反映於帳單，無額外獎勵或罰則。

另外，關於 AMI(Advanced Metering Infrastructure, 先進讀表基礎建設)佈建與應用，也於 ConEd 獲得相關經驗。值得注意的是，ConEd 針對小用戶優先佈建，目的在於可針對電力系統末端電壓進行分析，避免影響用戶用電品質。

上述結果都十分值得台電公司參考，思考未來面臨再生能源佔比攀升時，規劃需求面管理發展時應注重的方向。且目前台電公司 AMI 應用多針對 kW 資料進行分析，關於計量資料(如電壓、相角)的著墨並不多，透過本次參訪瞭解國外作法，或許可延伸發想其他創新應用。