

出國報告（出國類別：實習）

# 美國電力業二氧化碳管制 及排放交易機制研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：趙德琛 11 等一般工程監

派赴國家：美國

出國期間：103 年 11 月 16 日至 11 月 27 日

報告日期：104 年 1 月 23 日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：美國電力業二氧化碳管制及排放交易機制研習

頁數\_65\_含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

趙德琛/台灣電力公司/環境保護處/11 等一般工程監/02-23668639

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：103/11/16 ~ 103/11/27

出國地區：美國

報告日期：104 年 1 月 23 日

分類號/目

關鍵詞：

總量管制與排放交易(Cap-and-Trade)；排放交易機制(Emission Trading Scheme)；區域溫室氣體倡議(RGGI)；清潔電力計畫(Clean Power Plan )

內容摘要：(二百至三百字)

1997 年京都議定書制定後，美國雖未批准簽署，但將溫室氣體列為空氣污染物以清潔空氣法(Clean Air Act)進行管理；其東北部九個州及加州分別於 2009 年及 2013 年對相關行業溫室氣體排放予以總量管制並實施排放交易制度。歐巴馬總統又於 2014 年 6 月提出清潔電力計畫(Clean Power Plan)，期能在 2030 年時將發電業排放溫室氣的總量，比 2005 年減少 30%。

我國環保法規一向援引美國制度，環保署亦在 2012 年 5 月將溫室氣體列為空氣污染物，以空氣污染防制法納管；此外，環保署已開始研擬下一階段管制電力部門溫室氣體排放之方式。故希望藉此機會深

入了解美國聯邦及地方政府管制溫室氣體之做法與配套措施(如排放交易)，以及對電力業之影響程度，俾適時提供政府主管機關及本公司相關規劃作業之參考。

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

# 目 錄

壹、出國目的.....	4
貳、行程紀要.....	7
參、實習內容.....	8
一、 美國東北部區域溫室氣體倡議制度.....	8
二、 美國加州排放交易機制.....	17
三、 美國環保署清潔電力計畫提案.....	31
四、 參訪機構介紹.....	48
肆、心得與建議 .....	63

## 壹、出國目的

1997 年制訂的京都議定書(Kyoto Protocol)於 2005 年生效後，人類在因應氣候變遷的合作上進入了一個新的時代，聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)之附件一國家應於 2008~2012 年間實質減量，將溫室氣體排放量回歸至 1990 年的水準再削減 5.2%，為此京都議定書內建置三種彈性減量機制，分別為「聯合減量」(Joint Implementation, JI)、「清潔發展機制」(Clean Development Mechanism, CDM)及「排放交易」(Emission Trading, ET)。

排放交易之主要理論基礎為寇斯(R. H. Coase)理論，寇斯認為，如果財產權界定明確，政府不需要介入，外部性問題可經由雙方當事人間之協商與補償獲得解決；因此，政府只需確立財產之歸屬，而無需介入干預。也就是說將外部性效果轉化成內部的成本，透過私經濟部門的自行談判、協商、甚至訴訟程序來解決，使資源合理配置。故根據 Coase 理論，確定碳排放權力之歸屬能夠解決外部性之問題，亦即減量可以最低成本的方式達成；再者，溫室氣體排放是全球性的議題，任何一個地方所排放出的量，藉由在其他地方減量抵減之，不致造成地區性的環境影響與健康危害，排放交易更較傳統空氣污染物(硫氧化物、氮氧化物、粒狀污染物)為適當，因此已成為各國達成減碳目標的主要手段之一。

歐盟的排放交易機制(EU ETS)是全世界最早實施的碳排放交易制度，也是目前世界上碳排放交易最活絡的市場；歐盟於 2003 年通過歐盟排放交易指令(Directive 2003/87/EC)，並於 2005 年開啟 EU ETS 的第一階段(2005~2007)，2008 年進入第二階段(2008~2012)，如今則為第三階段(2013~2020)。美國雖為了經濟因素未簽署京都議定書，但其最高法院在 2007 年裁決溫室氣

體須納入清潔空氣法(Clean Air Act)之空氣污染物，美國環保署遂依據清潔空氣法推動溫室氣體管理相關工作，包括排放量申報及取得固定污染源操作許可等規定；隨著頁岩氣(Shale Gas)開採技術之突破，燃氣電廠逐漸取代燃煤電廠之際，美國環保署於 2013 年 9 月 20 日公布「新設電廠排放標準(草案)」，針對燃氣及燃煤分別訂定排放標準；雖在 2014 年初遭國會以相關法案擱置，但歐巴馬總統旋即在 2014 年 6 月提出清潔電力計畫(Clean Power Plan)，目標要在 2030 年時，將發電廠排放溫室氣體的總量，比 2005 年的排放量減少 30%。

就美國國內各州之溫室氣體管制而言，目前主要之總量管制機制有二：

1. 東北部區域溫室氣體倡議制度 (Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI) — RGGI係美國第一個具法律約束力之溫室氣體總量管制與排放交易制度，範圍包括美國東北部9個州的電力業，第一階段自2009年起，因為RGGI管制業者之總排放量遠低於排放量管制上限，導致碳市場上RGGI之碳額度價格低落；目前為第二階段之末期，經過對RGGI相關制度進行改革，碳市場之交易量及碳價均已逐漸回溫。
2. 加州總量管制與排放交易制度(California cap-and-trade program) —加州是美國率先針對溫室氣體進行總量管制的州級政府，其主管機關ARB(空氣資源局)於2012年初採納溫室氣體與市場機制規則，即於2013年開始分三階段施行排放交易機制，提供產業更具彈性且較低成本的方式進行減量；加州政府亦與加拿大魁北克政府簽署正式之協議(已於2014年1月生效)，未來將朝擴大碳交易市場之方向推動，並使碳價格系統更趨完善。

我國環保法規一向援引美國之作法，由於溫室氣體減量法草案遲未經立法院通過實施，行政院環境保護署即在 2012 年 5 月將溫室氣體列為空氣污染物，以空氣污染防制法納管，並發布「溫室氣體排放量申報管理辦法」與「公私場所應申報溫室氣體排放量之固定污染源」，要求被列為第一批固定污染源之發電業需自 2013 年 1 月 1 日開始申報；未來，環保署也開始研擬下一階段管制電力部門溫室氣體排放之方式，例如訂定效能標準、推動碳捕捉及封存(CCS)技術發展等。

面對非核家園之不確定性，在缺乏減量工具之情形下，我國之減碳目標如何達成存有極大變數，因此本次赴美實習及參訪對象含括電力公司、設備廠商、及美國東、西兩岸碳排放交易之相關機構，希望藉此機會能夠深入了解其聯邦及地方政府規劃溫室氣體管制之緣由與配套措施(如排放交易)，以及對電力業之影響程度，俾本公司未來面對我國中央及各地方政府對電力業進行不同管制作法時，除可適時提供建言予主管機關外，亦能作為規劃本公司因應策略之參考。

## 貳、行程紀要

起 始 日	迄 止 日	前往機構名稱	工作內容
11/16	11/16	—	往程 (台北→洛杉磯)
11/17	11/18	南加州愛迪生公司 (SCE)	研習加州排放交易制度及 討論 Clean Power Plan 提案
11/19	11/19	Climate Action Reserve	研習加州抵換計畫之運作
11/20	11/20	—	路程 (洛杉磯→華盛頓特區)
11/21	11/21	ALSTOM 公司	討論 Clean Power Plan 提案 及 CCS 技術發展狀況
11/22	11/23	—	路程 (華盛頓特區→紐約) 及週末 (整理資料)
11/24	11/24	Brookhaven 國家 實驗室(BNL)	討論再生能源之發展
11/25	11/25	RGGI, Inc.	研習 RGGI 制度
11/26	11/27	—	返程 (紐約→台北) 註：因申請順道觀光 2 日，實際 返程日期為 11/28~11/29。

## 參、實習內容

### 一、美國東北部區域溫室氣體倡議制度

#### (一) RGGI 簡介

美國東北部區域溫室氣體倡議 (Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI) 制度為美國第一個強制性的溫室氣體交易制度，原於 2003 年時任紐約州長帕塔基(George Pataki)向東北各州提出後所簽訂，東北十州包括康乃狄克(CT)、德拉瓦(DE)、麻塞諸瑟(MA)、馬里蘭(MD)、緬因(ME)、新罕布什爾(NH)、紐約(NY)、羅德島(RI)、佛蒙特(VT) )及紐澤西(NJ)等州。其中紐澤西州在 2011 年因認為 RGGI 制度無法使其達到減排目標而退出，故目前參與者僅有九個州。

創建 RGGI 的目的有三：第一、以最經濟的方式維持並減少 RGGI 成員州內 CO<sub>2</sub>的排放量；第二、強制性納入管制對象的是以化石燃料為動力且裝置容量在 25MW 以上的發電業，各州至少要將 25%的碳配額拍賣收益用於發展策略性的能源項目(如再生能源、效率提升)；第三，成為美國其他地區和其他國家的示範。

本次拜會之 RGGI 總部(RGGI, Inc.)位於紐約市教堂街 90 號(圖 1)，旁邊即是在 911 事件中被摧毀之世貿雙子星大樓原址，如今已重建起一棟雄偉的世貿中心一號樓(One World Trade Center，圖 2)。RGGI, Inc.為一公司型態之非營利機構，董事會由成員州各派 2 名代表擔任董事，再選出主席、副主席、財委及秘書各 1 人。由現任董事之背景資料可發現各州的 2 名代表，1 名隸屬於環境或自然資源單位，另 1 名則來自於能源或公共服務部門。

## Regional Greenhouse Gas Initiative

an Initiative of the Northeast and Mid-Atlantic States of the U.S.



圖 1 RGGI, Inc.所在大樓外觀



圖 2 One World Trade Center

RGGI, Inc.的存在是為了每個 RGGI 成員州內的 CO<sub>2</sub> 預算交易的發展，提供行政與技術上的服務，其相關活動如下：

- 發展及維持一個 RGGI 制度下報告排放源數據及追蹤碳配額的系統
- 實施碳配額拍賣平台
- 上述碳配額拍賣及交易市場之監督
- RGGI 各成員州對排放抵換計畫進行審查時，提供技術支援
- RGGI 各成員州彼此間對 RGGI 方案改變時之評估，提供技術支援

### (二) RGGI 碳配額及初期成效

RGGI 制度於 2009 年 1 月 1 日開始運作，以三年為一期進行控管，第 1 控制期為 2009~2011 年，第 2 控制期為 2012~2014 年，第 3 控制期為 2015~2017 年；每期各州有獨立的預算交易計畫(Budget Trading Programs)，所謂的「預算」(Budget)即為其排放上限(Cap)。2020 年前設

定預算之方式如下：

1. 2009-2014 年：依照 2000-2002 年的平均排放資料訂定第 1 期與第 2 期的排放上限如下：
  - (1) 2009-2011 年：每年十個州總排放上限為 188 百萬短噸(short tons)
  - (2) 2012-2014 年：每年九個州總排放上限為 165 百萬短噸(short tons)
2. 2015-2018 年：以 2009 年為基準，各州每年減少 2.5% 排放額，使 2018 年排放低於 2009 年排放的 10%。

RGGI 規定最少有 25% 排放配額是經由拍賣方式分配，各州決定剩下 75% 的分配方式，但實際上各州拍賣比例皆達到 90%，甚至也有 100% 拍賣。至 2014 年 9 月，RGGI 已累計 18 億美元之收入<sup>1</sup>；此收入主要用於客戶利益相關方案，如能源效率、再生能源、協助能源相關草案以及其他溫室氣體減量方案。

對電廠而言，除了提高效率以減少碳排放量外，亦可執行溫室氣體減量計畫，以得到碳額度來抵換排放量；或者推動在電業以外的減碳計畫，也同樣可得到抵換額度。

RGGI 限制抵換計畫之類型，目前只有 5 類，分別是掩埋場甲烷捕捉與摧毀、電力部門 SF<sub>6</sub> 減量、住商部門使用端之燃燒效率提升或 CO<sub>2</sub> 減量、農業部門糞肥管理之甲烷逸散防止及造林/再造林/森林管理改善等減量計畫，且所產生之額度抵換比例只接受承諾減量的 3.3%<sup>2</sup>。在下列特殊情況下，則可達 5~10%：

---

<sup>1</sup> [http://www.rggi.org/docs/Documents/RGGI\\_Fact\\_Sheet.pdf](http://www.rggi.org/docs/Documents/RGGI_Fact_Sheet.pdf)

<sup>2</sup> [http://www.rggi.org/docs/Documents/RGGI\\_Offsets\\_FactSheet.pdf](http://www.rggi.org/docs/Documents/RGGI_Offsets_FactSheet.pdf)

1. 若「第一階觸發事件」(stage one trigger event，指各控制期開始 14 個月後，碳配額現貨價格超過 7 美元門檻(2005 年為 7 美元，往後每年依消費者物價指數調整))發生，則每一個排放源於控制期間最多可以使用抵換額度抵減 5%的排放量。
2. 若「第二階觸發事件」(stage two trigger event，指各控制期開始 14 個月後，碳配額現貨價格超過 10 美元門檻(2005 年為 10 美元，往後每年依消費者物價指數調整))發生，則每一個排放源於控制期間最多可以使用抵換額度抵減 10%的排放量。

2012 年 RGGI 發表第 1 控制期(2009-2011)實施成果，該期間內列管發電廠平均每年總排放量為 1.26 億噸，遠低於規定排放上限值 1.88 億噸。211 家列管電廠中有 206 家達成排放目標(97%)<sup>3</sup>，似乎顯示其實施已獲得減量成效。比較 RGGI 制度實施前(2005-2008)及實施後(2010-2012)發電量年均值之變化，RGGI 發電量下降約 10%，但進口電力卻增加逾 20%(圖 3)；比較 CO<sub>2</sub>排放量年均值之變化，RGGI 發電排放下降幅度超過 25%，但同時期內非 RGGI 發電排放下降約 10%，進口電力發電排放增加卻不到 5%(圖 4)。<sup>4</sup>

達成目標之原因很多，如發電廠改燃天然氣/頁岩氣、天氣及經濟因素等，例如 RGGI 各州失業率平均值從 2008 年的 4.7%，到 2011 年增加至 7.2%<sup>5</sup>；因此有多少排放減量可以直接歸因於實施 RGGI 制度，並無法確定。在與 RGGI, Inc.會談的過程中，曾討論此議題，RGGI 人員表

---

<sup>3</sup> [http://www.rggi.org/docs/PR060412\\_Compliance.pdf](http://www.rggi.org/docs/PR060412_Compliance.pdf)

<sup>4</sup> [http://www.rggi.org/docs/Documents/Elec\\_monitoring\\_report\\_2012\\_15\\_08\\_11.pdf](http://www.rggi.org/docs/Documents/Elec_monitoring_report_2012_15_08_11.pdf)

<sup>5</sup> <http://www.skepticalscience.com/carbon-pricing-alarmists-disproven-by-rggi.html>

示，由於電力業可將減碳成本反映至電價中，因此 RGGI 制度應不至於直接使電力業產生重大的變革或對其營運有所衝擊，相反地要避免電價的劇烈上漲影響到民眾的生活；然而 RGGI 的收益投入了能源效率、再生能源及其他溫室氣體減量等工作，或許是達成目標的重要關鍵。

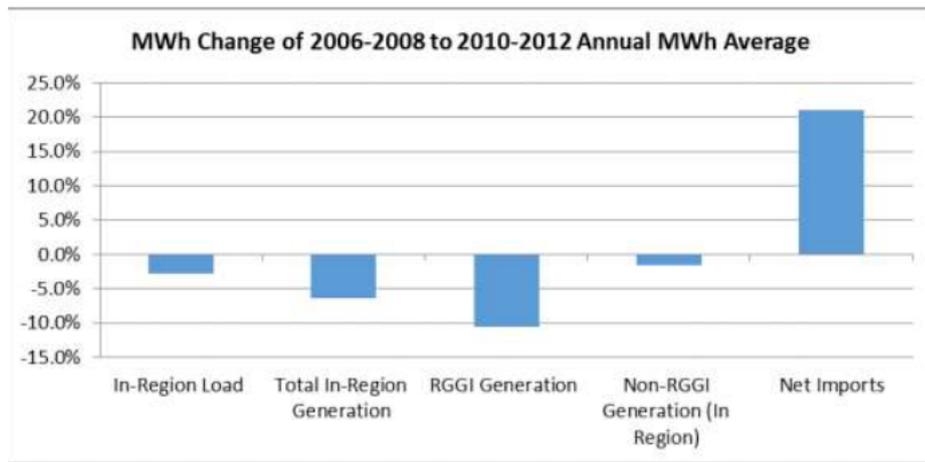


圖 3 RGGI 制度實施前(2005-2008)及實施後(2010-2012)發電量年均值之變化

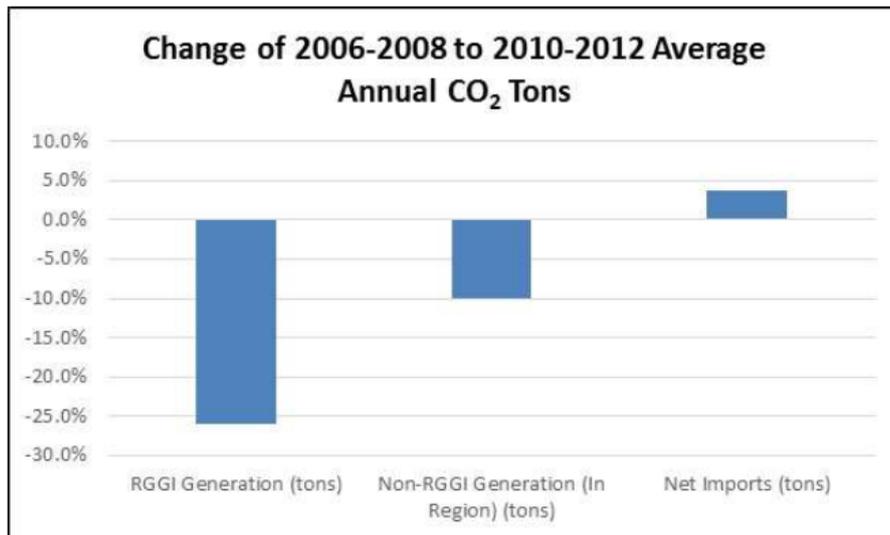


圖 4 RGGI 制度實施前(2005-2008)及實施後(2010-2012)發電 CO<sub>2</sub> 排放量年均值之變化

### (三) RGGI 制度的改革

RGGI 第 1 控制期內因為總排放量遠低於排放上限，導致碳市場上 RGGI 價格低落；也有分析指出，碳價低落的原因經濟衰退，或是各州因擔心碳成本影響各行業競爭力，故每個州都試圖以最大限度出售多餘的碳配額<sup>6</sup>。從 2008 年期貨交易開始，價格就一路下滑，2012 年前幾乎在 2 美元以下震盪，直到受管制者繳交 I 第 1 控制期額度截止日期前，市場價格勉強收在 2 美元(2012 年 1-2 月均價)，見圖 5~圖 8。<sup>7</sup>

在全面性的 2012 年計畫審查(2012 Program Review)後，2013 年初提出建議修訂報告(RGGI 2012 Program Review: Summary of Recommendations to Accompany Model Rule Amendments)<sup>8</sup>，指出 RGGI 制度有兩個問題存在，分別為：

1. 碳配額量有明顯的超額供給；
2. 若排放上限按原設計固定不變，則目前的成本控制措施(cost control measures)可能是沒有效益的。

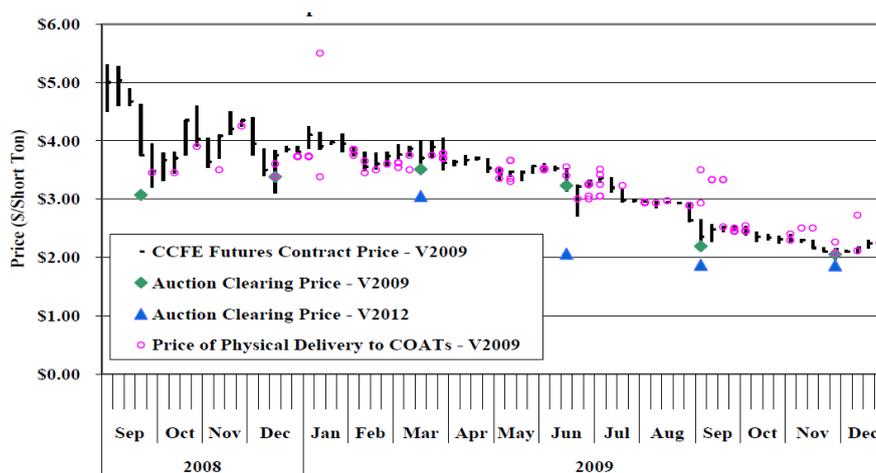


圖 5 RGGI 價格走勢(2008.09~2009.12)

<sup>6</sup> <http://proj.tgpf.org.tw/ghg/page1-1-1.asp?uid=2895>

<sup>7</sup> [http://www.rggi.org/market/market\\_monitor](http://www.rggi.org/market/market_monitor)

<sup>8</sup> [https://www.rggi.org/docs/ProgramReview/\\_FinalProgramReviewMaterials/Recommendations\\_Summary.pdf](https://www.rggi.org/docs/ProgramReview/_FinalProgramReviewMaterials/Recommendations_Summary.pdf)

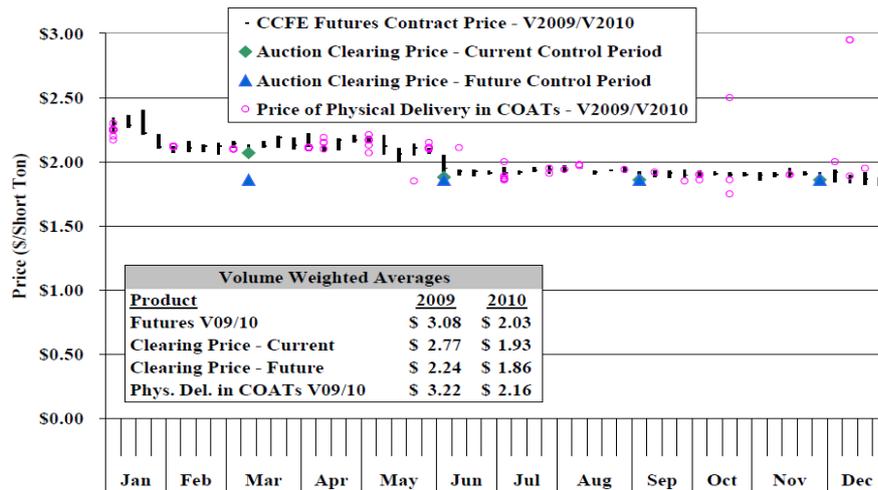


圖 6 RGGI 價格走勢(2010.01~2010.12)

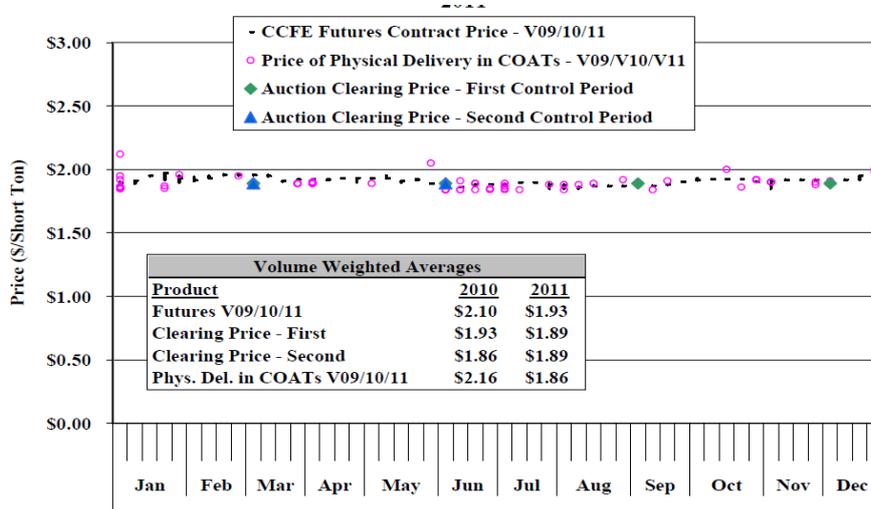


圖 7 RGGI 價格走勢(2011.01~2011.12)

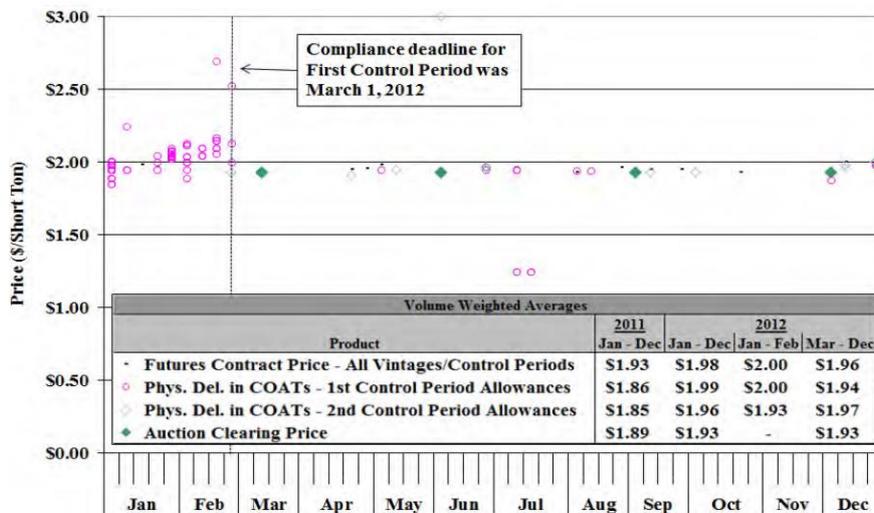


圖 8 RGGI 價格走勢(2012.01~2012.02)

針對以上兩個狀況，RGGI 提出了包括緊縮配額總量、增加臨時控制期、更改成本控制機制、更改抵換專案類型、更改保留價格規定等改革措施。其中緊縮配額總量於 2014 年開始實施，2014 年配額數量從 1.65 億短噸調整到 0.91 億短噸(縮減 45%)，2015 年開始在 0.91 億短噸的基礎上逐年遞減 2.5%，到 2020 年降為 0.78 億短噸。此外，針對各州參與者儲存的配額(banked allowance)，透過 2 次中期調整(interim adjustments)再減少配額量來消化儲存過多的問題。經過緊縮配額總量與 2 次中期調整後，2014-2020 年各年之排放上限將大幅減少(表 1)<sup>9</sup>，2013 年訊息揭露後碳價快速反彈(圖 9)，並在 2014 年 3 月新制度首次配額拍賣中，以 4 美元結算，比起前次拍賣的結算價 3 美元大幅上漲 33%，且已觸發成本控制機制，說明投資者支持新的制度，RGGI 改革初見成效。

表 1 2014-2020 年 RGGI 排放預算(緊縮及調整後)

單位：短噸

年	緊縮配額後之排放上限	第 1 次中期調整額度	第 1 次調整後排放上限	第 2 次中期調整額度	第 2 次調整後排放上限
2014	91,000,000	8,207,664	82,792,336	--	82,792,336
2015	88,725,000	8,207,664	80,517,336	13,683,744	66,833,592
2016	86,506,875	8,207,664	78,299,211	13,683,744	64,615,467
2017	84,344,203	8,207,664	76,136,539	13,683,744	62,452,795
2018	82,235,598	8,207,664	74,027,934	13,683,744	60,344,190
2019	80,179,708	8,207,664	71,972,044	13,683,744	58,288,300
2020	78,175,215	8,207,664	69,967,551	13,683,744	56,283,807

<sup>9</sup> <http://www.rggi.org/design/overview/cap>

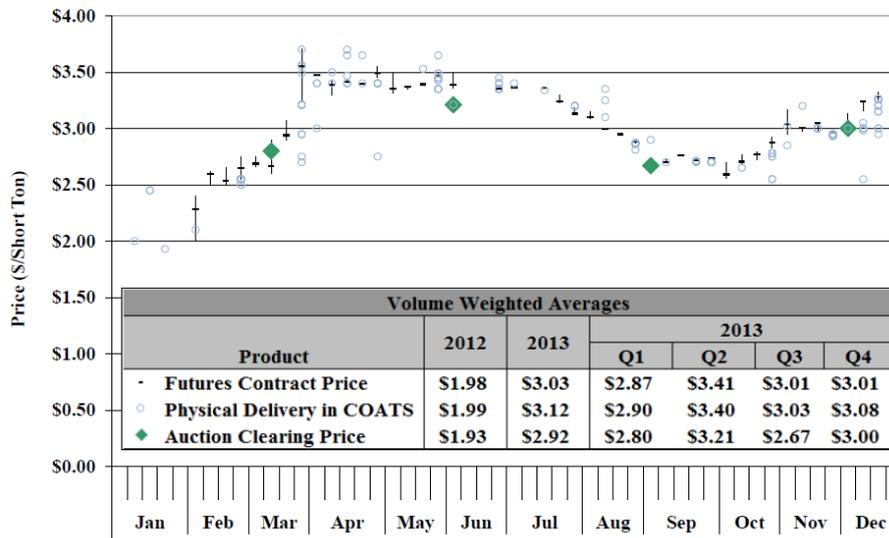


圖 9 RGGI 價格走勢(2013.01~2013.12)<sup>10</sup>

RGGI 的改革最大的亮點就是大幅度縮減了碳配額總量，在配額稀少性的環境下，市場重新啟動及活絡。因此，除了碳價回溫外，RGGI 也預期改革措施將產生下列效果<sup>11</sup>：

- 2020 年電力業 CO<sub>2</sub> 排放將較 2005 年減少 45% 以上。
- 調整後的排放上限到 2020 年累計可以產生相當於約 8,000~9,000 萬短噸的減排量。和原有 RGGI 方案相比，2020 年當年的排放量將減少 1,400~2000 萬短噸。
- 提高碳配額價格。2014 年初配額價格約 4 美元，2020 年配額價格將提高到 10 美元。
- 居民、商業用戶和工業用戶的電費提高比例不超過 1%。
- 額外產生 22 億美元用於再投資。這些在能源效率和再生能源領域的投資將為用戶節約開支、創造就業、提高能源安全、以及更進一步減少排放。

<sup>10</sup> [http://www.rggi.org/docs/Market/MM\\_2013\\_Annual\\_Report.pdf](http://www.rggi.org/docs/Market/MM_2013_Annual_Report.pdf)

<sup>11</sup> [http://www.rggi.org/docs/PressReleases/PR130207\\_ModelRule.pdf](http://www.rggi.org/docs/PressReleases/PR130207_ModelRule.pdf)

## 二、美國加州排放交易機制

### (一)加州排放交易機制簡介

在美國區域性的排放交易體系中，除了加州之外，其他的能源大州並無參與的意願，原因在於加州的環保團體勢力較強，因此其環保政策一向走在美國各州的前端，也常成為我國參考的對象。

加州於 2006 年通過「全球暖化解決法案」(Assembly Bill 32: Global Warming Solutions Act, 以下簡稱 AB 32), 訂定了溫室氣體減量目標: 2020 年將溫室氣體排放量回至 1990 年的水準。加州空氣資源委員會 (California Air Resources Board, 以下簡稱 CARB) 依據 AB 32 於 2008 年通過「氣候變遷計畫」(Climate Change Scoping Plan), 計畫的重點之一為總量管制與排放交易方案 (Cap-and Trade Program), 透過該機制希望使加州的溫室氣體排放量在 2020 年時較 BAU(Business As Usual)情境低 15%(圖 10)。

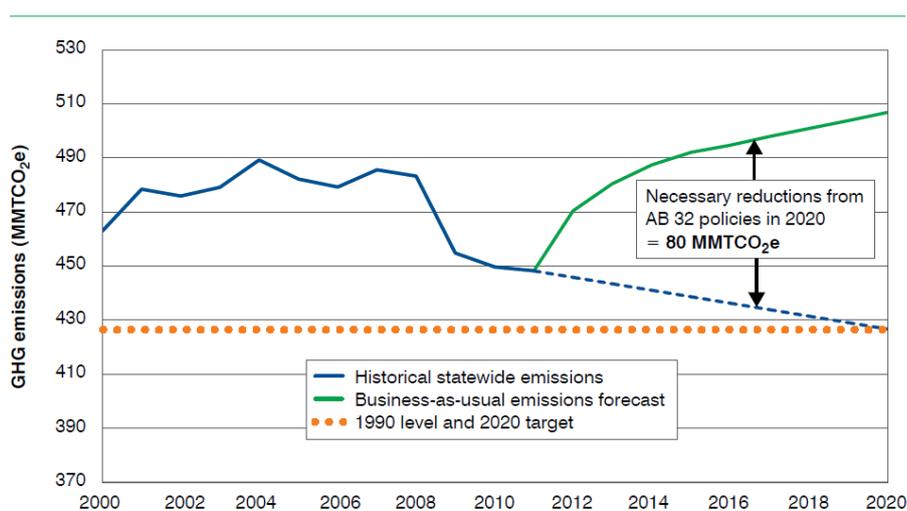


圖 10 加州排放交易機制減量目標(相較於 BAU 情境)<sup>12</sup>

<sup>12</sup> [http://www.edf.org/sites/default/files/CA\\_Carbon\\_Market\\_Watch-Year\\_One\\_WebVersion.pdf](http://www.edf.org/sites/default/files/CA_Carbon_Market_Watch-Year_One_WebVersion.pdf)

CARB 原規劃在 2012 年啟動總量管制與排放交易機制，然有民間團體認為排放交易將對經濟產生衝擊，經提出告訴後，2011 年 2 月舊金山法庭認為加州政府未提出多種方案進行公開評論，初步裁定暫緩施行；在一連串訴訟後，CARB 提出相關文件，並研議配套措施(如再生能源配額標準 RPS 與低碳燃料標準)，至 2011 年 8 月時方案方得到核准。由於經歷訴訟過程，加州排放交易機制推遲至 2013 年開始運作<sup>13</sup>。

按照 CARB 初始的規劃，2020 年時溫室氣體若要減量 80 百萬公噸，必須由排放交易(18 百萬公噸)、低碳燃料標準(15 百萬公噸)、先進清潔汽車與永續社區計畫(7 百萬公噸)、再生能源(11 百萬公噸)、能源效率(12 百萬公噸)、高 GWP 氣體減量(6 百萬公噸)、及其他方式(11 百萬公噸)等方面著手。

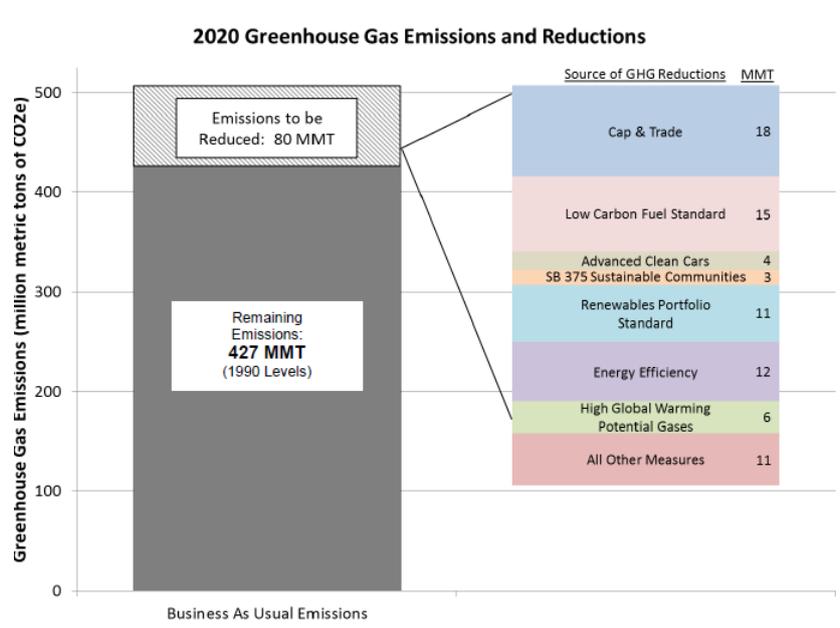


圖 11 加州排放交易機制減量分配之規劃<sup>14</sup>

<sup>13</sup> [http://estc10.estc.tw/ghgrule/Foreign/foreign\\_4\\_1.asp](http://estc10.estc.tw/ghgrule/Foreign/foreign_4_1.asp)

<sup>14</sup> [http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/2013\\_update/first\\_update\\_climate\\_change\\_scoping\\_plan.pdf](http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/2013_update/first_update_climate_change_scoping_plan.pdf)

CARB 在累積數次執行拍賣及 2013 年開始之交易制度運作經驗，於 2014 年 5 月公布「氣候變遷計畫第一次更新」(First Update to the Climate Change Scoping Plan)，其中提出長期減量目標為 2050 年達到較 1990 年再減少 80 %之溫室氣體排放，同時依據 IPCC AR4 報告中更新之 GWP 將 2020 年排放目標由 427 調整為 431 百萬公噸；經過調整，2020 年前溫室氣體須減量 78 百萬公噸，將改由排放交易(23 百萬公噸)、能源業(25 百萬公噸)、運輸業(23 百萬公噸)、高 GWP 氣體減量(5 百萬公噸)、及廢棄物(2 百萬公噸)等方面著手，並針對九大領域提出改善建議，包含能源業、運輸業、農業、水資源、廢棄物管理、自然與人為土地管理、短週期氣候污染物、綠建築及排放交易制度。依據 CARB 設定之減量目標與期程，2020 年前每年將減量 1%(約 4.7 百萬公噸)，2021-2050 年每年將減量 5.2%(約 11.4 百萬公噸)，如圖 12。

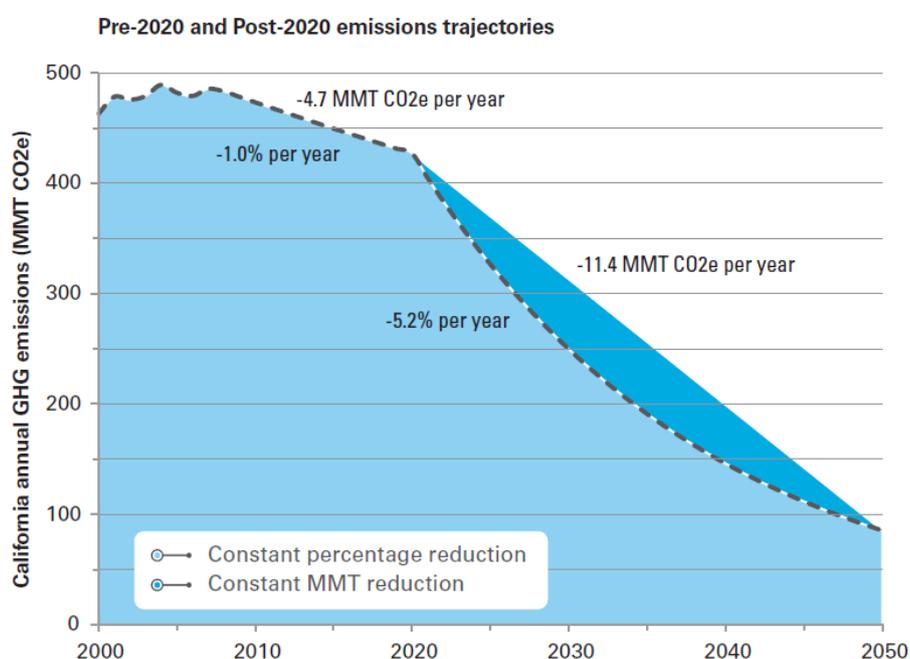


圖 12 加州 2050 年前減量目標規劃<sup>15</sup>

<sup>15</sup> [http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/2013\\_update/first\\_update\\_climate\\_change\\_scoping\\_plan.pdf](http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/2013_update/first_update_climate_change_scoping_plan.pdf)

加州排放交易機制之管制自 2013 年起，至 2020 年止，分為三階段，列管的排放源為溫室氣體年排放量等於或超過 25,000 公噸的特定行業，管制的溫室氣體除京都議定書列管的 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、SF<sub>6</sub>、HFCs 及 PFCs 外，亦將 NF<sub>3</sub> 納入；表 2 為各階段管制內容概要。

表 2 加州排放交易機制三階段管制內容概要

階段	期間	管制對象	核配額度(MMT) <sup>16</sup>	控制價格保留額度
I	2013-2014	電力業、大型工業 (涵蓋大約加州總排放量 35%，約 160 百萬公噸)	162.8 (2013) 159.7 (2014)	1%
II	2015-2017	階段 I 管制對象 運輸燃料、天然氣、其他 燃料的銷售業 (distributors) (涵蓋大約加州總排放量 85%，約 395 百萬公噸)	394.5 (2015) 382.4 (2016) 370.4 (2017)	4%
III	2018-2020	階段 II 管制對象 未來新增管制對象	358.3 (2018) 346.3 (2019) 334.2 (2020)	7%

表 2 中每年核配額度的 10% 由主管機關將其轉入拍賣帳戶，並進行公開拍賣，拍賣所得資金即轉入空氣污染防治基金，用於減少溫室氣體排放之相關活動，以及投資清潔能源開發、低碳運輸工具、自然資源保護及永續基礎建設等。

除了每年分配給主管機關拍賣的額度外，當分配給各特定行業後尚有剩餘之額度時也會留用至拍賣。最初於 2012 年進行 2013 年碳額度的拍賣底價為 10 美元/公噸 CO<sub>2</sub>e，之後每年底價逐年增加 5% 再加上依消

<sup>16</sup> [http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/emissionsmarketassessment/slides/info\\_sharing.pdf](http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/emissionsmarketassessment/slides/info_sharing.pdf)

費者物價指數衡量的通貨膨脹率，以確保加州碳配額的最低市價<sup>17</sup>。當受管制之企業排放超量時可至交易市場購買碳配額或投資抵換計畫取得減量額度。

就電力業而言，為避免電價受排放交易制度影響而過度上漲，故電力業的碳配額是免費的，2013-2020 年各公司獲分配之碳配額如表 3 所示，其中公營事業(POU)可以選擇碳配額撥入限制使用帳戶(Limited Use Holding Accounts)予以拍賣或履約帳戶(Compliance Accounts)予以抵減排放量，但民營事業(IOU)之碳配額會直接撥入限制使用帳戶內，IOU 必須先將其拍賣掉，再從市場上購入本身所需之額度來抵減排放量；然而無論是 POU 或 IOU，碳交易之利潤必須回饋給消費者，以降低電價中因反映減碳成本所連帶的衝擊。

表 3 加州電力業 2013-2020 獲核配之碳配額<sup>18</sup>

Utility Name	Utility Type	Annual Allocation to Electrical Distribution Utilities							
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PG&E	IOU	24,947,243	24,786,927	23,993,415	23,691,151	24,113,145	23,347,893	23,102,417	22,639,600
LADWP	POU	13,593,819	13,349,971	12,919,678	13,045,027	13,216,214	13,258,028	12,704,003	11,680,195
SCE	IOU	32,603,468	31,594,859	31,399,111	29,550,281	26,868,834	25,889,683	25,017,535	24,704,540
SDG&E	IOU	6,919,341	6,549,142	6,426,430	6,406,805	6,460,042	6,288,321	6,186,937	6,143,947
SMUD	POU	3,145,322	3,088,654	2,963,662	2,983,621	3,055,558	3,099,494	3,145,755	3,187,816
City of Anaheim	POU	1,989,064	1,995,301	1,949,302	1,981,598	1,958,040	1,970,170	1,958,156	1,957,462
City of Azusa (Azusa Light & Water)	POU	173,046	173,954	173,926	175,341	178,283	178,331	178,989	180,927
City of Banning	POU	93,659	95,676	95,245	96,211	98,132	98,332	98,749	100,187
City of Burbank	POU	626,377	621,216	613,617	606,653	605,198	592,720	584,011	576,628
City of Cerritos	POU	17,511	17,754	17,939	18,111	18,521	18,463	18,560	18,624
City of Colton	POU	234,674	236,954	238,652	239,804	243,130	241,976	242,470	243,625
City of Glendale (Water and Power)	POU	631,131	623,201	609,633	606,852	611,871	603,764	580,649	582,324
City of Pasadena (Pasadena Water and Power)	POU	768,101	759,361	746,316	741,570	742,443	754,349	746,079	741,550
City of Riverside	POU	1,081,740	1,069,456	1,043,302	1,066,387	1,067,638	1,082,987	1,079,121	1,088,787
City of Vernon	POU	396,650	395,290	396,464	390,916	392,347	383,244	364,745	353,166
Imperial Irrigation District	POU	1,698,744	1,707,231	1,687,197	1,717,584	1,748,184	1,739,282	1,743,449	1,759,275
Modesto ID	POU	1,211,714	1,207,442	1,173,972	1,179,569	1,190,865	1,173,545	1,160,992	1,164,813
City of Alameda	POU	50,999	54,062	52,340	55,489	55,411	62,848	62,853	62,865
City of Biggs	POU	6,518	6,859	6,217	6,155	6,496	6,169	6,028	5,995
City of Gridley	POU	14,540	14,593	14,490	14,469	14,622	14,376	14,043	13,852
City of Healdsburg	POU	31,533	30,776	28,831	30,049	31,609	32,769	33,019	34,879

<sup>17</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/c-t-reg-reader-2013.pdf>

<sup>18</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/allowanceallocation/electricity-allocation-2013-updates.pdf>

## (二)第一階段管制成效及未來發展方向

加州排放交易機制第一階段管制期為 2013-2014 年，CARB 原預測未實施總量管制下，列管之行業 2013 年排放 167.3 百萬公噸、2014 年排放 168.1 百萬公噸<sup>19</sup>，故分別設定 162.8 及 159.7 百萬公噸之排放上限，俾使減量 4.5% 及 8.4%。經過 2013 年一整年後，根據 CARB 統計，2013 年列管行業之排放量約為 145 百萬公噸<sup>20</sup>，較排放上限低 10.9%，較原預測排放低 13.3%（2014 年之排放量必須等到 2015 年 11 月才公告）。

此結果似可符合市場預期，根據 Point Carbon 網站在 2012 年對 30 個樣本所做之調查，約 35% 的受訪者認為加州排放交易機制不會產生減量效果，但超過一半的受訪者認為，該機制具減量效果(21%)或正規劃採取減量措施(31%)<sup>21</sup>。但如同 RGGI 制度一樣，減量的原因很多，排放交易也許只是一個誘因，仍需時間去觀察其成敗。

在碳價方面，雖然自 2012 年市場開始交易後呈現下跌趨勢，但因加州排放交易機制設有最低價格之限制，故未發生像 RGGI 一般之崩盤現象，並且始終維持在 10 美元以上水準(圖 13)<sup>22</sup>。這個結果也是符合市場預期的，在上述 Point Carbon 網站同一份報告中指出，30 個樣本對於 2013 年碳價之預測，39% 預期每噸碳價在 10~15 美元之間(圖 14)；值得注意的是，對於 2020 年碳價預測，32% 預期會在 17~30 美元之間，而 39% 預期會達到 30~50 美元(圖 15)，顯示多數人看好加州碳市場的後勢。

<sup>19</sup> <http://www.arb.ca.gov/regact/2010/capandtrade10/capisor.pdf>

<sup>20</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/reporting/ghg-rep/reported-data/ghg-reports.htm>

<sup>21</sup> [http://ar.thomsonreuters.com/2012/\\_files/pdf/carbon\\_2012.pdf](http://ar.thomsonreuters.com/2012/_files/pdf/carbon_2012.pdf)

<sup>22</sup> <http://calcarbondash.org/>

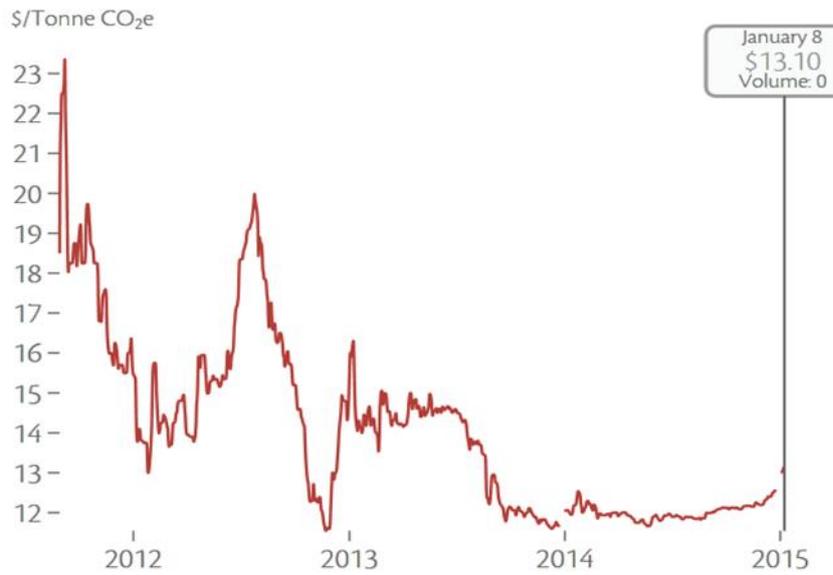


圖 13 加州排放交易機制第 1 階段碳價走勢

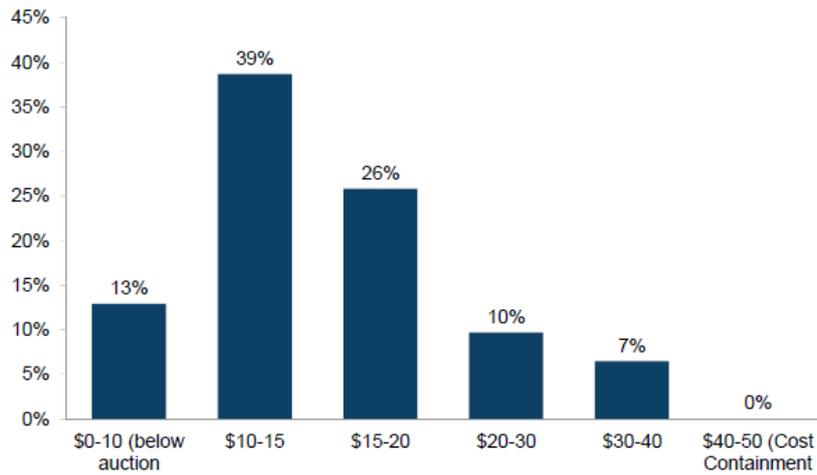


圖 14 2012 年加州業者對 2013 年碳價預測

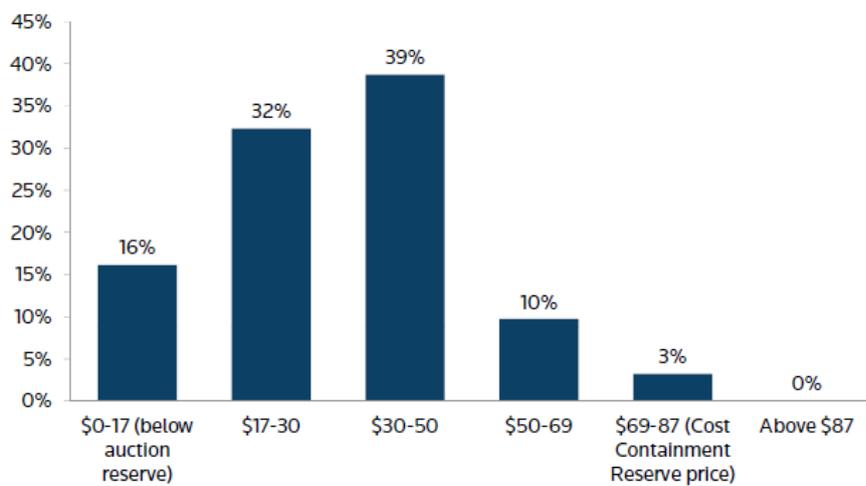


圖 15 2012 年加州業者對 2020 年碳價預測

為了擴大市場的流動性，並促進碳價的穩定，加州排放交易機制積極規劃與其他碳市場建立合作關係，首先於 2014 年與加拿大魁北克碳市場連結，並在 2014 年 11 月(恰逢此次訪美行程中)舉行共同拍賣。

加州與加拿大魁北克碳市場連結後，管制共約 5 億噸之 CO<sub>2</sub> 排放量，不但擴大了加州 15 % 市場，也成為國際上眾多碳市場的典範。由於雙方在連結前有許多共同/相似點，如啟動時間(均為 2013 年 1 月 1 日)、總量管制階段與期程(均分為三階段至 2020 年)、管制行業(均由電力業與大型工業開始，再擴及其他行業)、管制氣體(均為 7 種溫室氣體)、抵換額度使用上限(均為 8%)、2014 年拍賣底價相近(加州為 11.34 美元，魁北克約為 10.25 美元)，因此首次共同拍賣的結果令人滿意，結算價及投標率都達到歷史新高點，顯現企業積極採取避險的意願。

相較於跨國與加拿大魁北克碳市場的連結，同樣在美國境內的 RGGI 制度是否可成為下一個連結的對象？事實上加州與 RGGI 雙方已經談了許多年，但基於在制度設計及管理等方面的差異，雙方連結後可帶來的實質利益並不大，因此短期內還看不出合作的可能性。CARB 的主席 Mary Nichols 在 2014 年 3 月時曾接受訪問，並表示兩個排放交易體系之碳配額價差過大，故不適宜進行連結；但加州企盼擴大碳市場，因此未來將著眼在與鄰近州之排放交易體系進行連結，如奧勒岡州與華盛頓州<sup>23</sup>。有關 RGGI 制度與加州排放交易機制主要差異，整理於表 4 中。

除了與加拿大魁北克碳市場的連結，2013 年 9 月加州已和中國大陸發展與改革委員會簽署因應氣候變遷的協議<sup>24</sup>，2014 年 7 月再與墨西哥

<sup>23</sup> <http://www.co2bluemanagement.com/california-northeast-carbon-markets-linking/>

<sup>24</sup> <http://www.efchina.org/News-zh/EF-China-News-zh/news-efchina-20130927-zh>

簽署減量協定<sup>25</sup>，未來將加強碳定價(carbon pricing)的合作，並考慮抵換計畫由限制於美國本土逐步開放至墨西哥與加拿大執行。此外，加州亦於同月份宣布新增 VCS 為其抵換計畫登錄平台，既有的 VCS 減量計畫若符合 CARB 抵換規範者，所核發的額度 VCU 即可申請轉換，故未來加州碳市場將可以擴充抵換額度供給量。

表 4 RGGI 制度與加州排放交易機制主要差異之比較

比較項目	RGGI 制度(改革後)	加州排放交易機制
啟動時間	2009	2013
管制氣體	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、PFC、HFCs、SF <sub>6</sub> 、NF <sub>3</sub>
管制行業	電力業	由電力業及大型工業開始，擴及運輸燃料、天然氣、其他燃料的銷售業
履約週期與責任	3 年 前 2 年每年履約 50%	3 年 前 2 年每年履約 30% (第 3 年結束後完成履約)
抵換計畫 及額度使用上限	5 類 3.3%(視情況提高至 5~10%)	5 類 8%
儲備配額	於拍賣中設有觸發機制 出售價格由拍賣結算價決定 不限制銷售對象	獨立於拍賣之外 以固定價格出售 銷售對象：列管企業
2014 年拍賣底價	11.34 美元/公噸	2 美元/短噸

2015 年起加州碳市場進入第二階段管制，CARB 將持續規劃 2020 年後的排放交易制度；市場中已有分析指出，由於美國環保署提出了「清潔電力計畫」(Clean Power Plan)，將管制各州既有電廠的溫室氣體排放，因此預期會增加與加州碳市場建立連結的誘因。

<sup>25</sup> <http://m.tanpaifang.com/article/36005.html>

### (三)加州抵換計畫之運作

加州排放交易機制現階段的設計允許受管制者在繳交的額度中可以使用抵換額度(最多 8%)，CARB 要求被執行的抵換計畫必須符合下列條件<sup>26</sup>：

- 能夠顯示溫室氣體排放減量或移除增量是實際的、額外的、可量化、永久性、可查驗與執行的；
- 使用經核可之抵換方法(Compliance Offset Protocol)；
- 對抵換計畫進行監測與報告；
- 經過查證；
- 由 CARB 核發額度。

適用於加州排放交易機制的抵換計畫可以在美國任一州內執行，但目前 CARB 認可之抵換方法僅有下列五件：

1. U.S. Forest Projects Compliance Offset Protocol
2. Urban Forest Projects Compliance Offset Protocol
3. Livestock Projects Compliance Offset Protocol
4. Ozone Depleting Substances(ODS) Projects Compliance Offset Protocol
5. Mine Methane Capture Projects Compliance Offset Protocol

相較於京都議定書之 CDM 機制，加州的抵換計畫在執行及申請方面都有許多簡化程序，例如確證(validation)可在首次查證(verification)時合併辦理，CDM 計畫中繁瑣的外加性在此僅需證明”計畫非法律強制的”

---

<sup>26</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/offsets/chapter6.pdf>

及”在保守的 BAU 情境下計畫是不會被執行的”兩件事即可。計入期 (crediting period) 部分與 CDM 類似，若計畫類型屬”非封存”(non-sequestration)，如 ODS 或 Livestock 計畫，計入期為 7-10 年，並可申請延長 2 次；若計畫類型屬於”封存”(sequestration)，如造林計畫，計入期為 10-30 年，不可以申請延長<sup>27</sup>。特別值得一提的是，在 CDM 的造林計畫中因顧及逆轉風險(如發生火災)，使得減量額度並非永久性的；但加州的造林抵換計畫採取以折扣方法處理該風險問題(RGGI 亦採相同模式)，經過對計畫進行評估，依風險程度作為核發額度的折扣係數，若發生非人為因素造成的逆轉事件，投資者無須歸還已取得之額度。

加州的抵換計畫依時間點可分為履約抵換計畫 (Compliance Offset Project) 及先期行動抵換專案 (Early Action Offset Program) 兩種類型，前者屬於新執行的減量計畫，經 CARB 審核後即發給抵換額度 (ARBOCs)；後者乃為追溯早期(2005 年起)自願減量投資計畫的執行成效，並認可至 2014 年底為止，如符合 CARB 的抵換方法，可先在 CARB 認可之登錄平台(Registry)註冊其抵換計畫，轉換成 CARB 的「先期行動抵換額度」(Early Action Offset Credits)，再申請轉換為 ARBOCs 作為履約之用。目前 CARB 已核發之抵換額度如表 5 所示。

表 5 CARB 已核發之抵換額度<sup>28</sup>

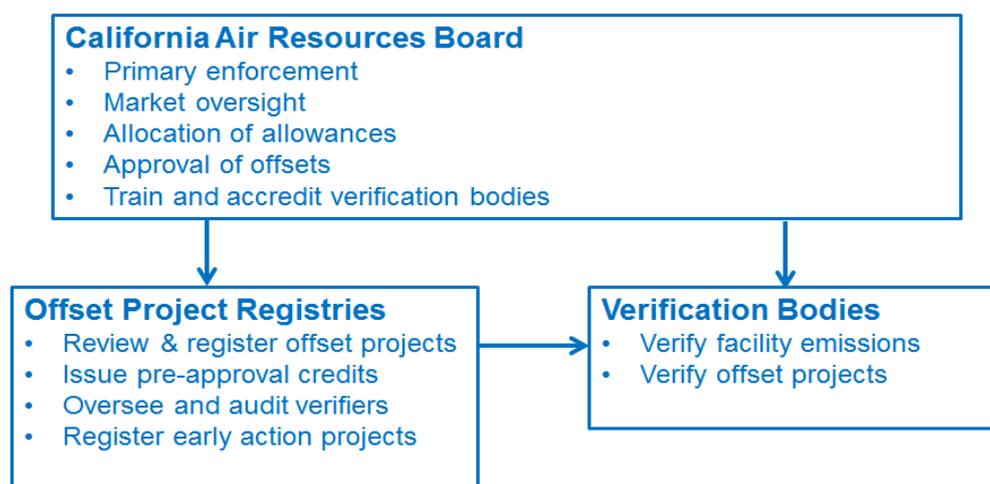
Project Type	ODS	Livestock	U.S. Forest	Urban Forest	MMC
Compliance	1,775,374	85,819	5,022,781	--	--
Early Action	5,461,320	659,808	3,010,796	--	--

<sup>27</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/offsets/chapter6.pdf>

<sup>28</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/offsets/offsets.htm>

現階段 CARB 認可的登錄平台共有三個機構，分別是 American Carbon Registry、此次拜訪的 Climate Action Reserve (CAR)、以及 2014 年 7 月才認可的 Verified Carbon Standard (VCS)。登錄平台的任務在協助 CARB 管理抵換計畫，圖 16 為 CARB、登錄平台及查驗機構三者之關係，抵換計畫經查驗機構(Verification Bodies)查證後由登錄平台初審，登錄平台同意後予以註冊並核給預審額度(pre-approval credit)；投資者如有需要，即轉送 CARB 書面審查，CARB 同意後即核發抵換額度 ARBOCs。

圖 16 CARB、登錄平台及查驗機構三者之關係<sup>29</sup>



就 CAR 本身而言，除了身為 CARB 的登錄平台之外，對於減量方法之開發也不遺餘力；目前 CAR 認可的減量方法已有 15 件，如表 6 所示，其中五件即為被 CARB 認可之項目。採用 CAR 減量方法的減量計畫已遍佈美洲地區(圖 17)，而經由 CAR 核發的自願減量額度或是 CARB 的先期/履約抵換額度，累積至 2014 年已超過 5 千萬公噸(圖 18)。此外，CAR 正致力於抵換計畫的標準化作業，包括”基線估算的標準化參數與假設”、”外加性認定規則標準化”及”符合準則之自動決策”等，俾簡化程

<sup>29</sup> “California’s Compliance Offset Program”, Climate Action Reserve, Nov 19, 2014

序及降低計畫開發成本，同時增加審查之透明度及確定性<sup>30</sup>。

表 6 CAR 已通過之減量方法<sup>31</sup>

Adopted Protocols	Current Version	Date Issued	Development Status
Coal Mine Methane	1.1	October 26, 2012	Approved
Forest	3.3	November 15, 2012	Approved
Mexico Forest	1.0	October 23, 2013	Approved
Mexico Landfill	1.1	September 13, 2011	Approved
Mexico Livestock	2.0	September 29, 2010	Approved
Nitric Acid Production	2.0	September 28, 2011	Approved
Nitrogen Management	1.1	January 17, 2013	Approved
Organic Waste Composting	1.1	July 29, 2013	Approved
Organic Waste Digestion	2.1	January 16, 2014	Approved
Ozone Depleting Substances	2.0	June 27, 2012	Approved
Rice Cultivation	1.1	June 3, 2013	Approved
Urban Forest Management	1.0	June 25, 2014	Approved
Urban Tree Planting	2.0	June 25, 2014	Approved
U.S. Landfill	4.0	June 29, 2011	Approved
U.S. Livestock	4.0	January 23, 2013	Approved



圖 17 採用 CAR 減量方法之減量計畫分佈區域<sup>32</sup>

<sup>30</sup> “Standardized Approaches to Carbon Offsets”, Climate Action Reserve, Feb 7, 2014

<sup>31</sup> <http://www.climateactionreserve.org/how/protocols/>

<sup>32</sup> “California’s Compliance Offset Program”, Climate Action Reserve, Nov 19, 2014

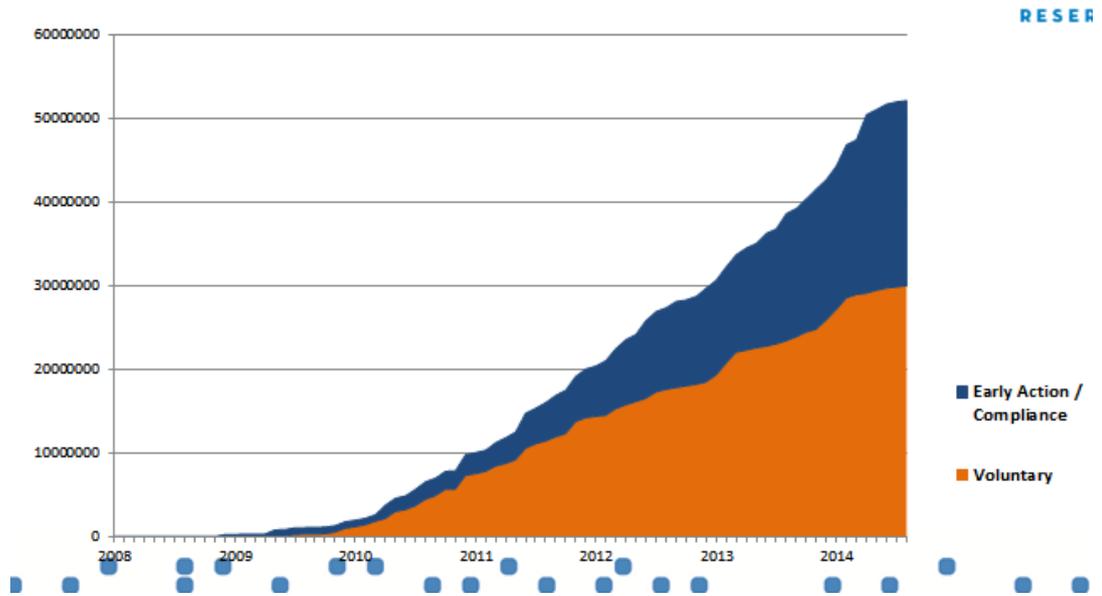


圖 18 CAR 已核發之減量額度(累積)<sup>33</sup>

<sup>33</sup> “California’s Compliance Offset Program”, Climate Action Reserve, Nov 19, 2014

### 三、美國環保署清潔電力計畫提案

#### (一)美國管制電力業碳排放簡介

美國雖為了經濟因素未簽署京都議定書，但其最高行政法院在 2007 年裁決溫室氣體須納入清潔空氣法(Clean Air Act)之空氣污染物，美國環保署(以下簡稱 EPA)遂據以推動溫室氣體管理相關工作，包括排放量申報及取得固定污染源操作許可等規定。圖 19 為美國 1990-2012 年之溫室氣體排放量，每年均在 60 億公噸以上，僅次於中國大陸。

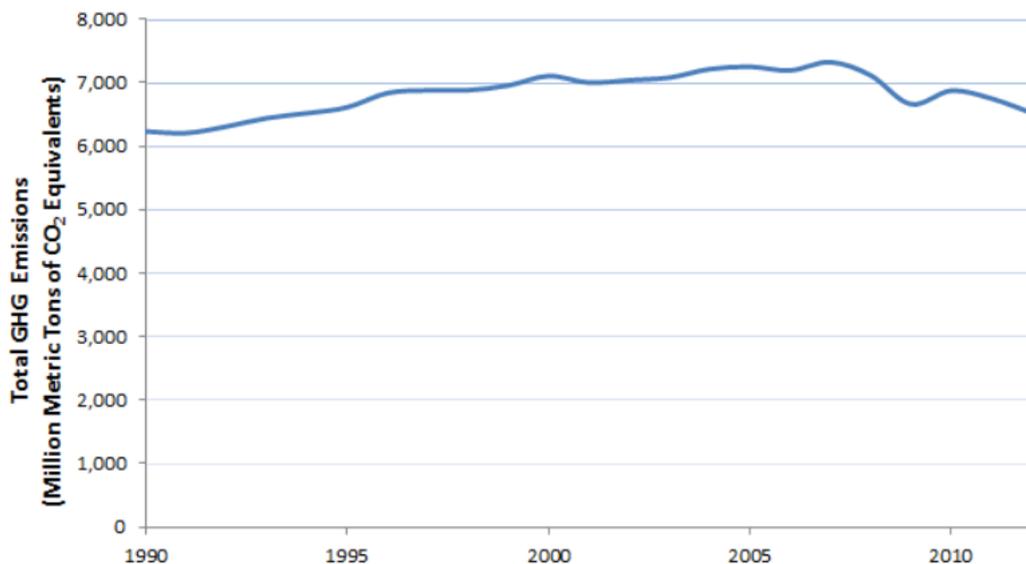
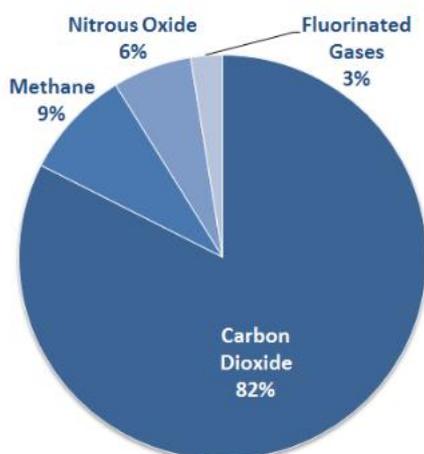


圖 19 美國 1990-2012 溫室氣體排放量<sup>34</sup>

根據 EPA 之「美國溫室氣體排放及匯之盤查」(Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks)年度報告，2012 年全美國溫室氣體排放量為 6,526 百萬公噸，其中 CO<sub>2</sub> 佔 82%；若按部門別區分，電力部門為最大宗，佔 32%，其次為交通部門，佔 28%，見圖 20。

<sup>34</sup> <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/sources.html>

Overview of Greenhouse Gases



Sources of Greenhouse Gas Emissions

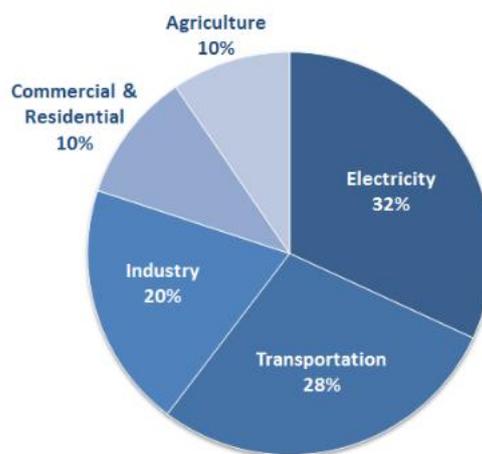


圖 20 美國 2012 年溫室氣體排放種類及排放源部門別佔比<sup>35</sup>

為了對抗氣候變遷所帶來的極端氣候事件，美國總統歐巴馬於 2013 年 6 月 25 日宣布「氣候行動計畫」(Climate Action Plan)，提出 3 項行動方針：

1. 遏止碳污染 (Cut Carbon Pollution in America)；
2. 準備好面對氣候變遷衝擊 (Prepare The United States for The Impacts of Climate Change)；
3. 帶領國際解決全球氣候變遷 (Lead International Efforts to Address Global Climate Change)。

根據歐巴馬總統這項命令，EPA 必須在 2013 年 9 月 20 日以前完成對燃燒化石燃料的新設電廠碳排放的限制規定，並在 2014 年 6 月前擬定及一年後完成對既有發電廠碳排放的限制規定；行政官員表示，氣候行動計畫大致上能讓美國達成歐巴馬總統在 2009 年設定的目標—在 2020 年以前將美國的溫室氣體排放量回到 2005 年的排放量再減少 17%<sup>36</sup>。

<sup>35</sup> <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/usinventoryreport.html>

<sup>36</sup> <http://proj.tgpf.org.ghg/page1-1-1.asp?uid=3298>

以下摘述 EPA 以清潔空氣法對於既有(existing)、新設(new)、改善及重建(modified and reconstructed)電廠提出碳污染標準之相關重要時程<sup>37</sup>：

- 2013 年 9 月 20 日—EPA 依據清潔空氣法第 111(b)節提出「新設電廠碳排放標準」草案；
  - 2014 年 1 月 8 日草案公布於聯邦公報(Federal Register)，開始 60 天之公開評論期；
  - 2014 年 2 月 26 日 EPA 將公開評論期延長為 120 天；
  - 2014 年 5 月 9 日 120 天公開評論期結束，EPA 共收到大約 200 萬件評論；
- 2014 年 6 月 2 日—EPA 依據清潔空氣法第 111(d)節提出既有電廠「清潔電力計畫」(Clean Power Plan)提案；
  - 2014 年 6 月 18 日提案公布於聯邦公報(Federal Register)，開始 120 天之公開評論期；
  - 2014 年 9 月 18 日 EPA 將公開評論期延長為 165 天；
  - 2014 年 12 月 1 日 165 天公開評論期結束，EPA 共收到大約 200 萬件評論；
- 2014 年 10 月 28 日—EPA 依據清潔空氣法第 111(d)節針對印地安國度(Indian country)及領地(波多黎各及關島)提出既有電廠清潔電力計畫(Clean Power Plan)補充提案；

---

<sup>37</sup>

<http://www2.epa.gov/carbon-pollution-standards/fact-sheet-clean-power-plan-carbon-pollution-standards-key-dates>

- 2014 年 6 月 2 日—EPA 依據清潔空氣法第 111(b)節提出改善及重建電廠之碳排放標準草案；
  - 2014 年 6 月 18 日提案公布於聯邦公報(Federal Register)，開始 120 天之公開評論期；
  - 2014 年 10 月 16 日 120 天公開評論期結束，EPA 共收到 235 件評論；
- 未來時程規劃：
  - 2015 年 1 月 EPA 開始法律程序以提出一個可以符合既有電廠減碳目標的聯邦計畫；
  - 2015 年夏季 EPA 將發布最終規則，包括：
    - 針對美國各州、印地安國度及領地既有電廠的「清潔電力計畫」；
    - 新設、改善及重建電廠之碳排放標準；
  - 2016 年 6 月各州提交「清潔電力計畫」相關實施計畫及規定。

## (二)清潔電力計畫概要

依據清潔空氣法第 111(d)節，由 EPA 決定「最佳排放減量系統」(Best System of Emission Reduction, BSER)，各州提出計畫建立既有排放源的績效標準(EPA determines BSER; States submit plans which establish standards of performance for any existing source …);而第 111 節的核心即為”績效標準”，除了應用 BSER 來反映出污染物排放限制的程度之外，也要考慮減量成本、非空氣品質的健康、環境影響及能源需求。<sup>38</sup>

<sup>38</sup> [http://www.ksg.harvard.edu/hepg/Papers/2014/October%202014/Konschnik\\_HEPG\\_Oct\\_2014.pdf](http://www.ksg.harvard.edu/hepg/Papers/2014/October%202014/Konschnik_HEPG_Oct_2014.pdf)

「清潔電力計畫」提案針對各州既有電廠進行管制，設定整體目標為「在 2030 年時，美國電力部門 CO<sub>2</sub>排放量相較 2005 年減少 30%」，具體做法是 EPA 依據各州既有電廠 2012 年的排放強度(圖 21)制定未來的排放強度目標，並允許各州自行彈性選擇減量方式，達到排放強度目標。

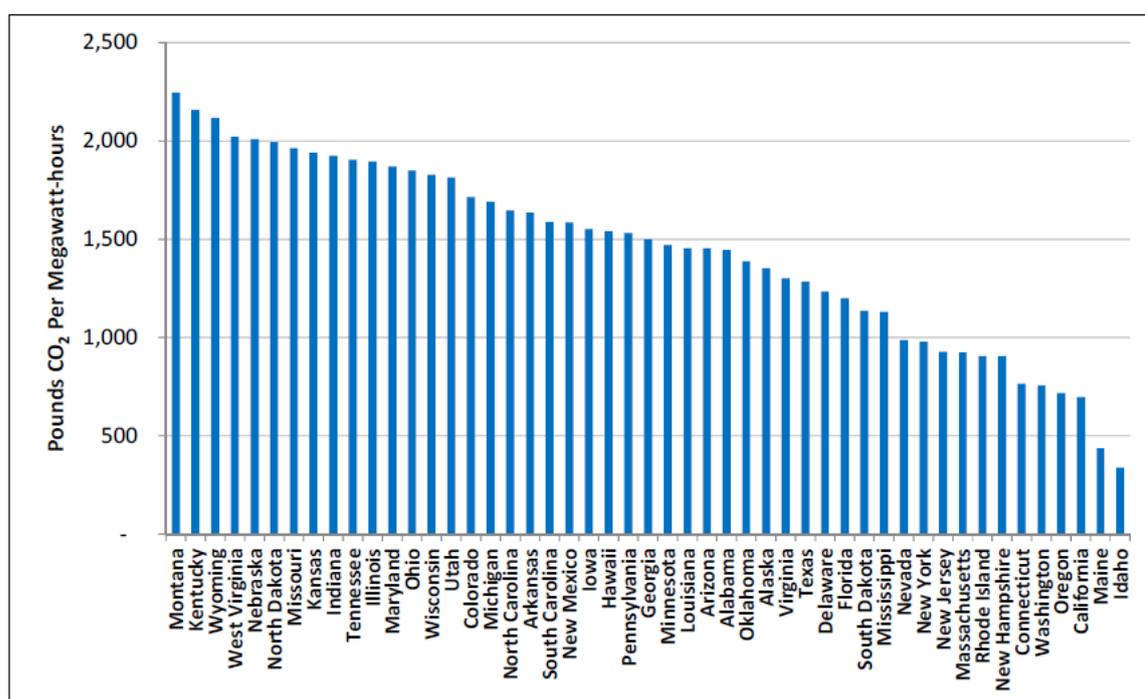


圖 21 美國各州 2012 年電力部門排放強度<sup>39</sup>

由於要有效降低既有電廠的排放強度在技術上並不容易做到，因此 EPA 在「清潔電力計畫」中納入四項「建構元件」(Building Blocks，以下簡稱 BB)如表 7，成為其 BSER，包括：

- BB1—提升化石燃料發電效率；以燃煤發電熱耗率平均改善 6%來設定目標。

<sup>39</sup> <http://fas.org/sgp/crs/misc/R43652.pdf>

- BB2—增加低碳燃料發電量；以既有及建造中的燃氣複循環機組發電容量因數至少達 70%來設定目標。
- BB3—增加再生能源與核能發電；調度新建(包括建造中)與既有的再生能源及核能發電。
- BB4—增加能源使用效率，減少需求端用電；以每年增加需求端能源效率 1.5%來設定目標。

表 7 美國清潔電力計畫之四項「建構元件」(Building Blocks)<sup>40</sup>

Building Block	Value Allocated in Goal-Setting Formula
<p><b>Make fossil fuel power plants more efficient</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Improve equipment and processes to get as much electricity as possible from each unit of fuel</li> <li>• Using less fossil fuel to create the same amount of electricity means less carbon pollution.</li> </ul>	Average heat rate improvement of 6% for coal steam electric generating units (EGUs)
<p><b>Use low-emitting power sources more</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Using lower-emitting power plants more frequently to meet demand means less carbon pollution.</li> </ul>	Dispatch to existing and under-construction natural gas combined cycle (NGCC) units to up to 70% capacity factor
<p><b>Use more zero- and low-emitting power sources</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expand renewable generating capacity, which is consistent with current trends.</li> <li>• Using more renewable sources, including solar and wind, and low-emitting nuclear facilities, means less carbon pollution.</li> </ul>	Dispatch to new clean generation, including new nuclear generation under construction, moderate deployment of new renewable generation, and continued use of existing nuclear generation
<p><b>Use electricity more efficiently</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducing demand on power plants is a proven, low-cost way to reduce emissions, which will save consumers and businesses money and mean less carbon pollution.</li> </ul>	Increase demand-side energy efficiency to 1.5% annually

由上述四項 BB 的內容可知，BB1 與 BB2 的目的在降低既有火力發電的排放強度，且 BB1 要改善燃煤發電熱耗率可由增加低碳燃料電力來

<sup>40</sup> <http://www2.epa.gov/carbon-pollution-standards/fact-sheet-clean-power-plan-framework>

替代，這兩項對於現今美國頁岩氣大量開採供應的情況而言，電力部門只要淘汰掉老舊燃煤機組，增建足夠的燃氣複循環機組，並將容量因數提升至 70%，即可輕易達成目標。

BB3 有關核能的部分，EPA 已考慮既有電廠屆齡除役及正在興建的機組正常運轉下之供電能力；再生能源的發展則設有目標(表 8)，由美國本土六區、夏威夷及阿拉斯加州的區域再生能源發電目標(Regional Renewable Generation Target)或 2017-2029 連續 13 年的區域成長率(Regional Growth Rate)二擇一。

表 8 美國再生能源發展目標<sup>41</sup>

Region	Regional Renewable Generation Target	Regional Growth Rate
East Central	16%	17.26%**
North Central	15%	5.98%**
Northeast	25%	12.59%**
Southeast*	10%	13.43%**
South Central*	20%	8.35%**
West	21%	6.09%**
Alaska	10%	11.43%**
Hawaii	10%	9%

BB4 的功用在於降低總發電量，由於排放目標以強度為基準，若強度降低，但發電量增加的話，對減少總排放量並無幫助。然而在 EPA 設計的計算公式中，增加能源使用效率所減少的發電量，亦被用來計算其目標年的強度值，因此各州若能大幅增加其能源使用效率，對要達成排放強度目標的工作而言，是有正面助益的。

以下用基準年(2012)和目標年的的排放強度計算公式<sup>42</sup>進行比較：

<sup>41</sup> [http://www.brookings.edu/~media/blogs/fixgov/2014/07/epa%20clean%20power%20plan\\_appendix.pdf](http://www.brookings.edu/~media/blogs/fixgov/2014/07/epa%20clean%20power%20plan_appendix.pdf)  
<sup>42</sup> [http://www.brookings.edu/~media/blogs/fixgov/2014/07/epa%20clean%20power%20plan\\_appendix.pdf](http://www.brookings.edu/~media/blogs/fixgov/2014/07/epa%20clean%20power%20plan_appendix.pdf)

2012 年排放強度為

$$\frac{(E_{Coal} * G_{Coal}) + (E_{Natural Gas} * G_{Natural Gas}) + (E_{Petroleum} * G_{Petroleum}) + (E_{Other}^*)}{G_{Coal} + G_{Natural Gas} + G_{Petroleum} + G_{Other} + G_{Nuclear_{AR+UC}} + G_{Renewable}}$$

其中，E = 各類燃料之碳排放係數

G = 各類燃料之發電量

依據上述公式計算出 2012 年各州的排放強度後，再依序將四個 BB 納入並調整公式中的各項參數，得到目標年的排放強度為

$$\frac{(0.94E_{Coal} * G_{Coal_{Redispatch}}) + (E_{Natural Gas} * G_{Natural Gas_{Redispatch}}) + (E_{Petroleum} * G_{Petroleum_{Redispatch}}) + (E_{Other_{Redispatch}})}{G_{Coal_{Redispatch}} + G_{Natural Gas_{Redispatch}} + G_{Petroleum_{Redispatch}} + G_{Other_{Redispatch}} + G_{Nuclear_{AR+UC}} + G_{Renewables_{2029}} + S_{Energy Efficiency}}$$

其中，0.94E<sub>Coal</sub> = BB1 燃煤熱耗率改善 6% 後碳排放係數為原來的 94%

G<sub>Redispatch</sub> = 經 BB1~BB3 重新調整後之各類燃料發電量

S<sub>Energy Efficiency</sub> = BB4 設定之能源效率提升所節省之發電量

由此目標年的計算公式，可以很清楚地發現，放入 S<sub>Energy Efficiency</sub> 這個參數後，計算出來的數值並非一般的排放強度；也就是說，各州之能源效率提升愈多，S<sub>Energy Efficiency</sub> 會愈大，就能幫助各州較容易達成目標。

美國各州之 2012 年排放強度及 2030 年之排放強度目標如表 9 所示，其中並未列入華盛頓特區(Washington D.C.)及佛蒙特州(Vermont)，因為這兩個地區的既有電廠中並無火力發電廠，故 EPA 未訂定其排放強度目標；此外，印地安保留區及波多黎各和關島是由「清潔電力計畫補充提案」所規範，在此不另敘述。

表 9 美國各州 2012 年排放強度及 2030 年「排放強度目標」<sup>43</sup>

州	2012 年排放強度 (lbs/MWh)	2030 年排放強度目標 (lbs/MWh)
Alabama	1,444	1,059
Alaska	1,351	1,003
Arizona	1,453	702
Arkansas	1,640	910
California	698	537
Colorado	1,714	1,108
Connecticut	765	540
Delaware	1,234	841
Florida	1,200	740
Georgia	1,500	834
Hawaii	1,540	1,306
Idaho	339	228
Illinois	1,895	1,271
Indiana	1,923	1,531
Iowa	1,552	1,301
Kansas	1,940	1,499
Kentucky	2,158	1,763
Louisiana	1,466	883
Maine	437	378
Maryland	1,870	1,187
Massachusetts	925	576
Michigan	1,696	1,161
Minnesota	1,470	873
Mississippi	1,130	692
Missouri	1,963	1,544
Montana	2,245	1,771
Nebraska	2,009	1,479
Nevada	988	647
New Hampshire	905	486
New Jersey	932	531

<sup>43</sup> 20140602-state-data-summmary.xls, US EPA

州	2012 年排放強度 (lbs/MWh)	2030 年排放強度目標 (lbs/MWh)
New Mexico	1,586	1,048
New York	983	549
North Carolina	1,646	992
North Dakota	1,994	1,783
Ohio	1,850	1,338
Oklahoma	1,387	895
Oregon	717	372
Pennsylvania	1,540	1,052
Rhode Island	907	782
South Carolina	1,587	772
South Dakota	1,135	741
Tennessee	1,903	1,163
Texas	1,298	791
Utah	1,813	1,322
Virginia	1,297	810
Washington	763	215
West Virginia	2,019	1,620
Wisconsin	1,827	1,203
Wyoming	2,115	1,714

由於清潔空氣法第 111 節要求必須考量減量成本，EPA 也對四項建構元件評估個別之減量成本與貢獻度，詳如表 10。

表 10 美國清潔電力計畫四項「建構元件」之減量成本與貢獻度<sup>44</sup>

建構元件	減量成本(\$/ton)	減量貢獻度
BB1 改善燃煤效率	6~12	12

44

<http://www.ksg.harvard.edu/hepg/Papers/2014/EPAs%20Proposed%20Clean%20Power%20Plan-Implications%20for%20States%20and%20the%20Electric%20%20%20.pdf>

BB2 增加低碳燃料發電	30	31
BB3 增加核能與再生能源	建造中的核能機組：0 既有具風險之核能機組：12~17	7
	擴大再生能源：10~40	33
BB4 改善能源使用效率	16~24	18

### (三)替代目標、過渡目標、預期效益及影響

EPA 因考量各州在執行減量上的難易度，故在設定四項建構元件時，除了提出「排放強度目標」(Proposed State Goal)外，亦提出「替代目標」(Alternative State Goal)的選項，故若有些州在執行減量上遇到障礙，則可以選擇「替代目標」，以避免各州為了減碳而排擠該州的經濟發展或對電力供需造成負擔。

「排放強度目標」的目標年為 2030 年，「替代目標」的目標年則為 2025 年；相較於達成「排放強度目標」的四項建構元件，「替代目標」放寬了各建構元件的規劃內容，包括：

- BB1—燃煤發電效率提升由 6%降為 4%；
- BB2—燃氣複循環機組發電容量因數由 70%降為 65%；
- BB3—核能發電不變、再生能源比例由 2030 年之 13%降為 2025 年之 9.4%；
- BB4—需求端能源效率提升由 2030 年之 10.7%降為 2025 年之 5.2%。

無論是「排放強度目標」或「替代目標」，EPA 又將其區分為「過渡目標」(Interim Goal)及「最終目標」(Final Goal)兩個選項，各州可以自行選擇要適用的目標，並提出適合該州的減量計畫。

以「排放強度目標」而言，由於實施期程為 2020-2030 年，故其「最終目標」指 2030 年之後的排放強度，而「過渡目標」則為 2020-2029 年 10 年期間的排放強度目標要達到一個平均值。同理，「替代目標」的實施期程為 2020-2025 年，故其「最終目標」指 2025 年之後的排放強度，而「過渡目標」則為 2020-2024 年 5 年期間的排放強度目標要達到一個平均值。

綜合上述，「清潔電力計畫」共有四個目標供各州選擇，如表 11。

表 11 美國「清潔電力計畫」各州可選擇之排放強度目標<sup>45</sup>

州	排放強度目標(lbs/MWh)		替代目標(lbs/MWh)	
	過渡目標 (2020-2029)	最終目標 (2030 年後)	過渡目標 (2020-2024)	最終目標 (2025 年後)
Alabama	1,147	1,059	1,270	1,237
Alaska	1,097	1,003	1,170	1,131
Arizona	735	702	779	763
Arkansas	968	910	1,083	1,058
California	556	537	582	571
Colorado	1,159	1,108	1,265	1,227
Connecticut	597	540	651	627
Delaware	913	841	1,007	983
Florida	794	740	907	884
Georgia	891	834	997	964
Hawaii	1,378	1,306	1,446	1,417
Idaho	244	228	261	254
Illinois	1,366	1,271	1,501	1,457

<sup>45</sup> <http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/20140602ria-clean-power-plan.pdf>

州	排放強度目標(lbs/MWh)		替代目標(lbs/MWh)	
	過渡目標 (2020-2029)	最終目標 (2030 年後)	過渡目標 (2020-2024)	最終目標 (2025 年後)
Indiana	1,607	1,531	1,715	1,683
Iowa	1,341	1,301	1,436	1,417
Kansas	1,578	1,499	1,678	1,625
Kentucky	1,844	1,763	1,951	1,918
Louisiana	948	883	1,052	1,025
Maine	393	378	418	410
Maryland	1,347	1,187	1,518	1,440
Massachusetts	655	576	715	683
Michigan	1,227	1,161	1,349	1,319
Minnesota	911	873	1,018	999
Mississippi	732	692	765	743
Missouri	1,621	1,544	1,726	1,694
Montana	1,882	1,771	2,007	1,960
Nebraska	1,596	1,479	1,721	1,671
Nevada	697	647	734	713
New Hampshire	546	486	598	557
New Jersey	647	531	722	676
New Mexico	1,107	1,048	1,214	1,176
New York	635	549	736	697
North Carolina	1,077	992	1,199	1,156
North Dakota	1,817	1,783	1,882	1,870
Ohio	1,452	1,338	1,588	1,545
Oklahoma	931	895	1,019	986
Oregon	407	372	450	420
Pennsylvania	1,179	1,052	1,316	1,270
Rhode Island	822	782	855	840
South Carolina	840	772	930	897
South Dakota	800	741	888	861
Tennessee	1,254	1,163	1,363	1,326

州	排放強度目標(lbs/MWh)		替代目標(lbs/MWh)	
	過渡目標 (2020-2029)	最終目標 (2030 年後)	過渡目標 (2020-2024)	最終目標 (2025 年後)
Texas	853	791	957	924
Utah	1,378	1,322	1,478	1,453
Virginia	884	810	1,016	962
Washington	264	215	312	284
West Virginia	1,748	1,620	1,858	1,817
Wisconsin	1,281	1,203	1,417	1,380
Wyoming	1,808	1,714	1,907	1,869

依據 EPA 之分析<sup>46</sup>，實施「清潔電力計畫」後，無論各州選擇何種排放強度目標，都會產生不錯的減碳效果：

- 「排放強度目標」：2030 年 CO<sub>2</sub> 排放相較於基線減量約 545~555 百萬公噸(約減 24~25%)；相較於 2005 年減量約 723~733 百萬公噸，即可達成較 2005 年減少排放 30% 之目標。
- 「替代目標」：2025 年 CO<sub>2</sub> 排放相較於基線減量約 368~376 百萬公噸(約減 17%)；相較於 2005 年減量約 572~579 百萬公噸(約減 23~24%)。

藉由「清潔電力計畫」的執行，除了達到減碳的目的外，對於傳統空氣污染物減量的效益也甚為顯著，包括 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、粒狀物及重金屬(砷、汞)等，並可促進民眾健康及帶來氣候的效益；減量如果符合預期，估計 2030 年就氣候及健康兩方面所帶來的利益在 550 億~930 億美元，這個數字包含了避免發生在兒童身上的 2,700-6,600 件早逝及 140,000-150,000 件氣喘。<sup>47</sup>

<sup>46</sup> <http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/20140602ria-clean-power-plan.pdf>

<sup>47</sup> <http://www2.epa.gov/carbon-pollution-standards/fact-sheet-clean-power-plan-benefits#benefits>

EPA 也評估每年執行減量的成本在 2030 年達到 73 億~88 億美元，但在氣候及健康兩方面所得到的利益已遠超過必須投入的成本；扣除減量成本後，每個美國家庭在健康上的獲利約為 7 美元。因此，此彈性的減量提案不僅可以保護兒童和易受傷害的美國人，並將帶領美國邁向更乾淨、更穩定的環境，而且未來電力的供應也要在經濟成長的基礎上確保其可靠性及可接受度。

根據我國原能會之「美國環保署清潔電力計畫之綜合報導」<sup>48</sup>，EPA 於 2014 年 6 月 2 日公布「清潔電力計畫」提案後，各界之評論如下：

- 美國彭博社於 6 月 3 日報導指出，此計畫將令美國電力公司(AEP)、杜克能源(DUK)等旗下具眾多火力電廠之企業增加數十億美元成本，而再生能源及 Exelon Corp.、Entergy Corp 等核電企業則可望受惠。
- Sanford C. Bernstein & Co.的分析指出，以每公噸 10 美元的減碳成本計算，美國消費者未來的用電支出恐將增加 7-12%。
- William Blair & Co.的分析指出，奇異、西門子、Alstom SA 等氣渦輪機製造商可望開始受惠。
- 澳洲環境部認為美國是藉由提高天然氣能源佔比來達到 CO<sub>2</sub> 減量目標。
- 美國清潔煤炭電力聯盟(ACCCE)會長 Mike Duncan 批評，歐巴馬政府是在製造下一個能源危機，因為部分州將無力達到 EPA 設定的標準。

---

<sup>48</sup> [http://www.aec.gov.tw/webpage/info/files/index\\_04-55.pdf](http://www.aec.gov.tw/webpage/info/files/index_04-55.pdf)

此次實習中與南加州愛迪生電力公司(SCE)討論加州政府對「清潔電力計畫」的看法，SCE 表示 CARB 認為加州不僅可以達成目標，甚至還會低於 EPA 設定的「排放強度目標」。由於加州自 2013 年起實施排放交易機制，容易以較低的減量成本推動減量措施，且加州電力主要來自燃氣電廠與再生能源，CO<sub>2</sub> 排放相對較少，2012 年排放強度為 698 lbs/MWh，僅需減少 161 lbs/MWh 就能達到 537 lbs/MWh 的目標。

在美國各州的排放強度目標下，各州排放強度目標達成的難易程度不一，當加州政府可以輕鬆地達成目標之時，鄰近的幾個州(Arizona, Nevada, Oregon, Washington)因為出口電力給加州使用，就面臨了困難的挑戰。由表 9 可知這四個州的減碳幅度分別高達 51.7%、34.5%、48.1%、及 71.8%，目前「清潔電力計畫」對區域能源市場及電力交易的影響尚不明確，因此渠等將提交給 EPA 的減量計畫就值得繼續關注。

雖然現在美國國內各界對「清潔電力計畫」的看法莫衷一是，國會也召開過聽證會聽取各州的意見，但 EPA 將在分析 200 萬份意見後於 2015 年夏季提出「清潔電力計畫」的最後規則(final rule)；各州必須在 2016 年 6 月 30 日前研提本身的減量計畫給 EPA 進行為期 4~12 個月的審查，各州雖可採取多元的方式(如表 12)來達成排放強度目標，但美國尚無全面性的排放交易制度，無形中使減量困難的州少了一項政策工具。各州若無法如期提交減量計畫，可以申請展延一年；減量計畫經 EPA 審查後，如果被退回，則需重新修訂後再送審；如果州政府不願配合提出完整的計畫，EPA 依法可於該州實施聯邦計畫，強制推動必要的減量工作。

表 12 美國電力部門 CO<sub>2</sub> 排放減量之政策選項<sup>49</sup>

<b>Policy</b>	<b>Description</b>	<b>Examples</b>
<i>Power plant performance standard</i>	Each power plant must achieve a set emissions intensity	California, New York, Washington
<i>Renewable Portfolio Standard</i>	Utilities must deliver a set percentage of renewable electricity	Colorado, Hawaii, Kansas, Missouri, Nevada, Rhode Island, <a href="#">and others</a>
<i>Energy Efficiency Resource Standard</i>	Utilities must cut demand by a set amount by target years	Arizona, Connecticut, Maryland, Minnesota, Texas, <a href="#">and others</a>
<i>Decoupling</i>	Reduce utility incentive to deliver more electricity by decoupling revenue and profit	California, Idaho, Massachusetts, Michigan, Oregon, <a href="#">and others</a>
<i>Net Metering</i>	Encourage residential solar by paying homeowners to put excess electricity back on grid	Arkansas, Colorado, Georgia, Louisiana, <a href="#">and others</a>
<i>Cap &amp; Trade</i>	Issue a declining number of carbon allowances, which must be surrendered in proportion to each plant's emissions	California, Regional Greenhouse Gas Initiative
<i>Carbon Tax</i>	Charge a tax for emitting carbon	British Columbia
<i>Grid Operator Carbon Fee</i>	Add a carbon price to grid operator decision over which power plants to run	None currently
<i>Appliance Efficiency Standards</i>	Require new appliances sold to meet set electricity consumption standards	California, Florida, New Jersey, <a href="#">and others</a>
<i>Commercial &amp; Residential Building Codes</i>	Require new buildings to include electricity saving measures	California, Illinois, Maryland, Mississippi, <a href="#">and others</a>

<sup>49</sup> <http://www.c2es.org/federal/executive/epa/q-a-regulation-greenhouse-gases-existing-power>

## 四、參訪機構介紹

本次赴美實習共拜訪五家機構，其中加州的 Climate Action Reserve 與紐約的 RGGI, Inc. 屬於排放交易制度的執行或管理單位，由於前面敘述制度面時已包含在內，在此不另說明；本章僅針對 SCE、ALSTOM 及 BNL 三個機構提出概要性的介紹。

### (一)南加州愛迪生公司(SCE)

SCE 為南加州最大的電力公司，其母公司為愛迪生國際公司(Edison International)，提供電力服務的歷史已經有 125 年，如今營業範圍超過 50,000 平方英里(圖 22)。



圖 22 南加州愛迪生公司營業範圍<sup>50</sup>

<sup>50</sup> [http://www.edison.com/content/dam/eix/documents/aboutus/our-companies/SCE\\_Service\\_Territory\\_Map.pdf](http://www.edison.com/content/dam/eix/documents/aboutus/our-companies/SCE_Service_Territory_Map.pdf)

SCE 之發電(含自有與購入)配比(power mix)如表 13 所示，其中核能占比由 2011 年的 24%降為 2012 年的 7%，係因其 San Onofre 核能電廠 2、3 號機組(每部機為 1,127MW)進行設備升級時發生問題，於 2012 年 1 月停機，SCE 並於 2013 年宣布除役。為了紀念這座核能電廠(其 1 號機已於 1992 年 11 月正常除役)，SCE 於其總部行政大樓之 1 樓設有展示櫥窗，如圖 23。

表 13 SCE 公司 2011-2012 年發電能源組合

發電能源		2011 年 <sup>51</sup>	2012 年 <sup>52</sup>
再 生 能 源	生質能	1%	1%
	地熱	9%	9%
	小型水力	1%	1%
	太陽能	1%	1%
	風力	7%	8%
大型水力		7%	4%
燃煤		8%	7%
天然氣		27%	21%
核能		24%	7%
其他		15%	41%

51

[https://www.sce.com/wps/wcm/connect/56aacd37-6d4b-4a67-b206-c42f14675fb5/2011\\_PowerContentLabel.pdf?MOD=AJPERES](https://www.sce.com/wps/wcm/connect/56aacd37-6d4b-4a67-b206-c42f14675fb5/2011_PowerContentLabel.pdf?MOD=AJPERES)

52

[https://www.sce.com/wps/wcm/connect/16eadc87-3e6b-4610-8929-1178a2d66a03/2012\\_PowerContentLabel.pdf?MOD=AJPERES](https://www.sce.com/wps/wcm/connect/16eadc87-3e6b-4610-8929-1178a2d66a03/2012_PowerContentLabel.pdf?MOD=AJPERES)



圖 23 San Onofre 核能電廠紀念櫥窗

在環境保護工作方面，SCE 極力投入，除了發展再生能源及推廣節約能源外，在空氣、水、自然資源如森林、濕地等方面也都善盡企業社會責任。表 14 為 SCE 在 2013 年社會責任報告書所揭露之環境資訊，可以發現 2011 年 SCE 本身發電的碳排放強度僅為 397 lbs/MWh(約 0.18 kg/kwh)，但 2012 年 San Onofre 核能機組停機後，碳排放強度升為 753 lbs/MWh(約 0.342 kg/kwh)，甚至高於全加州之排放強度 698 lbs/MWh。

表 14 SCE 環境資訊(2011-2013 年)<sup>53</sup>

Environment	2011	2012	2013
Customer Energy Efficiency: GWh % of CPUC Goals	166%	160%	124%
Customer Energy Efficiency: MW % of CPUC Goals	142%	132%	106%
Customer Demand Response (MW)	-	1,300	1,200
Renewables Portfolio Standard: Eligible Renewables	20.8%	20.6%	21.6%
CO <sub>2</sub> e Emissions from Owned Electricity Rate (lbs/MWh)	397	753	777
CO <sub>2</sub> e Emissions from Delivered Electricity Rate (lbs/MWh)	517	705	805
Scope 1 Emissions (million metric tons CO <sub>2</sub> e)	6.3	7.2	6.2
Scope 2 Emissions (million metric tons CO <sub>2</sub> e)	1.0	1.5	2.0
Scope 3 Emissions (million metric tons CO <sub>2</sub> e)	12.4	16.9	21.6
SF <sub>6</sub> Emissions Rate	0.90%	0.64%	0.62%
SF <sub>6</sub> Emissions (metric tons)	3.247	2.463	2.621
NO <sub>x</sub> Emissions Rate of UOG (lbs/MWh)	0.660	1.160	1.30
NO <sub>x</sub> Emissions from Power generation (metric tons)	13811.69	35723.6	9997.8
SO <sub>2</sub> Emissions Rate of UOG (lbs/MWh)	0.250	0.370	0.420
SO <sub>2</sub> Emissions from Power generation (tons)	4186.95	10123.3	3213.3
Hazardous waste (tons)	-	-	29,328.04

53

<http://www.edison.com/content/dam/eix/documents/aboutus/citizenship/sce-2013-corporate-responsibility-report.pdf>

由於加州本身 CO<sub>2</sub> 之電力排放係數並不高，加上為了削減龐大車輛所排放出來的廢氣，州政府鼓勵民眾使用電動車，例如高速公路設有專用道即是最好的證明；SCE 在其停車場內設有電動車專用停車位(圖 24)，員工上班時以識別證在車柱上刷卡(圖 25)，即可自動計量由員工帳戶中收費。此行見到眾多廠牌的電動車，足見加州政府在政策上的用心，不僅減少了 CO<sub>2</sub> 及空氣污染物的排放，又可促進產業發展；而電力公司發電增加所承擔的排放責任，透過排放交易機制購入成本較低的碳配額來抵減，成本再反映至電價中使民眾節約用電。



圖 24 SCE 公司總部停車場之電動車充電設備



圖 25 SCE 公司總部停車場電動車充電之計量裝置

SCE 公司為加州之民營電力公司(IOU)，支持州政府之總量管制與排放交易機制以較低成本達到減量目標；SCE 在面對碳配額購買、交易策略與風險管理等事項皆有一套管理方式，並設有專責單位。SCE 認為取得碳配額之策略重點在於必須達成減量義務，公司須管理因碳價影響電力銷售成本所造成之政策風險與財務風險；故基本原則為確保遵守法規和成本回收、非投機方式管理價格波動風險、透過方法比較管理政策風險、及客戶成本最小化等四項。

圖 26 為 SCE 特別提供有關該公司在環境議題及排放交易之組織結構，由圖中可知該公司之能源及環境政策歸屬於一位副總經理之職責，但負責能源及排放交易之部門為專設部門，由另一位副總經理管轄。在實習過程中，據 SCE 交易部門人員表示，加州排放交易機制實施後，他們的操作均處於獲利情況，故暫未將碳成本反映至電價中。

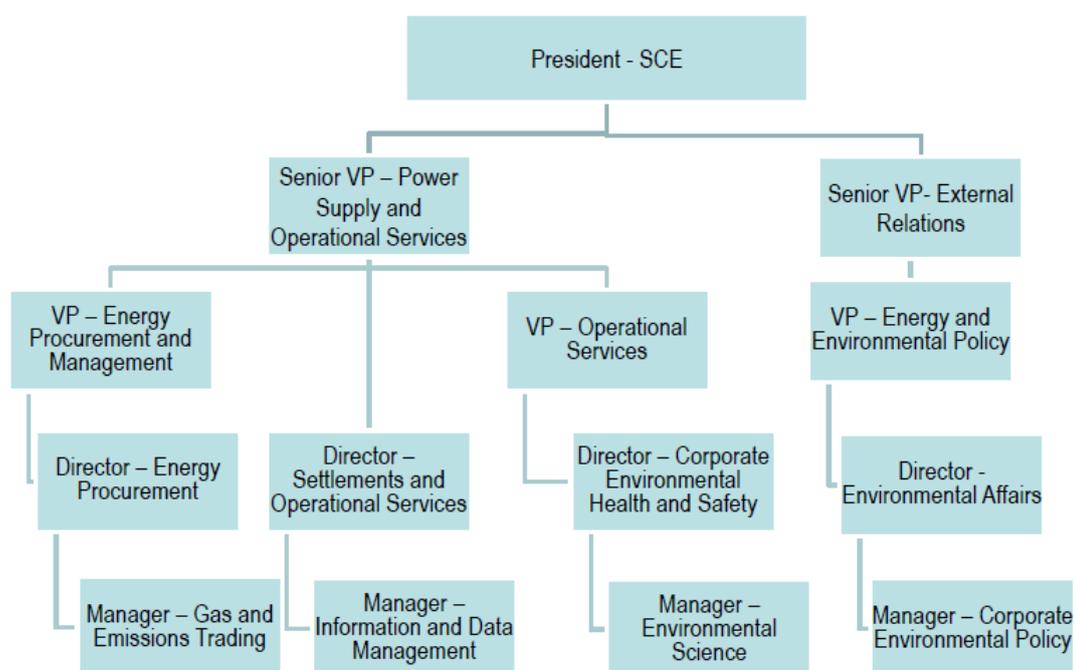


圖 26 SCE 公司環境議題及排放交易之組織結構圖

在 SCE 總部大樓的中庭有一個小噴泉(圖 27)，大大的石碑上面鐫刻著簡單的幾個字：「離去了，但不會被遺忘」(GONE...BUT NOT FORGOTTEN)，這是為了永懷那些在現場工作而因公殉職的同仁們，旁邊並豎立著一塊牌子，記載著自 1965 年起為電力事業犧牲的英雄們的姓名(圖 28)。



圖 27 SCE 公司總部大樓中庭的紀念碑



圖 28 SCE 公司自 1965 年起現場工作因公殉職的人員名單

## (二) ALSTOM 公司

美國 ALSTOM 公司之前身為「燃燒工程公司」(Combustion Engineering)，創立於 1912 年，之後發展成為發電、輸電和鐵路運輸等技術的創新者和供應商，包括紐約每天 1,000 萬人的通勤及美國第一個離岸風力發電場都可以看到其身影，至今每 2 個美國電廠中就有 1 個是安裝 ALSTOM 的發電設備、全美國 40% 的電網管理也來自於該公司、以及製造超過 8,000 台軌道車輛，在全球可說是具有領先的地位。

1990 年美國 ALSTOM 公司成為法國 GEC Alsthom 設於美國的公司，並在華盛頓州建立其全球網路管理解決方案中心；法國 GEC Alsthom 又於 1998 年更名為 ALSTOM，成為目前業務範圍遍及五大洲的跨國企業集團。美國 ALSTOM 公司在全美共有二十幾個據點(圖 29)，分屬發電(Power Generation)、電網(Electrical Grid)和鐵路(Rail Solutions)三大部門，在美國各地負責不同設備之研發、製造及銷售業務；而其總部設於華盛頓特區(Washington D.C.)，主要負責政策分析及決策協助等業務。

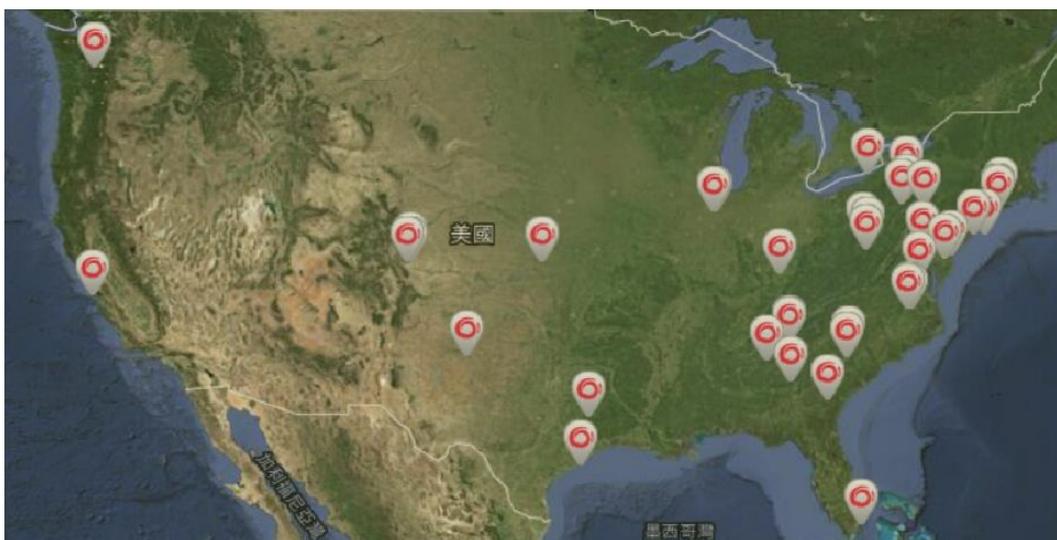


圖 29 美國 ALSTOM 公司全美分布據點<sup>54</sup>

<sup>54</sup> <http://www.alstom.com/countries/us/our-locations/>

此次拜訪美國 ALSTOM 公司的企業總部(Corporate Headquarters)位於華盛頓特區市中心的大樓內，大樓前方為美國海軍紀念廣場(US Navy Memorial)，如圖 30、31；企業總部的規模並不大，人數也不多，主要就是因為三大技術部門已分散至各地，且各技術部門也擁有本身的總部，藉由現代化的通訊設備即可互相聯繫或請求支援。



圖 30 美國 ALSTOM 公司位於華盛頓特區之企業總部

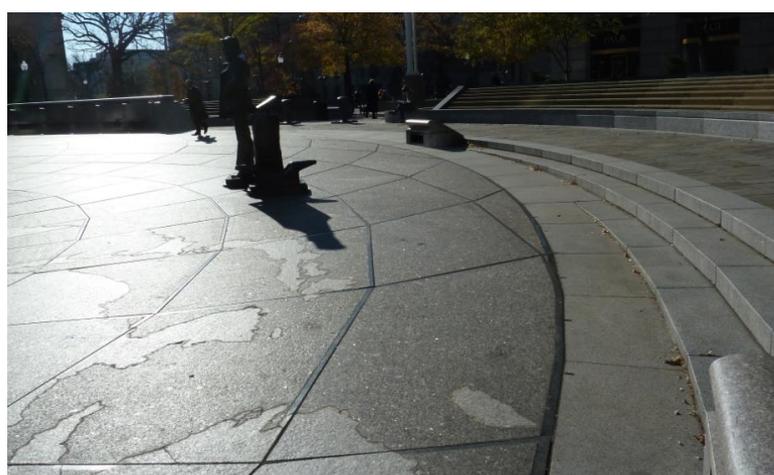


圖 31 美國海軍紀念廣場上繪有全球地圖，台灣亦出現在地圖上

在 ALSTOM 公司除了討論 EPA 「清潔電力計畫」外，ALSTOM 公司亦介紹其 CCS 技術之發展，摘要說明如下：

### 1. Chilled Ammonia Process, CAP(冷氨法)

CAP 是 ALSTOM 的專利技術，以氨為溶劑，在環境壓力和低溫條件下，根據煙氣中的 CO<sub>2</sub> 在吸收器中與氨溶液發生反應所設計，含 CO<sub>2</sub> 的溶液用泵輸送至再生器，並適當提高溶液溫度，即可釋放出 CO<sub>2</sub> 並進行捕集，其製程如圖 32。

氨為應用廣泛的低成本化學商品；經過現場驗證及測試，CAP 已成功地在 90% 的捕集率下產生純度大於 99.9% 的 CO<sub>2</sub>。此外，CAP 技術可說是一種對環境無害的製程，其生成含硫酸銨的副產物，可以出售作為肥料。

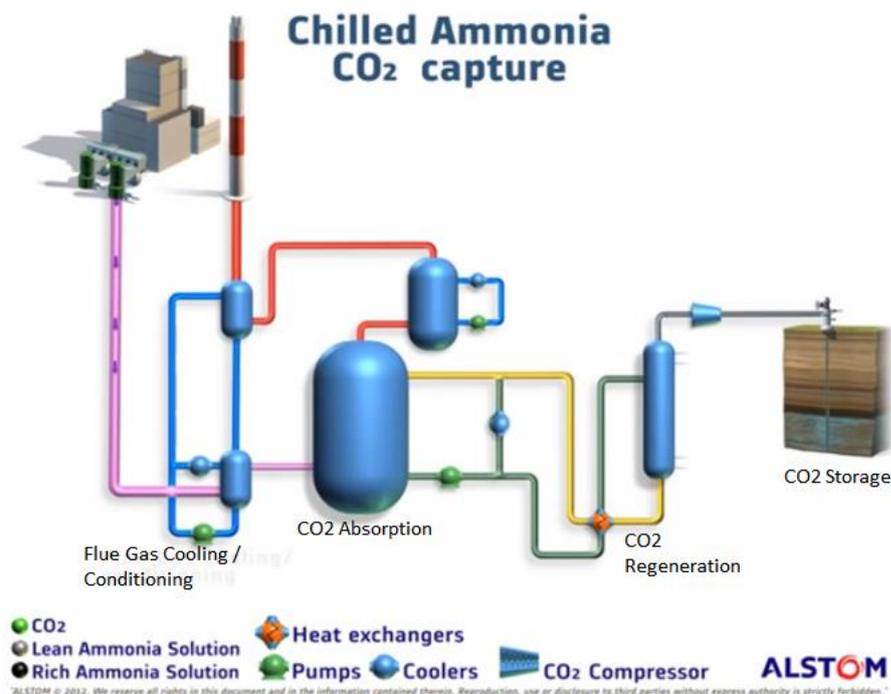


圖 32 ALSTOM 公司之 CCS 製程-CAP<sup>55</sup>

CAP 已在下列地點進行現場測試(pilot test)或示範(demonstration)計畫：

- We Energies, Pleasant Prairie, Wisconsin, USA - 每年 CO<sub>2</sub> 捕捉量為 15,000 公噸。
- E.ON, Karlshamn, Sweden - 每年 CO<sub>2</sub> 捕捉量為 15,000 公噸。
- AEP Mountaineer, New Haven, West Virginia, USA - 每年 CO<sub>2</sub> 捕捉量為 100,000 公噸。
- Technology Center Mongstad, Mongstad, Norway - 每年 CO<sub>2</sub> 捕捉量為 82,000 公噸。

## 2. Advance Amines Process, AAP

AAP 技術是 ALSTOM 與道氏化學公司(Dow Chemical Company)合作開發，必須使用道氏提供的專利溶劑及溶劑管理服務。胺(Amine)溶液在 CO<sub>2</sub> 吸收器中低溫狀態下吸收 CO<sub>2</sub>，然後混合溶液進入 CO<sub>2</sub> 再生器中，適度加熱溶液，釋放出 CO<sub>2</sub>，其製程如圖 33；與 CAP 之性能一樣，AAP 可以在 90%的捕集率下產生純度大於 99.9%的 CO<sub>2</sub>。

AAP 也已在下列地點進行現場測試或示範計畫：

- Charleston, West Virginia, USA - 每年 CO<sub>2</sub> 捕捉量為 1,800 公噸。
- EDF Le Havre, France - 每年 CO<sub>2</sub> 捕捉量為 7,500 公噸。

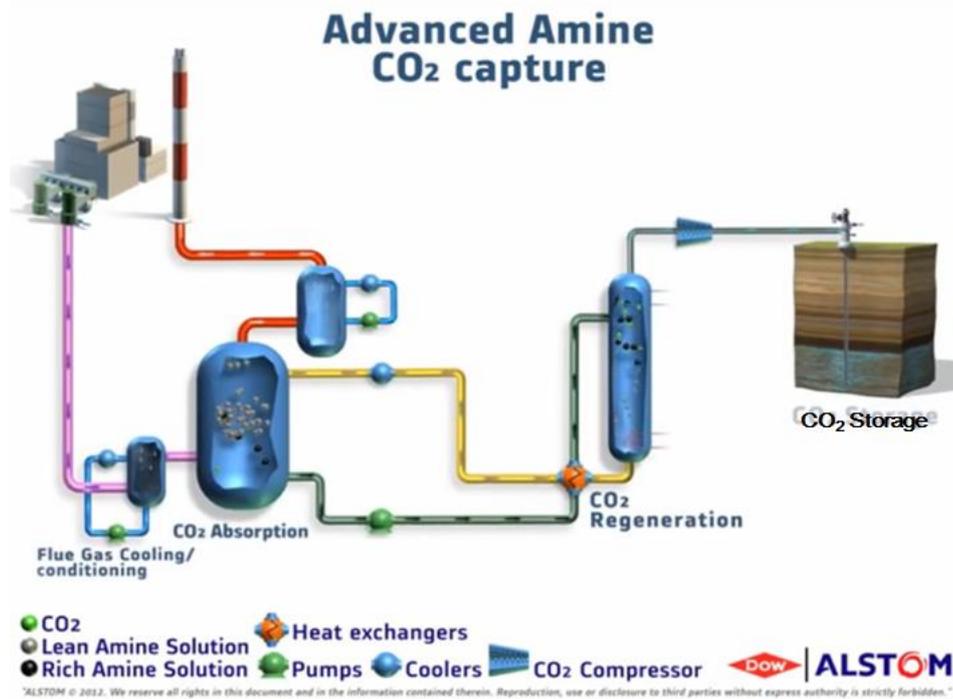


圖 33 ALSTOM 公司之 CCS 製程-AAP<sup>56</sup>

### (三)Brookhaven 國家實驗室(BNL)

BNL 位於紐約長島，建立於 1947 年，所在地原為美國陸軍營地的舊址，最初是為了第二次世界大戰後探索原子能的和平應用，該實驗室現在有一個更廣闊的使命：在科學的前端執行基礎和應用研究，包括核能和高能物理、物理學和材料化學、奈米科學、能源與環境研究、國家安全、神經科學、結構生物學及計算科學。

目前 BNL 主要是接受美國能源部科學辦公室的資助，內有近 3,000 名科學家、工程師和行政人員，每年來自世界各地的客座研究員超過 4,000 位。此行拜訪 BNL 之「永續能源技術所」(Sustainable Energy Technologies Department)，下設 Energy Storage、Renewable Energy、Energy Conversion 及 Energy Policy and Technology Analysis 四個部門，所方安排

56

<http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/power-generation/coal-and-oil-power/co2-capture-systems-ccs/co2-capture-post-combustion-ccs/>

Renewable Energy 部門之研究員 Dr. Yue Meng 接待，並說明該所在再生能源方面之研究。

「永續能源技術所」在再生能源方面的研究可分為兩類，一是太陽能，另一個是智慧電網；藉由設於 BNL 場址內的兩處太陽光電設施，「永續能源技術所」得以進行諸多相關研究。以下介紹這兩處太陽光電設施與相關研究內容：

### 1. 長島太陽能場(Long Island Solar Farm, LISF)

LISF 總裝置容量高達 32MW(占地 195 公頃)，由 BP Solar、長島電力局(LIPA)和能源部合資設立，如圖 34；LISF 自 2011 年 11 月起併聯發電進入 LIPA 電網，是目前美國東部最大的光電站，除了產生足供 4,500 個家庭用電(每年約 44,000 千度)外，亦將對紐約州達成減碳目標有所助益。



圖 34 長島太陽能場(Long Island Solar Farm, LISF)空照圖<sup>57</sup>

<sup>57</sup> “Brookhaven National Laboratory Renewable Energy Research and Grid Centers”, presented by Yue Meng, BNL, March 2012

「永續能源技術所」利用 LISF 進行之研究包括：

- 太陽能變異性(Solar Variability)
  - 太陽能對發電站之變異性予以特徵化
  - 預測下一分/時/日之太陽能源
  - 預測太陽光電站之電力輸出能量
- 電網整合(Grid Integration)
  - 太陽能變異對電網管理之影響
  - 不同電量配送至電網之影響
  - 儲能
- 環境影響(Environmental Impacts)
  - 太陽光電站對當地環境和生態的影響

## 2. 東北太陽能研究中心(Northeast Solar Energy Research Center, NSERC)

「永續能源技術所」正在 BNL 場址內打造一個太陽能研究中心—NSERC，希望成為太陽能工業在美國東北部實際天候狀況下進行研究和測試的設施；除了另行建造 3 處太陽光電陣列外，NSERC 也會透過 LISF 高解析度的資料群組進行研究。圖 35 為 3 處太陽光電陣列之位置圖，「永續能源技術所」規劃如下：

- 第 1 區(Area 1)設置 907 kw(直流)，進行變頻器、儲能設備及微型電網之測試，並將電能供應 BNL 使用。
- 第 2 區(Area 2)設置 65 kw(直流)，進行追蹤模組測試。
- 第 3 區(Area 3)設置 150 kw(直流)，進行新模組設計及變頻器拓樸測試。

## NSERC Solar Research Array

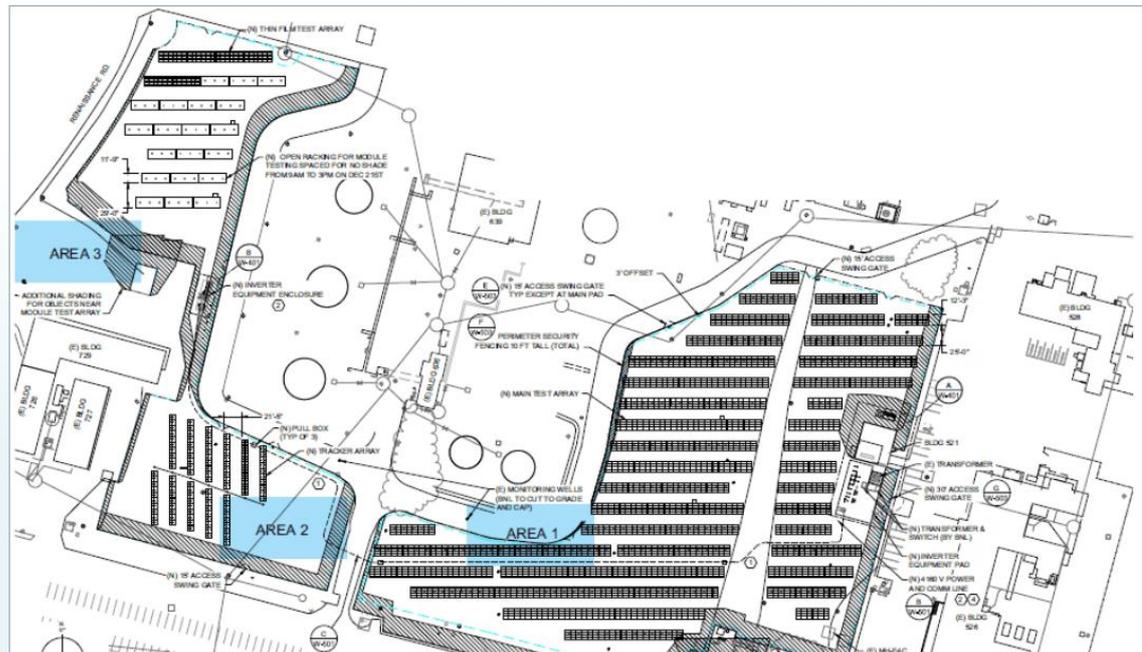


圖 35 東北太陽能研究中心 NSERC 之 PV 陣列規劃圖<sup>58</sup>

截至 2014 年 11 月，NSERC 之光電陣列只在第 1 區建造了 518 kw 的光電模組(圖 36)，但已經可以進行原來規劃的研究，其餘部分將等待贊助資金充足後再繼續建造。整體而言，藉由 3 處小型的光電陣列，NSERC 之研究主題將包括下列項目，亦可配合贊助者的需求進行相關研究：

- 太陽能資源的併網整合
- 新太陽能系統技術的研究與發展測試，涵蓋新的變頻控制技術、微型變頻器、以及其他技術
- 東北部光電場太陽能變異之表徵和管理
- 太陽能資源測量和預測
- 智慧電網技術之測試，涵蓋智慧電網感知器和微型電網控制機制

<sup>58</sup> <http://www.bnl.gov/energy/NSERC/map.php>



圖 36 NSERC 已完工之 PV 陣列(518 kw)

## 肆、心得與建議

本次赴美國實習，透過實地與產(SCE、ALSTOM)、官(Climate Action Reserve、RGGI, Inc.)及學(BNL)三方面的學習與討論，對於美國目前實施區域性的排放交易制度(RGGI、加州 Cap-and-Trade)、EPA 已提出的「清潔電力計畫」提案及產業相關減碳策略與技術發展現況已有初步認知，尤其是美國雖不批准京都議定書，但務實地規劃未來減碳目標，並仍著眼於經濟發展及民眾健康，以及避免產業喪失競爭力和增加民眾負擔，著實令人印象深刻且獲益良多，以下為此行之心得與建議：

- 一、氣候變遷已是世界各國無可避免的議題，就美國這個世界強權而言，過去幾年也遭受數次極端氣候事件的衝擊，因此歐巴馬總統上台後不斷推動溫室氣體減量之立法，恰逢頁岩氣開採技術的突破，使得未來美國可藉由提升燃氣比例及增加無碳能源(核能及再生能源)大幅度的削減排放量。
- 二、加州及 RGGI 之總量管制仍考量基礎情境 BAU 之發展，包括經濟成長之需求；而電力部門之減碳成本雖可反映至電價中以抑制用電成長，亦須顧及對民眾之影響最小化。在供應端與需求端共同努力下，才能務實地減少溫室氣體排放，同時追求永續發展的境界。
- 三、排放交易制度可有效降低溫室氣體減量成本，我國行政院既已揭示國家之減碳目標，在總量管制之前提下，應儘速建立排放交易相關機制及配套措施；有關推動總量管制與排放交易(Cap-and-Trade)，建議主管機關考量下列事項：
  - (一)分階段實施，俾減緩衝擊及增加產業適應能力。無論是加州排放交易機制或是 RGGI，甚至歐盟之 ETS，均為分階段施行，並在初始

給予受管制業者免費配額。

(二)擴大市場參與對象，增加碳配額或抵換額度之流動性與供給量。由於我國產業型態多為高耗能產業，政府應積極尋求與其他碳市場連結，以避免國內碳市場發生供不應求之情形。

(三)建立機制防止碳價大幅上漲或崩盤。加州或 RGGI 均以儲備配額控制碳價波動劇烈，政府介入市場以平抑價格，除可防止有心人士投機炒作外，政府也可藉由平穩之收益持續投入節能減碳行動。

四、由美國環保署之「清潔電力計畫」提案內容，可以發現減碳目標的訂定必須經過整體數據分析後才會成形，並且各州可以選擇適合本身情境的目標；在此前提下，各州政府與電力部門將站在一起，同心協力提出具體可行的減量計畫。反觀我國制度以管制業者為主，訂定目標未見其減量規劃細節，各級政府不知如何配合推動的情況下，減量責任恐將全部落在供應端身上，如果又無法反應成本，減量效果勢必事倍功半，難以達成國家目標。

五、減量技術的發展有賴政府資金的投入，並在行政作業上予以協助。無論是碳捕捉與封存(CCS)技術或是再生能源的技術研發，都有因地制宜的特性及資金需求的問題，絕非產業本身可以獨力解決。美國能源部多年來資助研究機構如 BNL，以及推動 CCS 之試驗計畫，不僅對美國本身減量有所助益，未來研發成果也有助於產業增加競爭力，連帶地厚植國力。

六、加州排放交易機制中有關抵換計畫之實質審核由主管機關 CARB 認可之登錄平台(Registry)機構(如 Climate Action Reserve、VCS)進行，CARB 僅執行核發額度申請之書面審核作業，大幅減少行政作業流程與所需

時間，增加投資開發抵換計畫之誘因。我國現行之抵換計畫係依據行政院環保署之「溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」辦理，在人力不足時容易使案件審查時間過久，建議可仿照加州作法，授權相關機構並予以認證後，由該機構執行抵換計畫之實質審核。

七、由於電力業的溫室氣體排放量多寡主要取決於能源配比及產業政策，目前正值全國能源會議召開之際，面對核能議題的不確定性及產業政策未變的情況下，未來如何達成政府所賦予的溫室氣體減量責任，建議仍需與主管機關加強溝通，並朝下列方向執行：

(一)依全國能源會議之決議調整能源配比後，敦請主管機關檢討與修訂國家減碳目標。

(二)政府目前之減碳目標包括對國際宣布之「國家適當減緩行動」(NAMAs)及對國內揭示之國家減碳目標，並將依據 COP20 決議提出「國家自主決定預期貢獻」(INDCs)，實已造成政策不明確的現象；建議在能源選擇與減碳空間上取得協調，並考量我國欠缺自主能源的條件，參照競爭力相當之國家作法，提出具體可執行的減碳目標與期程。

(三)民間發展再生能源之聲音不斷，預期未來間歇性再生能源併網需求隨之增加，除應請政府負擔增設饋線之成本外，公司內部應加強智慧電網之研究，避免電力系統受到衝擊。

(四)按照使用者付費的原則，將外部碳成本內部化，並反映在浮動電價公式中，包括購買碳權或進行碳捕捉與封存計畫。唯有確實將減碳成本(包括相關技術研發)納入發電成本，公司才能明確地進行長遠規劃，並將盈餘持續投入潔淨能源的開發，以提供用戶更環保的電力。