# 降低再生能源供電不穩定影響之發展策略

執行期間：104年 3月01 日至104年10 月 31 日

計畫主持人：許志義 教授

執行機構： 國立中興大學

# 目次


- 一、緒論

(一)研究背景與研究動機

(二)研究目的與內容

(三)研究方法及進行步驟

- 二、先進國家和台灣再生能源發電配比目標與現況

(一)先進國家再生能源發電目標與現況

(二) 台灣再生能源發電目標與現況

- 三、先進國家再生能源發展背景、因應再生能源供電不穩定作法及其發展策略

(一) 德國因應再生能源供電不穩定之作法與發展策略

(二) 美國加州因應再生能源供電不穩定之作法與發展策略

(三) 美國夏威夷州因應再生能源供電不穩定之作法與發展策略

(四) 美國EnerNOC公司以需量反應方案協助電網穩定案例

(五) 丹麥因應再生能源供電不穩定之作法與發展策略

(六) 日本因應再生能源供電不穩定之作法與發展策略

# 目次(二)


- 四、降低再生能源供電不穩定之政策規劃設計與因應策略

(一) 政策規劃與設計

(二)實際執行之因應策略

(三) 本章小結

- 五、再生能源供電穩定度之評估方法與提升技術

(一) 再生能源供電穩定度之評估方法

(二) 技術面提升再生能源電力穩定度方法

- 六、結論與建議
- 七、參考文獻

# 研究背景與動機

- 近年來由於全球能源短缺、能源價格飄漲和環保意識提升等因素，積極發展再生能源發電已是共同趨勢。

- 在台灣，因各種環保抗爭與自力救濟不斷發生，居民鄰避(Not In My Back Yard, NIMBY)意識普遍，大型的核能和火力電廠與區域輸配電線等設施經常無法順利進行建設，再加上電力系統尖峰負載持續成長，導致地區性電力供需失衡。

  在此情況下，政府有關單位積極推動小型再生能源，增加分散式的太陽能和風力發電，以增加電力供給，且有降低二氧化碳排放量等益處。

# 研究背景與動機(二)

- 再生能源中太陽能與風力發電這兩個主要項目，有易受季節和氣候影響，造成供電不穩定的特性:

  風力發電受風力大小影響、太陽光電受日照強弱影響，皆無法充分配合用電負載需求之變化，穩定供應電力。

- 當再生能源佔總電力負載供給比例過高時，如何穩定電力系統之供電品質，是當前世界各國積極發展再生能源普遍共同遭遇的難題。

# 研究目的與內容

- 蒐集數個先進國家發展再生能源較有代表性的案例，針對與再生能源發電不穩定相關的課題，整理出降低再生能源發電不穩定的執行策略與政策面向分類。
- 藉由案例國家再生能源的發展背景，詳細探討其政策意涵與在台灣實施的可行性。
- 除了參考國際間穩定電網的做法之外，本研究將統整國際間因應再生能源發電不穩定所制定之相關法規與作法，分析其配套措施之設計及執行重點。
- 最後針對國內當前與未來之電力市場環境，分析可能面臨之挑戰，並提出較可行的市場誘因制度與政策法規建議，期望對再生能源供電不穩定的問題有正面的助益，可作為我國未來能源供需布局之參考。

# 先進國家發展再生能源案例

1. 德國

「Harz再生能源示範區」

2. 美國加州

自營發電獎勵計畫(Self Generation Incentive Program, SGIP)

3. 美國夏威夷州

再生能源電網整合研究

4. 美國EnerNOC公司

提供能源智慧軟體管理需量反應方案

5. 丹麥

Edison Project將電動車(Electric Vehicle, EV)整合進高風力發電滲透率的電力系統中

6. 日本

橫濱智慧城市計畫(Yokohama Smart City Project)

# 德國案例

- **(1) 德國「Harz再生能源示範區」虛擬電廠案例**

➢ 德國的「Harz再生能源示範區」（Regenerative Modellregion Harz），為德國聯邦經濟部（BMWi）與環境部（BMU）所共同推動的「E能源—未來以ICT為基礎的能源系統」（E-Energie）總計畫項下的一個子計畫。

# 德國案例(二)

- **虛擬電廠之概念**

➢ 所謂虛擬電廠（virtuelles Kraftwerk, VK; virtual power plant, VPP），就是把分散在四處、與不同層級電網相連的分散式電源結合起來，進行集中控制與調度的單位，這個新興產業除了協調供電的任務之外，並有提高能源效率的作用。

➢ 具體而言，虛擬電廠包括四個部分：

1. 中控資訊平台
2. 分散式再生能源發電系統
3. 儲能系統
4. 彈性電價機制

# 德國案例(三)

- 降低再生能源發電不穩定的策略或配套相關內容
  - 市場獎勵金（Marktprämie）機制:提供誘因
  - 不定量購電（ungeregelte Abnehme）契約: 電力池協調者可藉由逐步擴大與不同地理位置的DER之連結範圍，以減少預測偏差，降低銷售風險。
  - 定期供電（Fahrplanlieferung）契約: 在契約中，必須約定發電設備故障時的責任歸屬，而且為提高供電可靠度，雙方至少應約定DER管理人有重大違反供電曲線時之違約責任。
  - **提供輔助服務:** DER管理人須確保這些容量與能量之可供調度性。
  - **電力池協調者從事電力交易的任務與流程:** 一旦再生能源設備決定不領取再生能源附加費（EEG-Festvergütung），而選擇投入集中市場銷售電力，就必須進行發電預測、電力交易與登記排程計畫等市場流程。為了對DER作更準確的即時預測（Kurzfristprognose），電力池協調者除了定時更新天氣預測資訊外，也必須對機組作定時監測，以取得DER最新運作狀態的資訊。

# 德國案例(四)

- 降低再生能源發電不穩定的策略或配套相關內容

➢ **風電交易:** 可以藉由擴大風電機組在地理位置上的分佈範圍，及縮短預測與交易之時間間隔這兩個方法，來提高預測的準確性。如果將幾個風力電場的地理位置分佈範圍擴大，支出平衡電力的成本同樣也會減少，足以此證明利用風力機組在不同地理位置上的互補效果，確實也可提高預測的準確性。

➢ **儲能設備用來填補風電預測的偏差:** 在出現預測偏差時，儲能設備可隨時提供可調度的容量，減少電力調度成本。

➢ **商業模式特色:** 各地區必須盡可能充分利用當地的風力或太陽能設備饋入的間歇性電力，不足的發電量再由當地可彈性發電的機組（如汽電共生、沼氣廠等）或儲能設備來供應，以盡量減少對外購電。

➢ **動態電價與預測相關**:動態電價的電價等級（Preisstufen, price level）是由電力池協調者彙當地整發電預測與負載預測的供需狀況後所訂出，並由零售商在前一日通知用戶，以便用戶事先安排用電時段，因此發電預測與負載預測的準確性會影響消費端進行負載轉移的效果。

# 美國加州案例

- (2) 美國加州案例

➢ 加州透過各種相關法案與政策措施，積極導入智慧電表、智慧電網及發展高比例之再生能源(2030年加州整體再生能源發電比例政策目標設定為50%)。

# 美國加州案例(二)

- 美國加州自營發電獎勵計畫
  - 加州自2001年開始實施自營發電獎勵計畫(Self Generation Incentive Program, SGIP)，提供獎勵新型的分散式發電設備之政策措施，其目的在於針對擁有小型發電設備的合格用戶，提供各種補助，包括安裝電錶，以及根據用戶端所使用的不同發電技術類型及其發電量，給予不同等級的獎勵金，包含風力發電機、廢熱發電機、減壓渦輪機、內燃機、微型燃氣輪機、燃氣渦輪機，燃料電池，以及先進的儲能設備系統。
  - SGIP至今已完成544個自營發電之獎勵項目，是美國國內執行時間最長、最成功的分散式發電激勵政策計劃之一。

# 美國加州案例(三)

- SGIP計畫鼓勵小型的自營發電，增加了電力供給面的彈性，可以降低區域供電不穩定的問題。該計畫納入更小型的再生能源發電系統後，加上提供獎勵金的配套措施，激勵了更多再生能源併入電網。

  (期末報告將補上最新的加州再生能源發電配比)

- 除此之外，加州還積極推動先進儲能設備政策。

  針對對於供電不穩定有顯著正面功能的先進儲能設備，獲得加州政府有關單位極高的重視，並且採取了一系列積極的制度化政策措施。

# 美國加州案例(四)

- 美國加州制度化政策措施

➢ 2010年加州州議會通過議會2514法案，要求加州公用事業委員會應決定該州的電力公司是否應該設定儲能目標。該法案列出儲能要達到的多項目標，如可靠地整合間歇性再生能源發電併電網，並使其可接近滿載容量運作。該法案宣稱任何儲能目標應該要是「可行並符合成本效益」，並建議儲能目標該達成的時程。

➢ 為了落實州議會2514法案，加州公用事業委員會在2010年底開始制定相關執行規則，並於2012年舉行一系列研討會探討關鍵問題，如典型的儲能方案、成本效益如何評估、採購政策和容量目標等。過程中除了加州三大電力公用事業外，有廣泛的利害關係人參與，並在各個階段提出意見。

➢ 加州公用事業委員會和市場上各利害關係人建置了各種「利用類型」(use cases)來說明儲能設備如何佈建在電網，並具體解釋相關的操作條件與每種「利用類型」的潛在益處。最後確認了20種類型的儲能技術「利用類型」。此外，為了制定成本效益的計算框架，由EPRI評估許多由CPUC提供的假設情景，進行相關成本效益評估的模型與評估步驟，以供各界參考。

# 美國加州案例(五)

- 美國加州制度化政策措施

➢ 2013年10月，加州成為全美國第一個要求電力系統達到特定儲能容量的州，亦即三大電力公用事業(Pacific Gas and Electric, Southern California Edison and San Diego Gas and Electric)在2020年之前，必須能夠儲存1,325 MW的容量。

➢ 此儲能計畫主要目的是要配合太陽能與風力再生能源供電不穩定之問題，因加州的再生能源比例依法在2020年要達到33%。該計畫的目標包括:

1) 最佳化電網，減少尖峰負載、增加穩定度、推動輸電和配電設備的升級。
2) 整合再生能源。
3) 減少溫室氣體排放。

# 美國加州案例(六)

- 美國加州儲能計畫重點

1. 三大電力公用事業各自在輸電、配電、客戶端這三個領域有不同的儲能目標，自2014年起每兩年提高一次。
2. 選擇進行的儲能方案必須符合成本效益，由加州公用事業委員會(California Public Utilities Commission，CPUC)和電力研究院(Electric Power Research Institute，EPRI)所制定的參數計算成本和效益。
3. 各電力公用事業只能擁有50%的儲存容量，但這規定也等同於允許電力公用事業可擁有客戶端的儲存容量。
4. 加州公用事業委員會認為儲能可使太陽能併入電網更為順利，並可減少無太陽光時段燃氣輪機負載遽增的情形，以均衡電力供需，確保電力系統可靠穩定。

# 美國加州案例(七)

- 儲能計畫預計的時程與目標(MW)

| Storage Grid Domain<br>Point of Interconnection | 2014 | 2016 | 2018 | 2020 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| **Southern California Edison** | | | | | |
| Transmission | 50 | 65 | 85 | 110 | 310 |
| Distribution | 30 | 40 | 50 | 65 | 185 |
| Customer | 10 | 15 | 25 | 35 | 85 |
| **Subtotal SCE** | **90** | **120** | **160** | **210** | **580** |
| **Pacific Gas and Electric** | | | | | |
| Transmission | 50 | 65 | 85 | 110 | 310 |
| Distribution | 30 | 40 | 50 | 65 | 185 |
| Customer | 10 | 15 | 25 | 35 | 85 |
| **Subtotal PG&E** | **90** | **120** | **160** | **210** | **580** |
| **San Diego Gas & Electric** | | | | | |
| Transmission | 10 | 15 | 22 | 33 | 80 |
| Distribution | 7 | 10 | 15 | 23 | 55 |
| Customer | 3 | 5 | 8 | 14 | 30 |
| **Subtotal SDG&E** | **20** | **30** | **45** | **70** | **165** |
| **Total - all 3 utilities** | **200** | **270** | **365** | **490** | **1,325** |

# 美國夏威夷州案例

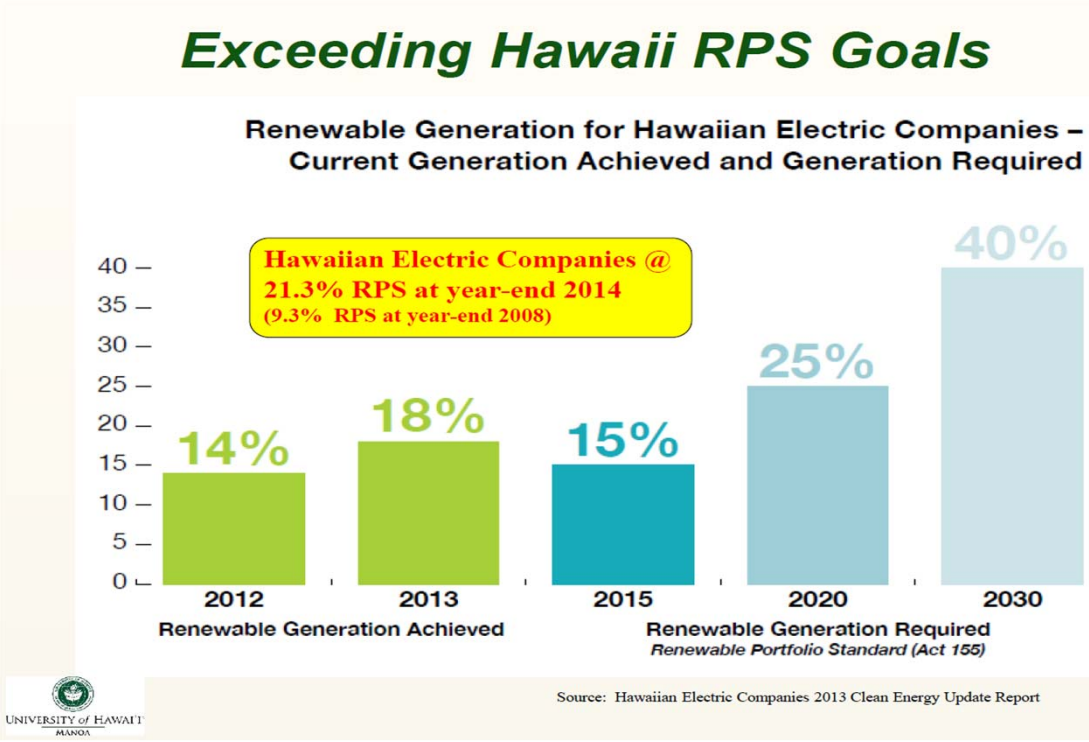
- **(3)美國夏威夷州案例**

➢ 夏威夷州議會於2008年1月通過了夏威夷潔淨能源倡議政策(Hawaii Clean Energy Initiative, HCEI)，目標要在2030年有70%的乾淨能源經濟，目的是:(1)增加夏威夷經濟和能源的安全，(2)展示夏威夷的革新性，(3)開發未來的工作機會，(4)成為美國和全球的清潔能源模範。

➢ 2009 年訂定了美國最高的RPS(Renewable Portfolio Standard)目標，2030年要達到40%(2015年目標15%；2020年目標25%)。具體實施的政策措施包括:稅收激勵措施、淨計量電表（Net Metering）、政府電力收購制度(Feed-in Tariff, FIT)等。

# 美國夏威夷州案例(二)

- 夏威夷再生能源發展已超越目標，2014年底RPS達到21.3%，超越2015年要達到15%的目標



# 美國夏威夷州案例(三)

- **除了RPS超越訂定目標，夏威夷再生能源發展還有以下成果:**

1. 石油進口大幅下降，2013年夏威夷能源公司的石油使用量與2008年相比下降16%。
2. 大規模太陽能發電已有240兆瓦的容量，平均成本15.8 cents/kWh，比石油的能源成本少三分之一。
3. 用戶端的太陽能發電快速成長，至2013年已有301兆瓦的容量，且2014年增加了大約89兆瓦容量，如圖3所示。
4. 成為太陽能發電的領導者， 2013年平均每人擁有的太陽能裝置容量居美國各州最高。
5. 目前為止，在夏威夷的儲能計畫在不同區域可儲存尖峰負載約2.5至4.2%的系統容量。

# 美國夏威夷州案例(四)

- 夏威夷再生能源電網整合研究

➢ (1)Positive Sequence Load Flow：

正序電流（Positive Sequence Load Flow, PSLF）是美國奇異公司(General Electric, GE)的一個電力系統分析模擬套裝軟體， 可以用來計算電力潮流、故障電流與模擬暫態穩定度。

➢ (2)Long-term Dynamic Simulations：

長期動態模擬(Long-term Dynamic Simulations)是在自動發電控制 (Automatic Generation Control, AGC)系統的情境下，用來模擬各種慢速反應控制器和設備變動對電力系統造成的影響，可確保系統整合的穩定度。

➢ (3)Statistical Wind Power Variability Assessments：

風力發電變率評估。

➢ (4)Interhour Renewables Variability Analysis：

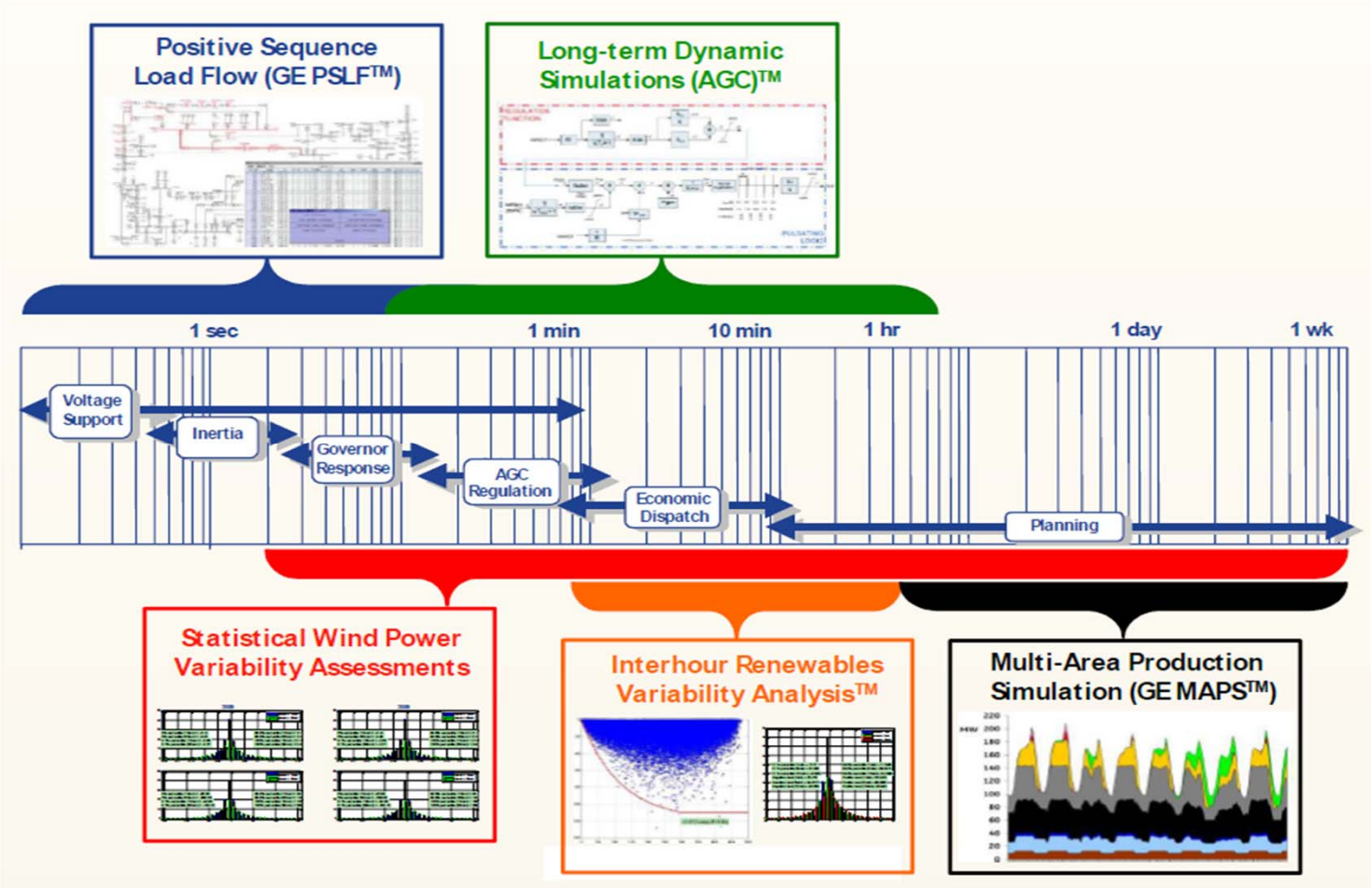
時內再生能源變率分析。

➢ (5)Multi-Area Production Simulation：

多區域發電模擬(Multi-Area Production Simulation, MAPS) 是美國奇異公司(General Electric, GE)的一個模擬套裝軟體，此軟體用來評估在不同風力發電、太陽能發電和負載情境下，三年內各個小時的電網運作情況。

# 美國夏威夷州案例(五)

- 夏威夷再生能源電網整合研究



# 美國夏威夷州案例(六)

- 發展智慧電網換流器(Smart Grid Inverters)，包括1.安裝新的智慧電網換流器；2.利用控制和通訊系統加以連結；3.建構各種演算法之分析模型，並根據電力系統相關資料與參數，調整電網換流器的設定程序。

- 由於美國夏威夷州各島嶼之電力系統與台灣雷同，均屬於孤立系統，其相關政策措施，頗值得台灣借鏡。

# 美國EnerNOC公司案例

- EnerNOC公司是能源智慧軟體(Energy Intelligence Software, EIS)的提供者，幫助其顧客更有效率地

✓ 購買能源

✓ 管理帳單

✓ 最佳化能源消耗

✓ 參與需量反應

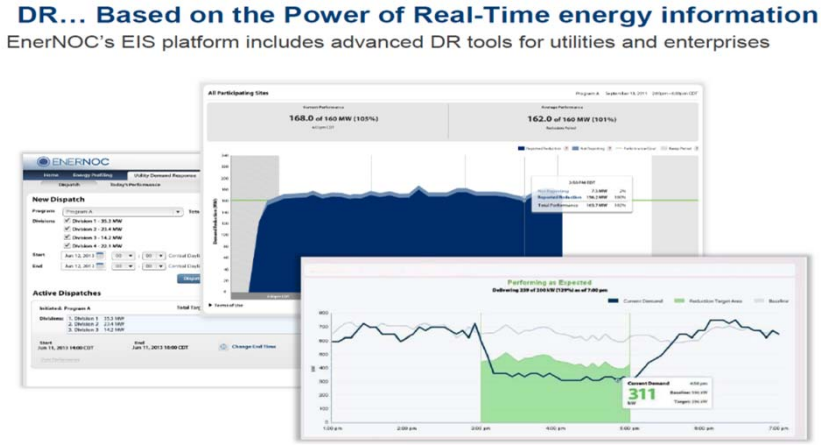
✓ 尖峰負載管理

# 美國EnerNOC公司案例(二)

- EnerNOC公司的EnerNOC Demand Manager™軟體可管理需量反應方案，包含了14,000個顧客端，遍及美國、加拿大、澳洲、紐西蘭、英國，全球化的網絡正構築著全球最大的虛擬電廠。
- 所省下的能源相當於
  - 每年750,000個家庭的使用量
  - 每年8,000個工廠員工的薪水
  - 減少尖峰時段80個電廠的興建

# 美國EnerNOC公司案例(三)

- EnerNOC公司的網路操作中心(Network Operations Center, NOC)每天24小時傳送即時的能源資訊，其需量反應方案約可降低美國2%的尖峰負載



# 丹麥案例

- **(5) 丹麥Edison Project案例**

➢ 丹麥Edison Project從2009年2月到2013年7月，將電動車(Electric Vehicle, EV)整合進高風力發電滲透率的電力系統中，並在Bornholm島實作計畫概念。

➢ 丹麥政府制定積極的發展再生能源政策目標，計畫於2020年丹麥的再生能源裝置容量要占整體電力系統裝置容量的50%。

# 丹麥案例(二)

- 導入波動性大的再生能源至電網，無疑將會影響電網穩定性。為了克服此一挑戰，將電動車作為儲能裝置，支援高再生能源滲透率的電力系統，同時也作為永續環保的交通運輸工具。
- Edison Project 為了建構完善機制規劃電力平衡排程，將試驗研究分為三大模組，分別為：「控制各別分散式電力資源(DER)的模組」、「資料蒐集的模組」、「連結、合作、通訊的模組」。由七個子工作計畫(Work Package, WP)，將三類模組相互連結

# 丹麥案例(三)

七個子工作計畫(Work Package, WP)的工作內容

1. 工作計畫一(WP1)－電動車科技
2. 工作計畫二(WP2)－電動車系統架構設計
3. 工作計畫三(WP3)－分散式整合科技發展
4. 工作計畫四(WP4)－集中快速充電和電池交換站設計評估
5. 工作計畫五(WP5)－電動車電力與資訊介面開發
6. 工作計畫六(WP6)－示範平台
7. 工作計畫七(WP7)－計畫夥伴整合管理

# 丹麥案例(四)

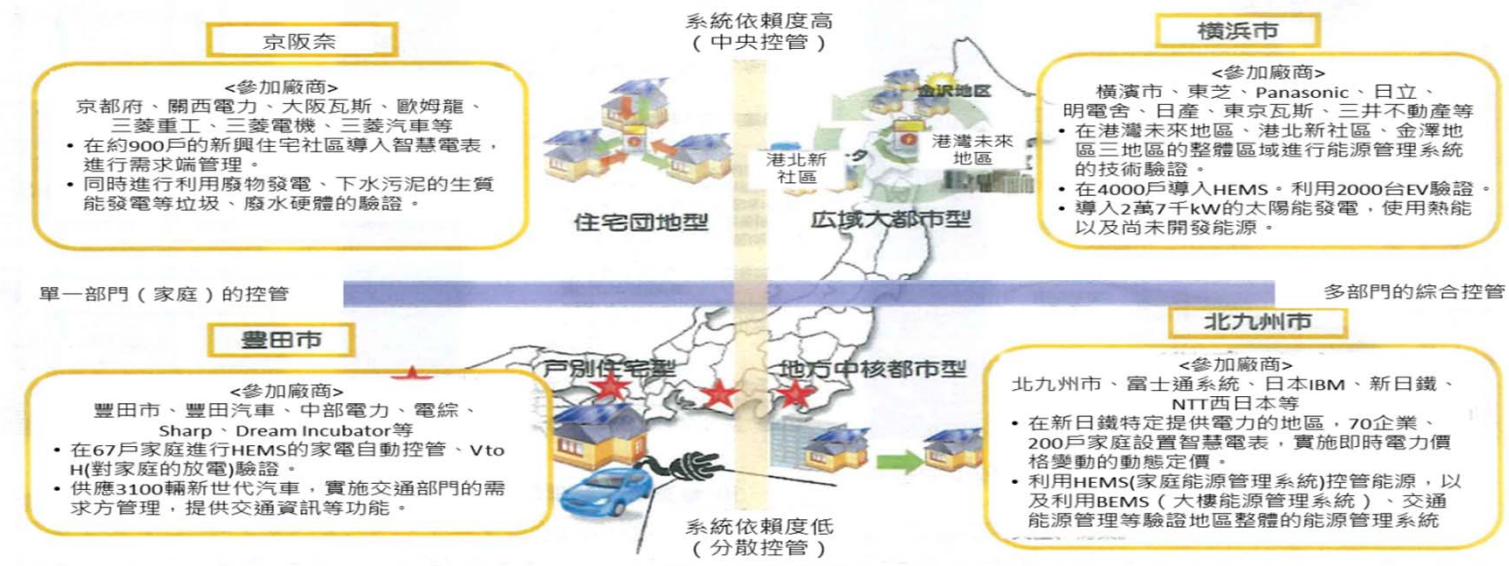
- **Bornholm虛擬電廠概念與架構**
  - 案例中，有個核心角色稱作車隊營運商 (Fleet Operator, FO)，亦稱作Edison 虛擬電廠 (Edison Virtual Power Plant, EVPP)，可由不同商業參與者擔任。車隊營運商可使電動車群主動有效的整合到電力系統中，並和分散在各地的電動車群互動以優化充電計畫。
  - Edison Project在Bornholm島總共使用5台Mitsubishi iMiEV試驗，其電池電力為16 kWh / 58MJ，可行駛100km至160km。

# 日本案例

- (1)日本橫濱智慧城市計畫案例
  - 日本智慧城市計畫實證時間為2010年至2014年五年，具體實證項目包含能源使用可視化，家電、熱水器的控制，電力供應者根據能源需求鼓勵使消費者進行需量反應，電動車與家庭結合之技術(Vehicle-to-Home, V2H)，蓄電系統的優化設計，電動車充電系統以及交通系統等。
  - 藉由區域能源管理系統(Community Energy Management System, CEMS)之建構，實現區域內整體能源優化使用之目標。

# 日本案例(二)

- 於日本經濟產業省公布4個智慧城市實證地區中，橫濱智慧城市計畫(Yokohama Smart City Project, YSCP)屬於對電網系統依賴度高、針對多部門進行綜合性控制。
- 次世代能源社會系統智慧城市實證地區



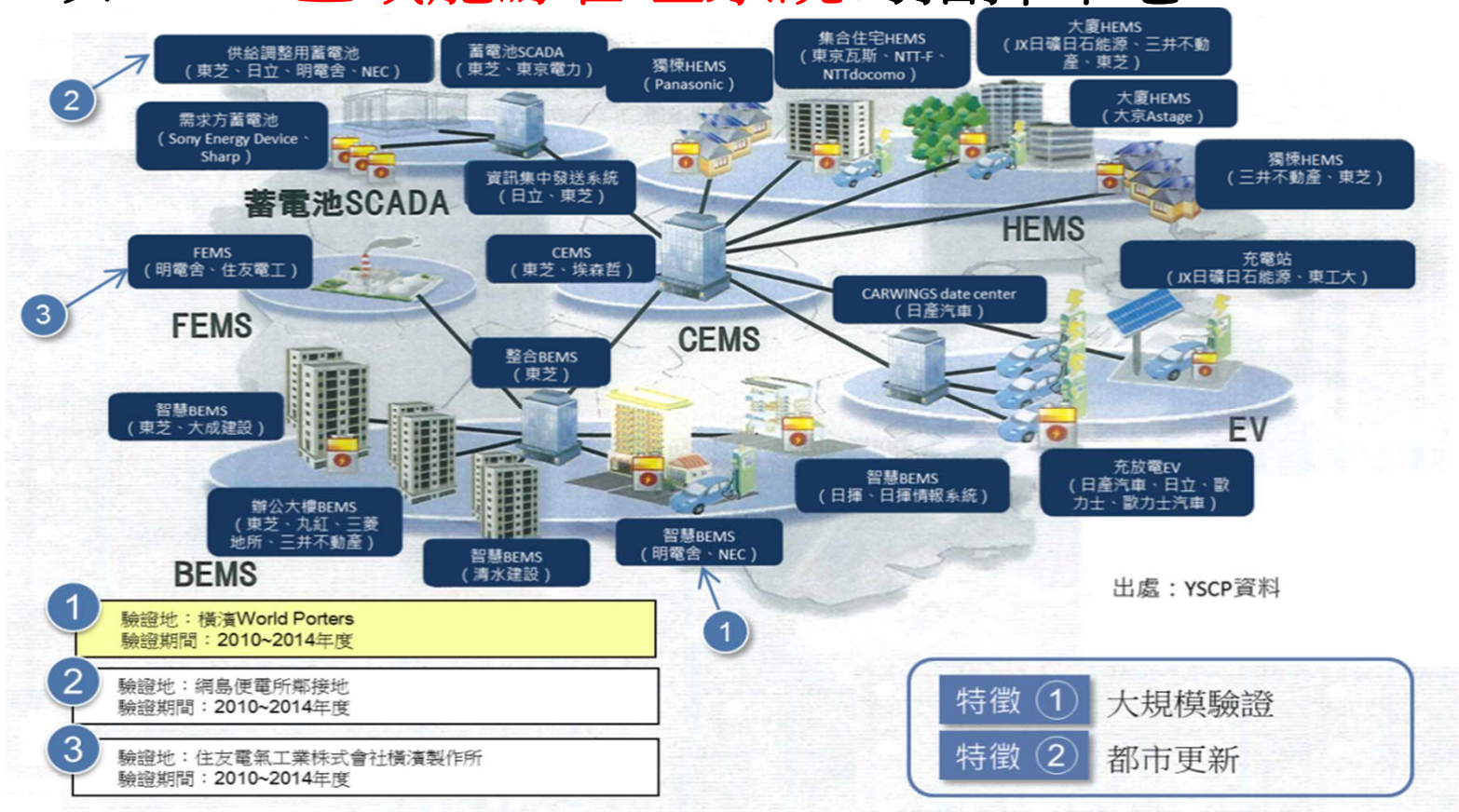
# 日本案例(三)

- 橫濱智慧城市計畫已導入4,000戶家庭、2,000輛電動車以及27,000 kW太陽能發電系統。
- 開發與運用以CEMS為中心的區域能源管理系統，完成整合建築物能源管理系統(Building Energy. Manager System,BEMS)進行驗證各種類型的需量反應、利用BEMS整合大樓群的能源控管、智慧BEMS與智慧工廠能源管理系統(Factory Energy Management Systems, FEMS)透過活化蓄電池等方式進行設施最佳化控管、因應需量反應發展自動化家庭能源管理系統(Home Energy Management System, HEMS)、電動車(Electric vehicle, EV)充放電回供家庭以及開發蓄電池系統等驗證事項。
- 再透過技術普及與活用實現低碳又舒適的智慧城市。

# 日本案例(四)

➢ 橫濱智慧城市計畫整體概念:

以**CEMS區域能源管理系統**為指揮中心



# 政策規劃設計與因應策略

- 先進國家針對再生能源發電不穩定問題的政策規劃與設計，可由下列三個面向予以探討，包括:

1. 政策法規
2. 成本效益分析
3. 組織功能

# 政策規劃與設計

1. 政策法規:

為了降低再生能源供電不穩定之影響，以及供需雙方交易成本，必須要有明確的政策法規規範，作為市場利害關係人的行為指引。

例如:近年美國聯邦能源管制委員會FERC(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)推動需量反應的相關指令與政策意涵如下表:

# 政策規劃與設計(二)

- **FERC近年推動需量反應相關指令與政策意涵**

| 指令 | 時間 | 主旨 | 政策意涵 |
|---|---|---|---|
| 890 | 2007.02 | 修正輸電網路開放接續費率條款（Open Access Transmission Tariff），確保非發電資源（包括需量反應）所提供的輔助服務，如調整備轉容量（regulation）、熱機待轉（spinning reserves）、頻率控制（frequency response）以及替代備轉服務（supplemental reserves）等，均可享公正合理的輸電服務費率。 | 制定費率條款確保輔助服務的提供，可提升電網穩定度，同時降低再生能源（太陽能與風力）供電不穩定之衝擊。 |

# 政策規劃與設計(三)

- **FERC近年推動需量反應相關指令與政策意涵**

| 指令 | 時間 | 主旨 | 政策意涵 |
|---|---|---|---|
| 719 | 2008.10 | 強化需量反應市場競爭性，鼓勵更多樣化的電力資源投入市場。包括允許用戶群代表集結眾多用戶參與需量反應，並可加入市場競標之列。 | 以自由化市場的競爭機制鼓勵資源投入和用戶參與，用戶群代表可集結眾多再生能源分散式發電系統並獲得合理報償。而當再生能源分散式系統可獲得市場合理誘因時，再生能源裝置者也較有資金與能力在市場上購買輔助服務，降低再生能源供電不穩定之影響。 |

# 政策規劃與設計(四)

- **FERC近年推動需量反應相關指令與政策意涵**

| 指令 | 時間 | 主旨 | 政策意涵 |
|---|---|---|---|
| 745 | 2011.03 | 要求區域輸電業者（Regional Transmission Organization, RTO） 與ISO，以區域邊際電價（locational marginal pricing, LMP）補償因實施需量反應而抑低容量與能量的用戶，作為補償。惟此支付須符合兩要件：（1）電業實施需量反應需平衡需求及供給；（2）該項支付金額必須符合電業實施需量反應之成本效益。同時，RTO 及ISO得將該補償金額按比例轉嫁給因實施需量反應而獲益的電力用戶。 | 提供補償金給參與需量反應而抑低容量的用戶，以鼓勵用戶配合需量反應方案。而當市場上有越來越多的需量反應參與市場負載容量交易時，代表【用戶負載能夠同步追隨發電(指再生能源發電上下起伏不穩定)】，因此也降低了再生能源供電不穩定的負面影響。 |

# 政策規劃與設計(五)

- **FERC近年推動需量反應相關指令與政策意涵**

| 指令 | 時間 | 主旨 | 政策意涵 |
|---|---|---|---|
| 755 | 2011.10 | 針對發電業者可供批發電力市場頻率調整的資源，包括儲能系統與需量反應資源，提出兩部制補償（two-part payment）。第一部分是做為頻率調整容量補償（capacity payment）的機會成本，也就是針對因提供頻率調整而無法在批發市場競價的機組容量進行補償。第二部分為頻率調整績效補償（payment for performance），由頻率調整電能數量及其可準確追隨ISO 調度信號的程度而定。 | 補償特定發電業者因配合頻率調整的機會成本，同時依其頻率調整電能數量可否準確追隨ISO調度信號的程度，給予額外的頻率調整績效補償誘因。這些政策法規都是為了確保電網頻率的穩定，容納更多再生能源發電比例日益增加且供電不穩定的現象。 |

# 政策規劃與設計(六)

- **FERC近年推動需量反應相關指令與政策意涵**

| 指令 | 時間 | 主旨 | 政策意涵 |
|---|---|---|---|
| 784 | 2013.07 | 增進輔助服務市場之競爭性與透明性，並大幅增加儲能系統之應用靈活度。取消原本第755 號指令對於儲能市場之僵固價格補償機制，第三方（third party）可以市場價格為基礎（market-based），提供輔助服務予輸電者，有助於用戶端建置儲能系統之DR 應用，並可使輔助服務可更快速、更精確提供電能服務。 | 增進輔助服務市場與儲能市場之競爭性與透明性，使市場更自由化、更有效率。同時這種輔助服務與儲能系統，均對於再生能源供電不穩定之問題，能夠有正面助益。 |

# 政策規劃與設計(七)

2. 成本效益分析:

- 成本效益分析(Benefit-Cost Analysis, BCA)可從用戶、電力公司、社會、其他用戶這四種角度分析其各自的成本與效益。
- 檢定方法有下列五種:

1. 參與者檢定（Participant Test, PCT）
2. 電力用戶影響檢定（Ratepayer Impact Measure Test, RIM）
3. 總資源成本檢定（Total Resource Cost Test, TRC）
4. 公用事業成本檢定（Utility Cost Test, UCT）
5. 一般供需模型

- 而計算方式有下列三種:

1. 淨現值法(Net Present Value, NPV)
2. 內部收益率法(Internal Rate of Return, IRR)
3. 投資回收期法(Payback Period Method)

# 政策規劃與設計(八)

2. 成本效益分析:

如2010年加州議會在通過議會法案2514後，對儲能計畫的目標是“可行並符合成本效益”。加州公用事業委員會(California Public Utilities Commission, CPUC) 為了制定成本效益的計算框架，尋求電力科學研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)協助評估許多由CPUC提供的假設情景，由EPRI所制定的參數計算成本和效益，以確保選擇降低再生能源供電不穩定的各項替代方案都符合成本效益。

# 政策規劃與設計(九)

## 3. 組織功能:

為了降低再生能源供電不穩定，必須藉由市場行為主體，亦即發揮組織功能，方能在既有的政策法規架構下，達成符合成本效益分析的目標與結果。其中關鍵的第三方(third party)組織功能，極為關鍵。其中包括:

- ✓ 用戶群代表(agreegator)、
- ✓ 商業型虛擬電廠(Commercial VPP,CVPP)、
- ✓ 技術型虛擬電廠(Technical VPP, TVPP)

等組織，都可提供不同的功能協助穩定電網

# 實際執行之因應策略

- 本研究提及上述先進國家個案中，為了降低再生能源供電不穩定的影響，實際執行主要有以下四大策略:

1. 供給面彈性
2. 提升預測準確度
3. 需求負載彈性(需量反應)
4. 儲能系統

# 實際執行之因應策略(二)

1. 供給面彈性:

- 凡是能透過迅速升載或降載之發電機組，都能增加電力系統供給面的運作彈性，配合再生能源供電不穩定之起伏變化。例如:利用自動控制系統，以燃氣或柴油發電、水力發電等可快速反應的機組，藉由供給面彈性的發電負載升降能供，來彌補因再生能源發電的不穩定，這是供給面的做法。

2. 提升預測準確度:

- 利用歷史資料、改進預測模型，提升不同時段的電力需求與再生能源發電量的預測準確度，避免電力供給與需求實際運作時落差太大，也可藉由模擬情境評估電網的風險。例如本計畫夏威夷州案例中，正序電流、長期動態模擬、風力發電變率評估、時內再生能源變率分析、多區域發電模擬這五項模擬與分析方法，就是為了提升預測準確度。

# 實際執行之因應策略(三)

3. **需求負載彈性(需量反應):**

各種需量反應方案，其中虛擬電廠是國際間發展的主要方向，可幫助電力需求追隨負載，有效降低電力供需的落差。

- **DR 2.0的市場機制**

DR 2.0 之特點，在於其即時反應瞬間係以「秒」或「毫秒（millisecond）」為單位，以數位訊號（digital signal） 取代類比基礎系統（analog based system），更快速地平衡電能供需。

- ✓ 即時
- ✓ 雙向
- ✓ 同步

4. **儲能系統:**

風力發電與太陽能機組皆可搭配安裝儲能設備，當發電過剩時，可將電力暫時儲存於儲能系統中，爾後有電力需求時，再由儲能系統供給電力，並可利用電動車作為彈性(指正向或負向輸出電力)耗能設備。

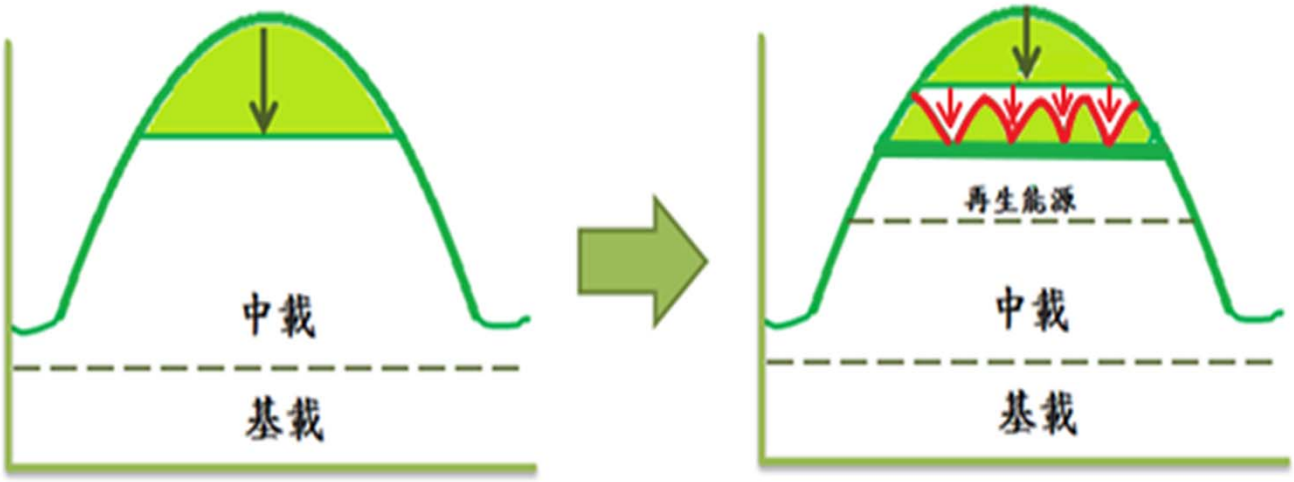
例如:本研究計畫夏威夷州的案例中，夏威夷島內的儲能計畫在不同區域已可儲存尖峰負載約2.5至4.2%的系統容量；加州案例中亦提到，加州是第一個要求電力系統達到特定儲能容量的州，並積極發展Tesla公司的儲能電池等先進儲能設備。

# 案例統整小結

- 目前世界各國的因應對策，大至不脫離上列五大策略，即由(1)供給面彈性使電力供給接近需求、由(2)提升預測準確度減少電力供需可能的落差、由(3)需求負載彈性(需量反應)使電力需求接近供給。其中(4)儲能系統可於再生能源發電過剩時將電力暫時儲存降低供給，有電力需求時再提高供給消耗儲能，能有效避開再生能源的不確定性。
- 電力的供給和需求，傳統上都是前者追隨後者，亦即「發電追隨負載」。現在有智慧電表先進基礎設施後，已可反過來，藉由各種需量反應方案，促使「負載追隨發電」(亦即需求端之負載追隨再生能源發電端之起伏高低)，達成供電穩定之目的。當今需求面管理之重心也由傳統的抑低尖峰轉變為配合再生能源之間歇性，實施DR方案，如下圖所示。

# 案例統整小結(二)

- 傳統需求面管理與當今需求面管理之比較




註：傳統DSM之重心在抑低尖峰

註：現今DSM之重心在配合再生能源之間歇性，實施DR。
紅色箭頭為抑低負載，以吻合再生能源之發電起伏變化。

# 案例統整小結(三)

- 綜合上述四種策略與說明，可知降低再生能源供電不穩定的關鍵就在於「彈性」，不論供給面或需求面，皆需要彈性系統「即時」「雙向」「同步」反應，避免供需失衡，此即降低再生能源供電不穩定之成功關鍵要素(Key Successful Factor)。

# 供電穩定度之評估方法

- 先進國家為了因應再生能源供電不穩定之問題，必須以各種研究分析方法科學化評估與計算電網穩定程度，目前常用的研究分析方法包含下列五項:

1. 電力潮流(load flow)分析
2. 暫態穩定度(transient stability)分析
3. 短路（Short circuit）分析
4. 失載機率(Loss of Load Probability, LOLP)分析
5. 電能不足機率(Loss of Energy Probability, LOEP)分析

➢ 當再生能源供電不穩定時，會影響電壓或頻率，造成供電品質不佳，甚至有造成電路損壞、癱瘓電網、引起火災等意外的可能性，因此審慎的評估有其必要。

# 技術面提升電力穩定度方式

- 穩定(全國性)電力頻率與(區域性)電壓

➢ 雙饋式感應發電機(Doubly-Fed Induction Generator, DFIG)

使用繞線式轉子，饋入電力系統的界面同時包括定子側（Line side）及轉子側（Rotor side），其電力轉換器功率僅為發電機額定功率之20~30%，故成本較低，且發電機可變速範圍可達同步轉速之±30%，因此性能/價格比值最高，為目前大型風力發電機中最普遍採用之組態。

可調節勵磁電流(或電壓)的幅值、頻率、相位，來實現定子恒頻恒壓輸出。

- 風力發電機組的技術提升，使風能容量因數(Capacity Factor)和可用風場面積快速增加。

# 期末報告結論與建議

1. 電力來源應避免過度依賴單一不穩定的發電種類，否則可能造成短路、供電品質(電壓或頻率)不穩定等影響。
2. 再生能源的發電裝置佈建不宜太集中在某一個地區，風力並非在每個點都是一樣強的，而每個地區的陽光強度也不同，輸電網路的配置可以平均分攤發電量的波動，以分散供電來源、降低發電不穩定之風險。
3. 由於再生能源風力發電機組本身均已建置數百個甚至數千個感應器，當前先進國家之發展趨勢即建構以物聯網為基礎的分散式發電整合運作，例如藉由虛擬尖峰容量(Virtual peaking capacity)或虛擬電廠(Virtual power plant)之商業模式，此方面值得參考先進國家各種不同的案例與經驗，在適當時機加以引進。
4. 電力供需雙方相互協調與配合之「彈性」機制，例如自動需量反應(ADR)、抽蓄水力發電、電動車儲能系統等，均是降低再生能源供電不穩定影響之重要策略。
5. 政府與相關業者應注意相關技術發展，即時調整策略，依法於每兩年審核訂定一次新的再生能源配比標準時，參考先進國家發展經驗，制定合理的配比標準。

# 期末報告結論與建議(續)

6. 提升再生能源發電佔比已是世界趨勢，2014年美國新增再生能源發電容量已超越傳統核能與火力之新增發電容量。

   但配比標準高低與各國電網系統的電力供需情形和穩定度(如失載率、備載容量率、電網連結方式)或氣候環境因素(如日照量、風力大小)息息相關，必須考量各國獨特的優勢與劣勢，沒有放諸四海皆準的發展方式。

7. 全世界十大風場有兩個在台灣海域，是全世界最佳的風力發電地區之一，且日照充足，深具發展再生能源之潛力。

8. 先進國家發展再生能源，其政策規劃設計和實際執行之因應策略，本研究計畫歸納出以下幾個面向。政策規劃設計必須考慮到1.政策法規；2.成本效益分析；3.組織功能這三個面向；而實際執行之因應策略則是有1.供給面彈性2.提升預測準確度3.需求負載彈性(需量反應)4.儲能系統這四個面向的做法。

# 期末報告結論與建議(續)

9. 先進國家為因應再生能源供電不穩定之問題，透過嚴謹的研究方法，加以評估與計算電網之穩定程度，並進行各種必要的配套措施。本計畫整理目前常用的研究分析方法包含下列五項:1.電力潮流分析；2.暫態穩定度分析;3.短路分析;4.失載機率分析;5.電能不足機率分析。
透過這些研究方法進行模擬與評估後，能夠在維持電網穩定度要求下，有效提升再生能源發電比例，該比例也就是所謂合理的再生能源佔比範圍。

10. 完善且明確的政策法規是推動再生能源發展的重要因素，如本計畫所述美國聯邦能源管制委員會為了協助再生能源發展、推動需量反應，頒布至少五項相關的指令與法規，包括FERC一系列行政命令( 890指令、719指令、745指令、755指令、784指令)都是政策面重要的里程碑。這也符合制度經濟學派的理論，可藉由政策法規降低市場交易成本。

# 期末報告結論與建議(續)

11. 先進國家除了發展既有的再生能源發電技術外，儲能設備系統的投資也是重要發展策略之一。如加州Pacific Gas and Electric (PG&E)電力公司擬投資653.8百萬美元部署25,000個二級充電站和100個直流電快速充電站。
12. 在本計畫的先進國家發展再生能源案例中，德國有良好的虛擬電廠商業模式和配套措施；加州有自營發電獎勵計畫等政策法規鼓勵投資分散式發電設備；美國夏威夷州則有很高的再生能源配比標準且再生能源電網整合發展有系統地予以優化(包括正序電流、長期動態模擬、風力發電變率評估、時內再生能源變率分析、多區域發電模擬等研究方法)，這些成功經驗都值得台灣學習，並在適當時機加以引進。

# 期末報告結論與建議(續)

13. 目前國內法規、基礎設施、電力市場機制都有尚未到位之處，如電業法尚未修正，電力市場尚未電力自由化，同時未明確定義用戶群代表於電業市場中的角色，缺乏活潑多元且互補之完整商業機制，而且智慧電表等基礎設施佈建仍然不足等問題，這些方面都必須加強配合。隨著上述這些條件與配套措施逐漸成熟的過程中，再生能源發電佔比逐漸提高的適當時機，自然會水到渠成，隨之浮現。重要的是，人為努力的軟實力仍然扮演關鍵成功因素。
14. 針對我國應如何計算與規劃最合適的再生能源配比標準，以及需求面管理相關基礎設施(例如:智慧電表)佈建的需求量門檻等，都值得作為後續研究探討之議題。

報告完畢，敬請指教