

出國報告（出國類別：實習）

參加美國奇異公司電力系統研習班

服務機關：台灣電力股份有限公司電力調度處

姓名職稱：葉宏志 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：100年10月8日至100年12月12日

報告日期：101年1月12日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國奇異公司電力系統研習班

頁數 30 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

葉宏志/台灣電力公司/電力調度處/6等電機工程師/23666614

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100年10月8日至100年12月12日 出國地區：美國

報告日期：101年1月12日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)、飛輪、再生能源

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司(General Electric Company, 簡稱GE)於1949年起舉辦電力系統工程班(Power System Engineering Course, 簡稱PSEC), 至今已有62年歷史, 本期為第63期訓練班, 本項訓練課程包含全球電力市場、電力市場自由化下之發電及輸電策略、智慧型電網、再生能源及新能源科技等相關課程, 於課堂中以電力系統各項模擬軟體作為輔助教學, 並實地參觀獨立調度中心、奇異公司研發中心及奇異公司工廠等地, 使學員理論與實務相結合。訓練期間亦可與國外各知名電力公司派訓人員交流各項規劃及運轉理念。

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

目錄

圖目錄.....	II
誌謝.....	III
第一章 緒論.....	01
1-1 緣由及目的.....	01
1-2 出返國行程.....	02
1-3 課程內容介紹.....	03
1-4 報告內容介紹.....	04
第二章 飛輪科技.....	05
2-1 Beacon Power公司介紹.....	05
2-2 飛輪之頻率控制.....	05
2-3 再生能源對頻率控制之需求.....	08
2-4 飛輪技術原理.....	10
2-5 20MW飛輪儲能廠.....	12
2-6 頻率控制效能.....	13
2-7 未來應用.....	14
第三章 大規模再生能源系統整合.....	15
3-1 再生能源之變動性與不確定性.....	15
3-2 再生能源變動性分析.....	16
3-3 再生能源及負載預測誤差.....	18
3-4 風力發電預測.....	19
3-5 夏威夷歐胡島偶發事故及運轉容量規劃.....	21
3-6 系統運轉對於大規模再生能源變動性與不確定之因應.....	25
第四章 心得及建議.....	27
參考文獻.....	29

圖目錄

圖 2-1 負載與發電關係對頻率之影響.....	06
圖 2-2 機組與飛輪頻率控制方式比較.....	06
圖 2-3 頻率調整控制燃煤機組發電輸出與 AGC 信號差異.....	07
圖 2-4 頻率調整控制飛輪發電輸出與 AGC 信號差異.....	07
圖 2-5 各機組頻率調整控制效能比較.....	08
圖 2-6 風場建置與備轉容量之關聯.....	09
圖 2-7 風場建置與頻率調整容量之高、低限.....	09
圖 2-8 飛輪系統內部構造.....	10
圖 2-9 飛輪系統技術演進.....	11
圖 2-10 飛輪之充放電情形.....	11
圖 2-11 1MW 飛輪系統.....	12
圖 2-12 20MW 飛輪廠鳥瞰圖.....	12
圖 2-13 20MW 飛輪廠監控畫面.....	13
圖 2-14 飛輪及發電機對 1MW 頻率調整能力比較.....	13
圖 2-15 20MW 飛輪廠及 20MW 發電機對頻率調整能力比較.....	14
圖 3-1 春季負載與 30%風力發電、太陽能發電關係圖.....	15
圖 3-2 夏季負載與 30%風力發電、太陽能發電關係圖.....	16
圖 3-3 2006 年夏季負載及風力發電變化量關係圖.....	16
圖 3-4 2006 年夏季負載及增加 30%風力發電其變化量關係圖.....	17
圖 3-5 2006 年春季負載及風力發電變化量關係圖.....	18
圖 3-6 2006 年春季負載及增加 30%風力發電其變化量關係圖.....	18
圖 3-7 負載預測及風力發電預測誤差.....	19
圖 3-8 負載預測及風力發電預測總誤差.....	19
圖 3-9 WindLogics 風力發電預測介面.....	20
圖 3-10 WindLogics 風力發電預測結果與信心指數.....	20
圖 3-11 美國夏威夷歐胡島.....	21
圖 3-12 歐胡島快速啓動機組與併聯時序圖.....	22
圖 3-13 量化 10 分鐘內風力與太陽能發電變動性.....	22
圖 3-14 量化 10、20 和 60 分鐘內風力與太陽能發電變動性.....	24
圖 3-15 風力與太陽能發電變動性與運轉容量準備.....	24
圖 3-16 風力與太陽能安裝量與線上機組備轉容量關係圖.....	24

誌謝

感謝籃處長宏偉、吳副處長士襄、張副處長木軍、劉調度監坤城、曾副調度監重富、鄭組長壽福、呂組長清淵、鄭經理有財等，有各位長官的支持與勉勵，本人才有機會在國外磨練，增廣見聞。

也感謝曾課長健雄、孫工程師萬景、嚴工程師茂仁等同仁於出國期間的大力協助，使本課業務得以繼續推動。

最後由衷感謝陳醫師英仁夫婦、祁課長培倫夫婦、系規處吳工程師滄堯夫婦、蔡課長培德、許課長明賢、徐工程師國彰、李工程師公明、杜工程師裕升、周工程師先倫、成工程師易達、姚小姐彤娟等人，及我親愛的家人及女友，謝謝大家，本人的美國生活初體驗才可順利平安。

第一章 緒論

1-1 緣由及目的

確保臺灣電力系統穩定供電為本公司職責所在，近年來負載用電持續成長，然發、輸、配電之電源及電網建設已無法跟上負載成長的腳步，故要在線上安全運轉與離線維護上取得平衡點，需有更加周延之分析。

電力市場之自由化是目前全球化的趨勢，我國政府則積極鼓勵獨立發電業(IPP)及風力、太陽能等再生能源科技之設立，在未來提供充分之低碳電力供應，智慧型電網(Smart grid)的運用亦被廣泛討論，未來本公司在輸電網路之規劃上及系統運轉上均有機會將上述技術納入評估應用。另電力事業民營化一直是政府努力的方向，惟在各方面之配套措施均需詳加規劃，才能在電力市場與經濟能源成本達到雙贏的局面。

本項訓練課程包含全球電力市場、經濟調度、發電及輸電策略、智慧型電網、自由化議題及新能源科技等相關課程，內容豐富除可提供本公司派訓人員將電力系統理論與調度實務相結合外，並提升目前本公司人員較缺乏之電力自由化及新能源技術等專業知識，訓練期間亦可與國外各知名電力公司派訓人員交流各項規劃及運轉理念，俾利強化既有電力系統專業能力，吸取國外之經驗及技術。

1-2 出返國行程

此出國計畫編號為「100年度出國計畫第22號」，前往紐約州斯堪那特提城市（Schenectady）參加美國奇異公司電力系統研習班，出國天數共計66天（100年10月8日至100年12月12日），上課時間為美國時間100年10月10日至100年12月9日，課程名稱簡寫為PSEC（Power System Engineering Courses）。

出國行程			
行程日期	行程時間	地點	交通工具
100年10月8日	18：50	桃園國際機場	飛機
100年10月8日	21：35	紐約紐華克機場 (Newark Liberty Airport)	
100年10月9日	11：41	紐約紐華克機場 (Newark Liberty Airport)	飛機
100年10月9日	12：41	阿爾巴尼機場 (Albany Airport)	
100年10月9日	12：50	阿爾巴尼機場 (Albany Airport)	汽車
100年10月9日	13：30	斯堪那特提 (Schenectady)	

返國行程			
行程日期	行程時間	地點	交通工具
100年12月10日	9：30	斯堪那特提 (Schenectady)	汽車
100年12月10日	10：00	阿爾巴尼機場 (Albany Airport)	
100年12月10日	14：10	阿爾巴尼機場 (Albany Airport)	飛機
100年12月10日	15：35	紐約甘乃迪機場 (John F. Kennedy International Airport)	
100年12月10日	22：50	紐約甘乃迪機場 (John F. Kennedy International Airport)	飛機
100年12月12日	07：30	桃園國際機場	

1-3 課程內容介紹

此次PSEC課程共分為四個學期，本人則參加第三和第四學期，上課內容如下：

1. 第三學期：能源經濟、電力市場及策略規劃 (Power Markets, Energy Economics and Strategic Planning) :
 - (1) 全球電力市場(Global Power Markets)
 - (2) 美國電力工業(U.S. Electric Power Industry)
 - (3) 電力經濟與電力系統運轉(Utility Economics and Power Systems Operation)
 - (4) 智慧型電網：需量反應與動態價格(Smart Grid: Demand Response and Dynamic Pricing)
 - (5) 電廠財務模型與估算(Power Plant Financial Modeling and Evaluation)
2. 第四學期：新興發電技術(Emerging Generation Technologies) :
 - (1) 發電機組之競爭性(Competitive Power Generation)
 - (2) 工業用戶(Industrial Energy Users)
 - (3) 汽化發電原理(Integrated Gasification Power Fundamentals)
 - (4) 燃料彈性與替代能源應用(Fuel Flexibility and Alternative Energy Applications)
 - (5) 儲能裝置基本原理(Energy Storage Fundamentals)
 - (6) 再生能源系統基本原理(Fundamentals of Renewable Energy Systems)

1-4 報告內容介紹

本報告共分四章，第一章敘述出國緣由及目的，介紹本人之出、返國行程及受訓上課內容，供讀者參考。

第二章介紹飛輪 (Flywheel) 科技，在受訓期間，奇異公司安排前往紐約州 Beacon Flywheel Plant 參觀，此飛輪廠為儲能系統應用，該儲能系統商轉於2011年4月，參與電力系統頻率調整服務，此科技仍相當新穎，其技術除可運用於頻率控制外，亦可做為與大規模再生能源整合應用，章節內容包括：飛輪頻率控制效能、再生能源整合對頻率控制需求、飛輪技術、20MW飛輪廠及飛輪未來發展與應用。

第三章以再生能源介紹為主，風力與太陽能發電缺點為不確定性高，無法持續穩定供應電力，故大規模之再生能源併入電力系統，可能影響供電系統安全及穩定，本章節介紹奇異公司如何評估再生能源不確定性對系統之衝擊，並量化再生能源易變性。另外，美國夏威夷歐胡島計畫建置大量再生能源發電，奇異公司亦針對此孤立電力系統評估合理備轉容量，最後提出降低再生能源衝擊因應之建議，希望能做為公司發展再生能源之參考。

最後於第四章將這66天訓練期間所見所學、各國學員間互動和生活情形，以心得及建議方式呈現。

第二章 飛輪科技

2-1 Beacon Power公司介紹

Beacon Power公司致力於飛輪 (Flywheel) 科技發展及製造，其技術在全球擁有領先地位。該公司於西元1997年成立，並著重於飛輪 (Flywheel) 科技儲能系統之開發設計，公司於2000年在美國那斯達克股票上市。2008年11月，該公司於新英格蘭ISO (NE-ISO) 電網下建立第一座商業化之3MW飛輪廠，該廠投入頻率調整服務市場；在2011年4月，Beacon Power公司再度發展了第二座商業化飛輪廠，整廠裝置容量為20MW，發電調整量為 ± 20 MW，此座飛輪廠則與紐約ISO (NY-ISO) 電網連接，並投入紐約ISO電網頻率調整輔助服務市場；Beacon Power公司即將於賓州 (Pennsylvania state) 建立第三座商業化飛輪廠，其容量為20MW。

2-2 飛輪之頻率控制

如圖2-1為每日負載曲線，若將負載曲線放大來看，則可發現結果並不是平順的曲線，而是依用戶用電變化，呈現上、下不規則變動之曲線，因此發電機發電量須時時刻刻要能夠符合負載變動，當發電量等於負載，則頻率等於60Hz；發電量大於負載，則頻率大於60Hz；發電量小於負載，則頻率小於60Hz，為維持供系統供電穩定安全，故調度中心在做機組調度需盡可能維持系統頻率為60Hz，且發電機組必須有能力來改變發電量，調整系統頻率，最常見為AGC頻率控制。

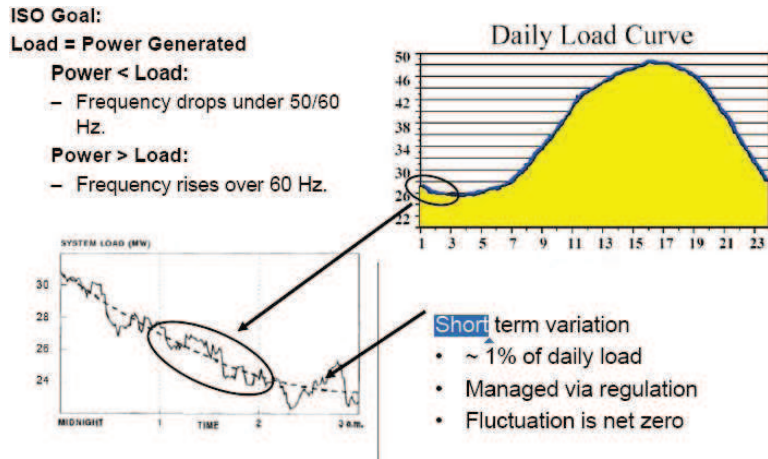


圖2-1 負載與發電關係對頻率之影響

如圖2-2為一般發電機與飛輪做為頻率調整之比較，發電機須發電於90MW來做±5MW之頻率調整，而飛輪則為儲能裝置，將系統多餘電力（系統頻率>60Hz）儲存至飛輪內，待系統缺乏電力（頻率<60Hz）時，將剛剛飛輪上之儲能輸出至系統內，依此原理來做頻率控制，其優點可增進電網之效率、無二氧化碳等有害氣體之排放及低維護成本等。

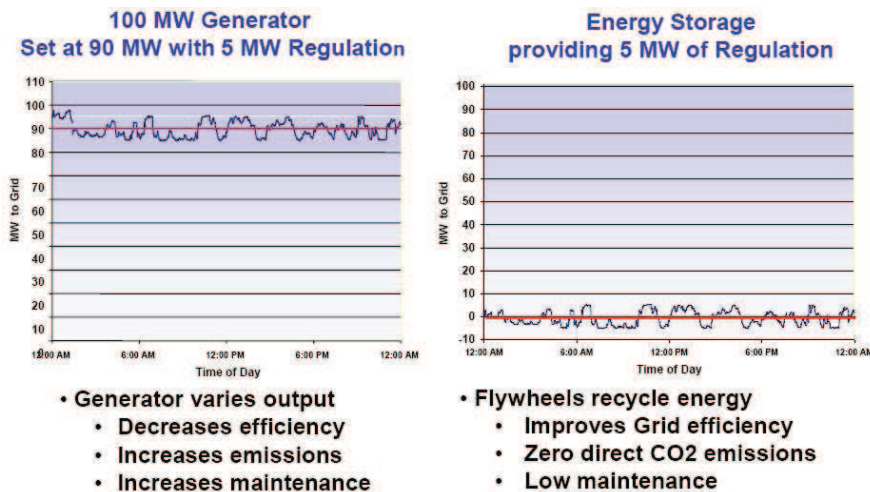


圖 2-2 機組與飛輪頻率控制方式比較

如圖 2-3 綠色虛線為頻率控制 AGC 之命令信號，但燃煤機組在做 AGC 控制時，發

電反應無法立即跟隨 AGC 訊號，因此造成頻率控制效能降低，無法有效調整頻率。飛輪設備的特色則是反應速度快，以充放電的形式輸出、入電能，迅速調整系統頻率，由圖 2-4 中可發現其反應速度幾乎與 AGC 信號是同步的。

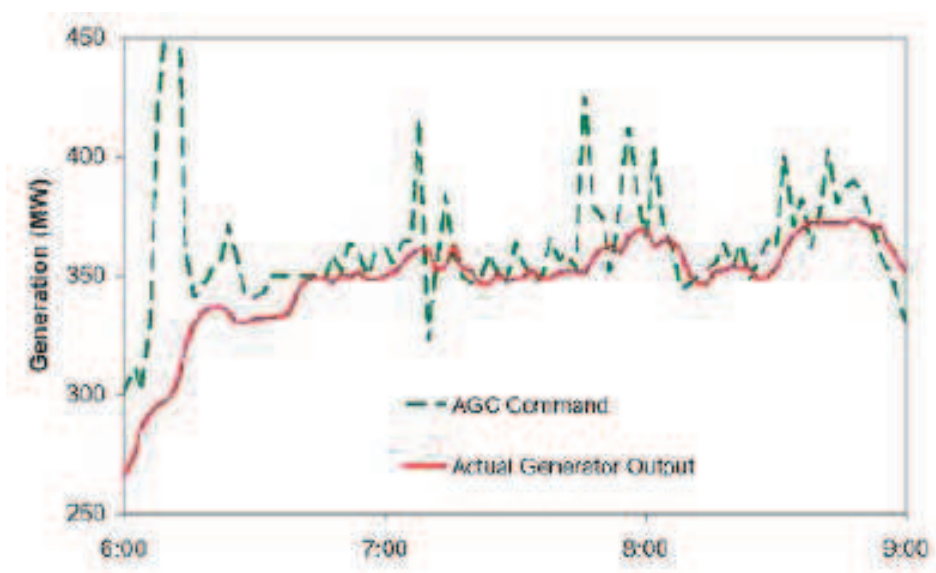


圖 2-3 頻率調整控制燃煤機組發電輸出與 AGC 信號差異

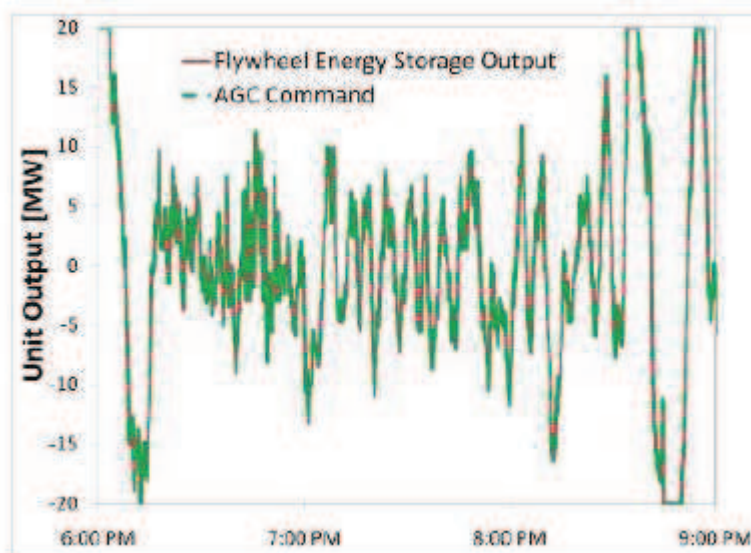


圖 2-4 頻率調整控制飛輪發電輸出與 AGC 信號差異

從另一觀點來看，我們可以比較各種類機組做 AGC 控制，修正 ACE (Area Control Error) 能力。一個理想的調頻來源可被定義成：提供快速、準確和維持無限大

能量來修正 ACE。若理想來源可提供 100% 的 ACE 修正，則相對其它種類機組來看，飛輪可提供約 80% 之修正能力，水力機組約 60%，氣渦輪機組則為約 40%、複循環機組則不到 20%。機組快速反應之能力可減少頻率控制相對所需要的修正量，在美國電力相關研究報顯示，1MW 的飛輪 ACE 修正能力約等同 2~24MW 傳統機組修正能力；而飛輪系統 30~50MW 之頻率控制儲能容量相當於使用等同於 100MW 之氣渦輪機組來做頻率控制。

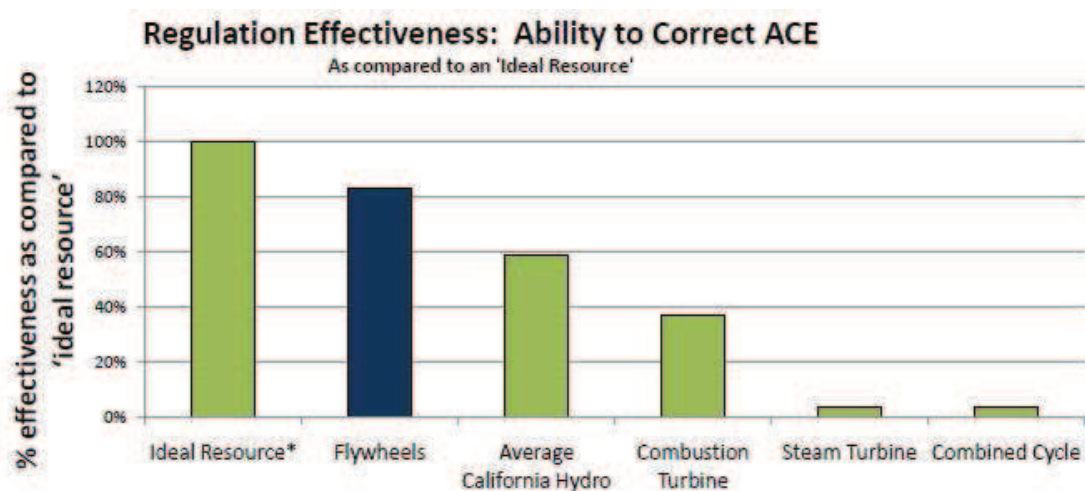


圖 2-5 各機組頻率調整控制效能比較

2-3 再生能源對頻率控制之需求

由於再生能源發電（風力、太陽能發電等）發電輸出並不穩定，因此具有發電不確定性之特點，大規模再生能源併聯至系統中，將對供電品質造成重大衝擊，因此將需要更多之頻率控制容量，擴大調頻輔助市場。

圖 2-6 說明在美國各區建置 20% 及 30% 之風場，對系統快速備轉容量所產生之影響，圖中橘色曲線為原系統之快速備轉容量，當系統分別擴增建置 20% 及 30% 之風力發電，並隨該區域系統建置岸上及離岸風機，則系統之快速備轉容量需求量大為增加，如圖中其它顏色所示。圖 2-7 為加州 ISO 評估當再生能源增加，系

統頻率調整容量範圍之上、下限將會隨之增加，圖中所示為再生能源增加 20%及 33%所需之頻率調整容量。飛輪則可與再生能源整合，降低再生能源不確定性對系統之影響。

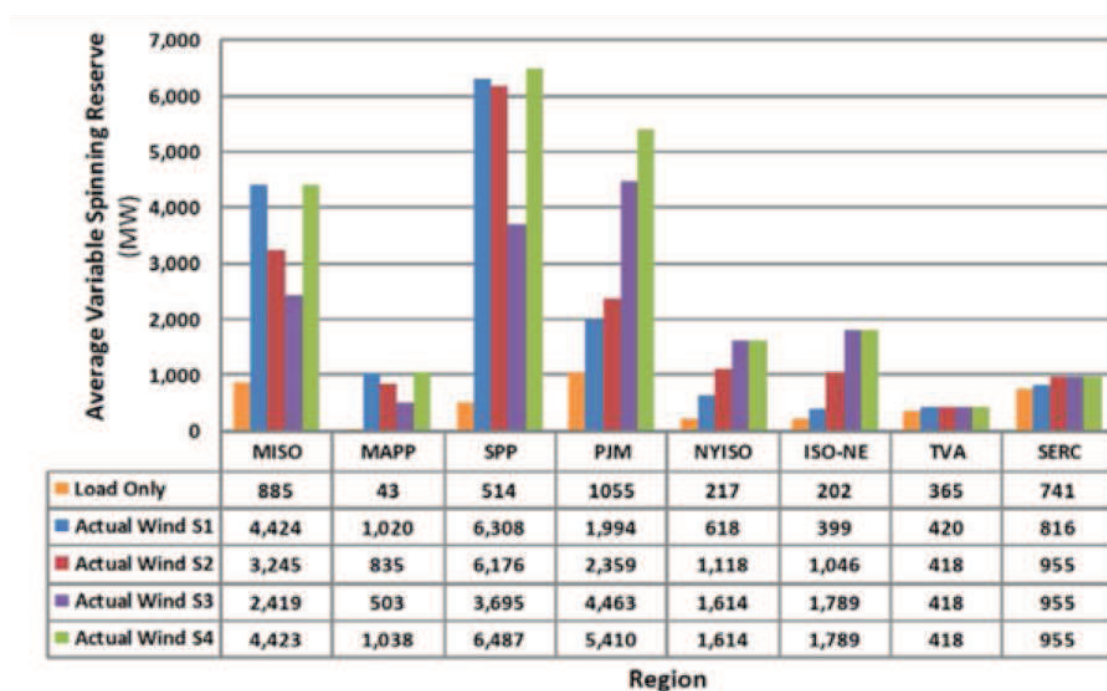


圖 2-6 風場建置與備轉容量之關聯

	2006	2012	2020
Maximum Regulation Up Requirement (MW)	277	502	1,135
Maximum Regulation Down Requirement (MW)	-382	-569	-1,097

California ISO
Your Link to Power

圖 2-7 風場建置與頻率調整容量之高、低限

2-4 飛輪技術原理

Beacon 電力公司所設計之飛輪可想像為機械電池，以機械旋轉原理方式來儲存動能，設計使用年限為 20 年，在其使用年限內並不需要任何維護成本。飛輪儲能裝置利用內部機械高速轉動原理來做頻率控制。以飛輪系統於新英格蘭 ISO 系統頻率調整運轉經驗來看，飛輪系統每年約可完全充、放電約 6,000 次週期，而飛輪系統被設計成可處理超過總量約 150,000 次充、放電週期，系統之機械效率超過 97%，全系統充、放電效率則為 85%。

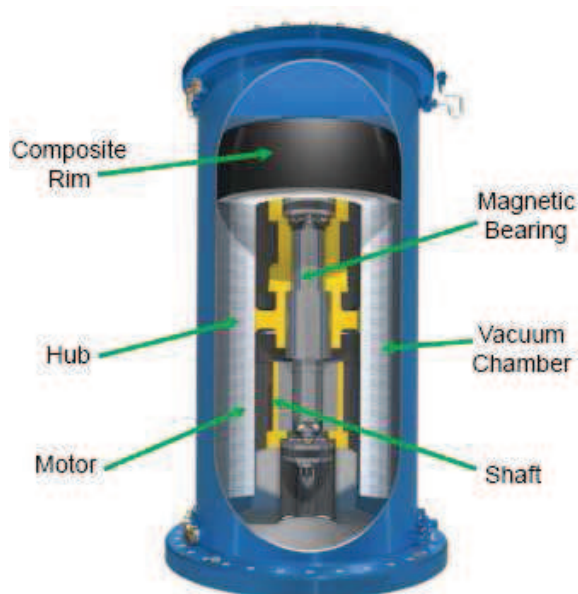


圖 2-8 飛輪系統內部構造

Beacon 飛輪型號為 Smart Energy 25 Flywheel，其核心是一個高強度碳纖維合成旋轉柱體，圓柱體內部由金屬框架支撐，其中心有一機械軸心，該軸一側連接至馬達（發電機），而上述元件共同組成轉子，為減少摩擦力及提升效率，飛輪內部則被設計成高度真空狀態。

飛輪之轉子以 8,000rpm~16,000rpm 速度運轉，當飛輪吸收電力時，飛輪以馬達狀態運轉，至電網中吸收多餘電力調整降低系統頻率，飛輪轉子會加快轉度；當電網系統需要電力時，飛輪轉換成發電機狀態，將轉動慣量轉換成電力，

注入電網系統，調整偏低頻率，在此同時，轉子轉速將會變慢。

一個飛輪在轉速達到 16,000rpm 時，可以輸出額定 25kWh 之電力，即在 15 分鐘內可持續輸出 100kW 之電力至電網內。將許多的飛輪以併聯方式安裝，可增加其總輸出電力，成爲 MW 等級裝置容量之飛輪廠。而一個 20MW 之儲能飛輪廠則由 200 個此類型之飛輪所組合而成。

由圖 2-9 可看到飛輪科技之演進，隨著技術不斷提升，已由 2000 年時的 2kWh/1kW 之飛輪，提升至 2007 年之 25kWh/100kW，並於 2008 年發展成 1MW 單元之系統，2010 年開始於紐約州 Stephentown 建造 20MW 飛輪儲能廠，2011 年 4 月份正式商轉，投入 NY-ISO 頻率調整服務輔助市場。

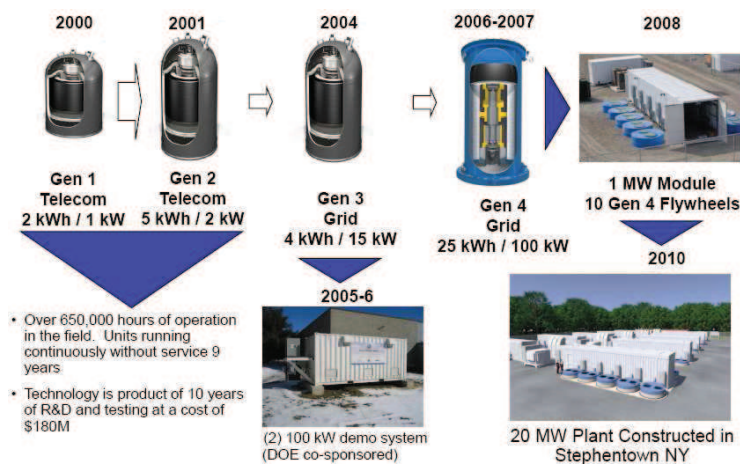


圖 2-9 飛輪系統技術演進

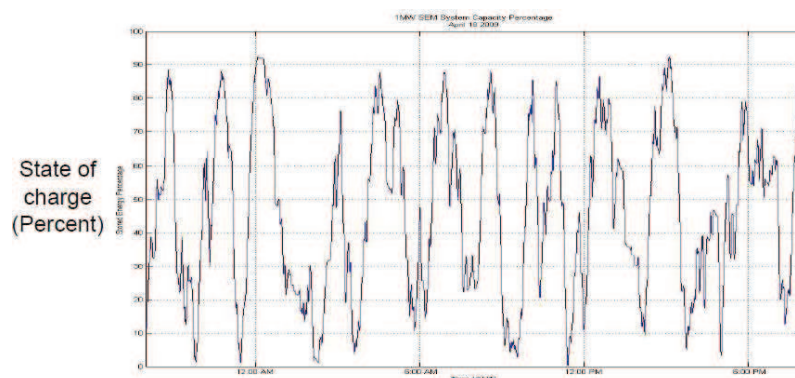


圖 2-10 飛輪之充放電情形

2-5 20MW飛輪儲能廠

2010年開始於紐約州 Stephentown 建造，並於 2011 年 4 月開始正式商轉營運，投入頻率調整市場，輸出功率最大可達 20MW 持續 15 分鐘（相當於 5MWh），輸出範圍為 $\pm 20\text{MW}$ ，反應時間為 4 秒以下，即 5MW/sec，比目前本公司反應速度最快的明潭電廠 1.5MW 更快，該廠設計使用年限為 20 年，且飛輪輸出、入電壓為 480V AC、3 相 60Hz。如圖 2-11 為 1MW 之模組，並由 20 個如圖 2-11 之模組合成 20MW 之飛輪儲能廠。該廠約可處理紐約州電力系統 20~40%之頻率控制需求，並藉由調度中心 AGC 信號進行頻率控制。



圖 2-11 1MW 飛輪系統



圖 2-12 20MW 飛輪廠鳥瞰圖

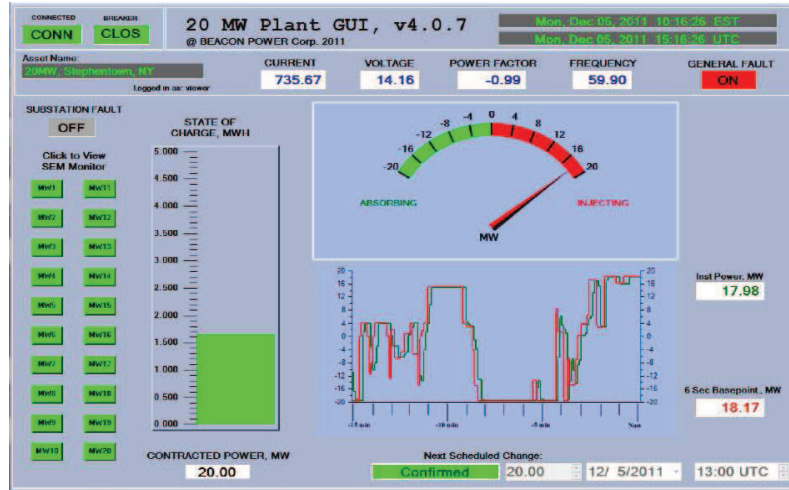


圖 2-13 20MW 飛輪廠監控畫面

2-6 頻率控制效能

如圖2-14為1小時內頻率調整資料並由NE-ISO所提供，一般發電機與飛輪對於1MW頻率調整所做的分析，由圖中可瞭解到飛輪對於AGC升/降載信號可以做立即、快速的反應，一般發電機雖可跟隨AGC信號反應，但因發電升、降載速度來不及反應而違背ACE修正量，如圖中紅色部份所標示。另外NE-ISO使用哩程（Mileage）做為AGC反應速度之參考，其哩程可定義為該部機組頻率調整上/下變動量之總合，NE-ISO對於頻率調整效率高之機組將會有獎金回饋。

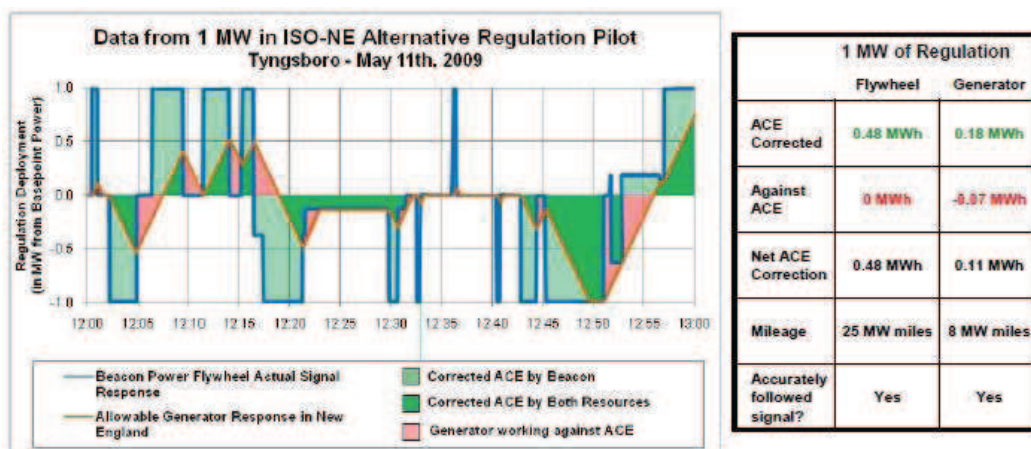


圖 2-14 飛輪及發電機對 1MW 頻率調整能力比較

圖 2-15 為 20MW 飛輪廠與一般發電機頻率調整之比較，雖然該廠參與 NY-ISO 頻率調整市場只占總參與容量約 10%，但其對頻率調整 ACE 修正貢獻度卻高達 25%。

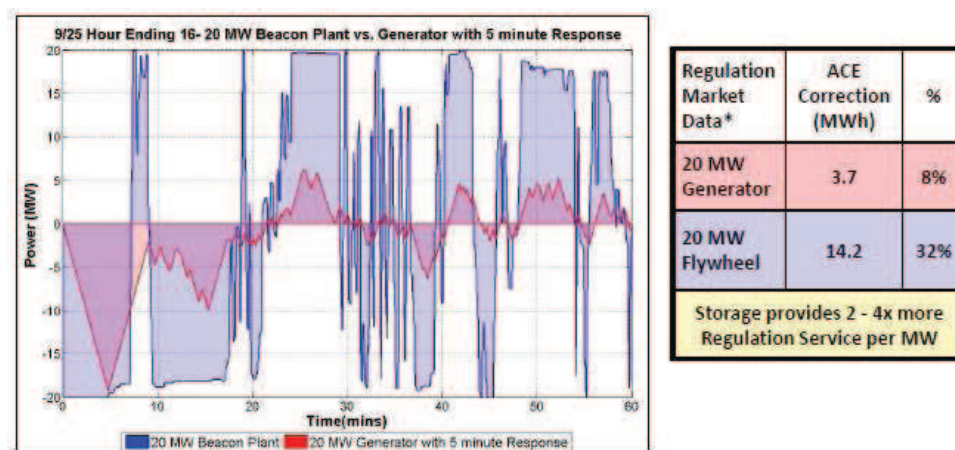


圖 2-15 20MW 飛輪廠及 20MW 發電機對頻率調整能力比較

2-7 未來應用

目前飛輪技術雖只用於頻率調整，但在未來仍可應用於其它地方。

1. 與再生能源之整合：由於風能及太陽能受風力、雲層變化所影響，再生能源電力輸出並不穩定，大規模之再生能源併聯至電力系統，將對運轉調度及頻率控制等造成極大影響，飛輪技術可做為緩衝器，於負載尖峰時提供所需電力，並可隨時減緩再生能源之變動對電力系統造成之衝擊。
2. 偶發事故備轉容量：當傳輸線或線上發電機跳脫後，系統頻率有可能因此降低，造成低頻卸載發生，因此須由其它線上機組立即彌補此發電缺口，使頻率恢復正常狀態，大容量飛輪廠其快速反應之能力可以應用於此狀況。
3. 其它應用：飛輪亦可運用於電力系統暫態穩定度、電壓穩定度控制和全黑啓動等，另外也可運用於不斷電系統、船舶電力及輕軌列車系統上。

第三章 大規模再生能源系統整合

3-1 再生能源之變動性與不確定性

風力發電與風有直接關係，而風的特性會因季節、白天、深夜、每小時、每分鐘有所不同，因此造成風力發電機組輸出電力並非固定及持續。同樣的，太陽能發電有類似的情形，太陽能無法在晚上發電，且白天發電輸出易受雲層移動、遮蔽程度及天氣狀況影響，因此太陽能發電輸出電力亦有變動性 (Variability) 之特質。再生能源發電量就像負載的特性無法調度，必須靠預測其輸出功率，且預測結果與實際發電量實績並不相同，此稱為再生能源之不確定性

(Uncertainty)。一個準確完美的再生能源預測雖可消除不確定的特性，但其變動性特質依然存在。如圖 3-1 和 3-2 為美國 WestConnect 組織委託奇異電力公司對其增加再生能源發電，不同季節所做的分析。

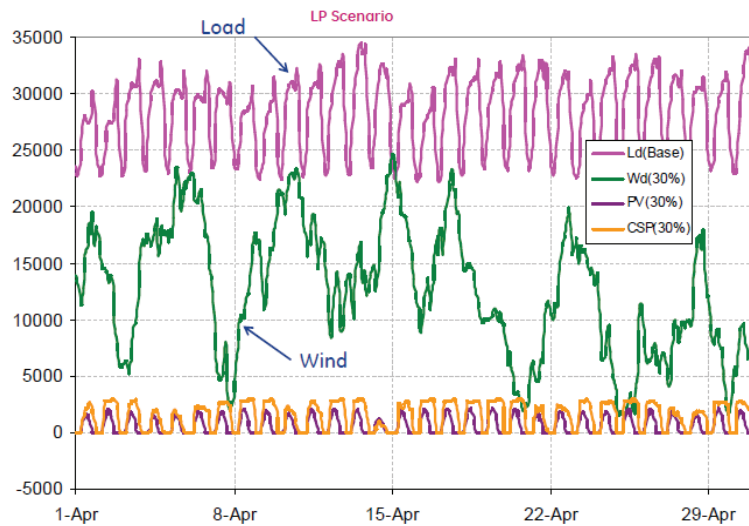


圖 3-1 春季負載與 30%風力發電、太陽能發電關係圖

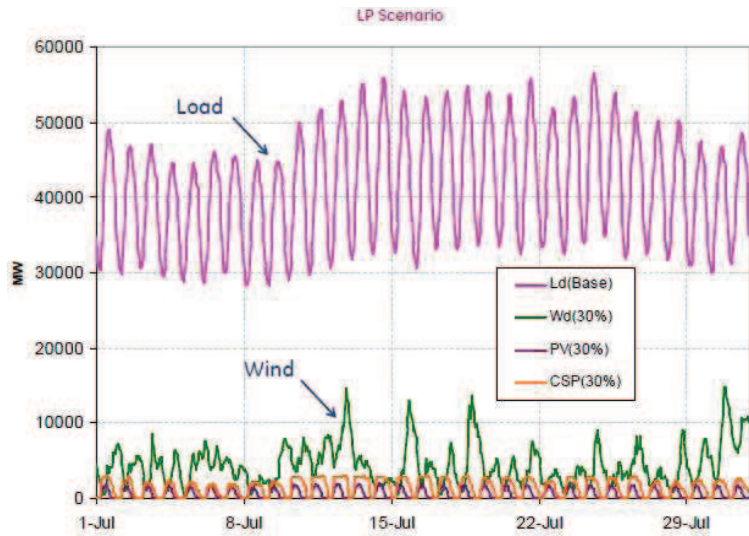


圖 3-2 夏季負載與 30%風力發電、太陽能發電關係圖

3-2 再生能源變動性分析

奇異公司針對再生能源之變動性，分析其對電力系統運轉之影響。首先定義 Δ 為一段時間間隔之負載或再生能源之變化量 (MW)，這一段時間可細分為小時或分鐘為間隔，並依照季節性做不同之分析。首先將 Δ 定義為每小時之間隔，可分析 WestConnect 負載與風力發電實績資料如圖 3-3。圖中 X 軸為負載每小時改變量 Δ ，Y 軸為風力發電每小時改變量 Δ ，並將實績值描繪在此四個象限。

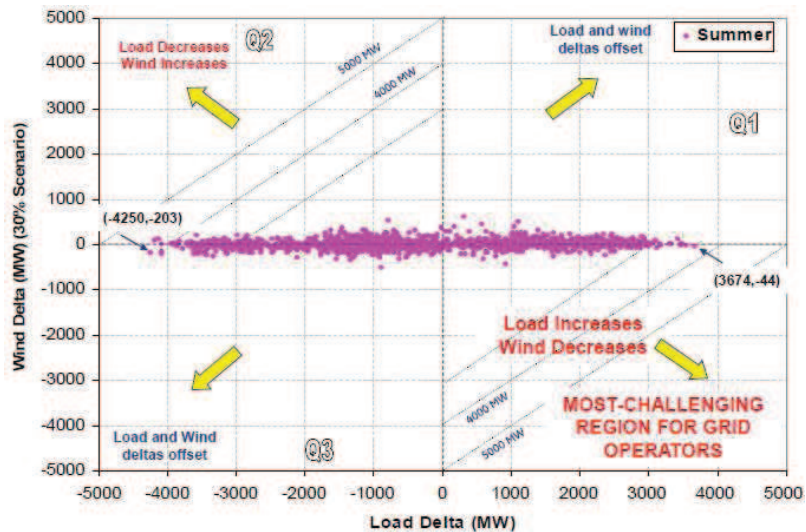


圖 3-3 2006 年夏季負載及風力發電變化量關係圖

第一象限 Q1 為負載增加，風力發電增加；第二象限 Q2 為負載減少，風力發電增加；第三象限 Q3 為負載減少，風力發電減少；第四象限 Q4 為負載增加，風力發電減少。因運轉調度部門調度發電量必須隨時調整，以符合負載隨時變化，由圖中所示，若資料落於 Q2 及 Q4，調度運轉將是挑戰，當增加風力發電量增至 30%，其挑戰將非常明顯，如圖 3-4 所示。

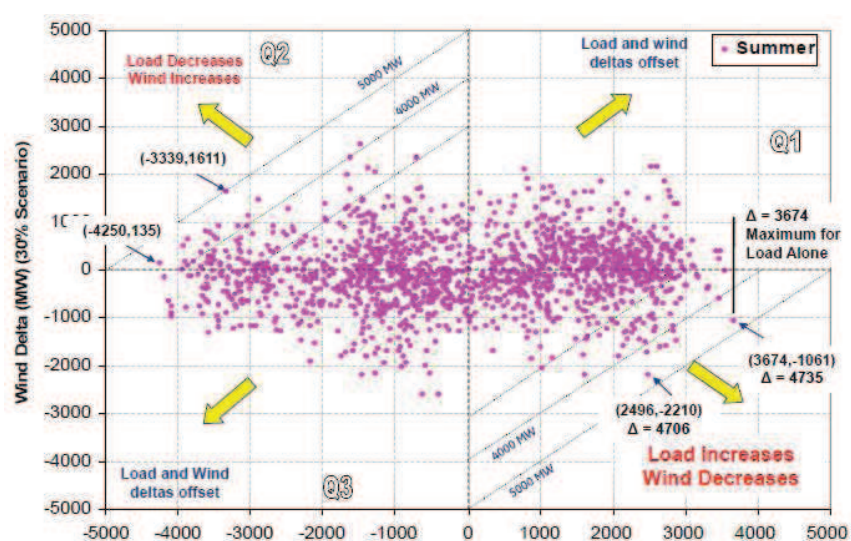


圖 3-4 2006 年夏季負載及增加 30%風力發電其變化量關係圖

由圖 3-4 可發現，在負載增加而風力發電減少的情形下（Q4），系統負載一小時內增加了 3674MW，且風力發電減少了 1061MW，故一小時內之總變動量達到 4735MW，因此調度員在運轉時，必須對此情況有所因應。同樣的奇異公司亦對春季分析出如圖 3-5 和圖 3-6 所示。

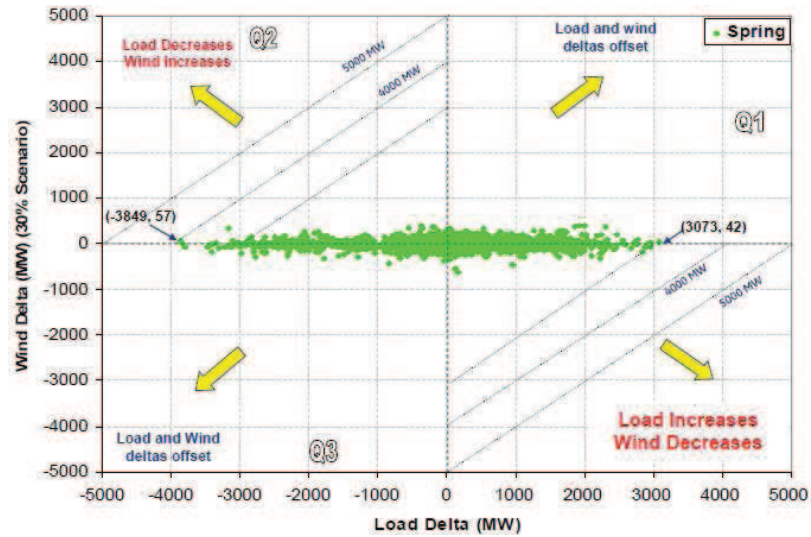


圖 3-5 2006 年春季負載及風力發電變化量關係圖

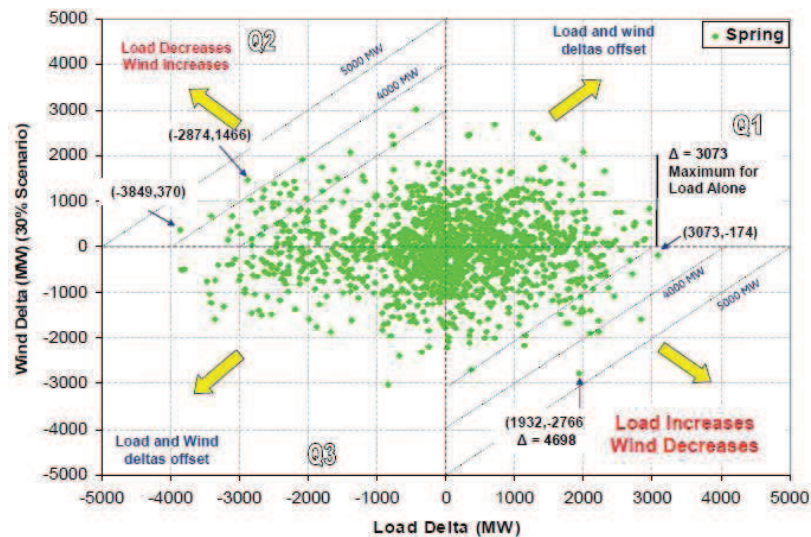


圖 3-6 2006 年春季負載及增加 30%風力發電其變化量關係圖

3-3 再生能源及負載預測誤差

由於大量再生能源併聯至系統，且再生能源為不可調度之特性，需先預測再生能源發電量，將負載與再生能源發電量相減，產生的新負載為「淨負載」，調度員調度則依此「淨負載」來調度其它機組發電，因此再生能源之發電量可視為「負的負載」。負載預測及再生能源預測均會與實際結果產生誤差，誤差的擴大

將可能造成系統不安全的運轉，也可能造成調度運轉不經濟，無法結省運轉成本。如圖 3-7 為 NY-ISO 前一日負載預測與實績負載之差異，若再包含風力發電預測，則可能造成總預測誤差擴大，因此我們可以增進風力預測能力。

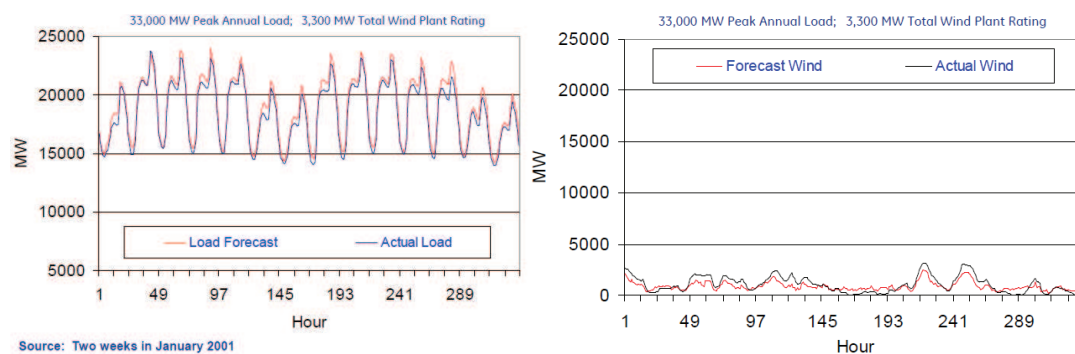


圖 3-7 負載預測及風力發電預測誤差

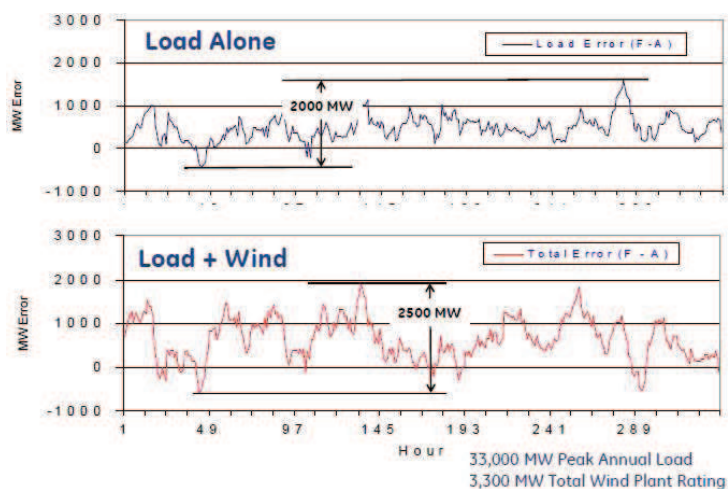


圖 3-8 負載預測及風力發電預測總誤差

3-4 風力發電預測

本章節將介紹風力發電預測，WindLogics 公司提供北美地區風力發電預測，WindLogics 公司整合許多風機廠現場即時監控資料（SCADA）和地區性、全

區域性氣象資料，運用大量快速電腦做數值運算，並結合多種預測模型及人工智慧系統，產出以連續性時間為基礎之風力發電預測結果，可將其應用於：風場發電、運轉調度、機組維修和電力交易等，並可依顧客需求，客製化產品。WindLogics 之預測包含每五分鐘預測、每小時預測、一天前預測、一週前預測，做為電力調度、機組排程或現貨電力市場規劃之參考。其預測結果隔日小時單位發電之平均絕對誤差約 10~14%、隔日總發電量誤差約 20%、前二至三小時之預測為 5~7%。

下圖為 WindLogics 預測結果，調度員可依風力發電量大、小及信心指數高、低來決定準備充足、安全及經濟之備轉容量。提升風力發電預測技術及準確度，是可以降低發電運轉成本，且隨著風場機組增設，其效果將更為顯著。

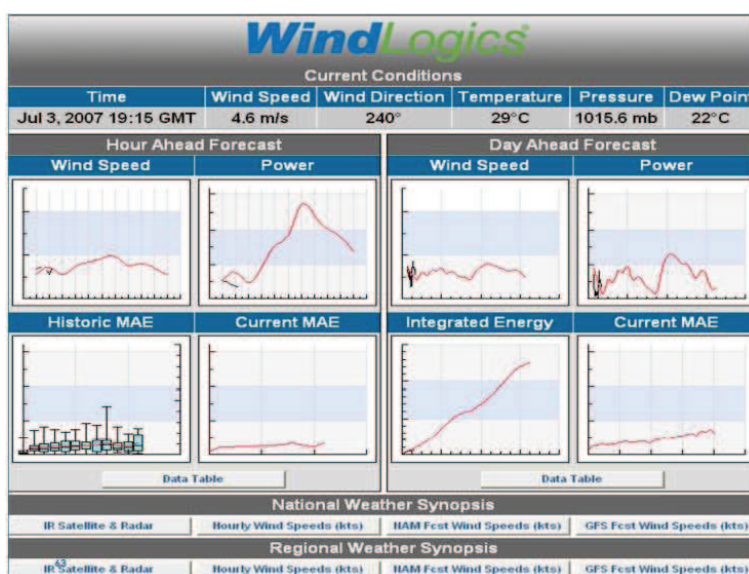


圖 3-9 WindLogics 風力發電預測介面

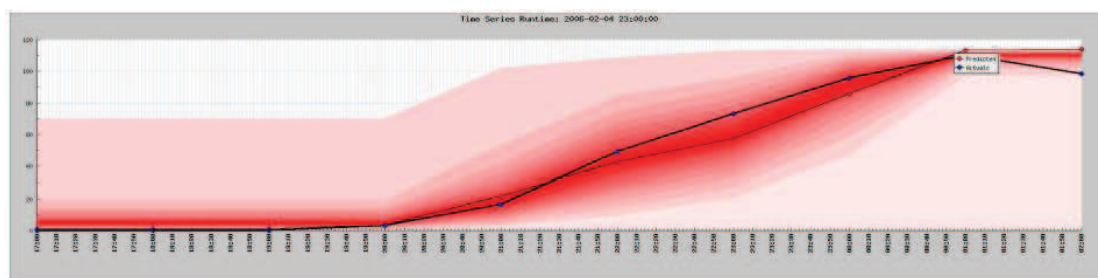


圖 3-10 WindLogics 風力發電預測結果與信心指數

3-5 夏威夷歐胡島偶發事故及運轉容量規劃

美國夏威夷歐胡島 (Oahu) 計畫安裝 100MW 風力發電和 360MW 太陽能發電，並請奇異公司研究規劃島上再生能源併入系統後之運轉容量。歐胡島系統尖峰負載為 1100MW，最低負載為 600MW，系統中最大機組裝置容量為 185MW 之燃煤機組。



圖 3-11 美國夏威夷歐胡島

首先歐胡島定義以下運轉之容量 (Reserves)：

偶發事故容量 (Contingency Reserves)：當有發電機組跳機或是輸電線路故障等突發事故時，系統無法滿足負載需求，進而可能導致系統崩潰等危機時，可立即啟動部分機組容量與已併聯但尚有額外供電能力。

運轉容量 (Operating Reserves)：機組需能隨時調整發電量以應付再生能源發電之變動性，運轉容量可包含線上機組備轉容量 (Spinning Reserves) 及離線機組備轉容量 (NON-Spinning Reserves)。

線上機組備轉容量 (Spinning Reserves)：即線上已併聯機組尚有額外供電能力之容量。

離線機組備轉容量 (NON-Spinning Reserves)：可在一小時內快速啟動之機組。

由圖中得知，當系統運轉時，運轉容量不足時將啟動以下機組因應，其中

111MW 可於十分鐘後達到滿載，另外 113MW 可於四十分鐘後達到滿載。

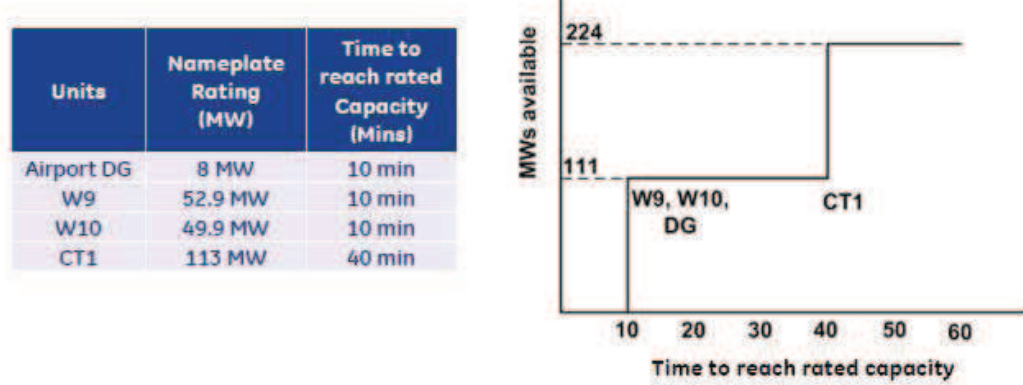


圖 3-12 歐胡島快速啟動機組與併聯時序圖

接著奇異公司將量化分析設立於島上之太陽能及風力發電變動性。首先收集兩年內風力或太陽能發電每 10 分鐘之變動減少量加總，集合並匯製如圖 3-13 所示，統計並量化為圖中橘色方程式。

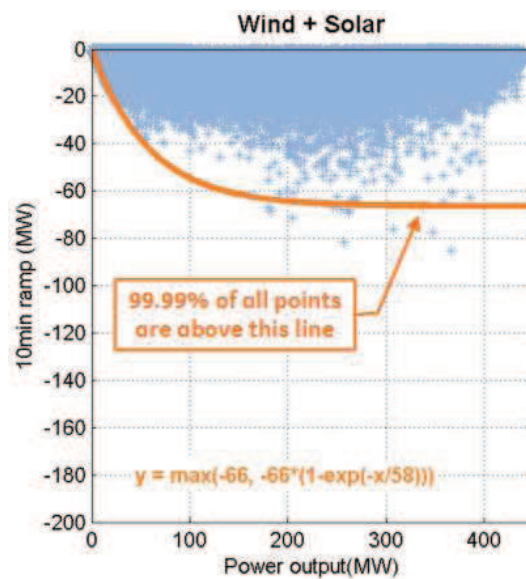


圖 3-13 量化 10 分鐘內風力與太陽能發電變動性

爲了規劃足夠之運轉容量（Operating Reserves），使其有充足彈性因應再生能源變動性，GE 公司除了對 10 分鐘外，另外針對 20 分鐘及 60 分鐘變動量來做量化。

10 分鐘內之變動性量化：目的是爲了因應快速啓動機組需在 10 分鐘後達到滿載，在此 10 分鐘內再生能源之變動量，需由線上機組立即因應處理。

20 分鐘內之變動性量化：承上，快速啓動機組需於 10 分鐘後才可達到滿載，且考量調度員需有 10 分鐘時間針對系統變化做反應、決策及聯絡通知機組調度。

60 分鐘內之變動性量化：爲評估安裝再生能源之變動性，運轉容量需能夠應付 60 分鐘再生能源之持續變動性。

考量調度員決策時間、快速啓動機組滿載時間及應付 60 分鐘內再生能源持續變動，運轉容量可分爲以下時段，並可由圖 3-15 來解釋：

1. 0~20 分鐘：

- (1) 線上機組備轉容量 + 離線機組備轉容量 \geq 20 分鐘再生能源變動量
- (2) 此時間內離線機組備轉容量無法被調度。

2. 20~50 分鐘：

- (1) 線上機組備轉容量 + 離線機組備轉容量 \geq 50 分鐘再生能源變動量
- (2) 此時間內離線機組備轉容量可調度 111MW。

3. 50~60 分鐘：

- (1) 線上機組備轉容量 + 離線機組備轉容量 \geq 60 分鐘再生能源變動量
- (2) 此時間內離線機組備轉容量可調度 224MW。

由圖 3-14、圖 3-15 之描述，線上機組備轉容量之準備須能因應 20 分鐘內再生能源持續變動，約爲 90MW。

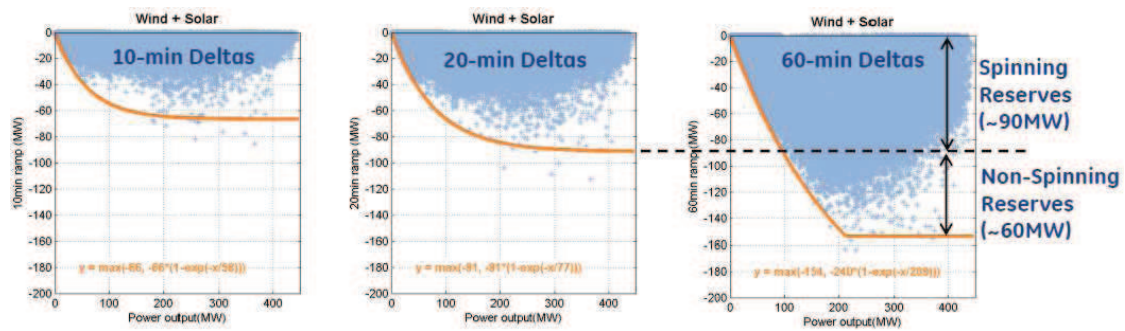


圖 3-14 量化 10、20 和 60 分鐘內風力與太陽能發電變動性

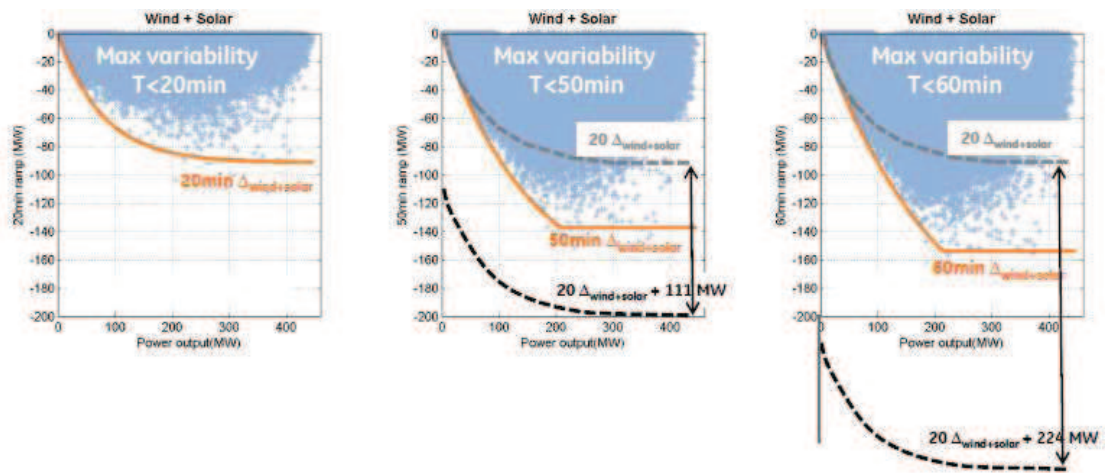


圖 3-15 風力與太陽能發電變動性與運轉容量準備

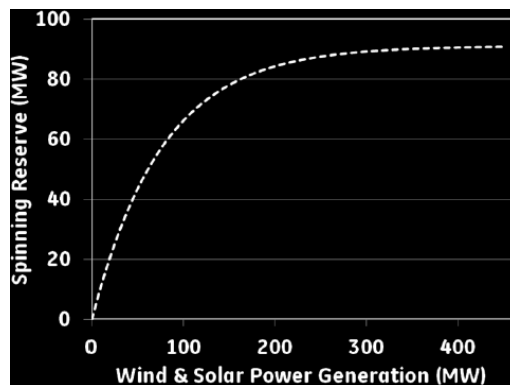


圖 3-16 風力與太陽能安裝量與線上機組備轉容量關係圖

島上電力通常使用石化燃料之火電機組發電，大量擴建再生能源，將有助降低系統可變動成本（如：燃料成本、運轉成本等）。歐胡島在面臨大量再生能源併聯系統同時，運轉容量之定義需非常謹慎，合理之運轉備轉容量將可節省不必要之機組運轉成本，整合並提高再生能源（如：風力發電機組）與島上其它可用

機組（火力機組、快速啟動機組）運轉之彈性，在孤立電力系統將更為重要。

3-6 系統運轉對於大規模再生能源變動性與不確定之因應

1. 為因應大規模再生能源最基本的方式為增加運轉容量及需量反應。
 - (1) 須額外增加線上機組運轉，提高彈性調度運轉空間，但為了應變再生能源發電量隨時改變，需無時無刻增加機組運轉，確保系統安全。
 - (2) 當系統負載增加及運轉中備轉容量不足時，可隨時執行需量反應（Demand Response），或控制負載，增加離峰時段（深夜大量風力發電）負載用電，增進電網效率。
2. 增進再生能源發電預測能力可降低因預測誤差所造成之運轉成本，將預測負載與再生能源發電量相減，得到「淨負載」，運轉單位可依「淨負載」做為調度依據。
3. 提升火力機組發電上升/下降率能力，使其能迅速跟隨系統負載變化，並提高火力機組發電上、下限能力，以因應再生能源變化，增進系統調度彈性。
4. 改變現有調度排程時間為前 4~6 小時之調整排程。
5. 對於系統輕載或高風險期間，訂定新的運轉策略。
6. 考慮安裝可變速控制之風機。風機運轉需視系統運轉情況，調整發電量輸出變化率，避免其變化率太大，衝擊整體電力系統。
7. 風力發電廠通常建置於偏遠地區，此地區負載量小，故需建置中、長程輸電線，將電力傳送至負載中心，因此須考慮輸電線之容量及安全性。
8. 可將風機分散安裝在不同地區，研究分析指出：將再生能源分佈分散於各地

安裝，可降低再生能源之變動性。

9. 與臨近地區電網互連，若再生能源發電量大餘系統需求時，可將多餘電力傳輸賣至臨近區域，同理，當系統缺電時，亦可向臨近電網買電。

第四章 心得及建議

1. 再生能源發電建置持續增加，在未來大規模再生能源將對台灣孤立無援電力系統運轉造成衝擊，整合並彈性調度所有可調度資源才能降低其衝擊，故公司可持續發展和推廣需量反應、儲能系統及智慧型電網。在火力機組方面：公司機組更新可依彈性調度為原則，增加發電反應速度及運轉高/低限能力，並安裝可隨系統頻率變化控制輸出之風機，以降低再生能源發電不確定性對系統造成之衝擊。
2. 先進國家視需量反應及負載控制為建設智慧型電網重要的一環，而增設新電廠在國內已相當困難，須投入巨額成本、資源及人力建置。相較於設廠，需量反應及負載控制服務仍未有效開發，但惟有真正反應合理售電成本，才能刺激需量反應服務市場與增加用戶參與，提高國內用戶用電效率。
3. 承上，公司在推廣再生能源及節能減碳的同時，建議積極爭取合理發電成本，以促進電力相關產業、技術成長，提高用戶用電效率。
4. 此次行程可增進電力專業知識、瞭解各類電力技術發展現況、開闊視野及提升英語能力外，並有機會和國外電力相關人員互動交流，對工作有相當大的助益，建議仍繼續派員參加。
5. 美國奇異公司上課地點偏僻，居住環境通常距離上課地點約 30 分鐘車程，周邊無大眾交通工具，須自行開車代步，且奇異公司並未供應住宿，公司未補助租車及租房費用，需自行代墊，返國後常因此透支，嚴重影響公司內優秀同仁出國意願，未來若無人力出國受訓，國內電力技術人才恐將因此與國際先進電力科技脫節。
6. 本公司對於出國期間所需補助津貼不充裕，與各國電力公司學員之補助相差

甚多，建議公司相關部門能於此課程期間到受訓地考察，並與奇異公司課程規劃部門交流，了解當地實際生活情形，研擬具彈性且合理之生活津貼及補助。

參考文獻

- [1] Matt Lazarewicz, and Jim Arseneaux, “Flywheel Technology for Grid-Based Energy Storage and Frequency Regulation,” *Beacon Power Corporation*, December 2011.
- [2] Gerard Thijssen, and Johan Enslin “Cost Comparison for a 20MW Flywheel-based Frequency Regulation Power Plant,” *Beacon Power Corporation*, September 2007.
- [3] Robert Rounds, and Georgianne H. Peek “Design & Development of a 20MW Flywheel-based Frequency Regulation Power Plant,” *Sandia National Laboratories*.
- [4] <http://www.beaconpower.com>
- [5] Devon Manz, Gene Hinkle, Herman Wiegman, and Glen Merfeld “Energy Storage Fundamentals,” *Power Energy & Energy Course 2011 from GE international Inc.*
- [6] Dick Piwko “Large-Scale Wind and Solar Integration: Variability and Uncertainty,” *Power Energy & Energy Course 2011 from GE international Inc.*
- [7] Dick Piwko “Large-Scale Wind and Solar Integration: Operations and Markets,” *Power Energy & Energy Course 2011 from GE international Inc.*
- [8] Reigh Walling “Wind Turbine Basics,” *Power Energy & Energy Course 2011 from GE international Inc.*

- [9] Nick Miller “Integrating High Levels of Wind in Island Systems,” *Power Energy & Energy Course 2011 from GE international Inc.*
- [10] Bahman Daryanian “Smart Grid:Demand Response and Dynamic Pricing,” *Power Energy & Energy Course 2011 from GE international Inc.*