

出國報告（出國類別：開會）

參加 Grand Renewable Energy 2018 國際 會議暨參訪日本地熱協會出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：高俊廷 研究助理

孫士文 助理研究員

派赴國家/地區：日本

出國期間：107 年 6 月 14 日~107 年 6 月 23 日

報告日期：107 年 7 月 20 日

摘要

本次出國行程由核能研究所(以下簡稱核研所)核能儀器組助理研究員孫士文與薦任技術員高俊廷，赴日本參加 2018 年 Grand Renewable Energy 國際會議暨展覽，並順道參訪日本地熱協會。本次參與會議，除了發表論文外，同時藉由與專家、學者、企業研發人員的簡報交流，獲取微電網領域未來發展趨勢。並在會議開始前，順道參訪日本地熱協會，藉此了解日本專家在地熱發電領域的研究方向，作為核研所微電網未來規劃與技術發展之參考。綜合以上，本次行程可得知國際對於再生能源發展相當重視，除了提升太陽能、風力等能源外，並致力於地熱、潮汐能等能源之研究與技術開發。如何加速再生能源發展已成為國際上重要之議題，其中多元發展再生能源及儲能系統將成為主流。最後，主要建議事項包括：(1)隨著再生能源占比提升，電網的穩定將會受到更多挑戰，而傳統的儲能系統並不具備輔助電網之功能。核研所宜著手開發智慧型儲能系統，減緩再生能源對電網造成之衝擊。(2)嘗試使用多種儲能系統來平穩再生能源的發電，以調節再生能源的發電波動，已成國際上之趨勢；核研所應著手研究各類型的再生能源發電設備搭配不同種類的儲能系統，研究其電力調節的適切性，以符合不同再生能源儲電之特性。(3)日本不遺餘力地進行地熱發電的技術發展，並已達到技術可輸出之程度。核研所可透過派員實地參訪地熱發電廠，有利於核研所切入地熱發電之領域，並協助國內地熱發電產業與核研所微電網技術結合，進行區域電力系統穩定與高經濟價值之應用。

目 次

摘 要	i
一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	3
四、建 議 事 項.....	25
五、附 錄	26

附 圖 目 錄

圖 1、會議議題及行程表.....	2
圖 2、Keynote Speech 議程表.....	4
圖 3、儲能系統架構.....	8
圖 4、演算法流程.....	8
圖 5、實驗結果.....	9
圖 6、高俊廷發表論文過程.....	9
圖 7、儲能系統承擔功率誤差的來源	11
圖 8、最佳化調度與控制技術流程.....	11
圖 9、最佳化調度連續 9 小時孤島運轉測試結果.....	12
圖 10、儲能系統 SOC 的控制情形.....	13
圖 11、有/無執行最佳化調度與控制技術成本花費比較.....	13
圖 12、孫士文發表論文過程.....	14
圖 13、兩種壓縮空氣儲能系統的比較.....	15
圖 14、不使用燃料 CAES 系統的工作原理	16
圖 15、伊豆半島南端 CASE 系統儲能站啟用典禮	17
圖 16、CASE 系統儲能站的調節規劃	17
圖 17、儲能電池與環境間的熱傳遞數學模型.....	18
圖 18、電池溫度及環境溫度的熱平衡數學式.....	18
圖 19、電池的壽命數學模型.....	19
圖 20、充/放電的狀態變數與電池的剩餘蓄電量.....	19
圖 21、電池最佳的運轉計畫排程的目標函數.....	20
圖 22、參訪 JGA 之合照	22
圖 23、贈予會長禮品.....	22
圖 24、FREA 地熱研究時序規劃	23
圖 25、新舊型態 BORC 熱交換器之比較.....	24

一、目的

『Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition』國際會議為 GRE 2018 組織委員會與國際太陽能協會（ISES）合作發起的國際學術會議。目的為匯集工業界、學術界知名專家、及學者發表最新的再生能源及智慧電網相關技術，作為交換創新及革命性意見之場合，其研究領域涵蓋智慧電網、微電網、分散式能源、及電力儲存系統等。該國際會議在微電網領域中具有相當影響力。

核研所近年來致力於再生能源與微電網相關研究，本次參加此國際會議，除發表核研所開發成果之外，該主辦單位亦邀請知名專家、學者針對再生能源相關技術，進行主題演講及突破技術會議，提供再生能源現今發展現況與未來發展趨勢，作為核研所微電網規劃與技術發展之參考。此行另順道參訪日本地熱協會，了解地熱發電之特性以及併網之相關經驗，思考與核研所微電網發展方向是否有可結合之處，藉此可激發創意與構想。綜合以上，藉由本次參與，達到蒐集國外最新發展資料，推廣核研所研發成果，使未來計畫實施策略更有彈性且具體。

二、過 程

本次公差時間含去程及回程共 10 天，主要行程分兩部份：一、參訪日本地熱協會。二、參加『Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition』國際會議。

本次公差行程如下表：

行程		公差地點		工作內容	
日期	地點		國別		地名
	出發	抵達			
6/14(四)	桃園	日本	日本	東京	去程
6/15(五)			日本	東京	參訪日本地熱協會
6/16(六)			日本	橫濱	路程及整理資料
6/17(日) ↓ 6/22(五)			日本	橫濱	參加 2018 年 Grand Renewable Energy 國際會議暨展覽
6/23(六)	日本	桃園	日本	橫濱	回程

GRE2018 國際會議議程如圖 1：

June 17 (Sun)	June 18 (Mon)	June 19 (Tue)	June 20 (Wed)	June 21 (Thu)	June 22 (Fri)	June 23 (Sat)
	Opening	Special Session				
	Keynote Speeches	Plenary Session by Invited Speakers				
	Paper Presen.	Panel Discuss	Paper Presentation in Oral (12 Areas)			Closing Ceremony
Registration		Paper Presentation in Poster (12 Areas)				Full Day Technical Tour
		International Workshops organized by Organizing Committee				
		Workshop, Forum, Event by Sponsors				
			Banquet			
		The 13th Renewable Energy International Exhibition by JCRE				
		PVJapan 2018 Exhibition and Forum by JPEA				

圖1、會議議程

(來源：http://www.grand-re2018.org/english/program_e.html)

三、心得

(一)、參加『 Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition』國際會議

本次會議內容涵蓋智慧電網、微電網、分散式能源、電力儲存系統等最新的控制技術與應用，參與此會人員包含知名專家、學者、企業研發人員，以及學生等近千人參與，顯示該國際會議為在微電網領域中具有相當之影響力。在會議第一天開幕儀式中，主辦單位邀請 5 位業界、學術界及電力專家進行專題演講：

- (1) The development of new energy technologies – New Energy and Industrial Technology Development Organization, Mr. Hiroaki Ishizuka.
- (2) Renewable Energy Development in China: Challenges and Opportunities – National Center for Climate Strategy and International Cooperation, Mr. Li Junfeng.
- (3) Renewable and other low-carbon technologies – Head of the Renewable Energy Division at the International Energy Agency (IEA), Mr. Paolo Frankl.
- (4) Advances in Next Generation Energy Technologies: Enabling the Transformation of Global Energy Systems – Director, National Renewable Energy Laboratory U. S. Department of Energy, Dr. Martin Keller.
- (5) Sector coupling and system integration – key elements of the next phase of the energy system transformation – Christoph Kost, Andreas Palzer, Philip Sterchele, Prof. Hans-Martin Henning.

Keynote Speech 議程表及上述演講摘要如下：

Opening, Keynote Speeches, and Panel Discussion

June 18, 13:00 – 17:40

Opening	13:00-13:05	1)	General Chairman, Grand RE2018 International Conference	Prof. Kazuhiko Ogimoto
	13:05-13:10	2)	ISES President, Representative of International AC in Grand RE2018	Dr. Dave Rennē
Guest Speech	13:10-13:20		Director-general, Energy Efficiency and Renewable Energy Dept. METI	Mr. Jun Takashina
Keynote Speech	13:20-13:50	1)	NEDO Chairman	Mr. Hiroaki Ishizuka
	13:50-14:20	2)	Director General, National Center of Climate Change Strategy Research, China	Prof. Li Junfeng
	14:20-14:50	3)	Head of the Renewable Energy Division at the International Energy Agency (IEA)	Dr. Paolo Frankl
Break	14:50-15:00			
Keynote Speech	15:00-15:30	4)	Director, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA	Dr. Martin Keller
	15:30-16:00	5)	Director, Head of Fraunhofer Institute of Solar Energy System	Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Break	16:00-16:10			
Panel Discussion	16:10-17:20		"How to accelerate Renewable Energy Integration"	Facilitator: K. Ogimoto Panelist: METI, Keynote Speakers except NEDO
Award Ceremony	17:25-17:40		"Renewable Energy Ensembles Award"	Facilitator: M. Kondo for, Prof. Kosuke Kurokawa Dr. Dave Rennē

圖2、Keynote Speech 議程表

(來源：http://www.grand-re2018.org/english/program_e.html)

(1)、The development of new energy technologies

New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO), Mr. Hiroaki Ishizuka 在簡報中表示，1973 年第一次石油危機之後，日本政府於 1974 年啟動了一項國家計畫，以開發石油替代能源。該項目名為陽光計畫，是日本第一個開展新能源技術研究和開發的長期計劃，其中包括太陽能發電系統。

NEDO 成立於 1980 年，是 1979 年第二次石油危機之後，旨在促進陽光項目的研發活動。自成立以來，NEDO 一直積極參與新能源技術的開發。日本政府還於 1978 年推出了一項名為月光計畫的新節能計畫，並於 1993 年將陽光計畫重組為新陽光計畫。考慮到 2011 年發生的東日本大地震和福島第一核電廠之災難，以及 2016 年通過“巴黎協定”以應對氣候變化。因此，再生能源預計將發揮比以往任何時候都更重要的作用。

(2)、Renewable Energy Development in China: Challenges and Opportunities

在 National Center for Climate Strategy and International Cooperation, Mr. Li Junfeng 簡報中提出，2005 年 2 月 28 日中國再生能源法發布後，再生能源經過 13 年的快速發展，並在能源安全和環境改善方面發揮了非常重要的作用，特別是在氣候變化方面更是貢獻良多。並於簡報最後提出，中國再生能源近年來面臨的新的挑戰和機遇。

(3)、Renewable and other low-carbon technologies.

此議題由 Head of the Renewable Energy Division at the International Energy Agency (IEA), Mr. Paolo Frankl 進行簡報，他特別強調再生能源的部署速度超過任何其他能源技術，近年來成本顯著降低。但是，各技術、國家和部門的進展並不均衡。幾個關鍵障礙仍然阻礙再生能源的部署，從較不成熟的技術風險，新市場和發展中國家的金融風險，到太陽能和風力較高的市場的系統整合挑

戰。最重要的是，雖然再生能源的增長勢頭很強，但在建築，工業和交通運輸中使用再生能源的進展要慢得多。無論是通過直接使用再生能源熱能，再生能源電力還是從再生能源生產氫氣，都需要大力加速再生能源在最終用途中的部署。更一般地說，世界將需要更大的再生能源和其他低碳技術組合，以實現符合聯合國可持續發展目標和巴黎協定的氣候變化減緩及可持續性之目標。

在 Paolo Frankl 博士的簡報中，介紹再生能源技術的前景，並提供達到巴黎協議遠低於 2°C 氣候目標的途徑。然後，他根據當前的市場趨勢、政策發展和預期的技術進展，提出再生能源的五年市場預測。他的演講涵蓋大量再生能源技術，包括在所有領域具有巨大長期潛力的創新方案，包括離岸風力等議題。

(4)、Advances in Next Generation Energy Technologies: Enabling the Transformation of Global Energy Systems.

在 National Renewable Energy Laboratory(NREL) U. S. Department of Energy, Dr. Martin Keller 的簡報中提出，國家再生能源實驗室是科羅拉多州戈爾登市的美國能源部國家實驗室，與世界各地的合作夥伴一起開展潔淨能源系統分析，研究和部署。

全球再生能源發電量不斷增加，太陽能 and 風力發電與七年前相比，分別降低了 73% 和 23% 的成本。將這些再生能源添加到電網中，增加了發電供給的可變性。電網上的再生能源增加每小時的功率變動率和發生變動的範圍。

NREL 正在進行獨立型能源網路之擴展相關研究，並同時整合所有形式的能源。在 2013 年，該實驗室啟動了能源系統集成設施，其中包含再生能源與電網整合、車輛與電網整合、再生燃料與電網整合、微電網、電池與熱能儲存等。

(5)、Sector coupling and system integration – key elements of the next phase of the energy system transformation.

此議題由 Christoph Kost, Andreas Palzer, Philip Sterchele, Prof. Hans-Martin Henning 簡報中提出，氣候目標（例如遵循 2015 年巴黎協議）是全球能源系統轉型的主要動力。然而，最近太陽能 and 風力等再生能源發電的價格已經變得相對較低，即使沒有相關的激勵措施，安裝這些系統也具有經濟可行性。然而，間歇性再生能源的高滲透率在穩定性、供應安全性以及系統控制和管理方面對整個能源系統造成重大挑戰，因此增加了總成本。

能源系統轉型路徑的整體建模和優化可以幫助確定在哪個時間需要哪些技術，以便按照目標軌跡以最小化的總成本減少能源部門的溫室氣體排放。在簡報中提到根據德國能源系統分析出的發現：

1. 太陽能和風力將成為主要的電力來源。
2. 電力需求將不斷增加。對於德國而言，根據具體的邊界條件，這可能導致淨電力使用量從現在的約 500 TWh 增加到 750 - 1000 TWh。
3. 智能通信和數據處理技術將是必要的，以便能夠管理複雜的系統。
4. 必須安裝重要的備用電源，以便應付再生能源發電長期維持少量的情況下。

最後在簡報中提出在不同的領域存在不同的選擇，因此存在系統開發的自由度。例如，氣候目標可以通過用於道路交通的移動性部門中的不同技術組成來實現（例如，具有電池的電動機、利用再生電力生產的合成燃料等）。

(二)、論文發表簡要說明

核研所本次論文發表共計 2 篇，分別是「Power Smoothing Control of Battery Energy Storage Systems for Microgrid Applications」以及「Optimal Scheduling and Control Technology Research for the Isolated Microgrid」。

- (1) 「**Power Smoothing Control of Battery Energy Storage Systems for Microgrid Applications**」

在這次國際會議上發表「具平穩再生能源輸出功率之併網轉換器設計」，電池儲能系統被廣泛用於微電網應用，特別是再生能源功率平滑控制。論文提出整合類神經網路預測技術和一低通濾波器之電池儲能系統，用於微電網應用的功率平滑控制。類神經網路預測的目的是為了決定電池儲能系統的功率參考模式。此外，介紹含變流器及數位控制器的電池儲能系統，以演示太陽光電系統功率平滑控制的適用性和功能。最後，模擬和實驗結果顯示設計概念的有效性。

圖 3 是微電網系統架構圖，包含儲能系統、分散式電源、負載、靜態開關等。其中儲能系統展開如右，此外，分散式電源特別指的是太陽能發電系統，該系統功率變動頻繁，儲能系統對其進行功率補償較實用。

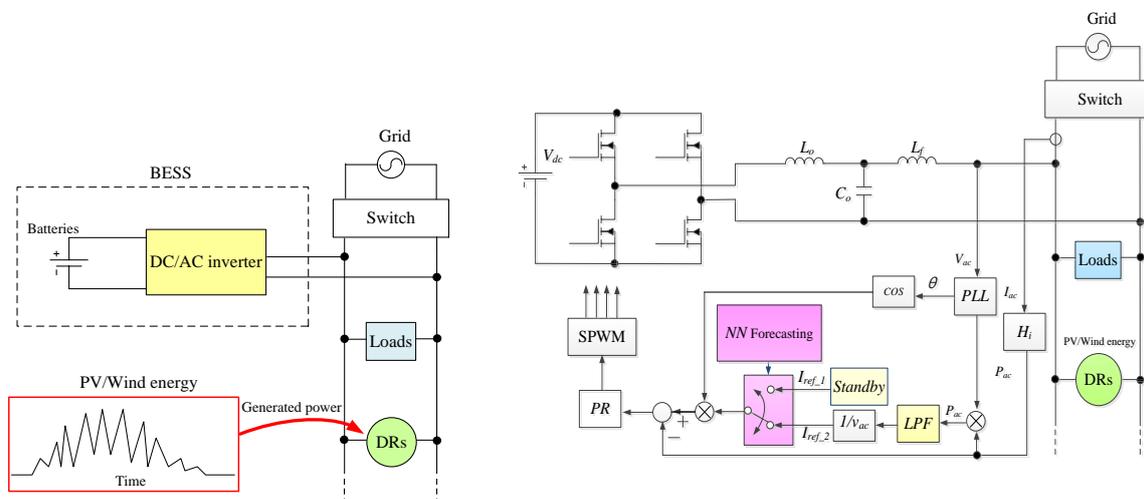


圖3、儲能系統架構

圖 4 是類神經網路示意圖及基因演算法的流程圖，類神經網路預測技術用來決定當天需不需要做補償，預測結果為好天氣，則當天不需補償，反之，則需要補償。另外基因演算法用來決定補償器的參數，以轉換器的額定功率 1 kW 當作目標函數，得到參數值。

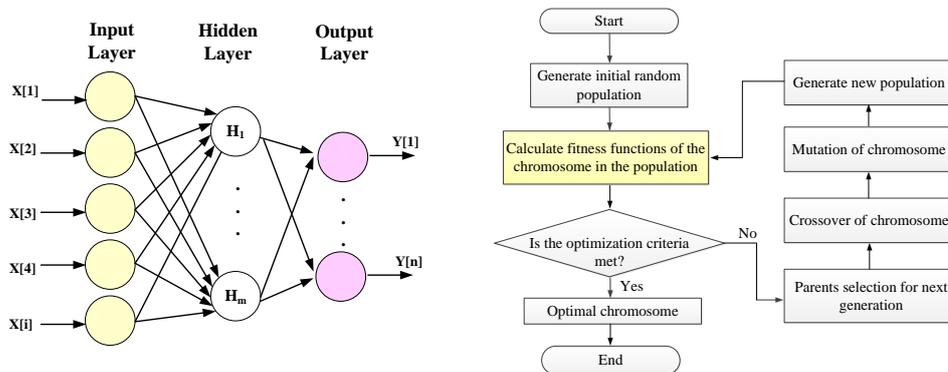


圖4、演算法流程

圖 5 為實驗結果，當太陽能發電系統投入或切離，被儲能補償的節點仍然輸出相同的電流大小，不受太陽能系統影響。

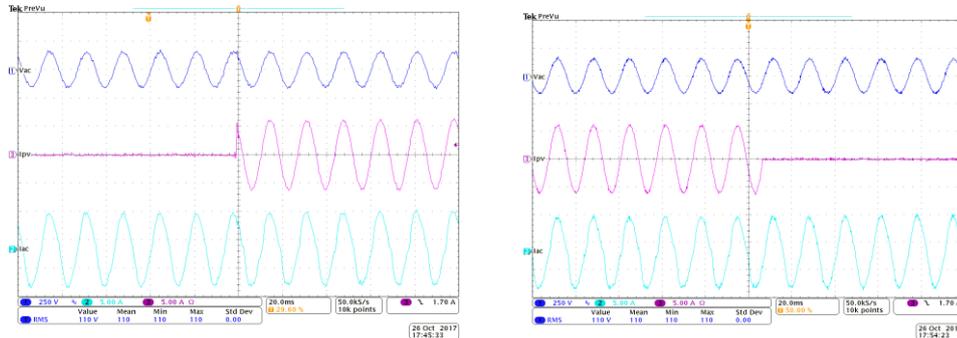


圖5、實驗結果



圖6、高俊廷發表論文過程

(2) 「Optimal Scheduling and Control Technology Research for the Isolated Microgrid」

微電網是由區域內各種小型分散式電源與負載所組成的可控制小型電力系統，並透過一監控系統對各分散式設備進行監控；由於在地發電供應在地用電，能降低電力傳輸過程中造成的損失，在傳統集中式電力系統供電中斷時，微電網也可憑藉其內部的分散式電源，繼續提供負載用電。微電網的另一個特點為具有穩定電壓及頻率的功能，因此，再生能源占比提高所帶來的衝擊，可藉由

與微電網搭配建置來解決。當微電網進入孤島運轉時，若是以儲能系統作為搖擺匯流排(Swing Bus)，則可自動平衡發電與負載間的功率差。另外，微電網能源管理系統(EMS)也能對區域內之負載與再生能源發電進行預測，並考量發電機組的與儲能系統的裝置容量和限制條件，事先排出適合各個時段的機組排程。然而，微電網因其整體裝置容量較小，再生能源之發電量變化受區域天氣影響甚大，若因天氣因素導致再生能源發電量變動，原有基於預測結果所產生之排程無法符合實際運轉情況；另外，微電網內部的電力傳輸也會造成電力損失，再加上儀表的量測誤差與通訊的傳輸延遲，均有可能讓儲能系統承擔功率誤差，如圖 7 所示；因此，本篇論文提出需要優先控制儲能系統的電量，重新計算機組排程功率，使其 SOC 回歸排程值，如此將可確保微電網能在自主式的監控模式下，再利用最佳化演算法調控各個機組的功率輸出，以最小發電成本穩定且可靠地維持運轉。

本研究所提出的最佳化調度與控制技術，整體的控制流程如圖 8 所示，實際於核研所微電網示範場域進行孤島運轉實測，並以 048 館為實際的負載，應用於補償儲能系統所承擔之額外功率，確保孤島型微電網的穩定運轉，執行結果如圖 9。氣象局預測溫度約 13~14 度，濕度約 80%~100%，測試時間為上午 8 時至下午 5 時，實驗設備之電力配置如圖 7 所示，包含太陽能(PV)額定功率 56kW、微渦輪機(μ T)額定功率 65kW、柴油發電機(DG)額定功率 200kW、儲能系統(ESS)60kWh (逆變器額定功率 100kVA)。圖 9 為 EMS 整個測試期間的執行狀況，左上為今/明兩天之預測與機組排程，左中為今/明兩天之氣象局預測資料，左下為實際之負載、再生能源發電與機組輸出功率，右半部分為機組實際輸出功率與排程之對照圖。其中，DG1(Distributed Generation)代表柴油發電機，其工作功率區間為 10~200kW，實驗初期 DG1 多數時間仍照著排程發電，但後期便負責承擔補償 SOC 誤差所需的能量；DG2 代表微渦輪機，其工作功率區間為 10~65kW，由於其燃料成本較高，因此均為最小功率發電；另外，儲能系統 SOC 初始值自儲能系統讀取出來為 91%，終值設定為 92%。

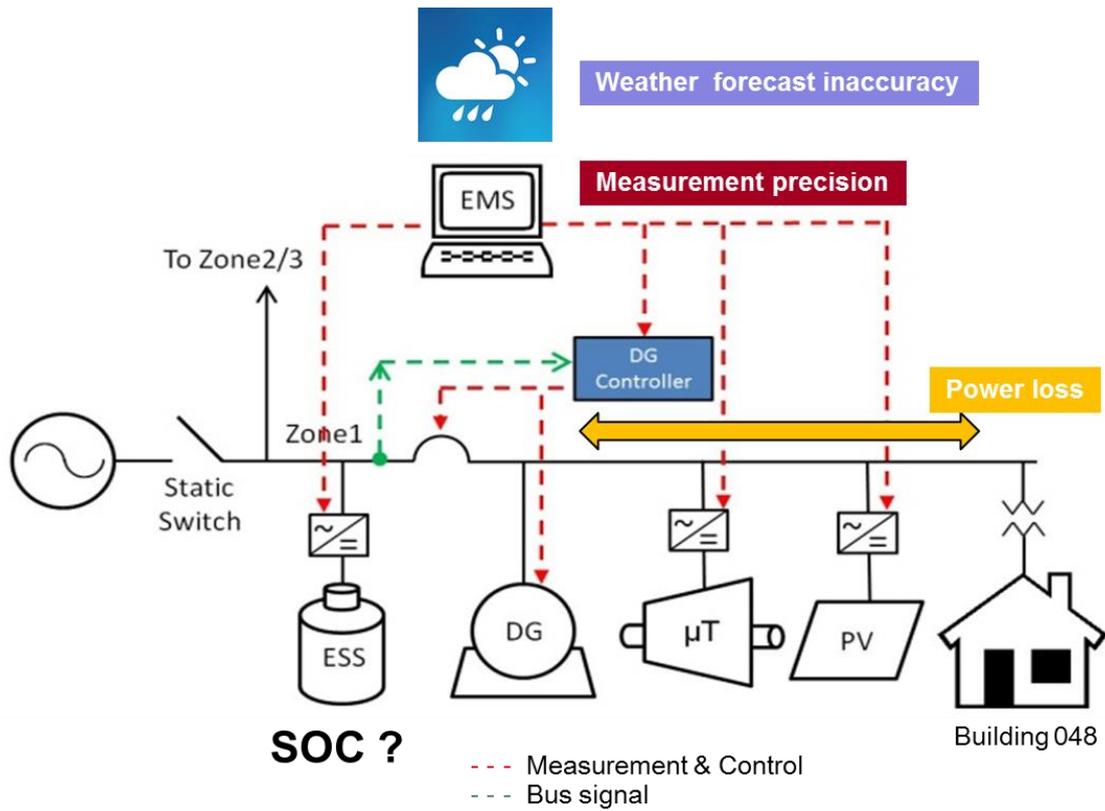


圖7、儲能系統承擔功率誤差的來源

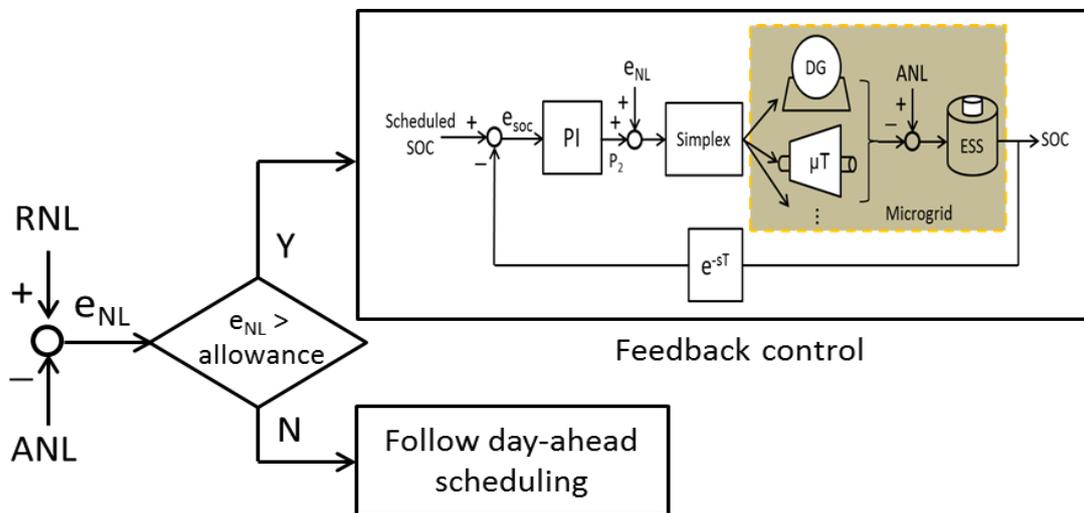


圖8、最佳化調度與控制技術流程

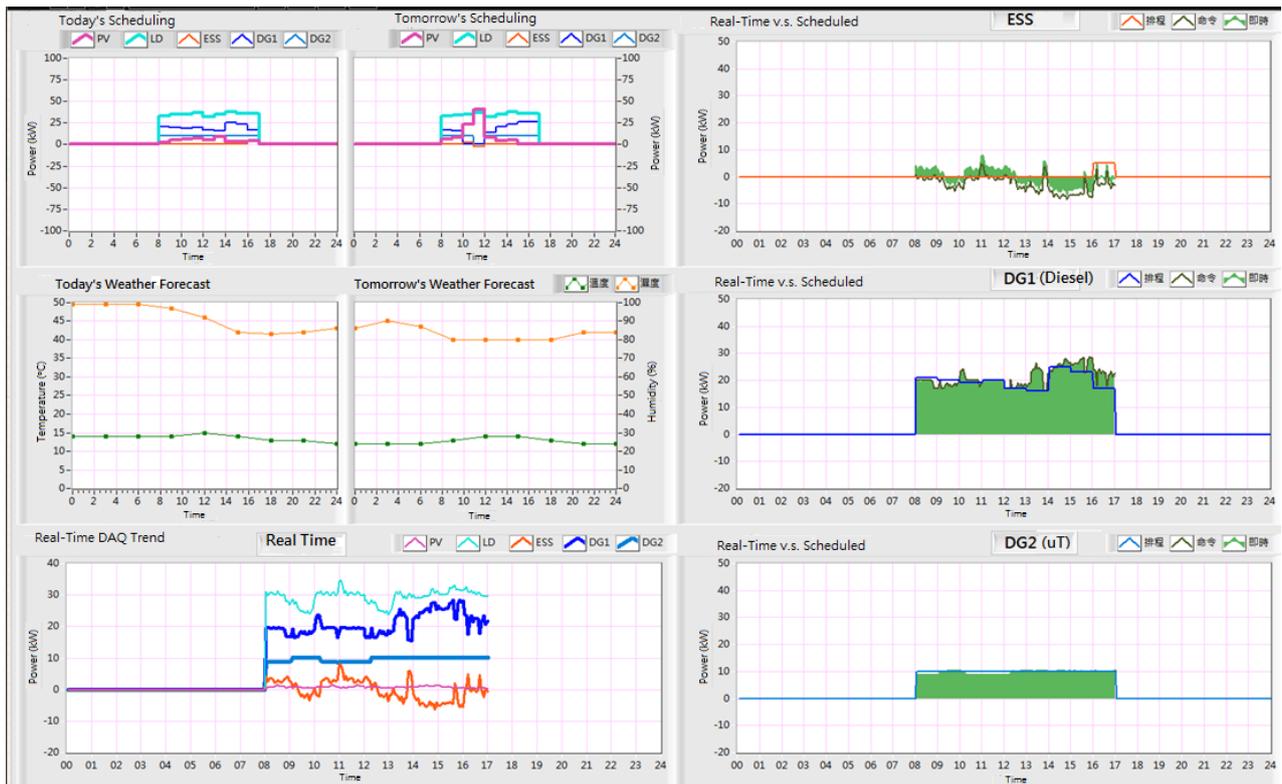


圖9、最佳化調度連續 9 小時孤島運轉測試結果

圖 10 則顯示 SOC 的控制情況，圖 11 則顯示有、無執行最佳化調度與控制技术成本花費比較，成本花費一 2,358 為有預測但無機組排程之估計結果，成本花費二 1,915 為有預測且有機組排程之估計結果；成本花費三 3,435 為有預測且有機組排程之實際結果，預測不準所產生之誤差淨負載由儲能系統承擔，成本花費四 3,034 為有預測、有機組排程且有即時調度之實際結果。經比較成本花費二與成本花費三，造成兩者之差異主要在於負載、太陽能之預測值與實際值有落差，儲能系統需承擔額外之功率所衍生之成本花費；而經執行最佳化調度與控制技术，成本花費四較成本花費三節省約 11.67%，且保障儲能系統能夠長時間穩定運轉。

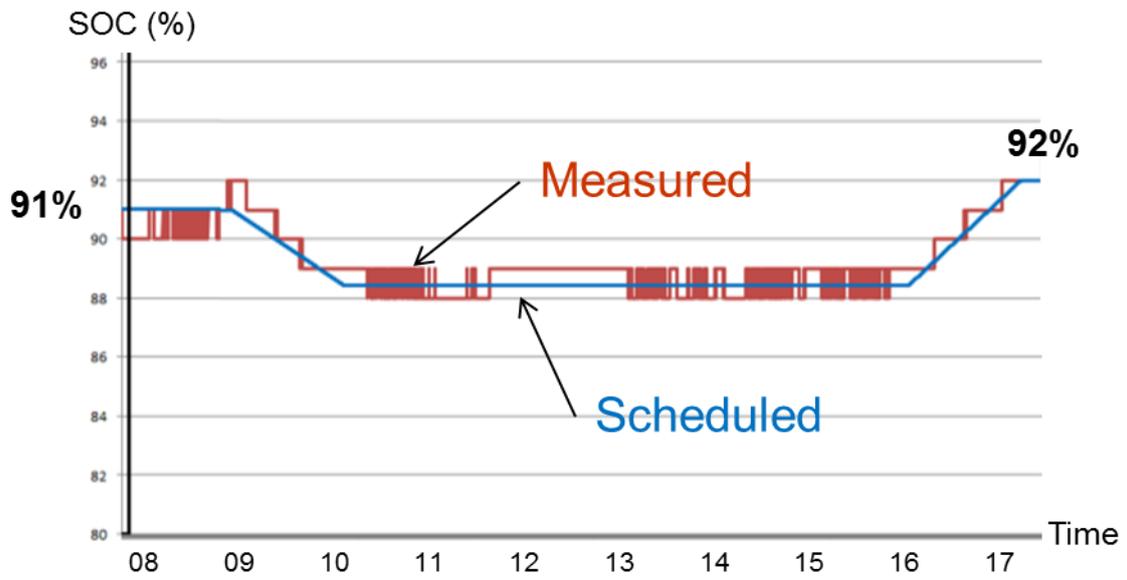


圖10、儲能系統 SOC 的控制情形

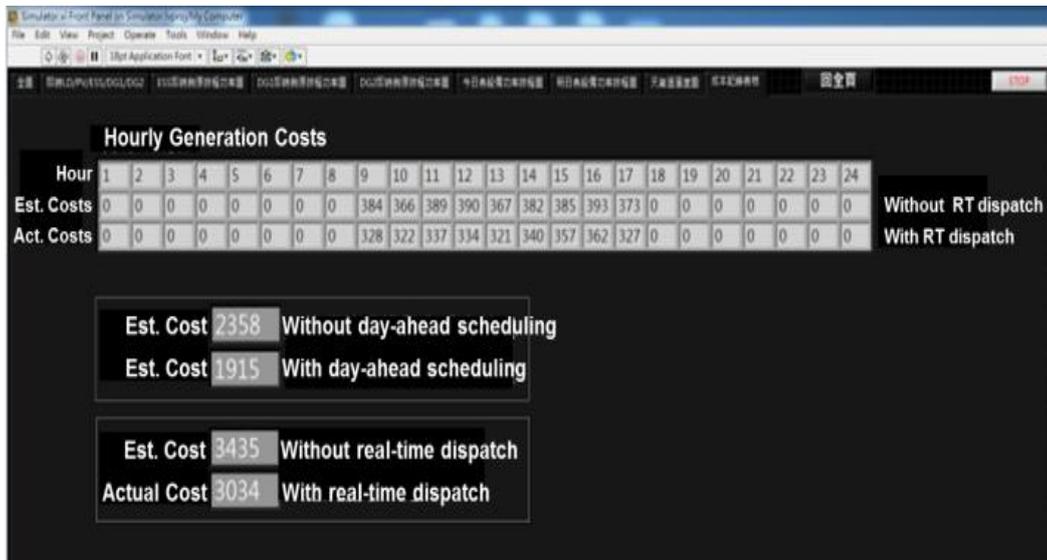


圖11、有/無執行最佳化調度與控制技術成本花費比較



圖12、孫士文發表論文過程

(三)、其他與儲能系統應用相關論文

(1) 「Development and demonstration of compressed air energy storage system for power compensation of intermittent renewables」

此篇論文由日本能源綜合研究所(Institute of Applied Energy, IEA)的 M. Ito 進行發表，主要是藉由壓縮空氣儲能(Compressed Air Energy Storage, CAES)系統進行電力調節，減緩風力發電的間接性所造成輸出功率之變動。該計畫是由日本新能源與工業技術發展組織(New Energy and Industrial Technology Organization, NEDO)所主導的 5 年計畫(2014-2018)，計畫名稱為 R&D on Grid Integration of Variable Renewable Energy，其中 CASE 系統的部分，是由 IEA 與早稻田大學共同執行。一般而言，CASE 有使用燃料與不使用燃料之區別，兩者間的比較請參見圖 13。

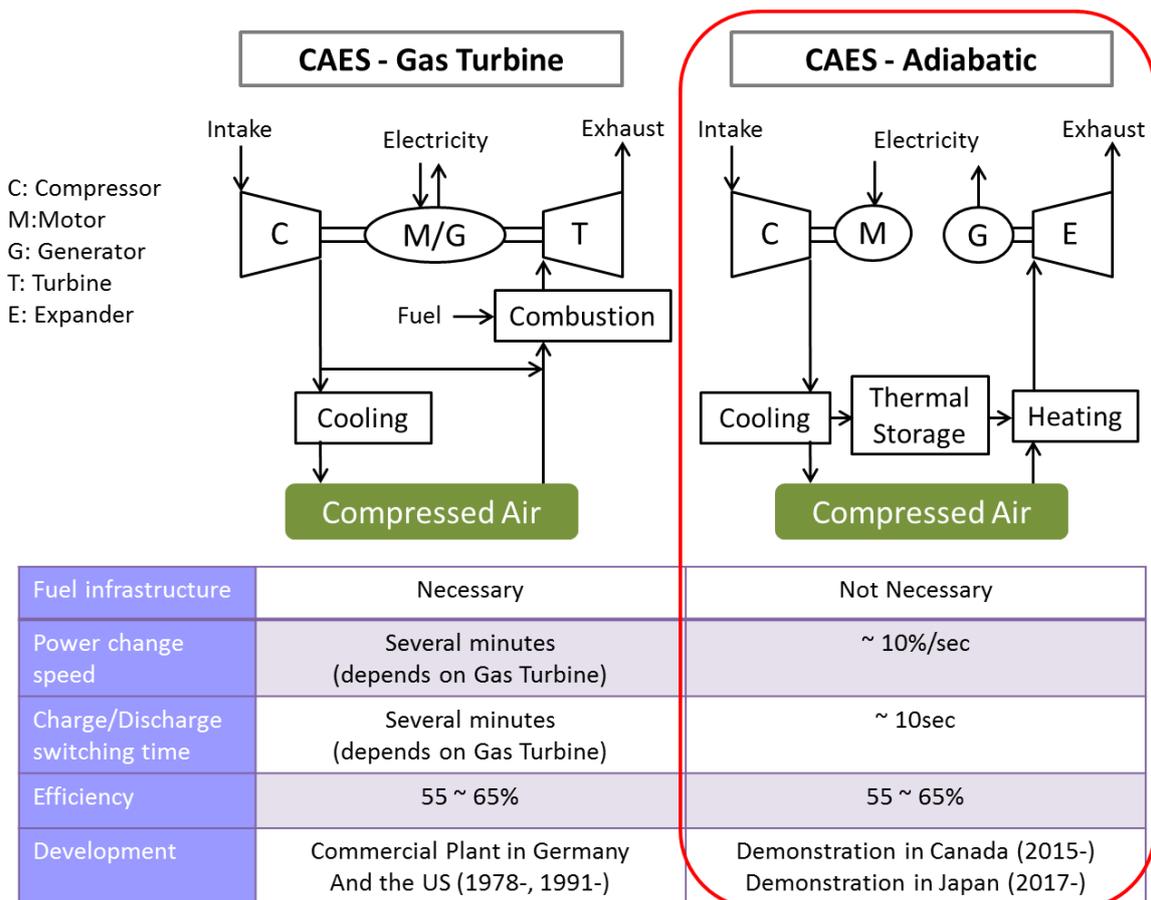


圖13、兩種壓縮空氣儲能系統的比較

該計畫使用不使用燃料的 CAES 系統，其工作原理如圖 14 所示，入口空氣在非常短的時間內，被壓縮機利用電力進行絕熱壓縮，造成空氣溫度上升；接

著，空氣中的熱量被傳遞至儲熱油(thermal media)，然後儲存於熱隔絕的容器內。當需要對外發電時，便由壓力容器內釋放壓縮空氣，而壓縮空氣被儲熱油加熱後膨脹，對外做功而由膨脹機產生電力。目前，作為能量存儲系統的主要技術的二次電池系統，具有高成本、短壽命（劣化）、廢物處理成本等的問題，並由於使用易燃材料，存在著火的危險並且需要充分的控制。相對而言，雖然 CAES 系統組件較為昂貴，但具有以下優點：(1)成本隨者技術成熟可能下降，(2)壽命長，(3)壓縮空氣易於處理，(4)技術可靠度高，(5)環保及不使用危險材料等。

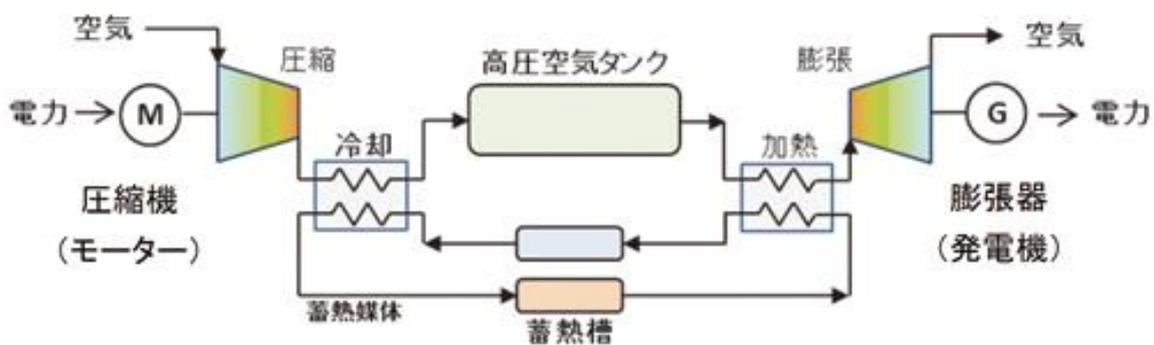


圖14、不使用燃料的 CAES 系統的工作原理

(來源：<https://www.iae.or.jp/2017/04/20/20170420news-release/>)

該計畫於伊豆半島南端的三筋山附近，實際建置了一座 CASE 系統儲能站，占地約為 1500 平方公尺，包含 52 座直徑 2 公尺，高 11.2 公尺，最大表壓力為 0.93 MPa 的壓縮空氣槽，以及兩座 500kW 的充放電機組，並於今年 4 月 27 日正式啟用(圖 15)，用以調整東京電力公司東伊豆風力發電廠（18,370 kW）的輸出電力。透過準確的天氣預報以預測次日的風力發電狀況，以進行 CASE 系統儲能站的日前排程，再根據 1 小時前的預測和周圍發電設備的運行狀態，進行排程修訂，並以每 30 分鐘為一個區間來調整儲能站的功率輸出(圖 16)，以減少風力發電的波動對電力系統的影響。



圖15、伊豆半島南端 CASE 系統儲能站啟用典禮
(來源：http://www.nedo.go.jp/ugoki/ZZ_100594.html)

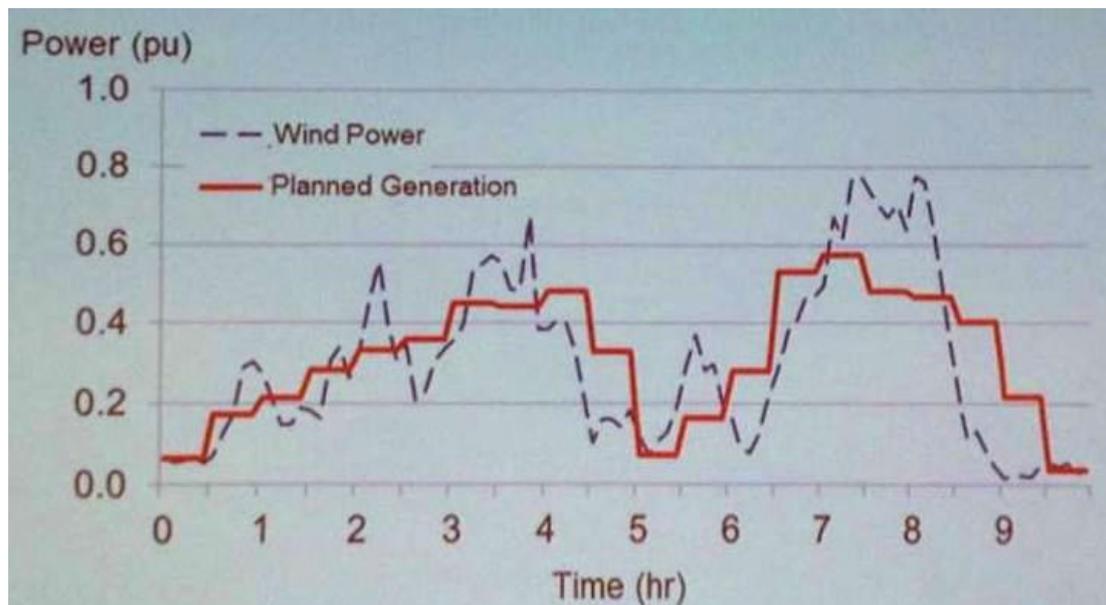


圖16、CASE 系統儲能站的調節規劃

(2) 「**Optimum operation plan of storage battery in consideration of temperature and life characteristics**」

此篇論文由日本廣島大學 Electric Power and Energy System 實驗室的山口信弘博士(Nobuhiro Yamaguchi)進行發表，主要是藉由熱傳遞學原理分析溫度對電池的影響，以及藉由充放電特性分析對電池壽命的影響，進而排定儲能電池

最佳的運轉計畫。

儲能電池與環境間的熱傳遞數學模型如圖 17 所示，而電池溫度及環境溫度的熱平衡數學式如圖 18 所示，其中 Q_j 為電池的焦耳熱，其值等於 I^2R ，也就是電池充放電的功率；藉由梯形積分法便可推導出電池溫度及環境溫度對時間的數學函式，值得注意的是，本數學函式均忽略熵(Entropy)所造成的能量損失。

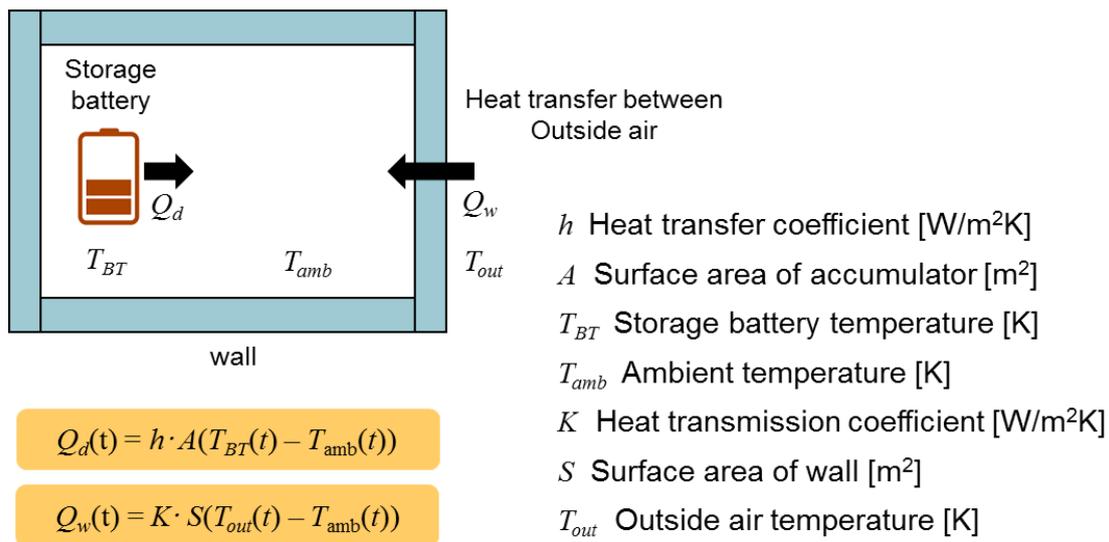


圖17、儲能電池與環境間的熱傳遞數學模型

$$C_{BT} \frac{\partial T_{BT}(t)}{\partial T} = Q_j(t) - Q_d(t)$$

$$C_{amb} \frac{\partial T_{amb}(t)}{\partial T} = Q_d(t) + Q_w(t)$$

Q_j Joule heat of battery [J]

C_{BT} Heat capacity of battery [J/K]

C_{amb} Heat capacity of air [J/K]

圖18、電池溫度及環境溫度的熱平衡數學式

另一方面，有關電池的壽命數學模型如圖 19 所示，是以最大還能累積的蓄電量對時間函式來表示。充/放電的狀態變數與電池的剩餘蓄電量(residual capacity)，則如圖 20 所示。

最後，以每日的最小用電費用為目標函數，並將溫度限制、電池壽命衰減限制考量到目標函數的最小化問題中，即可獲得儲能電池最佳的運轉計畫的排程，如圖 21 所示。

【Determination of maximum Capacity of accumulator battery】

$$B_m(t + 1) = B_m(t) - \frac{a}{100} B(t)$$

- B_m Maximum capacity of [kWh]
- B Storage battery residual capacity [kWh]
- a Storage deterioration capacity
- $\alpha_l \alpha_u$ Residual capacity upper/lower limit rate

【Residual capacity upper and lower bound constraints】

$$\alpha_l B_m(t) \leq B(t) \leq -\alpha_u B_m(t)$$

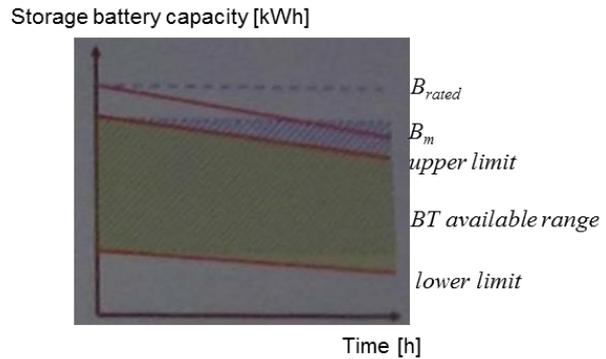


圖19、電池的壽命數學模型

- Define the variable dif^c, dif^d representing the charging /discharging state using 0-1 variable

【Charge and discharge mode】

Charge

$$dif^c(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } B(t) > B(t-1) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

↓

$B(t) - B(t-1) > M(dif^c(t) - 1)$

$B(t) - B(t-1) \leq M dif^c(t)$

discharge

$$dif^d(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } B(t) < B(t-1) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

↓

$B(t) - B(t-1) > M(dif^d(t) - 1)$

$B(t) - B(t-1) \leq M dif^d(t)$

M : very large constant

- Define the 0-1 variables cm and dm that take over the previous time to the state without charge or discharge

【 Dealing with no charging / discharging state 】

Charge

$cm(t) > dif^c(t)$

$cm(t) > cm(t-1) - dif^d(t)$

discharge

$dm(t) > dif^d(t)$

$dm(t) > dm(t-1) - dif^c(t)$

+

$cm(t) + dm(t) = 1$

dif^c, dif^d

cm, dm

charge

discharge

圖20、充/放電的狀態變數與電池的剩餘蓄電量

- Objective: minimize the electricity fee per day

$$\sum_{t=1}^{24} (c(t) \cdot P_s(t) - c_{pv} \cdot P_{sell}(t)) + c_{pd} \cdot P_{s \cdot max}$$

Electric energy charge
Power sell fee
Basic charge

c : Electricity price unit price [yen/kWh]

P_s : Purchased electric energy from grid [kWh]

c_{pv} : Power sale price unit price [yen/kWh]

P_{sell} : Volume of sold electricity [kWh]

c_{pd} : Constant electricity price per unit price per day [yen/kW]

$P_{s \cdot max}$: Maximum buying power in the consideration period [kW]

圖21、電池最佳的運轉計畫排程的目標函數

(四)、日本地熱協會參訪

2011 年福島核災事故後，日本政府除了積極推廣再生能源發展外，更對地熱發電的扶植系統進行了重大的改革，包含優惠的地熱能源併網供電電價 (Feed-In Tariff, FIT)，以及對大多數具有地熱資源潛力的自然公園地熱開發放鬆管制；使得多家公司宣布啟動地熱探勘研究或地熱發電廠建設，並於 2012 年 12 月 4 日成立日本地熱協會 (Japan Geothermal Association；簡寫為 JGA)，共有 64 個會員公司與 7 個特別會員機構，為相關業者進行如法規說明等行政支援；主要之業務包含：地熱發電研究、向政府和其他相關組織提出的建議和請願書、會員之間的地熱發電信息交流、促進對地熱發電的理解和推廣。JGA 的組織架構如表 1 所示，除了事務局長為專職外，其餘均來自會員公司與機構。本次參訪由會長小椋 伸幸親自負責接待，並由營運長安達 正畝、事務局長齋藤 徹與富士電機新事業開發部主任川原 義隆陪同，介紹 JGA 推廣地熱發電的成果，參訪過程照片如圖 22 及 23 所示。

表 1、JGA 組織架構

職稱	姓名	服務公司
會長	小椋 伸幸	石油資源開發
副會長	有木 和春	三菱材料
理事	森田 誠也 後藤 弘樹 石井 義朗 滿田 信一 中西 繁隆	日鐵礦業 出光興業 國際石油開發帝石 三菱瓦斯化學有限公司 電源開發有限公司
監事	高橋 龍 菅 牧夫	三井物產 地熱技術開發
營運長	安達 正畝	國際石油開發帝石
事務局長	齋藤 徹	專職



圖22、參訪 JGA 之合照



圖23、贈予會長禮品

本次參訪，首先由孫員簡報核能研究所於微電網的研發能量與成果，以及結合微電網與溫泉發電的相關規劃；接著，由會長小椋伸幸與事務局長齋藤徹說明日本政府如何於 2030 年以前，提高地熱發電的占比，以及 JGA 預計所擔任的角色。就地熱發電而言，日本是全世界第三大的地熱資源國家，日本政府為鼓勵境內的企業投入地熱發電產業，制定了十分優惠的 FIT，裝置容量低於 15MW 的 FIT 為每度電 40 日圓，裝置容量超過 15MW 的 FIT 為每度電 24 日圓，並且保證收購 15 年，使得許多的礦業公司、石油資源開發公司與電機公司等，於日本多處進行地熱資源探勘投資。但部分環保人士擔心開發地熱資源，會對於溫泉帶來影響，因此設立了相關的研究機構，例如福島再生能源研究所 (Fukushima Renewable Energy Institute；簡寫為 FREA)，開發新型態的地熱資源探勘技術以及超臨界地熱資源，相關的時序規劃如圖 24 所示。日本政府對於地熱相關人才的教育與培養，也是不遺餘力，分別在九州大學與京都大學設置專門的地熱資源系所，重視實驗、戶外實踐和實地調查，以便通過實地工作，可以體驗到地球上廣泛分佈的地下資源開發的理論和技術，並且積極安排至日本國內企業及暑假的海外實習，使得畢業生能學有所用。

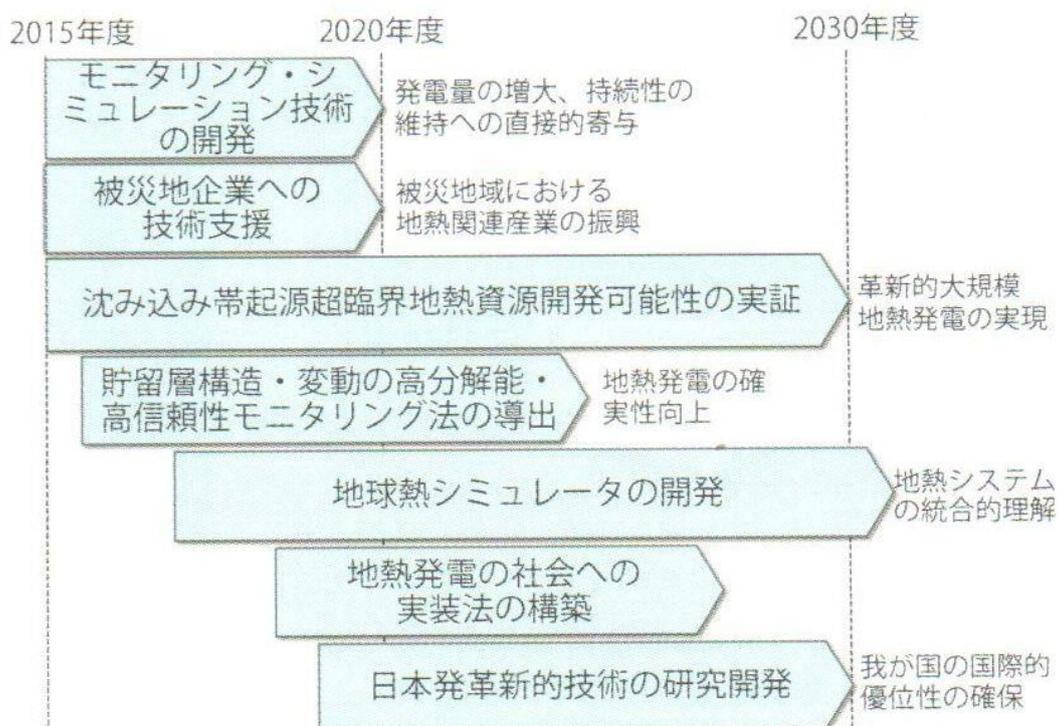


圖24、FREA 地熱研究時序規劃
(來源：福島再生能源研究所簡章截圖)

除了日本國內的地熱市場以外，JGA 也輔助旗下會員公司至海外拓展市場，尤其印尼最為吸引日本廠商的興趣，並且於去年完成第一個商轉案例，即九州電力公司於蘇門答臘島薩魯拉地區的大型地熱發電站商業運轉，另外還有住友商事於蘇門答臘島的 4 號 Ulubulu 地熱發電廠，可見日本地熱發電技術的成熟度，已足夠向海外進行電力市場的布局。對於核研所提出的結合溫泉發電之微電網，小椋伸幸會長認為：這是一個很好的構想，並且能替邊遠地區解決自然災害發生後的緊急供電需求；然而，高效率的二元有機朗肯循環 (Binary Organic Rankin Cycle, BORG) 發電機是溫泉發電的關鍵技術，由於九州為日本最多且規模最大的溫泉地熱發電區域，相關廠商均坐落於該處。為了提高 ORC 發電機的效率，除了使用白金等較好的導熱材質外，將現有的 Tube and Shell 型態熱交換器改為 Double Tube 型態熱交換器，能將熱交換效率提高約 20%，如圖 25 所示。最後，會長認為，適當利用地熱資源不僅有助於未來能源的穩定供應，也有助於區域活動；JGA 正在做出廣泛的努力，在與該地區共存的同時，利用先進的地熱發電技術，提供安全、穩定和清潔的電力。

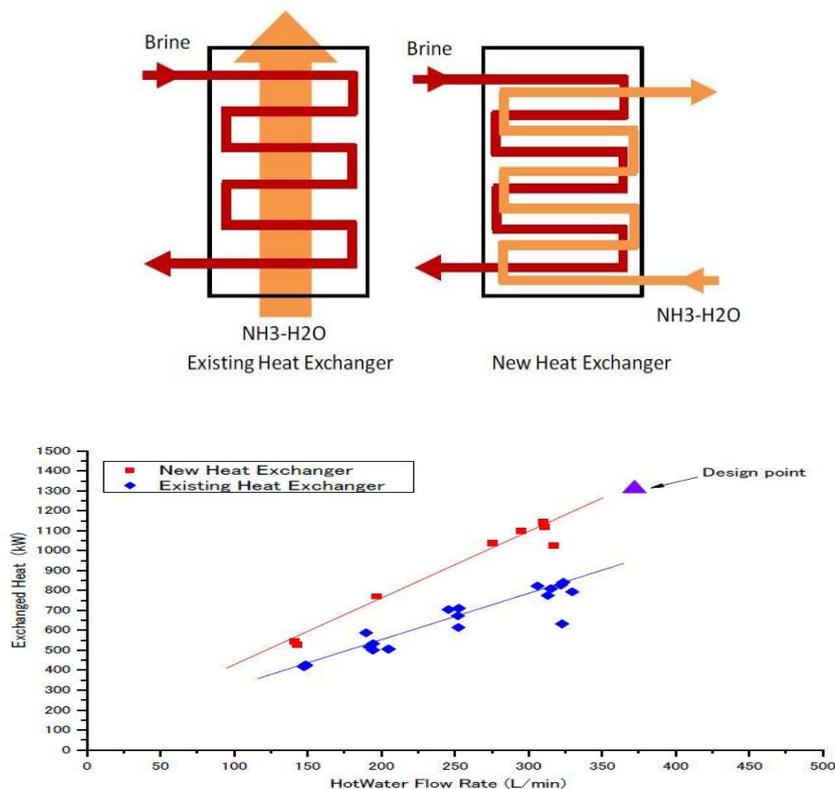


圖25、新舊型態 BORG 熱交換器之比較

(來源：“Development of Micro Grid Kalina Cycle System – The First Demonstration Plant in Hot Spring Area in Japan”, Masatake Sato, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.)

四、建議事項

本次孫員及高員赴日本參加「Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition」，與國際先進業界進行電力、儲能系統與微電網技術交流，不僅獲取國際能源系統、再生能源與微電網最新發展趨勢，有助於核研所未來在區域型分散力電力技術之研究規劃及相關領域技術開發，更可以與國際先進技術接軌。

此行除了參加上述研討會外，並且參訪了日本地熱協會，了解日本在地熱發電的規劃與執行，對於核研所未來推廣高效率的地熱發電微電網技術更有信心。針對此次國外公差心得，提出三項建議如下：

1. 於 GRE 研討會中得知，儲能系統是再生能源發展之一大重點。隨著再生能源占比提升，電網的穩定將會受到更多挑戰，而傳統的儲能系統並不具備輔助電網之功能。核研所宜著手開發智慧型儲能系統，減緩再生能源對電網造成之衝擊。
2. 另外，NEDO 嘗試使用多種儲能系統來平穩再生能源的發電，因時制宜的開發儲能系統來儲存不同再生能源電力，以調節再生能源的發電波動已成國際上之趨勢；核研所應著手研究各類型的再生能源發電設備搭配不同種類的儲能系統，研究其電力調節的適切性，以符合不同再生能源儲電之特性。
3. 日本不遺餘力地進行地熱發電的技術發展，並已達到技術可輸出之程度。核研所可透過派員實地參訪地熱發電廠，直接了解當地建置之技術與運維之執行，收集第一手技術資訊，並透過面對面的交流與學習，有利於核研所切入地熱發電之領域，並協助國內地熱發電產業與核研所微電網技術結合，進行區域電力系統穩定與高經濟價值之應用。

五、附 錄

(1)高俊廷發表論文之展示海報：



Power Smoothing Control of Battery Energy Storage Systems for Microgrid Applications

Battery energy storage systems(BESS) integrating neural network (NN) forecasting technique and a low-pass filter (LPF) with the power smoothing control for microgrid applications is proposed in this paper. The NN forecasting is developed to decide the mode of BESS with the power reference. Moreover, the LPF is designed with genetic algorithm (GA) based on the sizing of BESS can be carried out. Also, the BESS with a DC-AC inverter and a digital controller is presented to demonstrate the applicability and functionality for the power smoothing control for PV systems. Finally, the simulation and experimental results are shown to confirm the validity of the design concept.

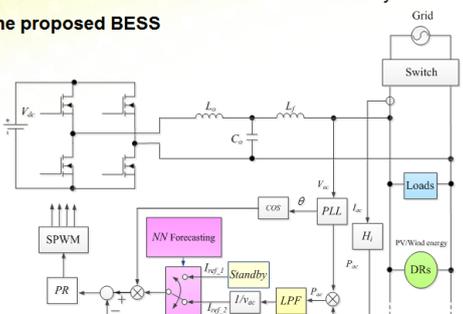
- The proposed BESS**


Fig. 1. Configuration of the proposed BESS

The circuit diagram and control block of the proposed BESS, which contains a battery system represented by the dc source, a full bridge inverter with sinusoidal pulse width modulation (SPWM), loads, and DRs is shown in Fig. 1. There are mainly two operation strategies: Standby mode and LPF mode. If the weather is stable and the NN forecasting curve is smooth, the BESS is in standby mode and will not compensate the generated power. On the other hand, when the forecasting curve has high rate of power fluctuation and the generated power fluctuation may go to outside the requirement, the BESS is in LPF mode for smoothing the output power fluctuation of renewable systems. The circuit rating and parameters for the system under test are shown in Table I.

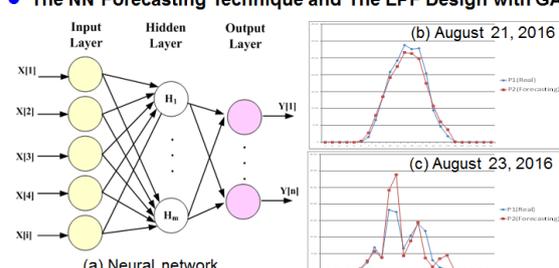
Parameters	Value
Rated power	1 kW
Utility voltage	110 V/60 Hz
DC input voltage	200 V
Output inductance (L_o)	1.5 mH
Output capacitance (C_o)	2 μ F
Switching frequency	20 kHz
- The NN Forecasting Technique and The LPF Design with GA**


Fig. 2. One-day-ahead prediction of the PV panel

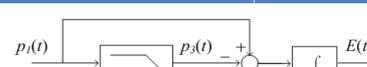
Fig. 2(b) and Fig. 2(c) are the comparisons between forecasting results and real data on August 21, 2016 and August 23, 2016, respectively. As shown in Fig. 2(b), it is possible to obtain good forecasting results by the NN learning in the insolation changing with regularity condition. On the contrary, Fig. 2(c) shows that the forecasting error is much larger in the insolation changing instability condition. A first-order LPF to smooth the output power fluctuations of renewable systems is used. Fig. 3 shows the block diagram of the storage energy of the BESS. The real-time PV generated power $p_1(t)$, which is measured by the BESS, can be translated into the power command $p_3(t)$ via the LPF.
- The Computer Simulation and Experimental Results**


Fig. 3. Smoothing the output power fluctuations of renewable systems.

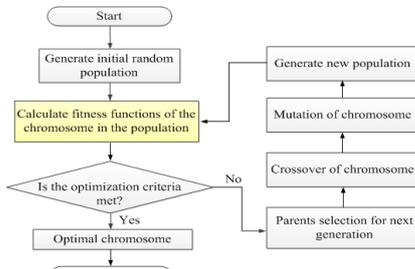


Fig. 4. Genetic algorithm procedure.

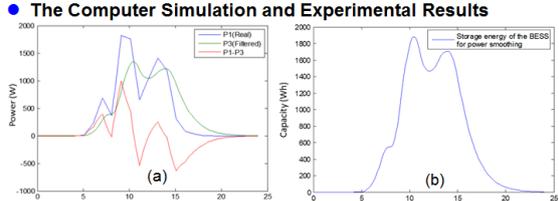
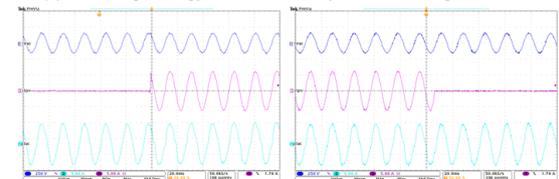


Fig. 5. Simulated results of (a) the power smoothing for the 3 kW PV panel and (b) the storage energy of the BESS for power smoothing control.



(a) PV generated current changing from 0 A to 4.3 A. (b) PV generated current changing from 4.3 A to 0 A.

Fig. 6. Experimental waveforms of the grid voltage, v_{ac} , the PV generated current, i_{pv} , and the smoothing current, i_{ac} of the BESS with PV generated current changing.

Jun-Ting Gao, Chin-Chan Cheng, Kuo-Yuan Lo
 Institute of Nuclear Energy Research (INER)
 E-mail: jtgao@iner.gov.tw

(2)孫士文發表論文之簡報資料：

Optimal Scheduling and Control Technology Research for the Isolated Microgrid

Shyh-Wern Sun
Institute of Nuclear Energy Research (INER)
21 June 2018

行政院原子能委員會
核能研究所
Institute of Nuclear Energy Research
Atomic Energy Science and Technology

Outline

- Introduction
- Site Description
- Advanced Energy Management System
- Case Study
- Summary

核能研究所

2

Introduction

- **Advantages of microgrid**
 - Operating in either islanded mode or grid-connected mode
 - Increasing penetration of the renewable energy
 - Decreasing power transmission loss
 - Reducing greenhouse gas emission
- **Benefits of energy storage system (ESS)**
 - Balancing demand and supply
 - Regulating power quality
 - Providing an energy reserve
 - Mitigating output power fluctuation
- **ESS operation challenges in an isolated microgrid**
 - Voltage and Frequency stabilities
 - Unbalanced loads compensation
 - State of charge (SOC) management
- **Reasons for SOC out of control**
 - Weather forecast inaccuracy
 - Power loss due to transmission and switching
 - Measurement precision

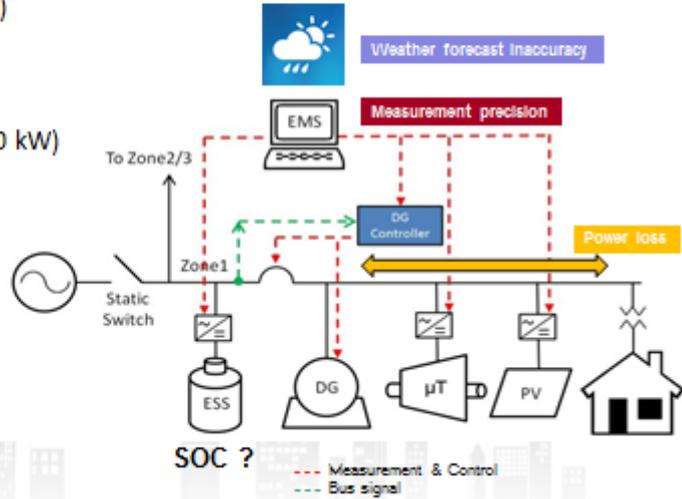
INER Microgrid

- First microgrid test field in Taiwan
- Accepts dispatch commands from utility DCMS to execute
 - Connection or disconnection with distribution feeder
 - demand response control via OpenADR protocol
 - providing stable power to distribution feeder as VPP



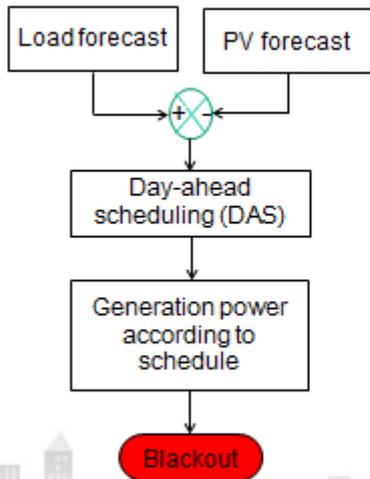
Infrastructure of Studied Microgrid

- Renewable Energy
 - PV (20 kW PV & 36 kW PV)
- Gensets
 - Microturbine (65 kW)
 - Diesel gen (200 kW)
- Energy Storage System
 - Serve as swing bus
 - Power converter (100 kW)
 - Battery (60 kWh)
- Load
 - Office (60 kW peak)



5

Problem in Conventional EMS

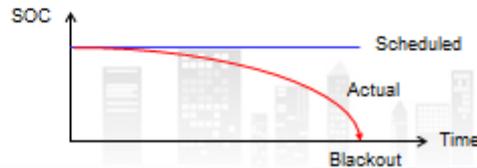


Use Neural Network to forecast PV & load

Blue line: forecasting
Yellow bar: actual

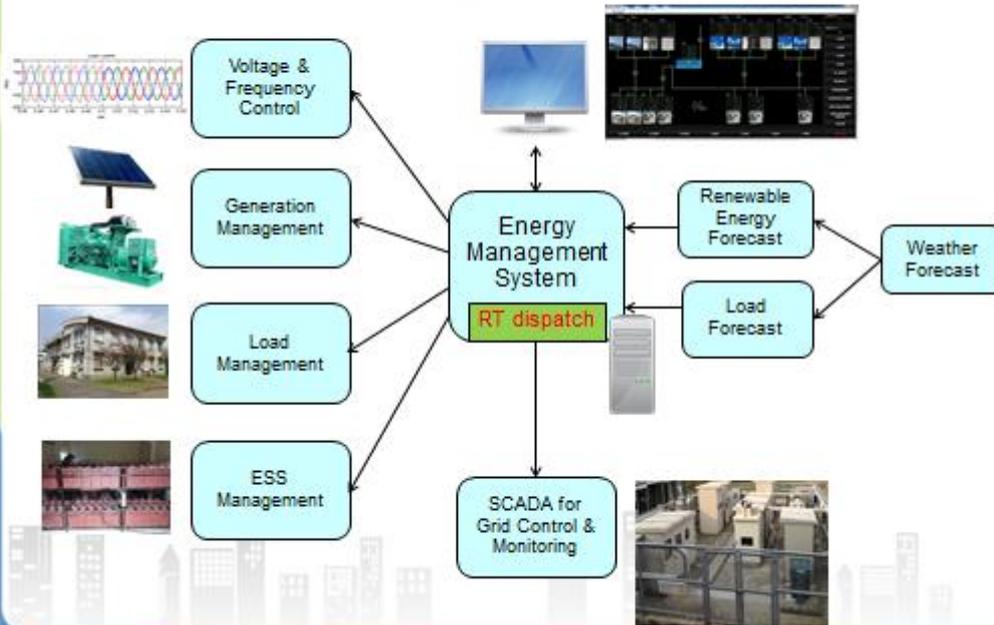
Use MIP or PSO to perform DAS in order to minimize operational cost

Once a microgrid runs in the isolated mode and adopts ESS as its swing bus, ESS will take over these deviations automatically and then miss away from its scheduled SOC.



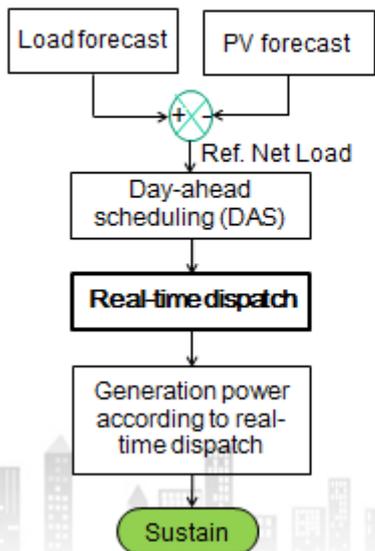
6

Functionality of Advanced EMS

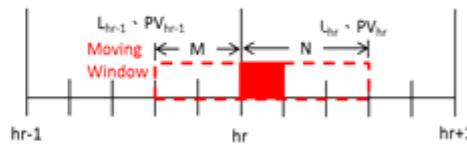


Real-time Dispatch

Step 1: Validation of day-ahead scheduling



- Actual Net Load (ANL) = Load – Renewable Energy.
- Reference Net Load (RNL) = Forecast Load – Forecast Renewable Energy.
- Because 1-hour time interval is too rough to reflect ANL gradient changes, RNL is cut into several subsections.



■ Current time subsection

$$RNL = \frac{M}{M+N} (L_{hr-1} - PV_{hr-1}) + \frac{N}{M+N} (L_{hr} - PV_{hr})$$

- Net Load Error is used to evaluate forecast accuracy.

$$e_{NL} = RNL - ANL$$

Real-time Dispatch

Step 2: SOC Control with minimum cost

- If e_{NL} is allowable, **next** subsection will follow schedule.
- If not, **next** subsection will actuate real-time dispatch.
- If e_{SOC} is not allowable, **next** will actuate RT dispatch, too.

- During RT dispatch, Simplex is used to minimize the operational cost.
- During RT dispatch, feedback control and PI controller are used to eliminate SOC error.

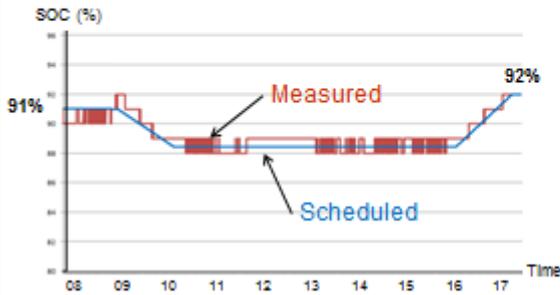
9

9-hour Continuous Operation Test

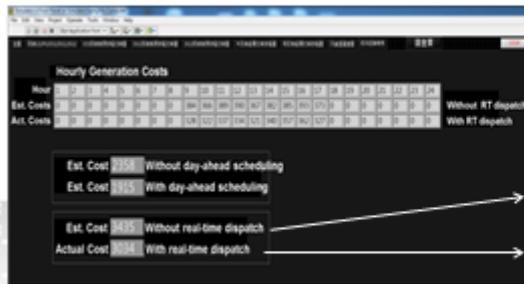
- Weather forecast data: 13~14°C in temperature, and 80%~100% in humidity.
- DG1 is diesel engine with 0~200kW power constraint, DG2 is μT with 10~65 kW.
- Initial SOC is 91%, and Final SOC is scheduled as 92%.

10

SOC Control Result & Costs Comparison



- The SOC is well-controlled.
- The measured SOC fluctuation is caused by 1% metering precision.



- 1USD = 30NTD
- Cost without RT dispatch is 114.5 USD.
- Cost with RT dispatch is 101.13 USD.

Summary

- As a microgrid runs at isolated mode and uses ESS as its swing bus, SOC control is a crucial issue.
- However, many unexpected factors would truncate SOC.
- This study proposes a real-time dispatch scheme to deal with both the SOC control and economic operation.
- Experiment shows not only the SOC is maintained well, but also the isolated microgrid operated economically.