

出國報告（出國類別：其他）

赴新加坡參加「第4屆電力與能源系統
國際研討會」及參訪屋敏島微電網設施

服務機關：核能研究所

姓名職稱：鄭勝璋 研究員

李奕德 副研究員

派赴國家：新加坡

出國期間：103年11月20日~103年11月25日

報告日期：103年12月25日

摘要

核研所近年來發展自主式分散型電力控管技術，目前正建置國內首座可接受台電調度之微電網，建構虛擬電廠場域雛形，發展虛擬電廠之能源管理與控制技術，協助台電系統穩定運轉及調度。核研所鄭勝璋副研究員及李奕德副研究員本次參加「2014 年第四屆電力與能源系統國際研討會(2014 4th International Conference on Power and Energy Systems, ICPEs 2014)」，以及發表會議論文，討論運用智慧型能源管理系統 (Intelligent Energy Management System, iEMS) 集中控制方法於高佔比太陽能發電系統之配電饋線間進行負載轉移，以防止電壓變動過大。另外，配合計畫產業化的規劃，我們會同 DNV GL 公司參訪了新加坡屋敏島的微電網系統，以及參加全球太陽能金融研討會。主要心得包括電力與能源系統的技術發展，儲能系統也被用來提供電力系統之輔助服務，以提高用戶端儲能系統投資之經濟效益；在風力發電方面的進階控制策略技術，可以有效抑低高佔比風電系統引入電網的電壓波動；實際參訪屋敏島微電網，明瞭微電網系統維運與擴充規劃訊息，可以協助台灣廠商參與屋敏島微電網第二期工程建置的機會；參加全球太陽能金融研討會，可了解太陽能產業的商業創新模式及財務創新模式，增進核研所對發展中的再生能源技術認識。最後，主要建議事項包括：(1)為提高用戶端儲能系統經濟效益，美國近來已進行儲能系統於電力躉售之效益分析，核研所微電網亦可依此方向進行儲能系統電力躉售交易及能源服務模式分析。(2)為有效利用再生能源發電，國內外許多研究進行能源管理系統分析，本所亦可針對市電併聯與孤島下之微電網開發能源管理系統平台，使微電網於各種運轉模式下皆可達連續穩定運轉。(3)本所可透過派員赴國外實地參訪微電網設施收集第一手技術資訊及面對面心得交換與意見交流，吸取微電網技術與發展實戰經驗，以利本所微電網計畫產業化作為。

目 次

摘 要.....	i
一、 目 的.....	1
二、 過 程.....	2
三、 心 得.....	3
(一) 參加 2014 the 4 th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES).....	3
(二) 參訪屋敏島微電網系統.....	20
1.第一期屋敏島微電網試驗場之運作.....	22
2.第二期屋敏島微電網試驗場建置規劃.....	31
(三) 參加 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 之太陽能金融全球趨勢研討會.....	32
四、 建 議 事 項.....	48

圖目錄

圖一、會議註冊報到.....	7
圖二、會議全體參與者.....	7
圖三、論文發表過程.....	7
圖四、澎湖七美電力系統單線圖.....	8
圖五、iEMS 三階段控制模式.....	9
圖六、七美電力系統饋線轉供案例分析.....	10
圖七、與會議主持人討論國際智慧電網相關議題研究.....	10
圖八、交流與直流家庭用戶配電系統.....	11
圖九、直流與交流配電之負載用電曲線.....	12
圖十、市電負載與太陽能發電曲線.....	13
圖十一、電池充放電量曲線.....	13
圖十二、直流與交流配電系統損失曲線.....	13
圖十三、日負載用電量及交直流配電系統供電量及損失.....	14
圖十四、儲能系統 A 與 B 之價值.....	16
圖十五、典型風電-儲能系統架構及其輸出電力波動圖.....	17
圖十六、風電-儲能系統在春季週間的輸出電力模擬結果.....	18
圖十七、儲能系統(BESS)在春季週間的充放電狀態(SOC)模擬結果.....	19
圖十八、風電-儲能系統在春季週間的輸出電力波動的模擬結果.....	19
圖十九、風電-儲能系統在各季節的輸出電力波動之比較.....	20

圖二十、風電-儲能系統在各季節輸出電力波動超過限值機率的比較	20
圖二十一、核研所與 DNV GL 人員於屋敏島上合影	21
圖二十二、屋敏島微電網試驗場營運機房	22
圖二十三、微電網建置前之屋敏島電力供應情形	22
圖二十四、第一階段已於屋敏島 Jetty Area 建置的微電網	24
圖二十五、屋敏島上太陽光電的建設(1/3)	25
圖二十六、屋敏島上太陽光電的建設(2/3)	25
圖二十七、屋敏島上太陽光電的建設(3/3)	25
圖二十八、屋敏島微電網試驗場 1MWh 容量之鉛酸電池組	26
圖二十九、生質柴油燃料貯存桶	26
圖三十、生質柴油發電機機房	27
圖三十一、生質柴油發電機一	27
圖三十二、生質柴油發電機二	28
圖三十三、儲能系統之交直流電力轉換器機台之功能控制面板	28
圖三十四、電能管理系統畫面	29
圖三十五、電池充放電狀態與太陽能使用曲線圖	29
圖三十六、屋敏島微電網週末負載用電曲線圖	30
圖三十七、屋敏島微電網週間平日(2014/8/20)負載曲線圖	30
圖三十八、屋敏島微電網晴天太陽能(2014/5/10)發電量曲線圖	31
圖三十九、屋敏島微電網陰天太陽能(2014/5/19)發電量曲線圖	31

圖四十、LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 之太陽能金融全球趨勢研討會講員名單	33
圖四十一、核研所與 DNV GL 人員於 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會合影	33
圖四十二、LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會海報	34
圖四十三、LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會會場	34
圖四十四、再生能源專案之風險狀況	36
圖四十五、證券化案例研討	37
圖四十六、綠能信託基金(Green Trusts)案例研討	38
圖四十七、太陽能債券(Solar Bond)案例研討	38
圖四十八、群眾採購(Crowd Sourcing)案例研討	39
圖四十九、公用事業規模-直銷案例研討	40
圖五十、商業電廠案例研討	40
圖五十一、PV 的技術風險(1/2)	41
圖五十二、PV 的技術風險(2/2)	42
圖五十三、太陽能資源和收益評估	42
圖五十四、照射不確定性的來源	43
圖五十五、節能評估和緩解因素	43
圖五十六、技術選擇：模組	44
圖五十七、技術選擇：逆變器	45
圖五十八、PV 電廠設計	46
圖五十九、PV 合約協議	46

圖六十、技術創新與趨勢..... 47

表目錄

表一、2014 ICPES 議程.....	4
表二、2014 ICPES 發表論文.....	4
表三、家庭負載用電規格.....	12
表四、儲能系統技術規格與市場交易參數.....	15
表五、儲能系統參數.....	15

一、目的

核研所近年來發展自主式分散型電力控管技術，目前正建置國內首座可接受台電調度之微電網，建構虛擬電廠場域雛形，發展虛擬電廠之能源管理與控制技術，協助台電系統穩定運轉及調度。核研所鄭勝璋副研究員及李奕德副研究員本次參加「2014 年第四屆電力與能源系統國際研討會(2014 4th International Conference on Power and Energy Systems, ICPES 2014)」，以及發表會議論文「Enhancement of PV Penetration with Centralized Control Method in Cimei Island Distribution System」，本論文討論運用智慧型能源管理系統 (Intelligent Energy Management System, iEMS) 集中控制方法於高佔比太陽能發電系統之配電饋線間進行負載轉移，以防止電壓變動過大。該方法包括三種控制方式，各自具有不同的控制算法，能够在多個太陽能系統之電力轉換器上，調節太陽能發電的無效功率和有效功率輸出。在配電系統饋線執行負載轉移之前後，iEMS 根據配電饋線段的電抗，計算太陽能發電系統與饋線公共連接點 (Point of Common Coupling, PCC) 所需的無效功率補償，使得電壓支持的輔助服務可以由所有太陽能系統以更公平的方式提供。另外，我們也配合計畫產業化的規劃，會同 DNV GL 公司參訪了新加坡屋敏島的微電網系統，以掌握台灣廠商參與屋敏島微電網第二期工程建置的機會。此行並參加有關全球太陽能金融研討會，了解太陽能產業的商業創新模式及財務創新模式，增進核研所對發展中的再生能源技術認識。

二、過 程

本次行程主要包含參加國際學術會議及參訪微電網系統等 2 個部分，首先參加 11/21~11/23 於新加坡舉辦之 2014 年第四屆電力與能源系統國際研討會，接著 11/24 參訪新加坡屋敏島微電網系統，並參加全球太陽能金融研討會。

行 程				公差地點		工 作 內 容	
月	日	星期	地點		國名		地 名
			出發	抵達			
11	20	四	台北	新加坡			鄭勝璋及李奕德去程
11	21 ~ 22	五/ 六			新加坡	新加坡	參加 2014 4 th International Conference on Power and Energy Systems, ICPES 2014)
11	23	日			新加坡	新加坡	資料整理
11	24	一			新加坡	屋敏島	1.參訪屋敏島微電網系統 2.參加全球太陽能金融研討會
11	25	二	新加坡	台北			回程

三、心得

(一) 參加 2014 the 4th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)

電力與能源系統國際研討會(International Conference on Power and Energy Systems, ICPES) 是由計算機科學與訊息技術國際協會(International Association of Computer Science and Information Technology, IACSIT)主辦，並由美國研究協會 (American Society for Research, ASR) 贊助。IACSIT 協會為一註冊且非營利之科學協會，從事計算機科學與訊息技術研究，其會員包括研究發展中心之院長、主任、教授、科學家、工程師等傑出學者。此協會在計算機科學與訊息技術推廣上扮演重要角色，其任務在於促進跨領域合作及引導前瞻技術之研究，因此每年定期舉辦各種國際會議與學術研討會，其中有關電力及能源相關會議如下：

- International Conference on Electrical Energy and Networks
- International Conference on Power and Energy Systems
- International Conference on Renewable Energy and Bioenergy
- International Conference on Mechanical and Electrical Technology
- International Conference on Power and Renewable Energy
- International Conference on Advances in Electronics Engineering
- International Conference on Electrical and Electronics Engineering

本次「2014 年第四屆電力與能源系統國際研討會 (2014 4th International Conference on Power and Energy Systems, ICPES 2014)」在新加坡舉辦，此會議共有 168 篇論文投稿，其中 38 篇被接受及發表，並將刊登在機械與材料應用之 EI 期刊 (Applied Mechanics and Materials Journal)。與會者除了多為學術研究單位人員之外，亦有產業界人士參加，可提升產業技術及服務。表一為第 4 屆電力與能源系統國際研討會(2014 ICPES)議程，主要包括兩場主題演講 (Keynote Speeches) 及口頭論文發表 (Oral Presentation Sessions)兩大部分。表二為 2014 ICPES 論文，共有六場次，核研所所發表之論文 Enhancement of PV Penetration with Centralized Control Method in Cimei Island Distribution System 即列於 Session 3 議程內發表。

表一、2014 ICPES 議程



Conference Schedule

Day 1, Friday, November 21, 2014 – Onsite Registration Only

Registration: Level 3 Foyer	
09:30a.m.-12:00p.m. 14:00p.m.-17:00p.m	Arrival, Registration and Conference materials collection **Certificate for Participant can be collected at the registration counter**

Day 2, Saturday, November 22, 2014 – Presentation Day

Simple Version:

Quality Ballroom (3rd Floor) 08:30a.m.-12:05p.m.			
Morning	08:30am-08:35am	● Opening Remarks	
	08:35am-09:20am	Keynote Speech I:  Prof. Michael Pecht, Center for Advanced Life Cycle Engineering (CALCE) A. James Clark School of Engineering, USA	
	09:20am-10:05am	Keynote Speech II:  Prof. Nopbhorn Leeprechanon, IEEE-PES Thailand Chapter and Unit Head of Power System Planning and Energy Policy Research, Thammasat University, Thailand	
	10:05am-10:10am	Plenary Photo	
	10:10am-10:20am	Coffee Break	
	10:20am-12:05pm	Quality Ballroom (3 rd Floor)	Session 1
			Session 2

Afternoon --- Author's Oral Presentation <u>13:00pm-19:00pm</u>		
	Quality Ballroom (3 rd Floor)	Emerald Room (2 nd Floor)
13:00pm-16:00pm	Session 3	Session 4
16:00pm-16:10pm	Coffee break	
16:10pm-19:00pm	Session 5	Session 6

表二、2014 ICPES 發表論文

1. Power Quality Compensation using Superconducting Magnetic Energy Storage
2. Classification of Voltage Sag using Multi Resolution Analysis and Support Vector Machine
3. Pathway for China' s green energy growth: A long-term strategic perspective
4. Investigation of Cold Flow Properties of Waste Cooking Biodiesel
5. Voltage Standardization of DC Distribution System for DC Residential Buildings
6. Analysis of Smoothing Effect of Residential Electricity Demand Using Measured Data
7. Transformer Differential Protection Using Process Bus According to IEC 61850-9-2 and Non-Conventional Instrument Transformers

8. Power System Stabilizer Parameters Designing Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm
9. A Systematic Approach for Optimal Design of SVC Controller Reduce the Disturbances in Electric Arc Furnace using Genetic Algorithm
10. Challenges Due to Operation of Turboshaft Engine with Synthetic Gas
11. Ecology and Water Supply Based Multi-Objective Optimal Dispatch Model And Its Case Study in Yangtze Basin
12. The Ecological Optimization Dispatch of the Three Gorges Reservoir Considering Aquatic Organism Protection
13. Adapt to Multi-Participant of the China Power Market Modeling Design
14. Matlab/Simulink based Model of Non-ideal Zeta Converter
15. Using STATCOM to Compensate for Dynamic Variations in a Power System with an Attached Large-scale Wind Farm
16. A Hybrid System Approach to Static Var Compensator Modeling and Control
17. Enhancement of PV Penetration with Centralized Control Method in Cimei Island Distribution System
18. Economic Value of Grid-Scale Storage in Wholesale Electricity Markets
19. Analysis of Earthing System Cabinet of Telekom Malaysia
20. Feasibility Analysis for the Application of Grid Connected Solar Photovoltaic Technologies in Food Manufacturing Plant
21. Optimal Placement of TCSC in Power Market
22. Energy Efficiency in residential Buildings with well-established Energy Management Systems
23. Optimal Location and Size of the DG' s in Distribution System for Time Varying Loads to Minimize the System Losses
24. Effects of DFIG Wind Power Generation on Vietnam Power System
25. Performance Modeling and Parametric Analysis of a Double Glazed Solar Oven
26. Robust Backstepping Controller for Grid-Side Converter of Doubly Fed Induction Generator Enabling Low Voltage Ride Through
27. Role of Energy Exchanges for Power Trading in India
28. Application of Grid-level Battery Energy Storage System to Wind Power Fluctuation Smoothing
29. Enhancement of Power Transfer Capability of Interconnected Power System using U.P.F.C
30. Comparative study of Parameter Estimation Methods for Solar Irradiation Forecasting
31. Short-Term Wind Speed Forecasting with A Cascade Hybrid Method
32. Day-ahead Electricity Price Forecasting Using Relevance Vector Machine

33. Development of Correlation for Thermophysical Properties of Supercritical Oxygen to be used in SMES
34. The Design of the Nozzle for the Nozzle Box Microturbines
35. Application of Explosive Production Managing System based on Internet of Things
36. Preparation and Characterization of Nickel and Copper Oxide/Hydroxide Films on Stainless Steels Substrates for Use As Cathodes In Alkaline Water Electrolysis
37. Security of Supply and Generation Reserve Management Delegation under extremely High Load Curtailment Cost
38. The Impact of Distributed Generators Placements on The Reliability of Typical Industrial Power Distribution System

參加會議的第一天註冊報到，蒐集論文資料與熟悉會議場地，如圖一所示，接著準備發表論文之簡報資料，並與國外教授學者討論有關電網發展現況與進行技術交流。第二天參加會議開幕及兩場演講，其中第一場由美國 Maryland 大學機械工程與應用數學系之 Michael Pecht 講座教授進行有關微電子產品與系統策略規劃、供應鏈管理、風險評估及可靠度分析等演講，他也是先進生命週期工程中心(Center for Advanced Life Cycle Engineering, CALCE)的創立主任。第二場則由泰國 Thammasat 大學電機與電腦工程學系之 Nopbhorn Leeprechanon 教授主講有關電網級儲能電池之充放電技術，其專長為電力系統運轉與規劃、電力經濟與能源政策，他也是推動泰國智慧電網重要一員。本次會議參與者如圖二所示，在聽完演講後，即參加微電網與智慧電網相關論文發表之會議場次。而本所論文在 Session 3 發表，該會議主持人為 Shailendra Kumar Mittal 教授，發表過程如圖三，主要說明運用智慧型能源管理系統(iEMS)的集中控制方法，於高佔比太陽能發電系統(PV)之配電饋線間進行負載轉移後，來防止電壓變動超出規範。該方法包括三種控制模式，包括最大功率控制、功率因數控制與協調控制。藉由提出的控制演算法，在執行饋線負載轉移時，iEMS 可依據饋線區段電抗參數發出控制指令，調整每個 PV 換流器輸出實/虛功率，來輔助調控配電饋線電壓。本文選擇澎湖七美島實際配電饋線進行研究，運用電腦模擬方式來驗證饋線間負載轉移後，該控制方法可以有效平均分配所有 PV 虛功補償和實功率，解決配電饋線之間負載轉移後電壓變動過大的問題，使得配電系統中 PV 滲透率得以提升。



圖一、會議註冊報到



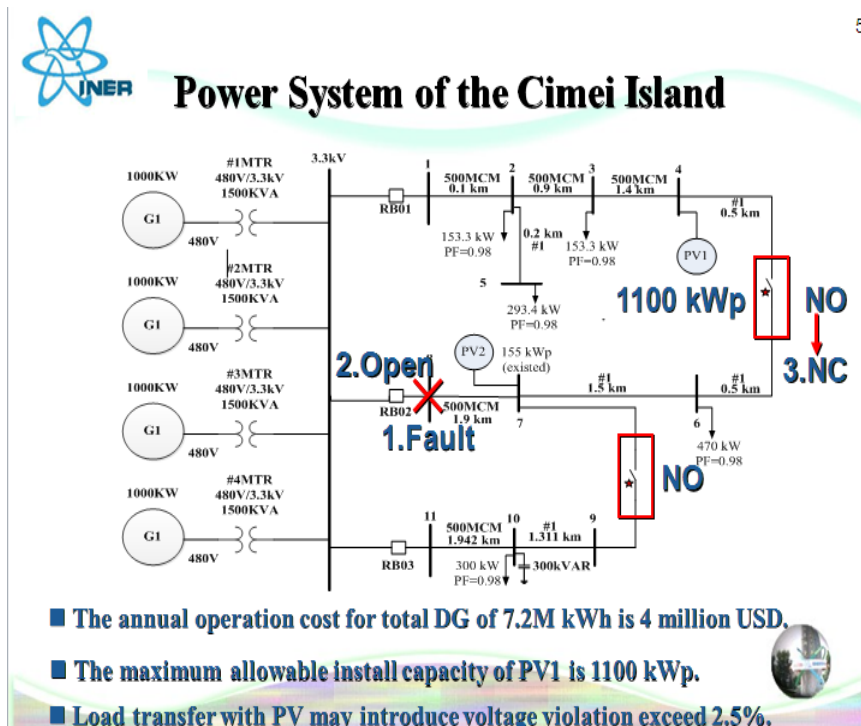
圖二、會議全體參與者



圖三、論文發表過程
第 7 頁

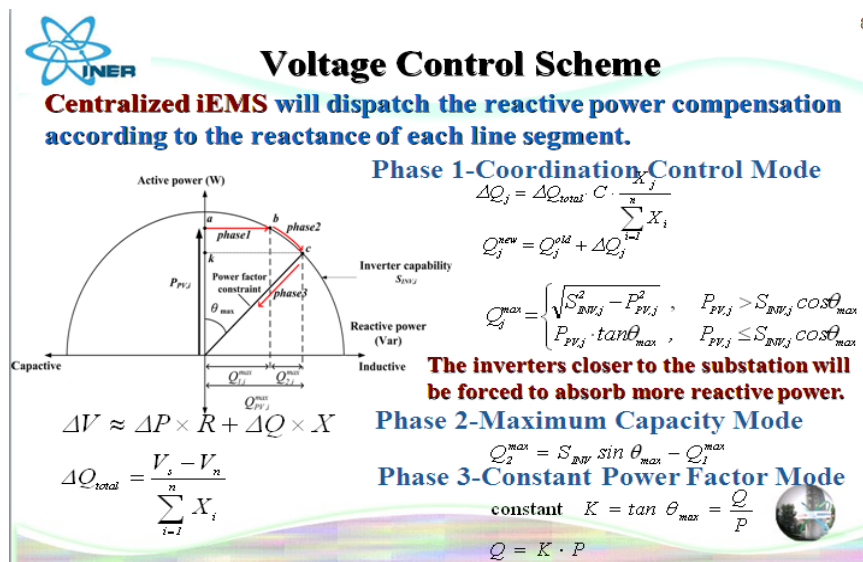
底下即為本篇論文發表簡要說明：

本文選擇位於澎湖本島南方七美島嶼之電力系統作為研究對象，如圖四所示，島上僅有一座發電廠，共有 4 部柴油發電機組，每部機組額定容量皆為 1,000kW。四座主變壓器容量皆為 1,500kVA，將電壓由 480V 升為 3.3kV，以供應 RB01、RB02 和 RB03 三條饋線用電。全島最低負載用電量為 505kW，最高負載量為 1,570kW。在系統負載較低時，發電廠只有啟動一部機組，當負載大於 800kW，則有兩部機組供電，發電廠全年發電量約 7.2 百萬度，每年花費約 4 佰萬美金。台電目前除了在 RB02 饋線建置 155kWp 的太陽光電系統外(PV2)，另科技部能源國家型計畫為了提高再生能源占比與降低離島柴油發電成本，亦規劃在 RB01 饋線新增設大型太陽光電系統(PV1)，由於太陽光電系統輸出電力變化大，為了符合配電系統電壓變動在 2.5%之內，PV1 之最大併接容量為 1,100kWp。除此之外，為了提高饋線供電可靠，規劃於 RB01、RB02 和 RB03 三條饋線之間加裝開關，當在饋線出口(RB02)發生故障，該饋線之負載與 PV2 可藉由配電自動化開關控制，而由另一饋線(RB01)轉供。然而再生能源之電力轉換器若仍維持最大功率輸出，將會因配電系統轉供，改變饋線長度與可併接太陽光電系統容量之最大限制，使得再生能源 PV1 併接點之電壓變動由 2.47%提高至 3.03%，而 PV2 併接點之電壓變動則由 0.37%提高至 5.22%。



圖四、澎湖七美電力系統單線圖

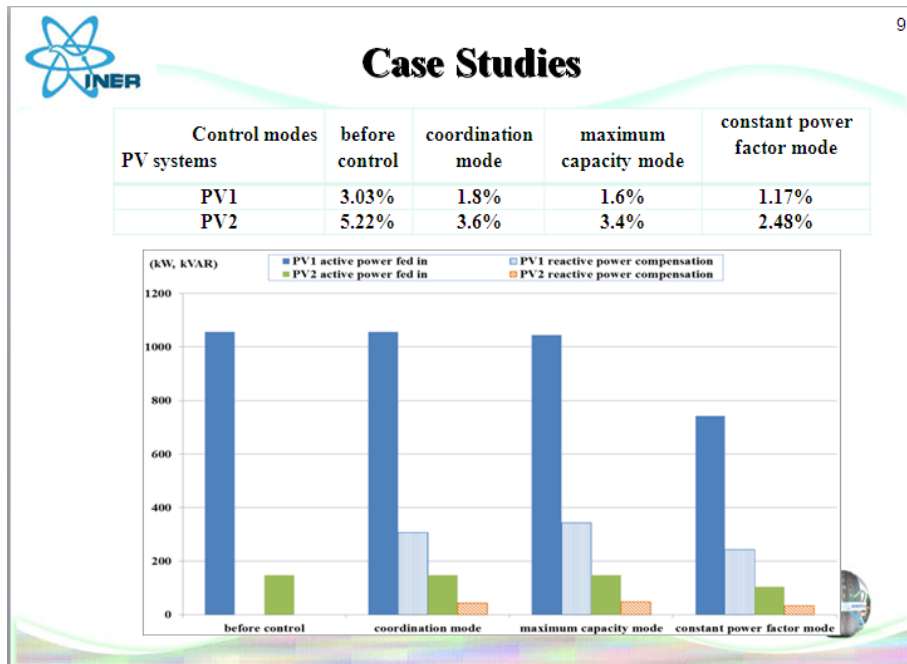
圖五所示為本篇論文所提智慧型能源管理系統(iEMS)的集中控制方法，包括再生能源電力轉換器之協調控制、最大容量及定功率因數等三階段控制模式，如圖五所示。iEMS 在第一階段協調控制模式，根據饋線上所有再生能源裝設位置及其區段阻抗，調控所有再生能源電力轉換器之輸出虛功率，越靠近配電變電站之轉換器則分配較多虛功率補償，如此可得到公平之電壓輔助控制。當再生能源電力轉換器輸出功率達到其容量限制時，即進入第二階段最大容量控制模式，將繼續提高電力轉換器之虛功率補償，以調整電壓變動低於標準規範，因此必須降低再生能源輸出功率，方能確保電力轉換器輸出在最大容量之內。若電壓變動仍超過範圍，且電力轉換器輸出功率因數已達其運轉限制，則進入第三階段控制模式，以定功率因數同時降低電力轉換器之實功率與虛功率輸出，降低再生能源併網之衝擊，以維持饋線電壓變動小於規範值。



圖五、iEMS 三階段控制模式

最後將論文所提 iEMS 之三階段控制模式應用在澎湖七美島嶼所有太陽光電系統之電力轉換器上，並模擬七美電力系統饋線出口(RB02)發生事故，該饋線負載與 PV2 由另一饋線 (RB01)進行轉供之案例分析，如圖六所示。首先 iEMS 進行第一階段虛功率補償之協調控制，PV1 併接點之電壓變動已由 3.03%降低至 1.8%，而 PV2 併接點電壓變動由 5.22%降低至 3.6%。因 PV2 電壓變動仍超過台電運轉規範 2.5%，iEMS 再進行第二階段最大容量限制之控制，該併接點電壓變動僅降低至 3.4%。最後進行第三階段定功率因數控制，同時降低 PV2 輸出實功率與虛功率，以持續降低電壓變動至 2.48%，減少 PV2 對饋線併網之衝擊，進而達到可提升配電系統再生能源滲透率之目標。於簡報結束後與會議主持人更進一步討論國際智

慧電網相關議題研究，會議主持人相當肯定台灣在微電網技術發展及再生能源政策之推動，如圖七所示。



圖六、七美電力系統饋線轉供案例分析



圖七、與會議主持人討論國際智慧電網相關議題研究

其它與智慧電網與微電網相關論文尚包括如下：

Voltage Standardization of DC Distribution System for DC Residential Buildings

此篇論文由印度技術學院 Indian Institute of Technology Mandi 的 Rajeev Kumar Chauhan 進行發表，主要針對家用電器負載提出直流配電系統之電壓等級標準評估方法，以減少交直

流電力轉換損失，提升能源使用效率為目的。圖八為典型之交流家庭用戶配電系統與論文所提之直流家庭用戶配電系統圖，此家庭電源來自市電及太陽能發電系統，而電池和電動車在市電斷電時可進行放電，此家庭共有六間房間，其負載皆為直流用電，且電壓等級不一，規格如表三所示，負載功率較小的用電電壓為 12V、中間負載為 24V，較大負載如電動車用電電壓達 96V，交直流電力轉換器之轉換效率介於 78%到 90%間，且負載功率越大，電力轉換效率越高。而太陽能發電系統與電池輸出亦為直流，若轉為交流配電系統供電(電壓為單相 230V)，亦會有電力轉換損失；而直流配電系統則經由交直流轉換器(AC-DC converter)提供主匯流排電壓 24V，以及分別藉由升壓與降壓轉換器供應直流電壓 96V 及 12V 負載，因此僅有三次電力轉換損失。



(a)交流配電系統

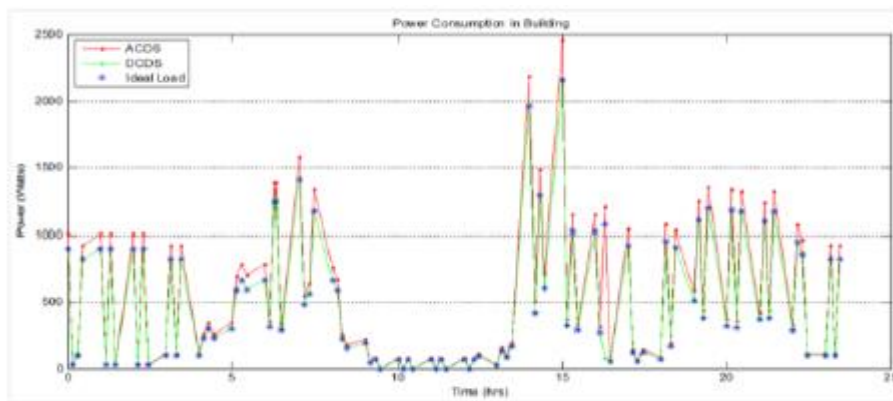
(b)直流配電系統

圖八、交流與直流家庭用戶配電系統

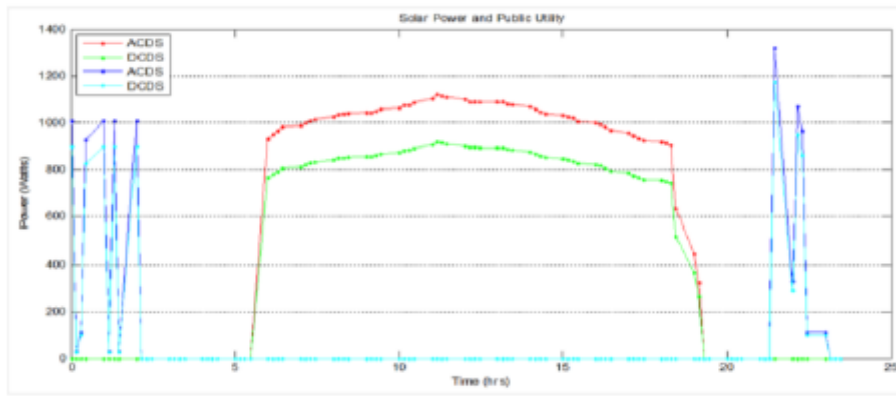
表三、家庭負載用電規格

S. No.	Appliance Name	Type of Supply	Voltage Rating (Volt)	Current Rating (Ampere)	Power Rating (Watt)	AC-DC Converter Efficiency[19-20]
1.	LED Bulb	DC	12 V	0.6	7	0.79
2.	CFL Bulb	DC	12 V	1.0	12	0.79
3.	Electric Geyser	DC	96 V	10.5	1000	0.89
4.	Sandwich Maker	DC	24 V	23.0	550	0.87
5.	Water Purifier	DC	24 V	0.5	11	0.79
6.	Refrigerator	DC	24 V	3.0	72	0.87
7.	Coffee Maker	DC	12 V	11.0	135	0.87
8.	Washing Machine	DC	24 V	3.0	70	0.86
9.	Water Pump	DC	24 V	14.9	350	0.87
10.	Vacuum Cleaner	DC	12 V	8.0	95	0.87
11.	Air Conditioner	DC	24 V	33.30	800	0.88
12.	Hybrid Car	DC	96 V	32.0	3000	0.9
13.	Cell Phone	DC	12 V	0.3	4	0.78
14.	Ceiling Fan	DC	12 V	1.70	20	0.83
15.	Hair Drier	DC	24 V	15.0	425	0.87
16.	TV	DC	12 V	2.5	30	0.83
17.	Computer	DC	12 V	14	170	0.87

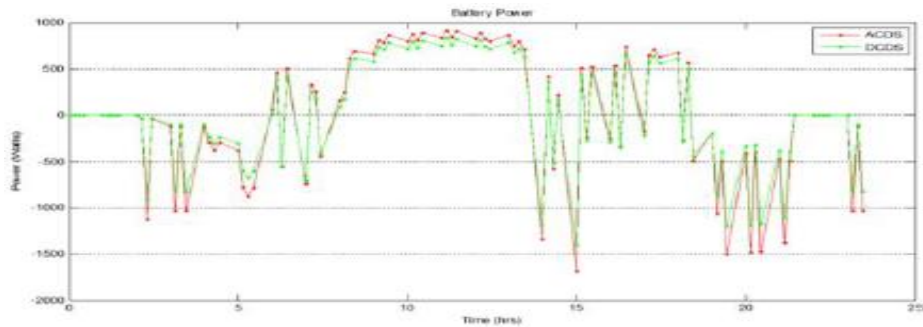
該論文模擬家庭負載由交流與直流配電系統供電及損失，圖九為交流與直流配電之日負載用電曲線，於早上 9 點 30 分至 12 點 30 分僅電冰箱用電，因此由交流與直流配電差異不大，在此其間負載皆由太陽能發電系統供電，且將太陽能多餘電力儲存在電池內，其太陽能發電系統輸出與市電用電情形，如圖十所示。此家庭負載於晚上 24 點至凌晨 2 點與晚上 21 點 45 分至 23 點完全由市電提供，且由直流配電系統供電負載較低。在其它時間，為了不使用市電及維持家庭負載與太陽能系統發電平衡，利用電池充放電補償如圖十一所示。圖十二為家庭負載由直流與交流配電系統供電之日損失曲線。



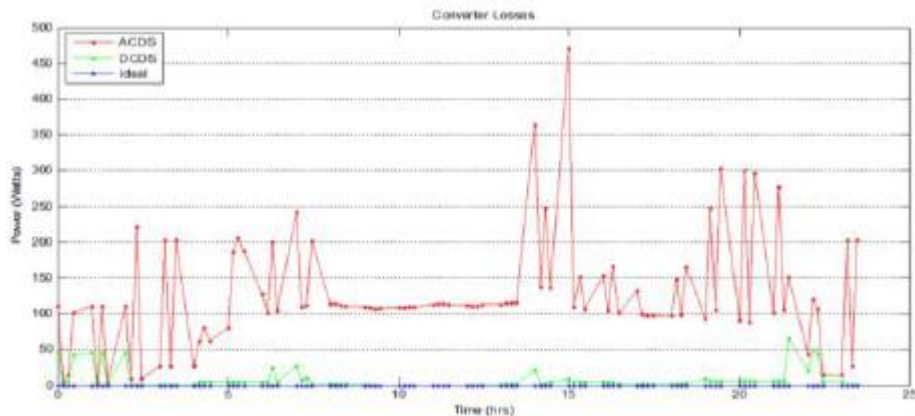
圖九、直流與交流配電之負載用電曲線



圖十、市電負載與太陽能發電曲線

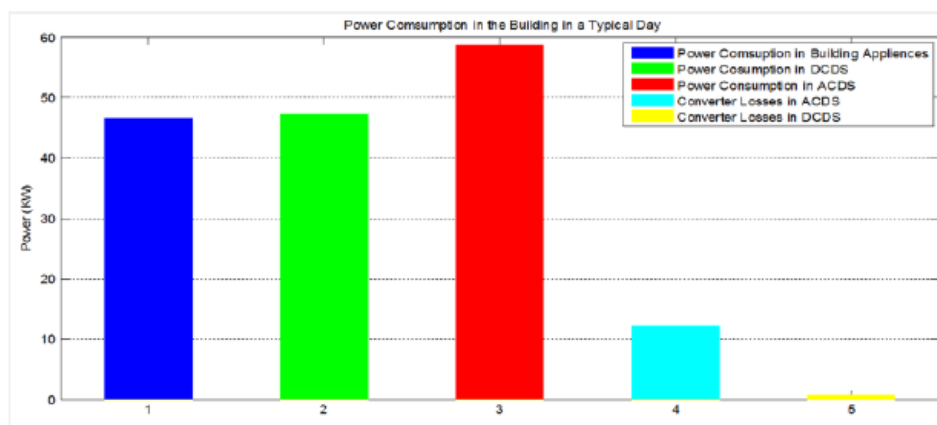


圖十一、電池充放電量曲線



圖十二、直流與交流配電系統損失曲線

經由累計計算日負載用電量、交流與直流配電系統供電量及損失，如圖十三所示，家庭負載日用電量為 46.52kW。若由交流配電系統供電為 58.61kW，損失約 12.1kW；而改由直流配電系統供電可降低為 47.22kW，損失僅為 0.71kW，因此該論文提出直流配電系統之應用，以減少交直流電力轉換損失，以及提升能源使用效率。



圖十三、日負載用電量及交直流配電系統供電量及損失

Economic Value of Grid-Scale Storage in Wholesale Electricity Markets

此篇論文由美國史丹佛大學的 Kyle Anderson 進行發表，主要探討電網之儲能系統在電力市場躉售的經濟效益分析。電網中的儲能系統通常用來調節風力發電輸出功率變動，亦可降低系統尖峰負載，而減少傳統系統備用電力，以及降低再生能源在系統上併網衝擊。由於儲能系統與電池價格仍比傳統發電系統昂貴，大部分的文獻研究，為了降低系統運轉成本，進行電網所需儲能系統與電池之最適容量評估，以求得最佳運轉經濟效益。而該論文則針對用戶端儲能系統，假設可額外提供系統電壓或頻率控制之輔助服務，進行電力市場躉售經濟效益分析。文中如表四定義儲能系統技術規格參數，如最大充電與放電率、電力轉換效率、電池充放電損失與容量減少效應；並且定義儲能系統在市場交易輸出電力躉售之價值(Present Value, PV)、提供系統功率補償之輔助價值(PV)，最後決定儲能系統與電池容量，以及最佳運轉控制策略，如儲能系統每時刻提供系統輔助之功率、買電或賣電量與電池充放電狀態(SOC)，實現儲能系統在電力市場躉售價值最大化為目標。另外考量儲能系統本身建置之固定成本與維護成本，定義其折舊率(discount rate)，以求得儲能系統在市場躉售交易之淨價值(NPV)。由於儲能系統的買賣電價格為未知數，文中以隨機最佳演算法，求解儲能系統價值最大化目標函式，並且比較傳統確定型線性規劃之解。

表四、儲能系統技術規格與市場交易參數

Storage and Market Constants	
T	Length of time horizon (hour)
P_t^e	Price of electricity at hour t (\$/MWh)
P_t^r	Total credit for providing 1 MW of regulation at hour t (\$/MW)
d	Discount rate
B_0	Capacity at start (before degradation) (MWh)
Q^c	Max charge rate (MW)
Q^d	Max Discharge Rate (MW)
Ω_S	Storage efficiency (fraction)
Ω_C	Charging efficiency (fraction)
Ω_D	Discharge efficiency (fraction)
ϵ_r	Capacity degradation for providing 1 MW of regulation (MWh)
ϵ_c	Capacity degradation for charging 1 MWh of energy (MWh)
γ	Duration of a ramping interval. (hour)
Decision variables	
b_t	Capacity at hour t (MWh)
s_t	State of charge at hour t (MWh)
q_t^+	Energy purchased at hour t (MWh)
q_t^-	Energy sold at hour t (MWh)
r_t^+	Regulation down service provided at hour t (MW)
r_t^-	Regulation up service provided at hour t (MW)

文中以兩種儲能系統進行比較分析，參數如表五，其中 A 為液流電池，使用週期較長，但電池充放電率較低；B 為鋰鐵電池，具有較高之充放電率，但使用週期較短。為了求得兩種儲能系統在電力市場躉售的價值，使用美國 New England Independent System Operator, NEISO 於 2007 年到 2013 年之間電價資訊，以確定型線性規劃求解儲能系統 A 與 B 之價值，如圖十四所示。若儲能系統僅作尖峰移載功能，其市場價值分別為 51,100 及 40,229，使用液流電池之儲能系統可得到較高市場價值；若僅作系統輔助服務控制，則儲能系統 A 與 B 之價值分別為 190,090 及 225,726，使用鋰鐵電池之儲能系統反而可得到較高市場價值；若同時用來進行尖峰移載及輔助系統控制，儲能系統 A 與 B 之價值分別為 226,575 及 253,619，所以使用鋰鐵電池之儲能系統在市場交易價值較高。接著改以隨機最佳演算法，求解儲能系統 A 與 B 同時進行尖峰移載及輔助系統控制價值分別為 210,132 及 242,073。然而，若考量儲能系統建置維護成本及折舊率，其淨價值仍為負值。由該篇論文結論得知若未來有大量再生能源併入系統，將會提高儲能系統的需求及躉售價格，因而提高儲能系統投資之經濟效益。

表五、儲能系統參數

Variable	Property	Storage A	Storage B
B_0	Starting Capacity (MWh)	1	1
Q^c	Max Charge Rate (MW)	2	4
Q^d	Max Discharge Rate (MW)	2	4
Ω_S	Daily Storage Efficiency (%)	97	97
Ω_C	Charging Efficiency (%)	95	95
Ω_D	Discharge Efficiency (%)	95	95
ϵ_r	Regulation Degradation (MWh/MW)	1/3500	1/1750
ϵ_c	Charging Degradation (MWh/MWh)	1/3500	1/1750
d	Discount Rate (Annual)	8%	8%

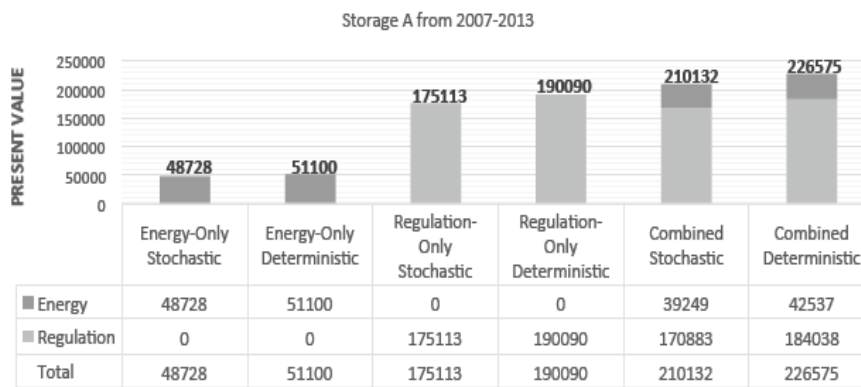
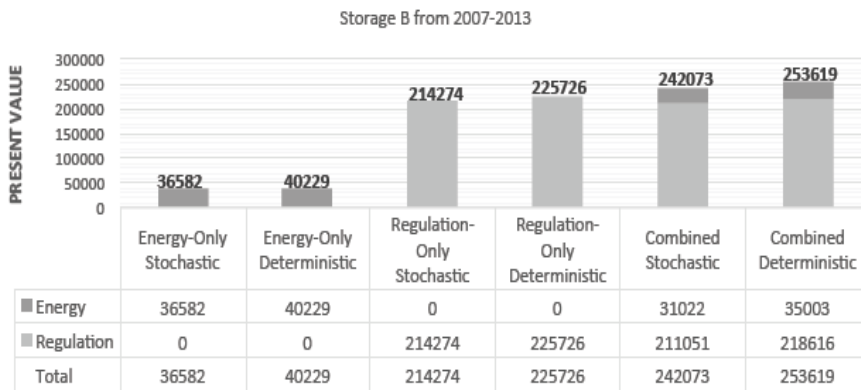


Fig. 2: PV for the Storage A in NEISO Market 2007-2013.

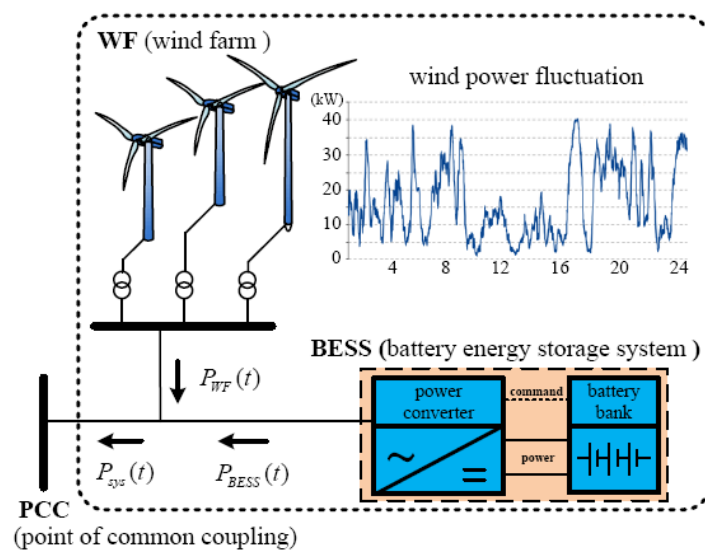


圖十四、儲能系統 A 與 B 之價值

Application of Grid-Level Battery Energy Storage System to Wind Power Fluctuation Smoothing

該篇論文由台灣科技大學電機工程系的陳在相教授團隊所提出，由廖日能先生進行發表，主要探討運用電網級電池儲能系統來平滑風能產生電力的波動。因為大型風電場的輸出電力的波動可能對獨立型電力系統的電力品質和穩定性產生很大的影響，從而導致電網頻率

的擾動。透過引入風電-儲能系統，可以達到平滑風電的電力波動情形的效果。在這個系統中，風力發電機都與電池儲能系統（Battery Energy Storage System, BESS）連接。該篇論文提出一種新穎的操作控制策略，稱為基於預測的控制（Predict-Based Control, PBC）。該策略（主要利用預測風力發電變化）係根據信賴區間的概念，能夠有效地平滑風電場（Wind Farm, WF）輸出電力的波動。所提出的控制策略也提供了一個方法來檢查大型 WFs 和 BESS 的特性，達到更好的規劃、設計和操作。圖十五為典型風電-儲能系統架構及其輸出電力波動圖，其中的 BESS 與 WF 連接，利於對風電場所產生的電力進行調控。



圖十五、典型風電-儲能系統架構及其輸出電力波動圖

該篇論文所使用的風電-儲能系統包括了一個風電場(WF)以及電池儲能系統(BESS)，所使用的基於預測的控制策略(PBC)係用於控制 BESS 的充電及放電，以進行隨著時間改變的 WF 的電力輸出波動的調整。其目的在於可允許的電池容量空間範圍內平滑風電-儲能系統的輸出電力波動。對風電與儲能系統而言，要達到將輸出電力波動控制在最大可容許波動的範圍的目的，當輸出電力波動超過限定範圍，BESS 必須對電池組進行充電或放電，以平滑 WF 的輸出電力的波動。因為 BESS 的即時控制策略的緣故，系統將依賴於當時的電池組的 SOC，從而導致該項控制策略欠缺彈性。例如當 WF 的輸出電力波動超過可容許波動範圍，而當時的電池組的 SOC 也剛好位於極小值或最大限制值，此時 BESS 即無法為產生的電力輸出波動提供補償達到平滑的功能。是以該篇論文提出先期的決策方法來控制 BESS 的充放電，主要根據預測風力發電輸出功率的改變進行 BESS 的充放電控制，以增進 BESS 容量的使用。

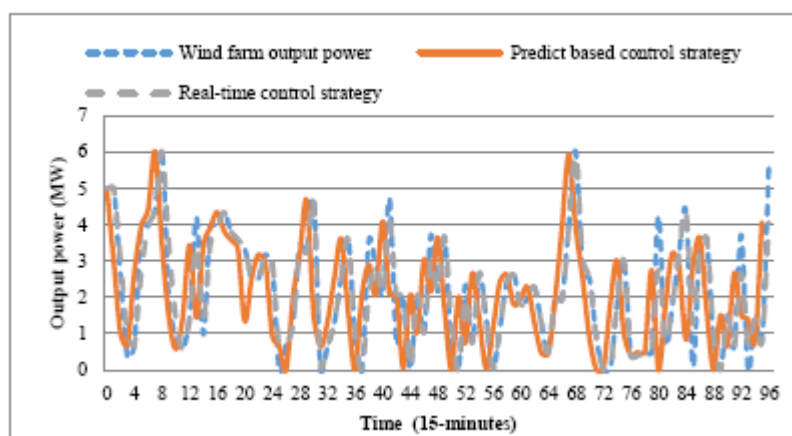
該篇論文所使用的 WF 及 BESS 的重點規格如下：

1.WF：(1)品牌型號：ENERCON-E40；(2)額定功率：0.6MW

2.BESS：(1)額定容量：1.5MWh；(2)SOC 範圍：10-95%

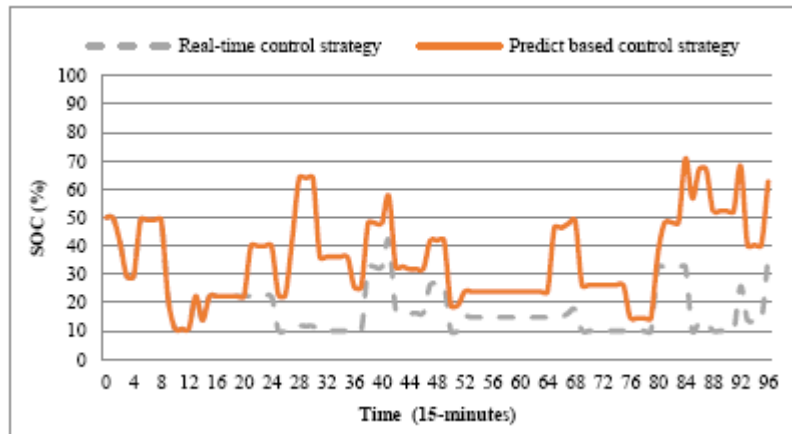
該篇論文所提出的風電-儲能系統的模擬包括一年四季，設定之模擬時間區間為 15 分鐘，預測時間區間為 1 小時；最大可容許輸出電力波動假設為 2MW，BESS 的控制區間與 WF 同步。圖十六到圖二十所示為本風電-儲能系統在春季的週間具有在地負載的情形之下所模擬出來的結果，包括了 WF 的輸出電力、BESS 的 SOC，以及 WF 輸出電力的波動。一年四季的各季節的平均風速係依取自台灣的實際風場資料。

圖十六為風電-儲能系統在春季週間的輸出電力模擬結果，其中的藍色虛線代表風電場在一天內的輸出電力曲線，以 15 分鐘為一個區間。灰色虛線代表即時控制策略下的電力輸出曲線，橘色實線所代表的是以預測為基礎的控制策略。可以見到基於預測為基礎的控制策略，對於風電場的輸出電力，具有減少波動的效果。



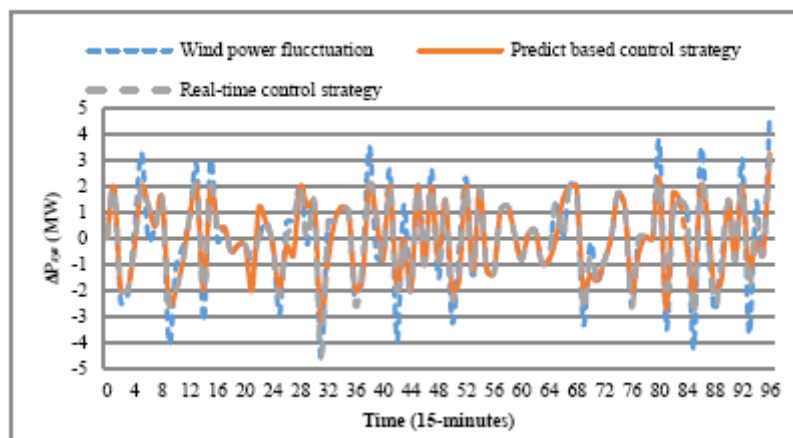
圖十六、風電-儲能系統在春季週間的輸出電力模擬結果

圖十七為儲能系統(BESS)在春季週間的充放電狀態(SOC)模擬結果。以 15 分鐘為一個區間，其中的橘色實線所代表的是以預測為基礎的控制策略下的 SOC 變化情形，其曲線顯示其值皆落在 10-95%之內。灰色虛線代表即時控制策略下的 SOC 變化情形，可見到其曲線有部份落到下限值 10%以下。顯示以預測為基礎的控制策略下對 BESS 的 SOC 運用比即時控制策略來的更佳有效。



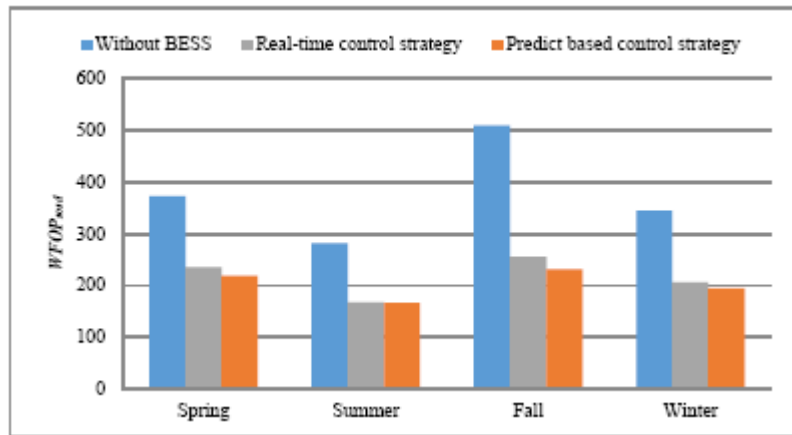
圖十七、儲能系統(BESS)在春季週間的充放電狀態(SOC)模擬結果

圖十八為風電-儲能系統在春季週間的輸出電力波動的模擬結果，如同圖十七的曲線圖所示，以 15 分鐘為一個區間。其中的藍色虛線代表風電場在一天內的輸出電力波動曲線，灰色虛線代表即時控制策略下的電力輸出波動曲線，橘色實線所代表的是以預測為基礎的控制策略。很明顯可以見到基於預測為基礎的控制策略，有效抑低風電場的輸出電力波動情形，其效果優於即時控制策略。

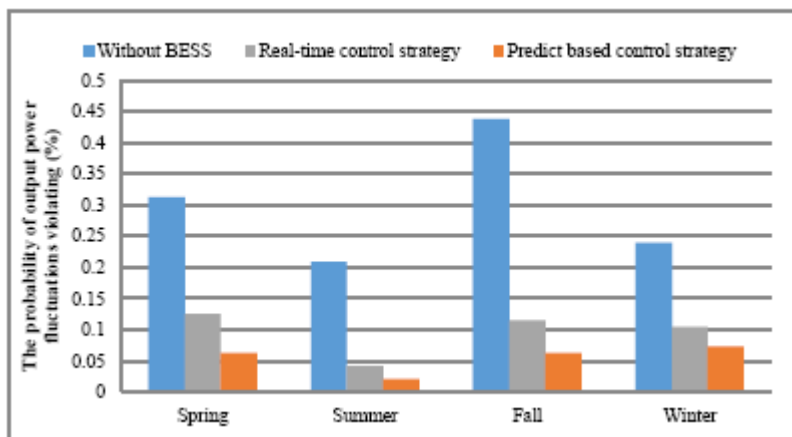


圖十八、風電-儲能系統在春季週間的輸出電力波動的模擬結果

圖十九與圖二十分別顯示風電-儲能系統在各季節的輸出電力波動之比較，以及風電-儲能系統在各季節輸出電力波動超過限值機率的比較。可見到具有 BESS 的系統比沒有 BESS 系統明顯減少許多的輸出電力波動，而以預測為基礎的控制策略的表現，比以即時控制策略的電力輸出波動更為減少，展現其為一更有效的控制策略，可以平滑風電場的輸出電力波動。



圖十九、風電-儲能系統在各季節的輸出電力波動之比較



圖二十、風電-儲能系統在各季節輸出電力波動超過限值機率的比較

(二) 參訪屋敏島微電網系統

屋敏島是一個位於新加坡北邊的海島，鄰近馬來西亞。目前作為觀光休閒島(recreational island)，島上只有一個旅館大約 15 個房間，周末(weekend)會有很多人到當地的餐廳、咖啡廳、酒吧。它是新加坡唯一還沒有人使用、沒有開發的島。未來有可能發展成為渡假勝地(resort)或是供人居住的區域。新加坡土地管理局對屋敏島的開發規劃，可能是蓋村落或房子。屋敏島上所有家戶用電量約 1.7MW，皆由自備柴油發電機來提供電力，並接受新加坡政府補助。

屋敏島(Pulau Ubin)微電網試驗場(Micro-grid Test-Bed)係由新加坡能源市場管理局(Energy Market Authority, EMA)透過公開對外徵求能源界之協議書，第一期計畫經投標後由 Daily Life Renewable Energy Pte. Ltd (DLRE)公司負責建置完成，合約為期 10 年。該微電網包含太陽能發電、生質柴油發電與儲能系統，為一獨立型運轉微電網。2013 年 10 月在 EMA 主

導下，屋敏島約有 30 個用戶(包括商業戶及個人戶等)參加本項微電網試驗，享受到更便宜與可靠的供電。其負載型態平日離峰時負載大約為 10~20 kW，周末時尖峰負載可以達到 100kW，甚至 150~200 kW，相差約 10~15 倍。

2014 年 10 月屋敏島微電網試驗場正進行第二階段的計畫徵求書，第二階段將著重於能源分析、儲能系統、能源管理系統與狀態監控等內容。為期能借重核研所在微電網系統相關技術的研發經驗，國內大型系統整合廠家邀請核研所參與規劃，透過投標在國外微電網建置案，協助我國微電網相關產業打入國際市場。本次參訪屋敏島微電網系統之行程，係透過該廠家之合作夥伴 DNV GL 公司安排，DNV GL 公司為再生能源與能源效率之能源價值鏈的領導專家，它是世界上最大的獨立型再生能源技術顧問公司，具有 2,500 位獨立能源專家，10 個實驗室，包括世界最大的高電力及高電壓測試實驗室，並且具有 90 年的經驗，其中 30 年在能源效率與風能方面，專注於協助各公司解決有關承擔性、可靠性與永續性等能源三難題。11 月 24 日核研所人員會同 DNV GL 公司 Bess 博士等，約好屋敏島微電網系統之系統管理人員，一起赴屋敏島了解島上的微電網系統的實際運作狀況，以利於後續協助屋敏島微電網系統第二階段的計畫徵求書的內容的強化作為。圖二十一為核研所與 DNV GL 人員於屋敏島之合影。



圖二十一、核研所與 DNV GL 人員於屋敏島上合影

DNV GL 人員引介核研所人員參訪微電網系統之展示與操作機房，並與操作管理人員晤談，以了解屋敏島微電網系統的過去、現在及未來的展望。圖二十二為核研所參訪人員與屋

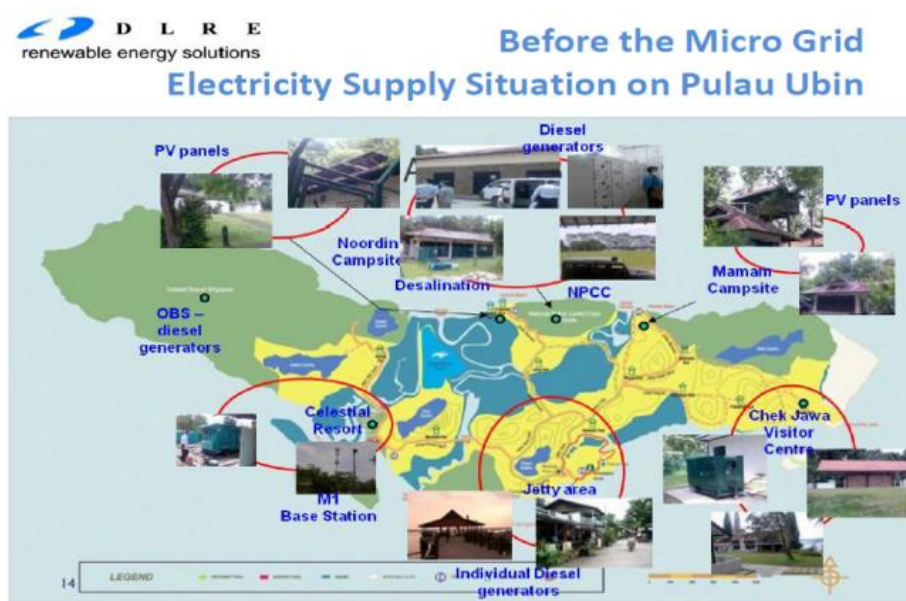
敏島微電網系統管理人員於展示及操作機房前之合影。



圖二十二、屋敏島微電網試驗場營運機房

就我們所收集到的資料，以及與 DNV GL 及微電網操作人員討論所得的資訊，略述於次：

屋敏島在微電網系統建置以前，屋敏島電力供應情形如圖二十三所示。而屋敏島的第一期微電網系建置相關資訊如下所述。



圖二十三、微電網建置前之屋敏島電力供應情形

1. 第一期屋敏島微電網試驗場之運作

新加坡在屋敏島的微電網試驗場建置計畫，其目標如下：

- An intelligent micro grid infrastructure with potential for multiple renewable energy sources

- Facilitate connection of close-to-market clean and renewable energy technologies for demonstration or test-bedding purposes
- Build local capabilities in the area of smart grid design

第一期屋敏島微電網試驗場建置的規格如下：

- 240 V 地下電纜系統(240VAC underground grid system)
- 約 100 kWp 太陽能發電(~100kWp Solar PV)
- 1,000 kWh 儲能系統(1MWh storage)
- 6 台 40 kVA 的 Hybrid Variable-Speed Generators (6 x 40kVA bio-diesel generators distributed (3 x 2))
- 每個用戶皆安裝智慧電表(Smart meters at each customer premise)
- 集中式智慧型控制及遠端監控系統(Centralized intelligent control & remote monitoring system)

在屋敏島微電網試驗場的微電網系統中，目前主要應用的技術包括：

- (1) 分散式發電(Distributed Generation)
 - A. 固定頻率、固定電壓的電力品質及電力網穩定性(Constant frequency, constant voltage for power quality and grid stability)
 - B. 電力網跟隨(Grid following)
- (2) 允許再生能源的高滲透率(Allows high penetration of renewable energy sources)
- (3) 可變速發電機(Variable speed generators)
 - A. 固定頻率、固定電壓的電力品質及電力網穩定性(Constant frequency, constant voltage for power quality and grid stability)
 - B. 電力網跟隨(Grid following)
- (4) 進階電力電子技術(Advanced power electronics)
 - A. 電力網形成(Grid forming)
 - B. 管理再生能源之來源(Manage renewable energy sources)
- (5) 需量能源之觀念(“Energy-on-Demand” Concept)
 - A. 即時發電(Just-in-Time production)

這些技術中，最引人注目的是需量能源之觀念，它的目標在於調控負載需求及發電裝置，使其不超過設定的容量，讓能源得以 100% 有效利用。新加坡透過 Smart Power Management System(PMS)系統偵測負載使用量，搭配儲能系統來調節系統的發電及負載，以達到供需平衡的目標。然而，光靠電池儲能並不足以完全調節供需，通常也需要配合柴油發電機等，才能

完全提供負載所需。因此，DLRE 為了更有效的使用傳統的柴油機，改變了傳統常用的於高/低載時使用不同的柴油機組，或是變速機種來提高柴油機的效率的方法，規劃 Diesel-Inverter Hybrid system 以達到 Energy on demand 的目標。

DLRE 公司的 Diesel-Inverter Hybrid system 整合了柴油機及電池組，利用小型的柴油機組整合電池，於系統內部透過調度的方式，提供穩定且可調節的電力，由於 Diesel-Inverter Hybrid system 已經整合了柴油機和電池，對於微電網最大的好處便是不需額外再增設電池機組及其管理機制，可減少對於能源管理系統的負擔。這樣的系統也適合用在馬來西亞，由於 Diesel-Inverter Hybrid system 已經在系統內部自行完成相關的發電及負載調度，所以可以減少能源管理系統維護及調度的次數，有效提高系統穩定度。目前屋敏島的微電網系統主要建置於南方的 Jetty Area，如圖二十四所示，並完成太陽光電的建設(圖二十五至二十七)，以供應夜間照明、抽水等用電。其系統架構如圖所示。



Daily Life Renewable Energy as the operator brought the latest power generation and Micro Grid Technology to light up the island with solar panels and extra fuel efficient variable speed generators.

圖二十四、第一階段已於屋敏島 Jetty Area 建置的微電網

Solar energy produced during the day are charged into the battery bank.



Hours of electricity usage was supported from the battery bank during night time, for residents to enjoy the quietness without darkness.

圖二十五、屋敏島上太陽光電的建設(1/3)

The solar energy generated is also used to maintain the necessary connections for the residents and visitors, as the Telecommunication Towers and phone lines are supported by the Micro Grid.

The Police Station, the street lights at the ferry pier, the water pumped from the wells for the washrooms, are all powered by the Micro Grid now.



圖二十六、屋敏島上太陽光電的建設(2/3)



圖二十七、屋敏島上太陽光電的建設(3/3)

圖二十八為位於展示及操作機房後的 1MWh 容量之鉛酸電池組。圖二十九為生質柴油燃料貯存桶，生質柴油係供給生質柴油發電機使用，使得微電網產生的電力能維持穩定供給。圖三十至三十二為生質柴油發電機及其機房。



圖二十八、屋敏島微電網試驗場 1MWh 容量之鉛酸電池組



圖二十九、生質柴油燃料貯存桶



圖三十、生質柴油發電機機房



圖三十一、生質柴油發電機一

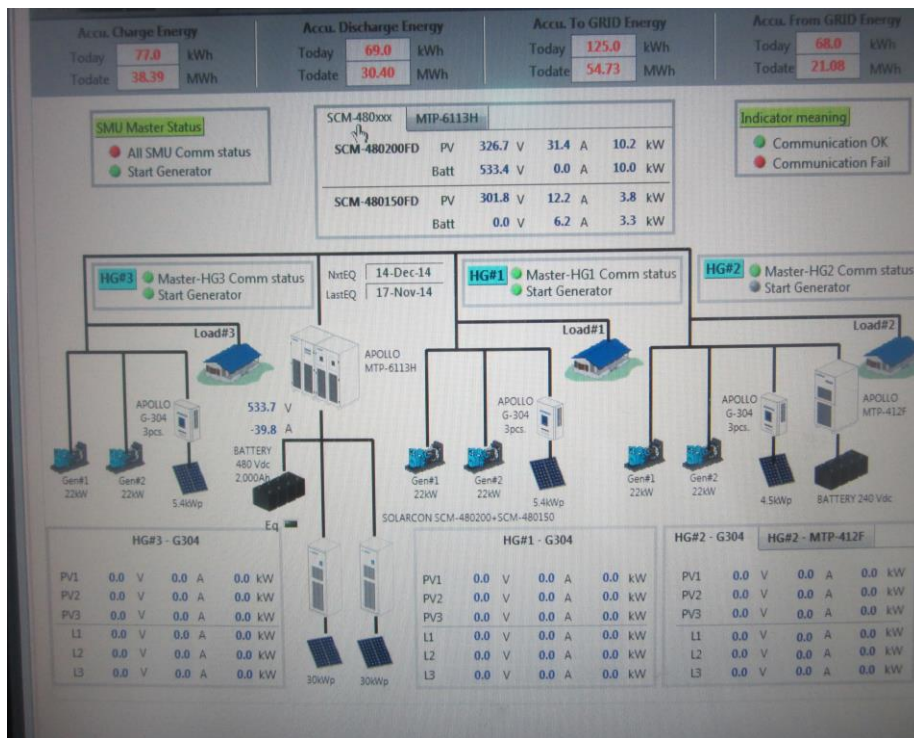


圖三十二、生質柴油發電機二

圖三十三為屋敏島微電網儲能系統之交直流電力轉換器機台之控制面板，圖三十四則為電能管理系統畫面，可以看到儲能系統當日的充電量為 77kWh，累積運轉總充電量為 38.39MWh，當日的放電量為 69kWh，累積運轉總放電量為 30.40MWh，當日太陽能發電到微電網的能量為 125kWh，累積運轉輸出能量為 54.73MWh，當日由生質柴油發電到微電網的能量為 68kWh，累積運轉輸出能量為 21.08MWh。



圖三十三、儲能系統之交直流電力轉換器機台之功能控制面板

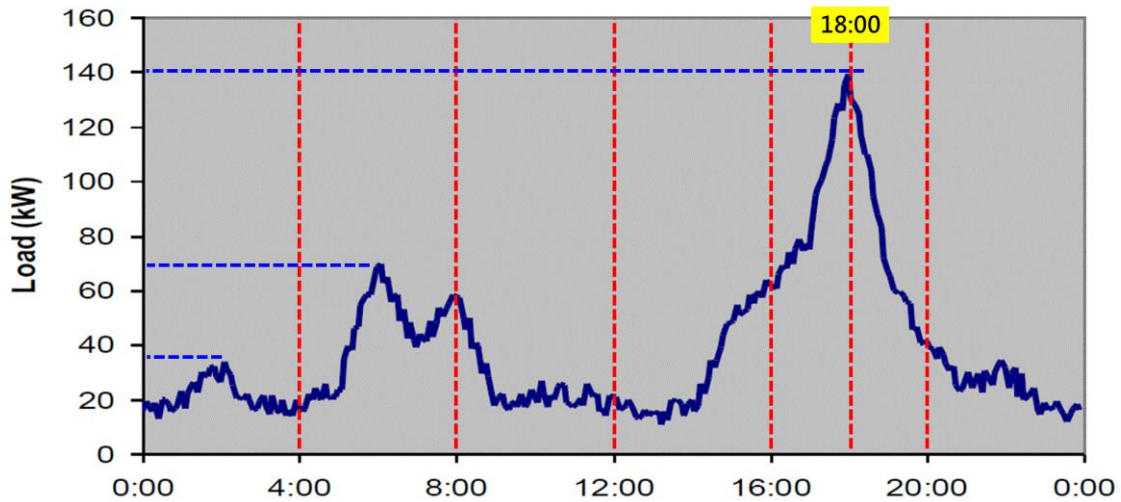


圖三十四、電能管理系統畫面

圖三十五為電池充放電狀態與太陽能使用曲線圖，顯示一日之內電池組的電量變化，電池充放電情況、PV 的發電情形及發電機的啟動狀況。圖三十六顯示屋敏島微電網週末負載用電曲線圖，可看到在清晨前、上午及下午不同時段的負載變化情形，黎明前的最大負載約為 35kW，上午 6 時的負載約為 70kW，而下午 6 時的負載約為 140kW。

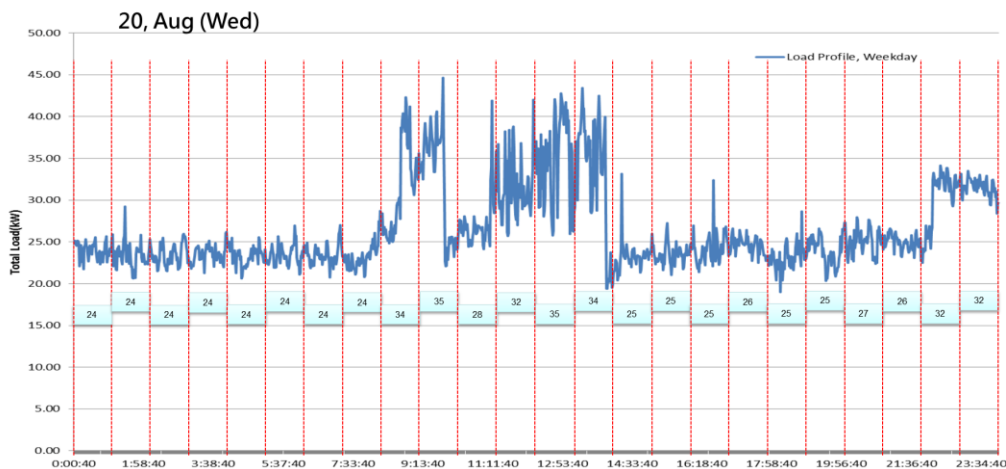


圖三十五、電池充放電狀態與太陽能使用曲線圖



圖三十六、屋敏島微電網週末負載用電曲線圖

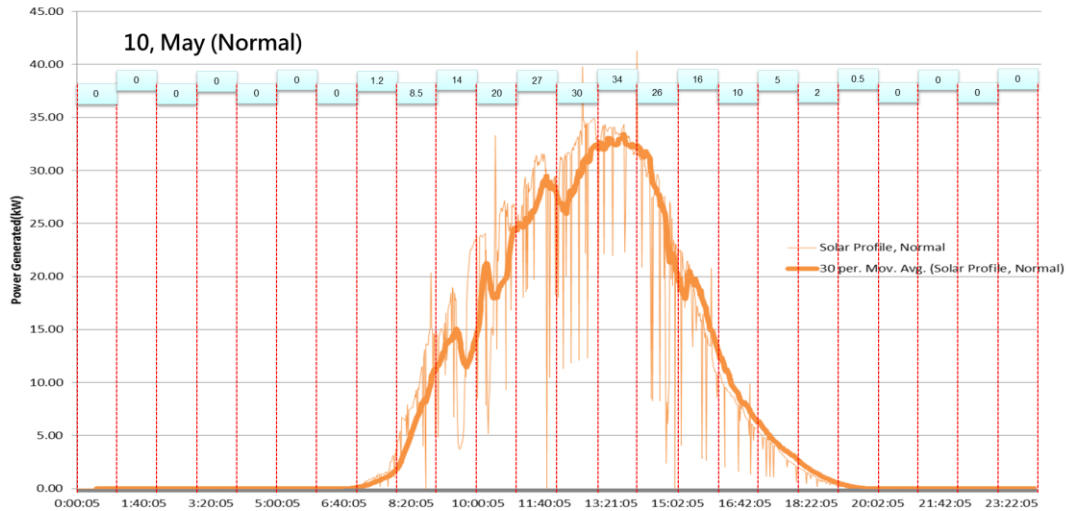
圖三十七為屋敏島微電網 2014 年 8 月 20 日(星期三)所記錄之負載曲線圖，代表該微電網平日負載曲線圖，可見到其負載的變動範圍在 20kW 至 45kW 之間。



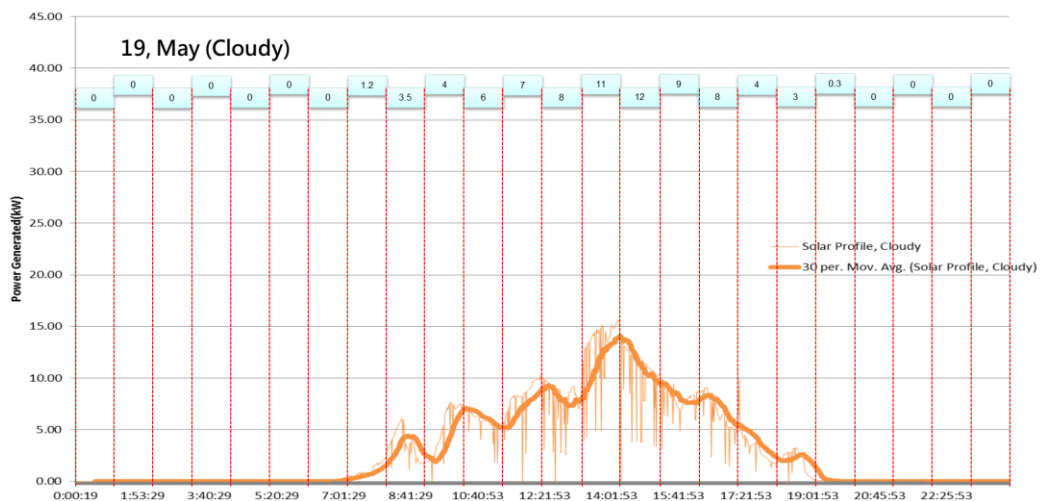
圖三十七、屋敏島微電網週間平日(2014/8/20)負載曲線圖

圖三十八為屋敏島微電網於 2014 年 5 月 10 日(天氣：晴天)太陽能發電量曲線圖。細線部份顯示當日的發電曲線，而粗線部份為 30 日的平均值所製的曲線，可看到太陽能發電量最高在中午 13 點到 14 點之間可達約 35kW，若以該時段之負載量約 30kW，其瞬間再生能源輸出之滲透率可達 100%。圖三十九為屋敏島微電網於 2014 年 5 月 19 日(天氣：陰天)太陽能發電量曲線圖。細線部份顯示當日的發電曲線，而粗線部份為 30 日的平均值所製的曲線，可看到太陽能發電量最高可達約 15kW。因此微電網於夜間或週末時間的太陽能發電量尚不足以

支撐屋敏島上的用戶的基本負載需求，是以透過分散式生質柴油發電機來支持基本負載的需求，並以儲能系統進行備援，以防止發電機失效的情形發生。



圖三十八、屋敏島微電網晴天太陽能(2014/5/10)發電量曲線圖



圖三十九、屋敏島微電網陰天太陽能(2014/5/19)發電量曲線圖

2. 第二期屋敏島微電網試驗場建置規劃

新加坡在屋敏島的微電網試驗場建置計畫目標為：

- An intelligent micro grid infrastructure with potential for multiple renewable energy sources
- Facilitate connection of close-to-market clean and renewable energy technologies for demonstration or test-bedding purposes
- Build local capabilities in the area of smart grid design

新加坡能源市場管理局第二期微電網研究計畫，其發展重點在於微電網應用平台的建

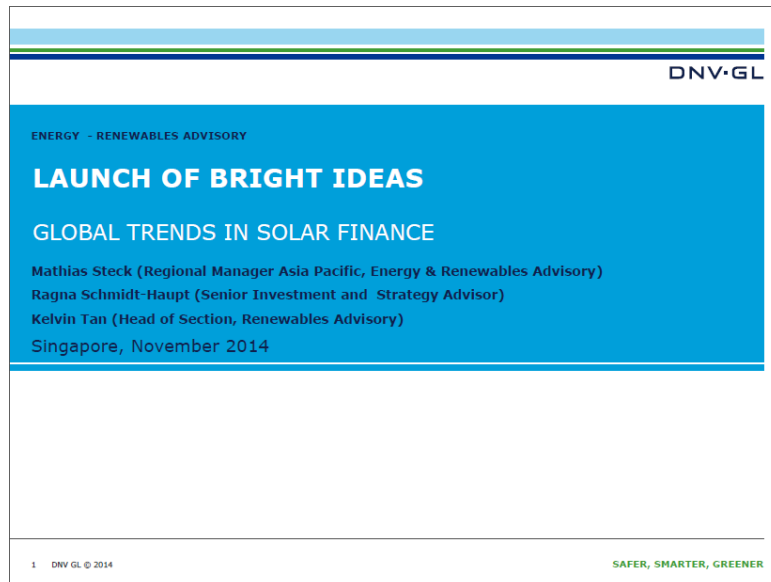
置，包含儲能系統的設置、配電系統的更新、發展能源管理系統與控制室等。屋敏島微電網第二期研究計畫的設備採購將由 DLRE 公司提出設備需求，經公開招標採購設備併入微電網系統使用，台灣廠商可參與第二期的規劃並針對可提供之設備進行投標。針對屋敏島微電網第二期研究計畫，台灣廠商團隊的初步構想為：

- (1) 第二期計畫較確定的設備需求為 100kWh 的液流電池及電池管理系統，也規劃增加再生能源裝置容量與升級配電系統。其中太陽能板理想的設置地點每日日照時數須達 6-8 小時，由於島上禁止砍伐樹木故仍須評估；燃料電池也列入考慮。最後將以商業考量做為決策依據
- (2) 待完成儲能設備的設置後，下一步才考慮再生能源預測軟體與監控設備的建置。

(三) 參加 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 之太陽能金融全球趨勢研討會

LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 太陽能金融全球趨勢研討會係由 DNV GL 公司主辦，本次研討會於 2014 年 11 月 24 日 16:30 至 19:00 假 Fullerton Hotel 舉行，邀請太陽能發電之研發、設計、電力交易、財務等方面之專業人士與會，尋求對太陽能發電的商業化研討。

本次研討會係由 DNV GL 公司之能源及再生能源顧問，現任亞太區經理 Mathias Steck 先生主持，分別由資深投資與策略顧問 Ragna Schmidt-Haupt 女士及再生能源顧問，研發部門主管 Kelvin Tan 博士，就太陽能產業之財務創新案例，以及太陽能發電之技術風險評估進行報告與研討。圖四十為 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 太陽能融資全球趨勢研討會講員名單一覽。圖四十一為李奕德博士、鄭勝璋先生和研討會講員 Kelvin Tan 博士及 DNV GL 公司能源顧問 Bess 博士在會場上合照。圖四十二為 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會海報。圖四十三為 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會會場。



圖四十、LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 之太陽能金融全球趨勢研討會講員名單



圖四十一、核研所與 DNV GL 人員於 LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會合影



圖四十二、LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會海報



圖四十三、LAUNCH OF BRIGHT IDEAS 研討會會場

本次研討會的議程分為四部份，首先介紹 DNV GL 公司的背景及服務範圍，由現任亞太區經理，能源及再生能源顧問 Mathias Steck 先生主持。第二部份由資深投資與策略顧問 Ragna Schmidt-Haupt 女士提出兩個亮點理念，其一為創新商業模式，另一為創新財務模式。第三部份則為研發部門主管，再生能源顧問 Kelvin Tan 博士，報告太陽能發電之技術風險。最後為結論。

有關第一部份：DNV GL 公司，係由 DNV 公司和 GL 公司於 2013 年 9 月 12 日合併而成。DNV GL 公司成為(1)世界上最大的船舶與海洋船級社(ship and offshore classification society)；(2)全球石油與天然氣工業的領導技術顧問；(3)包括再生能源與能源效率之能源價值鏈的領導專家；(4)全球前三大的認證機構。DNV GL 公司承襲了 DNV、GL Group、KEMA、

NOBLE DENTON、GARRAD HASSAN 及 ADVANTICA 等公司的優良傳統。

DNV GL 公司基於日增的全球能源需求、能源市場的整合、氣候變遷及極端天氣、再生能源的佔比提升，以及安全與老化資產等議題，認為能源將轉移至更安全、智慧及綠色化的未來。該公司並專注於協助各公司解決有關承擔性、可靠性與永續性等能源三難題。

DNV GL 公司為能源技術大廠，包括：(1)它是世界上最大的獨立型再生能源技術顧問公司，具有 2,500 位獨立能源專家，10 個實驗室，包括世界最大的高電力及高電壓測試實驗室，並且具有 90 年的經驗，其中 30 年在能源效率與風能方面。(2)它是在高電力及高電壓測試方面的第一名，另外它也擁有 25 個領導認證機構且發表超過 25 項標準及指引。

DNV GL 公司的服務範圍含括了能源價值鏈，服務項目可分為下列類別：

1. 電力測試、檢查與認證
2. 再生能源顧問諮詢
3. 再生能源認證
4. 電力傳輸與分配
5. 智慧電網及智慧城市
6. 能源市場及政策設計
7. 能源管理與運作服務
8. 能源效率服務

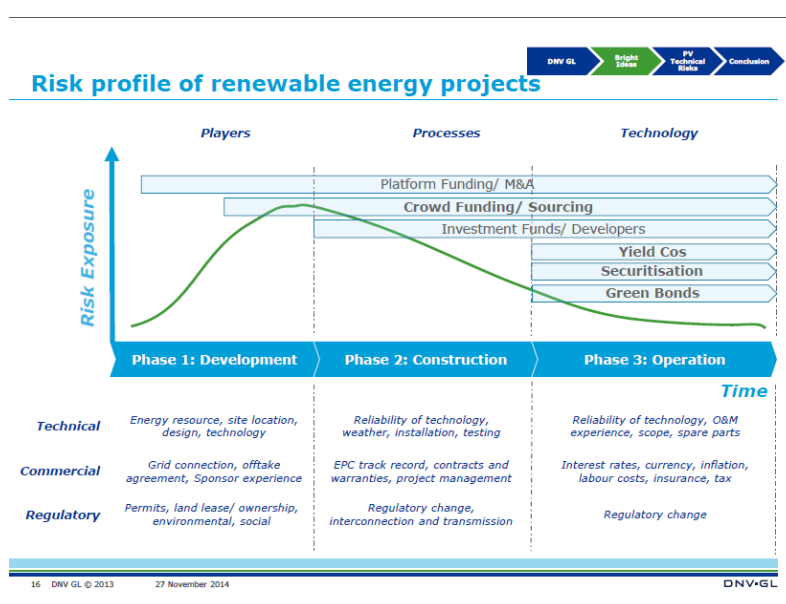
在再生能源方面，DNV GL 公司擁有超過 1,000 位員工，分佈在全球歐、亞、美、非等洲計 27 個國家的 50 個地區，DNV GL 公司致力於與開發人員、擁有者及營運商、製造商及投資者等共同作業，側重於太陽能、風能和海洋再生能源部門合作，以強化他們的專案、技術及資產的營運。

DNV GL 公司認為在太陽能的關鍵趨勢包括：(1)可以與成本變化保持連動的政策；(2)使得越來越惡化的假設正確；(3)創新財務結構。所以憑該公司具有超過 2,500 個太陽能專案的實際經驗，訂定其工作重點為：(1)讓該公司跨越 5 大洲的太陽能專家團隊能在對的時間與對的地點達到全球的接觸。(2)作為實地檢測的領導者，DNV GL 公司明白長期資產績效。(3)掌握時代優勢：對分佈式能源資產提供大規模證券化的技術顧問。

DNV GL 公司認為該公司正在型塑再生能源的未來，因為公司是全球最大的獨立再生能

源顧問的提供者，因為該公司：(1)融合了強而有力的傳承：Garrad Hassan, DNV, GL 及 KEMA。(2)對每一個成熟及發展中的再生能源市場保持全球性的接觸。(3)無可匹敵的技術競力及經驗。(4)與顧客共同工作，致力於型塑再生能源的未來。

在亮點理念部份，講員參考 Citi Research 的 Bloomberg New Energy Finance 資訊，因著太陽能技術的創新，到 2020 年，太陽能各種產出設備的成本持續下降，預估住宅系統成本將降到 1.12\$/Watt，而公用設施系統成本降為 0.65\$/Watt，模組價格將降到 0.25\$/Watt。圖四十四為再生能源專案之風險狀況，可以看到在發展階段的風險指數陡升，到了建造階段的風險指數逐漸降低，而到了營運階段的風險則相對更加降低。

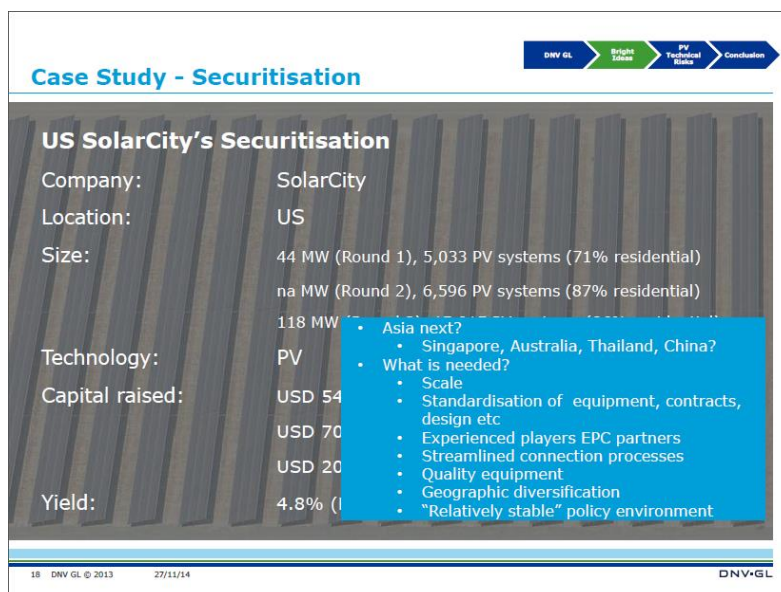


圖四十四、再生能源專案之風險狀況

在財務創新部份，講員題到了幾個案例分析，第一個是有關證券化的案例，是位於美國的 SolarCity 公司，在第一階段的總發電量為 44MW，具有 5,033 個 PV 系統，其中有 71% 為住戶型；第二階段的總發電量未知，但具有為 6,596 個 PV 系統，其中有 87% 為住戶型。在第三階段的總發電量為 118MW，具有 15,915 個 PV 系統，其中有 86% 為住戶型。該公司主要的技術為太陽能技術(Photovoltaics, PV)、第一期募集的資金為 54 百萬美元；第二期募集的資金達到 70 百萬美元；第三期募集的資金更高達 201 百萬美元。第一期的收益為 4.8%；第二期的收益為 4.59%；第三期收益達到 4.32%。

而亞洲的下一個證券化的國家，可能是新加坡、澳大利亞、泰國或是中國。所必須具有的條件包括：(1)規模；(2)設備、合約、計等的標準化；(3)有經驗的總承包合作夥伴；(4)簡

化連結程序；(5)品質設備；(6)地理的分散性；(7)“相對穩定”的政策環境。圖四十五為證券化案例探討。



圖四十五、證券化案例研討

另一個財務創新案例是綠能信託基金(Green Trust)，目前已於亞洲的新加坡運行中。圖四十六係以綠色託基金的運作加以說明。代表性公司為位於新加坡 Keppel 集團的-Green Trust (KGT) (2014 年 4 月 16 日成立的 Keppel 基礎設施基金)，它所運用的技術為綠色基礎設施資產，它的收益介於低至中之間。運用本方式的必要條件包括：(1)規模；(2)多元化的資產結構；(3)具有經驗的投入者於管道業務項目專案(Experienced players with pipeline of operational projects)；(4)穩定/可靠的購電協議；(5)成熟的流程；(6)“相對穩定”的政策環境。

另一個財務創新案例是太陽能債券(Solar Bond)，目前已於亞洲的新加坡及香港運行中，下一波可行的市場，在於所有已發展的太陽能市場。圖四十七係以大陸的 Singyes Solar 公司加以說明。它所運用的技術為太陽能資產，而該公司所募集的資金高達 5.6 億中國離岸人民幣，它的收益達 7.875%(高級固定利率債券)。運用本方式的必要條件包括：(1)綠色債券發行(與發行人的信用評級相互連結)；(2)RE 資產的成熟管路；(3)“相對穩定”的政策、法規和電網連接的環境。

DNV GL → Bright Future → PV Technical Risks → Conclusion

Case Study – Green Trust



Singapore Green Trusts

Company: Keppel Group's K-Green Trust (KGT)
(Keppel Infrastructure Trust as of 16 April 2014)

Location: Singapore

Technology: "Green" technology

Yield: Low

- Asia now
 - Singapore
- What is needed?
 - Scale
 - Diversified asset base
 - Experienced players with pipeline of operational projects
 - Stable/reliable offtake agreements
 - Proven processes
 - "Relatively stable" policy environment


Keppel Singher's Ulu Pandan REWater Plant, owned by KGT in Singapore

20 DNV GL © 2013 27 November 2014 DNVGL

圖四十六、綠能信託基金(Green Trusts)案例研討

DNV GL → Bright Future → PV Technical Risks → Conclusion

Case Study – Solar Bond



Solar Bond issue by SC

Company: Singyes Solar, China

Location: Singapore

Technology: Solar

Capital raised: CN¥

Yield: 7.8%

- Asia now
 - Singapore
 - Hong Kong, all developed solar markets next?
- What is needed?
 - Green bond issuance is linked to credit rating of issuer.
 - Proven pipeline of RE assets?
 - "Relatively stable" Policy, regulatory and Grid connection environment

21 DNV GL © 2013 27/11/14 DNVGL

圖四十七、太陽能債券(Solar Bond)案例研討

群眾採購(Crowd Sourcing)是另一個財務創新案例，它是一種執行 PV 群眾資金/租賃的方式，代表性的公司是 SolarPVExchange，它的地區位於新加坡，在馬來西亞、澳洲和紐西蘭都有其資產，在菲律賓和印尼皆有其管路。它的安裝標的(Installation Target)：每個國家 8MWp。它的收益標的，預期能達到 5%。目前在亞洲除了大陸外，新加坡的平台正在發展中。運用本方式的必要條件包括：(1)規模會與專案數量的多少較相關，與專案本身的大小較無相關；(2)多個專案投資所使用到的設備、合同與設計的標準化；(3)有經驗的投入廠家及經驗證過的流程；(4)“相對穩定”的政策、法規和電網連接的環境。圖四十八係群眾採購案例研討。

DNV GL Engin
Trade PV
Technical Conduction
Forum

Case Study - Crowd Sourcing



PV Crowd Funding/ Leasing

Company: SolarPVExchange

Location: Singapore with assets in Malaysia, AU, NZ;

Installation Target: 8 M

Yield Target: 5%

- Asia now
- China
- Singapore platform under development
- What is needed?
 - Scale in terms of number of projects, less relevant is project size
 - Standardisation of equipment, contracts, design for multiple projects investment
 - Experienced players, Proven processes
 - "Relatively stable" Policy, regulatory and Grid connection environment

22 DNV GL © 2013 27 November 2014 DNV GL

圖四十八、群眾採購(Crowd Sourcing)案例研討

在商業模式創新部份，講員主要談到超越電價的議題，同樣的以案例評析方式來說明。第一個案例是有關公用事業規模-直銷(Utility Scale - Direct Sales)的案例。她以 RIO TINTO 礦山工程專案來說明，係位於澳洲的 First Solar and Ingenero 公司，所採用的技術為 PV - 柴油混合動力廠，其規模在初期為 1.7MW，預計成長到 5MW，其協議書有效達 15 年的 PPA。目前除了澳洲案例外，泰國可能是亞洲的下一個案例。運用本商業模式的必要條件包括：(1)值得信任的採購協議；(2)長期購電，即礦山壽命的評估；(3)信譽良好的承購方；(4)有經驗的廠家；(5)成熟的流程；(6)支持性政策環境。圖四十九係有關公用事業規模-直銷案例研討。

而對於太陽能產業的商業電廠的商業模式，圖五十以位於澳大利亞的兩家商業電廠-- Infigen Energy and FRV/ Pacific Hydro 公司為例，該兩家電廠皆以太陽能技術為基礎，各自生產 50MW 及 56MW 的發電容量。目前在亞洲，除了澳大利亞之外，似乎還看不到其它國家的廠商有投入的跡象。運用本商業模式的必要條件包括：(1)開放的電力市場與流暢的現貨和期貨市場；(2)高度大盤商（或批發+認證）的價格；(3)緊密鄰近的負載；(4)有經驗的廠家及經過驗證的流程；(5)支持性政策環境。

Case Study: Utility Scale – Direct Sales

RIO TINTO MINE PROJECT

Company: First Solar and Ingenero
 Location: Australia
 Size: 1.7MW initially, 5MW planned
 Technology: PV- diesel hybrid
 Agreement: 15-year PPA

- Asia now
 - Australia now
 - Philippines, Thailand next?
- What is needed?
 - Creditworthy offtake agreement
 - Longterm offtake, ie mine life
 - Creditworthy offtaker
 - Experienced players
 - Proven processes
 - Supportive policy environment

24 DNV GL © 2013 27/11/14 DNV-GL

圖四十九、公用事業規模-直銷案例研討

Case Study: Merchant Plants

Two Merchant Power examples

Company: Infigen Energy and FRV/ Pacific Hydro
 Location: Australia
 Size: 50 MW and 56 MW respectively
 Technology: PV
 Agreement: na

- Asia now
 - AU??
- What is needed?
 - Liberalised electricity market with liquid spot and futures market
 - High wholesale (or wholesale + certificate) price
 - Close vicinity to load
 - Experienced players , proven processes
 - Supportive policy environment


25 DNV GL © 2013 27/11/14 DNV-GL

圖五十、商業電廠案例研討

在 PV 的技術風險部份，講員首先提問參與研討會的成員有關大型太陽能建置方面，典型的失敗因素為何？以及最常發生的問題為何？接著講員羅列出問題的答案，列舉了 15 項大型 PV 建置常見的失敗原因如圖五十一及圖五十二所示，它們包括：

1. 表現不佳的太陽能組件：標示功率大於實際功率（最常見）
2. 缺乏或是低品質的監測系統（最常見）
3. 模塊降解率大過預期（例如，由於製造的問題、太陽能電池內的裂紋，以及旁路二極體）

4. 由於破裂的連接器（可能是因連接器或安裝不當的問題造成品質不佳）造成中斷串
5. 因不當的製造、運輸或安裝造成產生破裂電池的模組，卻用來安裝
6. 太陽能模組的潛在誘導性降解
7. 逆變器破損
8. 因為遮陽所造成的損失（在複雜地形）
9. 由於低精度造成低品質的感測器導致效能比的錯誤估計
10. 太陽能模塊框架的接地不良
11. 框架侵蝕
12. 人員數目和品質，以及經驗及參考的水平
13. 變壓器漏
14. 不良散熱和通風設計的逆變器存儲，導致不好的可靠性和效率
15. 在太陽能農場無法檢測出電子設備故障



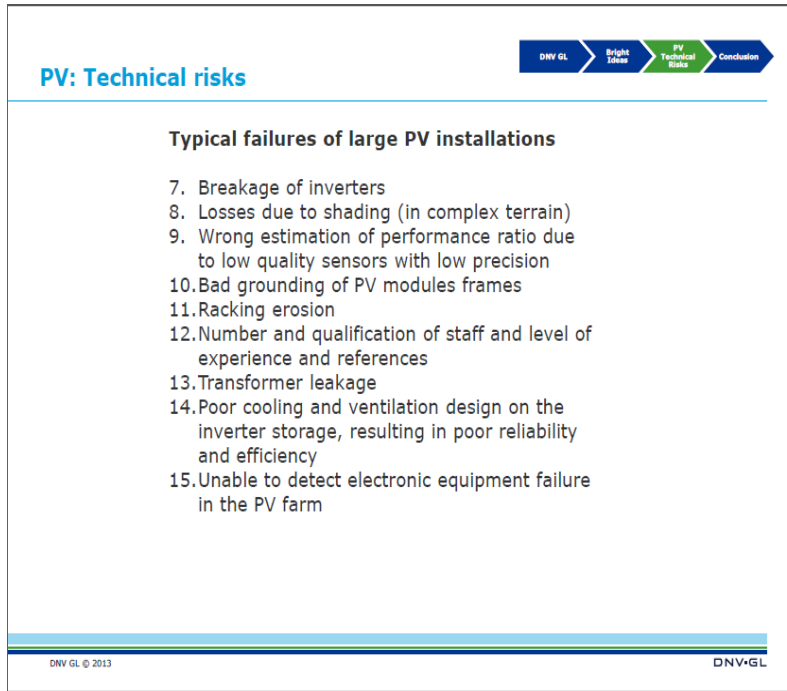
PV: Technical risks

Typical failures of large PV installations

1. Underperformance of PV modules: labelled power is higher than real power (most frequent)
2. No or low quality monitoring system (most frequent)
3. Larger than expected module degradation (e.g. due to manufacturing problems, cracks in solar cells, by-pass diodes)
4. Interrupted strings due to broken connectors (may be quality issue of connectors or improper installation)
5. Installation of modules with cracked cells due to improper manufacturing, transport or installation
6. Potential-induced degradation of PV modules

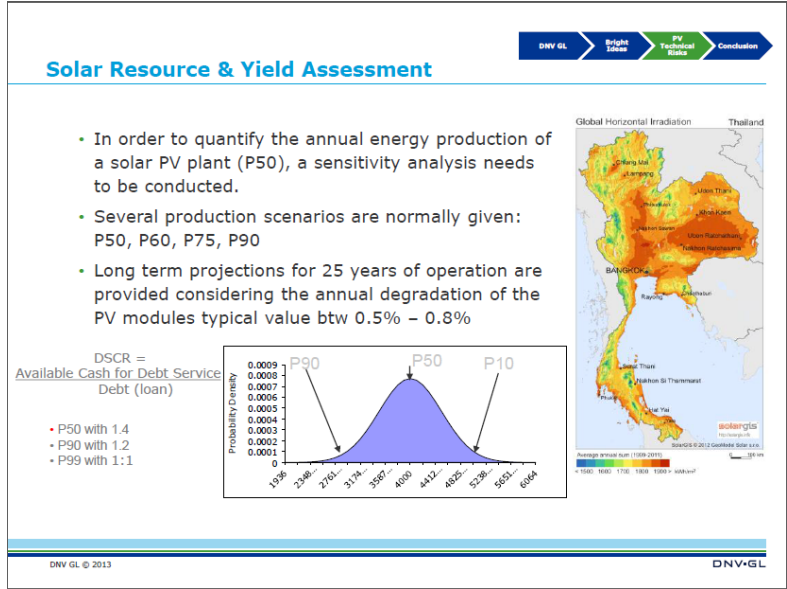
DNV GL © 2013DNV GL

圖五十一、PV 的技術風險(1/2)

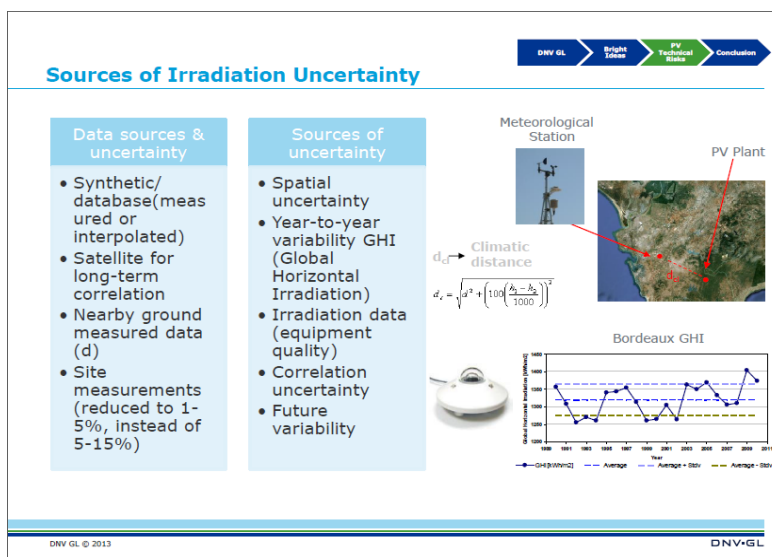


圖五十二、PV 的技術風險(2/2)

針對太陽能資源與收益評估，為了量化每年能源生產的太陽能電站，需要進行敏感性分析。而通常會產出幾個生產場景，考慮到太陽能組件年下降率的典型值 0.5%- 0.8%，提供 25 年運作的長期預測資訊。圖五十三展示這樣的預測情境。圖五十四則分析照射的不確定性來源及其影響。



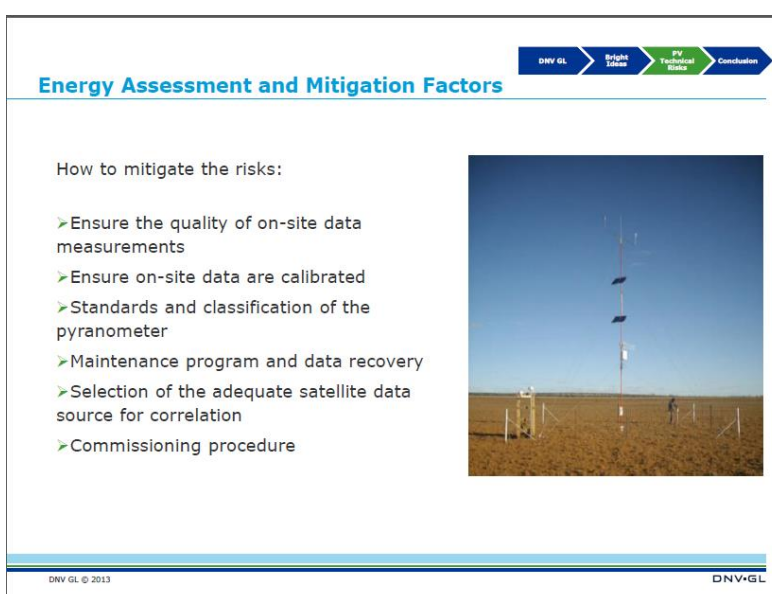
圖五十三、太陽能資源和收益評估



圖五十四、照射不確定性的來源

圖五十五針對能源評估及緩解因素提出說明，如何能降低風險呢？可依據下列因素加以評估：

1. 確保現場資料測量的品質
2. 確保現場資料經過校準
3. 日射強度計的標準和分類
4. 維護程序和資料復原
5. 選擇適當的衛星資料來源的相關性
6. 試運程序



圖五十五、節能評估和緩解因素

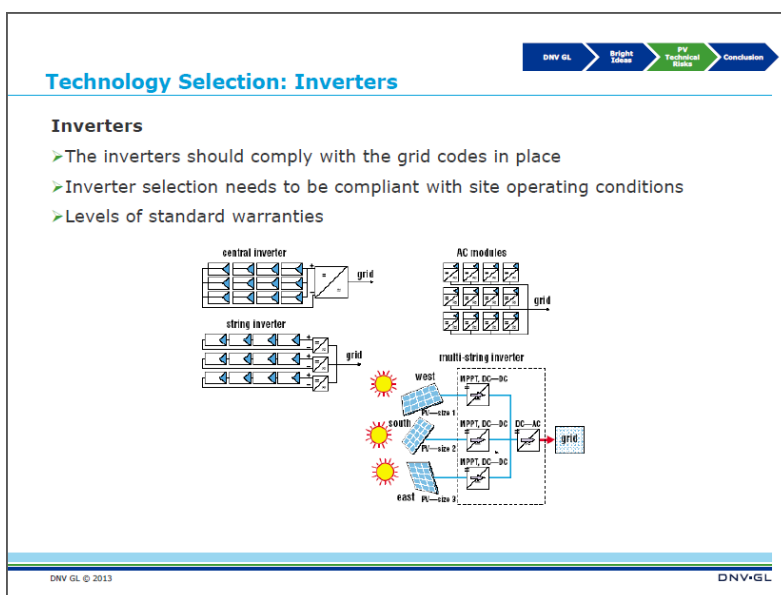
針對技術的選擇，圖五十六說明有關模組方面的選擇要點，太陽能模組的背景資訊為：太陽能組件行業在近幾年來已經經歷了異常的增長，在這個行業中有越來越多的加入廠商，但也越來越多破產的案例。幾個關注的重點：

1. 太陽能組件，其 CA 項目佔總成本的 50%，所以關鍵在於提供性能和耐用性的信心。
2. 主要風險包括：(1)製造品質流程；(2)提供保證的產品和生產；(3)獲得認證。
3. 追蹤該技術和製造商的記錄，可以帶來對最終產品的信心。
4. 銀行可貼現報告分析太陽能模組製造商的整個生產過程，聚焦於他們的品質標準，程序的自動化程度、製造商能力及其在太陽能模組供應鏈的整合程度。

而對於逆變器的選擇，如圖五十七所敘，幾個注意要點包括：(1)逆變器應符合地方電網守則；(2)逆變器的選擇需要符合現場操作條件；(3)標準保證的層級。



圖五十六、技術選擇：模組



圖五十七、技術選擇：逆變器

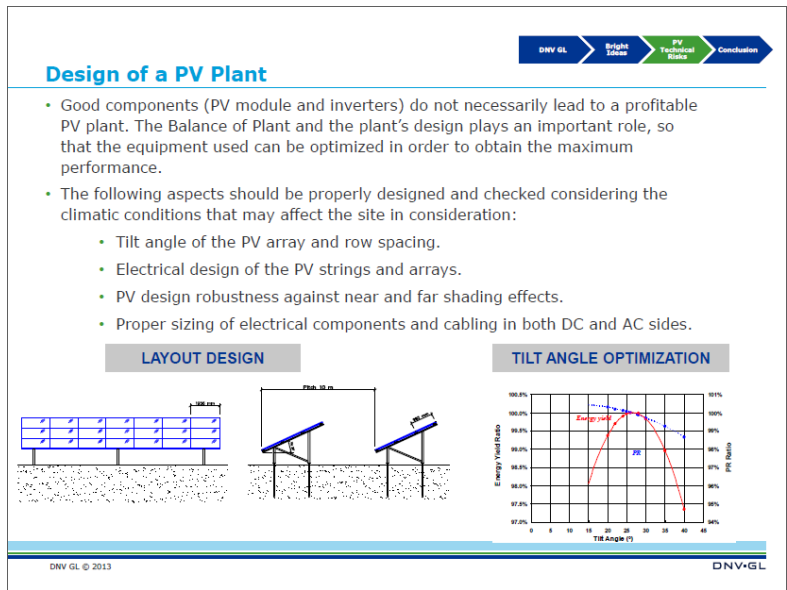
圖五十八說明太陽能電廠的設計原則，包括：

1. 良好的組件（太陽能組件和逆變器）並不一定會導致盈利的太陽能電站。電廠的平衡和電廠的設計扮演著重要的作用，因此使所用的設備可以進行最佳化並獲得最大的性能。
2. 在以下幾個方面，應適當地設計並檢查，考慮到可能影響到的部位及考慮氣候條件：
 - (1) 太陽能陣列和行間距的傾斜角度。
 - (2) 太陽能串和數組的電氣設計。
 - (3) PV 的設計可以有效抵抗遠近陰影效果。
 - (4) 適當的大小和電氣組件和佈線在直流和交流側。

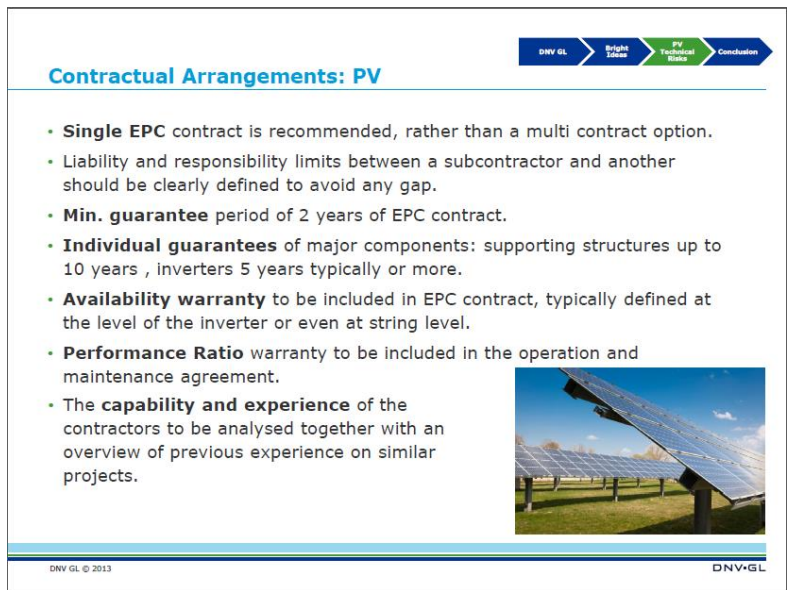
有關太陽能合約安排，如圖五十九，相關注意事項說明如下：

1. 單一的 EPC 合約建議，而不是一個多合約選項。
2. 分包商和其它的義務和責任限額應明確界定，以避免任何差距。
3. 最少 2 年的總承包合約保證期限。
4. 主要成分的個體的保證：通常支撐結構長達 10 年，逆變 5 年以上。
5. 可用性保證要包括在 EPC 合約內，通常限定在所述逆變器的水平，甚至在字符串級別。
6. 性能比保證承諾包含在操作和維護協議。

7. 承包商的能力和經驗，要一起與以往類似專案的經驗的概要進行分析。



圖五十八、PV 電廠設計



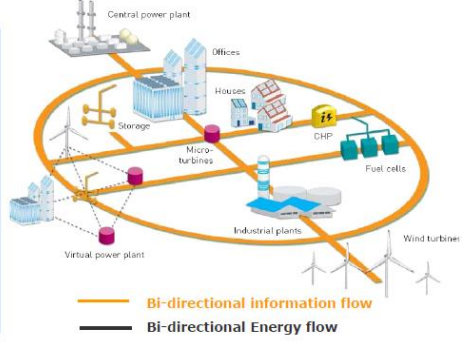
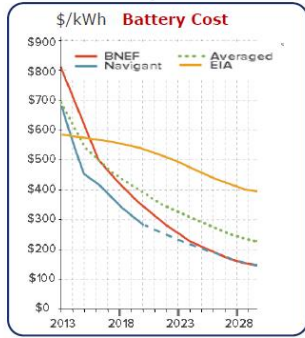
圖五十九、PV 合約協議

圖六十說明了技術創新與趨勢，因著儲能系統(電池)和太陽能板的成本都在下降，並且智慧電網技術已經廣泛應用到我們的家門口。所以下一波技術創新，將圍繞在儲能系統和智慧電網解決方案，並將進一步加速商業和金融模式。

本研討會的結論，講員談到了這是一個太陽能金融激動人心的時刻，因為在本研討會所討論到的亮點資訊，都是已經發生在世界的某個地方的金融創新，甚至在亞太地區也是如此。而當我們對於技術、流程、市場和投入的廠商有信心，將會是進入這個市場的起點。

Technical Innovations & Trends

The cost of **Storage** and PV (its key driver) are both dropping, and the wider use of **Smart Grid technology** is at our doorstep.



The next wave of technical innovation, around Storage and Smart grid solutions, will accelerate business and finance models further.

圖六十、技術創新與趨勢

四、建議事項

本次鄭員及李員赴新加坡參加「2014 年第四屆電力與能源系統國際研討會(2014 4th International Conference on Power and Energy Systems, ICPEs 2014)」，與國際先進業界進行電力、能源系統與微電網技術交流，不僅獲取國際能源系統、微電網最新發展趨勢與電力系統研發相關技術發展現況，有助於核研所未來在微型電網與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，並且會同 DNV GL 公司人員共同參訪了屋敏島微電網系統，以及參加了太陽能金融研討會，對於未來推廣核研所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：

- (一)為了提高用戶端儲能系統投資之經濟效益，儲能系統亦被用來提供電力系統之輔助服務。美國近來已著手進行儲能系統用於電力躉售之效益分析，核研所微電網亦可依此方向進行儲能系統電力躉售交易及能源服務模式分析。
- (二)為了有效利用再生能源發電，國內外許多研究進行能源管理系統分析，核研所亦可針對市電併聯與孤島下之微電網，開發能源管理系統平台，使微電網於併聯與孤島運轉模式下皆可連續穩定運轉。
- (三)世界各國現皆不遺餘力地進行微電網系統的技術發展，並紛紛建置微電網實證場域，以驗證微電網相關技術的可靠性和穩定性。核研所可透過派員赴國外實地參訪微電網設施，直接了解當地建置微電網之特性，收集第一手技術資訊，並透過面對面的交流，充分交換心得與意見，吸取他人微電網技術與發展的實戰經驗，有利於核研所微電網計畫之產業化作為，並協助本國微電網產業爭取微電網建置實績的機會。