

出國報告（出國類別：其他）

赴日本長崎參加「International  
Conference on Renewable Energy  
Research and Applications」國際會議出  
國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：羅國原 助理研究員

派赴國家：日本

出國期間：101 年 11 月 11 日~101 年 11 月 15 日

報告日期：101 年 12 月 13 日



## 摘 要

近年來本所持續發展再生能源領域之研究，目前規劃執行智慧電網園區與電力微型電網供電系統之建置，為與國際先進技術交流，並了解國際最新發展情勢，故參加2012年國際再生能源研究與應用研討會(ICRERA)，以了解日本如何因應愈來愈多的再生能源或分散式電源併入市電所帶來的問題，並探討福島311事件後日本對再生能源期望和產學界目前再生能源發展方向。

ICRERA為IEEJ和IEEE合作所發起的國際學術會議，屬於在日本召開中具有影響力電力電子領域的國際學術會議之一，本次參加會議將有助於未來微型電網與分散式發電系統之技術發展。此次與國外研究單位之技術交流將可作為本所進行再生能源分散式電力微型電網供電系統之參考，獲取得國際最新發展趨勢，也以利推行本所計劃之執行。

# 目 次

|              |    |
|--------------|----|
| 摘 要 .....    | i  |
| 一、目的 .....   | 1  |
| 二、過程 .....   | 1  |
| 三、心得 .....   | 2  |
| 四、建議事項 ..... | 28 |

## 附圖目錄

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 圖一：ICRERA 會場 .....           | 2  |
| 圖二：風力發電系統介紹 .....            | 3  |
| 圖三：丹麥風力發電發展介紹 .....          | 3  |
| 圖四：太陽能發電系統介紹 .....           | 4  |
| 圖五：電力轉換器架構 .....             | 4  |
| 圖六：ETH PES.....              | 5  |
| 圖七：電感性負載硬切換 .....            | 5  |
| 圖八：IGBT 切換特性 .....           | 6  |
| 圖九：開迴路閘極驅動 .....             | 6  |
| 圖十：閉迴路閘極驅動 .....             | 6  |
| 圖十一：新型閉迴路閘極驅動 .....          | 7  |
| 圖十二：新型閉迴路閘極驅動電路 .....        | 7  |
| 圖十三：新型閉迴路閘極驅動實驗結果.....       | 7  |
| 圖十四：日本政府能源政策 .....           | 8  |
| 圖十五：再生能源發電成本和長崎再生能源系統發展..... | 9  |
| 圖十六：三菱重工再生能源佈局 .....         | 9  |
| 圖十七：三菱重工風機系統發展 .....         | 9  |
| 圖十八：三菱重工離岸風機與發展瓶頸.....       | 10 |
| 圖十九：風機系統介紹 .....             | 10 |
| 圖二十：實驗中鋰離子電池介紹 .....         | 11 |
| 圖二十一：充電電路和電池重置運轉.....        | 11 |
| 圖二十二：鋰電池組合與測試 .....          | 12 |
| 圖二十三：NTT 公司介紹 .....          | 13 |

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 圖二十四：NTT 太陽能示範場介紹 .....                | 13 |
| 圖二十五：NTT 仙台微電網示範場介紹 .....              | 13 |
| 圖二十六：311 造成電力異常情形 .....                | 14 |
| 圖二十七：交流/直流混合式微電網系統.....                | 14 |
| 圖二十八：微電網系統測試和防災電力系統計畫.....             | 14 |
| 圖二十九：日本 MOE 贊助的其他分散式電力相關計畫.....        | 15 |
| 圖三十：NTT 未來微電網計畫和結論 .....               | 15 |
| 圖三十一：傳統電網儲能系統介紹 .....                  | 16 |
| 圖三十二：新型電池儲能系統介紹 .....                  | 17 |
| 圖三十三：新型電池儲能系統硬體架構.....                 | 17 |
| 圖三十四：新型電池儲能控制系統介紹.....                 | 17 |
| 圖三十五：電池平衡與故障旁路控制.....                  | 18 |
| 圖三十六：故障旁路暫態波形與個別轉換器控制.....             | 18 |
| 圖三十七：測試電池輸出功率變化 .....                  | 18 |
| 圖三十八：第二代新型電池儲能系統硬體架構.....              | 19 |
| 圖三十九：第二代新型電池儲能系統測試結果和結論.....           | 19 |
| 圖四十：微電網定義和說明 .....                     | 20 |
| 圖四十一：NEGAWATT 說明和介紹.....               | 20 |
| 圖四十二：各國 GDP 和能源消耗統計與 NEGAWATT 計算 ..... | 21 |
| 圖四十三：韓國直流建築的介紹與規劃.....                 | 22 |
| 圖四十四：韓國直流建築示範與直流電傳輸規劃.....             | 22 |
| 圖四十五：韓國微電網計畫介紹 .....                   | 22 |
| 圖四十六：換流器並聯架構與 PR 控制器設計.....            | 23 |
| 圖四十七：均流控制與測試結果 .....                   | 24 |
| 圖四十八：儲能系統穩定再生能源輸出功率應用.....             | 25 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 圖四十九：稚內百萬瓦太陽能示範場儲能應用 ..... | 25 |
| 圖五十：MIYAKO 島再生能源電網應用 ..... | 25 |
| 圖五十一：諧波阻抗偵測孤島方式介紹 .....    | 26 |
| 圖五十二：諧波阻抗偵測孤島結果 .....      | 27 |
| 圖五十三：ICRERA 會場合影 .....     | 27 |

## 一、目的

近年來本所致力於再生能源領域之研究，目前規劃執行再生能源分散式電力微型電網供電系統之建置。根據IEEJ研究報告指出未來亞洲能源需求，將由2008年3.7億油當量(toe)成長至2035年7.4億油當量(toe)；其中日本、韓國和台灣等先進國家的能源需求，因為科技進步和生育率下降，將不會持續成甚而會降低。但中國大陸和印度則是會因高度發展，而使能源的需求也將呈現指數性的成長。有鑒於國際石油價格節節上升，但能源需求不停緩的增加，發展替代性新能源也成為目前國際上非常受重視的議題，為與國際先進技術交流，並了解國際最新發展情勢，故參加2012年國際再生能源研究與應用研討會(ICRERA)，以了解日本如何因應愈來愈多的再生能源或分散式電源併入市電所帶來的問題。

ICRERA為IEEJ和IEEE合作所發起的國際學術會議，屬於在日本召開中具有影響力電力電子領域的國際學術會議之一，本次參加會議將有助於未來微型電網與分散式發電系統之技術發展。此次與國外研究單位之技術交流將可作為本所進行再生能源分散式電力微型電網供電系統之參考，獲取得國際最新發展趨勢，也以利推行本所計劃之執行。

## 二、過程

| 日期              | 工作重點                           |
|-----------------|--------------------------------|
| 101/11/11       | 去程（由台北出發抵達日本）                  |
| 101/11/12~11/14 | 參加 IEEE 2012 ICRERA Conference |
| 101/11/15       | 回程                             |

### 三、心得

#### (一) 參加 IEEE 2012 ICRERA Conference

ICRERA 主要為 IJRER(International Journal Renewable Energy Research)主辦，其它贊助者包括 IEEE Power Electronics Society(PELS)、Industry Applications Society(IAS)、Korean Electrical Engineers(KIEE)、Taiwan Power Electronics Association(TPEA)和 Advanced of Electrical Engineering and Energy. 這次會議舉辦在長崎如圖一，除了具有在第二次世界大戰投下原爆的歷史意義外，更呼應日本 311 福島事件的核電廠輻射污染，期望由此次召開的再生能源發展與研究與應用會議，成功發起國際間對再生能源發展和核能安全的重視，並開啓綠色能源革命的新頁。以下針對會議中 keynote speeches 和 Oral sessions 的心得作一介紹。



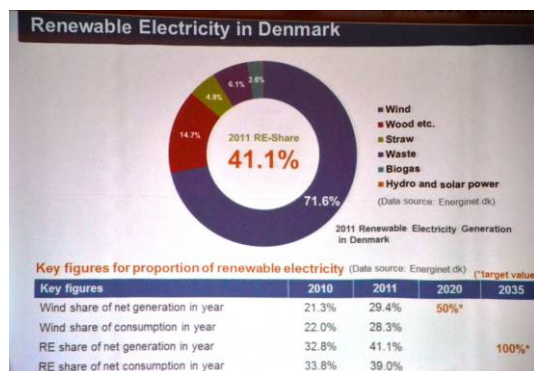
圖一：ICRERA 會場

#### 1 Keynote Speeches

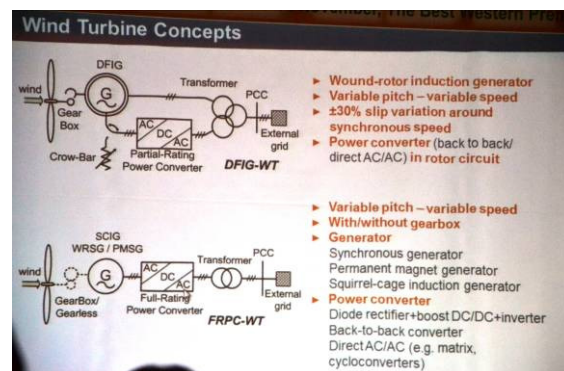
##### (1) Power Electronics for Renewable Energy Systems: Wind Turbine and Photovoltaic Systems

第一位演講者為丹麥Aalborg 大學的F. Blaabjerg教授，F. Blaabjerg教授是IEEE的院士，也曾經擔任過PELS的主席，演講內容介紹丹麥目前再生能源的發電佔比，2011年達到41.1%如圖二，其中風力發電已佔總發電的29.4%，是目前發展風力發電最成熟的國家，圖二b介紹了幾個風機系統的架構，包括雙饋式感應機(DFIG)和永磁同步機(PMSG)，相對於DFIG，PMSG有較多電力轉換器型式可選擇，同時可節省齒輪箱但因為永磁所需的釹鐵硼磁性元件需較高成本。圖三中也介紹丹麥Vestas已開發8MW永磁風機系統和離岸風機發電廠，分別於2002年和2009年運轉160MW(Vestas 2MWx80)和29.3MW

(Vestas 2.3MWx91)離岸發電系統。圖四介紹了太陽能發電成本發展和太陽能架構，以薄膜太陽能電池未來價格將最有競爭力，為有效發展太陽能發電系統，成本中的電力電子、建置和發電模組成本皆需要大幅度的降低，至2011目前為止全球PV裝置容量已達到67GW，光2011年就裝置了28GW。太陽能發電架構可分為幾種類型：中央集中式、多串或串接式和模組型，中央集中式成本較低但容易受到陰影貨其他環境因素影響發電，相反的模組型成本較高但因為具有獨立電力轉換器，因此不受環境因素影響發電且MPPT效率較高，多串式則於其中。圖五a則是PV市電併聯電力轉換器架構，圖五a為SMA公司開發出H5架構Inverter，可利用額定電壓較小MOSFET當切換開關並使兩顆MOSFET低頻操作降低切換損失，可增加電路轉換效率和降低漏電流，目前已為商品化產品。圖五b為Multi-Level Inverter，利用多階式電壓建立正弦電壓電流，除可利用額定電壓較小MOSFET當切換開關增加效率外也可改善總諧波失真，為目前Inverter發展的方向之一。



a. 丹麥風力發電佔比

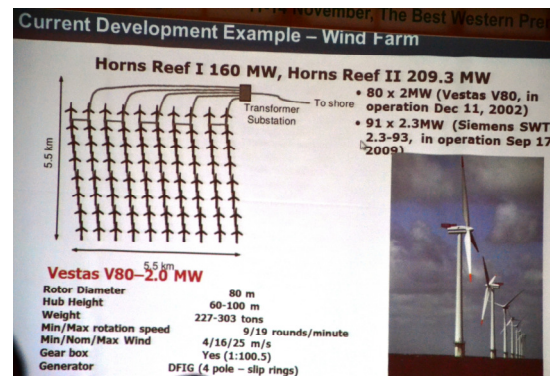


b. 風機系統的發電架構介紹

圖二：風力發電系統介紹

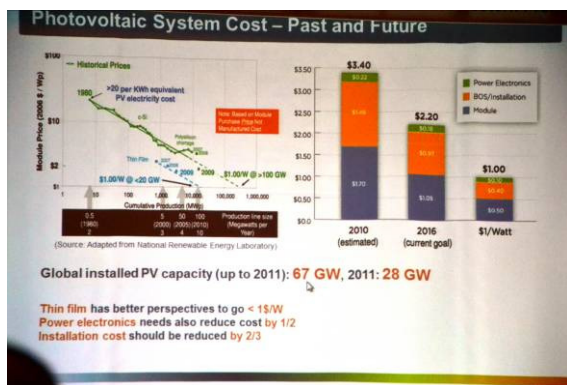


a. Vestas 8MW 風機

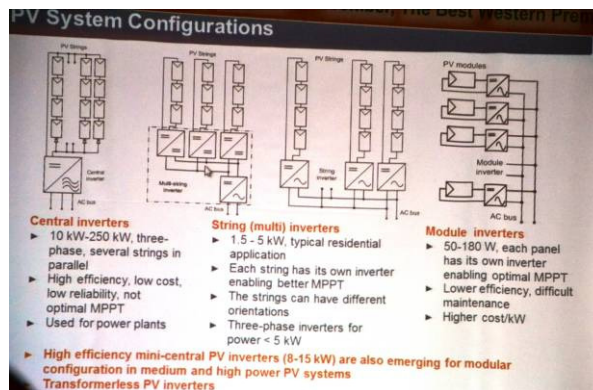


b. 離岸風機系統介紹

圖三：丹麥風力發電發展介紹

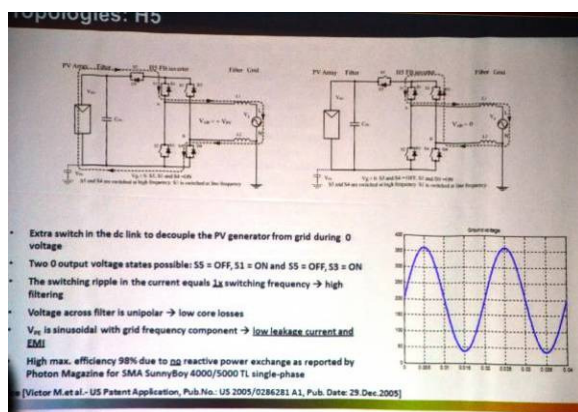


a. 太陽能發電成本

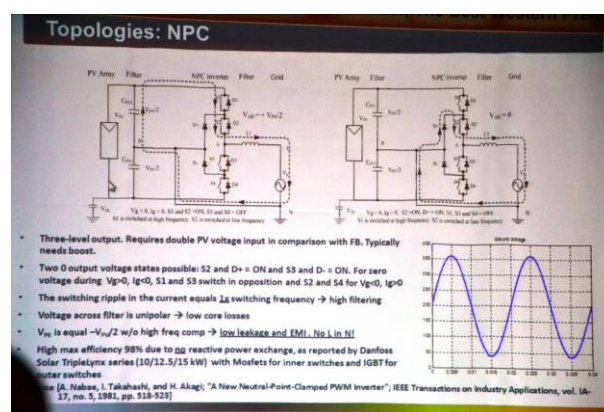


b. 太陽能發電架構介紹

圖四：太陽能發電系統介紹



a.H5 Inverter



b.Three-Level Inverter

圖五：電力轉換器架構

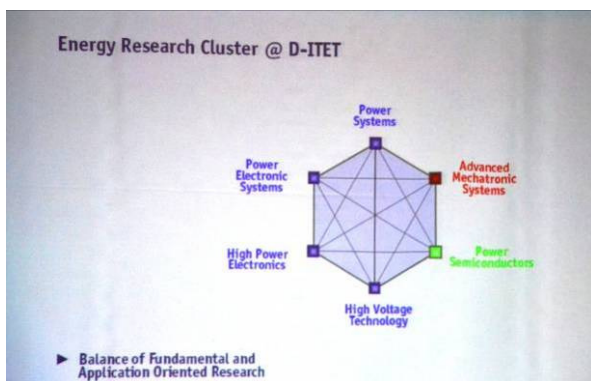
## (2) State of the Art and Future Trends in IGBT Gate Drive and Protection

演講者 Johann W. Kolar 教授 IEEE 的院士，目前領導蘇黎世聯邦理工學院的 PES 實驗室，主要內容為 IGBT 驅動電路的回授和保護，圖六為 PES 實驗室的介紹，研究方向包括電力系統，電力電子和高電壓高功率電力電子技術，實驗室有 28 位博士生和 4 位博士後研究員，圖七為電感性負載硬切換說明，目的是降低切換延遲時間、EMI 干擾和增加安全操作區域(SOA)，圖七 b 說明電壓電流的微分量皆會影響切換損失，其中二極體的反向恢復電流也受到電流微分量影響，關係為：

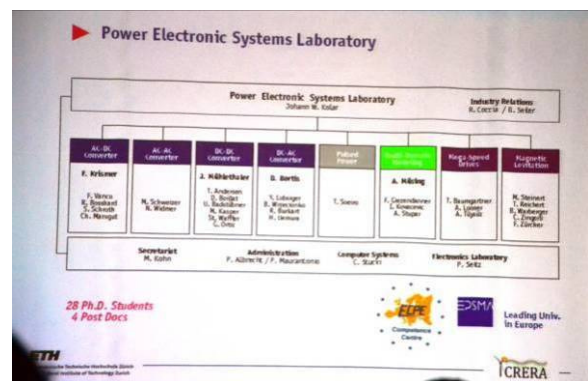
$$I_{rr} = \sqrt{Q_{rr} \frac{di_c}{dt}} \quad (1)$$

其中  $I_{rr}$  為反向恢復電流  $Q_{rr}$  二極體反向恢復電荷， $i_c$  為開關電流。圖八為 IGBT 切換特性，IGBT 具有非線性特性，會受到溫度和負載操作點影響，閘極電阻會影響驅動電流大小，也間接影響 EMI、切換損失和 SOA。圖九為一般驅動電路方式，被動驅動方式成本較低架構簡單，但無法補償電路寄生電容影響並增加開關導通和截止的延遲時間。開迴路驅動可以改變驅動電流型式但對於 IGBT 非線性特性還是不能補償，圖十為閉迴路驅動介紹，利用回授  $V_{ce}$  電壓控制輸出閘極驅動，可補償 IGBT 非線性特性控制開關輸出電壓，

圖十 b 為數位輸出閘極驅動，雖然可彈性設計控制驅動電路，但數位類比轉換的延遲的問題很嚴重，圖十一為新型閉迴路閘極驅動，利用閉迴路和數位控制器分別控制 IGBT 導通的電流斜率和 IGBT 截止的電壓斜率，控制器同時判斷在導通時與截止時的暫態，主控制迴路為 IGBT 上電壓電流斜率，同時有獨立迴路增益，並控制導通時的閘極電流，降低導通的延遲時間，當 IGBT 導通後斜率控制參考訊號設為 0，圖十二為新型閉迴路閘極驅動電路和照片，利用類比運算放大器實現 PI 控制器，電壓斜率資訊利用 CR 高頻濾波器取得，電流斜率資訊利用串聯電感上電壓得到，閘極電流則簡單由閘極電阻電壓得到，圖十三為新型閉迴路閘極驅動實驗結果，可獨立設定不同電壓電流斜率和測試結果，利用控制 IGBT 上電壓和電流斜率可減少切換損失，同時配合矽碳材料的技術改善反向恢復電流和降低電壓電流在 IGBT 的應力，實驗結果證明閉迴路閘極驅動電路可有效控制 IGBT 上電壓和電流斜率，對於未來電力電子設計改善上有一參考價值。

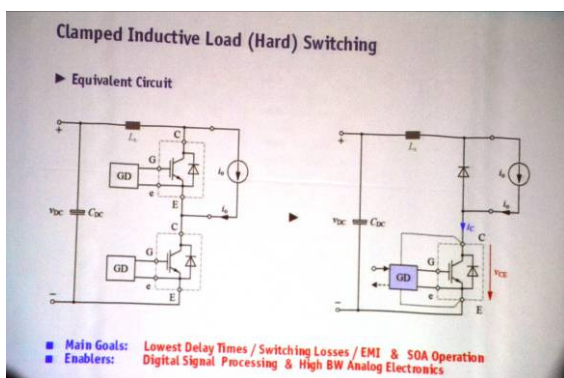


a.H5 Inverter

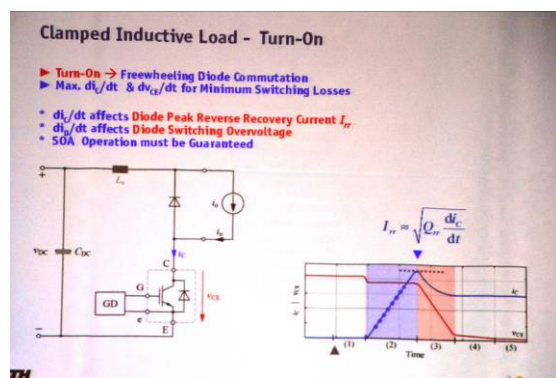


b.Three-Level Inverter

圖六: ETH PES

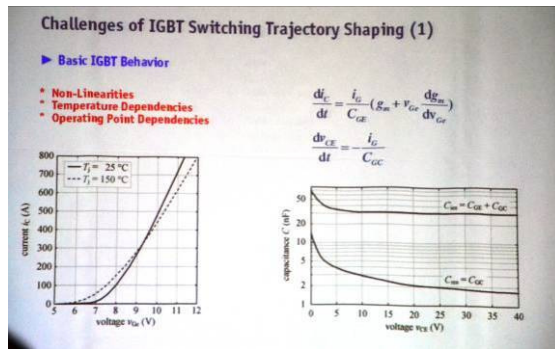


a.等效電路

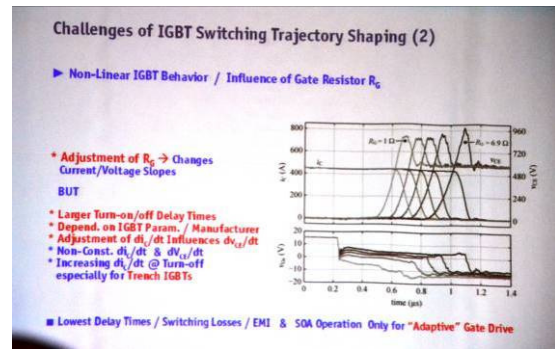


b. 切换損失計算

圖七: 電感性負載硬切換

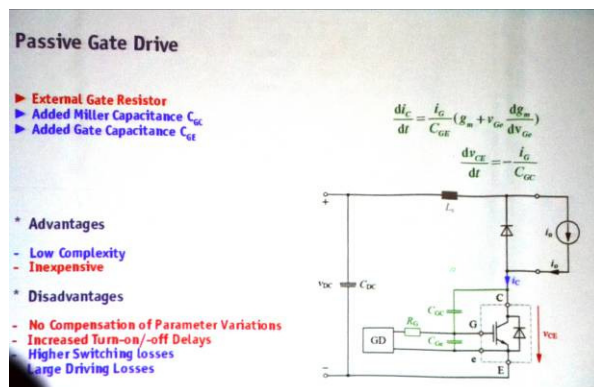


a. IGBT 基本特性

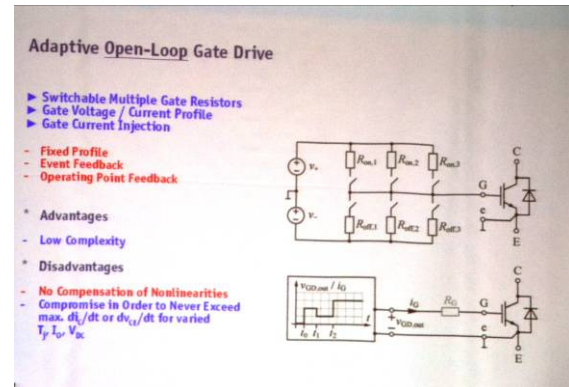


b.  $R_G$  對 IGBT 影響

圖八：IGBT 切換特性

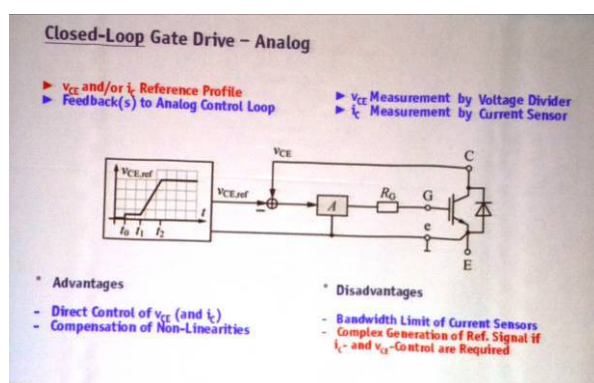


a. 被動閘極驅動

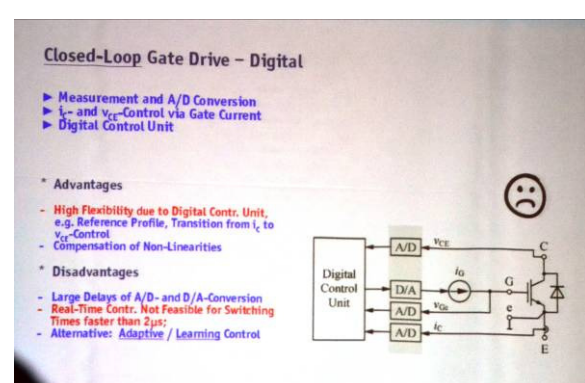


b. 開迴路閘極驅動

圖九：開迴路閘極驅動

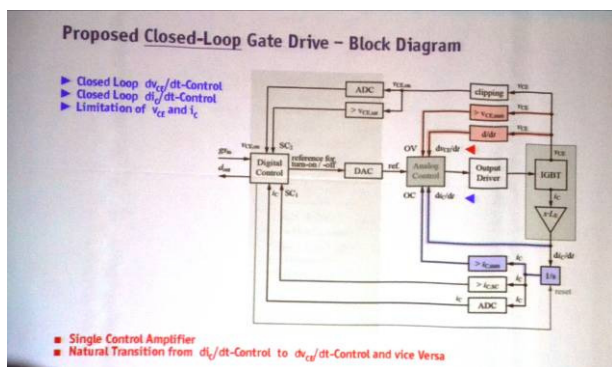


a. 閉迴路閘極驅動介紹

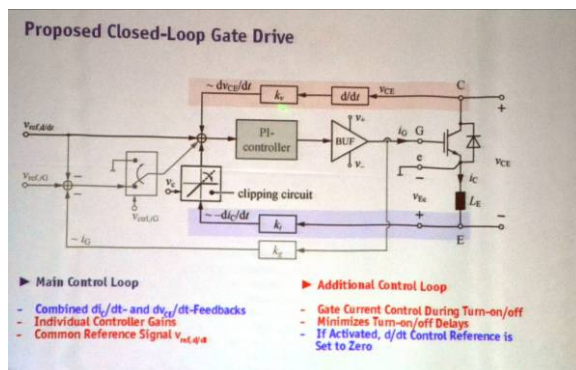


b. 數位閉迴路閘極驅動

圖十：閉迴路閘極驅動

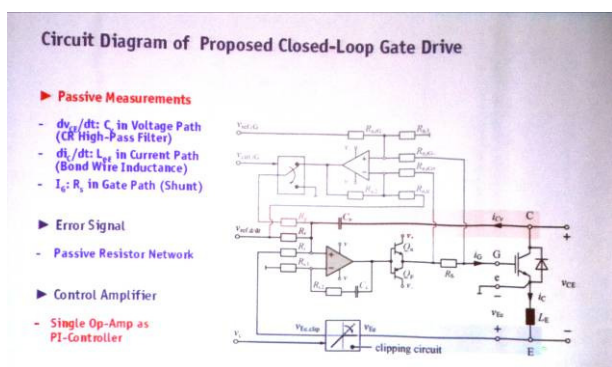


a. 新型閉迴路驅動方塊圖

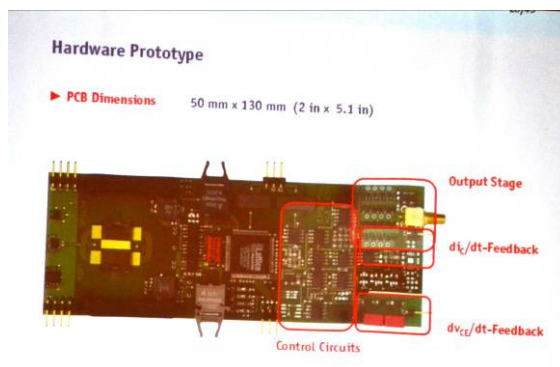


b. 新型閉迴路閘極驅動

圖十一：新型閉迴路閘極驅動

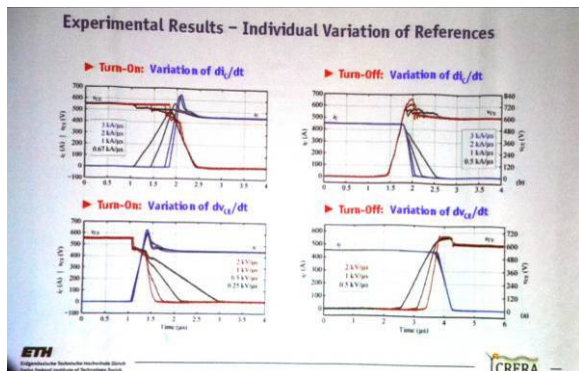


a. 新型閉迴路閘極驅動電路

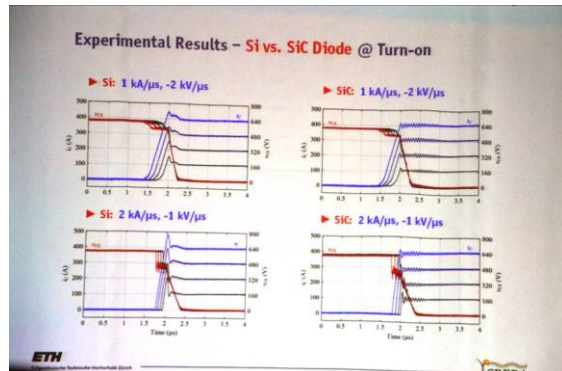


b. 新型閉迴路閘極驅動照片

圖十二：新型閉迴路閘極驅動電路



a. 不同電壓電流斜率控制



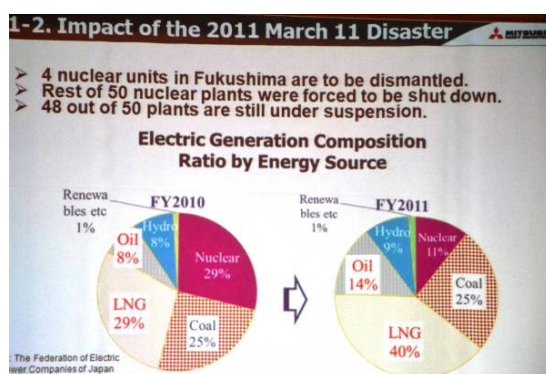
b. Si 和 SiC 二極體比較

圖十三：新型閉迴路閘極驅動實驗結果

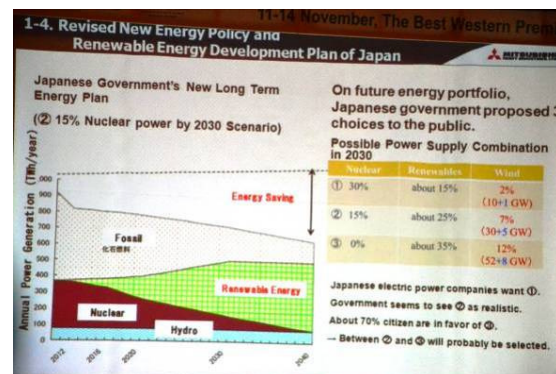
### (3) Japanese Renewable Energy Policy and MHI's Activities

演講者為三菱重工 Mr. Ichiro Matsuura, Ichiro Matsuura 為三菱重工 Wind Turbine Division Deputy General Manager, 圖十四為日本政府對未來能源政策的介紹, 在 2011 年 3 月 11 日的福島核災事件裡, 共拆除了 4 座核能機組並進行除役, 有 50 座核能機組被迫停止運轉並進行檢討, 其中有 48 座核能機組尚在評估中, 整個日本發

電系統受到很大的影響，以日本 2010 年與 2011 年不同發電配比來看，核能發電從 2010 年佔總發電量的 29%驟降至 2011 年的 11%，不足電力需求由其它火力發電來供應，天然氣和石油發電從 2010 年總發電量的 29%和 8%分別驟升至 2011 年 40%和 14%，顯而易見的是，發電的燃料成本對於電力公司有很大的衝擊，同時電力需求的缺口也需仰賴了日本民眾平時節約能源來改善，面對核能安全的疑慮，再生能源的選項變的越來越重要，日本政府在規劃了 2030 年再生能源政策選項，提出了 3 個可能目標方向如圖十四 b 所示，第一個選項為電力公司所選擇，核能發電佔 30%，再生能源佔 15%其中風能佔 2%，第二個選項為政府規劃可能實現的目標，核能發電佔 15%，再生能源佔 25%其中風能佔 7%，第三個選項為 70%的日本民眾所期望的目標，核能發電佔 0%，再生能源佔 35%其中風能佔 12%，最後政府政策目標走向將會在第二個選項和第三個選項之間調整來選定。圖十五為再生能源發電成本和長崎再生能源發展，再生能源成本分析裡目前以風能價格最為低廉，水力和地熱發電次之，但水力發電和地熱發電受限於環境限制，太陽能發電成本目前還是太高，因此在發展再生能源時成本和環境因素皆須全盤考量。圖十五 b 為介紹三菱重工在長崎發展很多再生能源系統。圖十六為三菱重工再生能源全球佈局，在澳洲建置了 10MW 的太陽能熱發電系統，此一發電系統優點為有較高的能源轉換效率，且不需要利用到水資源適用於沙漠或乾燥地區，圖十六 b 為三菱重工全球風力發電佈局，共建置於 11 個國家，總共 4457MW，大部分集中於美國，以目前大型風機系統產業來看，日本雖有一定水準但發展不如歐洲風機系統廠商，圖十七為三菱重工風機系統發展，從 2003 的 1MW 風力發電機至 2015 年的 15MW 風力發電機，圖十七 b 為三菱重工最新風機產品規格，風機葉片旋轉直徑有 102 公尺，圖十八為三菱重工離岸風機與發展瓶頸，在日本 NEDO 的支持下，三菱重工發展離岸風機系統，目前在日本發展風機系統時所面臨的問題是陸上可開發風能與電力需求不匹配，簡單以東京為例，東京電力需求高達 64GW，而陸上可開發風能只有 4GW，相反的看，北海道的可開發風能高達 140GW，但實際電力需求只有 5.6GW，因此電力的傳輸變成很重要的課題，同時電力傳輸的損耗和成本也影響了風機的發展，因此未來目標發展離岸風機系統和電力饋線系統來改善目前風機與再生能源發展的問題。

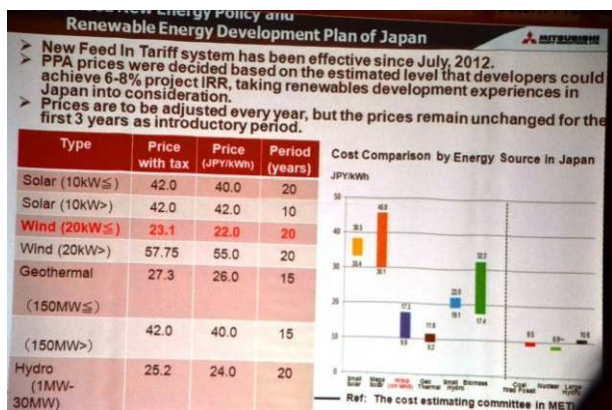


a. 福島 311 事件影響

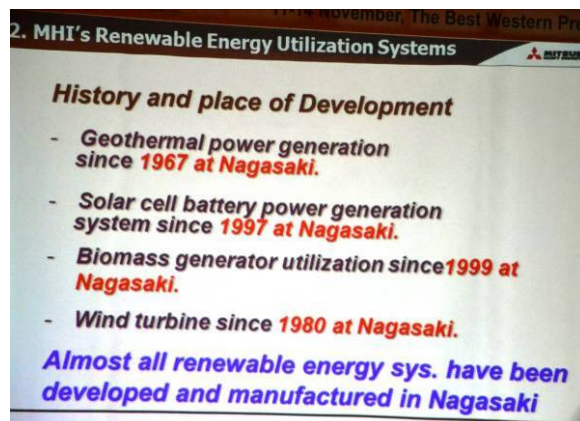


b. 日本政府未來能源政策規劃

圖十四：日本政府能源政策

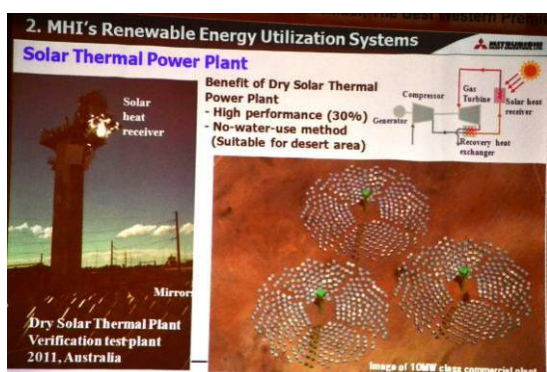


a. 不同再生能源發電成本

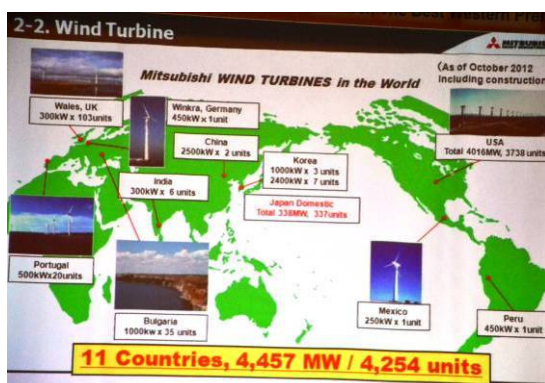


b. 長崎再生能源系統發展

圖十五：再生能源發電成本和長崎再生能源系統發展

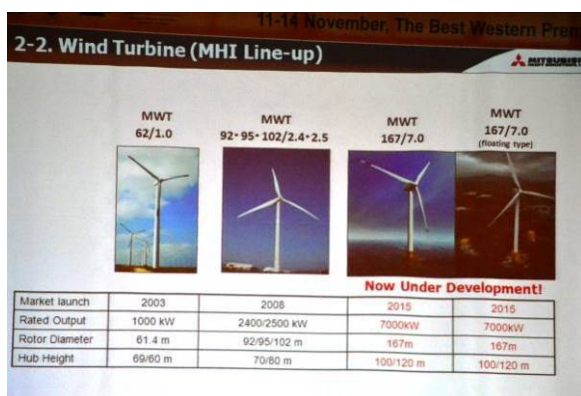


a. 閉迴路驅動方塊圖

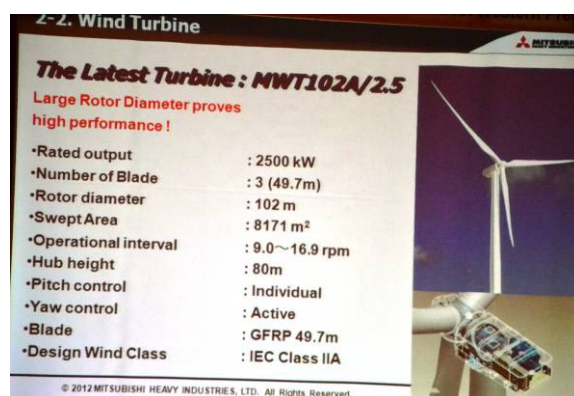


b. 新型閉迴路開極驅動

圖十六：三菱重工再生能源佈局

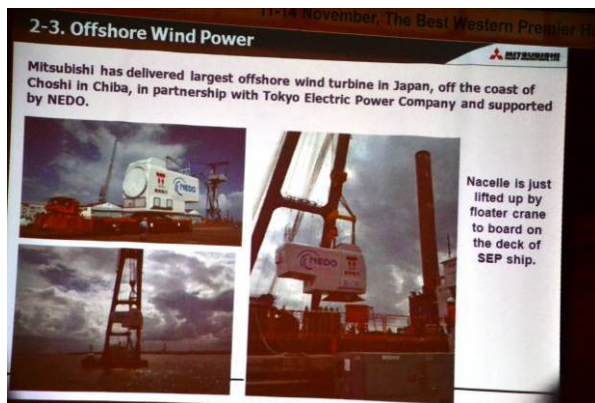


a. 三菱重工風機系統發展

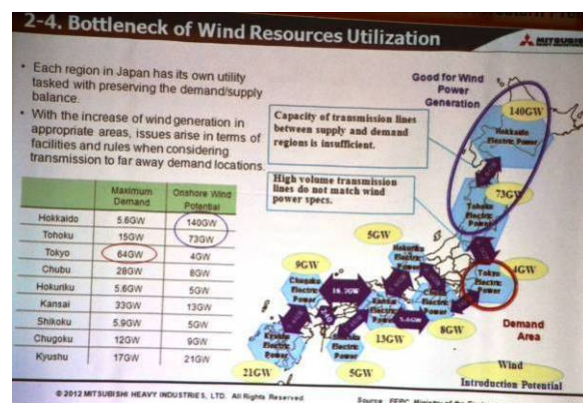


b. 三菱重工最新風機產品規格

圖十七：三菱重工風機系統發展



a. 離岸風機系統

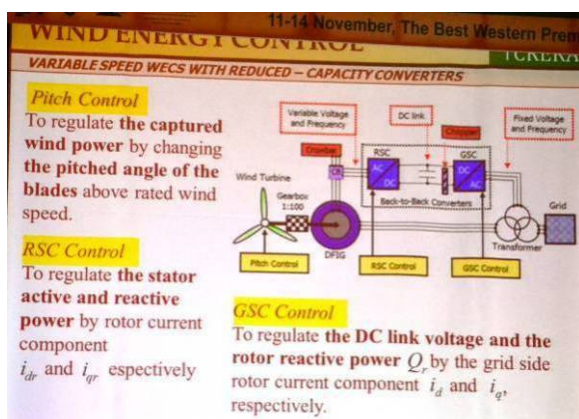


b. 風機系統發展瓶頸

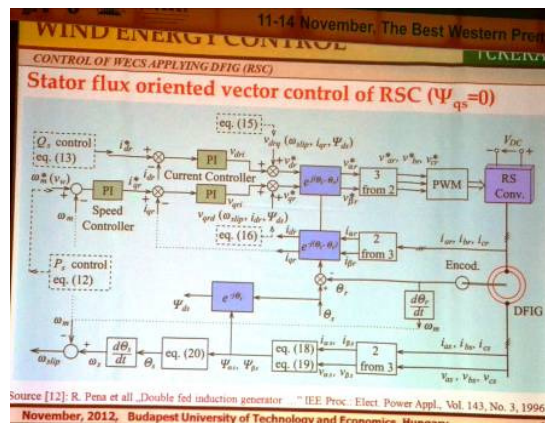
圖十八：三菱重工離岸風機與發展瓶頸

#### (4)Keynote Speech

第四位演講者為 Istvan Nagy 教授，Istvan Nagy 教授目前任職於匈牙利的 Budapest University of Technology 且為 IEEE 院士，目前研究方向包含高頻換流器、UPS 和再生能源的應用，圖十九為其介紹的風機系統控制，風機系統控制包含傾角控制、Rotor side control(RSC)和 Grid side control(GSC)，傾角控制可以控制擷取風能大小，RSC 控制發電機輸出實虛功率，GSC 控制輸出至市電實功和虛功電流維持直流鏈電壓，圖十九 b 為風機系統控制方塊圖，控制器以 PI 設計控制 dq 軸的電流，同時利用 dq 軸轉換控制 DFIG 系統。



a. 風機系統控制



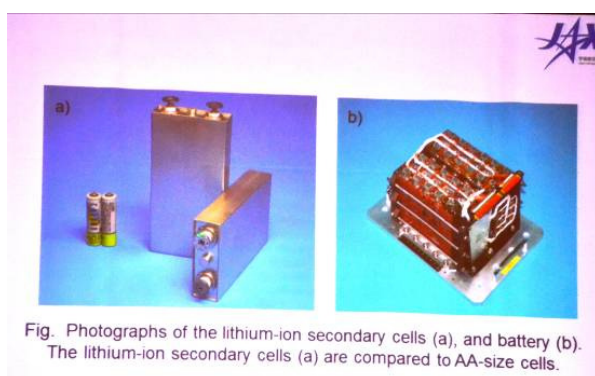
b. 風機系統控制方塊圖

圖十九：風機系統介紹

#### (5) Long-Term Operability of the Primary and Secondary Battery under Micro-Gravity Conditions-Lessons Learned from the In-Orbit Operation of the Spacecraft.

演講者為 Yoshitsugu Sone 博士，目前任職於 Japan Space Agency，演講的主題為

應用於太空中鋰離子二次電池的分析，圖二十為實驗中鋰離子電池的介紹，使用 3.6V 容量為 13.2Ah 電池於 H A Y A B U S A 計畫，圖二十一為電池充電電路架構，由太陽能發電並經由充電電路對電池充電，電池組裡每一個 Cell 都有做電壓監控同時也有旁路線路，對於電池電量不平衡時可作電池均充，當單體電池電壓過高時，旁路線路將會啟動讓電流分流而不會繼續對電池充電，圖二十一 b 為電池重置運轉方式，當電池 SOC 於 65% 以電流 500mA 充電，經過 12 小時後，電池達到電池旁路保護，此後再以電阻放電 SOC 至 50% 校正，最後再充為 SOC 為 65% 備用，圖二十二為鋰電池組合照片和放電曲線，電池組由 3 串 4 並和 3 串 2 並組成，圖二十二 b 顯示電池電量受到溫度太低而有顯著的減少，在 H A Y A B U S A 計畫裡電池的可靠度很重要，曾經發生過電池過放電而造成故障，無法建立通訊。



a. 實驗中鋰離子電池照片

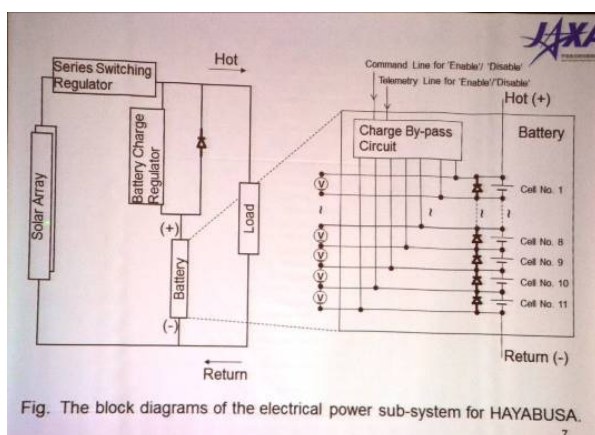
Specifications of the lithium-ion secondary cell used in HAYABUSA.

<sup>1)</sup>The nominal discharge rate is 0.2 C at 20 degrees C

|                                           |           |            |
|-------------------------------------------|-----------|------------|
| Rated Capacity <sup>1)</sup>              |           | 13.2 Ah    |
| Discharge Voltage (Average) <sup>1)</sup> |           | 3.6 V      |
| Size                                      | Width     | 69.3 mm    |
|                                           | Height    | 132 mm     |
|                                           | Thickness | 24.4 mm    |
| Weight                                    |           | < 570 g    |
| Energy Density / mass                     |           | > 85 Wh/kg |
| Energy Density / volume                   |           | > 215 Wh/L |

b. 鋰離子電池規格

圖二十：實驗中鋰離子電池介紹



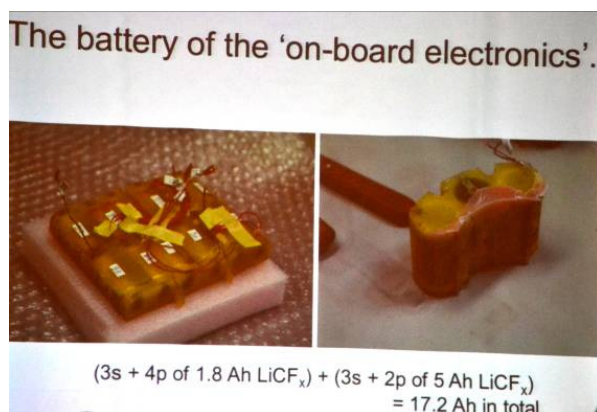
a. 閉迴路驅動方塊圖

**Reset Operation**

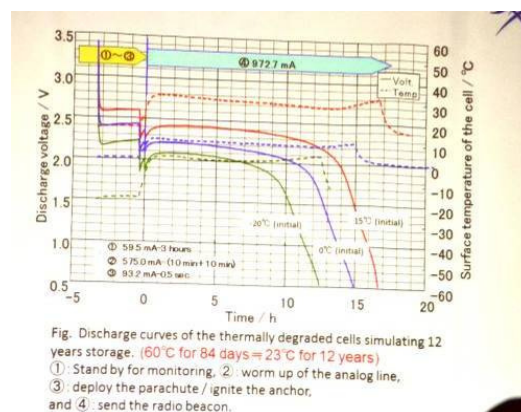
- The SOC of the battery was **65%** in space.
- The charge current for this operation was 500 mA. The resistance of the heater used for the discharge was about 8 ohms.
- By spending 12 hours with charge current of 500 mA, the SOC level of each cell arrives up to the shunt level of the 'charge by-pass circuit'.
- After charged, the battery was discharged down to ca. 50% SOC using a heater-resistance of the spacecraft.
- Then the battery was charged again up to **65%** in preparation for the contingency.

b. 電池重置運轉

圖二十一：充電電路和電池重置運轉



a. 鋰電池組合照片



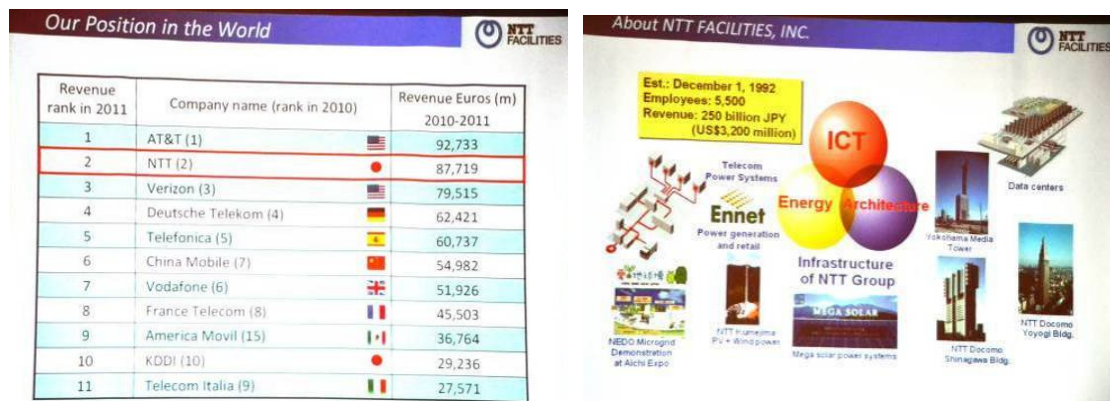
b. 新型閉迴路閘極驅動

圖二十二：鋰電池組合與測試

#### (6) Megawatt solar and microgrid systems developed by NTT FACILITIES

此一演講主題為NTT公司在太陽能與微電網發展的介紹，內容為演講者為日本NTT公司的Keiichi Hirose博士，Hirose博士在電力系統設計有超過20年的設計經驗，目前任職於NTT位於東京的研發總部，過去曾主導了仙台微電網計畫，圖二十三為NTT公司的介紹，以國際電信公司的規模來看，NTT公司營收排名已達到世界第二的規模，而NTT發展很多跟資通訊有關的項目，利用ICT結合能源發電和其它電力設施，包含資料中心、通訊電視塔、太陽能和風能示範場，在2003年到2011年NTT在日本開發了911處太陽能示範場，總容量高達34MW，以下舉幾個示範場作說明，Hokuto的1.84MW太陽能發電廠，其中包含晶矽、薄膜和其他種類太陽能電池，並搭配了400kW、10kW和3kW的電力轉換器進行分析和比較，另外關於311事件造成的停電事故，剛好在仙台的微電網示範場受到衝擊，同是驗證微電網系統的可靠度和發生事故的運作情形，圖二十五為仙台微電網的介紹，其中包含PV系統、電池、微渦輪機系統和燃料電池，此一微電網系統可提供高電力品質電源輸出，仙台微電網於2005年由NEDO開始設計和建置，2008年後由NTT管理和維護，測試微電網系統可由市電併聯轉換至單獨的能源供應系統，其中也配合廠商測試過熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)，近期導入磷酸型燃料電池(PAFC)測試。311事件發生時，日本東部地區發生低頻率現象，仙台的電力系統電壓和頻率都發生異常且電力中斷，日本很多城市也都發生低頻甚至電力中斷現象如圖二十六所示，仙台微電網在市電中斷時直流和高品質的交流電源輸出都瞬間切換由電池供應，當電池電量快用完時，則保留直流電源輸出，之後微渦輪機啟動改由天然氣發電供應電力，當市電回復時再併聯回市電。圖二十七為NTT在AIT建置的AC/DC混合式微電網系統，其中風能和太陽能可控制併聯交流微電網或直流微電網得到較高的電能轉換效率，圖二十八為微電網在市電併聯和孤島運轉切換的測試結果，微電網中電力可持續供應，有鑑於311或其他天災事件發生，日本在仙台城市計畫建立防災的微電網系統，包含再生能源和鋰電池儲能系統，可針對重要的負載供應可靠的電力。圖二十九為日本MOE贊助的其他分散式電力相關計畫，其中在Yamagata建立交流或直流微電網並發展不同區域的電力交易，並評估低溫電池特性、日

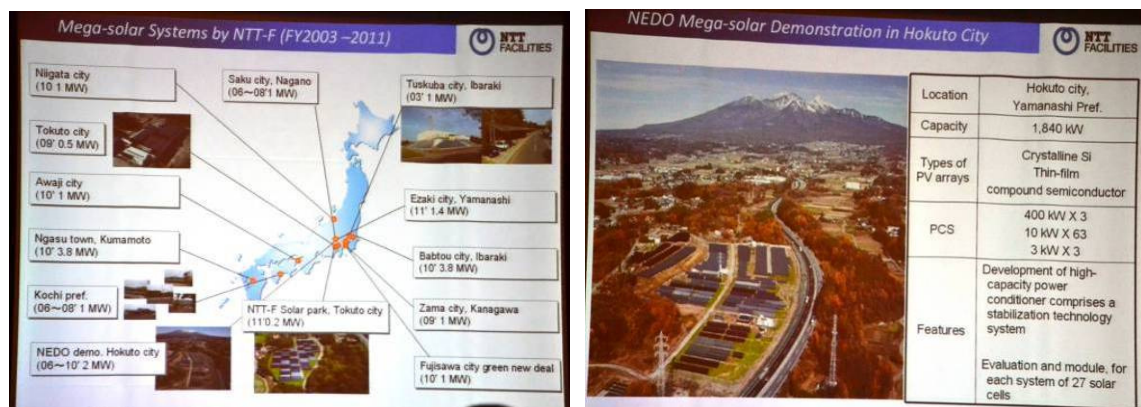
照短的PV系統和相關的成本效益與政策分析。在Obihiro發展應用於辦公大樓的直流微電網並評估低溫電池特性。未來NTT將持續發展微電網系統並研究防災備用電力的應用上，增加電力系統可靠度和災難的應變能力。



a. 國際電信公司規模

b. NTT 發展項目

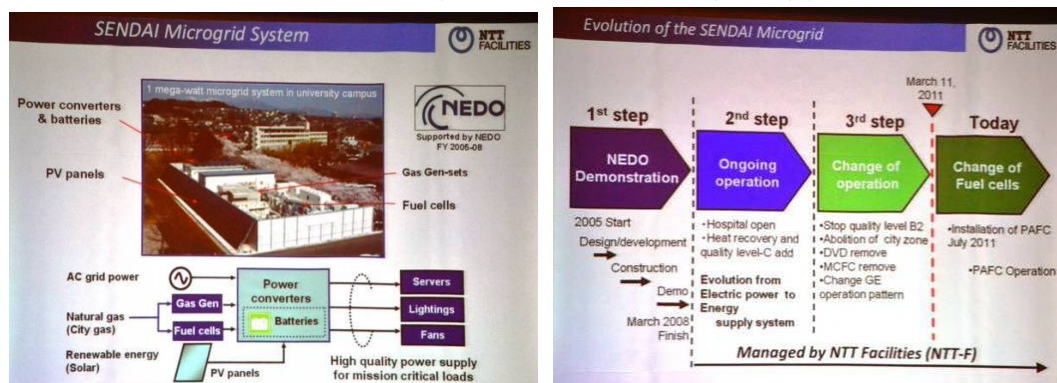
圖二十三：NTT 公司介紹



a. 日本太陽能示範場分布

b. Hokuto 太陽能示範場

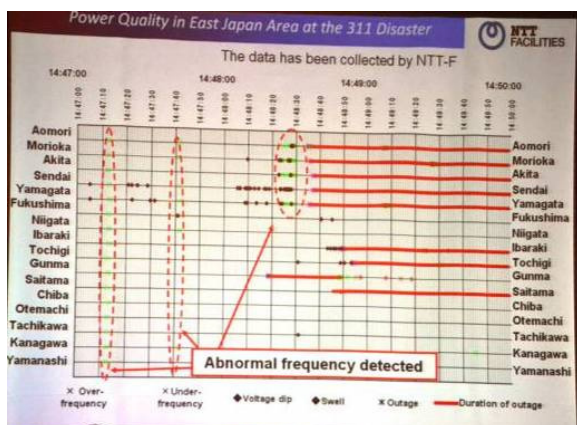
圖二十四：NTT 太陽能示範場介紹



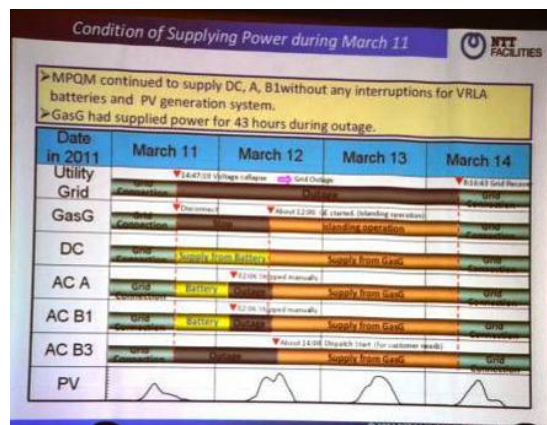
a. 仙台微電網介紹

b. 仙台微電網開發階段

圖二十五：NTT 仙台微電網示範場介紹

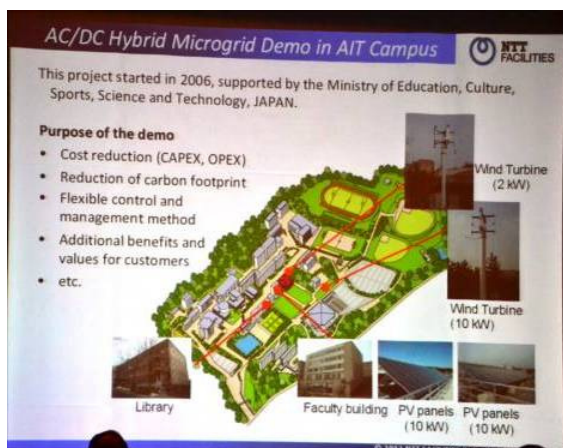


a. 各城市電力異常現象統計

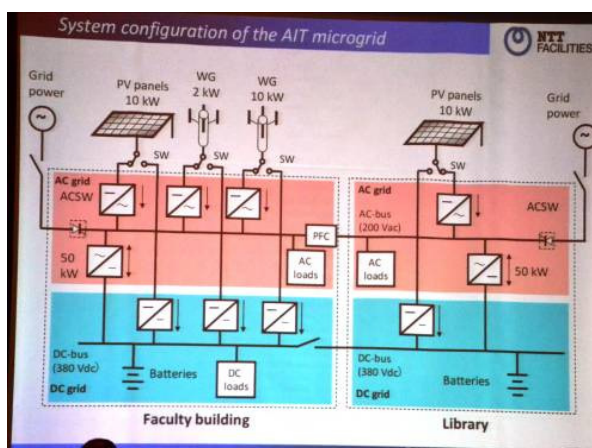


b. 仙台微電網供電情形

圖二十六：311 造成電力異常情形

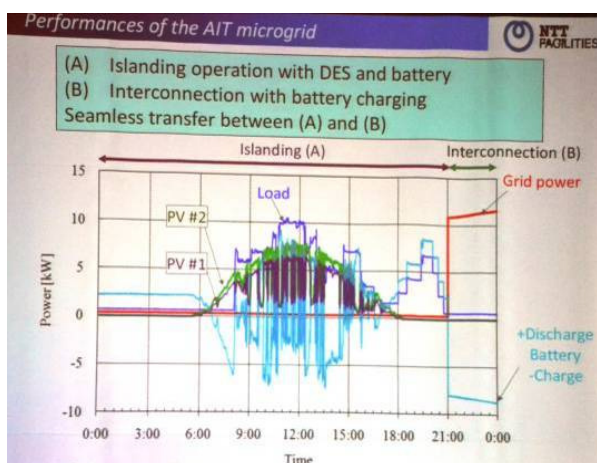


a. 交流/直流混合式微電網介紹

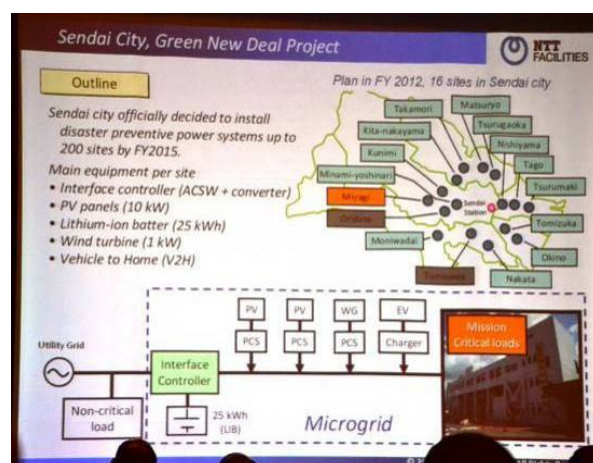


b. 交流/直流混合式微電網架構

圖二十七：交流/直流混合式微電網系統

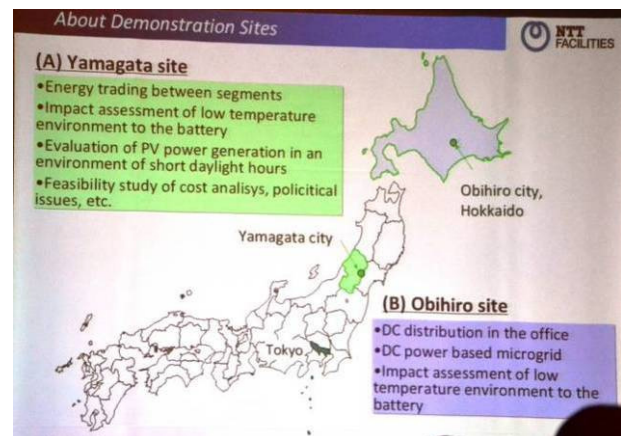
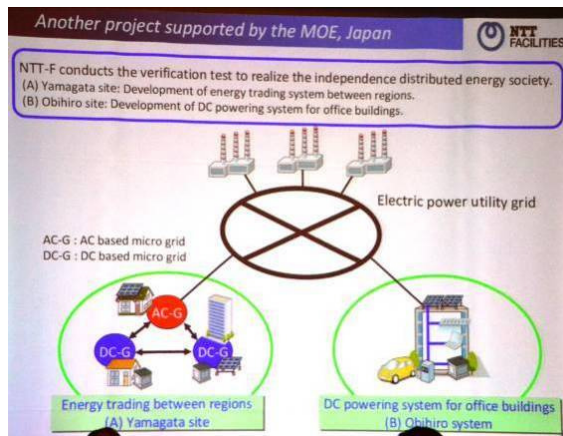


a. 交流/直流混合式微電網市電切換



b. 仙台城市防災電力系統計畫

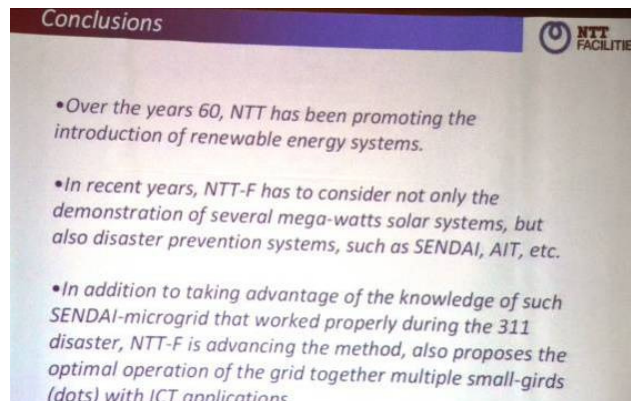
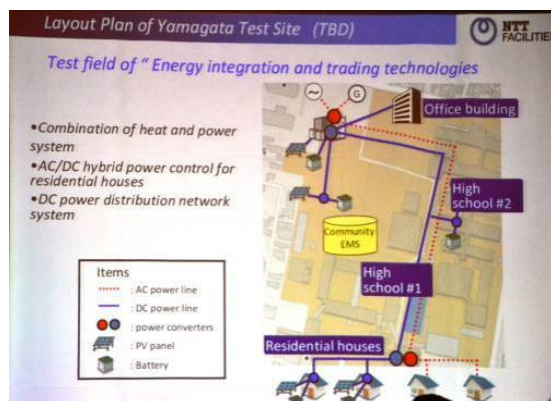
圖二十八：微電網系統測試和防災電力系統計畫



a. 日本 MOE 贊助計畫目標

b. Yamagata 與 Obihiro 建立交流或直流微電

圖二十九：日本 MOE 贊助的其他分散式電力相關計畫



a. 未來 Yamagata 計畫 Layout

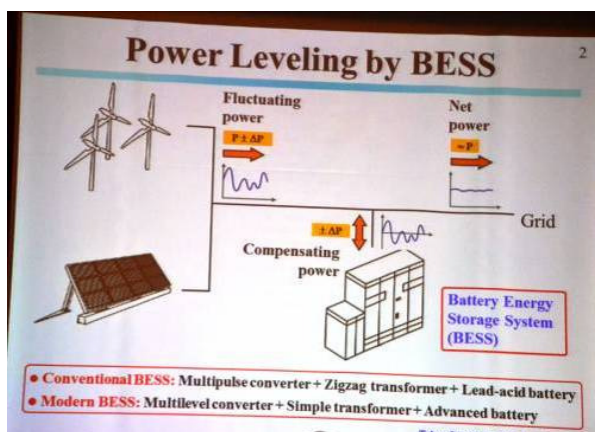
b. NTT 未來的計畫走向

圖三十：NTT 未來微電網計畫和結論

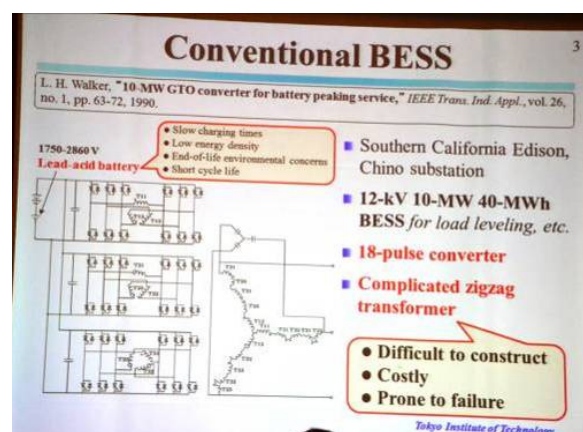
## (7)Flexible, Reliable, and Fault-Tolerant Battery Energy Storage Systems for Grid Connections

演講者為東京工業大學電力電子實驗室主持人赤木泰文教授，於1996 年曾先後於美國威斯康辛大學和麻省理工學院擔任訪問教授。2000年在東京工業大學電氣及電子工程系擔任教授。其中2002至2004年擔任系主任。現今為IEEE Fellow，曾獲IEEE 2008年 Richard H. Kaufmann Technical Field Award，也擔任過IEEE Power Electronics Society會長，研究成果相當傑出，且為全球享譽之電力電子專家。赤木泰文教授的主要研究涵蓋各項電力電子應用，如電磁干擾檢測、智慧電網、主動濾波器、電容式切換器、再生能源等，其中尤其以大功率之電力電子研究國際知名。此次演講題目為電池儲能系統(BESS)，面對再生能源包含風能和太陽能特性都為不穩定的輸出功率，電網或電力系統需要一個儲能系統來穩定或調節輸出功率，傳統的儲能系統架構如圖三十一所示，係利用多脈波式電力轉換器搭配Zigzag變壓器來完成，除了架構複雜外建置成本也很高且不易維護，因此開發出現代電池儲能系統架構如圖三十二所示，利用，利用多階

層式的換流器架構將可使用較小電壓額定的電力開關元件，提高電力轉換的效率，圖三十二a為Multi-Level技術應用，經過電感濾波後輸出可變為正弦電流，由於部份開關元件切換頻率很低可降低切換損失，同時使用較低額定電壓的電力電子開關元件也降低導通損失。圖三十二b為赤木泰文教授提出的新型電池儲能系統，為一模組化多階層串接式電池儲能系統，此一架構的特性為不需要或只需要使用一個變壓器、一樣具有多階層串接式波形輸出、可以有較低電壓的電池單元且為模組化的架構，因此赤木泰文教授提出的新型電池儲能系統有高彈性應用、高可靠度和高故障容忍度的特性。圖三十三為新型電池儲能系統硬體架構，應用於200V50Hz的市電系統上，使用3個串聯全橋模組且為600V的IGBT，每一模組電池額定電壓為72V，總容量為3.6kWh，圖三十三b為鎳氫電池系統硬體照片，使用Panasonic的電池搭配BMS系統，控制系統以DSP和FPGA來實現並偵測市電端電壓電流、包含充放電控制、SOC平衡控制和故障旁路控制如圖三十四所示，SOC平衡控制則利用單獨模組控制相間與模組間SOC平衡，圖三十五為電池平衡與故障旁路控制，測試結果發現9個單元電池與3相電池組SOC狀態皆可控制到一致，另外故障旁路控制則為針對故障的電池組經由全橋電路的兩個上臂旁路，使整個儲能系統可持續運轉，圖三十六為故障旁路暫態波形與個別轉換器控制，其中可以發現當模組故障而系統旁路其中一電池組時，電壓電流的暫態波形很平順沒有異常和中斷，同時當已經旁路的電池組再加入系統時，電壓電流的暫態波形依然被控制穩定且很平順。圖三十七為測試電池輸出功率變化，分別改變儲能系統裡電池單元的輸出功率，其中發現在模式五中，線電流的總諧波失真會增加，尤其是在電池模組輸出功率差異很大的時候。圖三十八為第二代新型電池儲能系統硬體架構，使用6個串聯全橋模組總功率為10kW的系統，每一模組電池為額定電壓為25V的鋰電池，每一全橋模組切換頻率為1.75Hz，等效PWM切換頻率為21kHz，圖三十八b為第二代新型電池儲能系統硬體照片，此系統有更高的電池能量密度和更低電池模組電壓來提升效率和可靠度。圖三十九為第二代新型電池儲能系統測試結果和結論，由測試波形可以驗證此一架構的可行性和效能，並總結出此一電池儲能系統可達到：SOC平衡控制、故障旁路控制和個別電池模組不同功率輸出控制。

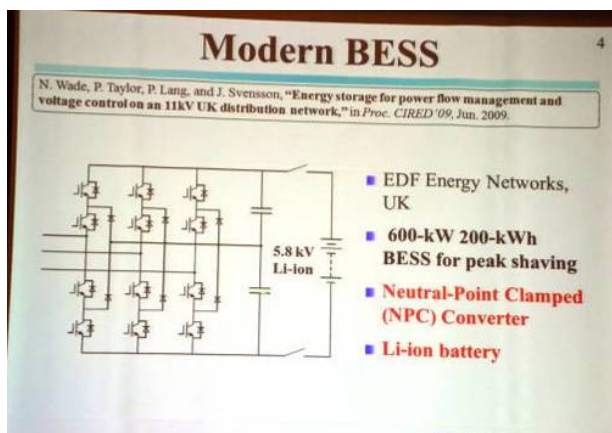


a. 再生能源電池儲能系統介紹

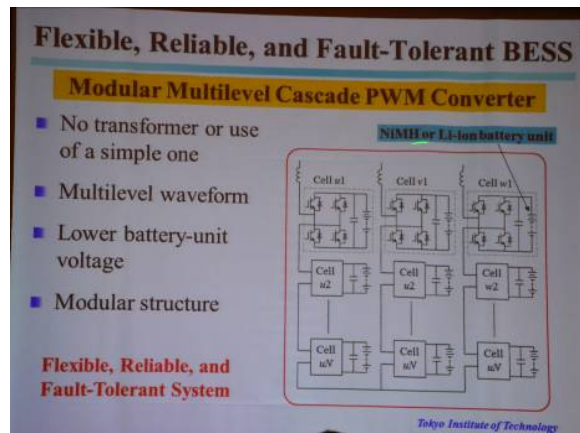


b. 傳統電池儲能系統介紹

圖三十一：傳統電網儲能系統介紹

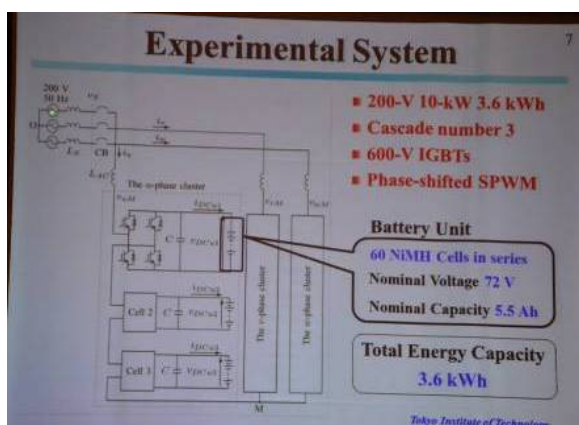


a. 現代電池儲能系統介紹

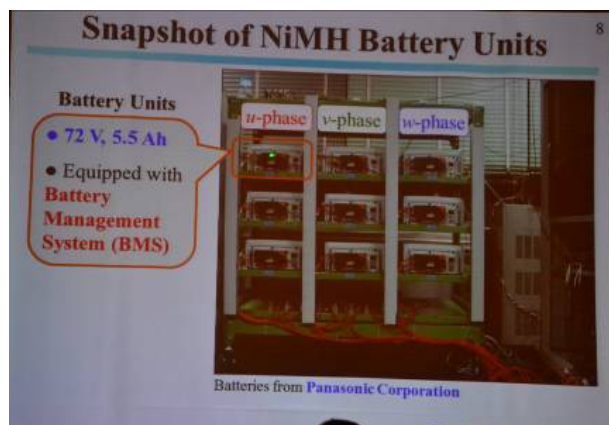


b. 模組化多階層串接式電池儲能系統

圖三十二：新型電池儲能系統介紹

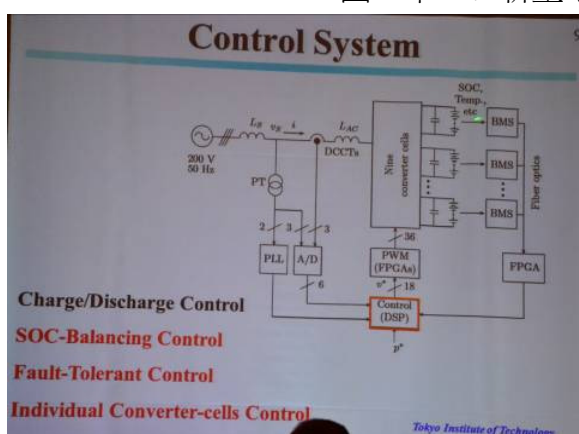


a. 新型電池儲能系統硬體規格

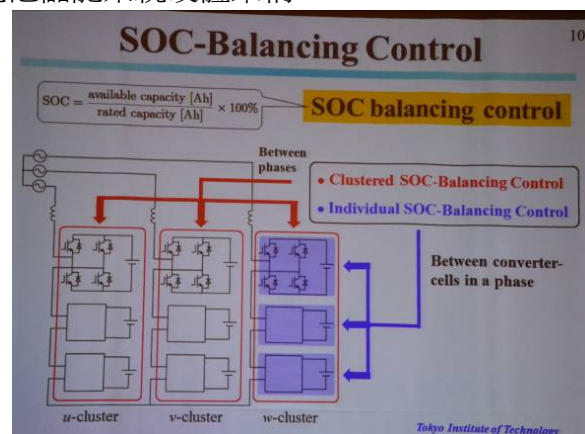


b. 鎳氫電池系統硬體照片

圖三十三：新型電池儲能系統硬體架構

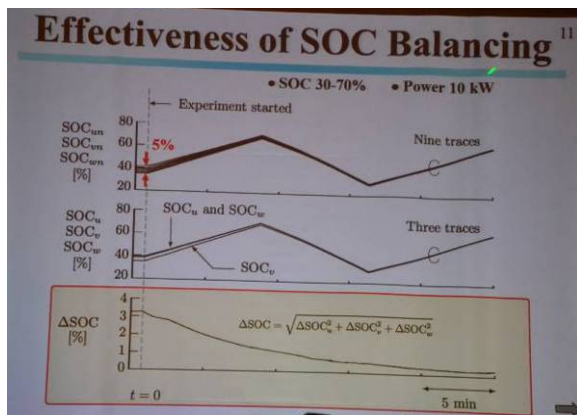


a. 新型電池儲能控制系統

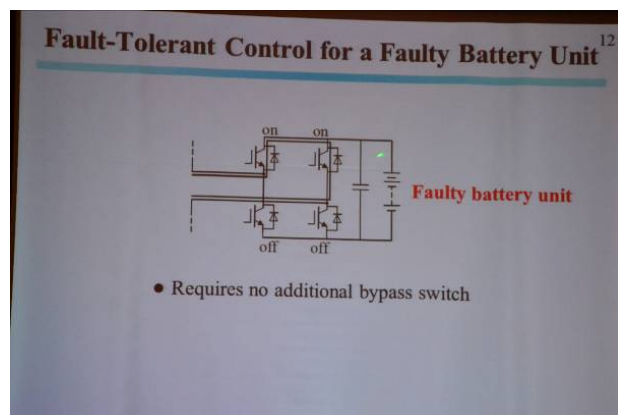


b. SOC 平衡控制

圖三十四：新型電池儲能控制系統介紹

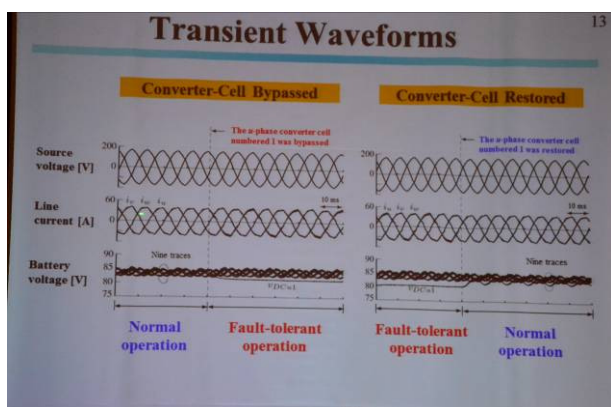


a. 電池 SOC 平衡測試

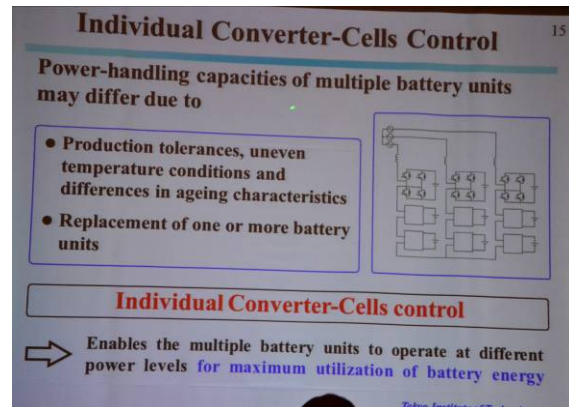


b. 電池故障旁路控制

圖三十五：電池平衡與故障旁路控制

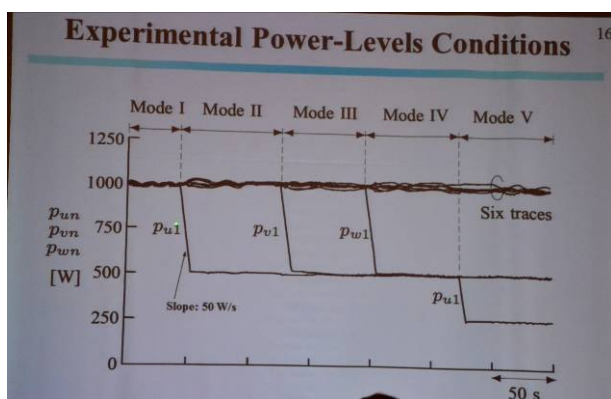


a. 故障旁路暫態波形

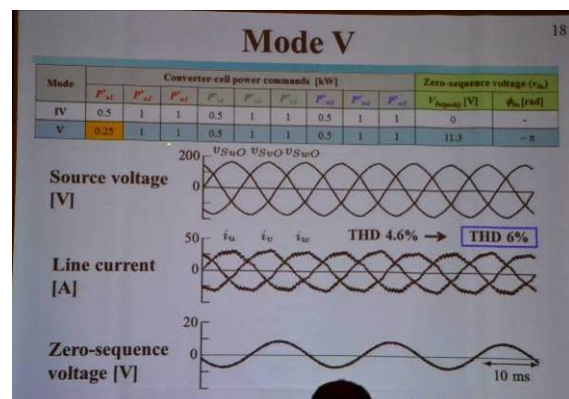


b. 個別轉換器控制

圖三十六：故障旁路暫態波形與個別轉換器控制

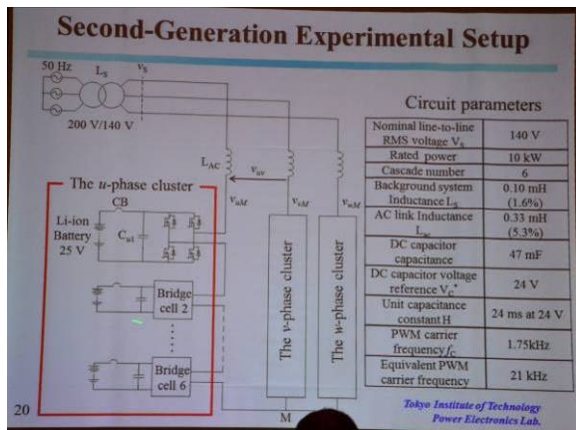


a. 輸出功率變化的測試情境

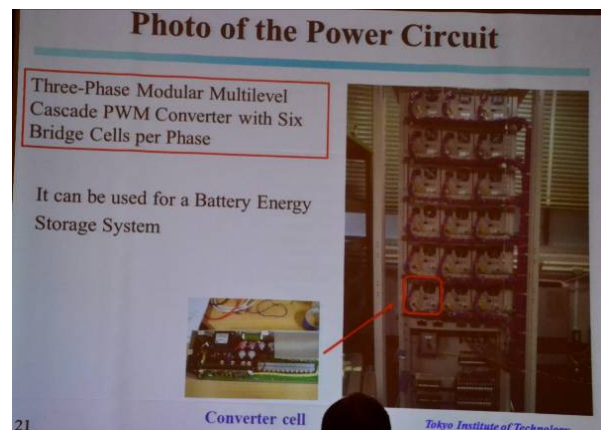


b. 輸出功率變化的測試結果

圖三十七：測試電池輸出功率變化

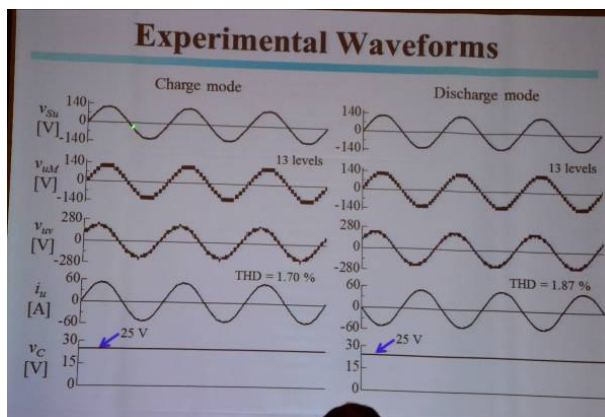


a. 第二代新型電池儲能系統硬體規格



b. 第二代新型電池儲能系統硬體照片

圖三十八：第二代新型電池儲能系統硬體架構



a. 第二代新型電池儲能系統測試結果

### Conclusion

The talk has addressed three important issues of a battery energy storage system based on a modular multilevel cascade PWM converter for grid connections

- State-of-charge balancing control**  
The control has allowed effective utilization of battery energy
- Fault-tolerant control**  
The control has improved system reliability
- Individual converter-cells control**  
The control has allowed the multiple battery units to operate at different power levels

Experimental verification based on three-phase laboratory models

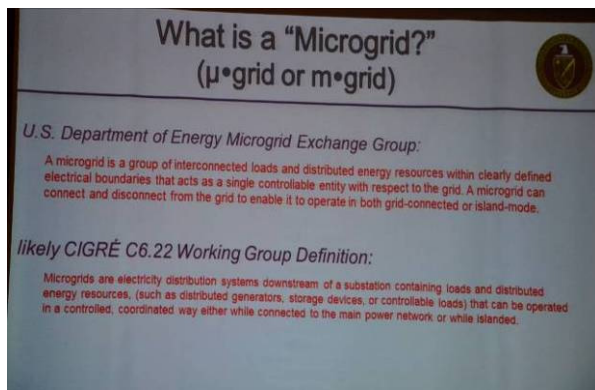
24 Tokyo Institute of Technology

b. 第二代新型電池儲能系統結論

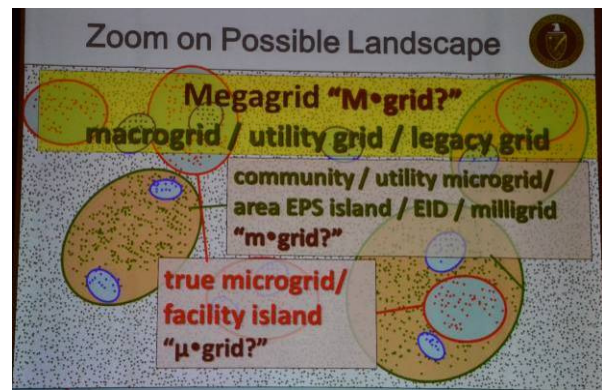
圖三十九：第二代新型電池儲能系統測試結果和結論

## (8) Renewables in U.S. Microgrid Research

演講者為美國Berkeley 實驗室的Chris Marnay博士，演講的主題在於建立微電網模型並分析其再生能源經濟效益，主要以不同角度評估微電網和分散式能源的運轉模式和可行性，圖四十為微電網定義和說明，由規模大小可分為市電網、社群電網(微市電網路)和微電網，其中也提出美國能源部微電網小組對微電網的定義：為一包含可互動負載和分散式電源的群組，其中並具有一分界作電性隔離，對市電網而言可視為單一的可控電源單元，同時此一群組可操作在市電併聯或與市電隔離並孤島運轉的情境。



a. 微電網定義



b. 不同規模電網定義

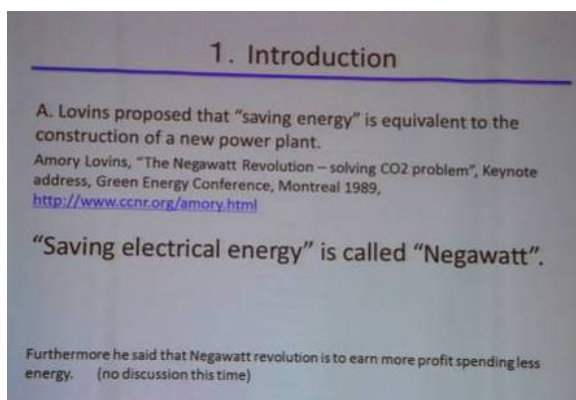
圖四十：微電網定義和說明

#### (9) Proposal of Negawatt Cost and its extension to the Grid

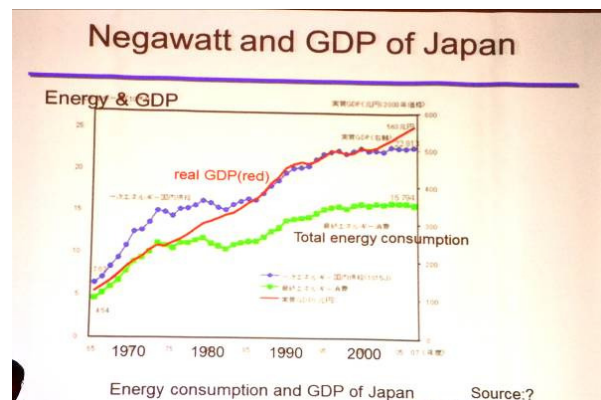
演講者為任職橫濱大學且為IEEE院士的Atsuo Kawamura教授，此一演講主題為提出一新名詞用來評估節約能源的指標，Negawatt。以不同的觀點來看，節約能源的等效意義類比於蓋一座新的發電廠，現今工業社會下排碳量不段增加並造成氣候變遷，除了不斷開發潔淨能源外，節省能源也是一個正要課題，因此Atsuo Kawamura教授提出Negawatt的概念來客觀評估節省電力效益如圖四十一所示，其中並提出日本GDP和能源消耗對應曲線，若能有效節省能源和應用高效率技術，未來GDP可持續成長但可維持甚至降低對應消耗的能源。圖四十二為各國GDP和能源消耗統計與Negawatt計算，已開發的國家已較低的能源消耗創造高GDP，如何將技術轉移至開發中國家降低其能源消耗和二氧化碳排放是一個重要的課題，最後Atsuo Kawamura教授定義Negawatt為：

$$\text{Negawatt} = \frac{(\text{total cost} - \alpha)}{\text{Gross saved electricity} + \beta}$$

增加考量 $\alpha$ ：frequency management and voltage regulation cost saving和 $\beta$ ：transmission line loss saving。

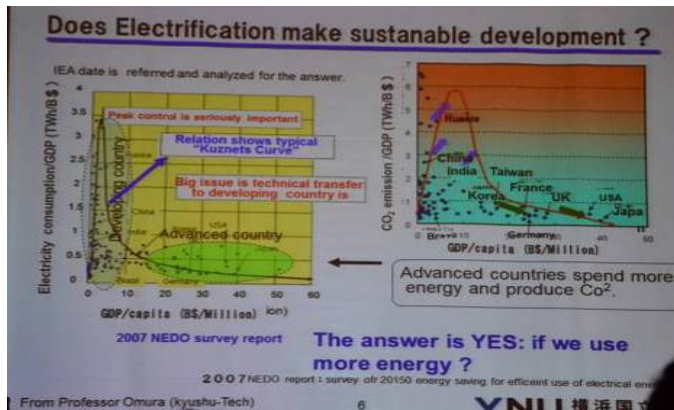


a. Negawatt 說明

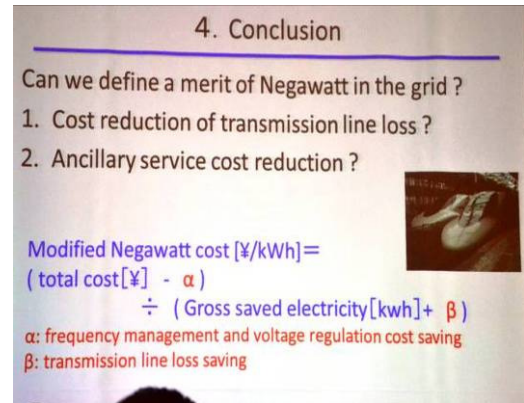


b. Negawatt 和 GDP 的統計

圖四十一：Negawatt 說明和介紹



a. 各國 GDP 和能源消耗統計

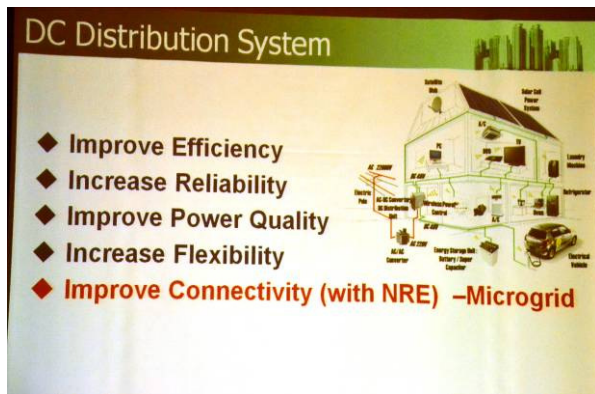


b. Negawatt 計算

圖四十二：各國 GDP 和能源消耗統計與 Negawatt 計算

#### (10) DC Power Distribution Researches of Residential/Commercial Buildings in Korea

演講者為韓國首爾大學的Bo Hyung Cho教授，演講的主題為直流電網與直流建築的應用，Bo Hyung Cho教授為IEEE的院士，曾在維吉尼亞理工大學任教，圖四十三為韓國直流建築的介紹與規劃，使用直流的電力系統可以增加電能轉換效率，因為大部分家用負載都是把交流電源轉換成直流再降壓或直接使用，因此直接由直流供電可省下一轉換過程減少損失，另外直流電源可以容易搭配大電容或電池系統增加供電可靠度，同時直流系統電力品質較為穩定且應用彈性較高，最後則是因應目前再生能源的發展，使用直流電網將很容易與太陽能和風能結合應用，降低轉換器成本和增加轉換效率。在韓國目前規劃目標為2012年直流建築為降低50%能源消耗，2017年降低90%能源消耗，到2025年直流建築則不需要任何不提供降低能源。圖四十四為韓國直流建築示範與直流電傳輸規劃，三星公司於2009年建置直流建築示範，其中包含太陽能、風能和燃料電池，並搭配鋰電池儲能系統，此一直流建築的用電量小於發電量且不需從外部提供電力，並導入直流微電網概念控制。韓國同時規劃了直流電傳輸技術發展目標，在2011到2013年開發家庭與用戶端的直流應用，結合再生能源與直流建築，在2014到2020年開發商用低壓直流電傳輸技術，包含小區域或辦公大樓等低壓用電，在2021到2030年開發商用中壓22.9kV直流電傳輸技術，包含小鎮或城市等電網應用。圖四十五為韓國微電網計畫介紹(K-MEG)，技術目標包含節省30%傳統的能源消耗、能源管理與最佳化、分散式發電與再生能源研究，韓國首爾大學裡也建立了直流微電網示範區進行相關研究，圖四十五b為K-MEG直流微電網架構，利用100kW雙向AC-DC換流器連接直流微電網與交流市電，中央有一能源管理系統監控太陽能、燃料電池、電動車充電系統和儲能系統並做最佳化的控制，達到直流微電網控制和示範技術的目標。

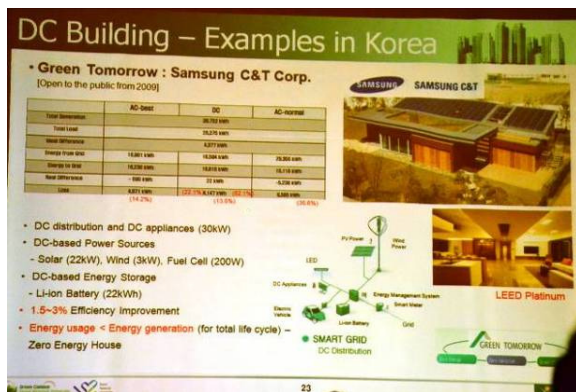


a. 直流建築介紹



b. 直流建築的規劃

圖四十三：韓國直流建築的介紹與規劃



a. 三星公司的直流建築示範

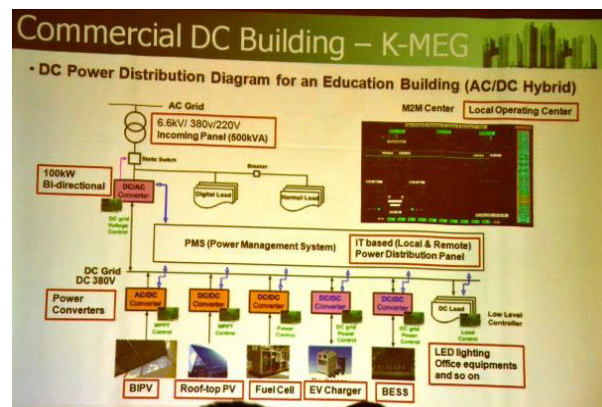


b. 直流電傳輸規劃

圖四十四：韓國直流建築示範與直流電傳輸規劃



a. 韓國微電網計畫 K-MEG



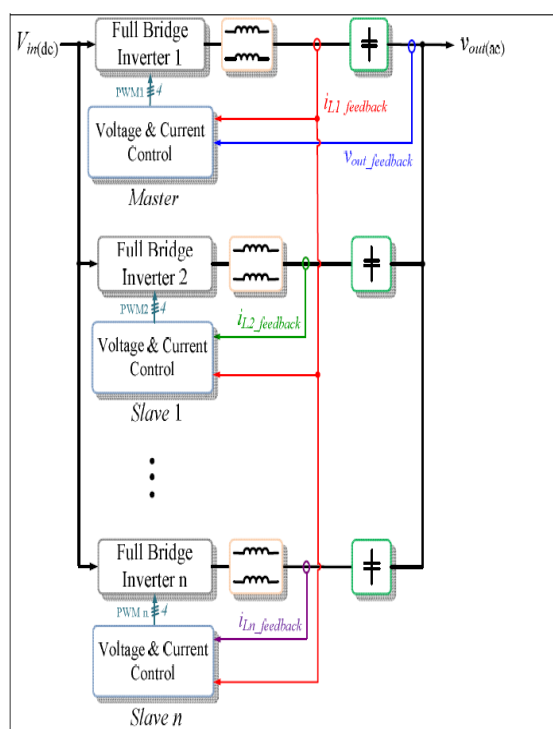
b. K-MEG 直流微電網架構

圖四十五：韓國微電網計畫介紹

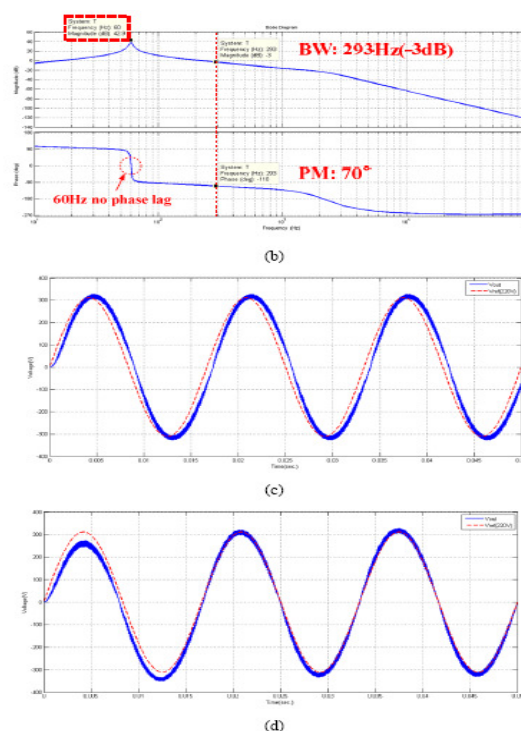
## 2 Oral Sessions

### (1) Multi-Inverters Control Technique with Current Sharing Control for Back-up Power System Applications

此篇為 2012ICRERA 優秀論文之一，由台北科技大學賴炎生教授和學生所發表，論文目的為設計一多組換流器並聯架構，利用責任周期補償作均流控制達到快速動態響應，圖四十六為換流器並聯架構與 PR 控制器設計，換流器並聯架構為全橋電路搭配輸出電壓電流回受控制，以主從式架構來並聯，電流控制器採用 PR 控制改善傳統的 PI 控制器在穩態上容易有相位落後的情況，並利用 PR 控制 60Hz 頻率的高增益設計改善穩態誤差，圖四十七為利用責任周期補償均流控制與測試結果，利用電流回受控制輸出均流，控制迴路中以 master 開關責任周期作為補償項調整，輸出電流則會有較快速的動態響應，實驗結果顯示三組換流器可作輸出均流控制，換流器並聯後實測效率最高可超過 98%。

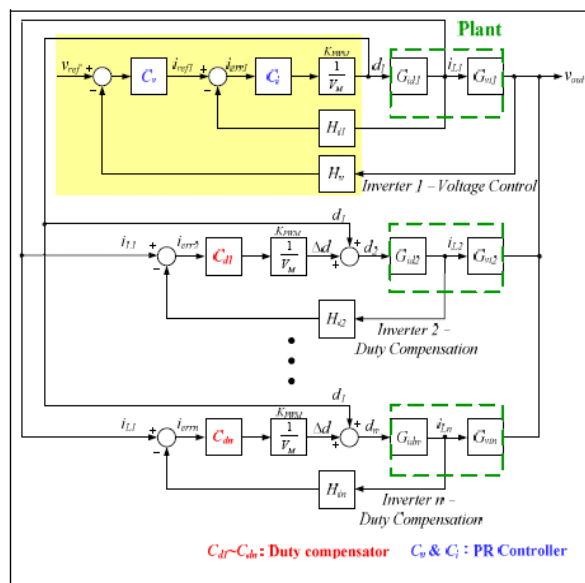


a. 換流器並聯架構



b. PR 控制器設計

圖四十六：換流器並聯架構與 PR 控制器設計



a. 利用責任周期補償作均流控制

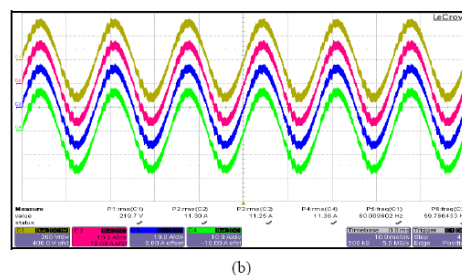
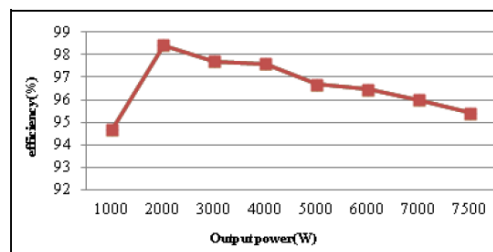


Figure 15. Experimental results, (a) Output = 2.0 kW, (b) Output = 7.5 kW. (Ch1 = output voltage, Ch2-Ch4 = currents for three inverters)

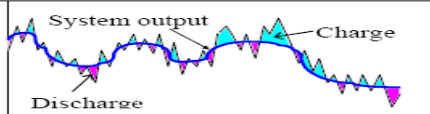
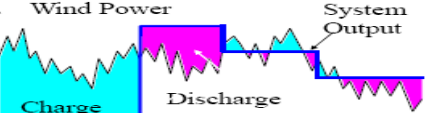


b. 測試結果與輸出效率實測

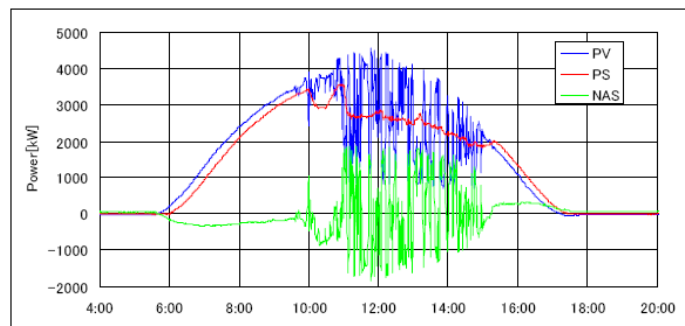
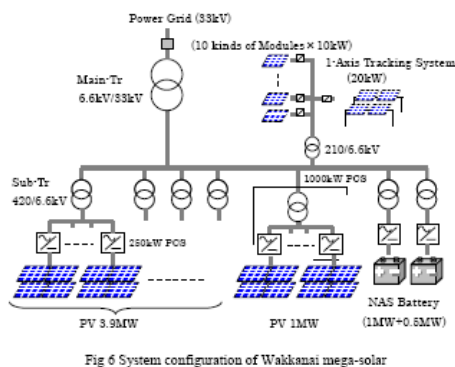
圖四十七：均流控制與測試結果

## (2) Overview of battery energy storage systems for stabilization of renewable energy in Japan

此篇也為 2012ICRERA 優秀論文之一，由 Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corporation 的 Noriko Kawakami 女士和 Yukihiisa iijima 先生所發表，論文主要為日本再生能源使用電池儲能系統穩定控制，圖四十八為儲能系統穩定再生能源輸出功率應用，可依據要補償的功率形式來設計儲能容量，假使要降低再生能源輸出至電網功率浮動現象則可使用總容量 20% 的儲能系統容量，即可達到輸出功率曲線平滑的效果，若要讓再生能源輸出至電網功率為定值控制，則需佔總容量 60% 的儲能系統來達成。圖四十九為目前在稚內百萬瓦太陽能示範場應用，示範場內使用 NAS 電池 1.5MW 的容量，調節 5.02 MW 的 PV 並上 33kV 的電網，測試的電池容量約佔總發電系統 30%，測試結果可以發現 NAS 電池儲能可針對不穩定的太陽能輸出做大幅度的補償，減少對電網的衝擊。圖五十為 Miyako 島再生能源電網應用由沖繩電力公司所建造，總再生能源站尖峰用電的 16%，其中包含 74MW 火力發電、3MW 的 PV 系統、3MW-7.2h 的 NAS 電池儲能系統、4.2MW 的風機系統、SVR 和 SVC 系統，為一再生能源與島嶼電網結合並應用儲能系統的成功範例之一。

| Type                          | Details                                                                             | Battery                      |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Cut-off operation             | Cut off wind turbines from the grid when the frequency adjustment capacity is small | None                         |
| Fluctuation reduction control |   | Approx. 20 % of output of WT |
| Constant-output control       |   | Approx. 60 % of output of WT |

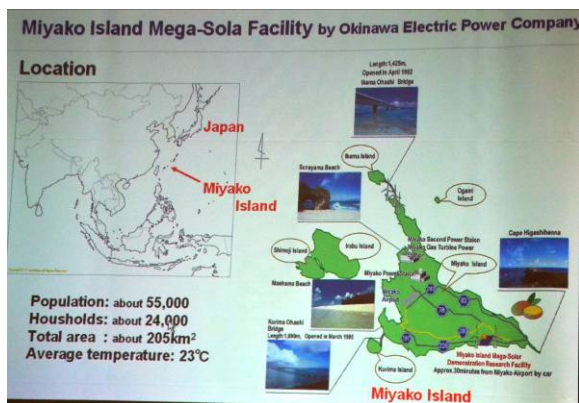
圖四十八：儲能系統穩定再生能源輸出功率應用



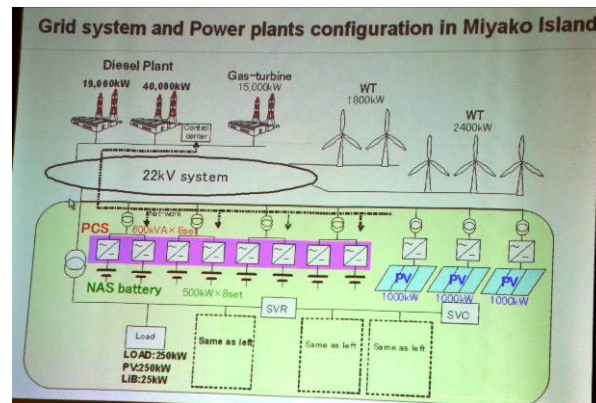
a. 稚內百萬瓦太陽能示範場架構

b. 稚內百萬瓦太陽能示範場儲能系統測試

圖四十九：稚內百萬瓦太陽能示範場儲能應用



a. Miyako 島介紹



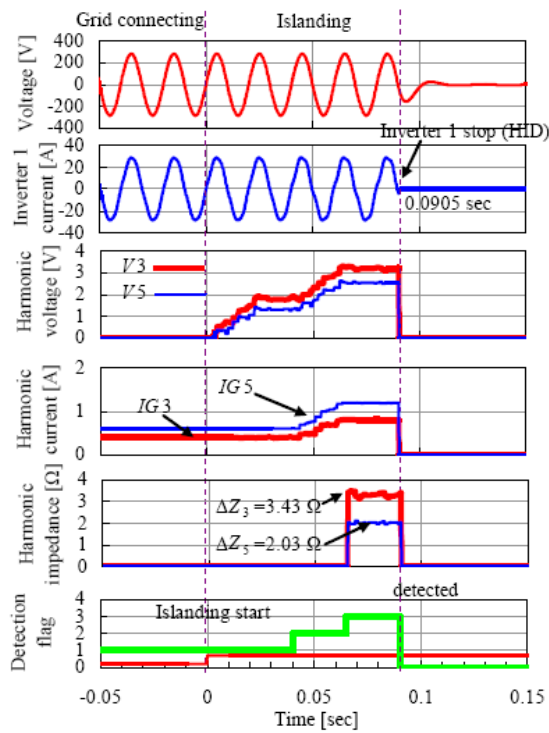
b. Miyako 島再生能源電網架構

圖五十：Miyako 島再生能源電網應用

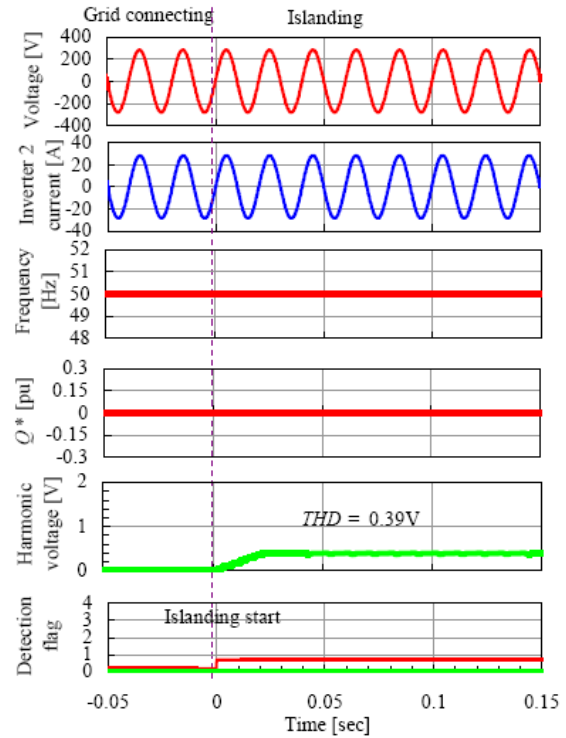
### (3) Performance Verification of New Active Islanding Detection Methods for PV System by Simulation

此篇為作者為同志社大學Yoshiaki Yoshida\*, Koji Fujiwara, Yoshiyuki Ishihara





a. 諧波阻抗偵測孤島結果



b. 虛功注入頻率回授偵測孤島結果

圖五十二：諧波阻抗偵測孤島結果



圖五十三：ICRERA 會場合影

## 四、建議事項

全球暖化及能源短缺問題日漸嚴重，節能減碳變得刻不容緩，而太陽能和風能發電屬於具經濟效益之再生能源但發展還不足夠成熟，國內值得持續投入發展，特別在再生能源高滲透率的目標下，提升電力供應的可靠度，且當在大電網發生故障時，微電網可獨立孤島運轉，相關電力電子和控制技術則成為未來微電網發展上的一大課題。微型電網系統的保護與協調與系統的分析等相關議題的研究與科技突破，將影響再生能源是否併入市電，進而影響再生能源的發展針對再生能源滲透率的問題，國內外也因應積極開發微型電網系統，本所研發計畫也與國際接軌，目前正規劃執行智慧能源園區與微型電網之建置，建議本所持續發展並擴展微電網系統於其它地區，朝向商品化目標將可提高廠商技轉意願。此次此ICRERA國際會議參與者多為對國際電力電子相關之專業人士，因此可收集包含日本與國際發展未來趨勢、市場情況、設計技術等相關之最新資料，並可對國際上重要之研究、學術單位之領域做進一步瞭解，亦能於會議中各國學者提出的論文中得到國際上最新之技術發展現況，因此建議應本所應多參與世界上大型的再生能源相關國際會議。隨時掌握再生能源應用發展和科技新知。

在參加ICRERA國際會議後，令人印象深刻之處為日本政府為發展微型電網技術及儲能系統之用心，尤其在311福島事件後投入大量人力及金錢，對於政策制定以長期來構思規劃，日本政府和產業相關研究機構亦全力配合，且支持NEDO推動與產業界合作研發設計微型電網關鍵設備，亦對NAS儲能系統開發投以大量研發能量，補償再生能源輸出功率浮動與控制電力潮流，微電網技術有部份發展改朝向災難應變供電系統應用。以本所立場來看，雖知與產業共同推動之重要性，但有許多政策仍需政府機關及電力公司大力支持，才能將微型電網實現於一般社區中供給民眾電力使用，建議本所在佈局微型電網發展時應學習效法之處。