

出國報告（出國類別：其他）

赴新加坡參加 2017 年 APEC 能源智慧  
社區倡議第 53 屆會議暨智慧電網最  
佳案場受獎典禮，參訪新加坡科技研  
究局、烏敏島微電網示範園區與 ABB  
新加坡分公司

服務機關：核能研究所

姓名職稱：孫士文 助理研究員

張永瑞 研究員

派赴國家：新加坡

出國期間：106 年 4 月 23 日~106 年 4 月 28 日

報告日期：106 年 6 月 14 日



## 摘要

本次出國行程由核能研究所(以下簡稱本所)核能儀器組副組長張永瑞博士與助理研究員孫士文，赴新加坡參加 2017 年 APEC 能源智慧社區倡議(ESCI)第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮，參訪烏敏島微電網示範園區、新加坡科技研究局(A\*STAR)與 ABB 新加坡分公司。本次出國所獲取之經驗，有助於本所『自主式分散型區域電力控管技術發展與應用』與『高占比再生能源離島微電網技術發展與應用』等計畫之執行，並建議應積極整合國內的智慧電網產官學等機構，以及與國外研究單位尋求雙方的合作機會，以扶植國內廠商發展微電網與能源管理系統之關鍵技術，拓展微電網建置的國際市場。

# 目 次

摘 要.....	1
一、目 的.....	1
二、過 程.....	1
三、心 得.....	4
(一) APEC ESCI第53屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮 .....	4
(二) 烏敏島微電網示範園區參訪 .....	11
(三) A*STAR實驗電網中心參訪 .....	15
(四) ABB新加坡分公司參訪 .....	24
四、建 議 事 項.....	28

# 圖目錄

圖1、會議註冊報到.....	4
圖2、APEC秘書處Alan Bollard博士致詞.....	5
圖3、美國西北太平洋國家實驗室Cary Bloyd博士致詞.....	5
圖4、中興電工機械江義福董事長親自領取銀質獎.....	6
圖5、得獎單位合照.....	6
圖6、中興電工機械張存德特助簡報本案場.....	7
圖7、本所與中興電工機械參與人員合照.....	7
圖8、2017年APEC ESCI智慧電網最佳案場銀質獎座.....	8
圖9、本所人員於微電網試驗場營運機房前之合影.....	11
圖10、本所人員與DLRE公司人員於烏敏島現場討論實況.....	12
圖11、電池管理系統.....	13
圖12、屋外配電盤旁的綠色方形天線.....	14
圖13、A*STAR組織架構圖.....	15
圖14、EPGC組織架構圖.....	16
圖15、參訪EPGC情形.....	16
圖16、孫員簡報本所研發成果情形.....	17
圖17、EPGC於智能分散式電力應用技術的研發.....	20
圖18、EPGC電力網設備架構圖.....	21
圖19、EPGC電力網構型圖.....	22
圖20、參訪EPGC實驗室情形.....	23
圖21、EPGC發展規劃.....	23
圖22、本所人員於ABB新加坡分公司前之照片.....	24
圖23、Florence Tan簡介ABB新加坡分公司工業自動化機器人業務的情況.....	25
圖24、IRB 360 Flexpicker型機器人手臂.....	26
圖25、人機協作雙臂機器人YuMi.....	27
圖26、搭配RobotStudio的虛擬控制器.....	27

# 表 目 錄

表1、行程表.....	1
表2、『APEC ESCI第53屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮』會議議程.....	2
表3、中興電工機械張存德特助簡報資料摘要.....	8
表4、孫員簡報資料摘要.....	18
表5、EPGC電力網設備規格 .....	20

## 一、目的

中興電工機械股份有限公司以本所輔導規劃及設計之「澎湖東吉嶼微電網供電系統」，參加 2017 年亞太經濟合作組織會議(APEC)能源智慧社區倡議(ESCI)智慧電網最佳案場競賽，於 21 個國家 197 競爭案場中脫穎而出，榮獲銀質獎，中興電工邀請本所出席 106 年 4 月 24 日於新加坡所舉辦之 APEC 能源智慧社區倡議(ESCI)第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮，並參訪烏敏島微電網示範園區及 ABB 新加坡分公司，獲取目前各國智慧電網的研發現況與成果應用，有助於本所微電網技術發展及計畫執行，並構思未來台灣的微電網產業化方向。另外，亦順道參訪新加坡科技研究局(A\*STAR)的實驗電網中心(Experimental Power Grid Centre, EPGC)，進行台新雙方智慧電網產業技術交流，針對微電網控制與管理關鍵技術進行心得交換。

## 二、過程

本次出差行程如表 1 所示，其中參加 APEC 能源智慧社區倡議(ESCI)第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮之會議議程如表 2 所示。

表1、行程表

行程			公差地點		工作內容
日期	地點		國別	地名	
	出發	抵達			
4/23(日)	台北	新加坡	新加坡	新加坡	去程
4/24(一)			新加坡	新加坡	參加 APEC ESCI 第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮
4/25(二)			新加坡	烏敏島	參訪烏敏島微電網示範園區
4/26(三)			新加坡	裕廊島	參訪 A*STAR 實驗電網中心(EPGC)
4/27(四)			新加坡	新加坡	參訪 ABB 新加坡分公司

4/28(五)	新加坡	台北	新加坡	新加坡	回程
---------	-----	----	-----	-----	----

表2、『APEC ESCI 第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮』會議議程

Time	Agenda
<b>10:30~11:00</b>	<b>Registration</b> <i>(Location: Grange Ballroom and Conference Handbook Is Available)</i>
<b>11:00~12:00</b>	<b>Rehearsal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>I representative from each team to rehearse</i></li> <li>· <i>We will help you with changing the updated presentation material (if any) and lead you to know how this ceremony will proceed</i></li> </ul>
<b>Luncheon &amp; Session I: Overview of the 2017 ESCI Best Practices Awards Program</b>	
<b>12:15~13:00</b>	<b>Luncheon &amp; Overview of the 2017 ESCI Best Practices Awards Program</b> <i>Mr. Alon Abramson, Project Manager, Penn Institute for Urban Research</i>
<b>Session II: Award Ceremony</b>	
<b>13:00~13:10</b>	<b>Acknowledgement of Juries</b> <i>(The Jury Members Accept Certificates from Chairs)</i>
<b>13:10~13:20</b>	<b>Winners Announcement</b> <i>(The Awardees Accept the Trophies from Chairs)</i>
<b>13:20~13:25</b>	<b>Group Photo</b> <i>(The Awardees with Chairs)</i>
<b>Session III: Knowledge Sharing</b>	
<b>13:25~14:50</b>	<b>Smart Transport</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Gold- “Smart Park ICT Re-engineering Initiative” by Chinese Taipei Speaker: Dr. Jason Yi-Bing Lin, Vice Chancellor, University System of Taiwan</i></li> </ul> <b>Smart Buildings</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Gold- “Smart City Shioashiya “Solar-Shima”” by Japan Speaker: Ms. Sumiyo Muraoka, Leader, Property Development Business, PanaHome Corporation</i></li> <li>▪ <i>Silver- “Energy Conservation Virtue at Huachiew Chalermprakiet University” by Thailand Speaker: Dr. Prachak Poomvises, President, Huachiew Chalermprakiet University</i></li> </ul> <b>Smart Grids</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Silver- “Penghu Dongjiyu Microgrid Small Power Supply System” by</i></li> </ul>

*Chinese Taipei*

*Speaker: Mr. Chun-Der Chang, Chung-Hsin Electric & Machinery Mfg. Corporation, Special Assistant*

**Smart Jobs and Consumers**

- *Gold- “BCA Back to School Programme: Getting student alumni to be involved in greening of schools” by Singapore*  
*Speaker: Ms. Sian Ching Ng, Executive Manager, Building and Construction Authority of Singapore*
- *Silver- “Applied Leadership Program for Renewable Energies and Energy Efficiency in Mexico” by Mexico*  
*Speaker: Mr. Francisco Acuna, Chief Executive Officer, InTrust Global Investments*

**Low Carbon Model Towns**

- *Gold- “Solar Powered City - Tainan Reaches for the Sun” by Chinese Taipei*  
*Speaker: Tainan City Government*

**14:50~15:00 Closing Remarks**

- *Dr. Cary Bloyd, Senior International Research Advisor, Pacific Northwest National Laboratory, the United States*
- *Dr. Fei-Yu Kuo, Director-General, National Development Council, Chinese Taipei*

### 三、心得

#### (一) APEC ESCI 第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮

亞太經濟合作會議（Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC）是亞太地區國家為促進該區經濟發展及合作，所組成區域性經濟體高階代表間之正式諮商論壇，創始於 1989 年，現有 21 個成員經濟體。其中，能源工作組會議（Energy Working Group, EWG）每年舉行兩次，由各會員體輪流主辦，以分享能源發展動態的重要資訊、檢討計畫與提案執行進展或研提新計畫，與會者包括 21 個 APEC 正式會員體，以及亞太能源研究中心（APEREC）。APEC EWG 第 53 屆會議於新加坡舉行，並進行 2017 第三屆 APEC「能源智慧社區倡議(The Energy Smart Communities Initiative, ESCI)」最佳案場評選活動暨優勝案場頒獎典禮及案例分享；本屆共有 197 個案場參與評選活動，中興電工機械股份有限公司以本所輔導規劃及設計之「澎湖東吉嶼微電網供電系統」參加智慧電網最佳案場競賽，榮獲銀質獎，本所由核能儀器組副組長張永瑞博士與助理研究員孫士文出席參加，如圖 1 所示。



圖1、會議註冊報到

本屆會議由 APEC 秘書處 Alan Bollard 博士、美國西北太平洋國家實驗室 Cary Bloyd 博士及國家發展委員會郭翡玉博士致開場詞，說明本會的成立目的與發展歷史，並鼓勵所有成員積極參與相關活動，如圖 2、3 所示。會議的第二部分為評審團致謝、頒獎儀式及得獎單位合照。第三部分則為得獎案場知識分享，其中，「澎湖東吉嶼微電網供電系統」由中興電工機械江義福董事長親自領取銀質獎，並由張存德特助簡報本案場，相關照片如圖 4~8 所示，表 3 為簡報資料之摘要。



圖2、APEC 秘書處 Alan Bollard 博士致詞



圖3、美國西北太平洋國家實驗室 Cary Bloyd 博士致詞



圖4、中興電工機械江義福董事長親自領取銀質獎



圖5、得獎單位合照



圖6、中興電工機械張存德特助簡報本案場



圖7、本所與中興電工機械參與人員合照



圖8、2017 年 APEC ESCI 智慧電網最佳案場銀質獎座

表3、中興電工機械張存德特助簡報資料摘要

項次	簡報資料	說明
1	<p style="text-align: center;"><b>DONGJIYU – The location</b></p> <p>➢ Dongjiyu, connecting Mainland China and Southern Part of Chinese Taipei, brings the important value in 1900s.</p>	<p>東吉嶼位於台灣西南方海面上，在 1900 年代為連結兩岸重要位置，曾經繁華一時，素有小上海之稱號。</p>
2	<p style="text-align: center;"><b>PRESENT - Importance</b></p> <p>➢ The 9th NATIONAL OCEAN PARK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 endemic plant species</li> <li>- 18 protected wild species, including 3 endemic species</li> <li>- The unique location &amp; the important breeding area.</li> </ul>	<p>目前為台灣第 9 座國家公園，島上設有海洋國家公園管理處，海域內有 6 種特有的植物，18 種受保護的動物，包含 3 種特有的動物。</p>

### PAST & PRESENT

**➢ PAST**

- Limited Solution: Diesel Generator as SMALL POWER SUPPLY SYSTEM
- Pollution in Noise, Air, High Opex

**➢ PRESENT**

- Goal: clean energy for the nature
  - natural resources optimized
  - fuel consumption reduced
  - operating cost reduced




2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - (Energy, Energy Management - Safety, Quality and Business Performance) - Chung Hsin Electric & Machinery Mfg. Corp.

過去，東吉嶼全仰仗柴油發電機供電，高汙染且發電成本昂貴；目前，部分供電由 PV 來分擔，減少污染物排放，降低島上供電成本。

### OVERVIEW

**➢ Chung-Hsin Electric & Machinery Mfg. Corp. (CHEM) & the project**

- CHEM completed the grid connection project of Dongjiyu's 85KWp photovoltaic and D.G systems.
- Communication Interface: Direct RS-485 for Phase I Monitoring System and Phase II Smart u-MEMS, Wireless Communication for Auto Meter Reader on DC and AC Panel and Power SCADA.



2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - (Energy, Energy Management - Safety, Quality and Business Performance) - Chung Hsin Electric & Machinery Mfg. Corp.

本計畫第一階段，新增一台具有調頻與穩壓功能的柴油發電機；第二階段，安裝新的 PV 轉換器與 60 度電之儲能系統；第三階段，安裝能遠端無線傳輸的智慧型能源管理系統(u-EMS)，增加 120 度電的儲能系統。

### MOTIVATION & OBJECTIVES

Problems/Issues to Address	Overall Project Objectives	Significance and Relevance to Chinese Taipei
Renewable intermittency assessment and control on a micro-grid	To perform impact assessment of intermittent energy sources on the quality of electricity supply from a micro-grid standpoint and specific measures for improvement	Assisted in Penghu County Government enhancement solutions for bettering grid's tolerance and capacity for increased intermittent generation sources through the use of grid-tie energy storage
Emerging microgrid component and algorithmic technologies (e.g. energy storage technologies) performances and their associated deployment configurations	Dongjiyu hybridized system and component performances, conditions and their associated deployment configurations by collecting year-long operational field data	The project team lead in developing an internationally verified microgrid solution that is suited for Chinese Taipei and Asia countries, and effectively lift up Chinese Taipei's strategic positioning in the global energy industry development.

2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - (Energy, Energy Management - Safety, Quality and Business Performance) - Chung Hsin Electric & Machinery Mfg. Corp.

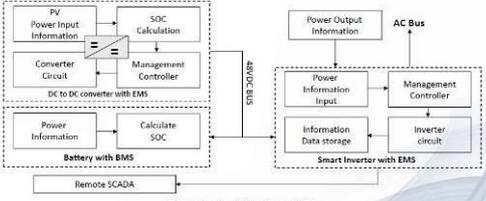
議題 1：再生能源的間歇性，對小島電力系統衝擊更為明顯。目標為利用併網型儲能系統，以及預測、排程、即時調控等技術，增加再生能源供電量。

議題 2：設備的選用、安裝與控制策略的訂定，以研擬出最具經濟價值且適合各種規模離島發電的微電網系統。

### APPROACH & METHODOLOGY

**➢ Use of lead acid batteries - higher availability & technology acceptance, cost effective**

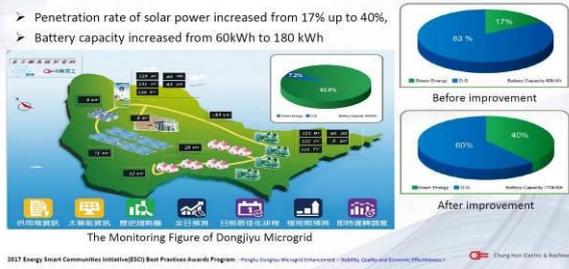
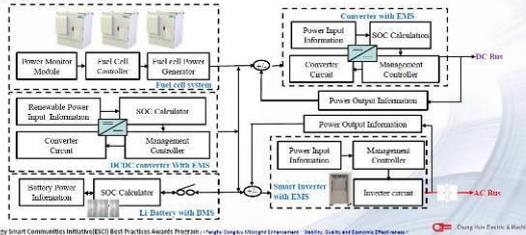
**➢ Smart ES solution - To improve controlling for fuel efficiency on inverters and batteries**



**Flowchart of the Smart ES**

2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - (Energy, Energy Management - Safety, Quality and Business Performance) - Chung Hsin Electric & Machinery Mfg. Corp.

使用鉛酸電池建立 48V 的直流匯流排，吸收再生能源間歇性所造成的電力暫態現象；加上智慧型雙向儲能轉換系統(Smart ES)，可依自行研發的控制邏輯，控制併網的功率大小與流向。

<p>7</p>	<h3 style="text-align: center;">PENETRATION RATE</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>Penetration rate of solar power increased from 17% up to 40%.</li> <li>Battery capacity increased from 60kWh to 180 kWh</li> </ul>  <p style="text-align: center;">The Monitoring Figure of Dongjiyu Microgrid</p> <p style="font-size: small;">2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - High Voltage Microgrid Enhancement - Safety, Quality and Economic Performance - Cheng Non-Electric &amp; Machinery (HK) Corp.</p>	<p>儲能系統由 60 度電增加至 180 度電時，最高的 PV 瞬間滲透率為 92.8%，且預估 PV 的全日供電與島上用電占比可提高至 40%。</p>			
<p>8</p>	<h3 style="text-align: center;">FUTURE UPGRADES</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hybrid ES solution - characterized by the combined fast response of lithium battery and long stable power supply of methanol fuel cells.</li> <li>Improves the overall supply stability and power quality issues (i.e. arising from high renewable energy penetration).</li> </ul>  <p style="font-size: small;">2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - High Voltage Microgrid Enhancement - Safety, Quality and Economic Performance - Cheng Non-Electric &amp; Machinery (HK) Corp.</p>	<p>未來規劃：可考慮於現行鉛酸電池系統中，增加反應快速的鋰鐵電池，以及適合長期穩定供電的燃料電池，以組合成一個混合式的儲能系統，提高供電穩定度及電力品質。</p>			
<p>9</p>	<h3 style="text-align: center;">MULTIPLE OPERATING AREA</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>Microgrid is a localized grouping of electricity sources and loads that are operated and connected to the traditional centralized electric grid. Disconnecting and functioning autonomously are also possible for different physical and/or economic conditions.</li> <li>It provides the solution for emergency power supplying with flexibility between islanded mode and grid-tied mode.</li> <li>Control and protection are big challenges in this type of network configuration, which is generally treated as a hierarchical control.</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; font-size: small;"> <tr> <td style="background-color: #00FFFF;"> <b>Off-Grid Mode</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rural areas</li> <li>No utility</li> <li>Islands</li> <li>Diesel fuel is expensive</li> <li>Maintenance free</li> <li>Larger PV and battery</li> </ul> </td> <td style="background-color: #FFFF00;"> <b>Grid-tied Mode</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban areas</li> <li>Utility available/unstable</li> <li>High electricity price</li> <li>Interactive with grid</li> <li>Grid feed-in (optional)</li> <li>Smaller PV and battery</li> </ul> </td> <td style="background-color: #FFA500;"> <b>Mini Power Station</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tele-communication station</li> <li>No utility</li> <li>Good power quality required</li> <li>Diesel generator standby</li> <li>Minimum maintenance</li> <li>Larger PV and battery</li> </ul> </td> </tr> </table>  <p style="font-size: small;">2017 Energy Smart Communities Initiative(ESCI) Best Practices Awards Program - High Voltage Microgrid Enhancement - Safety, Quality and Economic Performance - Cheng Non-Electric &amp; Machinery (HK) Corp.</p>	<b>Off-Grid Mode</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rural areas</li> <li>No utility</li> <li>Islands</li> <li>Diesel fuel is expensive</li> <li>Maintenance free</li> <li>Larger PV and battery</li> </ul>	<b>Grid-tied Mode</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban areas</li> <li>Utility available/unstable</li> <li>High electricity price</li> <li>Interactive with grid</li> <li>Grid feed-in (optional)</li> <li>Smaller PV and battery</li> </ul>	<b>Mini Power Station</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tele-communication station</li> <li>No utility</li> <li>Good power quality required</li> <li>Diesel generator standby</li> <li>Minimum maintenance</li> <li>Larger PV and battery</li> </ul>	<p>微電網是由一群負載、分散式電源或再生能源、及智慧監控設備所構成的單一且可受控制的電力系統。可分為孤島型、併網型及小型發電站型。</p> <p>除了能提供緊急電力之外，亦能在孤島運轉與市電併聯間切換。</p> <p>微電網因其電力流向為雙向，控制與保護協調技術是一項重大的挑戰項目。</p>
<b>Off-Grid Mode</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rural areas</li> <li>No utility</li> <li>Islands</li> <li>Diesel fuel is expensive</li> <li>Maintenance free</li> <li>Larger PV and battery</li> </ul>	<b>Grid-tied Mode</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban areas</li> <li>Utility available/unstable</li> <li>High electricity price</li> <li>Interactive with grid</li> <li>Grid feed-in (optional)</li> <li>Smaller PV and battery</li> </ul>	<b>Mini Power Station</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tele-communication station</li> <li>No utility</li> <li>Good power quality required</li> <li>Diesel generator standby</li> <li>Minimum maintenance</li> <li>Larger PV and battery</li> </ul>			

## (二) 烏敏島微電網示範園區參訪

烏敏島(Pulau Ubin)是一個位於新加坡東北部外海的天然島嶼，面積約10.2平方公里，在新加坡政府的管理下，島上完整地保留原始的熱帶林貌，全島被劃定為自然保護區，目前僅規劃為觀光休閒之用。由於島上多數區域被劃定為自然保護區，生長著許多稀有植物，故新加坡政府禁止砍伐樹木，因而擴建大型太陽能發電設備受到限制；另外，新加坡鄰近赤道，風場條件極為貧瘠，不適合設置風力發電站，目前採用太陽光電與生質柴油做為主要能量來源。島上電力系統為240V三相交流，用戶大都是單相負載，每戶均自備柴油發電機來提供電力，並接受新加坡政府補助；平日離峰時間全島負載量低於20kW，周末尖峰時間負載量經常超過百kW。4月25日張員與孫員會同DLRE公司負責人Markson Tan與員工等4人，一起赴烏敏島了解島上的微電網系統的實際運作狀況，圖9為本所人員於微電網試驗場營運機房前之合影，圖10為本所人員與DLRE公司人員於烏敏島現場討論實況。



圖9、本所人員於微電網試驗場營運機房前之合影



圖10、本所人員與 DLRE 公司人員於烏敏島現場討論實況

烏敏島微電網試驗場包含太陽能發電、生質柴油發電與儲能系統，為一獨立型運轉微電網，係由新加坡能源市場管理局(Energy Market Authority, EMA)透過對外公開徵求與公開招標的方式，最終由 Daily Life Renewable Energy Pte. Ltd (DLRE)公司取得整個計畫的 DBOO (Design, Build, Own, and Operation)，共分為三階段執行，運轉期間為期 10 年。第一階段包含 6 部 40kVA 可調速柴油發電機六台，總裝置容量 100kW 屋頂型太陽能板，及一組電壓 480V、容量 1MWh 的鉛酸蓄電池作為儲能系統。在 EMA 的主導下，烏敏島微電網第一期計畫於 2013 年 10 月 10 日開始商轉，超過 30 個用戶(包括商業用戶及住戶)參加本項微電網試驗，其供電費率為每度 80 分新幣，低於島上用戶自行使用發電機發電的成本每度 1.1 元新幣，使得島上居民有意願向 DLRE 公司購買電力。

目前，烏敏島微電網正在進行第二期計畫，EMA 編列 500 萬元新幣的預算，以進行下列兩項工作項目：一、評估間歇能源對微電網供電品質的影響，並研擬改善電網穩定性的因應措施；二、評估各種強化電網穩定性技術（如能源管理系統，能源儲存技術和狀況監測系統）的成效及其相關設備的部署配

置。這兩個項目將利用烏敏島現有的微電網基礎設施，在能源儲存、能源分析和電網資產管理等領域發展一系列創新的、趨於商業化的能源技術，目的是為了能夠找出更有效率地儲存能量的方法。目前，雖然使用鉛酸電池是可靠的選擇，但為了能再減小碳足跡(carbon footprint)產生，能更好地抵禦熱帶地區的高溫與濕度，並且具有更高效率的充放電效能，已在該試驗場針對以下三種不同類型的電池進行測試：鈉離子電池、鋰離子電池和鋅空氣電池。圖 11 為位於微電網試驗場營運機房內的電池管理系統。



圖11、電池管理系統

除了分析不同的能源儲存技術，以發展出如何有效率地將間歇式太陽能整合到電網中，同時保持電網穩定之外，DLRE 還致力於利用新型感應器，以進一步提高電力系統的效率 and 彈性。烏敏島微電網的配電點設有監控電網的感應器，基於所建置的感應器網路系統，能將各處即時電力信號收集，透過無線傳播的方式傳遞到微電網試驗場營運機房內，再透過位於屋外配電盤旁的綠色方形天線，將信息向新加坡本島傳輸，因而可以更有效率地進行微電網維護，如圖 12 所示。



圖12、屋外配電盤旁的綠色方形天線

### (三) A\*STAR 實驗電網中心參訪

新加坡科技研究局(Agency for Science, Technology and Research；簡寫為A\*STAR)成立於 1991 年，是新加坡貿易與工業部下屬的國家級研究機構，成立的目標是促進新加坡科技研發和人才培育的整合，協助新加坡向知識型經濟體轉型和邁進。A\*STAR 組織架構如圖 13 所示，底下設有生物醫藥研究理事會(BMRC)、科學工程研究理事會(SERC)，各理事會再向下細分若干個研究所，從事相關方面的科學研究；另外，A\*STAR 還設有交叉學科整合理事會(CCO)、研究生學院(A\*GA)、科技拓展私人有限公司(ETPL)以及企業公共事務服務部門(CPAD)，達到各個研究所的資源共享。實驗電網中心(Experimental Power Grid Center, EPGC)負責新加坡微電網相關計畫，附屬於化學與材料工程科學研究所(Institute of Chemical & Engineering Sciences)，其組織架構如圖 14 所示。本次參訪由經理 Alex Chong 負責接待，介紹 EPGC 在智能分散式電力應用技術方面的研發成果，參訪過程照片如圖 15 所示。

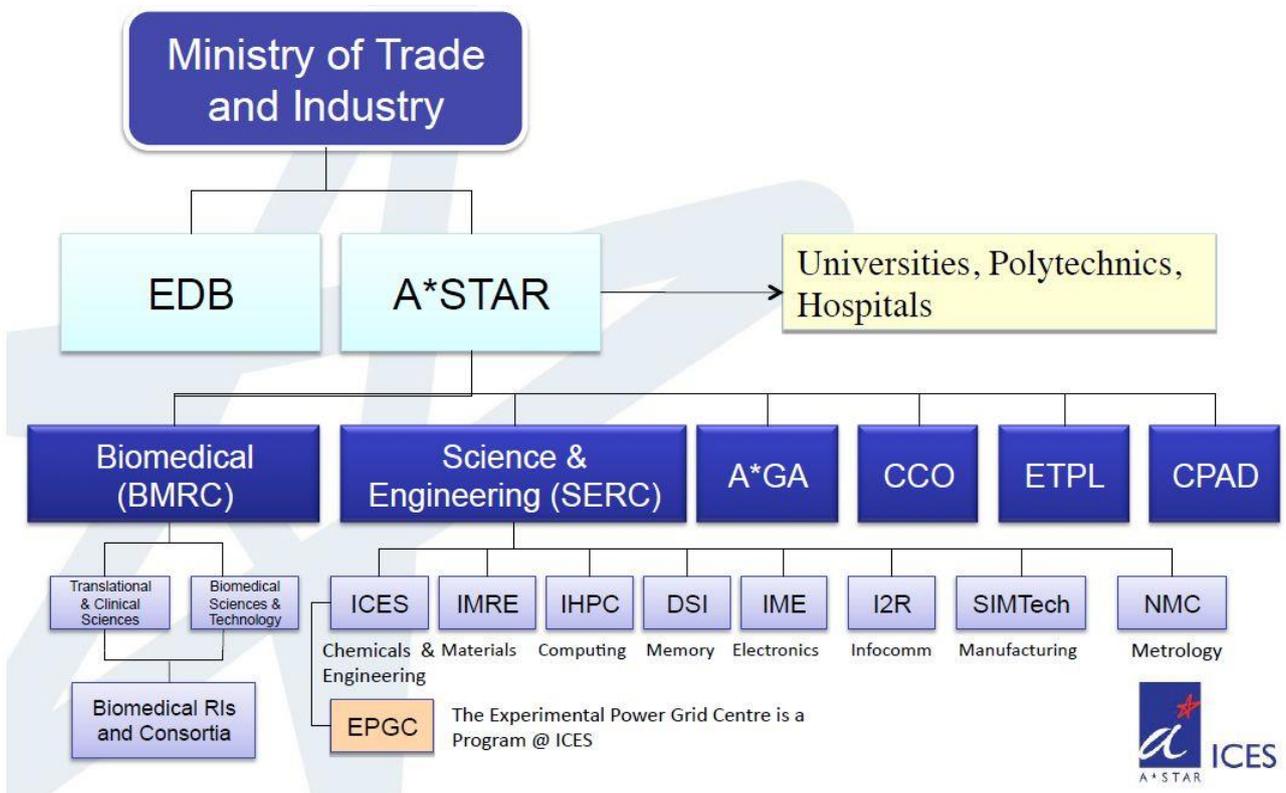


圖13、A\*STAR 組織架構圖

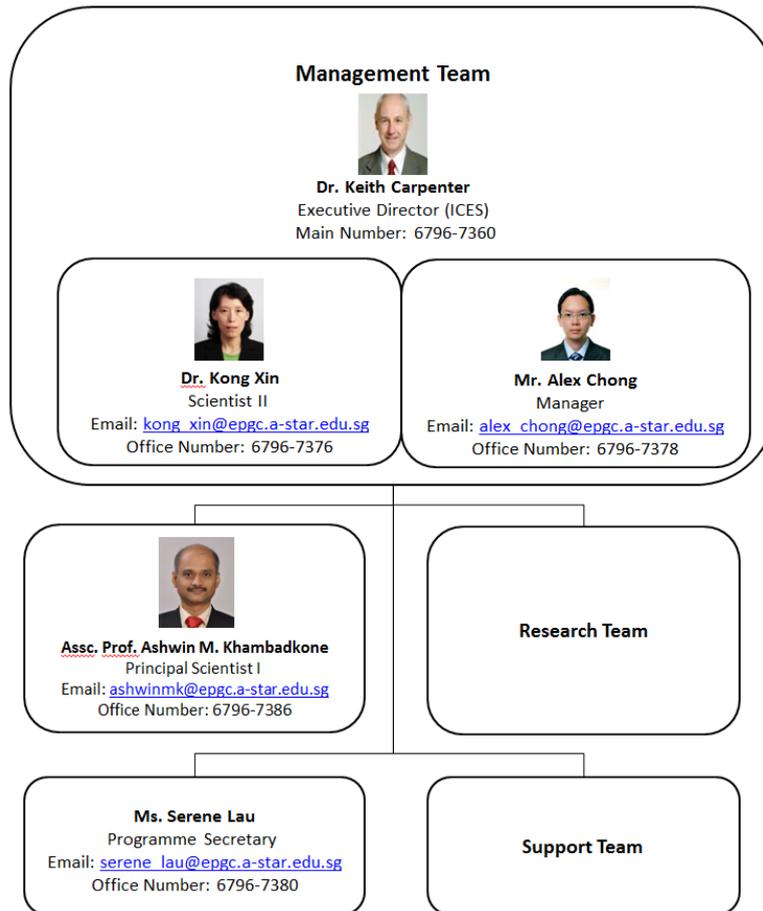


圖14、EPGC 組織架構圖

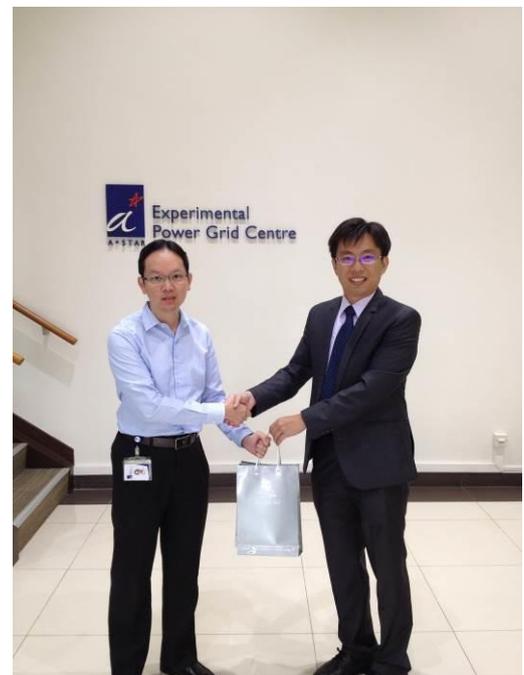


圖15、參訪 EPGC 情形

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，簡報會議情形如圖 16 所示，簡報內容重點摘要於表 4；接著，由經理 Alex Chong 簡報 EPGC 及其於智能分散式電力應用技術的研發成果(圖 17)，主要包含智慧化電網(iGrid)、智慧化分散式能源(iDERS)、智慧化能源使用(iEuse)三大領域，在再生能源系統、再生能源轉換器系統、彈性與自我治癒系統、大型複雜電網系統、儲能系統、自我診斷系統、智慧需量反應控制、分散式控制、隨插即用、壽命週期評估、智慧用電戶等方面建立技術能力，並與業界、大學和公共研究機構合作，進行相關領域的分析、模擬、實作等方面的技術實證。目前，已在裕廊島院區建立一個 1MW 等級的電力網，其內部設備詳細規格如表 5 所示，配置情形如圖 18 所示，包含單晶、多晶、薄膜式等太陽能板，柴油發電機、微渦輪機等內燃機式發電設備，鉛酸電池、鋰鐵電池、超級電容等儲能設備，可程式化負載箱，以及 PV、風機、電網模擬器，；該電力網內部可分為三個子區域，分別為該 Bus-A、Bus-B、Bus-C，並可組成多種串/並聯模式，以評估在不同構型下的電力傳輸效益，如圖 19 所示。

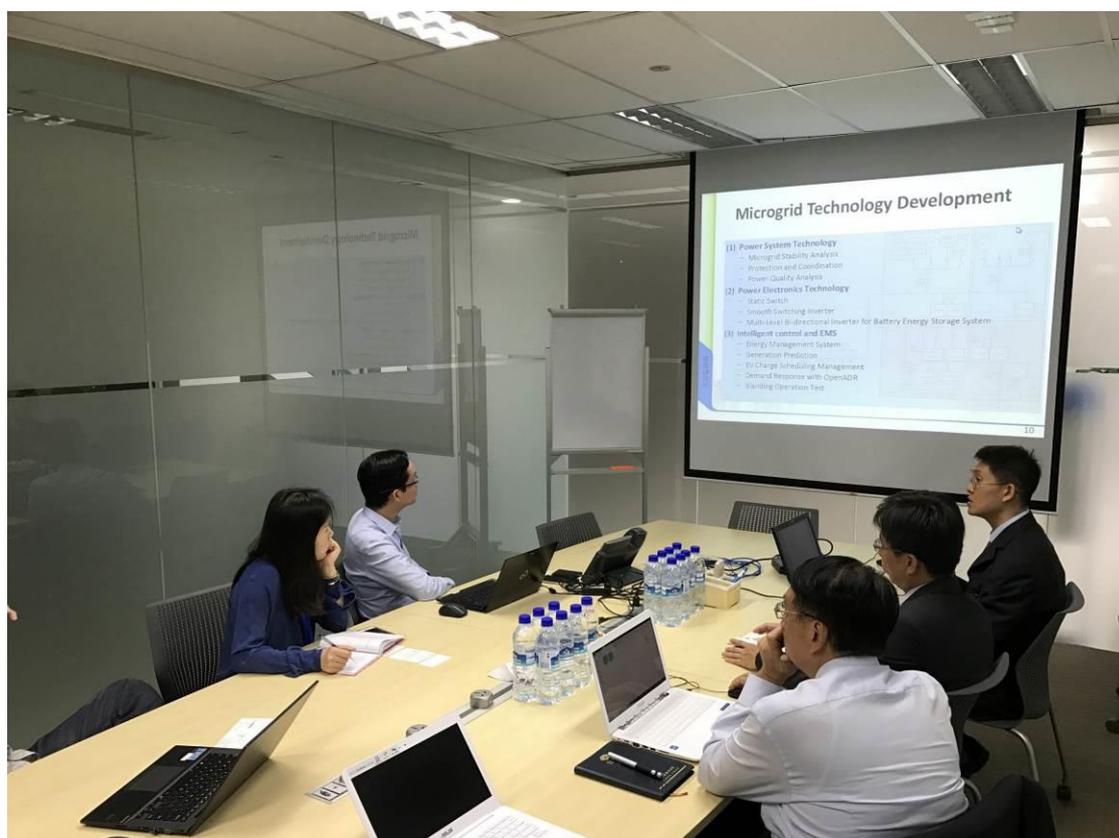


圖16、孫員簡報本所研發成果情形

表4、孫員簡報資料摘要

項次	簡報資料	說明																												
1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="263 313 686 604"> <h3>Organization Chart of INER</h3> <p>Amount of employees: apx 1500</p> </div> <div data-bbox="702 313 1125 604"> <h3>Profile of INER</h3> <p><b>Statistics of Educational Background for Research Staffs</b></p> <table border="1"> <tr><td>Ph.D.</td><td>123 Persons (30.7%)</td></tr> <tr><td>Master</td><td>281 Persons (65.7%)</td></tr> <tr><td>Vocational School</td><td>81 Persons (14.6%)</td></tr> <tr><td>Bachelor</td><td>18 Persons (3.2%)</td></tr> <tr><td>Research Staffs</td><td>383 Persons</td></tr> </table> <p><b>Annual Fiscal Expenditure in 2014</b></p> <table border="1"> <tr><th></th><th>USD</th><th>%</th></tr> <tr><td>Administration and Safety</td><td>54,935K</td><td>56.25%</td></tr> <tr><td>Management and Operation</td><td>6,768K</td><td>6.93%</td></tr> <tr><td>R&amp;D Projects</td><td>29,745K</td><td>30.44%</td></tr> <tr><td>Technology Promotion and Service</td><td>6,236K</td><td>6.38%</td></tr> <tr><td>Total</td><td>97,714K</td><td>100%</td></tr> </table> </div> </div>	Ph.D.	123 Persons (30.7%)	Master	281 Persons (65.7%)	Vocational School	81 Persons (14.6%)	Bachelor	18 Persons (3.2%)	Research Staffs	383 Persons		USD	%	Administration and Safety	54,935K	56.25%	Management and Operation	6,768K	6.93%	R&D Projects	29,745K	30.44%	Technology Promotion and Service	6,236K	6.38%	Total	97,714K	100%	<p>首先，介紹本所的地理位置、組織架構、人員學歷分布、年度經費配比等。</p>
Ph.D.	123 Persons (30.7%)																													
Master	281 Persons (65.7%)																													
Vocational School	81 Persons (14.6%)																													
Bachelor	18 Persons (3.2%)																													
Research Staffs	383 Persons																													
	USD	%																												
Administration and Safety	54,935K	56.25%																												
Management and Operation	6,768K	6.93%																												
R&D Projects	29,745K	30.44%																												
Technology Promotion and Service	6,236K	6.38%																												
Total	97,714K	100%																												
2	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="263 649 686 952"> <h3>INER Microgrid</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>The first microgrid test field in Taiwan</li> <li>Accepts the commands from Taipower Feeder Dispatch Center to perform demand response control by open/ALR or islanding operation.</li> </ul> </div> <div data-bbox="702 649 1125 952"> <h3>System Configuration</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Renewable Energy</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wind Turbine (150 kW &amp; 25 kW &amp; 3 kW)</li> <li>PV (40 kW PV &amp; 91.5 kW HCPV)</li> </ul> </li> <li><b>Generation and Energy Storage</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Microturbine (65 kW x 3)</li> <li>Battery storage system (740 kWh)</li> </ul> </li> <li><b>Other Components</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Static Switch</li> <li>Power Filter</li> <li>Load</li> </ul> </li> </ul> </div> </div>	<p>其次，則介紹本所微電網示範場域的架構與設備。</p>																												
3	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="263 985 686 1288"> <h3>(1) Power System Technology - Microgrid Stability Analysis</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Software Tools</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.PSCAD</li> <li>2.CYME/PSAF</li> <li>3.NI PI AN</li> <li>4.Matlab</li> </ol> </li> <li><b>System Analysis</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. System Planning</li> <li>2. Modelling</li> <li>3. Power Flow</li> <li>4. Fault Current</li> <li>5. Impact Analysis</li> <li>6. Scenario Design</li> </ol> </li> </ul> </div> <div data-bbox="702 985 1125 1288"> <h3>(1) Power System Technology - Protection and Coordination</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Protection coordination analysis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fault current calculation and parameter selection and design for protection decision-making algorithm</li> <li>Action analysis for INER &amp; OC Relay</li> </ul> </li> <li><b>Artificial Fault testing</b></li> </ul> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="263 1299 686 1601"> <h3>(1) Power System Technology - Power Quality Analysis</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Power quality analysis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Harmonic modeling of microgrid component</li> <li>Harmonic power flow and unbalance analysis</li> </ul> </li> <li><b>Power quality improvement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Active/passive power filter analysis &amp; design</li> </ul> </li> </ul> </div> </div>	<p>接著，說明本所於智慧電網的研發成果。其中，在電力系統的方面包含：微電網穩定度分析、保護協調、電力品質分析等。</p>																												
4	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="263 1624 686 1904"> <h3>(2) Power Electronics Technology - Static Switch</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Active islanding detection</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>AFD, slip-mode (SMS)</li> <li>Voltage Pulse Perturbation, Voltage Correlation</li> <li>Active/reactive power perturbation</li> <li>Steady frequency shifting</li> <li>Impedance, current injection</li> </ul> </li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr><th>Voltage (V)</th><th>Time (sec)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>V<sub>u-dc</sub></td><td>0.1e</td></tr> <tr><td>V<sub>u-ac</sub></td><td>1</td></tr> <tr><td>V<sub>u-0</sub></td><td>2</td></tr> <tr><td>V<sub>u-1</sub></td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr><th>Frequency (Hz)</th><th>Time (sec)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>f<sub>0</sub></td><td>0.1e</td></tr> <tr><td>f<sub>0</sub> ± f</td><td>2</td></tr> <tr><td>f<sub>0</sub> ± f</td><td>2</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="702 1624 1125 1904"> <h3>(2) Power Electronics Technology - Smooth Switching Inverter</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>Smooth switching capability within one cycle</li> <li>Two seamless transfer strategies are developed: <ul style="list-style-type: none"> <li>commutation current compensation strategy</li> <li>predictive transfer voltage control strategy</li> </ul> </li> </ul> </div> </div>	Voltage (V)	Time (sec)	V <sub>u-dc</sub>	0.1e	V <sub>u-ac</sub>	1	V <sub>u-0</sub>	2	V <sub>u-1</sub>	1	Frequency (Hz)	Time (sec)	f <sub>0</sub>	0.1e	f <sub>0</sub> ± f	2	f <sub>0</sub> ± f	2	<p>在電力電子的方面包含：靜態開關、具市電/孤島平滑切換功能之逆變器、具雙向電力轉換功能之多階層儲能系統逆變器等。</p>										
Voltage (V)	Time (sec)																													
V <sub>u-dc</sub>	0.1e																													
V <sub>u-ac</sub>	1																													
V <sub>u-0</sub>	2																													
V <sub>u-1</sub>	1																													
Frequency (Hz)	Time (sec)																													
f <sub>0</sub>	0.1e																													
f <sub>0</sub> ± f	2																													
f <sub>0</sub> ± f	2																													

**(2) Power Electronics Technology**  
**- Multi-Level Bi-directional Inverter for Battery Energy Storage System**

- Hard swapping function for BMS (Battery Management System)
- Independent Power Control for battery voltage balance
- Multilevel topology with higher output ripple frequency
- Real/reactive power compensation for microgrid

BESS Remove one battery module Insert one battery module

**(3) Intelligent control and EMS**  
**- Generation Prediction**

Extreme short-term forecast - QT Short-term forecast - NN

1, 5, 15 min-ahead load prediction

**(3) Intelligent control and EMS**  
**- Energy Management System**

The functions of EMS are as follows:

- Monitoring and Control Platform
- Generation Prediction
- EV Charge Scheduling Management
- Demand Response with OpenADR
- Islanding Operation Test
- Load Shedding Control

Monitoring and Control Platform

**(3) Intelligent control and EMS**  
**- Demand Response with OpenADR**

The demand response system using OpenADR protocol is established in INER microgrid.

- Distribute real time electricity price and utility power demand to terminal device via VTN (Virtual Top Node) and VEN (Virtual End Node)

The System Architecture of Demand Response by Using OpenADR Protocol

**(3) Intelligent control and EMS**  
**- EV Charge Scheduling Management**

The EV charge scheduling management by considering:

- EV's parking time
- Renewable energy forecast
- Feeder load forecast

**(3) Intelligent control and EMS**  
**- Demand Response with OpenADR**

The demand response system using OpenADR protocol is established in INER microgrid.

- Distribute real time electricity price and utility power demand to terminal device via VTN (Virtual Top Node) and VEN (Virtual End Node)

Office Building with Demand Response Control

**Application Sites for INER Microgrid**

Yufen City Integrating EV and Home grid  
 Fusan Elementary School (Kasiter) Provision site for remote areas  
 Dongji Islet Demonstrative MGO for remote islands  
 Pingtung Water Park Integrating Solar System on the Water

**Dongji Islet Microgrid**

180 kWh Battery  
 80 kW Generator  
 36 kW PV  
 30~110 kW Load

**Dongji Islet Energy Management System**

Energy Management System

- Generation Prediction
- Load Prediction
- Monitoring and Control
- Energy Dispatch
- PV Curtailment Minimization
- Unbalance Compensation

**Dongji Islet Microgrid Operation Analysis**

	PV Capacity (kW)	ESS Capacity (kWh)	Diesel Generator (kW)	Load (kW)	Average Generation Cost (USD/kWh)	RE Penetration rate %	Return On Investment per year %
Now	86	180	80	20~110	0.89	38.06	7.4%
Optimal Design	500	500	80	20~110	0.79	68.18	8.07%

在控制與系統的方面包含：能源管理系統、發電/負載預測技術、電動車充電排程管理、OpenADR 自動需量反應、微電網孤島運轉等。

最後，則介紹本所智慧電網研發成果的實際運用案例，包含：新店裕隆城之家庭微電網域電動車整合、屏東林邊光彩濕地之養水種電與微電網系統整合、烏來福山國小之防災型微電網、以及此次得獎的澎湖東吉嶼孤島型微電網。

5

6

**iGrid: Intelligent Grid**  
Intelligent and decentralised power distribution networks

**iDERS: Intelligent DERS**  
Intelligent control and management of Distributed Energy Resources (DERS), e.g. renewables

**iEuse: Intelligent Energy use**  
Smart and interactive energy utilisation



圖17、EPGC 於智能分散式電力應用技術的研發

表5、EPGC 電力網設備規格

設備	種類	規格
太陽能板	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mono-crystalline</li> <li>• Poly-crystalline</li> <li>• Amorphous</li> </ul>	20 kWp 20 kWp 20 kWp
內燃機式發電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel generator unit 1</li> <li>• Diesel generator unit 2</li> <li>• Diesel generator unit 3</li> <li>• Micro Turbine</li> </ul>	250 kVA 125 kVA 50 kVA 100 kVA
儲能設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lead-acid batteries</li> <li>• Lithium-ion batteries</li> <li>• Ultra-capacitors unit 1</li> <li>• Ultra-capacitors unit 2</li> </ul>	110 kWh 40 kWh 90 kW 60 kW
可程式化負載箱	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Load bank 1</li> <li>• Load bank 2</li> <li>• Load bank 3</li> </ul>	R:62 kW, L:100 kvar, C:95 kvar R:375 kW, L:400 kvar, C:285 kvar R:190 kW
模擬器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power grid</li> <li>• Wind turbine</li> <li>• PV emulator</li> </ul>	90 kW 10 kW 50 kW

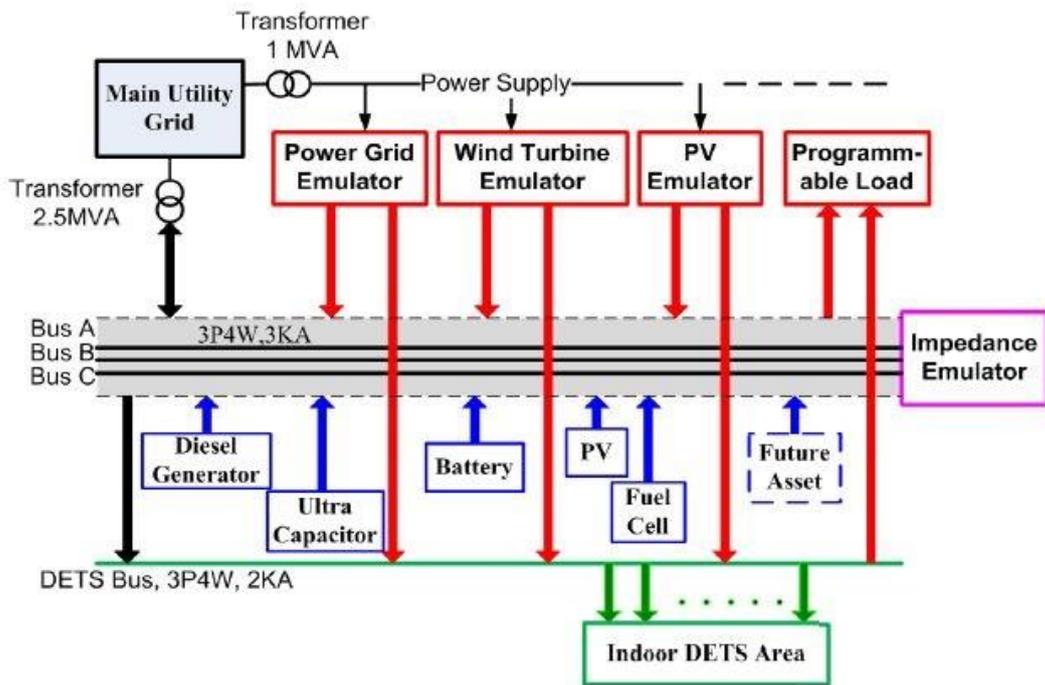
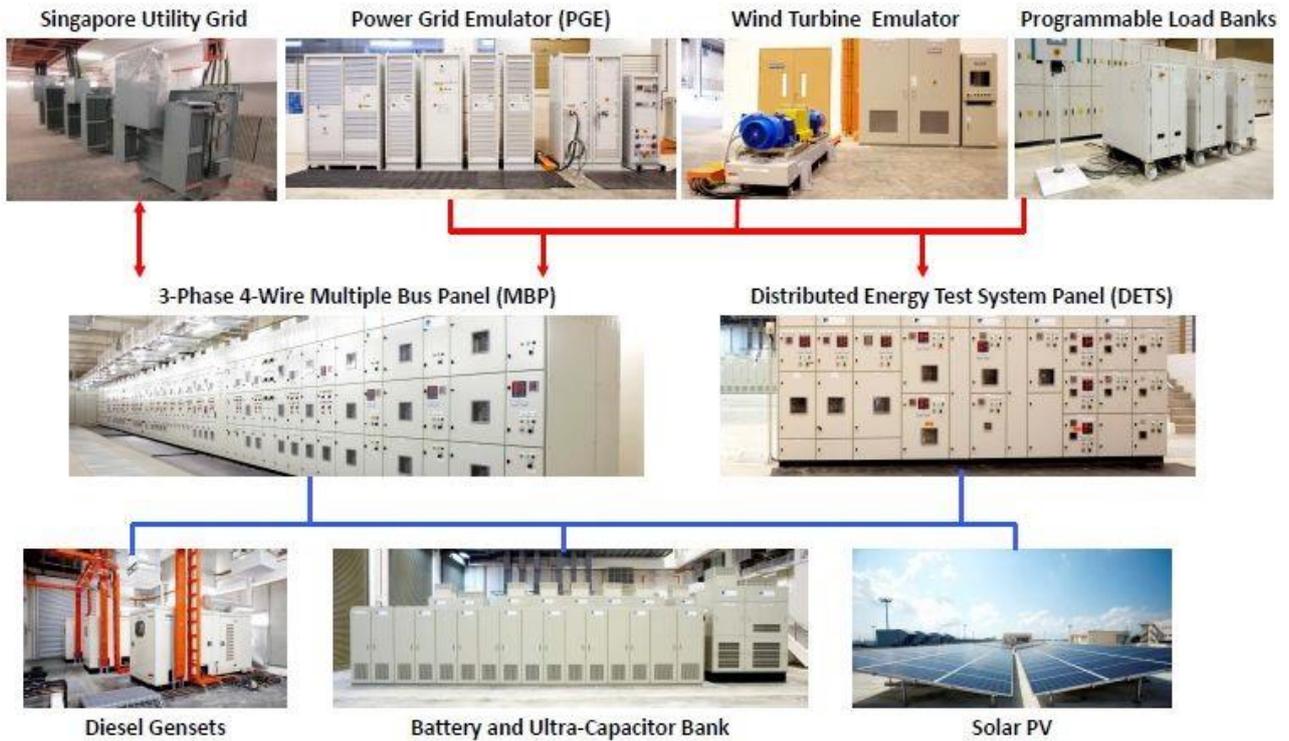


圖18、EPGC 電力網設備架構圖

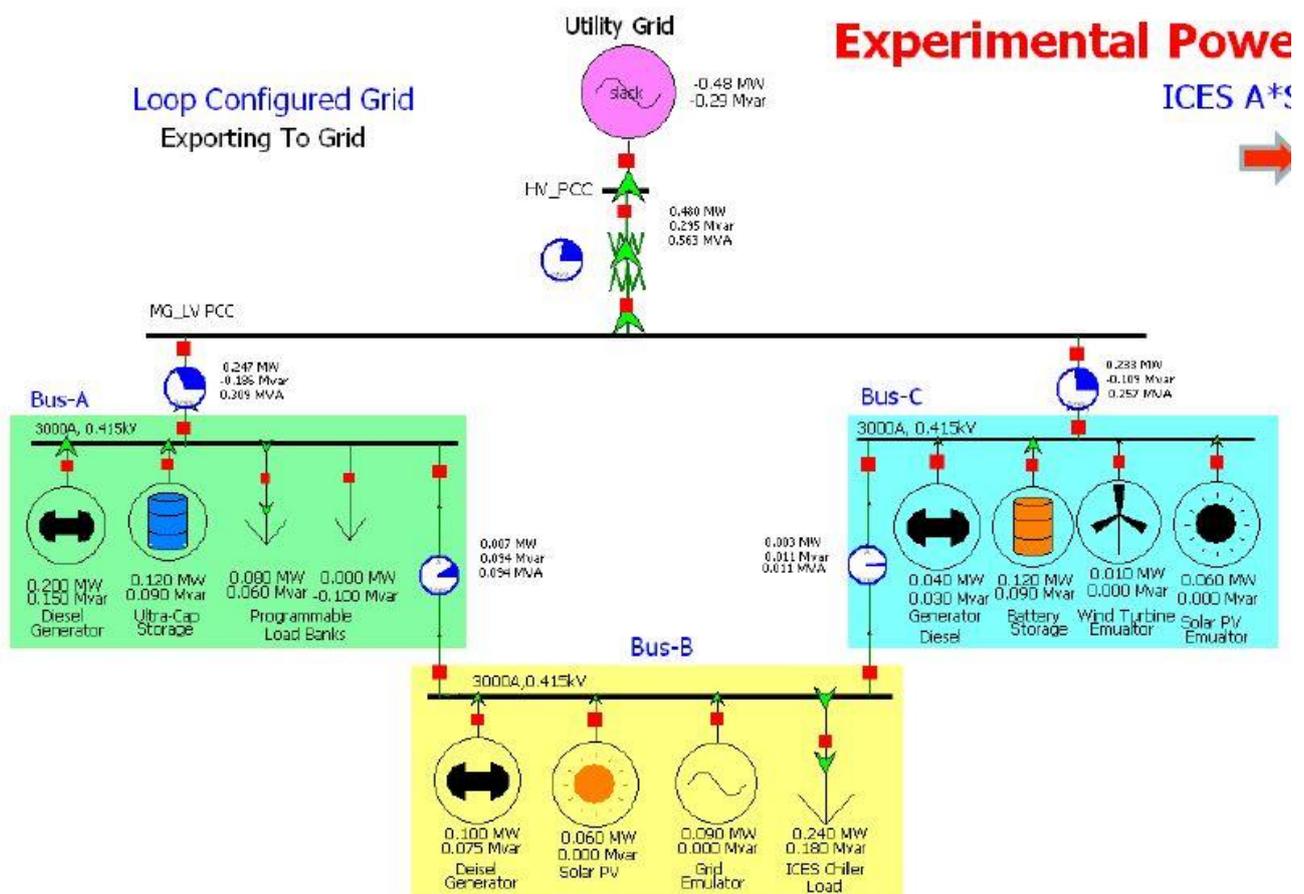


圖19、EPGC 電力網構型圖

最後，則由 Alex Chong 帶領，參訪 EPGC 實驗室，如圖 20 所示。據 Alex Chong 表示，EPGC 現階段已與新加坡經濟發展局(EDB)、能源市場管理局(EMA)、國家環保局(NEA)、裕廊集團(jtc)具有相互合作的關係，從建立 1MW 等級的電力網開始，接著進行烏敏島的孤島微電網計畫，再來於新加坡各處建立綠能示範點，逐漸地將整個新加坡作為實際的示範場域，最終將瞄準國際市場，達成技術輸出的終極目標，如圖 21 所示。EPGC 已於 2013 年 8 月與 WEnergy Global Inc.簽署合作備忘錄，並於 2016 年初在菲律賓馬尼拉西南方約 600 公里的巴拉望(Palawan)島之一個村莊完成微電網的建置，使得該村莊有電可用，更使得整片森林土地的價格開始上漲，而 EPGC 也達成了實際技術成功輸出的成功案例。



圖20、參訪 EPGC 實驗室情形

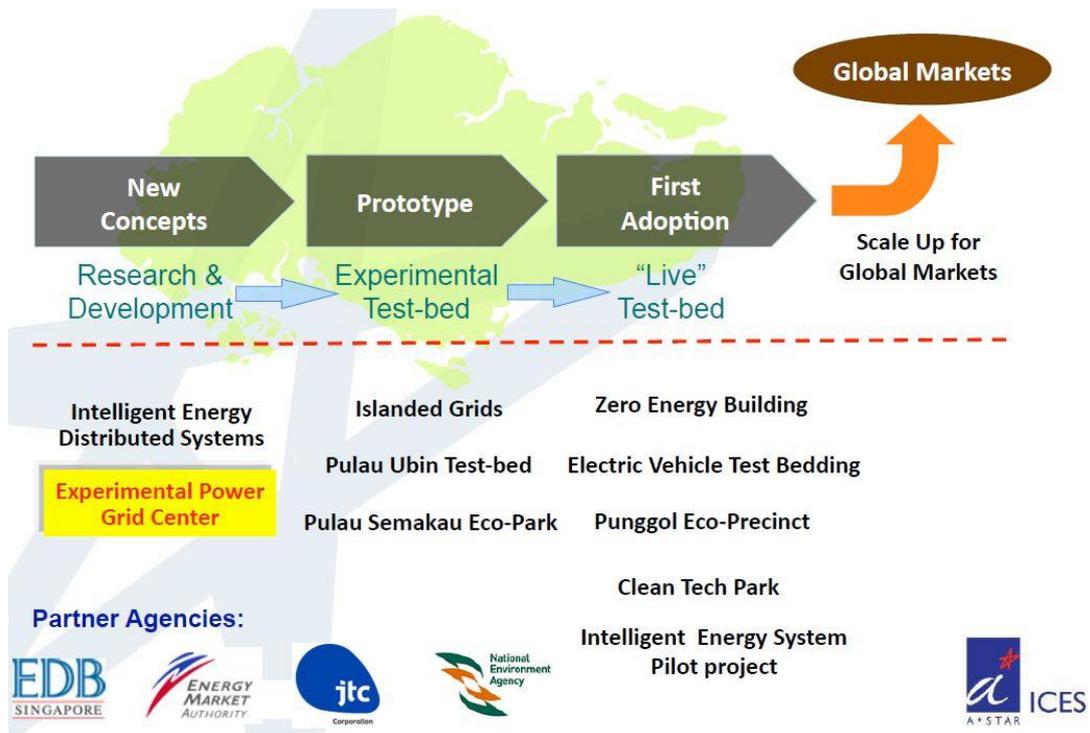


圖21、EPGC 發展規劃

#### (四) ABB 新加坡分公司參訪

根據 Microgrid Knowledge 刊登資料，密西根科技大學的助理教授 Nina Mahmoudian 帶領他的研究團隊，正在進行微電網機器人的開發，以便於日後進入災區或偏遠而具危險的區域，以機器人架設與組裝微電網。基於 ABB 為電力與工業自動化的領導者，且其新加坡分公司負責亞太地區電力與工業自動化之業務，此次赴新加坡出差順道參訪 ABB 新加坡分公司，以探詢微電網與自動化機器人之未來研發方向。

ABB 為全球電力和自動化技術領域的領導企業，致力於工業、能源、電力、交通和建築行業等客製化的解決方案開發商，總部位於瑞士蘇黎世，集團的業務遍布全球 100 多個國家，擁有 15 萬名員工。ABB 新加坡分公司主要的業務為提供客戶工業自動化與機器人的整體解決方案，包括機器人及控制器、應用設備及軟體和遍佈全球的服務與支援體系，幫助工業客戶大幅提高生產力和產品品質，同時顯著減少停機時間、營運成本和所需人力資源，使工人不必再從事搬運重物等危險的工作，減低人員流動率，替客戶創造顯著的效益。本次參訪由 ABB 新加坡分公司的業務代表 Florence Tan 小姐接待，介紹該公司發展成為先進機器人輔助製造解決方案的過程與實績，並實際應用於食品、製藥、消費型電子和太陽能製造業等自動化生產的情況(圖 22、23)。



圖22、本所人員於 ABB 新加坡分公司前之照片



圖23、Florence Tan 簡介 ABB 新加坡分公司工業自動化機器人業務的情況

Florence 簡述 ABB 是世界第一個使用微控制器來控制機器人手臂，並且推向商業化的廠商；經過 40 餘年的研發與改良，已在下列四個方向具有顯著進步，變得：更有用(more useful)、更聰明(smarter)、更能夠人機協作(more collaborative)、更易於操控(easer)。

在變得更有用方面，機器人能夠處理人無法執行的工作，例如在半導體上許多高精度且繁複的工作，或者高強度且負荷重的工作，又或者如焊接等困難度或危險性較高且人類無法到達區域等的工作，均需仰賴機器人來達成。在變得更聰明方面，具影像辨識之機器人視覺系統，讓機器人有了眼睛；具人工智慧與智能學習系統，讓機器人有了大腦；具力感應和力控制技術，能針對環境變化隨時作出回應，並根據力感測器的回饋信號調整其程式控制路徑、速度以及抓取力度；再加上先進的運動控制技術，讓機器人能自我搜尋出最有效率的移動路徑。圖 24 為 ABB 的 IRB 360 Flexpicker 型機器人手臂，正在進行物件裝載的任務模擬，透過上述技術，IRB 360 能夠辨識輸送帶上不同形狀與顏色的物件，依照預設的位置擺放物件，並能依據適當的力量抓取與擺放物件，使其不致發生破損，該種無接觸型機器人應用於食藥品業，具有衛生、精確、一致性高等優點，並能徹底實現百分之百自動化高品質生產的關燈工廠。

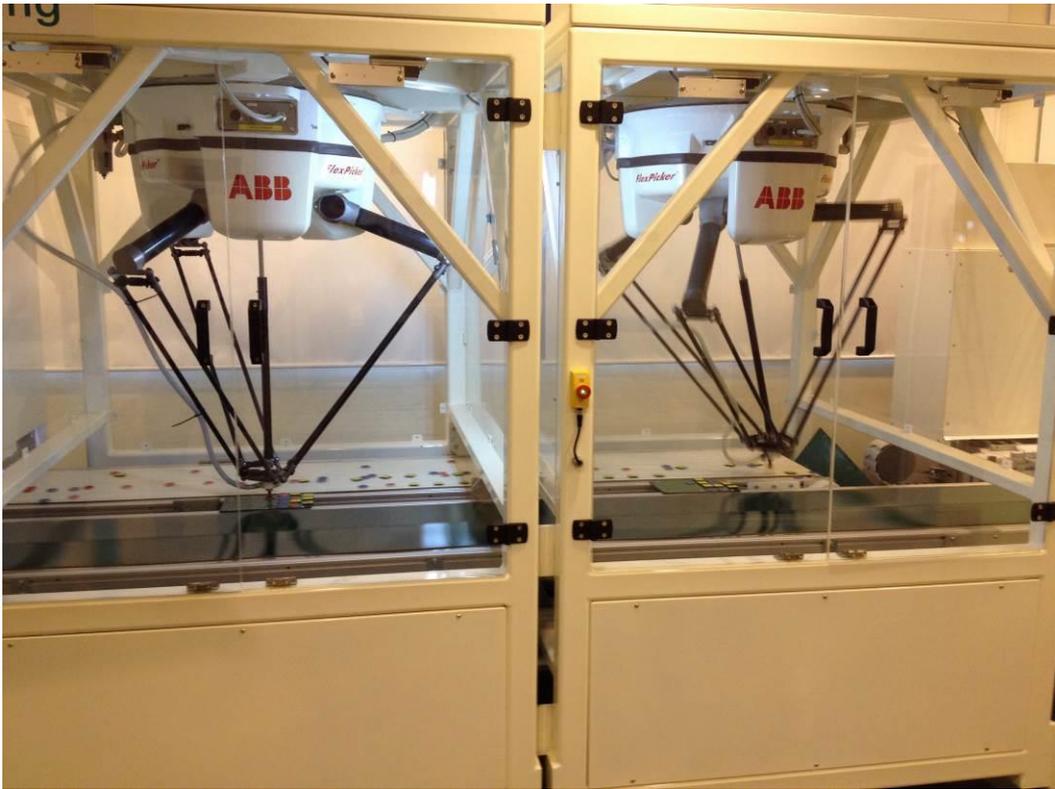


圖24、IRB 360 Flexpicker 型機器人手臂

在變得能夠人機協作方面，人與機器人一起協同工作已是產業共同認知的大趨勢，並將促進機器人更廣泛的應用，促進機器人成為人類生活中不可或缺的夥伴角色；安全是人機協作的前提，ABB 研發了全世界第一個商業化的人機協作雙臂機器人 YuMi (圖 25)，其英文名稱的涵義為 You and Me，除了體積小、靈活度高、能與人共同工作外，若感應到任何外物靠近的話，能在幾個毫秒內停止運動，使得安全性能夠得到保障。在變得更易於操控方面，如何簡化機器人的程式編輯是其中的關鍵，ABB 的機器人軟體程式均能透過自行研發的 RobotStudio 圖控程式編輯系統來完成，並能藉由虛擬控制器來模擬程式的執行結果(圖 26)，也能透過標準化的工業界面來將程式寫入機器人控制器中，實現隨插即用的系統。另外，YuMi 也是「教導式」的機器人，只要人拉著 YuMi 的手做動作，它就會紀錄過程中的運動路徑，而不需如以往要仰賴工程師透過寫程式才能驅動機器人動作。



圖25、人機協作雙臂機器人 YuMi



圖26、搭配 RobotStudio 的虛擬控制器

Florence 表示，未來許多電網危險場域的巡檢工作，例如變電站、高溫與高壓等設施，全部可由機器人代替。智能巡檢機器人能藉由紅外線檢測系統和深度視覺 CCD 設備，觀測設備外觀，也能讀取儀表，判斷系統是否正常運轉，還可通過收音器來採集設備運行中發出的聲音，判斷設備運行是否正常，亦可在第一時間將數據傳送到後台系統，提供工程師作為發現、解決問題之用。

## 四、建議事項

- (一) 本次前往新加坡出席『APEC ESCI 第 53 屆會議暨智慧電網最佳案場受獎典禮』，除代表本所在微電網領域研發實力與成果受到國際肯定外，順道瞭解 APEC 各國在減少排碳量的努力，以及在節能與綠電應用相關的研發與創新。另外，也到烏敏島了解島上微電網系統的實際運作狀況；此商業模式乃由新加坡能源市場管理局主導，讓烏敏島微電網實際進行商業化的運轉，並由 DLRE 結合 A\*STAR 與南洋大學聯合研發新技術，達成產官學研的跨領域整合，值得台灣發展綠能產業效法與借鏡。
- (二) 藉由此次參訪新加坡科技研究局(A\*STAR)，瞭解其研發方向與能量，建議本所可與 A\*STAR EPGC 尋求雙方的合作機會，透過雙方的技術交流，吸取其技術發展的經驗，有利於本所落實再生能源產業化的目標，並協助國內電力系統相關廠商發展微電網與能源管理系統之關鍵技術，以協助產業爭取國際上微電網建置的實際標案。