



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：其他)

美國智慧電網互通性檢測技術與標準發展現況
研究調查報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱姓名：簡任技正洪一紳、技士張彥堂

出國地點：美國

出國期間：中華民國 104 年 10 月 13 日至 10 月 22 日

報告日期：中華民國 105 年 1 月 15 日

| |
|------------------------------|
| 行政院研考會 / 省 (市) 研考會 編號欄 |
| |
| |
| |

目 錄

頁次

| | |
|--|----|
| 壹、背景及目的說明 | 4 |
| 貳、活動行程簡述 | 5 |
| 參、出席團員名單 | 5 |
| 肆、過程記要 | 6 |
| 一、拜會 ANL 電動車-智慧電網互通性中心 | 6 |
| 二、拜會 IIT Robert W. Galvin Center | 17 |
| 三、拜會 BNL Northeast Solar Energy Research Center(1/2) | 24 |
| 四、拜會 BNL Northeast Solar Energy Research Center(2/2) | 32 |
| 伍、心得及建議 | 37 |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1、ANL 國家實驗室空照圖 | 8 |
| 圖 2、ANL 研發能量與發展方向 | 8 |
| 圖 3、AC 充電之互通性測試原理 | 9 |
| 圖 4、DC 充電之互運性測試原理 | 10 |
| 圖 5、DC 通訊控制器模組 | 11 |
| 圖 6、SAE J2953 互通性測試設備 | 12 |
| 圖 7、實驗室設備介紹 | 12 |
| 圖 8、各類型充電樁 | 14 |
| 圖 9、電動車-智慧電網示範場域系統範疇 | 15 |
| 圖 10、電動車-智慧電網示範場域系統規劃圖 | 15 |
| 圖 11、電動車-智慧電網示範場域系統實景圖 | 15 |
| 圖 12、與 Keith 先生及其團隊合照 | 16 |
| 圖 13、IIT Micro Grid 校園設計 | 19 |
| 圖 14、IIT Micro Grid 電力之監控介面介紹 | 20 |
| 圖 15、美國太陽能發電潛力分佈圖 | 20 |
| 圖 16、風力發電機之內部結構 | 21 |
| 圖 17、討論會後合照(1/2) | 22 |
| 圖 18、討論會後合照(2/2) | 23 |
| 圖 19、IIT 校園電動車充電站 | 23 |
| 圖 20、充電站操作方法 | 23 |
| 圖 21、IIT 校園電動車充電站之收集器 | 24 |
| 圖 22、BNL 國家實驗室空照圖 | 25 |
| 圖 23、太陽能發電廠及時光照及溫度等參數 | 25 |
| 圖 24、智慧電網發展用之太陽能評估模型 | 27 |
| 圖 25、高效能運算及現有工具之機率風險評估架構 | 28 |
| 圖 26、BNL 太陽能發電廠 | 28 |
| 圖 27、太陽能發電廠之逆變器(遠方建築物內) | 29 |
| 圖 28、太陽能發電廠之 ComboBox | 29 |
| 圖 29、太陽能發電廠之氣象監測站 | 30 |
| 圖 30、於太陽能發電廠之控制中心前合照 | 31 |
| 圖 31、(上) 商用型 32MW 太陽能發電廠空照；(下) 圍欄前合照 | 31 |
| 圖 32、相對論性重離子對撞機空照圖 | 33 |
| 圖 33、超導磁性管前合影 | 33 |
| 圖 34、多功能奈米中心前合影 | 34 |
| 圖 35、多功能奈米中心內部展覽(1/2) | 34 |
| 圖 36、多功能奈米中心內部展覽(2/2) | 35 |
| 圖 37、NSLS II 外觀照片 | 36 |
| 圖 38、NSLS II 內部照片 | 36 |
| 圖 39、NSLS II 說明 | 37 |

壹、背景及目的說明

本研究調查報告係依據 103 年度「智慧電網用戶側標準及測試規範之制定與研究」科發基金計畫，派員參訪美國智慧電網檢測及相關國家實驗室及研究機構，包含阿貢國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL)、伊利諾理工學院(Illinois Institute of Technology, IIT)、布魯克黑文國家實驗室(Brookhaven National Laboratory, BNL)。透過與上述單位之微電網標準檢測驗證技術交流以及深入瞭解微電網檢測驗證能量建置情形，並蒐集相關標準與檢測技術發展之訊息，以作為國內推動微電網之參考依據與建立合作關係。

ANL 隸屬於美國能源部(Department of Energy, DOE)的國家實驗室，主要負責能源創新與開發等相關計畫。為推動全球性電動車共通標準與測試程序，美國以及歐盟於 2011 年簽署備忘錄，雙方同意共同發展、調和以及解決電動車、充電站與智慧電網之間的互通性(Interoperability)問題，因此美國能源部於 2013 年 7 月 18 日公開宣布由 ANL 設立電動車-智慧電網互通性中心(EV-Smart Grid Interoperability Center)，此中心的目標為建立電動車與充電設備之相關測試流程、通訊協定及法規標準。

IIT 為位於美國伊利諾州芝加哥市區內的私立科技大學，該校 Galvin Center 所提出的理想電力微電網(Perfect Power Micro grid)構想，爭取到 2008 年美國能源部的再生與分散式系統整合示範計畫(Renewable and Distributed Systems Integration Demonstration Projects)經費，因此，該校所建置之微電網為美國能源部選定的 9 個微電網示範場域之一。IIT 希望在校區內架設高可靠度之微電網配電系統，其目標為零失誤地符合不同使用者之電力需求以及有效率的能源管理。

BNL 隸屬於美國能源部，2011 年美國能源部、長島發電廠業者以及太陽能電池廠商合作，於 BNL 建置了美東最大的 32MW 太陽能發電廠，所產生的電力併入電廠業者之電網系統，可供約 4,500 戶家庭使用。其研究內容包含了不同的太陽能發電技術、太陽能發電預測、智慧電網整合與控制、儲能及先進逆變器(Inverter)。

貳、活動行程簡述

| 日期 | 地點 | 工作內容 |
|---------------|----------------------------|--|
| 104年10月13日 | 臺灣桃園-舊金山 | 啟程，搭機前往美國芝加哥於舊金山轉機。 |
| 104年10月14日 | 舊金山-芝加哥 | |
| 104年10月15日 | 伊利諾-萊蒙特 (Lemont, Illinois) | 前往 ANL 參訪電動車-智慧電網互通性中心，研究調查電動車相關測試流程、測試設備及互通性測試之發展。 |
| 104年10月16日 | 芝加哥 | 前往 IIT 參訪其微電網之發展，研究調查智慧電網之通訊網路監控相關技術、分散式能源之整合及測試。 |
| 104年10月17-18日 | 紐約 | 移動日(芝加哥-紐約) 彙整 ANL、IIT 之研究資料，準備 BNL 簡報及研究議題。 |
| 104年10月19日 | 紐約 | 前往 BNL，雙方簡報，瞭解各自於微電網之實務發展，並參訪位於 BNL，美東最大之 32MW 太陽能發電廠，研究再生能源整合電網之運作機制。 |
| 104年10月20日 | 紐約 | 前往 BNL 參訪東北太陽能研究中心，進行小型太陽能陣列及其微電網測試平台之技術交流、業界合作實例探討。並研究其電網規模之先進儲能技術發展，以及併網之實際運作情況。 |
| 104年10月21-22日 | 紐約-臺灣桃園 | 返程，搭機返回臺灣 |

參、出席團員名單

| 單位 | 姓名 | 職稱 |
|--------------|-----|------|
| 經濟部標準檢驗局 | 洪一紳 | 簡任技正 |
| 經濟部標準檢驗局 | 張彥堂 | 技士 |
| 財團法人台灣電子檢驗中心 | 林政憲 | 副工程師 |

肆、過程記要

本次行程共安排 3 個研究單位進行拜訪，分別針對電動車與智慧電網互通性、微電網系統以及再生能源併網等項目進行研究調查。

一、拜會 ANL 電動車-智慧電網互通性中心

(一)、會面人員

Keith Hardy
Director, Electric Vehicle-Smart Grid Interoperability Center

Glenn F. Keller
Manager, Vehicle Testing and Analysis Center to Transportation Research

Jason D. Harper
Electrical Engineer, Vehicle Systems, Center for Transportation Research

Daniel S. Dobrzynski
Electric Vehicle Component Research Engineer Associate

(二)、議程

| 日期 | 時程 | 內容 |
|-------|-------------|-------------------------------|
| 10/15 | 9:30-11:00 | 我方簡報介紹臺灣智慧電網發展現況與討論 |
| | | ANL 簡報該中心電動車與智慧電網發展現況、未來規劃與討論 |
| | 11:00-12:00 | 參觀電動車與智慧電網互通性中心 |
| | 12:00-13:30 | 午餐 |
| | 13:30-14:30 | 參觀先進動力機構研究設施 |
| | 14:30-15:30 | 總結與討論 |

(三)、拜訪內容

1.雙方握手交換名片後，隨即進行簡報交流，ANL之簡報概要內容如下：

Glenn 經理首先簡單介紹 ANL 的歷史與現況。ANL 設立於西元 1946 年，為美國當時第一個成立的國家實驗室，早期以研究核反應起家，於 1951 年製造了世界第一座重水式核子反應爐。ANL 目前為美國能源部下屬的國家實驗室，並由芝加哥大學所負責監督管理。目前的員工數約有 3,400 人，包含了 1,400 名的科學家及工程師，其中更有 750 名擁有博士學位。主要的研究領域包含基礎科學、環境科學、能源技術開發、安全技術等。實驗室每年的營運經費約 6.5 億美元，其中 80% 來自於 DOE 的計畫補助。實驗室自 1990 年開始與超過 600 家的公司、聯邦政府部門及其他工作組織共同合作。

接著 Glenn 經理向我們介紹運輸研究中心(Center for Transportation Research)，該中心依據美國能源部下屬的能源效率與再生能源計畫辦公室的政策，目標在減低車輛對石油的依賴性以及減少溫室氣體排放，其主要之工作項目及研究發展方向簡介如下：

- (1)引擎研究—以 X 光影像測量引擎內燃油噴射時之時間演變過程(X-ray imaging gives time-resolved measurements of the fuel distribution)來提高引擎效率。
- (2)評估電動車輛之官方指定實驗室—針對先進技術之車種提供動態及溫度測試研究，並發展符合業界之標準測試程序。
- (3)傳輸用燃油及引擎之整合性研發—引擎及燃油上下游之技術整合，包含有模型、製程、內燃科學、實測、生命週期分析以及最佳化的循環流程。
- (4)開發先進電池技術—包含新材料的研發、能源儲存、製造以及再利用等技術。
- (5)互通性—研究電動車、充電設備、家庭以及電力公司之間具可靠度的互通性標準以確保有效的能源利用與管理，此外也開發符合美國自動機工程協會(Society of Automotive Engineers, SAE)標準之互通性測試驗證工具並提供技術轉移。
- (6)先進車輛技術競賽(Advanced Vehicle Technology Competitions, AVTC) —1987 年起，由 DOE 贊助並與汽車業界合作，每兩年舉辦一次，提供學生使用領先業界的工具及硬體來研發更先

進的推進與燃油技術，目標是增進引擎效率以及減低個人運輸工具對環境的衝擊，也藉此成為新世代車輛工程師的訓練舞臺。



圖 1、ANL 國家實驗室空照圖




| | | | |
|--|---|---|--|
|  <p>Basic & Applied Combustion Research</p> |  <p>APS – x-rays Transportation Hutch</p> |  <p>Materials Research - Battery electrodes - Fuel cell catalysts - Tribology</p> | |
|  <p>Autonomie GREET</p>  <p>High Performance Computing</p> <p>Modeling and Simulation</p> |  <p>Advanced Powertrain Research Facility</p>  <p>Fuel Cell and Battery Testing</p> <p>Testing and Validation</p> | |  <p>Student Competitions</p> |

圖 2、ANL 研發能量與發展方向

接下來由中心主任Keith 先生接續向我們介紹電動車-智慧電網之互通性中心(EV-Smart Grid Interoperability Center)，其主要討論重點如下：

(1) 電動車測試程序開發及相關標準制定：

Keith 先生提到該中心團隊與 SAE 一直有密切合作的關係，為 SAE 協會制定電動車標準及測試程序，並致力於 SAE 電動車相關標準之國際化，因此與歐洲聯合研究中心(European Commission's Joint Research Centre, JRC)合作進行 IEC 標準調合，預計此系列標準未來將成為 IEC 國際標準。

(2) 交流(AC)充電 Level 1 及 Level 2 充電互通性測試工具研發：

交流充電為市場上成熟之技術，因此交流充電樁於市面上較為普及，交流充電的平均充電時間約為 8 小時。交流充電中的插電式電動車(Plug-In Electric Vehicle, PEV)及電動車充電設備(Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE)皆依循 SAE J1772 標準之插頭/插座作為充電介面，在測試 PEV 及 EVSE 之間訊號是否能夠互通時，需先蒐集雙邊設備在充電前之資訊，如圖 3 所示，而 SAE J2953 標準則扮演監視兩者在充電中互相傳遞資訊之角色，透過測試儀器之連接，以確認雙邊的設備資訊是否能夠相通。

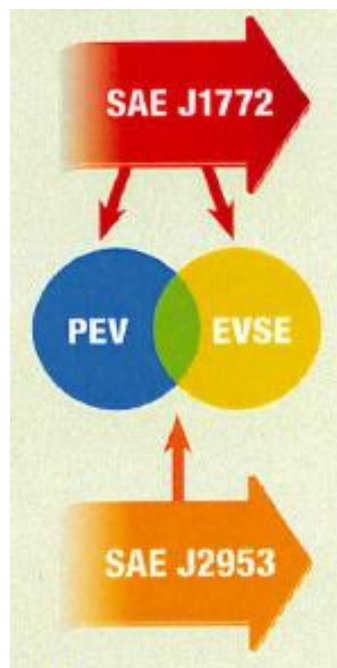


圖 3、AC 充電之互通性測試原理

(3)SAE 直流(DC)快速充電互通性模組研發：

相較於交流充電，直流充電的技術較不成熟，充電時需要大電壓及大電流，較少出現於市面上，平均充電時間約為半小時。於直流充電之互通性中，需確保充電設備通訊控制器(Supply Equipment Communication Controller, SECC)與電動車通訊控制器(Electric Vehicle Communication Controller, EVCC)兩者間能夠使用寬頻電力線傳輸(Broadband PLC)相互通訊，如此才能進行輸電的動作(如圖 4)，其通訊標準係參照 SAE J2931/1 協定，ANL 於此部分參與了 SECC 及 EVCC 的模組開發，其模組如圖 5，該模組可以在小於 20 分鐘的充電時間內，增加電動車 60 到 80 英哩的行程。Daniel 先生表示，在作 DC 充電時目前遇到之問題為充電時系統會有異音，DC 充電係在某個特定之頻率點下運作，但在此頻率運作的同時會產生系統共振造成充電時的噪音，此問題尚待解決。

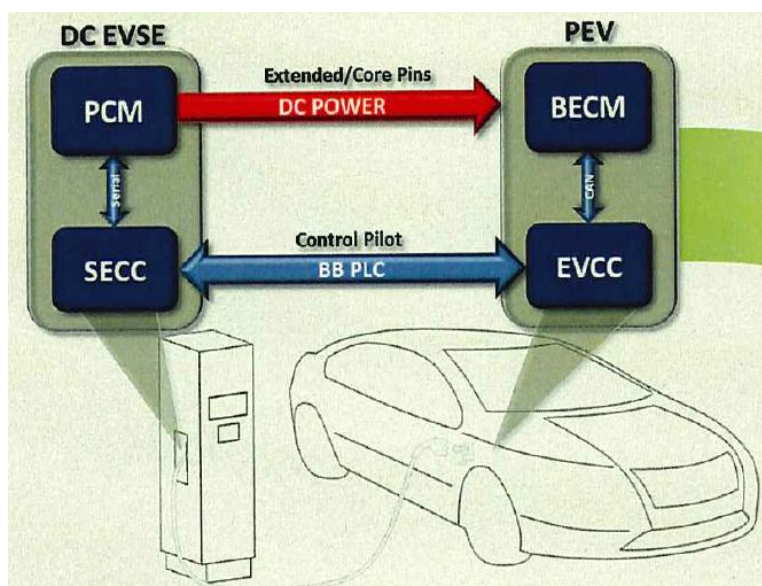


圖 4、DC 充電之互通性測試原理



圖 5、DC 通訊控制器模組

(4)SAE 電動車無線充電系統測試支援：

ANL 注重於 SAE J2954 之標準測試其內容如電磁場、安全、性能、效能、耐用度等項目。

(5)電動車-智慧電網示範場域：

Keith 先生表示電動車充電之能源應來自於再生能源才能符合真正的環保。若電動車的電來自於發電廠所發出來的電，只是把污染環境的過程轉嫁至發電廠，整體來說，對環境並無實質之幫助，因此來自於再生能源才能符合真正的環保。因此電動車-智慧電網示範場域即在這樣的契機下產生，下午時段 Keith 先生現場介紹此示範場域之規劃內容。

(6)Keith 先生表示此實驗室目前僅作為研究開發使用，並無計畫申請成測試認證實驗室。

(7)未來發展計畫：

預計將持續參與標準活動並提供技術支援；研發模組及測試平台並將技術移轉給廠商；整合電表後端(behind the meter)之設備通訊測試及開發；參與國際合作特別是與中國大陸的合作關係等。

2.參觀電動車與智慧電網互通性中心(EV-Smart Grid Interoperability Center)

雙方相互介紹完投影片及討論後，在此階段 Keith 先生及其同事帶領我們參觀其實驗室內部之測試設備。此實驗室中絕大部分之測試設備皆由 Keith 先生所帶領的團隊研發完成，其測試程式之圖形化介面皆是使用 LabVIEW 程式語言所開發完成。圖 6 為 SAE J2953 互通性之測試工具，主要負責測試 PEV 及 EVSE

間的互通性能力，模擬在現實環境中 PEV 及 EVSE 於 AC 充電之情況，測試流程大致如下：

- (1) EVSE 模擬器之 SAE J1772 接頭連接至 SAE J2953 互通性之測試工具，測試工具則有另一個 SAE J1772 接頭連接至 PEV 模擬器；
- (2) SAE J2953 互通性之測試工具則在確認測試雙方裝備之電壓、電流等特性及訊號是否能夠相通。

午餐後 Keith 先生繼續帶領我們至戶外參觀各類不同廠牌型號之充電樁包含 AC、DC、無線充電。除支援 SAE 標準之充電樁外，另也有支援 IEC 61851 Type-2、CHAdEMO 等標準之充電樁供研究人員使用。

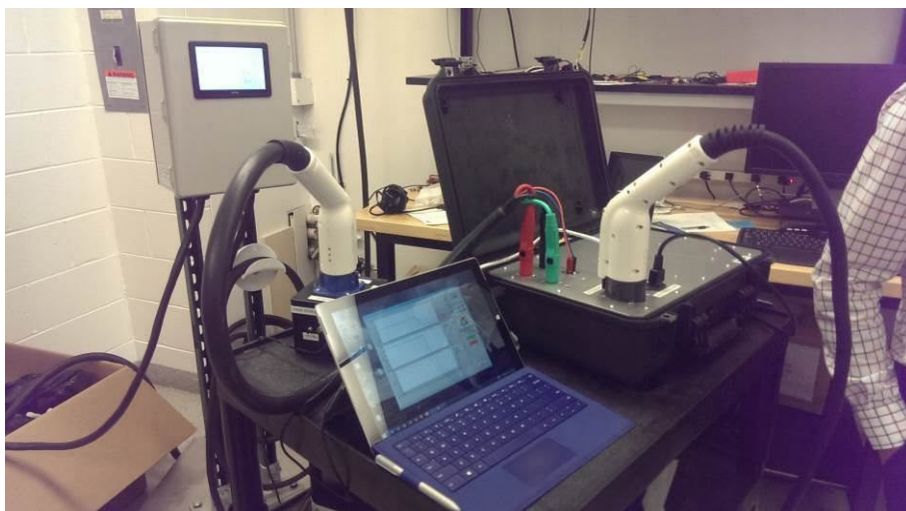


圖 6、SAE J2953 互通性測試設備



圖 7、實驗室設備介紹





圖 8、各類型充電樁

3. 參觀電動車-智慧電網示範場域

整個示範場域係由 Keith 先生及其團隊規劃並實踐，監控軟體亦由自己的團隊所開發，使用之軟體語言為 LabVIEW。示範場域主要為控制電表以後之設備，其他電網部分皆不在此計畫中(如圖 9 所示)。其主要電力來源為太陽能發電，將太陽能所發出來的電，提供給電動車作充電使用，另外不足的部分則由市電所補充。整個示範場域並無規劃儲能系統，因此無法將多餘的電力進行儲存，詳細之系統規劃如圖 10。進入屋內裡面有一台電腦負責用來監控整體太陽能板發電之情況，整個系統能夠累積及統計過去時間所發出之電量，並有天氣預測系統，預測下個時段的發電量為多少。

除此之外，該試範場域未來將持續規劃共通性整合平臺(Common Integration Platform, CIP)原型，藉以展示連接至電網的設備，驗證其嵌入式控制與通訊(Embedded Controls & Communication)系統之功能。

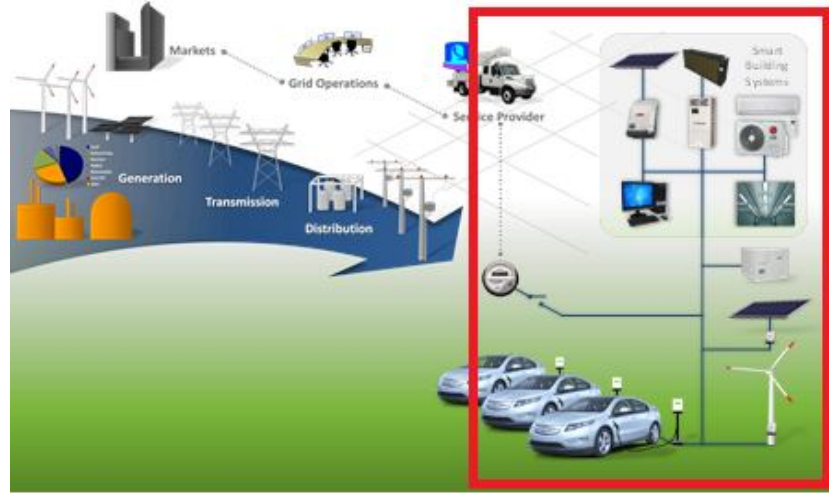


圖 9、電動車-智慧電網示範場域系統範疇

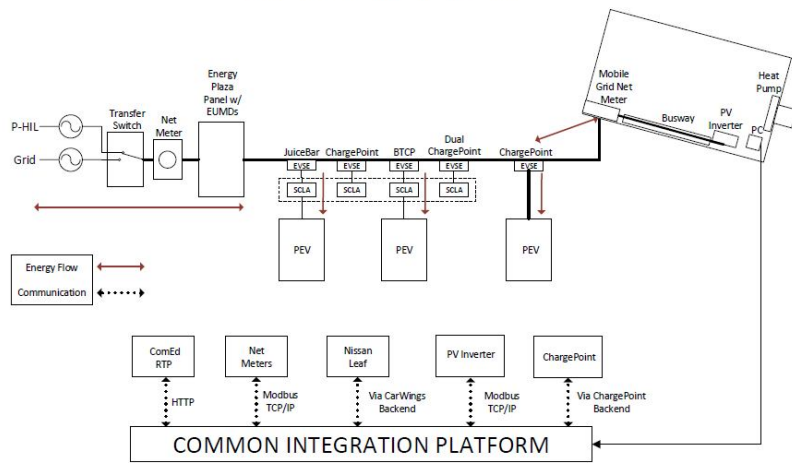


圖 10、電動車-智慧電網示範場域系統規劃圖



圖 11、電動車-智慧電網示範場域系統實景圖

4. 參觀先進動力機構研究設施(Advanced Powertrain Research Facility, APRF)

緊接著 Keith 先生帶我們參觀 APRF，APRF 主要是用來測試及車輛開發使用，於 APRF 內部有一個實驗室主要是用於模擬車子及車輛組件在極端環境下的運作情況，並可用於兩輪或四輪傳動車輛之道路模擬、監控、滑行、牽引力及校正等項目，以利車輛開發使用；該實驗室亦參與替代燃料的研究，其宗旨在降低引擎廢氣的排放與增加燃燒效率；此外，也運用模擬技術來建構及分析車輛系統與模組；該機構也參與車輛法規與標準的研究與制定，例如制定 SAE J1772 和 J2847 標準供電動車輛與智慧電網作連接參考使用，其中 J1772 為針對混合型與電動車的充電耦合連接器的標準(Plug-in hybrid and electric vehicle conductive charge coupler)，J2847 主要為電動車與電網業者互通訊標準 (Communication between electric vehicles and the utility grid)。



圖 12、與 Keith 先生及其團隊合照

二、拜會 IIT Robert W. Galvin Center

(一)、會面人員

Zuyi Li, Ph.D.

Associate Professor and Associate Director

Wei Tian Ph.D.

Senior Research Associate of Electrical Engineering

Senior Member Institute of Electrical and Electronics Engineers

Zhiyi Li

Research Assistant, Robert W. Galvin Center for Electricity

Innovation

(二)、議程

| 日期 | 時程 | 內容 |
|-------|-------------|------------------|
| 10/16 | 09:30-11:00 | 簡報 |
| | 11:00-12:30 | 參觀 Galvin Center |
| | 12:30-13:30 | 中餐 |
| | 13:30-14:30 | 討論與校園電網設施參觀 |

(三)、會議概要

1. 簡報

會議開始由我方進行關於臺灣在智慧電網主軸計畫的成果及未來發展方向的簡報，伊利諾科技大學(Illinois Institute of Technology, IIT)的人員則有李教授(Zuyi Li)、田博士(Wei Tian)以及一位研究助理出席。IIT 則由李教授介紹該校的微電網計畫原由，主因是 2008 年美國能源部的再生與分散式系統整合示範計畫(Renewable and Distributed Systems Integration Demonstration Projects)想選定幾個示範區進行補助，而 IIT 的 Galvin Center 所提出的理想電力微電網(Perfect Power Micro Grid)構想，其內容希望在校區內架設高可靠度之微電網配電系統，以達到零失誤且符合不同使用者之電力需求以及有效率的能源管理目標，因而雀屏

中選為美國九大微電網示範場域之一，爭取到 5 年由 DOE 提供的 700 萬美金及業界的 500 萬美金的經費贊助，而該電網預計能帶來年省 130 萬美元的用電費用。該電網的主要亮點為：

- (1)高可靠度的配電系統(High Reliability Distribution System, HRDS)：採用高速、自動化及智慧化的電力開關為關鍵零組件，用以偵測及隔離故障以減低電力的損耗。
- (2)智慧型理想電力控制器(Intelligent Perfect Power System Controller, IPPSC)：由 IIT 自行設計及開發低成本的設備來掌管需量反應(Demand Response)及價格訊號來優化電網的效率。
- (3)先進的無線通訊系統：藉由 ZigBee 雙向無線通訊技術，搭配 IPPSC 以控制 IT 校區的電網控制設備。
- (4)先進的配電復原系統(Advanced Distribution Recovery Systems)：採用以軟體為架構的配電網路模擬器，並搭配誤動作偵測系統、隔離系統、饋線架構(feeder configuration)、預警反應以建構電力復原系統。
- (5)埋線錯誤偵測與減低(Buried Cable Fault Detection and Mitigation)：IIT 自行開發一套埋設於地底的電力線偵測系統以降低電力線故障時的修復時間。

2. 參觀 Galvin Center

Galvin Center 係由田博士及研究生帶領導覽，向我們介紹 IIT 中微電網(Micro Grid)相關之設計，整個 IIT 共有南北兩個變電站，而 IIT 負責變電站以下的電網設計，共分成 7 個區域電網，如圖 13，田博士指出目前學校有自己的發電廠並有太陽能發電、風力發電，因此學校之電網已有自給自足的能力。

另外田博士指出學校中有個體育館亦有自給自足之能力，整個體育館之電力來自於屋頂上之太陽能板，透過太陽能板產生的電力降壓後可供給館內 LED 照明燈具使用，而體育館外有個 250KW 的儲能裝置，能將太陽能發電板所發出來的電儲存於此裝置中，他們將此建築稱為奈米電網(Nano Grid)。

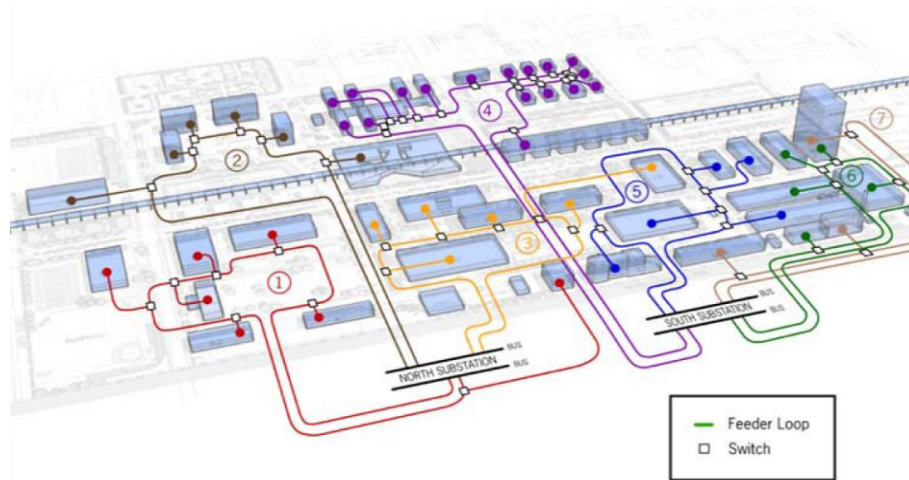


圖 13、IIT Micro Grid 校園設計

接著田博士向我們介紹整個伊利諾州仍以火力發電(包含瓦斯、煤炭)為主發電來源、核能發電亦占有相當大的比率，而再生能源的比率只占了少部分，其中最主要原因為伊利諾州的用電充足電價便宜，因此再生能源發展不起來。我們有請教田博士關於密西根湖設置風力發電機之可能性，他指出密西根湖為美國境內最大的湖泊，許多人口生活在此湖之沿岸，且以旅遊業為主，若在此設立風力發電機恐會影響環境生態及旅遊景觀，將造成居民抗議。

接著田博士向我們介紹 IIT Micro Grid 電力之監控介面如圖 14，他指出於 IIT 大部分之電力傳輸之通訊線路係使用 DNP 3.0 協定，但亦有其他電力設備使用如 Modbus 其他通訊協定，而 IIT 的做法為，使用可相容超過一百種不同通訊協定的數據採集與監控系統(supervisory control and data acquisition, 簡稱 SCADA 系統)，使各設備能夠相互通訊。另外我們亦向田博士詢問建置 IIT Micro Grid 時電力設備選購是否有其標準，田博士表示一開始係由 IIT 開規格向廠商購買電力設備，但後來 IIT 之 Micro Grid 逐步建置形成後，便開始有廠商將其生產之電力設備送來 IIT，希望能尋求合作模式運用於 IIT 之電網中，如 IIT 目前與韓國企業合作，使用韓國廠商所提供之相量量測單元(Phasor Measurement Units, PMU)系統，並測試其 PMU 之可靠度及穩定性等等。

接著田博士向我們介紹於美國地區之太陽能發電之潛在能源分佈如圖 15，褐色越深的區塊代表太陽能發電越發達，美國太陽

能發電最發達的地方為美國之西南方如亞利桑那州、內華達州和加州等陽光普照的地區。

另外田博士也向我們介紹了應用於美國智慧家庭中之之家電，說明了應用於智慧電網之洗衣機，這台洗衣機上面有顆按鈕，當住戶按下去後，代表住戶同意這台洗衣機接受電力公司之管控，於離峰用電時間電力公司會適時啟動此區域受電力公司控制之家電，達到用電量“削峰填谷”的功能，配合的用戶端同意了這個控制後，可以得到電力公司實際金額上的補助。一但用戶臨時有控制需求時，可按下取消按鈕，此時電力公司即不再擁有控制此家電之權力，對於用戶來說可以很輕易的去管控自家的家電設備。未來這此設備皆可能再擴大至家庭能源管控系統，屆時用戶可用網路控制之方式，達成用戶端更方便之操作及運用。



圖 14、IIT Micro Grid 電力之監控介面介紹



圖 15、美國太陽能發電潛力分佈圖



圖 16、風力發電機之內部結構

3. 討論與校區電網設施參觀

於參訪完 Galvin Center 及用完中餐後，我們與李教授進行 IIT Micro Grid 之討論，李教授為 IIT Micro Grid 之協同計畫主持人，主要負責向校方及美國能源部(DOE)提案爭取經費，而田博士及李研究助理皆為李教授之學生，以下列出會議討論之重點：

- (1) 此校園 Micro Grid 計畫為 IIT 及 DOE 雙方各出 50% 的經費所建置而成，約在 2008 年開始建置，當時世界上並無相關 Micro Grid 成果案例可以參考，大多是老師與學生自己摸索出來，而該校的微電網能成功爭取到經費的關鍵因素之一為，校內備有兩座 2MW 的天然氣發電廠，可供應全校電力孤島效應研究及使用。現在 IIT 的電能夠自給自足，但並未規劃將學校所發出來的電回賣給電廠。
- (2) 校園 Micro Grid 計畫已有成果跟進展，李教授接下來要做的是主控制器(Master Controller)的研究：兩個 Micro Grid 之間的管理、控制及通訊等項目進行研究。主要想法是單一的 Micro Grid 目前都可以運作，但未來有可能遇到兩個 Micro Grid 之間需要互相管理及控制對方 Micro Grid 的問題，目前還很少人進行這方面的研究。
- (3) 先進逆變器(Inverter)的開發：目前於 IIT 的再生能源發電係以太陽能發電為大宗，但太陽能發電所發出的電為直流電，若要被一般電器使用皆需使用 Inverter 進行轉換為交流電，在能源轉換的過程中會有所損耗，因此在研究中開發直流的 Inverter

進行轉換來減少能源的損耗是有其必要性。

- (4)與會中我們也與李教授討論到在 IIT Micro Grid 計畫中，用了很多的不同通訊協定是如何整合及應用的?李教授向我們說明他們主要使用 OSA 公司所提供之 SCADA 系統，可連接不同的通訊協定進行整合，最後至監控中心進行監控。因為 SCADA 系統可支援超過一百種的通訊協定，所以設備在通訊上是沒問題的。這跟我們所認知的 IEC 61850 智慧電網的運作模式有所不同，但這個計畫的目標是在 Micro Grid 的實踐，且美國多以 DNP 3.0 協定為主，因此 IEC 61850 標準並未被考慮於其中。
- (5)另外我們向李教授詢問了關於體育館(Nano Grid)的儲能裝置 250KW 是如何決定的?李教授向我們解釋，250KW 是他們希望體育館於斷電後至少還能夠正常運作 7~8 小時，因此算出此段時間所需要的電力大約是 250KW。

於討論會後，李教授帶我們參觀了學校電網設施，向我們提到目前 IIT 有提供電動車之充電站給電動車供充電使用，目前階段還屬於免費，但於現場查看時尚無任何電動車進行充電，向教授詢問後，教授指出此充電站使用率不高，主要在於電動車市場還不成熟，接受度不高。



圖 17、討論會後合照(1/2)

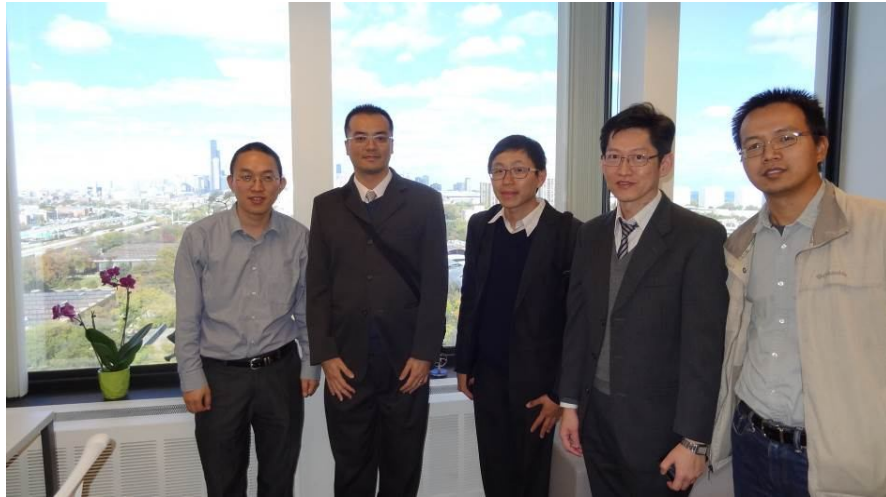


圖 18、討論會後合照(2/2)



圖 19、IIT 校園電動車充電站

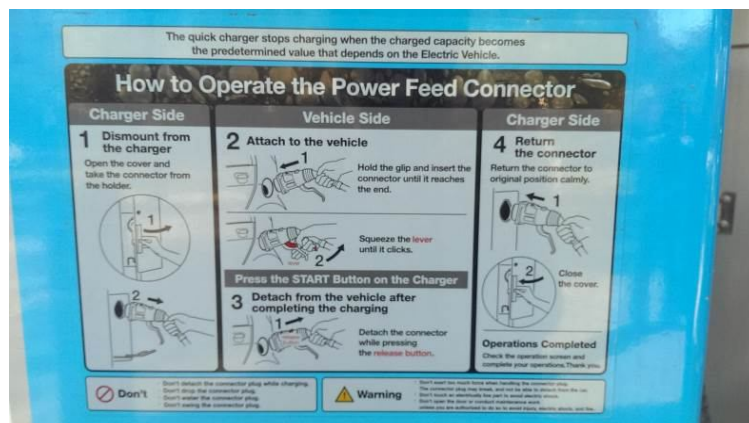


圖 20、充電站操作方法



圖 21、IIT 校園電動車充電站之收集器

三、拜會 BNL Northeast Solar Energy Research Center(1/2)

(一)、會面人員

ROBERT J. LOFARO, PE.

Group Leader, Renewable Energy Group

MENG YUE, Ph.D.

Electrical Engineer

MICHAEL VILLARAN, PE

Principal Engineer

STEPHANIE L. HAMILTON

Smart Grid R&D Manager

(二)、議程

| 日期 | 時程 | 內容 |
|-------|-------------|------------|
| 10/19 | 10:00-12:00 | 我方簡報 |
| | | BNL 簡報 |
| | 12:00-13:00 | 午餐 |
| | 13:00-15:00 | 參觀商轉太陽能發電廠 |

(三)、會議概要

1. 雙方握手交換名片後，接著雙方進行簡報交流，BNL 則由悅博士(MENG YUE)進行內容報告，簡報概要內容如下：

BNL 成立於 1947 年，位於紐約長島市隸屬於美國能源部 (DOE)，目前由 Stony Brook 大學及 Battelle 研究所共同管理。實驗室共有超過 3,000 名員工，其中有 98% 居住於長島市，占地約 5,320 英畝共有 350 棟建築物，實驗室每年擁有超過 7 億美元之研究預算，主要的研究領域包括：材料物理、化學特性、環境科學、能源科學等。



圖 22、BNL 國家實驗室空照圖

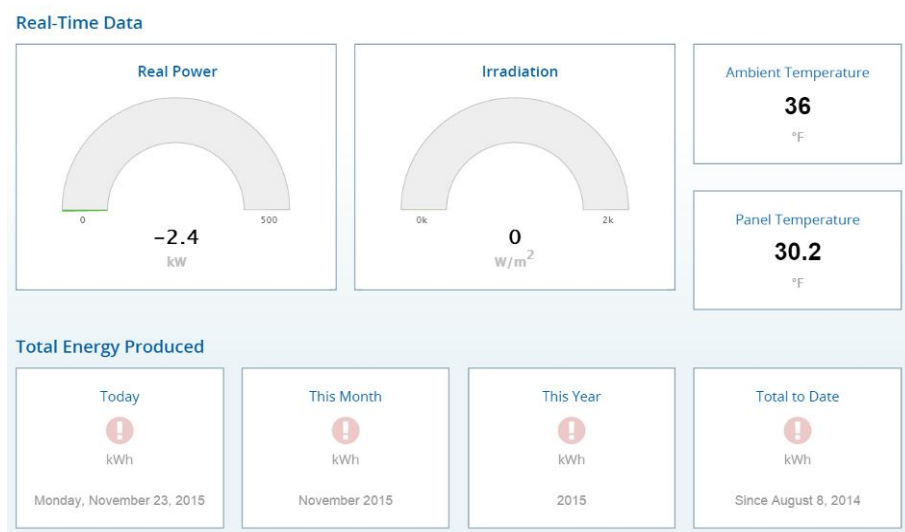


圖 23、太陽能發電廠及時光照及溫度等參數

BNL 目前有一個東北太陽能研究中心(Northeast Solar Energy Research Center, NSERC)，主要係監控一座北美最大之商用型太陽能發電廠，其總發電量約為 32MW，該電廠建置於 BNL 中，其大小約為 195 英畝。於 NSERC 的網站上面可以即時看到現在電廠的光照及溫度等相關參數，如圖 23。但整個太陽能發電廠的擁有者為地方的電力公司，BNL 僅提供場地，發電廠所發出來的電直接併接於電網中，不受 BNL 所管轄。整個發電廠並無任何儲能裝置以儲存發電廠所發出來的電，而 BNL 的角色只負責利用其參數進行研究使用。整體商用電廠之運轉壽命約為 30~40 年左右。

目前 BNL 有規劃建置 20MW 的太陽能發電廠，但因為經費預算的關係，目前只建置了 1/2 左右，此發電廠建置完後將為 BNL 所有，供 BNL 作為研究智慧電網使用。我們有向其詢問了為何沒有規劃使用風力發電作為再生能源，他們的回應是一般美國民眾不喜歡風力發電，一支龐大的風力發電機豎立在路上或是海上，對當地的景觀有一定的影響。

而目前 BNL 的智慧電網計畫由永續能源技術部門(Sustainable Energy Technologies Department)進行相關研究，其研究的方向大致為：

- (1)智慧電網開發之太陽能評估(Solar Resource Assessment for SmartGrid Development)：動態模型及整合型工具之開發，用於評估高滲透性(penetration)太陽能電網動態響應之影響；開發分析與光照及溫度相關電力輸出、儲能系統、實功率(active power)、虛功率(reactive power)之等效電路模型等(圖 24)。
- (2)在太陽能高滲透下的儲能系統電網慣性響應之可能性大小分析(Grid Inertial Response-Based Probabilistic Sizing of Energy Storage System Capacity under High Solar Penetration)：主要係針對再生能源滲透率增加下之頻率響應進行研究，採用太陽能與儲能系統的電氣模型，並搭配慣性響應擾動的機率模型(Probabilistic modeling of disturbances associated with inertia response)進行研究分析。
- (3)高效能運算及規劃工具之機率(HPC and Probabilistic Implementations of Planning Tools)實踐：為了解決因系統大小與複雜度所導致的長時間運算，以及目前運算工具提供不夠充

分的資訊而導致無法進行決策等問題，BNL 將以現有的運算功具結合高效能運算設備以及改善機率風險評估(probabilistic risk assessment, PRA)軟體(圖 25)，來解決上述長時運算和無法進行決策等問題。

- (4)模組化及分析電力公司規模之太陽能發電廠對於其配電、分支輸電、輸電系統之影響(Modeling and Analyzing the Impact of Utility-Scale Solar PV Plants on Distribution, Sub-transmission and Transmission Systems)：該研究可同時整合及分析太陽能發電系統併接於主配電系統以及分支輸電系統的影響。
- (5)惡劣天氣環境下之電網損害及預測(Severe Weather Event Grid Damage Forecasting)：此部分的研究主要是發展離線(offline)及線上(online)預測工具，當遇到颶風及暴雪等自然災害侵襲時，使電網能在災害來臨前事先加強防護措施，以及災後提供救援部隊正確的位置使其能迅速恢復供電。

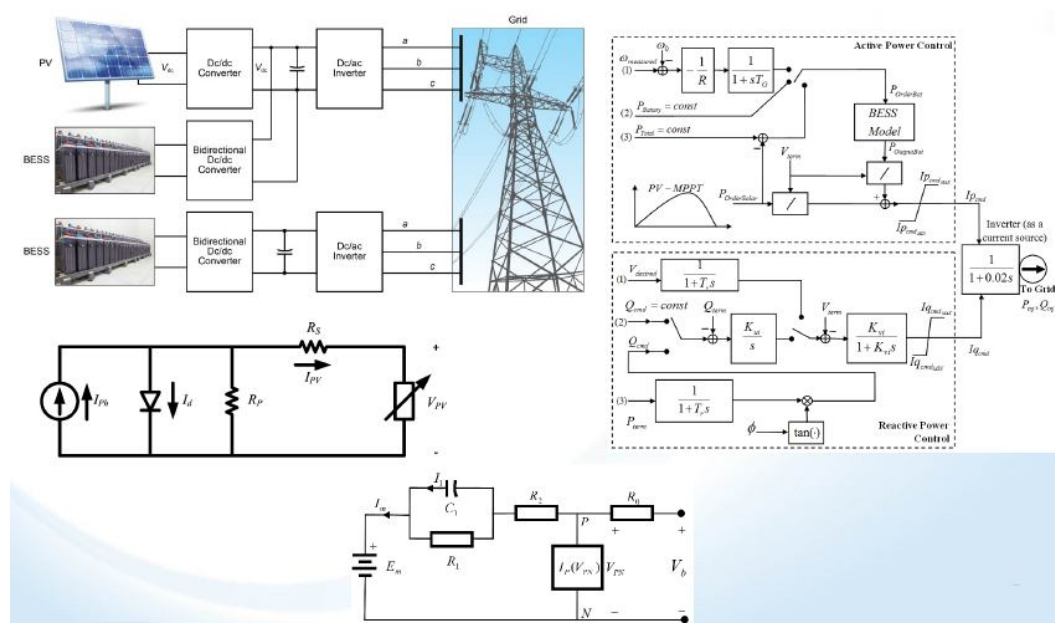


圖 24、智慧電網發展用之太陽能評估模型

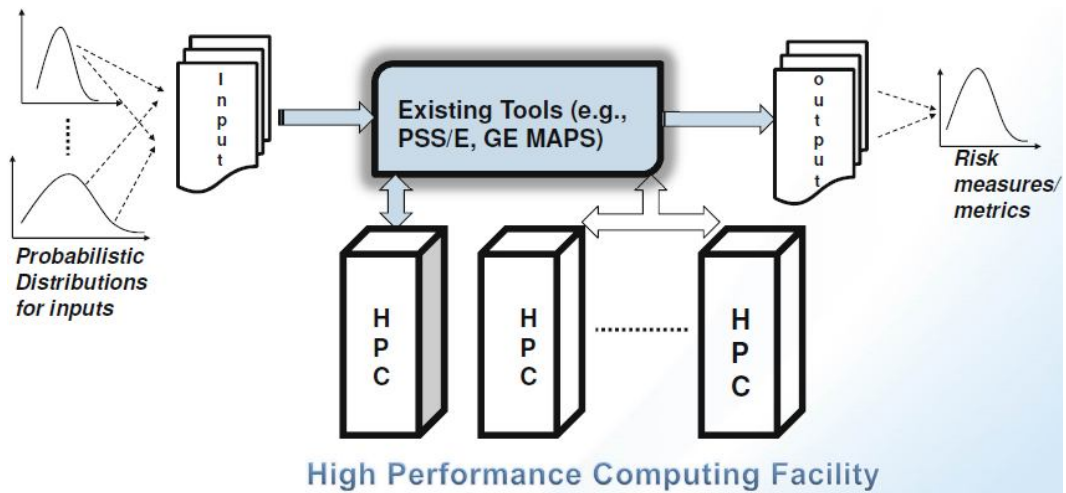


圖 25、高效能運算及現有工具之機率風險評估架構

2. 參觀商業運轉太陽能發電廠

下午由悅博士帶我們一行人參觀設置於 BNL 的太陽能發電廠，首先他帶我們參觀了 BNL 自建的太陽能發電場，如同前述所提，因為資金尚未到位的問題，這個場址目前只建了 1/2，還有大部分的板子尚未裝上太陽能板，只有架好下半部的底架，如圖 26。我們向悅博士詢問這太陽能板的設計是有追日效果的太陽能板，還是一般固定式的太陽能板？悅博士向我們解釋 BNL 建置的太陽能板係屬於固定式，整個太陽能發電廠安裝之前角度皆有經過精密的計算，且追日型的太陽能板建置成本較高，因此，此類型的太陽能板並未納入系統中。固定式太陽能板的發電量與日照有關，一旦太陽入射超過某角度，太陽能板可能就無法有效發電，且如果環境溫度太高反而會讓整體的發電量降低。



圖 26、BNL 太陽能發電廠



圖 27、太陽能發電廠之逆變器(遠方建築物內)

悅博士繼續向我們說明圖 27 中白色建築物，為太陽能發電廠之逆變器(Inverter)，主要係將直流電轉交流電之重要元件，使得太陽能發電廠所產生的直流電能夠轉成交流電併入電網，目前使用之 Inverter 於能源轉換效率皆有 90%以上。另外悅博士也提到此太陽能發電廠使用的是大型的 Inverter，因此在間歇性電流轉換時會發出一些噪音。

悅博士向我們說明圖 28 中白色的箱子為組合箱(ComboBox)，主要用於太陽能板之發電資料蒐集使用。每塊 ComboBox 可以蒐集 5~6 塊的太陽能板的資訊，每塊太陽能板後面會有一條黑色的線串聯，進行資料傳輸，最後透過主要的 ComboBox 統一傳送至控制中心。其實在圖中可以發現黑色的線並沒有作特別的保護，所以線頭皆暴露於外部，這點向悅博士詢問過，他解釋這問題對系統之影響不大。



圖 28、太陽能發電廠之 ComboBox



圖 29、太陽能發電廠之氣象監測站

接著悅博士向我們說明圖 29 中的儀器為氣象監測站，此氣象站可觀測的參數有溫度、濕度、大氣壓力、風速、風向及雨量等參數，該氣象站亦會將蒐集之氣象資料傳送至控制中心。

圖 30 為與悅博士於太陽能發電廠之控制中心前的合照，由於控制中心對於外賓有所限制，需透過特別的申請才能到進入內部，因此我們僅在控制中心的外部聽取悅博士之介紹。我們有向悅博士詢問此太陽能發電廠之通訊協定係使用何種協定？但悅博士向我們提出，此部分係交給系統建置廠商處理，因此他也不太確定整個太陽能發電廠使用何種通訊方式。

最後悅博士帶我們去看商業運轉的 32MW 太陽能發電廠，其建置的裝置之方式及儀器與上述皆相同，但整體規模較 BNL 自行建置的太陽能發電場大非常多，共佔 195 英畝土地面積(約 80 公頃，相當於 3 座臺北市大安森林公園大小，見圖 31)，站在圍欄外看不到邊際，圍欄外有門鎖，防止人與動物闖入。與悅博士的言談中提及臺灣並沒有這麼大的太陽能發電廠，而且太陽能發電的發電效率還不夠高，以 32MW 的發電量來說，就需要約 80 公頃的土地，如此大的土地面積，要在地小人稠的臺灣建立商轉型的太陽發電廠是有相當的難度。相較之下，風力發電在臺灣是有一些機會，臺灣風場條件排名世界前幾名，有很好的氣候環境，以現在的風力發電機來說 1 支離岸風力發電機即有 5MW 以上的發電量，因此臺灣政府近年來開始推廣風力發電，希望能利用風力發電擴充其再生能源之裝置容量。



圖 30、於太陽能發電廠之控制中心前合照



圖 31、(上) 商用型 32MW 太陽能發電廠空照；(下) 圍欄前合照

四、拜會 BNL Northeast Solar Energy Research Center(2/2)

(一)、會面人員

MENG YUE, Ph.D.
Electrical Engineer

(二)、行程

| 日期 | 時程 | 內容 |
|-------|-------------|------------|
| 10/20 | 10:00-12:00 | 參觀 BNL 實驗室 |

(三)、行程概要

最後一天的上午悅博士帶我們參觀 BNL 內部的其他實驗室，包含有相對論性重離子對撞機(Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC)、多功能奈米材料中心(Center for Functional Nanomaterials, CFN)以及第二代國家同步輻射光源(National Synchrotron Light Source II, NSLS II)。

西元 2000 年運轉至今的 RHIC 目前是世界上唯二現存的強子對撞機，另一臺為歐洲核子研究組織(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN)的大型強子對撞機(The Large Hadron Collider, LHC)。建置於 BNL 的相對論性重離子對撞機，目的在提供物理學家探究基本力 (fundamental forces)、物質特性以及宇宙的源起，透過將粒子束加速至近光速，使帶有百萬電子伏特 (MeV) 以上能量的兩團粒子互相撞擊，藉以複製 13.8 億年前宇宙大爆炸(Big Bang)瞬間的狀態。因管制關係無法進入一睹廬山真面目，悅博士開車載我們繞著周長 2.4 英里(約 3.86 公里)環形道路上(圖 32)體驗一下這巨大的重離子對撞機，想像著道路下方埋著數千隻的環型超導磁性管(superconducting magnets, 圖 33)，從規劃設計、建造、維護、運作的成本以及頂尖人力的操作和實驗也著實讓人印象深刻及震撼！

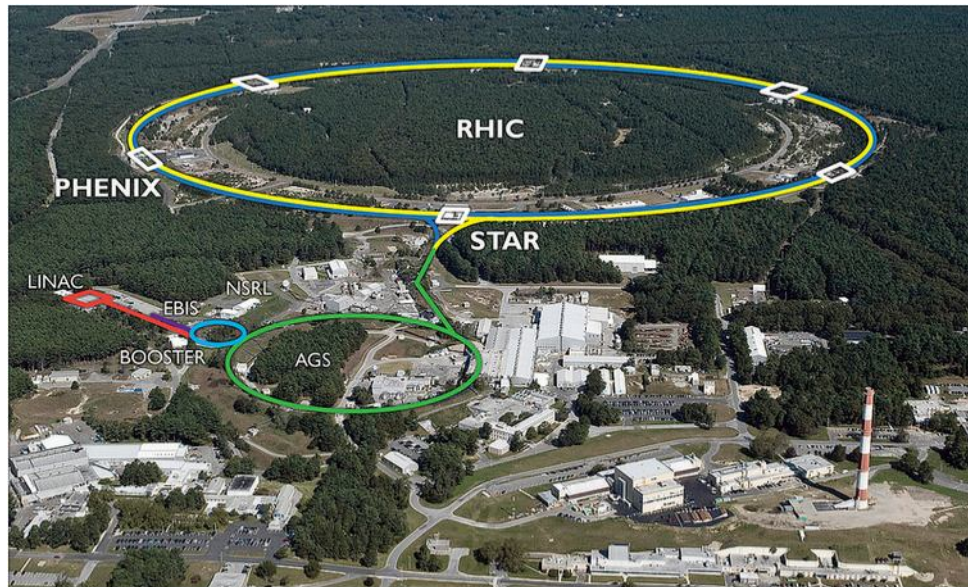


圖 32、相對論性重離子對撞機空照圖



圖 33、超導磁性管前合影

接著我們一行人來到成立於 2008 年的多功能奈米材料中心，目的在於提供一個開放式的環境，以使用者導向研究奈米級材料的特性，其研究的範圍非常的廣泛，如高效率觸媒劑之研究、燃料電池之化學特性及太陽能電池之零組件等等與美國能源政策相關的議題，設備包含有高等級無塵室提供奈米級製造 (Nanofabrication)、先進紫外光及 X 光探針(Advanced UV and X-ray Probes)提供奈米材料的特性分析、先進的超高速非線性光譜儀及顯微鏡(Optical Spectroscopy & Microscopy)提供各式材料的光特性研究、近端探針(Proximal Probes)以捕捉在極端條件下奈

米表面及架構的變化、高解析電子顯微鏡 (Electron Microscopes)、以及奈米級材料合成 (Materials Synthesis) 以提供物質的組成和光化學性研究。該整體外觀及設備非常的新穎及完善，於中心內部則陳列許多研究成品海報，亦不定期辦理材料領域的研討會供技術交流。



圖 34、多功能奈米中心前合影



圖 35、多功能奈米中心內部展覽(1/2)

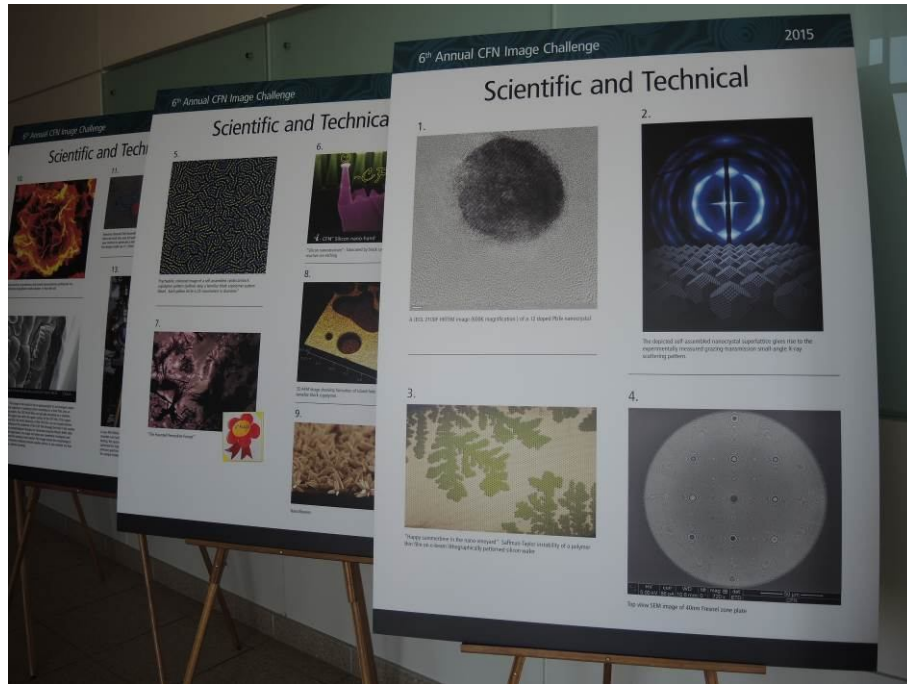


圖 36、多功能奈米中心內部展覽(2/2)

最後悅博士帶我們來參觀第二代國家同步輻射光源(NSLS II)，造價約 9 億美金的第二代國家同步輻射光源完成於 2014 年，運作於較原來的的第一代光源亮 10,000 倍，目前為世界上最先進之同步輻射光源。目的乃利用極高亮度的 X 光、紫外光和紅外光來提供學術界及業界進行生醫、材料化學、地理環境以及奈米科學等基礎研究，其研究例如：應用奈米觸媒為基礎的燃料電池芯(nanocatalyst-based fuel cells)、具經濟價值的太陽能技術、應用於電網中高容量高可靠度的高溫超導物質、開發先進的再生能源電子儲存系統、發展下一代核能系統等。



圖 37、NSLS II 外觀照片

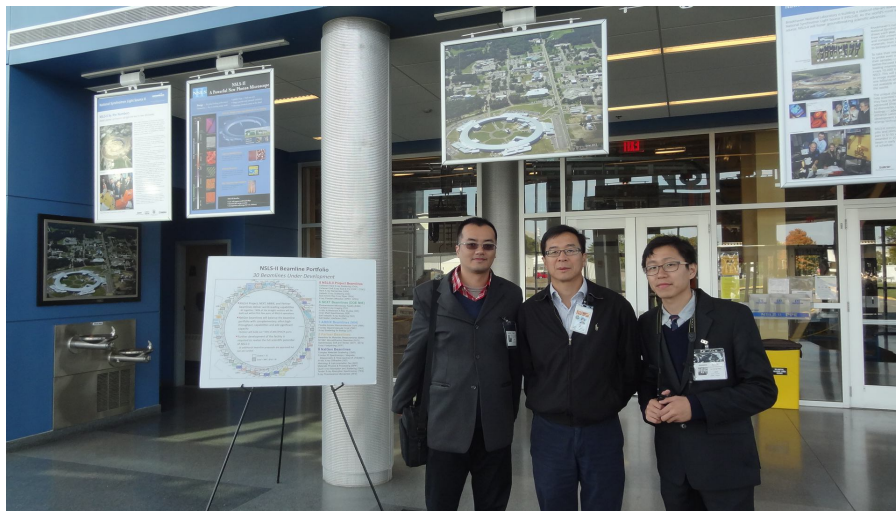


圖 38、NSLS II 內部照片

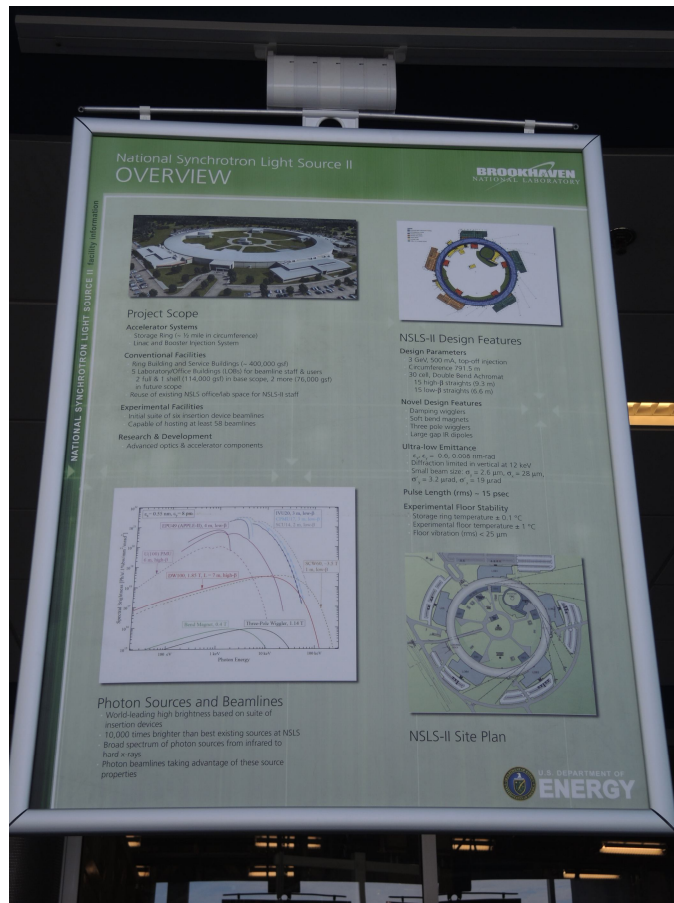


圖 39、NSLS II 說明

伍、心得及建議

- 一、ANL 參與美國 SAE 於電動車互通性方面之標準制定，及開發測試程序及工具等等，系列標準有 J2826、J2847、J2931、J2953 等，目前正與歐洲聯合研究中心(Joint Research Centre, JRC)進行標準調和，調和成 IEC 15118 系列標準，目前已出版了 IEC 15118-1、15118-2 標準。歐美雙方曾針對電動車之互通性進行討論，其中有討論到將 SAE J2953 標準制作成標準測試工具(Golden Test Tool)可運用於歐美雙方，因此該標準值得我們持續追蹤注意。
- 二、與中心主任Keith 先生訪談中，渠主動詢問我方參與亞太經濟合作會議(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)之情形及與中國大陸之互動情況，另亦說明美國於智慧電網技術領域派有代表參與該區域性組織活動，因此，我方參與 APEC 標準及符合性次級委員會(Sub Committee on Standards and Conformance, SCSC)會議時，亦可藉由 ANL 之管道與美方就智慧電網標準及檢測驗證等議題進一步合作。

- 三、於 IIT 李教授談話中瞭解到，微電網領域中目前有兩個方向正處於研究階段：一是主控制器(Master Controller)的研究，內容包含有兩個微電網間的管理、控制及通訊等項目進行研究。主要想法是單一的微電網目前都可以獨立運作，但未來有可能遇到兩個微電網之間需要互相管理及控制對方微電網的問題，因此在國際上算是非常先進的技術研究，台灣目前於核能研究所及澎湖的微電網場域皆未研究到此部分議題，可建議相關單位與李教授持續進行該議題之交流與合作；另一個微電網領域的研究方向是先進逆變器(Inverter)的開發。以再生能源的太陽能或風力發電為例，所發出的電若要併入交流電網需使用 Inverter，而在轉換的過程中能量會有所損耗，因此開發更先進的 Inverter 來減少能源的損耗是有其必要性。
- 四、因 IIT 的微電網並未使用 IEC 61850 通訊協定，詢問李教授的意見，他們著重在微電網整體系統的實作，通訊議題並未納入其研究中，該校微電網系統的通訊皆依靠數據採集與監控系統(SCADA)做為通訊交換，以達到互通的效果。美國電力通訊仍以 DNP 3.0 為主，對於美國未來是否就此改用 IEC 61850 通訊協定，此部分仍不明朗。鑒於國內電力系統及法規(屋內線路裝置規則及屋外供電線路裝置規則)與美國電力系統及法規(National Electrical Code, NEC)較為相似，爰宜密切關注美國電力系統之通訊協定應用情形，俾利國內智慧電網之電力監控及變(配)電自動化採用適宜之通訊協定。
- 五、BNL 針對太陽能發電系統的主要研究方向，乃利用高運算工具及機率模型，對於智慧電網併網之動態響應進行評估；並利用模組化及分析大型太陽能發電廠對於電力業者之配電、分支輸電、輸電系統之影響；此外，亦開發遭遇惡劣氣候環境下之太陽能電網損害及預測系統。
- 六、BNL 擁有美東最大的商業運轉太陽能發電廠，發出來的電直接併聯至電力業者電網中，電廠並無儲能系統進行儲能。於電廠之通訊協定方面，BNL 交由廠商進行布建，由廠商確保電廠零組件皆能互通，且傳送資料至控制中心，BNL 並未針對此議題多加著墨。
- 七、BNL 悅博士的言談中提及，太陽能發電的發電效率還不夠高，以 32MW 的發電量來說，就需要約 80 公頃的土地，如此大的土地面積，要在地小人稠的臺灣建立商轉型的太陽發電廠是有相當的難度。然而，以現在臺灣的風力資源及成熟的風力發電技術來說，1 支離岸風力發電機即有 5MW 以上的發電量，因此，就商業運轉而言，風力發電與太陽能發電相比，似較為可行。