

出國報告(出國類別：其他)

德國再生能源併網暨智慧電網  
商務論壇及實務交流  
出國報告

服務機關：經濟部能源局

姓名職稱：吳志偉組長、張聰明視察

派赴國家：德國

出國期間：107年4月14日至4月21日

報告日期：107年7月20日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

「德國再生能源併網暨智慧電網商務論壇及實務交流」出國報告

頁數 33 含附件：是 否

出國計畫主辦機關 / 聯絡人 / 電話

張聰明 / 經濟部能源局 / 視察 / (02) 2775-7758

出國人員姓名 / 服務機關 / 單位 / 職稱 / 電話

吳志偉 / 經濟部能源局 / 電力組 / 組長 / (02) 2775-7750

張聰明 / 經濟部能源局 / 電力組 / 視察 / (02) 2775-7758

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：107年4月14日至4月21日

報告期間：107年7月20日

出國地區：德國

分類號/關鍵詞：再生能源、智慧電網(smart grid)、區塊鏈(block chain)、微電網、  
公民電廠、鴨子曲線(duck curve)、儲能

## 摘 要

本次出國主要借鏡德國規劃 2050 年 80% 能源供應來源為再生能源之推廣目標及推動經驗，作為我國電業改革後積極推動智慧電網布建及達成 2025 年再生能源供應超過 20% 之目標，爰應德國聯邦經濟暨能源部邀請率團(本局、工業技術研究院、台電公司及業界廠商等)赴德參加臺德智慧電網商務論壇。

同時邀我國相關領域之機構及廠商，參訪德國西門子、Sonnen GmbH、Energy Village Wildpoldsred 及 Juwi 集團等再生能源、儲能與公民電廠等案廠與智慧電網大廠，借鏡德國有關智慧電網科技、再生能源併網執行、需求面管理、儲存能源科技、公民參與再生能源專案計畫等方面之經驗，促成民間相關業者之實質商務交流，創造產業間彼此合作機會。

透過我國智慧電網發展現況及規劃專題報告及參訪德國智慧電網相關建設，並與德國相關單位及業界分享彼此經驗，除擴展我國政策推動之國際能見度外，亦可作為我國未來政策規劃及推動之參考。

## 目 錄

|  |    |
|--|----|
| 壹、出國目的.....  | 1  |
| 貳、預期效益.....  | 1  |
| 參、過程與紀要.....   | 1  |
| 肆、心得與建議.....   | 22 |
| 伍、附錄.....  | 24 |
| 附錄一：我國「Energy Policy and Smart Grid Activities of Taiwan」簡報  |    |
| 附錄二：德國「The Role of the Federal Regulator in the German Power System」<br>簡報                                 |    |
| 附錄三：德國「Challenges and solution approach of the energy transition in<br>Germany」簡報                          |    |
| 附錄四：德國「energy solutions - made in Germany」簡報   |    |
| 附錄五：德國「Digital, distributed and decarbonized - Challenges and solutions<br>for tomorrow's energy system」簡報 |    |
| 附錄六：德國「Pilot Projects Demand Side Management in Baden-Württemberg」<br>簡報                                   |    |
| 附錄七：德國「Taiwan Smart Grids- Grids Integration of Renewable Energies」<br>簡報                                  |    |
| 附錄八：德國「Cells Energy System of the Future in the Southern German Solar<br>Arc」簡報                            |    |
| 附錄九：德國「Welcome to the energy village of Wildpoldsried」簡報   |    |

## 壹、出國目的

電業自由化與再生能源導入是我國能源轉型的重要議題，先進國家已有諸多案例。德國是電業自由化的先驅之一，並且積極導入再生能源，其發展軌跡可作為我國借鏡。

此行於 Fraunhofer ICT 舉行智慧電網暨可再生能源併網論壇，台德雙方交流再生能源發展經驗，德方並分享在電業自由化後的電業管制概念，以及電網管理的新興應用趨勢。訪問團同時參訪公民電廠、微電網示範計畫、家用儲能業者、再生能源開發營運業者、大型能源用戶等，以了解德國在相關領域的發展概況。

## 貳、預期效益

- 一、參與商務論壇專題報告，介紹我國電業法修正後電業制度改革、智慧電網及再生能源推廣成效，擴展我國政策推動之國際能見度。
- 二、擴大臺德間之智慧電網產官學界經驗交流，借鏡德國研究及營運經驗，協助我國加速智慧電網布建及再生能源推展。
- 三、促成智慧電網產業供應鍊之交流，創造彼此產業間合作機會。

## 參、過程與紀要

### 一、參加人員

本次出國參加人員計 17 位，包括產官學等各界代表，並由能源局吳組長擔任領隊，詳細名單如下：

| 姓名  | 單位          | 職稱         |
|-----|-------------|------------|
| 吳志偉 | 經濟部能源局      | 電力組組長      |
| 張聰明 | 經濟部能源局      | 電力組視察      |
| 梁佩芳 | 工研院綠能與環境研究所 | 電力與電網技術組組長 |
| 吳俊星 | 工研院綠能與環境研究所 | 儲能技術組經理    |
| 李廷官 | 中興電工        | 再生能源事業處經理  |
| 黃聖元 | 中華經濟研究院     | 綠色經濟中心副主任  |
| 李明憲 | 遠傳電信        | 副總經理       |

|     |           |                         |
|-----|-----------|-------------------------|
| 張永瑞 | 核能研究所     | 核能設備組副組長                |
| 沈勁彪 | 核能研究所     | 核能設備組助理研究員              |
| 陳朝順 | 義守大學      | 講座教授                    |
| 張志銘 | 力歐新能源     | 策略顧問                    |
| 周碩彥 | 臺灣科技大學    | 特聘教授                    |
| 劉書彬 | 東吳大學      | 教授                      |
| 蔡知達 | 大同公司      | 智慧系統處副處長                |
| 陳冠廷 | 台灣世代智庫    | 副總裁                     |
| 沈德振 | 台電公司綜合研究室 | ICT 研究室主任               |
| 白佩玲 | 德國經濟辦事處   | Manager Project Affairs |

## 二、行程紀要

此行於 107 年 4 月 14 日出發，並於 4 月 21 日返抵臺灣，行程摘要如下：

下：

| 日期                | 時間    | 行程  |
|-------------------|-------|---|
| 107/4/14<br>(Sat) | 18:00 | 桃園國際機場(TPE)出發，前往慕尼黑國際機場(MUK)，途經香港國際機場轉機(HKG)。 |
| 107/4/15<br>(Sun) | 08:15 | 慕尼黑國際機場至司圖加特(Stuttgart)機場。                    |
| 107/4/16<br>(Mon) | 09:00 | 拜訪 Fraunhofer ICT，參加「再生能源併網暨智慧電網論壇」。          |
| 107/4/17<br>(Tue) | 08:30 | 參訪 IRENE 微電網計畫。                               |
|                   | 10:30 | 拜訪 Sonnen 公司，了解其儲能系統技術與產品。                    |
|                   | 14:00 | 訪談公民電廠 Energy Village Wildpoldsried。          |
| 107/4/18<br>(Wed) | 09:30 | 參訪 Siemens 饋線電力品質管理系統。                        |
|                   | 15:30 | 參訪 Energy park Hirschaid。                     |
| 107/4/19<br>(Thu) | 08:30 | 參訪司圖加特機場，了解其能源管理措施。                           |
|                   | 14:00 | 參訪 Juwi 及其風力發電機，了解其營運情況。                      |
| 107/4/20<br>(Fri) | 08:30 | 參訪 KIT Karlsruhe 之儲能園區。                       |
|                   | 19:15 | 司圖加特機場出發，返回桃園國際機場，途經蘇黎仕國際機場轉機。                |
| 107/4/21<br>(Sat) | 19:30 | 抵達桃園國際機場。                                     |

### 三、參訪紀要

#### (一) Fraunhofer ICT 「再生能源併網暨智慧電網論壇」

我方介紹臺灣能源政策與智慧電網發展現況，德方專家則進行以下幾項報告，並與代表團成員廣泛交換意見。

- The role of the federal regulator in the German power system
- Challenges and solution approach of the energy transition in Germany
- Guided Tour through ICT, Discussions
- Digital, distributed and decarbonized- where Blockchain can provide solutions for tomorrow' s energy system
- Pilot Porjects Demand Side Management in Baden-Wurtemberg
- Energy Storage Technologies
- C/sells- Energy Systems of the Future in the Southern Germany Solar Arc

電業管制與自由化是相對的概念，電業管制的目的是追求消費者的福祉，手段包含要求提升效率、規範民營業者的供電義務、對於壟斷者(monopoly)的價格規範等項。在壟斷者的規模不大、市場參與者眾多以及政治干預較少的情況下，管制較易施行。以德國為例，鐵路管制相當困難，因既有大型業者主導市場且政治干預較強；電信管制較為容易，因大型業者的市占率相對較小且彼此互相競爭，政治干預較弱；而電業管制之困難度介於兩者之間，大型業者的市占率居中，涉及數百家電業，政治干預亦少。

電業管制與自由化的型態相當多樣化，德國的電業改革採取一步到位，完全自由化，目前 4 個大的發電集團(RWE, E.ON, En-BW, Vattenfall Europe)的發電量占全國的 90%以上，輸電公司則有 4 個大型業者(TennetTSO, 50 Hertz, Amprion, TransnetBW)，配電業與售電業各有約 800

家公司。完全開放市場有利於整合再生能源：價格訊號是市場交易的關鍵，用戶可依再生能源的價格決定是否選用再生能源；火力電廠則依市場價格調整其操作方式；而跨國電力交易的基礎也是價格。電力管制的最重原則是規範必須一致，不應隨意給予責任豁免，不適當的規則將導致隱藏的補助，最後造成市場扭曲，在正常的運作下，不應有人由市場機制外獲利，也不應有人因為電網的壅塞而獲利。

德國再生能源導入的過程，仍有種種誤解，因而付出不小的代價，例如傳統發電機組發電占比仍在 50% 以上，其運轉彈性依然足夠（部分原因為德國連接歐陸電網），然而大眾與政府並未完全了解，以致投入大量資金於提升電網彈性，儲能的投資即為其中之一，而德國電網在 2030 年之年並不需要儲能，並且目前家庭儲能成本過高，對於電網彈性的提升非常有限。為了支持再生能源設置，德國每年大約支出 270 億歐元，相當於每個家庭每年為再生能源支付 250 歐元。再生能源自發自用 (self-consumer) 並未改變電網的運作，自發自用者獲得較低的電價，實際上就是一個隱藏的補助，墊高電網運作的成本。另一方面，維持小型電力系統穩定性的整體成本遠高於大型系統，系統分割也將造成參與者減少，不利於競爭，也使得電業管制不易施行，因此，應避免形成區域性的電網。

C/sells 是德國經濟能源部(BMWi)補助計畫 Smart Energy Showcases - Digital Agenda for the Energy Transition (SINTEG)的一部分，也是該計畫最大的展示場(show case)，參與者包含 58 個企業、學術單位、NGO、能源供應者、調度業者(TSO, DSO)等，計畫經費為 8400 萬歐元，執行期間自

2017 年至 2020 年，涵蓋 30 個展示單元(demonstration cell)及 9 個參與單元(participation cell)，運作概念如下圖，大多數系統仍在建構中。

## Blueprint of the Energy Transition

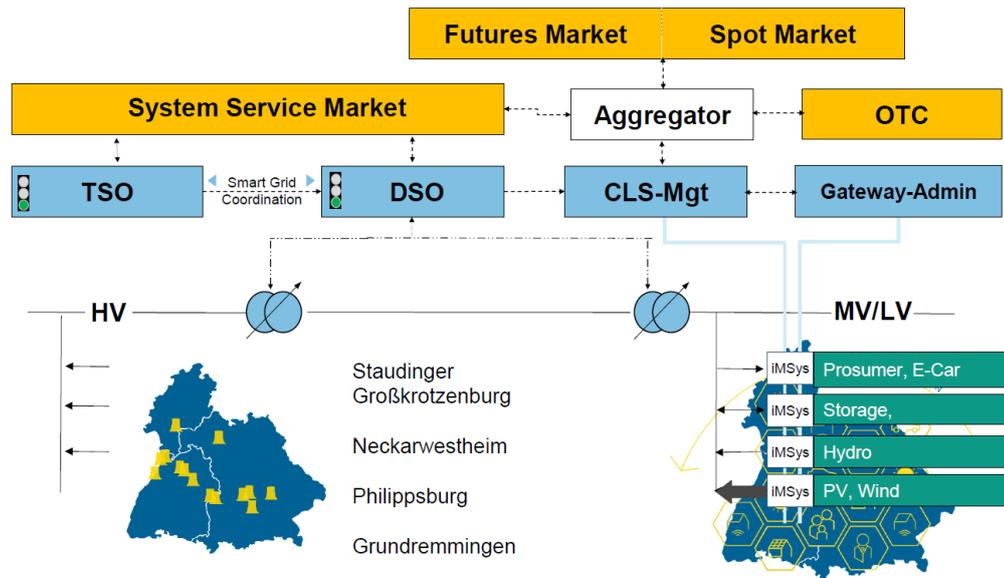


圖 1 C/sells 運作架構示意圖

會中介紹該計畫之基礎設施資訊系統、電網整合、及區域能源彈性交易。基礎設施資訊系統中涵蓋基礎服務(如預測、資料存取)、資訊(如訊息處理、資料模型、使用情境之標準化)、通訊系統(如通訊協議、資安機制、通訊硬體)、終端元件(如感測器、智慧電表、設備控制介面)等四個層次，運用此系統可實現各種彈性的使用情境，如圖 2 所示。規劃中的參與單元分布在德國的 3 個邦，包含大、中、小型城市各 3 個 (Kassel, Dillenburg, Fürth im O., Mannheim, Fellbach, Altdorf, München, Ebersberg, Allensbach)，系統建置完成後，估計參與市民人數將達到 1,500 萬。

### C/sells Use Case „Flexibility Sales and Action“

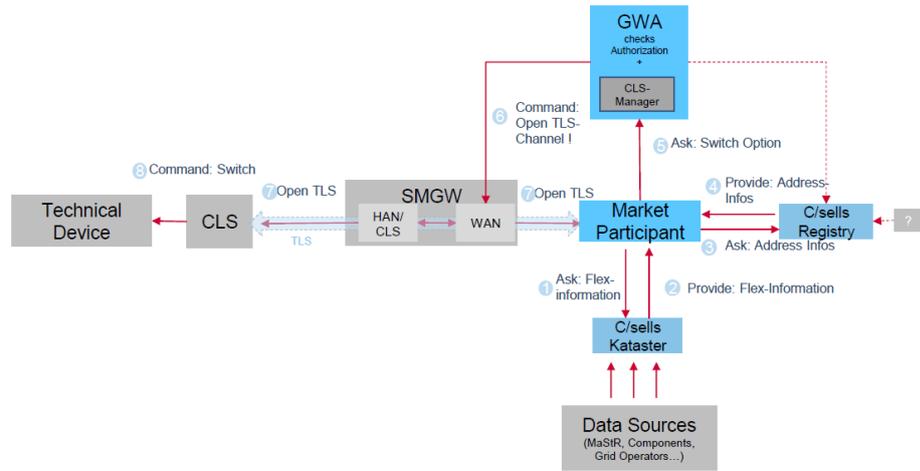


圖 2 C/sells 之使用情境

區塊鏈(block chain)技術能夠支持分散式交易與記錄，也具備特殊的隱私性保障，因此在能源領域的應用逐漸受到重視，BDEW 的報告指出：以太坊(Etherum)的交易量由 2017 年 4 月開始大幅成長，2017 年底已達到每天 50 萬次，市場規模超 350 億歐元。OLI Systems 投入能源領域的區塊鏈應用開發，2017 年 10 月開始在 Ludwigshafen 進行太陽光電、可控負載及儲能系統(9 MWh)的監測控制，智慧合約由 TWL, innit, pwc 等業者支持，區塊鏈則由 EWF (Tobalaba)提供，其運行架構如圖 3 所示。OLI Systems 認為區塊鏈的特性使其易於實現端對端(P2P)的交易，而微電網運行優化以及相關的計費、認證事宜是區塊鏈能源領域應用的最佳機會。

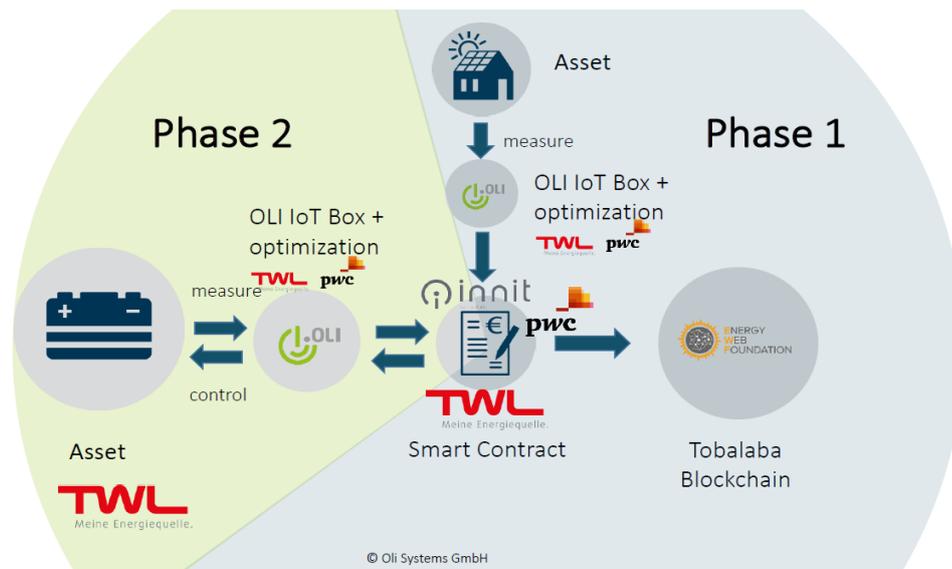


圖 3 OLI systems 之區塊鏈應用架構

Fraunhofer ICT 的核心技術包含化學與環境工程、高分子、能源系統、以及爆炸技術，此行參觀該單位的鈦液流電池系統，了解其技術開發與應用概況。Fraunhofer ICT 在材料開發、電堆設計、系統設計以至運行模擬皆具備完整能量，配合其實驗室外一座 2MW 風力發電機，該單位規劃建置一套 2MW/20MWh 的鈦液流電池系統，以 DC 連結至風力發電機，進行運行調控，同時開發大型鈦液流電池的量產技術。該單位液流電池的電堆單元為 5kW，第一期共設置 400kW，位於實驗室一樓，電解液儲槽則設置於地下室，兩種容量的儲槽各有十餘座，以配合實驗測試所需。

## (二) IRENE 微電網計畫

IRENE 和 IREN2 是 Siemens 主導的微電網研究計畫，於 2010 年啟動，團隊成員包含 AÜW, AllgäuNetz, Hochschule Kempten University of Applied Science, Rwth Aachen University 等單位，計畫目的為了解再生能源逆送電力潮流對電網的影響，以及因應之道。該計畫在 Wildpoldsried 設置儲能系統，佈署大約 100 個感測器，並協調當地配電公司與用戶進行測試，同時佈署了 32 部電動車。系統架構如下圖。

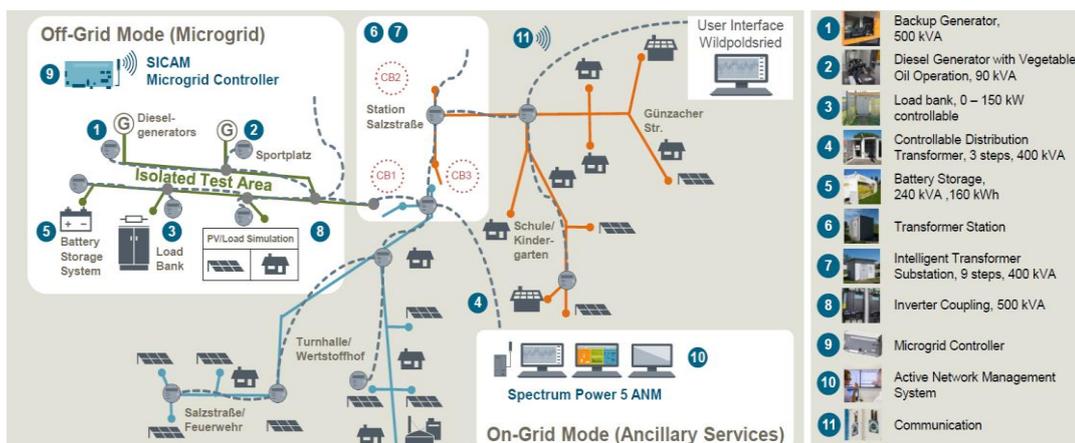


圖 4 IRENA 微電網計畫之系統架構

Wildpoldsried 的再生能源裝置相當普遍，除了民營電廠的風力發電機之外，許多家庭也設置了太陽光電系統，該市的總發電量大約是用電量的 8 倍，由於用戶本身僅有太陽光電系統，因此多數時候(80%)仍賴電力公司供電。該市約有 2600 位居民，淨負載尖峰約為 1MW。

德國低壓供電線路為 400V 三相，儲能系統容量為 240kW/ 160kWh，設置於離網(Off-Grid)測試區，該區另有 90kW 生質柴油發電機、500kW 備援發電機、150kW 負載箱以及 500kVA 的電源/負載模擬器。該模擬器透過 800V DC 耦合至另一側 400V 三相，再透過變壓器(9 steps, 400kVA)連接至 20kV 配電線路。採用電源/負載模擬器可降低系統建置成本，提高系統測試的彈性。計畫團隊表示儲能系統運作情況與家庭的小型儲能一樣良好。

離網模式的運作可以兩種方式進行：(1)先切離電網，由儲能系統建立全黑啟動所需的參考電壓，再啟動柴油發電機及併入再生能源；(2)先將儲能系統由電流源轉換為電壓源模式，則可達成無縫離網。

經過多年研究，計畫團隊提出以下觀點：(1)配電網路的即時監測控制有助於提升再生能源導入量，並降低電網升級的成本，甚至取代智慧電表的部分功能；(2)儲能系統的用途相當多樣化，但是商業模式尚未成型；(3)電動車的研究顯示，截至 2020 年，郊區的配電系統仍不需要為電動車而進行擴充。

### (三) Sonnen 公司

Sonnen 在家用儲能系統領域經營得相當成功，該公司成立於 2010 年，全球有 7 個據點，400 名員工，已安裝約 30000 套家用儲能系統。在 EuPD Research 的研究報告中，2016 年前半年 Sonnen 的市占率達到 23%，為全球第一，其次為 LG Chem (13%)、Senec (9%)、Tesla (9%)等業者。

Sonnen 家用儲能系統之規格如下：

- Dimension 70 x 64 x 22 cm (H x W x D)
- Output 2.5~3.3kW AC
- Base warranty: 10 years
- Storage size: 4~16kWh (upgradable in steps of 2kWh)
- Long endurance: >10,000 charging cycles
- Technology: Lithium iron phosphate
- Other features: web, app under Amazon Echo

Sonnen 的第一代電池模組容量為 2kWh，第二代將提升到 2.5kWh。

為了選擇電池芯，Sonnen 評比過非常多種產品，評比的重點是充放電壽命，最後選擇 Sony 的 18650 電池芯 (Sony 在 2017 年由 Murata 併購)，過去 4 年對 Sony 電池芯的測試顯示 12000 週期的 1C 充放電仍有 80% 的儲電能力。標準產品包含一套 PCS 與兩個電池模組，並可藉由增加電池模組擴充容量，下圖為該公司展示的各型產品。



圖 5 Sonnen 公司的家用儲能產品

為了推動家用儲能的應用，Sonnen 甚至兼營售電業，推出 sonnen Community 的產品，提供 4 種選擇

- Tariff smart- 用戶不需具備電池和太陽光電系統，只要支付每月 9.99 歐元的會費即可享有 0.23 歐元/度的低廉電價。這個類型的用戶在群體中擔任電源過剩時的負載。
- Tariff solar- 用戶必須安裝智慧電表(免費)及太陽光電系統，但是不必安裝儲能系統，支付每月 9.99 歐元的會費即可享有 0.23 歐

元/度的電價。對用戶的好處在於太陽光電過剩時，電業收購價格極低(若無躉購合約僅為 0.05~0.1 歐元/度)，參與本方案獲得較低的電價對用戶更有利，而太陽光電多餘的電力則提供其他 sonnen Community 的會員使用。sonnen 估計參與此方案約可降低 25%的電費。

- **Tariff plus-** 用戶具備太陽光電系統和任何一種 Sonnen 的儲能系統，支付每月 9.99 歐元的會費即可享有 0.23 歐元/度的電價。儲能系統由使用者自行控制，以達成太陽光電發電量的最佳使用。sonnen 估計參與此方案約可降低 75%的電費。
- **sonnenFlat-**用戶具備太陽光電系統和 Sonnen eco 8 型的儲能系統，支付每月 19.99 歐元的會費，不須支付電費，即太陽光電系統不足以供應用戶的所有額外電力皆由 sonnen Community 免費提供。條件是儲能系統中保留 5%的容量接受 sonnen Community 的控制中心進行調度，參與輔助服務，目前參與的容量共有 800kWh。

Sonnen 入門型的儲能系統為 2.5kW/ 2kWh，價格為 3500~4000 歐元，擴充電池容量以 2kWh 為單位，價格約為 2000 歐元。訪問團詢問 Sonnen：對使用者而言，設置儲能系統的投資回收期程為何，Sonnen 答覆為 9~12 年，但僅為印象，並未精算。

#### **(四)公民電廠 Energy Village Wildpoldsried**

Wildpoldsried 占地 2134 公頃，森林占其中的 26%，居民約 2600 人，對於公民電廠的討論始於 1998 年，2000 年德國再生能源法(EEG)通過，

對於畜牧廢棄物能源化是一大鼓舞。目前約有 350 個用戶設有太陽光電系統，容量合計為 5.1MW；150 個用戶設有太陽熱能系統，占地約 2100m<sup>2</sup>；風力發電公司約有 400 位居民參與，擁有 9 座大型風機；另有 6 座汽電共生廠，運用沼氣(天然氣)與生質廢棄物產生熱能和電力，自行鋪設的天然氣管線長度達到 4.2 公里，供熱管線則為 3.5 公里。該地區自產的再生能源供熱系統約可滿足其需求的 70%；而再生能源發電量則遠大於其需求 (達 8.1 倍)，下圖為其電力供需統計。

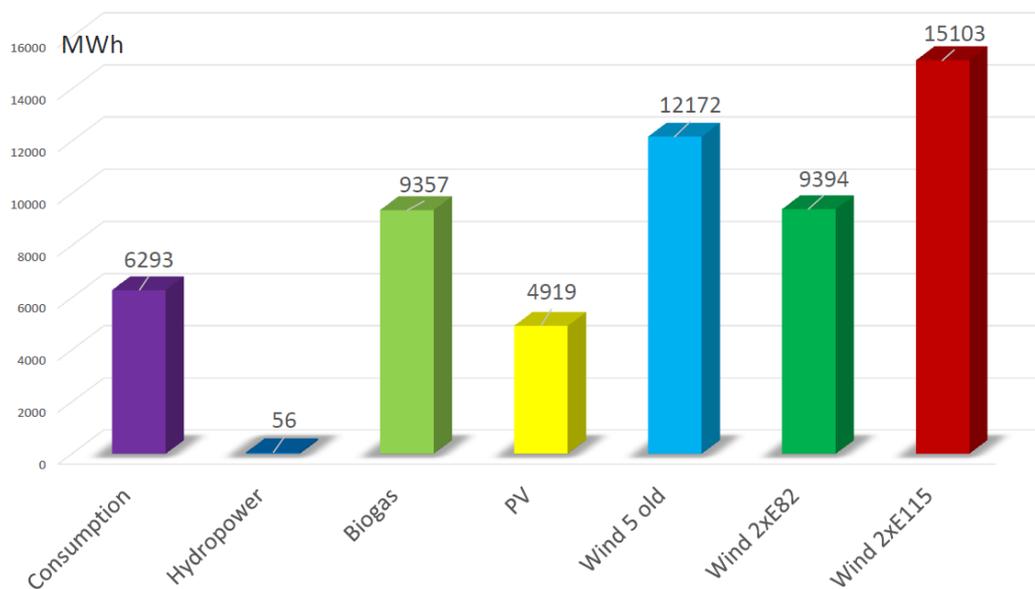


圖 6 2017 年 Wildpoldsried 的能源供需統計

Mögele 副市長對於推動公民電廠不遺餘力，曾到許多國家介 Energy Village Wildpoldsried 的成就，他表示凝聚公民的意識需要長時間的努力，最初該地區由公部門先行投入太陽光電設置，逐步讓民眾了解再生能源的重要。公民電廠僅允許當地區民投資，自行籌措約 60%的資金，其餘資金則向銀行貸款。德國銀行依然比較偏好貸款給大企業，不過，由於公民電廠逐漸增加，一般而言，取得貸款並不是瓶頸。公民電廠的投資者理解發電業的投資有其風險，不能保證獲利，並且電廠設置後必

須負擔一定的供電義務，例如風力發電機損壞時，必須修復，不可棄置。  
此外，保險可協助電廠投資者規避部分風險。

#### (五) Siemens 饋線電力品質管理

西門子協助 Netze BW 在 Niederstetten 地區進行饋線電力品質管理，其內涵與澎湖智慧電網示範的先進配電自動化相似，藉由即時監測配電線路的電壓電流等狀態，對饋線電力設備進行調控，以便快速隔離故障區段，減少事故影響範圍，並縮短維修時間。與我國不同的是對於饋線電壓的即時調整。由於德國的太陽光電設置相當普遍，在負載較輕時，饋線電壓容易偏離容許範圍，即使在變電站進行電壓調整，對於較長的饋線依然難以完全確保良好的電力品質。

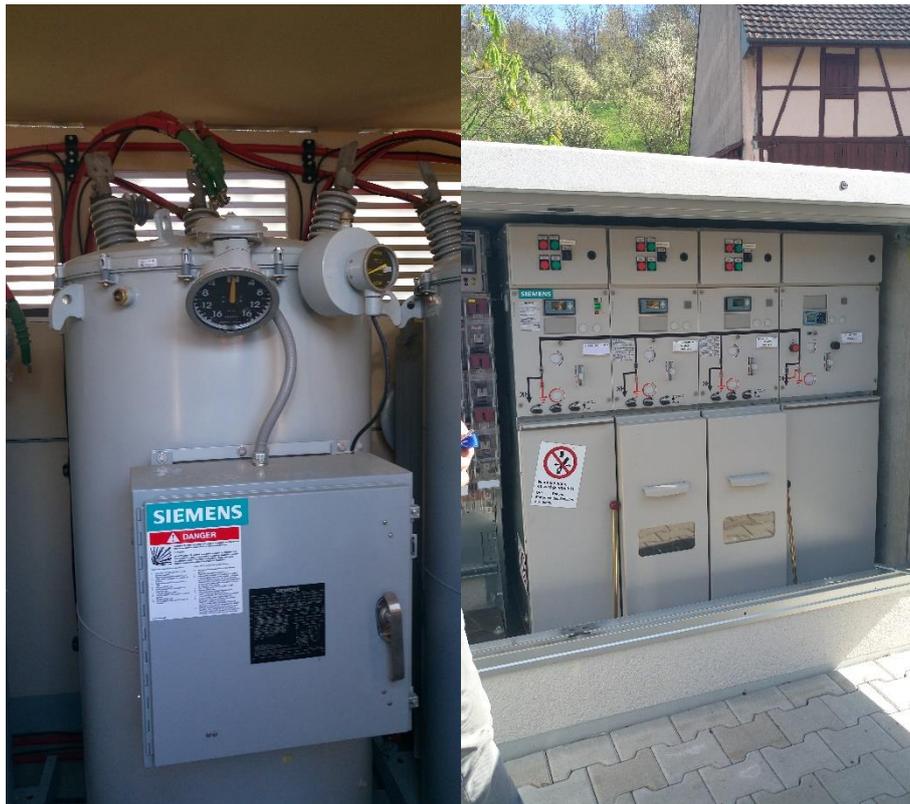


圖 7 中壓電壓調節器及用戶側四路開關

該地區饋線長度為 27 公里，最大負載約為 1MW，而再生能源的發電量可達 5MW，Netze BW 在饋線上安裝了兩套中壓(20V)電壓調節器 (voltage regulator)，由-10%至+10%共分為 32 段調整，低壓側亦安裝了部分電壓調節器。在用戶側的變壓器及四路開關設備上設有電表，RTU 取得即時量測資料後傳送予控制中心，再由控制中心依需求操作電壓調節器，以便維持饋線電力品質，該區每天大約調整兩次中壓的電壓調節器。西門子表示電壓調節器為成熟產品，設計可承受每天調整 80 次而使用 40 年，三相中壓調節器的價格約為 60000 歐元。鄉村地區的網路通訊較不普及，因此 Netze BW 使用德國電業的無線專用頻段 470MHz 進行通訊，並且 RTU 設有 UPS，以備停電時仍可持續監測。

#### (六) Energy park Hirschaid

Energy park Hirschaid 為私人設立的綠能會展中心，業主於 2011 年購買一座屋齡大約 40 年的廢棄舊工廠，耗時三年進行改造，配合再生能源與節能設計打造綠建築，於 2014 年獲得 EU Green Building Award，並開始營運。



圖 8 Energy Park Hirschaid 的太陽能與小型風電裝置

會展中心由舊廠房改建，盡可能使用廠內原有物料，運用廠房原有玻璃及木料用於牆面裝置，採用高效率照明，此外也展示了大量的再生

能源技術，例如各式太陽光電系統（安裝於屋頂及外牆，並有兩座不同型式的追日型系統）、小型垂直軸風力發電機、電動車充電站、小型儲能系統等。較為特別的是空調系統的節能設計，該中心採用地下水熱泵系統(ground water heat pump)，由於臨近河流，地下水源相當充沛，打井到 10 至 20 米深度即可取出大量溫度穩定的地下水，冬季供作溫水，夏季供作冷水，以熱泵將二次側水溫調節到目標溫度，再儲存熱水或冰水備用。除了運用地下水的冷熱能之外，在夏季運用自然通風降低室溫，並以夜間預冷降低日間所需處理的熱負荷；冬季若供暖不足時，則以熱電共生系統補充。因此，該展會中心的空調耗能相當小。



圖 9 Energy Park Hirschaid 的地下水熱泵系統

該會展中心可用於舉辦展覽或研討會，最多約可容納 800 人。由於歐盟企業的節能減碳社會責任，在綠能會展中心與舉辦活動除了具有像徵性的意義之外，在排碳的計算上也能獲得抵減，因此，該中心的營運狀況相當不錯。業主並規劃購置附近的另一個小型建物，經營科技教育中心。

## (七)司圖加特機場

司圖加特國際機場是德國 Baden-Württemberg 最大的機場，2016 年旅客約 1060 萬人次，機場員工約 1900 人，預估未來旅客成長力為每年 120 萬人次，因此機場仍在擴建之中，並積極籌設捷運，以降低機場接送運輸之排碳量。

機場的年耗電量約為 50GWh，所需的供熱也相當於 50GWh。除了市電之外，機場自行設置了 2MWe 的汽電共生發電設備，每年發電約 14GWh；並供熱 14GWh。為了節能減碳，機場也設置了 2.2MW 的太陽光電系統，每年發電量約為 2.4GWh，相當於每日發電 3 小時。此外，機場設置了 9.48MW 的備援發電機，必要時可以啟動運轉，以降低機場的用電負載。空調系統包含儲熱及儲冰設備，容量分別為 1.8MWh 及 3.3MWh，亦可協助機場調節電力負載。

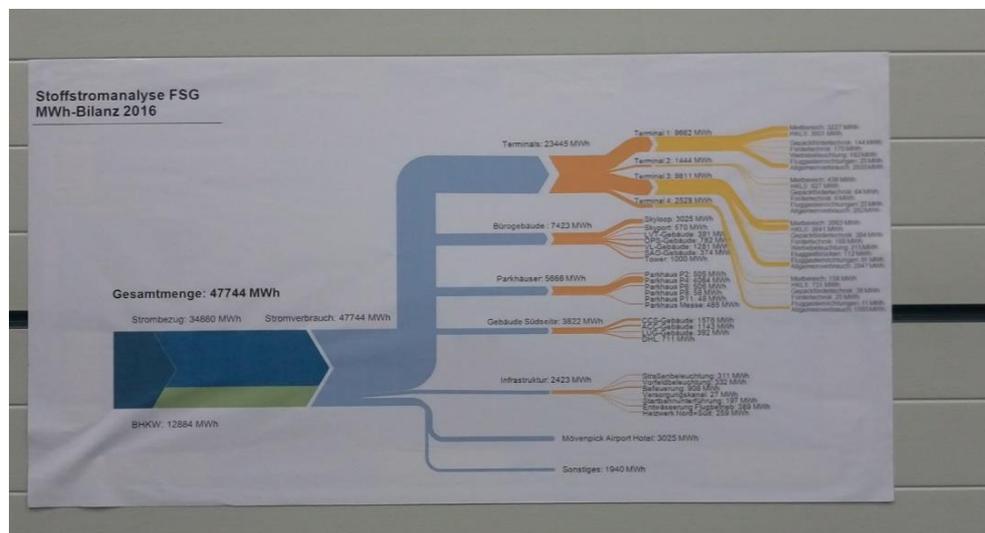


圖 10 司圖加特機場的電力能源流示意圖

近年來德國的契約容量費率不斷上漲，年漲幅約為 10~30%，2014 年大約為每年 52 歐元/kW，至 2018 年已調高至每年 110 歐元/kW，並且其收費以全年最高的 15 分鐘需量計算。因此，降低尖峰負載對機場來

說相當重要，機場在 2012 年取得 ISO 50001 認證，並透過設備效率改善及管理手段調整用電，管理單位並對空調用電負載進行預測，以便必要時以儲冰或儲熱系統降低尖峰負載。2012 年電力尖峰負載為 7.31MW，至 2017 年已降至 6.5MW，成效相當顯著。



圖 11 司圖加特機場的空調系統水循環管路

#### (八) Juwi 集團

Juwi 集團成立於 1996 年，致力於發展再生能源，主要業務為建置大型太陽光電系統及陸域風力發電系統，並代替客戶操作管理，亦有少數案場為自行投資。大型太陽光電案場包含德國 Waldpolenz 53MW、美國 Pavant I 62MW、南非 Prieska 86MW 等系統，在森林地區設置了超過 300 架風機，容量約 790MW，在森林風場的開發相當有經驗。全球員工總數約為 1000 人，2016 年營收約為 7.8 億歐元，國內外的營收各占一半。

再生能源的業務與政府政策密切相關，2012 年 Juwi 營收超過 10 歐元，然而德國政府將太陽光電躉購費率調降 30%，對業務造成重大衝擊，使 2013 年太陽光電相關營收減少 90%，而總營收衰退 30%，2014 年相對 2012 年總營收更衰退達 50%，Juwi 調整營運腳步方能渡過難關。



圖 12 Juwi 自行投資的太陽光電場及風場

目前 Juwi 在德國營運中的太陽光電系統容量約 624MW、風電約 1098MW；在其他國家營運中的太陽光電約 1608MW、風電約 1126MW，合計營運容量約為 4.4GW，包含 2500 個系統。



圖 12 Juwi 的停車場充電樁

德國再生能源發電系統設置的環境影響評估相當耗時，通常約需要 2~3 年，以確認風機或其他裝置的設置與運轉不影響鳥類及其他生物，例如：預定開發區域若存在特殊的蝙蝠，則須花一年的時間進行研究，典型做法為捕捉少數蝙蝠，安置無線發報器，以調查其飛行路徑，判斷

再生能源設置的影響。在森林開發也有相當大的限制，原始森林不可砍伐，僅有工業林可以部分砍伐以設置再生能源。

Juwi 總部的設計也相當重視節能減碳，停車場設有相當多充電樁，以鼓勵電動車的使用，使用自然光源減少照明耗電，空調則運用地下水進行溫度調節，該公司打了一口 450 米深的井，在冬季出水溫比戶外溫度高 20 度，夏季則低於外氣溫，可大幅降低空調用電。

### **(九)KIT Karlsruhe**

Helmholtz Association 是德國最大的研究組織，KIT (Karlsruhe Institute of Technology)是 18 個 Helmholtz center 之一。KIT 共有 5 個校區，占地 200 頃，365 位教授及資深研究人員，1000 位國際訪問學者、25500 名學生，其中 3000 位為博士生，研究領域涵蓋能源、氣候與環境、車輛系統、工程及生命科學材料、人類與科技、基本粒子與天體物理、資訊系統等七大項，規模龐大。此行參觀其 Energy Lab 2.0 實驗場域。

實驗場域中設置了 1MW 的太陽光電系統，相當特別的是太陽能板的安裝角度由理想角度向東及向西分佈，俯仰角度亦有一個分佈範圍，以實測分散安裝角度後，太陽光電出力平滑化的效果，這個作法也可以降低電力系統鴨子曲線(duck curve)的嚴重性。1.3MWh 的儲能系統則設置中，電池模組將安裝於水泥建築的機架中。



圖 13 KIT Energy Lab 2.0 實驗場域

再生能源占比持續提高勢必造成電網調度的困難，德國目前連接歐陸電網，電網仍可順利運轉，但是考量未來可能的衝擊，KIT 已投入電轉氫(power-to-gas)以及電轉油(power-to-liquid)的研究，校園中即有氫能車所需的加氫站，而電轉油的示範廠(bioliq pilot plant)也在運作中。

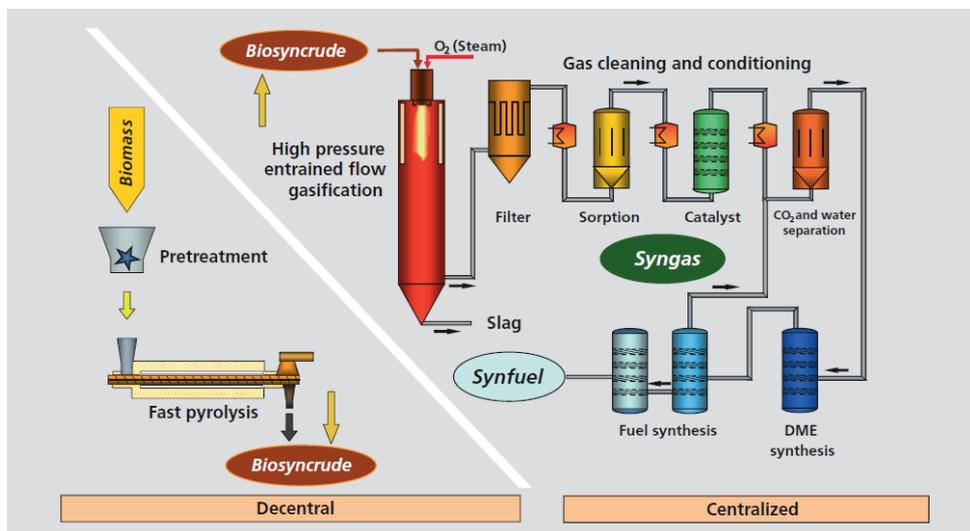


圖 14 KIT bioliq 流程示意圖

SEnSiCC (Smart Energy System Simulation and Control Center)則發展電力系統軟硬體系統模擬能力，較特別的是 1MVA 電力系統線上模擬器 PHIL (Power Hardware in the Loop)，其架構如圖 15。使用軟體模擬待測系

統的特性，並以硬體實現其電力特性，可大幅提升電力系統研究的彈性，然而模型的準確性與電力系統實作的時序精確性則是相當大的挑戰。該系統仍在建構中，未來將透過可調整配線連接至電阻、電感、電容等三組負載模擬器以及部分實體負載，進行技術開發與驗證。此外，該實驗室亦具備各類電力系統模擬軟體，如 PSS/E, NEPLAN, OpenDSS, GridLAB-D, PSCaD...等，具備輸配電系統模擬能力。

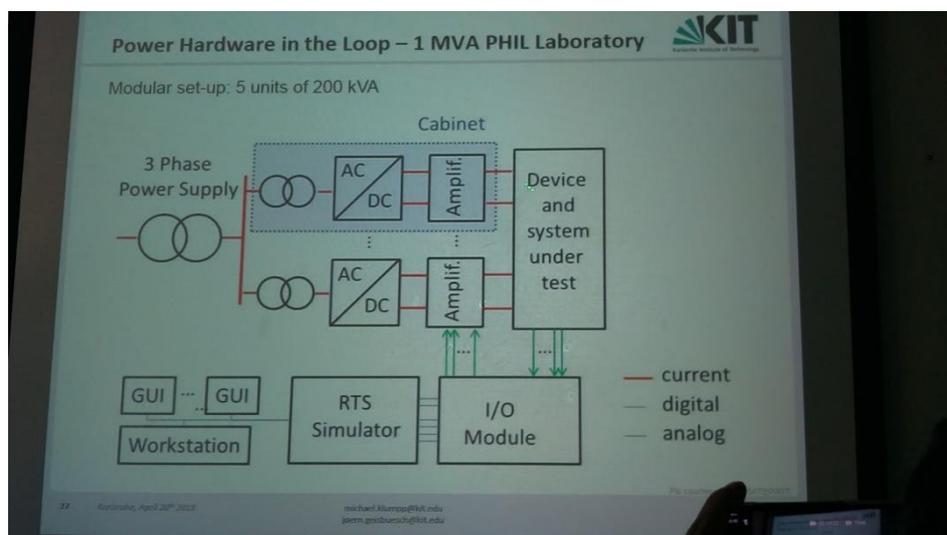


圖 15 KIT System Hardware in the Loop 架構示意圖

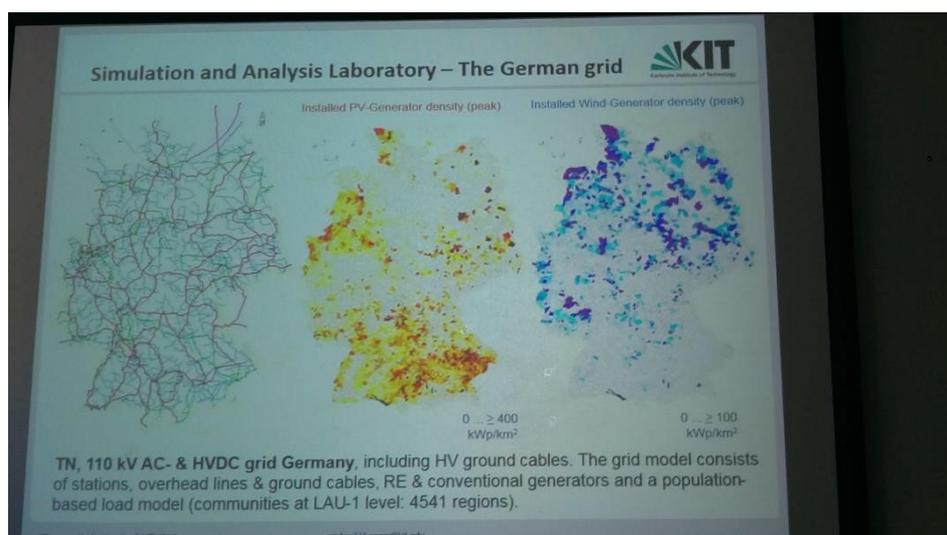


圖 16 KIT 對德國電力系統的模擬

## 肆、心得與建議

- 一、發展再生能源及綠能產業是政府重要政策，106 年 1 月 26 日華總一義字第 10600011591 號總統令公布修正「電業法」條文，已全面開放太陽能、風力發電等綠電的發電與直供售電，建立能源多元供給及利於綠能產業發展的市場。德國能源轉型的討論歷經 10 年以上，公民電廠的發展同樣經過多年的努力，儘管有些事務尚未完全達成共識，或未能充分揭露資料相互討論，但相關經驗仍值得我國借鏡。
- 二、本局已於「智慧電網暨再生能源併網論壇」報告，介紹我國電業法修正後電業制度改革、智慧電網及再生能源推廣成效，並與德國相關單位及專家學者，互相交換意見及推動經驗，德方並分享在電業自由化後的電業管制概念，以及電網管理的新興應用趨勢，除擴展我國政策推動之國際能見度外，亦有助於我國加速智慧電網布建及再生能源推展。
- 三、本次訪問團同時參訪公民電廠、微電網示範計畫、家用儲能業者、再生能源開發營運業者、大型能源用戶等，了解德國有關智慧電網科技、再生能源併網執行、需求面管理、儲存能源科技、公民參與再生能源專案計畫等方面之經驗，並促成智慧電網產業供應鍊之實質交流，有助於創造產業間彼此合作機會。
- 四、目前德國南部鄉村太陽光電設置的比例非常高，除了道路旁或山坡上的大型案場之外，住宅屋頂的設置情況也很普遍，除早年太陽光電躉購費率具備吸引力之外，民眾的綠能意識也是重要因素之一。爰我國在開發各種綠能發電時，可考量搭配提升民眾綠能意識的相關措施，建構更有利於綠能發展的環境。
- 五、世界各國隨自由化程度或方向的變化，電業管制的程度與市場架構也有差異，德國分享微電網技術的發展經驗，確實有助於穩定電力系統，雖然系統分割未必真的有利於競爭，惟鑑於 106 年 815 全臺大停電事件，顯示我國現行集中式電力系統之脆弱。目前政府推動的能源轉型，著重於推動再

生能源發展，除了減少污染排放有利環境永續發展外，也屬於區域性、分散式的電源，正可彌補目前電網的缺點，我國仍應持續朝分散式電力系統方向改革，建構分散式區域電網之理想供電環境。

六、目前德國大型儲能系統的設置並不多見，反而是家用儲能系統的設置量相當可觀，此行受訪的 Sonnen 公司已銷售 30,000 套家用儲能系統，而 PEI (Power Energy International)指出，德國目前安裝的家用儲能系統已達到 85,000 套，總容量達 385MW。因新設太陽光電用戶的餘電收購價格僅有 5~10 歐分，相較於 30 歐分以上的電費明顯偏低，德國民眾將日間餘電儲存到夜間使用即有誘因，惟現階段儲能系統成本仍然過高，我國則因電價較低，尚缺乏此方面的誘因。

## 伍、附錄

- 附錄一：我國「Energy Policy and Smart Grid Activities of Taiwan」簡報
- 附錄二：德國「Cells Energy System of the Future in the Southern German Solar Arc」簡報
- 附錄三：德國「Taiwan Smart Grids- Grids Integration of Renewable Energies」簡報
- 附錄四：德國「energy solutions – made in Germany」簡報
- 附錄五：德國「The Role of the Federal Regulator in the German Power System」簡報
- 附錄六：德國「Pilot Projects Demand Side Management in Baden-Württemberg」簡報
- 附錄七：德國「Challenges and solution approach of the energy transition in Germany」簡報
- 附錄八：德國「Digital, distributed and decarbonized – Challenges and solutions for tomorrow's energy system」簡報
- 附錄九：德國「Welcome to the energy village of Wildpoldsried」簡報

## 附錄一

# 我國「Energy Policy and Smart Grid Activities of Taiwan」簡報

## 附錄二

# 德國「**The Role of the Federal Regulator in the German Power System**」簡報

## 附錄三

# 德國「Challenges and solution approach of the energy transition in Germany」

## 簡報

## 附錄四

# 德國「energy solutions – made in Germany」簡報

## 附錄五

# 德國「**Digital, distributed and decarbonized – Challenges and solutions for tomorrow's energy system**」簡報

## 附錄六

# 德國「**Pilot Projects Demand Side Management in Baden-Württemberg**」 簡報

## 附錄七

# 德國「Taiwan Smart Grids- Grids Integration of Renewable Energies」

## 簡報

## 附錄八

# 德國「Csells Energy System of the Future in the Southern German Solar Arc」簡報

## 附錄九

# 德國「Welcome to the energy village of Wildpoldsried」簡報