

出國報告（出國類別：實習）

研習英國儲能系統應用

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱： 蔡金助 電機工程監

吳承翰 電機工程師

鄭宇軒 電機工程師

派赴國家/地區：英國

出國期間：108年12月15日至108年12月23日

報告日期：109年2月20日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習英國儲能系統應用

頁數 51 含附件 是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／02-23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

蔡金助／台灣電力公司／電力調度處／電機工程監／02-2366-5815

鄭宇軒／台灣電力公司／電力調度處／電機工程師／02-2366-6610

吳承翰／台灣電力公司／綜合研究所／電機工程師／02-8078-2269

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：

出國期間：108 年 12 月 15 日至 108 年 12 月 23 日

出國地區：英國

報告日期：109 年 2 月 20 日

分類號／目：

關鍵詞：

系統慣量(Inertia)、電力調度(Dispatch)、離岸風力(Offshore Wind Power)、儲能系統(Energy Storage)、能源轉型(Energy Transition)

內容摘要：

我國近年推動能源轉型，面對風力與太陽能發電之間歇性及不可控性等問題，既有電力系統運轉模式將面臨重大衝擊與挑戰。除了調整再生能源推動策略、完善市場規則外，隨著儲能系統相關技術的快速發展，相關應用案例已陸續併網，用以協助改善大量再生能源情境下系統慣量不足、系統頻率調節及再生能源出力平滑化等應用。然而，儲能系統仍屬創新應用，相關併聯規範、系統監控、運轉維護及市場規則等問題仍需進一步深入瞭解及規劃。英國在目前大量再生能源併網情況下，已裝置超過 400MW 儲能系統，經由此計畫之執行，學習英國成熟的

政策方向和配套措施，以強化本公司未來儲能與再生能源相關之發展策略、系統採購、規則訂定及運轉應用之相關技術能力。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網
(<https://report.nat.gov.tw>)

目錄

壹、 目的.....	6
貳、 過程.....	7
參、 各實習單位主要業務內容介紹.....	9
3.1 OVO Energy	9
3.2 英國商業、能源和工業策略部(BEIS)	12
3.3 Reactive Technologies	23
3.4 National Grid ESO	28
3.5 Energy Systems Catapult	34
3.6 EA Technology.....	37
3.7 Innogy	41
3.8 University of Sussex	43
肆、 心得及建議.....	44
伍、 參考文獻.....	50

表目錄

表 1 出國行程表.....	8
----------------	---

圖目錄

圖 1	OVO Energy 辦公室	9
圖 2	會議室中雙方合影.....	11
圖 3	英國 2050 年淨零碳排目標 [2].....	13
圖 4	BEIS 與台電公司、工研院、學術團隊會議合影.....	13
圖 5	近年英國各燃料別發電佔比變化 [2].....	14
圖 6	2009 至 2018 年英國再生能源裝置容量與發電量變化 [2].....	15
圖 7	英國互連融通輸電線路容量規劃 [2].....	16
圖 8	價差合約制度(CfD)示意圖 [2]	17
圖 9	目前為止之英國容量市場結果 [2].....	18
圖 10	近年 BEIS 推動智慧電力系統的方向 [2]	19
圖 11	Vattenfall's Pen y Cymoedd 儲能系統	22
圖 12	GridMetrix 顯示畫面示意	24
圖 13	GridMetrix 系統架構	25
圖 14	XMU 和 PMU 的差異性比較.....	26
圖 15	可擴展量測單元(XMU).....	26
圖 16	英國電力供應架構示意.....	29
圖 17	本次參訪之 Energy Systems Catapult Cannon House	34
圖 18	碳排放盤點.....	35
圖 19	ESC 重新思考電力市場的方向之一	35
圖 20	Energy Catapult 與我方團隊會議影像	36
圖 21	系統操作畫面.....	39
圖 22	Innogy 與我方團隊會議影像	41

壹、目的

我國近年推動能源轉型，規劃 2025 年再生能源裝置容量超過 26.9GW，發電占比達到系統 20%。面對風力與太陽能發電之間歇性及不可控性等問題，如裝置容量持續增加達一定規模後，既有電力系統運轉模式將面臨重大衝擊與挑戰。

若要使大量再生能源順利加入系統，國家必須有周全電力市場與法規設計，相對應的配套措施亦須審慎評估，利用新興科技解決新時代的問題。隨著儲能系統相關技術的快速發展，相關應用案例已陸續併網用以協助改善系統慣量不足、系統頻率調節及再生能源出力平滑化等應用。然而，儲能系統仍屬創新應用，相關併聯規範、系統監控、運轉維護及市場規則等問題仍需進一步深入瞭解及規劃。為使本公司訂定適宜再生能源與儲能發展策略與應用機制，進而採購或自建適當之儲能系統，以提供系統優質之輔助服務，維持系統運轉可靠度。實習行程主要針對輸電級儲能之設計、建置、併網、運轉及監控等各相關技術面向進行學習，並通盤檢討現行再生能源發展方向與相關配套，以作為本公司發展相關儲能應用之參考。

本次行程係受英國在台辦事處邀請，赴英國了解有關再生能源與儲能系統發展現況，從政策、法律與規則制定、英國電力系統運轉調度，到英國因儲能系統發展而扶持之相關公司。英國目前已裝置超過 400MW 儲能系統，經由此計畫之執行，以強化本公司未來儲能與再生能源相關之發展策略、系統採購、規則訂定及運轉應用之相關技術能力。

貳、過程

本次實習行程於 108 年 12 月 15 日自桃園中正機場出發，經泰國曼谷轉機並抵達倫敦後，於 108 年 12 月 16 日上午開始至 108 年 12 月 22 日期間，陸續參訪售電公司 OVO Energy、英國商業、能源和工業策略部 BEIS、即時系統慣量監測服務公司 Reactive Technologies、英國電力調度中心 National Grid ESO、電力產業研究機構 Energy Systems Catapult、電力系統整合服務顧問公司 EA Technology、離岸風力廠商 Innogy、Sussex 大學等電力相關單位。於 108 年 12 月 22 日由 LHR 英國希斯洛國際機場搭機啟程返國，經 BKK 泰國曼谷國際機場轉機，並於 108 年 12 月 23 日平安返抵國門，圓滿完成任務，結束此次實習行程。出國行程如表 1 所列。

表 1 出國行程表

時間	地點	工作概要
108.12.15	台北→倫敦	往程
108.12.16	倫敦	拜訪 OVO Energy，實習電力公司發展儲能系統與電動車之推動及管理。
108.12.17	倫敦	上午拜訪英國商業、能源和工業策略部(BEIS)，實習國家再生能源與儲能系統等能源政策推動方式與配套。 下午參訪 Reactive Technologies，實習該公司之即時系統慣量監視系統(GridMetrix®)之相關技術應用。
108.12.18	沃金漢姆	National Grid ESO 實習大量再生能源系統調度實務與規劃、儲能參與輔助服務之項目與機制、儲能監控及通訊要求、調度運轉方式、儲能參與電能市場之應用及結算機制。
108.12.19	伯明翰	拜訪 Energy Systems Catapult，實習儲能系統之整合、設備、工程、管理及運轉面等相關技術問題。
108.12.20	倫敦 哈維奇	上午拜訪 EA Technology，實習儲能系統與離岸風力系統商參與輔助服務管理技術及商業策略。 下午拜訪 Innogy 調度中心，實習離岸風力系統商發展情況，了解引入儲能設備穩定出力實際商轉情況、管理技術及商業策略。
108.12.21	布來頓	拜訪 University of Sussex，實習儲能系統之相關政策面、設備面及未來發展等相關議題。
108.12.22~ 108.12.23	倫敦→台北	返程

參、各實習單位主要業務內容介紹

3.1 OVO Energy

Ovo Energy 是一家位於英國布里斯托爾的能源供應公司。它由斯蒂芬·菲茨帕特里克(Stephen Fitzpatrick)於 2009 年創立，以買賣電力和天然氣為其主要業務，供應範圍橫跨全英國。截至 2017 年 6 月，他們擁有 68 萬客戶，市占率達 2.5 %。OVO 於 2020 年 1 月完成了對蘇格蘭與南方電力公司(Scottish and Southern Energy plc, SSE)零售部門的收購，從而成為了六大巨頭和英國第二大能源供應公司，目前所供應的用戶約為 500 萬戶。 [1]



圖 1 OVO Energy 辦公室

OVO Energy 積極發展智慧能源技術，讓用戶有聚焦於用戶端之用電彈性最大化。因此，除了併購以電動車、電熱系統用電彈性為主要業務的 VCharge 之外，亦擁有一智慧能源平台公司 Kaluza。

Kaluza 為 OVO Energy 的子公司，主要服務為發展電動車、電暖系統聚合平台，並同時開發智慧充電樁，提供智慧充電服務，主要之客戶為電業。英國對於智慧充電樁補助為 500 英鎊，補助後的價格約為 300 英鎊。Kaluza 之電動車用戶可以選擇以下三種方案之一進行充電規劃，分別為最小排碳量、最低充電成本與即刻開始/停止充電。而使用 Kaluza 聚合平台之電業可以得到下列 Kaluza 所提出的附加價值之其中一種：(1) 免費智慧充電樁 (2) 570 英鎊充電，此數字為是在電能批發市場上獲得的期望價值。

Kaluza 公司目前亦參與英國所推出的 V2G 試驗專案，此專案預計設置 1000 座 V2G 充電樁，目前已有 200 座已完成安裝。這些充電樁可使用乙太網路、wifi、或 4G 進行通訊，並且具 6 kW 雙向充放電的功能。電動車若需要從電池釋放電能至電網，則放電的路徑為 V2B2G，先由電池放電至建築物，再由建築物之配電系統至電網。對於 V2G 應用來說，儲能系統的雙向充放電效率為操作之關鍵。

Kaluza 公司建置之雲端平台具有電價預測功能，可針對即時電力市場價格進行充電最佳化。在充電樁與電池狀態允許的狀態下，電動車主可以自行設定在指定的時間前必須將電池充滿到指定電量，並且若有需要的話，車主亦可更新設定值以覆寫先前設定。每個充電樁的資訊以每秒鐘記錄並回傳，而 Kaluza 的平台蒐集所有電動車資訊後，每分鐘會透過平台對所有充電樁發布一次控制指令，此指令來自於每分鐘的電動車聚合資訊以及即時市場之價格進行最佳化。除了接收即時市場價格之外，技術團隊表示任何市場資訊皆可以做為充電最佳化的依據之一。

Kaluza 公司目前短期規劃參與英國電網的試驗專案，預計聚合 300 台電動車，並分成兩組給予不同價格訊號，測試在這些價格下電動車的反應分別為何。此專案預計給予每台車 50 英鎊之回饋。長期規劃部分，該公司預計利用電動車之用電彈性作為減緩配電系統壅塞情況的資源之一，WPD 電力公司預計在兩年內開啟此類應用之市場。此外，該公司目前亦考慮利用電動車用電彈性或 V2G

參與 National Grid 的快速頻率反應，此項之可行性仍在討論中。

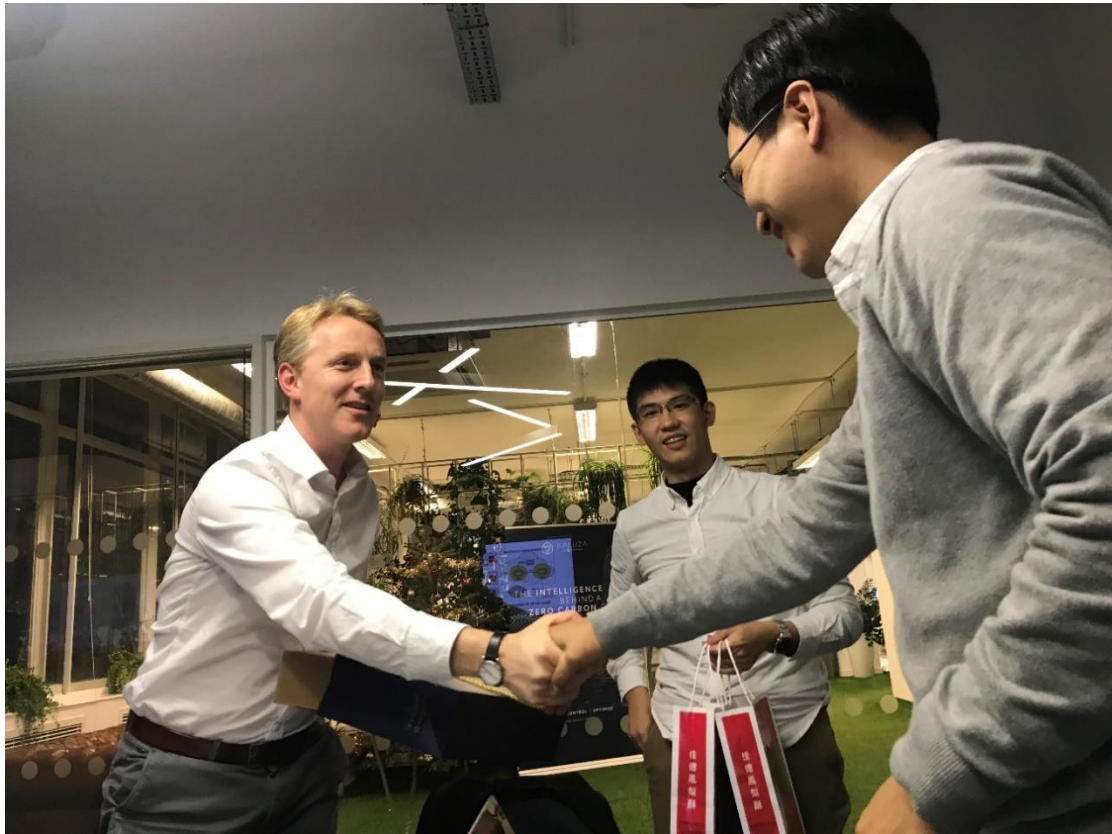


圖 2 會議室中雙方合影

3.2 英國商業、能源和工業策略部(BEIS)

商務、能源和產業戰略部 Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS)是負責商務、產業戰略、科學研究創新、能源、清潔發展和氣候變化的英國政府部門，由德蕾莎·梅伊首相創建於 2016 年。此部的前身為商務、創新和技能部(Department for Business Innovation and Skills)和能源和氣候變化部(Department for Energy and Climate Change)，將商業、產業戰略、科學與創新的責任與能源和氣候變化政策融合，繼承了其兩個前身部的職能。BEIS 的責任包含：

1. 制定和實施全面的產業戰略，引導政府與企業的關係
2. 確保英國擁有可靠、實惠和清潔的安全能源供應
3. 確保英國始終處於科學、研究和創新的前沿
4. 應對氣候變化

英國是世界第五大經濟體，2018 年成為歐洲外商投資的第一大目標，世界排名第六。成功的背後，英國擁有強大的監管框架和法治，不會追溯政府政策，同時政府也強力支持新與研發，積極推動新興技術，帶動整體健康的創業與投資環境。

BEIS 的工業策略，是要提高整個英國的生產力和增加盈利能力。近期迎接未來社會的變革，主要有「人工智慧與數據(AI & Data)」、「老年化社會(Ageing Society)」、「潔淨發展(Clean Growth)」、「未來移動(Future of Mobility)」等四個重大挑戰。其中，潔淨發展的使命是希望到 2030 年時，至少將新建築物的能源使用量減半；而未來移動的目標，是將英國至於零排放車輛設計和製造的最頂尖位置，到 2040 年，所有新車和貨車將達到零排放，並且將積極發展充電基礎設施，達到 100%電動車的目標。

UK Climate Commitment and Emission Reduction Targets: Net Zero Emissions by 2050

The UK has signed and ratified the COP 21 Paris Agreement and its government remains strongly committed to reducing greenhouse gas (GHG) emissions. In 2019, the UK became one of the first major economies in the world to legislate for a net zero target (net zero greenhouse gas emissions from across the UK economy by 2050).

UK Climate Change Act passed in 2008 with cross-government support.

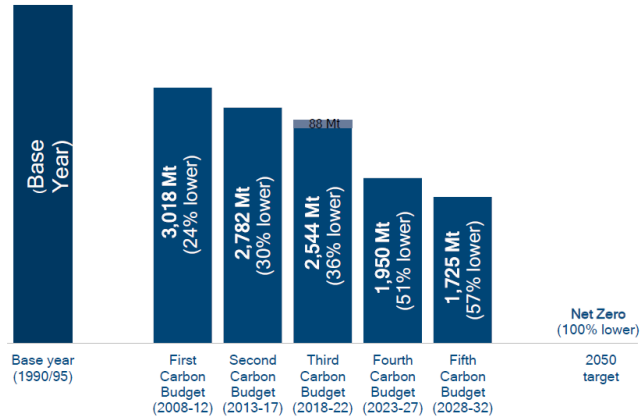
It provides a framework for reducing GHG emissions through:

1. **Setting a long-term target.** This has been revised from at least 80% to at least 100% reduction in GHG emissions by 2050 compared to 1990 levels i.e. “net zero”.
2. **Setting carbon budgets** - legally binding targets which cap GHG emissions from across the UK, on a trajectory to meet our long-term target.
3. **Establishing the Committee on Climate Change** – advises government on emission reduction targets and scrutinises plans for delivery.

Carbon budgets:

- Cap GHG emissions over successive 5 year periods.
- Budgets must be set 12 years in advance.
- The 6th carbon budget must be set by the end of June 2021.

UK carbon budgets and 2050 target



Source: BEIS, UK legislation

Net Zero by 2050

圖 3 英國 2050 年淨零碳排目標 [2]



圖 4 BEIS 與台電公司、工研院、學術團隊會議合影

英國的能源管制單位體制，由上至下分別為負責政策制定及容量市場框架的 Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS)、規範制定、保護消費者利益並確保參與者遵守市場法規之獨立監管機構 Office of Gas and Electricity Markets (Ofgem)，以及最終執行單位 National Grid ESO，為負責電力系統運作單位以及電力市場轉型等政策之執行單位。

近年來，英國的能源佔比正經歷重大的變化，自 2013 年引入碳價格下限後，2018 年再生能源裝置容量達到 44.3GW，有 33% 的電能來自再生能源，太陽光電在 2011 年至 2018 年之間增加了 10.5GW，也使得 1990 年至 2018 年，其二氧化碳年排放量已減低 79%。其中，藉由 FIT 電價補貼 (Feed-In Tariff) 和再生能源義務 (Renewables Obligation, RO) 等政府政策，小型和地區分散型再生能源發電容量持續顯著增長。

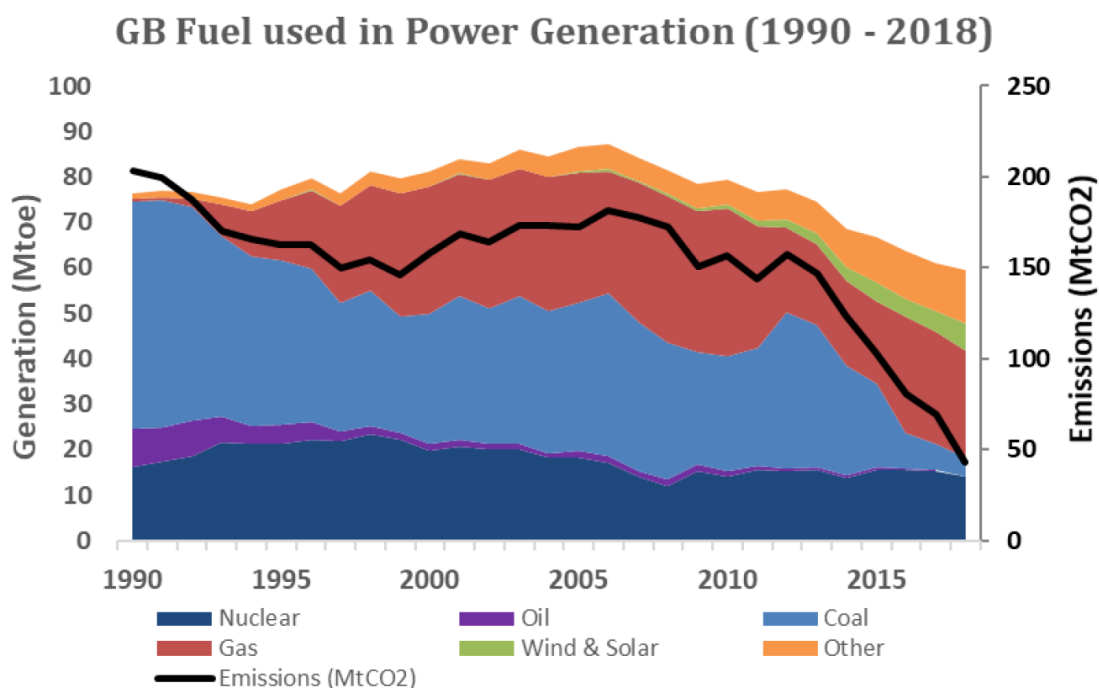


圖 5 近年英國各燃料別發電佔比變化 [2]

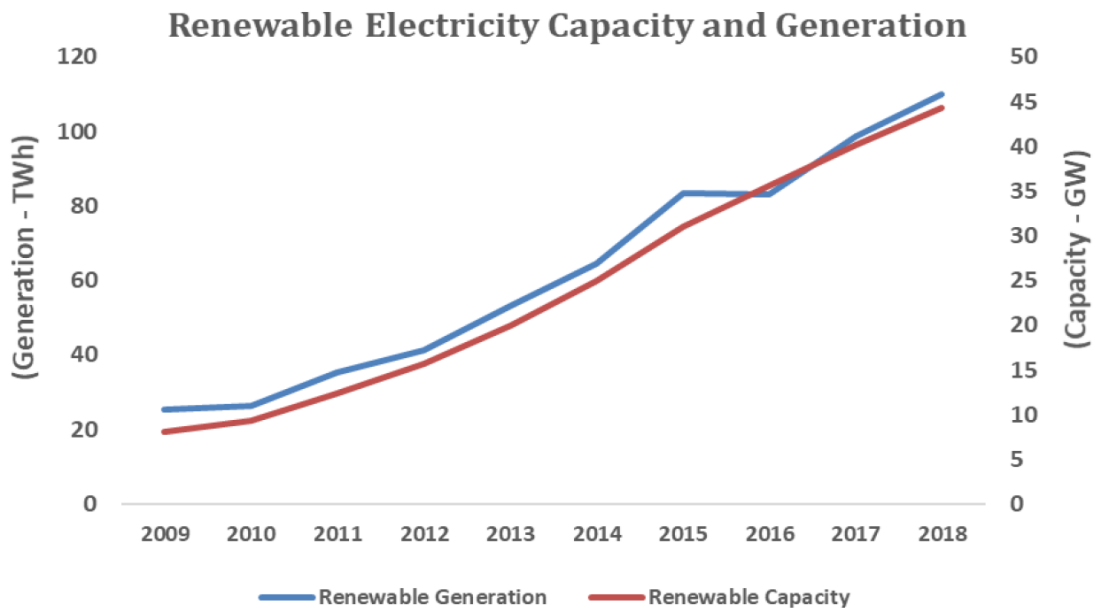


圖 6 2009 至 2018 年英國再生能源裝置容量與發電量變化 [2]

英國於近期訂下一目標，預期在 2050 年達成電力系統零排碳運轉，並預計在 2025 年停止使用原煤作為發電燃料。此目標並非針對一整年皆不使用火力發電為目標，而是在一年中至少數天可完全依賴再生能源。而在 2019 年，已有 63 天在完全不使用燃煤電廠的情況下供應全英國發電。而在再生能源高佔比的情況下，不可避免地系統慣量將會持續降低。與台灣孤島系統不同，英國電網和其他鄰近國家有數條互連傳輸線，可以彼此融通電力，共同維持系統運轉的穩定性。隨著再生能源的量不斷增長，除了現行 5GW 的傳輸容量，英國持續建造新的互連線路，目前有 3.4GW 的互連線路正在開發當中。目前英國互連融通輸電線路容量規劃如圖 7 所示。

英國作為自由市場的捍衛者，過去十分堅持「固定電價與資本主義精神相悖背」的原則，也因國內的再生能源發展老是一蹶不振，最終也只好於 2010 年採取固定電價制度，積極的鼓勵可再生能源業者，確保使用再生能源發電的個人或者電力公司的投資獲得穩定的收益。 [3]目前台灣對於再生能源發出的電能也是以 FIT(Feed in Tariff)躉購為主，政府將每年公布再生能源躉購費率，台電公司將

以固定費率保證收購合約期間的所有電能。

Interconnector capacity continues to grow

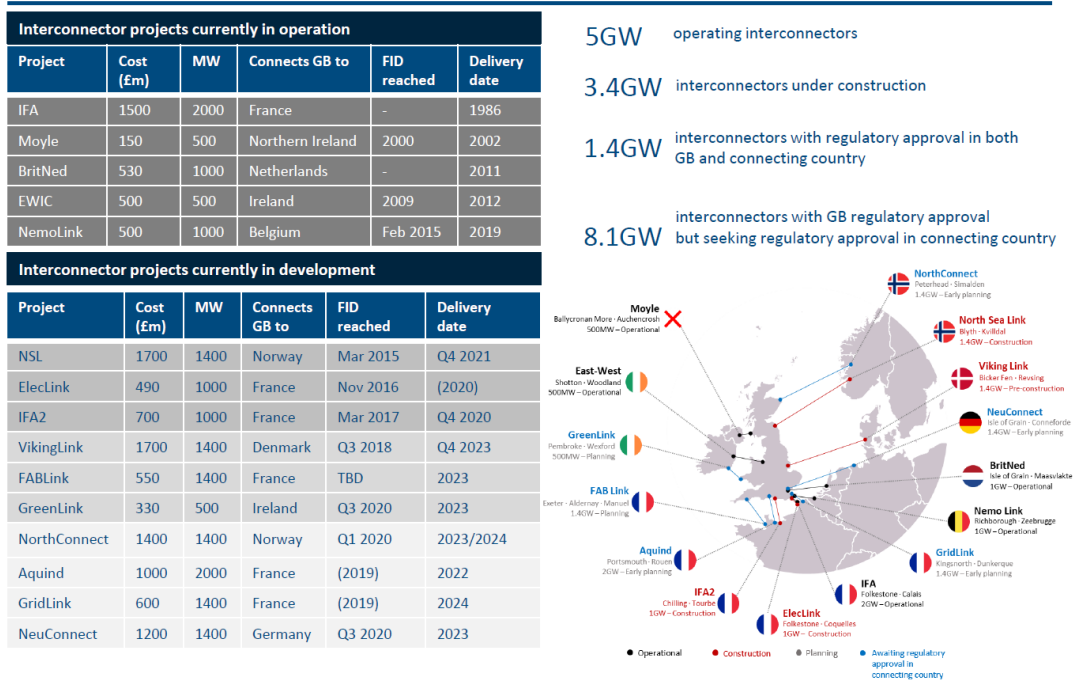


圖 7 英國互連融通輸電線路容量規劃 [2]

隨著再生能源不斷成長，當前英國的能源發展聚焦於以下兩項目：價差合約制度(Contract for Difference, CfD)以及容量市場，並取消再生能源 FIT 制度。CfD 於 2014 年推出，是低碳發電商(low carbon electricity generator)與政府擁有的低碳合約公司(Low Carbon Contracts Company, LCCC)之間的私法合約(private law contract)。再生能源的補助改成價差合約制度 (CfD)，目的在於鼓勵再生能源等低碳電廠開發，提供長期穩定價格，以價差補貼保證再生能源的得標價不會低於市場價格，使投資能夠以較低的資本成本進行發展，對消費者而言成本也可以降低。根據 CfD 的規則，支付給發電機的金額為「執行價格」(strike price，反映特定低碳技術投資成本的電價)與「參考價格」(英國市場中平均電價的度量)之

間的差額，當批發電價高於執行價格時，發電機將被要求償還。藉由減少發電商暴露在波動批發價格中的機會，CfD 可以使發電商獲得更大的確定性和穩定性，同時還可以防止消費者在電價高昂時支付更高的支持費用。CfD 付出的款項可以藉由對英國所由電力供應商收費回收，而電力供應商們也會將成本轉嫁給消費者。價差合約制度(CfD)示意如圖 8 所示。

Contract for Difference (CfD) – An illustration

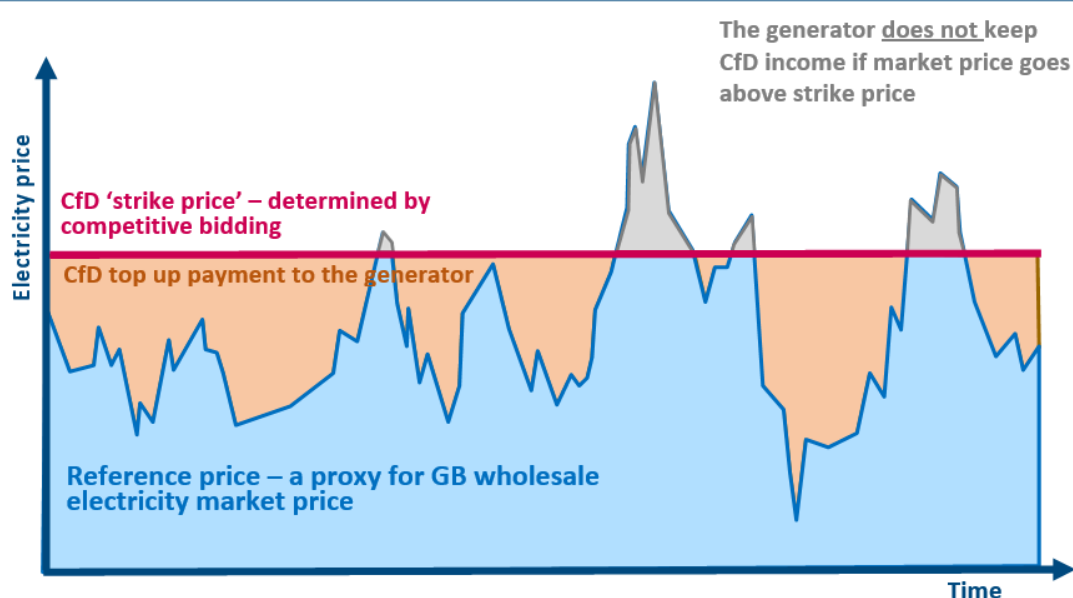


圖 8 價差合約制度(CfD)示意圖 [2]

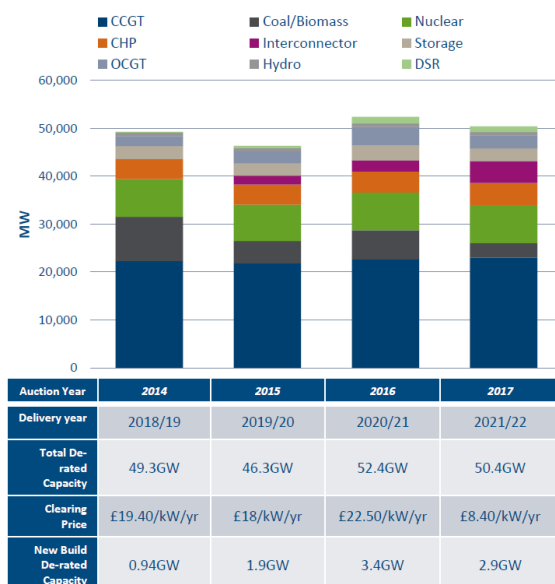
容量市場部分，英國容量市場的採購目標是為了使電網滿足 3 個小時的缺電時間期望值(Loss of Load Expectation, LOLE)，以提供穩定供電。在容量市場中，各個資源的價格皆被同等對待，技術之間保持中立，但每種資源在市場上所等效之容量值仍受不同的 derating factor 規範，例如 CCGT 為 90%，風力、太陽能分別為 8%與 2%。目前容量市場的最小參與容量為 2MW，未來可能會降低到 1MW。若儲能系統可提供 3 個小時以上電能，亦可參與容量市場。

在 2020 年第一季會開啟下一輪的容量競標，此次競標預計購買在 2022 至

2024 年實際投入發電的容量。容量市場對於若未能履約的機組亦有罰則，其分為兩種，若無法如期建置完成，則會有巨額罰款，若是建置後發電容量無法達到合約所訂之容量，則至多有四次罰款並要求改善，若四次通知後皆無法達成，則會失去容量市場的合約。

會談中 BEIS 團隊表示，目前容量市場的採購量看似大於實際需求，但由於英國政府傾向以維持系統穩定度為目的，因此近期之採購還是會如規劃舉行。

Capacity Market Results to date



Capacity Market so far:

- Four “T-4” auctions held so far have bought target capacity with apparently good value for money.
- We are seeing diversity in generation winning agreements; gas, nuclear, battery storage, DSR, interconnectors.
- In 2019 we undertook a statutory 5-year review of the mechanism and identified numerous areas to look at in more detail:
 - The introduction of unsubsidised wind and solar projects
 - Re-assess interconnector de-ratings
 - Participation of foreign generators
 - Reviewing the penalty regime

Next round of auctions:

- The next round of auctions will take place in the first quarter of 2020 for delivery in 2022/23 and 2023/24.
- There is potential for new-build projects to come forward as old coal, gas and nuclear capacity begin to retire in mid-2020's.

圖 9 目前為止之英國容量市場結果 [2]

智慧能源與電動車發展的部分，BEIS 於 2017 年 7 月推出了「智慧系統和系統彈性計畫」(Smart Systems and Flexibility Plan, SSFP)，Ofgen 和整個電業將採取 38 項行動方案，包含消除儲能系統等新型智慧科技參與市場的障礙、推動智慧家庭和智慧企業、為新科技參與市場建立商業模式。截至目前，已有 22 項行動方案完成，其餘 16 項將於 2022 年完成。

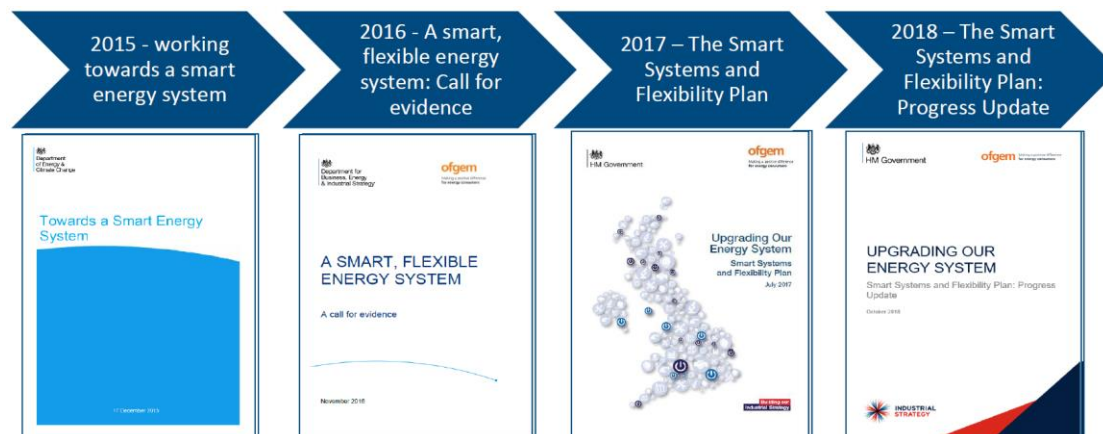


圖 10 近年 BEIS 推動智慧電力系統的方向 [2]

對於電動車的推動，英國政府提供 15 億英鎊補助電動車與充電基礎設施，期望能夠達到 2030 年 50~70% 的新車為超低碳排車輛、40% 為低碳排新貨車，2040 年停止銷售已汽油或柴油為燃料之內燃機新車。政府提供以下補助：

對於駕駛者：

1. 2020 年前，購買電動車或燃料電池車，最高可補助 3,500 英鎊。
2. 2019 年 4 月以前，插電式貨車可補助 20% 車價，最高補助 8,000 英鎊。前 200 輛大型貨車，最高可補助 20,000 英鎊。
3. 投資 5,000 萬英鎊用於插電式計程車補助，計程車司機最高可獲得 7,500 英鎊之新車補助。
4. 插電式機車補助最高 20%、1500 英鎊。
5. 2019 年 2 月提供超低碳排公車計畫獲獎之 19 間廠商 4,800 萬英鎊的補助，用來購買 263 輛超低碳排公車，並包含 1,420 萬英鎊的充電基礎設施。

對於充電基礎設施：

1. 成立充電基礎設施投資基金(Charging Infrastructure Investment Fund,

CIIF)，資金來源包含政府出資 2 億英鎊與私人投資 2 億英鎊。

2. 電動汽車充電計畫，提供 500 英鎊補助家用充電器，目前已安裝超過 6 萬具。
3. 路邊充電計畫，補助地方政府成立路邊充電樁，目前已有 28 案申請安裝超過 1,000 個充電點。
4. 工作場所充電計畫，補助每個插座最高 500 英鎊，可為員工和車隊安裝 20 個充電插座。目前已有超過 300 個組織申請，安裝超過 1,000 個充電插座。
5. 投資 2,000 萬英鎊建置租賃車充電基礎設施。

對於儲能系統的推動，目前 BEIS 已經進行了以下工作：

1. 諮詢修改儲能設施的發電許可證(licence for storage facilities)，連結 FCL 政策。
2. 撰寫參與 RO 和 FIT 計畫之共同地址發電指引。
3. 清楚定義 DNO 儲能系統調度操作的規則。
4. 為改革網絡收費提出法規修訂。
5. ENA 開放網絡計畫正在進行中，制定 IET 連接小型儲能系統的操作規範。
6. 成立由業界主導的健康與安全治理小組，負責審查、整合和改進 H&S 框架。
7. 制定法規允許 DNO 收取評估和設計費用以反映儲能導入成本。

未來 BEIS 將推動以下工作：

1. 在 1989 年電力法案(Electricity Act 1989)中定義儲能系統。
2. 最終確定儲能系統的許可框架。
3. 諮詢儲能系統的規劃處理（NSIP 閾值）。
4. 繼續支持 H&S 治理小組。

5. 確保 CfD / CM 機制徵收適當的儲能系統費用（FCL 政策的一部分）。
6. 由業界提供充電法規修改意見。
7. ENA 諮詢有關隊列管理的具體方法，並為系統彈性服務提供者提供併網指南。

為推動儲能系統技術創新，BEIS 目前已推動以下政策：

1. 承諾提供高達 7,000 萬英鎊補助智慧能源之創新，直到 2021 年。
2. 耗資 2.46 億英鎊舉辦法拉第電池挑戰賽(Faraday Battery Challenge)，領導電動汽車電池的研發和製造。
3. 將投資 2000 萬英鎊用於早期技術準備研究和第三輪合作研發項目。
4. 耗資 1.02 億英鎊從能源革命計劃(Energy Revolution programme)開始繁榮發展，以開發跨電力/熱力/運輸的綜合本地能源解決方案。

有關近期先進儲能系統的實驗，2018 年 2 月時，BEIS 與瑞典 Vattenfall 公司共同合作，使用 BMW i3 之鋰離子電池，於南威爾斯建置 Pen y Cymoedd 22MW/11MWh 儲能系統。本計畫得標調度中心 4 年期的強化型頻率響應(Enhanced Frequency Response, EFR)合約，提供亞秒級(sub-second) 之頻率響應輔助服務，同時也可以將 EFR 收入與 15 年的容量市場協議相結合，獲得合理的報酬。值得一提的，本儲能系統與 Vattenfall 的 228MW 陸上風電場位於同一地點，為英國最大的鋰離子電池儲能系統與再生能源同址案場，可以和風力案場共享基礎設施，以減少資本支出。



圖 11 Vattenfall's Pen y Cymoedd 儲能系統

3.3 Reactive Technologies

Reactive Technologies 是一家位於英國的創新能源技術公司，主要產品為電力系統的慣性測量系統 GridMetrix，該系統已在數個試驗計畫中完成實驗，成功量測到系統即時慣量，包括和英國 National Grid ESO 合作的 SIM 計畫和東京電力公司(TEPCO)進行的 TIM 計畫，目前持續在英國與其他數個地區推廣該系統。

截至目前，大多數電力公司是使用電力系統模擬軟體，建立火力、水力等傳統發電機組與其他發輸配電設備及負載來模擬評估系統慣量。隨著風力與太陽能發電的成本不斷下降，再生能源滲透率不斷提高。然而，風能和太陽能等藉由電力電子轉換器發電之再生能源，並不會貢獻傳統同步發電機所提供的慣性，若再生能源成為主要發電來源又無法提供慣量時，將導致系統可能因為慣量不足，當發生負載大幅變動或其他事故發生時，觸動保護系統低頻電驛卸除負載。

對於電力系統運轉單位而言，能夠即時量測系統慣量是一項重大的技術進步，除了可以減少對於系統模型的依賴，亦可以使調度人員直接藉由可視化界面，掌握系統目前的慣量大小，規劃未來短中期電源調度策略，確保系統隨時保持適量的慣量。對於系統規劃分析人員而言，可以藉由系統歷史慣量資料庫，分析系統於各種情境的特性，並規劃長期電源開發與相關配套措施，使系統得以安全容納更多再生能源發電，而不會損害系統供電安全，達到能源轉型的目標。

GridMetrix 是一項雲端的系統慣量測量和分析服務，可提供慣量與一些即時系統數據，是一項突破技術。Reactive Technologies 公司內電信專業知識和數據科學家採用電網作為通訊通道的創新方法，藉由發送訊號到電力網路中，大數據技術分析技術電力擾動的情況，量測到以前看不見的慣性。GridMetrix 系統具有以下特色：

1. 直接慣量量測：目前唯一一個電網慣性測量服務，可在日益不穩定的能源環境中實現更高效的電網管理。
2. 即時事故偵測：增強了頻率和 RoCoF 的可見性，可提供即時事故檢測。

3. 節省成本：詳細的事後分析有助於更有效的精進輔助服務採購、電網規劃和設備投資策略，降低總體成本。
4. 使用高度可擴展性 XMU 量測電網邊緣數據：使用可廣泛部署的可擴展量測單元(Extensible Measurement Unit, XMU)，大範圍建置於系統配電末端及重要節點，量測系統各處的資料，配合雲端伺服器的演算可提供深入的洞察力。
5. 即時數據顯示：準確測量電力品質和關鍵電網運轉數據，例如諧波、電壓波動、次同步振盪、相角和頻率。
6. 雲端平台：使用安全的網路進行快速將 XMU 蒐集到的數據，快速回傳雲端資料儲存與分析伺服器進行大數據分析。



圖 12 GridMetrix 顯示畫面示意

GridMetrix 系統之動作原理，是在系統上建置調變器(modulator)，讓調變器在系統中產生一個很小的頻率擾動，再用廣泛部建於整個系統中的 XMU 記錄頻率擾動訊號，並用網路將量測到的資訊回傳給資料儲存和分析伺服器 GridMetrix Cloud。GridMetrix Cloud 中的大數據計算分析服務，可以處理數據資料並產生系統慣量量測值，最後透過 GridMetrix®UI 視覺化界面呈現即時的慣量量測值。雲端平台符合 ISO 27001 安全標準，可確保關鍵數據保持資通訊安全。

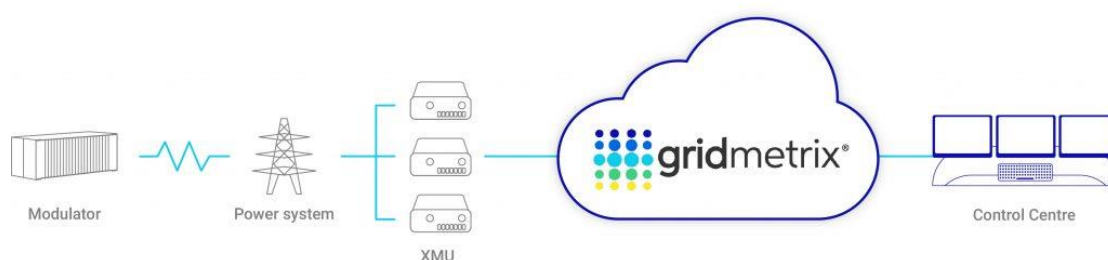


圖 13 GridMetrix 系統架構

XMU 利用網路連接，不斷持續測量電網各重要節點之頻率、電壓大小和相角，並將這些數據資料上傳至雲端的資料儲存中心和分析平台。除了監視功能之外，XMU 還能夠控制電氣資產，例如發電機，負載，電池，電容器和飛輪。XMU 與目前電力公司主要使用的相量測量單位(PMU)很相似，但是建置成本和擴充性方面存在一些差異。與 PMU 相比，XMU 成本較低，從而使 GridMetrix 服務可以經濟高效地覆蓋更大的地理區域。此外，XMU 在配電系統中可即插即用，容易安裝。

除了輸電網路之外，此系統也可以使配電網絡運營商更了解配電系統的狀況，更聰明的進行電網規劃，提高投資預測能力，延後或避免配電網絡升級，降低自身和最終客戶的成本。

Reactive's XMU	Generic PMU
<ul style="list-style-type: none"> • 'Grid edge' measurement <ul style="list-style-type: none"> ❖ Single-phase at 110/220 V ❖ Frequency, Voltage, Voltage-angle • Less costly device & installation costs • Ability to control assets remotely • More data points -> more insight • 'Extensible' <ul style="list-style-type: none"> ❖ Firmware can be changed remotely ❖ Functionality can be changed per application • Cloud connection <ul style="list-style-type: none"> ❖ Quicker installation for deployment ❖ Cheaper telecommunications link ❖ Scalable to big-data due to cloud-computing and infrastructure ❖ Secure VPN connection • Technology as a service <ul style="list-style-type: none"> ❖ Lower CAPEX investment ❖ Maintenance part of the service ❖ High quality data without the hassle 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission-level measurement <ul style="list-style-type: none"> ❖ 3-phase at >132 kV typically ❖ Frequency, Voltage, Voltage-angle • Fewer data points due to cost of scaling the technology • Fixed functionality <ul style="list-style-type: none"> ❖ PMUs are capable of an array of functionality, but this is dependent on both their configuration, i.e. M class or P class, and on their application • Costly dedicated connection <ul style="list-style-type: none"> ❖ Slower deployment ❖ Expensive telecommunications link • High CAPEX costs for <ul style="list-style-type: none"> ❖ Installation ❖ Maintenance ❖ Upgrade

圖 14 XMU 和 PMU 的差異性比較



圖 15 可擴展量測單元(XMU)

西元 2017 年 10 月 3 日，Reactive Technologies 和英國國家電網宣布成功完成 Project SIM，這是有史以來第一次對整個能源網絡中的電網穩定性（系統慣量）進行連續測量和監控。 [4]Project SIM 是一個由 Ofgem 電網創新補助的實驗計畫，使用 Reactive Technologies 的 GridMetrix 解決方案，使用其新穎的電信技術「電網數據測量系統（GDMS）」，試圖探索如何將該公司的技術用於準確測量慣性，最終證明它可以全天候主動地測量整個英國電網的慣性。

為了達成 2025 年零碳目標，National Grid ESO 已與 Reactive Technologies 於 2019 年簽署了一項六年的採購合作協議，建置一套在英國範圍內使用的 GridMetrix 慣量量測和分析服務。協議包括兩個階段，第一個階段將涉及硬體和軟體的建置和交付，而第二個五年階段提供慣量測量服務。硬體建置的部分包含大型超級電容器作為調變器，可用於向電網注入功率，並藉由 XMU 測量單元直接測量頻率響應並計算系統即時慣量，使調度人員可於調度中心內清楚掌握系通內各區域即時系統慣量情況，並有機會能夠對電網變化做出更快的反應，採取必要的因應措施重新平衡系統，降低因為低慣量造成的停限電情況發生機率。

National Grid ESO 藉由和 Reactive Technology 的合作，建立了一套系統慣量量測的系統，使運轉人員有機會一窺很基本卻又很難量測的即時系統慣量模樣，也了解到各種不同的運轉調度對於電網的影響為何。下一階段，National Grid ESO 將和 Reactive Technology 共同建立一套評比機制，以評估未來 30 年系統慣量的體質。藉由準確的慣量量測結果，可以幫助系統規劃人員更清楚了解未來的電網投資方向，建設足夠的電網並採購適量的儲能與輔助服務，使大量可再生能源可安全加入系統，節省電力公司成本，最終將減少客戶繳交的電費。

3.4 National Grid ESO

英國電業主要由下列幾個單位組成，其功能及角色簡述如下：

1. National Grid ESO

電力營運商 (ESO) 目的是確保電力系統維持安全、可靠及高效的輸送電力。ESO 並不生產電力或銷售電力，ESO 不負責輸電所需的基礎設施，如鐵塔和線路等設備。ESO 主要是確保家庭和企業可獲得所需的電力，雖然目標聽起來很簡單，但要確保每天裡的每一分鐘之電力供需始終保持平衡則是一項複雜且艱鉅的工作。ESO 負責營運整個英國 4,500 英里高架電纜和 870 英里地下電纜之輸電網路，並將電力輸送到較低壓的配電系統；同時當英國自身的電能不足時，可從荷蘭和法國等不同國家進口電力。當英國電力過剩時，也可將電力出口。

2. 輸電公司

國家電網在英國擁有及營運高壓輸電網路，本質上擁有電力流通的「高速公路」。

3. 發電公司

發電是發電公司的責任，它們利用不同資源來產生電力，可能是太陽能、天然氣、風能、核能或是水能。同時他們出售自己產生的電力。

4. 配電公司

英國有 14 個獲得許可的配電運營商 (DNO)，DNO 接受從 ESO 高壓等級傳輸過來的電力，將其轉換為較低的電壓等級後，通過當地配電網路輸送給終端用戶及企業。

5. 電力供應商

供應商從發電公司購買電力，再轉售給終端用戶和企業。用戶可自由選擇他們喜歡的供應商；有些 DNO 同時也兼營供應商。

6. 天然氣和電力市場辦公室(Ofgem)

天然氣和電力系統的獨立監管機構，它的工作是確保系統為客戶服務，同時維持合理價格及確保系統可靠性。Ofgem 在其職責中，訂定了有關如何維持供需平衡，如何處理能源安全以及應採取哪些措施以確保系統正常運行的相關規則。

7. 商業、能源和工業策略部(BEIS)

英國的能源政策最終歸權由政府訂定。BEIS 制訂政策，在投資、安全和運營系統的政策方向上做出選擇，以確保英國能擁有所需的能源、熱力和電能。

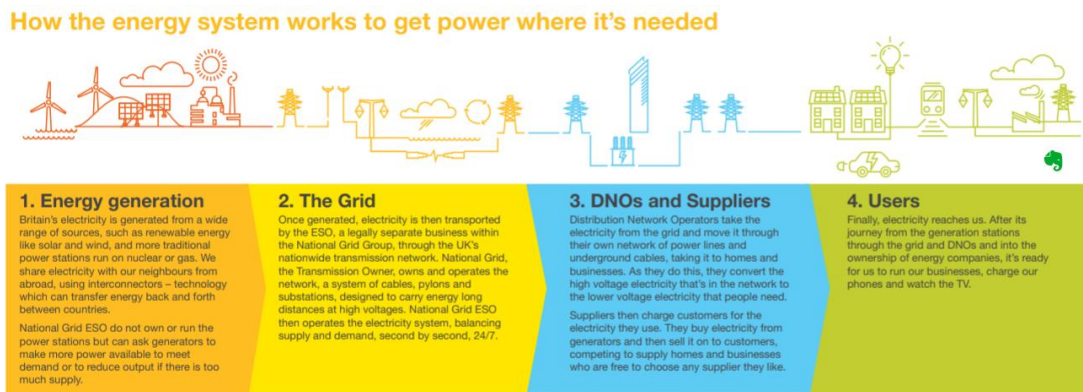


圖 16 英國電力供應架構示意

本次參訪單位為英國的電力系統調度中心 National Grid ESO，負責調度 Scotland、Wales 和 England 電源與電網，藉由調整發電機的發電情況與電網結構，使系統發電與負載隨時保持平衡，系統頻率得以保持於 50 Hz。英國電網有許多互聯通道，可向法國與荷蘭等鄰近區域購買或提供電能。

2017 年，Ofgem、BEIS（商業、能源和工業策略部）和 National Grid（國家電網公司）同意在國家電網集團內創建一具法定行使獨立業務的電力營運商 (National Grid ESO)。National Grid ESO 於 2019 年 4 月 1 日成為 National Grid 集團內的獨立實體，將電力營運商(ESO)業務與 National Grid 輸電業務分開可使電力營運商業務的決策透明化以促進電業競爭，最終造福於終端消費者及電業各利害關係人。

National Grid ESO 於市場平台主要提供即時平衡市場的主要運轉的相關規定及運轉後之即時數據，包含平衡機制的各項平衡運轉數據、費用、運轉報告、規則、併聯規定及其他相關客戶支持的功能，這些客戶需為國家輸電系統(National Electricity Transmission System, NETS)的客戶。有關費用的部分，National Grid ESO 管理輸電系統用戶必須支付的費用問題，並提供計算原則及關於目前電業正在考慮哪些變化的趨勢。有關於電力系統規則部分，National Grid ESO 維護構成英國輸電運營架構與其市場/運轉規則。有關併聯規定的部分，ESO 處理使用國家輸電系統(NETS)的併聯合約各個面向的問題。在出版品方面，ESO 提供範圍相當廣泛的出版品，提供有關於電能的深入的見解和分析，以及有關我們如何塑造英國未來電能系統的相關資訊。National Grid ESO 在創新方面也投入相當大的心力，National Grid ESO 與創新夥伴合作，以適應電力系統的變化，從而使 National Grid ESO 能夠以更新的以及不同的方式運營電力系統。

自從 National Grid 民營化以來，英國的電力系統運轉完全聚焦於市場，以市場為運作導向。若在輸電網路的發展上出現需解決的問題，即把該問題放置到電力服務市場上尋求各種不同的解決方案，並比較各類方案之成本，進行成本效益分析後得到最適合客戶的解答。

本次參訪主要針對 National Grid ESO 的再生能源運轉、儲能及營運等問題提出請益，內容包含以下：

1. 目前系統慣量尚處於試驗階段，已有 online 評估即時慣量之能力，即時量測方式尚未正式上線。
2. 目前英國的 2030 年零碳排的目標，使得越來越多電源來自於負載端，無論是需量反應、儲能設備、電動車或小型再生能源等。然而，隨著市場機制及 IT 技術的進步，運轉策略也越來越有彈性，大量分散式電源目前對於 National Grid ESO 而言不會是太大的問題。

3. National Grid ESO 對於再生能源的運轉規定，取決於其是否參與市場而定，若是無參與市場，則屬於表後用戶的一部份，National Grid ESO 並無對其發電行為作規範，其發電量亦不予以回傳至調度中心監視；然而若其再生能源電廠場域有參加市場，則其每小時排程量、即時運轉狀態監控及併接點之電壓調節能力等規定，皆比照傳統機組接受調度。亦即，再生能源電廠需提供其所預測之隔日每小時發電排程給 National Grid ESO，在接近實際運轉小時前，亦可修正其發電量，在進入即時運轉後，需要提供即時發電監控數據給 National Grid ESO 調度中心，緊急時亦需接受 National Grid ESO 之即時調度指令，其即時發電量與排程發電量的差異值會交由 Elexon 公司進行最後結算。而大量的小容量 PV 發電則會反應至 National Grid ESO 的全系統負載預測中，因此 National Grid ESO 的系統負載預測量已經是反應配電等級 PV 的發電預測量之淨負載，National Grid ESO 則根據這個預測之負載變化準備相對應之各項輔助服務及機組排程狀況。
4. National Grid ESO 的四個營運主軸為：
 - (1) 即時運轉
 - (2) 電網最佳化
 - (3) 未來市場
 - (4) 商業化活動
5. 目前 National Grid ESO 約有 650 位員工，其中 200 位為工程師，200 位為中央控制中心之調度員，另外 250 位則負責市場與商業化之相關業務。
6. 英國計畫在 2025 年達到電力系統零排碳運轉，訂定這個目標後，National Grid ESO 便開始思考這個目標在市場上的意義為何，以及電力市場將會有什麼變化。以暖氣系統轉型為例，使用電氣化暖氣系統或是以合成天然氣皆為可能之選項，但選擇任一項解決方案都會對電力系統發生影響，

而 National Grid ESO 將這個問題交付市場機制解決。

7. 每年 National Grid ESO 大約花費 10 億英鎊在系統運轉上，其中 3 億英鎊作為壅塞管理，例如棄風補償等，另外 3 億英鎊用在電壓管理，1 億 5000 萬英鎊用於系統慣量與 RoCoF 管理，另外 1 億 5000 萬英鎊花費在頻率反應之資源。
8. National Grid ESO 未來的四個目標為：
 - (1) 在 2050 年達成零排放
 - (2) 在系統服務上導入市場機制，製造更多市場競爭之機會
 - (3) 暖氣系統之轉型策略
 - (4) 成為用戶與政府所信任的夥伴
9. 英國電網在 2011 金融海嘯前尖峰負載為 60GW，目前約為 50GW，好發在冬季晚間，持續 1.5 小時左右。境內總共有 3 大 TSO 負責陸上之輸電系統，並有 9 至 10 個營運商負責離岸風電之輸電系統。對外連結的輸電網之容量一共有 4GW，其中 3GW 與歐洲大陸連結，1GW 與愛爾蘭連結，該總容量在未來會增加至 10GW。本次接待我們的代表 Julian 提到，對於一個 50GW 的電力系統來說，若有 10GW 來自與境外連結的電網，則系統上的任何波動將對於電網與電價造成不小的震盪。
10. 在 2019 年，英國曾經有多日電力系統運轉可完全不仰賴燃煤電廠，其中更有連續兩周的時間燃煤電廠處於關閉的狀態。2020 過後，將會有 3 至 4 座燃煤電廠被退役，僅留 1 至 2 座繼續營運。另外，大約有 9% 的發電來自核能，太陽能在夏天則發出約 10GW 的電力，而訪談當日中午(12/18) 太陽能發電大概約為 2GW，其餘的電力來自於風力、燃氣以及其他分散式電源，並有 3 至 4 座抽蓄水力用來增加系統彈性。
11. 英格蘭地區的輸電網路之電壓等級為 400 kV 與 275 kV，在蘇格蘭地區 132 kV 仍屬於輸電系統，低於 132 kV 之電網則為配電系統。在蘇格蘭

地區，輸電系統之主要目的為將電力從 A 點傳輸至 B 點，而在英格蘭與威爾土地區，將電力從輸電系統傳輸至城鄉之配電系統為主要輸電目標。

12. 考慮未來某天電力系統的發電結構為 30%核能、60%風力、10%太陽能，以目前的可調度資源而言，控制中心或許會考慮棄掉一些風力並開啟燃氣機組，因為燃氣機組可以提供系統慣量與頻率反應。但在 2050 的零排放目標下，NGESO 計畫讓這些服務都可以在市場上完成，讓系統可以在市場上買到足夠的慣量與頻率反應產品。

3.5 Energy Systems Catapult

Energy Systems Catapult 為英國之研究機構，為非營利組織，目前在全英總共有 9 個 Catapults，雖然分別專精於不同領域，但皆以下列兩概念為其研究主軸：(1) 深度了解各專業領域之未來發展與潛在走向為何 (2) 透過創新與研發能力實現對於未來的想像。此外，在這些不同的 Catapults 也以下列四項主題為發展重點，分別為(1)去中心化(2)減碳(3)民主化(4)數位化。



圖 17 本次參訪之 Energy Systems Catapult Cannon House

本次拜訪的 Energy Systems Catapult 旨在加速英國的能源轉型，並且協助相關業者與能源用戶掌握潔淨能源發展的契機。Energy Systems Catapult 約有 170 名員工，分別聚焦於以下能源專業領域：模組化、數位與數據、系統整合、基礎建設與工程、市場、政策與規範以及用戶連結。Energy Systems Catapult 與許多不同新創單位共同開發，進行研發、測試、拓展各類能源創新概念，並且與業界、學界及政府合作，以達成英國 2050 之減碳發展為目標，克服當前能源市場之障礙，並開拓能源市場上之新產品、服務與價值鏈之潛能。

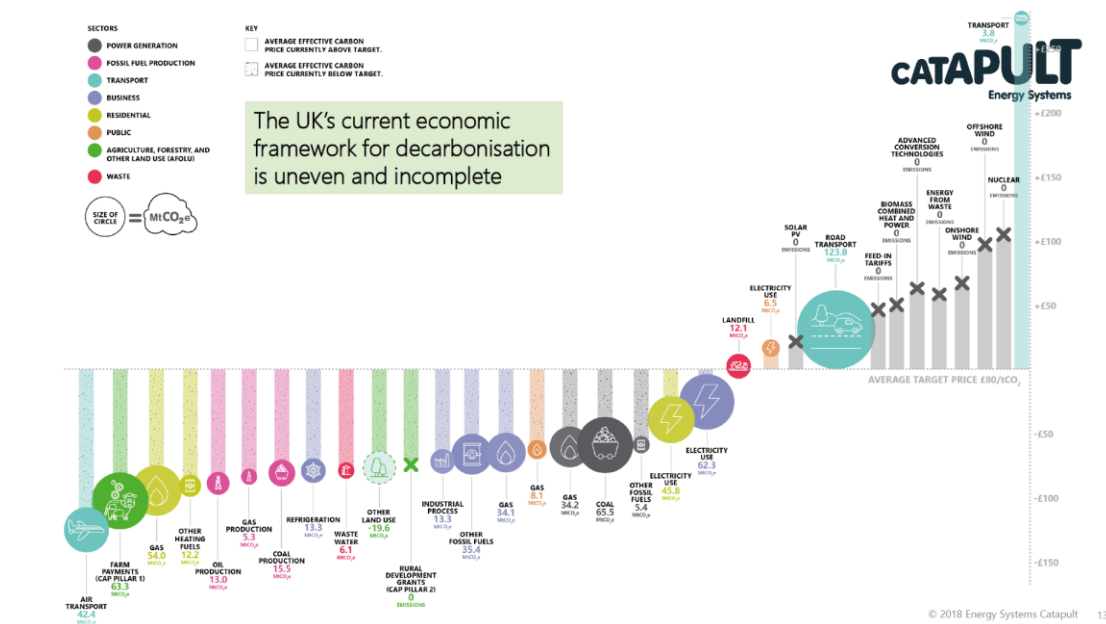


圖 18 碳排放盤點

Electricity markets are complex: multiple mechanisms for signalling & rewarding value

Can this array of mechanisms combine coherently to signal & remunerate 'system value' of generation, storage, DSR, network capacity investments?

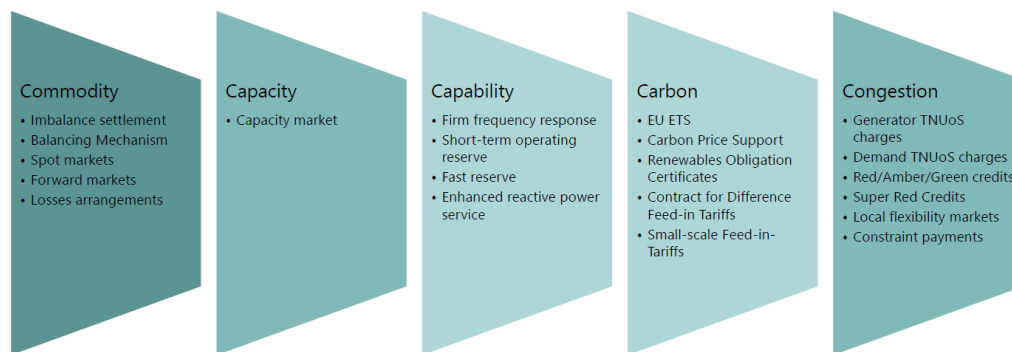


圖 19 ESC 重新思考電力市場的方向之一

能源系統模組化為 Energy Systems Catapult 之研究主要項目之一，其模組化之方法分為三種不同系統等級，從全國性系統、區域性系統至地方性系統，並且各有不同著重之處。全國性系統的模組化重點為各種能源使用類別的供應與需求，並進行技術經濟模型分析，以協助政府制定能源轉型策略與政策規劃；區域

性系統模組化則強調基礎建設轉型之分析；區域性系統之模組化則為一自下而上的分析方法，藉由建構十六萬戶之建築物模組以及各自連結之區域電網，進行成本最佳化分析，找出最低成本的減碳方式，這些建築物的能源模組著重於能源流動、暖氣系統、建物材質導熱係數、以及能源效率。

此外，Energy Systems Catapult 模組化團隊以兩範例實際說明其模組化之應用。其一為家用儲熱系統，若一家庭用戶有裝設太陽能板，則太陽能所生產之電力可直接用於熱水加熱，但另一方面，用戶也可以選擇用天然氣加熱、或是使用電、氣混合，此三方法可利用模組化找出成本最低之方式達成。

其二為電池儲能系統之模組化應用，Energy Systems Catapult 將電池的功率與電能成本、效率、壽命作為模組之基本輸入，並視儲能作為何種電力服務，以及所需之升載速率、電能容量進行最佳化，進而得到儲能系統應用不同領域之模組。



圖 20 Energy Catapult 與我方團隊會議影像

3.6 EA Technology

EA Technology 為一間國際性之顧問公司，業務範圍包含量測儀器生產、電力設備狀態評估、投資風險評估、系統分析、政策方向與法規建議等。此次會議中，EA Technology 主要分享 3 項目成果，分別為資產管理、電動車併網分析與整體市場分析。以下將分別針對此 3 項目進行介紹。

1. 資產管理

因電力產業或工廠均有許多設備，不論是初期之建置投資，或使用期間之維護均為營運成本之一，為使成本最佳化，EA Technology 針對投資與維護均有提供全面之評估與管理系統建置。

EA Technology 開發一套資產投資管理系統 Asset Investment Management (AIM) [5]，利用網頁介面提供相關資訊，讓客戶了解運轉中的設備處於怎樣的狀態、設備老化的程度如何、設備故障機率為多少、若設備發生故障會造成怎樣的後果、整體運轉的風險、具體控制風險的策略以及投資管理（含效益評估）。

另外，於本次會議中，EA Technology 展示一套資訊系統，提供設備壽命估測與維護建議等資訊。傳統上，設備維護採 TBM (Time Based Management) 模式，針對不同設備，依照原廠運維建議，定期進行維護，然此維護模式未考量不同使用模式，亦未蒐集相關運轉資訊加以分析，導致無法於設備劣化、故障前提出警訊。EA Technology 透過最新的狀態量測設備與演算系統，為不同的客戶設計專屬的維護邏輯，並考量設備間的協調與整體策略，逐步完成設置化的管理系統，將 TBM 模式轉換為 CBM (Condition Based Management) 模式，不僅可降低整體維護成本，優化檢查、測試、修復與更換作業，亦可增加穩定度及可靠度 [6]。

EA Technology 分享，在整個策略制定的過程中，需先確定客戶確立較重要的設備及其屬性，以及需要達成之目標。另外，亦考量當地法規、當前

設備的狀態、安全性、可靠度、環保因素以及未來的電力需求。

為進行數據分析得出精確結果，資料取得即十分重要。於資料取得方面，EA Technology 設計通用的資料擷取介面，即使用戶提供不同格式之既有運轉或為戶資料，均可相容於系統中。另外，亦輔導客戶針對不同的設備，訂定不同的狀態分數，使設備狀態從正常或異常兩狀態，再細分為不同的分數，使得可分析資料更為多樣。以鏽蝕為例，完全無鏽蝕為 0 分，嚴重鏽蝕為 5 分，中間 1 至 4 分為不同程度的鏽蝕。若可分析資料不足，EA Technology 亦會提供建議，加裝何種感測器以史資料更為完整。

此設備維護系統以網頁方式提供使用介面，於系統操作畫面上，將設備所在地與地理圖資結合，可簡單利用地圖尋找目標變電所，點擊後即可取得該變電所資訊，例如設備清單、設備圖片、設備狀態與維護紀錄等資訊等。

2. 電動車併網分析

因於英國電動車數量逐漸成長，其充電時對配電系統之影響也逐漸受到重視，EA Technology 亦對此與數家電業公司合作，開發分析系統提供相關資訊。

EA Technology 開發 NETWORK ASSESSMENT TOOL [7]，此系統針對配電系統建立模擬模型，內建參數包含各配電饋線之結構、線路參數與負載分配等，結合地理圖資直接觀看目前電動車併接點於何處，點入後可觀看該電動車對附近區域配電系統之影響，如下圖 21 所示。另外，亦可藉由設定新的併接點或是調整充電需量，以模擬未來系統情境，評估電力設備如變壓器或電纜之利用率，以及電壓降程度，以利電力公司及早因應。

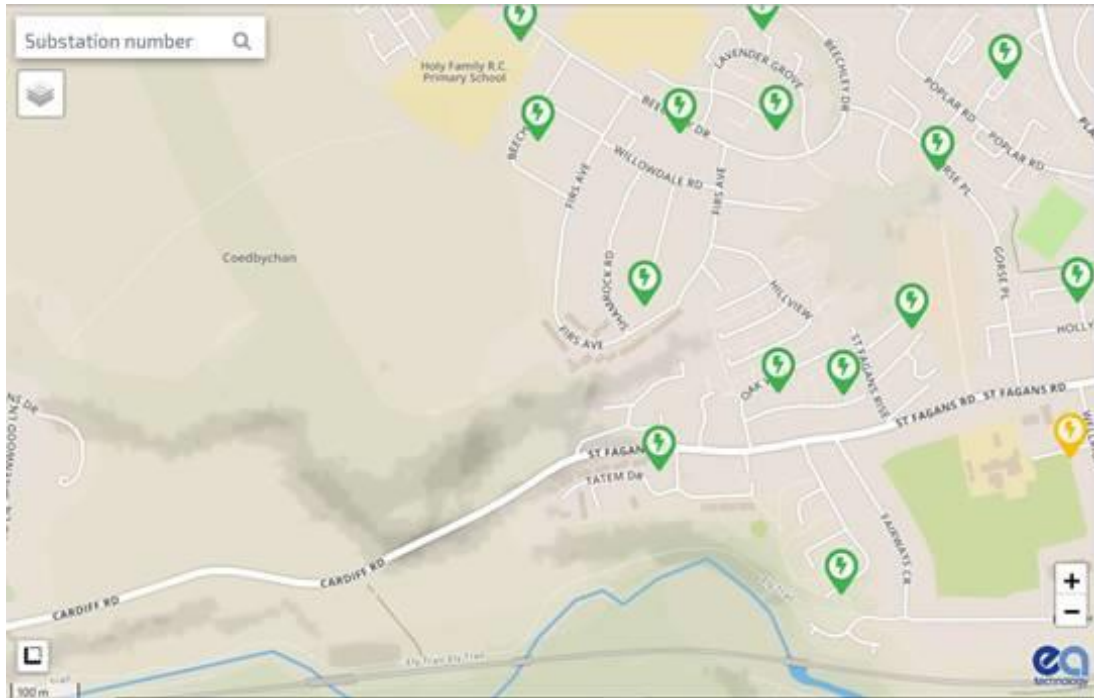


圖 21 系統操作畫面

除了提供電業上述資訊外，亦有介面讓用戶操作使用 [7]。用戶若有購買電動車的需求，可藉由操作系統上之地圖，找到自己的家或欲併網充電位置，利用系統上提供之小工具，劃定充電位置並設定充電量，系統將自動計算此新設充電樁是否造成系統衝擊超出規範、併網線路如何鋪設，最後計算出預估之併網費用供用戶參考。

3. 政策推動

除了設備管理以及電力分析應用系統，EA Technology 亦致力於市場模型之建立，用於推導不同政策與技術下，未來市場將如何發展，以提供電業或是政策制定者建議。

就政策制定者而言，必須需符合國家整體發展之方向，然而政策制定合不合理，所訂定之政策是否能將電力市場引導至正確的方向，是否會造成電價過大波動，均具許多未知數。EA Technology 可藉由所設計之模型，雖無

法絕對的預測未來的結果，但可提供一個大方向，提供政策制定單位作為參考。

而就電業而言，亦需要知道在未來可能的政策下，電力市場會有怎樣的變遷，如何提早因應，將投資成本降至最低，且於正確方向持續發展，均為 EA Technology 可提供建議之範疇。

3.7 Innogy

Innogy SE 是一家總部位於德國埃森(Essen)的能源公司，母公司為德國能源公司 E.ON，成立於 2016 年 4 月 1 日。 [8] 此次參訪的地點為 2019 年底新成立之 Galloper 風場中央調度中心，位於英國薩福克(Suffolk)，旁邊有裝置容量為 88MW 之風力發電案場。Galloper 控制中心具有先進的離岸風機運轉、預測及維護之能力，可透過最大發電限制(Maximum Export Limit, MEL)調度整個風場輸出，亦可以每個風機為單位進行控制。本控制中心有專人 24 小時值班，監控所有管轄之發電機發電情況，亦隨時 National Grid 保持聯繫，提供未來風場之預測資訊。



圖 22 Innogy 與我方團隊會議影像

風場輸出控制的主要依據為市場得標容量與價格(Bid offer Acceptance, BOA)，此訊息將由 ESO 透過電子調度系統(Electronic Dispatch and Logging, EDL, System)發出，接收到 EDL 訊息後風場控制中心須依指示維持輸出平衡，並把即時數據

上傳至 SCADA。

為了推動再生能源，英國能源管制單位曾以再生能源義務(Renewable Obligation, RO)規範電力供應商所提供的電力必須有特定部分來自再生能源，電力供應商取得 RO 的方式可以為自行建置、繳納代金或是兩者之組合。代金的價格在 2002 年為 30 英鎊/MWh，在 2018 年此金額上調至 47.22 英鎊/MWh。電力供應商所繳之代金將會分配至再生能源建置者做為補貼。

然而，為了鼓勵再生能源直接參與電力批發市場，RO 的補助方式已經落日，並改成價差合約(Contract for Difference, CfD)作為目前再生能源的補貼。在市場上投標時，若日前市場結清價格低於 CfD 之參考價格，則由 CfD 補足價差，反之，若市場價格高於 CfD 參考價，則再生能源業者必須付回價差。CfD 的合約比 RO 少 5 年，合約長度共 15 年。此補助方式可增進電力市場上綠電的流通量，並增加市場價格之動態。CfD 為台灣可學習的方式，替代現行 FIT 制度。

因應政府 2025~2035 年的再生能源規劃，離岸風電占比將大幅增加，相對應之市場機制可引導風電變成可靠之能源。Innogy 公司耕耘離岸風力領域多年，其豐富的運轉經驗，可協助台灣擬定離岸風電之市場規則與相關運轉規範，提供諮詢服務。對於開發商方面，當併網與市場規則越趨嚴格後，離岸風力將比照傳統機組接受調度，Innogy 公司可提供台灣離岸風力業者代管營運離岸風力發電機的服務，由專責人力隨時遠端監控其風場發電運轉情形，發生問題時可及早維護其設備降低發電損失，亦可用以符合未來風場調度可能的運轉法規要求。

3.8 University of Sussex

本次拜訪英國薩賽克斯大學(Sussex university)科學政策學系的史特靈(Andy Stirling)教授，為現任薩賽克斯大學科技政策研究小組(Science Policy Research Unit)研究主任、「通往永續社會、科技與環境路徑研究中心」(STEPS Centre)共同主任、兼薩塞克斯能源小組(Sussex Energy Group)成員，曾參與聯合國國際全球環境變化人文因素計劃(UN IHDP)「整合風險治理」項目、歐盟能源顧問委員會(the EU Energy Consultative Committee)、與英國環境部科學諮詢委員會(DEFRA Science Advisory Council)，具學界、官方及民間政策推動的相關實務經驗。

其主要研究是如何透過政府政策的創新，引導產業及社會的創新，進而影響整個社會的資源有效分配與知識的共享與合作。史特靈教授在能源政策方面具有相當多的著作，比如核電的政策議題即為其研究主題之一。歐洲現代主要能源政治中最明顯具爭議的政策議題即為核電問題，德國和英國有著截然不同的核電政策。德國積極於 2022 年前完全核電除役的計劃；然而，英國卻提倡「核復興」，倡導歐歐最積極的新核電廠建設計劃。史特靈教授採取了「歸納」方法：採用 9 個潛在相關標準，以理解德國和英國所追求的不同方向，該標準由 30 個參數構成，這些參數涵蓋了與一般社會技術體制尤其是核電技術有關的文獻，這些標準分為核電的「內部」和「外部」以及相關標準，如再生能源等“挑戰性的技術”等。這些標準就涵蓋了民主制度、經濟狀況、核武器承諾等各個面向的探討。透過更系統性的、不同的學科和社會政治觀點的分析，可使得政策訂定更具效率與避免社會歧見，這些分析方式似乎可作為本國訂定各項能源政策時的系統化歸納之參考。

肆、心得及建議

1. 本次實習行程得以順利進行並圓滿完成，感謝英國在台辦事處 Michael Watters 處長與 Cindy Hsu 組長協助安排本次台電、工研院、成大與北科等單位之英國參訪行程，使得台灣與英國產官學界有機會進行交流與學習。經由本次參訪，我們得以進一步了解英國電業的規劃與發展概況，當中有很多想法和技術是我們可以學習與進一步合作的。
2. 感謝 OVO Energy 的市場開發團隊經理 Johannes Holst、技術團隊主管 Conor Maher-McWilliams、部門主管 Tom、BEIS 的能源政策團隊主管 Julia Nolan、會議規劃負責人 Tom Bromly、智慧能源、電力系統彈性、數據應用團隊 Julie Finkler、容量市場管理團隊 Julian Fros、容量市場政策顧問 Chris Kukla、Reactive Technologies 公司的電網事業經理 Chris Kimmett、顧問 Peter Bird、National Grid ESO 的電力網路總負責人 Julian Leslie、Energy Systems Catapult 的商業部門主管 Paul Jordan、技術團隊主管 Richard Halsey、數位與數據團隊主管 Felix Ritchie、能源政策團隊代表 Susie Elks、電網與儲能分析師 Dr. Daniel Murrant、EA Technology 公司的顧問與軟體團隊負責人 Dave A Roberts、能源轉型與智慧電網應用團隊主管 Dr. Greg Dujon、Innogy 公司的 Galloper 風場負責人 Shawn、風場運轉管理 Kiran、最佳化運作主管 Andy 等人就其領域提供相當詳細且專業的介紹。由於上述各機構的協助，使得此行得以依照預期目標，取得足夠的參考資料並釐清許多再生能源與儲能系統推動相關問題。
3. 本次實習之各單位，不論政府單位、研究單位與私人公司，皆使用模型分析作為其決策和效益評估的工具。政策推動前應先進行模擬，不論是系統面、技術面、經濟面或用戶行為面，以幫助大家看清未來的狀態，以確保政策與研發方向之正確。建議本公司各業務單位應學習並建立模型分析技術，用科學的方式評估每個決策帶來的效益與影響，以利做出

「不會後悔(no-regret)」的決策。各種決策的分析也應該有一定程度公開，即便數字不一定非常精確，但至少可以提供大致的趨勢做為決策依據。能源之發展有許多變數，不可能每個政策或具體策略都完全正確，但應蒐集各國經驗或建立模擬模型做為參考，不求完全正確，但求盡量避免錯誤。

4. 目前國際上各電業都朝向零碳排或碳中和的方向發展，英國亦明確訂出減碳目標與行動方案，包含將燃煤電廠改為生質能電廠。台灣也可以將「減碳」列入政策目標，並且系統性的規劃發電、工業、運輸等排碳方式，達成減碳目標。
5. 為達成零碳目標，英國不斷的調整能源結構，未來將沒有燃煤電廠，但仍保有核能電廠，以及不斷擴建的互連輸電線。同時，英國電力市場已經轉型 20 年了，市場已成熟，是值得台灣學習的對象。希望台灣也能學習英國的經驗，能源轉型的同時亦有完整的配套方案，以維持系統供電安全。
6. National Grid ESO 有 APP 和官方網站可以即時看到很多系統運轉資訊，代表他們的資訊系統花了很多時間打造，法規也要求他們公開許多資訊給大眾。台灣的電業公開透明仍有精進空間，基礎資通訊建設和整合也還需要花很多時間打造，但未來因應可能的電業自由化，可以從基礎建設慢慢努力，並且把市場制度逐漸建立起來，形成一個公開透明電業環境，使民眾與各界更了解真實電業資訊，減少資訊落差，工程師亦得以將時間花在刀口，充分發揮資料的潛力，共同為電業發展努力。
7. 因應再生能源間歇性問題，儲能系統是有效但並非唯一的解決方式。目前英國發展的方向，是要降低儲能加入系統的障礙，同時鼓勵彈性能源加入市場，並透過時間電價創造誘因而發展智慧家庭（追隨電價調整的用戶），使系統具備更多彈性。

8. 為補足系統監視盲點，建議於系統各處儘量建置相量量測單元(PMU)和廣域量測系統(WAMS)，以利進行平時系統現象重建與精細事故分析。為避免時間不同步，系統中各設備應建立嚴謹之校時機制。
9. 隨著未來再生能源發電日益增加，取代傳統發電機組之發電機會，傳統旋轉機組的數量降低，系統慣量將逐漸下降，此時系統慣量模擬與監測就變得十分重要，本公司也應及早應，學習 National Grid ESO 建立精確的慣量模擬及慣量監測系統，或是導入即時慣量量測監視系統，以利調度人員評估系統個時段系統最小慣量需求與安全跳機容量，避免低頻或 RoCoF 頻率電驛動作。
10. 儲能系統併網法規應再審慎評估、與業界充分溝通後儘速建立，才能讓儲能系統開發商有清楚的規則可以依循。
11. 有關再生能源之管理，應建立嚴謹之性能查核機制，敦促再生能源業遵循其承諾符合之併網規範，保障系統安全。
12. 風力發電預測技術已算成熟，應可要求風力發電業者提供精準之發電預測，其中，風力發電業提供的給調度中心的資料亦建議包含風速等自然資訊。
13. 調度中心應建立自己的再生預測模型，購買或蒐集合適之氣象資料並開發相關演算法，以因應再生能源間歇性挑戰。
14. 再生能源應配合調度，比照傳統機組建立可隨時接受指令之機制。風力發電廠之調度，技術上可以使之如同傳統電廠，由調度中心要求風力機組降載或啟用 FFR 功能。風力機組可提供虛擬慣量，但仍在發展當中。
15. National Grid ESO 可收集全系統所有設備之模型，本公司也應該投入對等之專責人力，謹慎對待系統模擬。
16. National Grid ESO 調度與 IT 系統人力相當龐大，建議投入更多人力，專責專業處理電力系統專業問題。

17. 為增加系統彈性，National Grid ESO 有專門的團隊負責尋訪訪問技術，評估可行性並導入使用。
18. 隨電動車增加，於用戶面為配合電價彈性充電以降低充電成本、於系統面電動車具參與輔助服務市場之潛力以及避免系統雍塞，勢必需推動智慧充電樁。英國規定電動車充電樁必須要是 smart charger，台灣也應積極推動，否則未來將是一大問題。
19. 英國 V2G 還在起步階段，必須建立具備足夠誘因的商業模式，才能有機會鼓勵用戶參加。
20. 企業的資訊安全與營業秘密的保護很重要，門禁與訪客登記可以做到鉅細靡遺，如果外賓想要投放簡報，可以不要讓外賓插隨身碟，改以直接將電腦上投影機或使用無線投影。
21. 透過市場機制尋找電力系統之最佳解決方案。英國電網運作之原則，主要透過自由與競爭之手段，達到提高電力市場效率、電網穩定度與永續能源發展。舉例而言，若電力系統欲增加系統慣量，電網營運商傾向直接把這個問題放置到市場，讓各式各樣的資源提供方提出解決方案，使得儲能系統與電力電子設備提供的合成慣量、風力發電商利用智慧換流器的虛擬慣量、同步調相機提供者、以及傳統同步機組在市場上競爭，而電網營運商便可在多方評估後取得對於電力系統最有利之方案，可以是成本考量、或是以排碳量為基準。如此一來，許多電力系統中的問題皆可得到不同面向之解決方式，並促進電力市場參與者之能力與資源多樣性。
22. 台灣應有更多元的儲能與負載資源參與市場之方式。目前台電公司已開放儲能與負載資源參與輔助服務，此策略將有助於增加系統可用資源。隨著未來電動車數量的增加，以及智慧家電的普及化，電力系統中將有更多的潛在可控資源。然而，這些民生用電負載與工業用戶的用電彈性

相比明顯較小且零散，對於聚合負載端資源之用戶群代表不僅是技術上的挑戰，也是財務上的風險。對此，英國的作法為建立更完整的市場機制，利用成熟市場對參與者的吸引力與競爭力，使得更多業者提供不同解決方案，進而達成電力系統資源多元化的目的。

23. 時間電價可以促使需多新應用誕生，預測電價很重要。用戶占整個電力系統的最大成分，加強用戶參與的概念並使用戶配合，即可解決系統面許多問題。英國有許多公司提供電網服務，以較低電價合約或是提供回饋招集欲參與用戶，並利用調整或調度用戶用電模式與行為，提供 TSO 或 DSO 所需要的輔助服務。負載管理需要配合良好的商業模式才能達成，然而台灣電價太低，較難吸引用戶參與或創新。只要電力市場開放後，會有很多想不到的參與者出現，不論是電源，或是業者提出讓用戶參與的方案。
24. 英國能源政策由 BEIS 制訂大方向(如減碳、降低用電成本、增加系統彈性…)，再由 Ofgem 訂定細節促使市場朝這個方向邁進，並避免不合理的套利行為出現。
25. 容量市場研議與儲能於電力系統之角色釐清為儲能系統發展的根基，應儘速訂出相關法規。英國除了傳統發電資源外，再生能源、儲能皆可參與容量市場。對於容量市場上各資源能力的認定、derating factor 之設計以及市場機制雖有待深入研究，但其中一項可開始進行討論的項目為儲能在台灣電力系統之角色。若日後開放儲能參與容量或電能市場，則儲能系統本身，以及儲能系統提供者應以何種角色定義，為值得研究之議題。
26. 在英國，傳統的再生能源補助 RO(類似於台灣的躉購制度)已經於兩年前落日，取而代之的是價差合約 CfD，這種新型的補助方式將鼓勵再生能源直接進到電能市場投標，再將市場結清價與參考價之間的價差補貼

給業者。相較於躉購制度，此方法有助於電力市場中再生能源的參與量增加，並使再生能源業者負責發電預測和平衡，具多方益處。容量市場和輔助服務的設計應該讓所有科技都一視同仁。

27. 再生能源增加下頻率反應服務準備量之因應。一般認為，在再生能源發電占比提高下，電力系統應增加頻率反應甚至輔助服務之準備量。理論上而言，一個慣量低的系統確實會因為發電端之變動造成系統頻率明顯偏移。然而，在電力系統實際出現偶發事件時，頻率反應若可捕捉第一時間的頻率偏移，並支撐足夠的時間至即時備轉啟動，如此亦能保持電網穩定。因此，頻率反應與輔助服務的準備量並不全然取決於再生能源的發展。此外，再生能源發電雖然變動幅度大，但是其發電量具相當的連續性，並且是可預測的。例如，在實際運轉的某一日或許風量較前一天少，因此風力發電量較低，但這個情況是可以預測且事先規劃的，並不容易出現下一秒突然沒有風，如此突發式電力短缺之情形。因此，因應再生能源增加以及其變動量的策略，應同時考慮再生能源的發電規劃、平衡責任以及預測。以本次參訪所觀察為例，英國利用政策鼓勵再生能源進入日前電能市場投標，並在得標後以 **Balancing Unit** 規範再生能源發電業之責任，須維持發電量趨近於得標量之平衡。如此一來，不但可更加掌握每日再生能源發電量、促進電力市場活躍度，並將電力系統管理之責任與市場參與者共同分擔，更可透過完整事前預測規劃因應高占比之再生能源發電，進而減少電網營運、調度單位之壓力與輔助服務準備量，使電力系統更有效率的方式運轉。

伍、參考文獻

- [1] “Wikipedia - OVO_Energy,” [online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/OVO_Energy. [Available: Feb 9, 2020].
- [2] “Meeting Slides - Power Generation,” BEIS, 倫敦, 2019.
- [3] “上網電價補貼政策 - 維基百科，自由的百科全書,” [online]. Available: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%8A%E7%BD%91%E7%94%B5%E4%BB%B7%E8%A1%A5%E8%B4%B4%E6%94%BF%E7%AD%96>. [Available: Feb 9, 2020].
- [4] “Reactive Technologies and National Grid Deliver Grid Stability Measurement World First - Reactive Technologies,” [online]. Available: <https://www.reactive-technologies.com/news/reactive-technologies-and-national-grid-deliver-grid-stability-measurement-world-first/>. [Available: Feb 9, 2020].
- [5] “Asset Investment Management (AIM) models - ea technology,” [online]. Available: <https://www.eatechnology.com/consultancy-software/asset-investment-management/asset-investment-management-aim/>. [Available: Feb 9, 2020].
- [6] “Maintenance Strategy, Policy & Documentation - ea technology,” [online]. Available: <https://www.eatechnology.com/consultancy-software/asset-management-and-policy/maintenance-strategy-policy-documentation/>. [Available: Feb 9, 2020].
- [7] “Electric Vehicle Infrastructure - ea technology,” [online]. Available: <https://www.eatechnology.com/consultancy-software/electric-vehicle-infrastructure/>. [Available: Feb 9, 2020].
- [8] “Wikipedia - Innogy,” [online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Innogy>. [Available: Feb 9, 2020].

- [9] “NETWORK ASSESSMENT TOOL - Electric Nation,” Automotive Comms, [online]. Available: <http://www.electricnation.org.uk/about/technical/network-assessment-tool/>. [Available: Feb 9, 2020].
- [10] “Reactive Technologies Signs Landmark Commercial Agreement with National Grid ESO Supporting its 2025 Zero Carbon Goals - Reactive Technologies,” [online]. Available: <https://www.reactive-technologies.com/news/reactive-technologies-signs-landmark-commercial-agreement-with-national-grid-eso-supporting-its-2025-zero-carbon-goals/>. [Available: Feb 9, 2020].