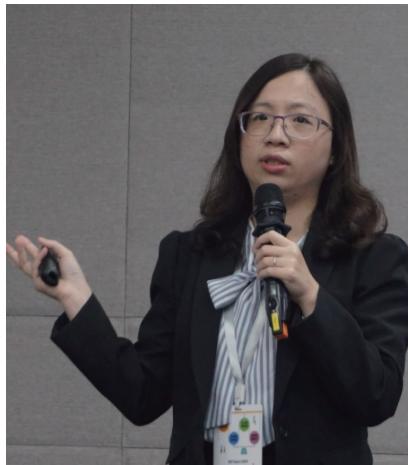


智能電網需求陡升 AIOT 立大功

■文：任茲萍



照片人物：工研院產科國際所產業分析師黃雅琪

人工智慧+物聯網(AIOT)的重要性也展現在智能電網。肺炎疫情催生在家工作(WFH)趨勢，導致住宅用電佔比大幅提高，且工作日的負載曲線類似週末負載高峰。工研院產科國際所產業分析師黃雅琪表示，這樣的負載模式改變，讓需求預測與調度更顯困難；以往電網營運商依靠大型工業設施來確認需求預測並藉此提供需量支援電力調度，但疫情期间由於其中一些設施暫停，迫使他們必須採取其他行動以維護電網可信度。另一方面，負載降低、變動型再生能源(VRE)佔比高，亦將增加電網管理的複雜

度，可能導致系統壅塞、電壓與頻率偏差。

分散化、減碳化、自由化，AIOT 實現智慧化維運

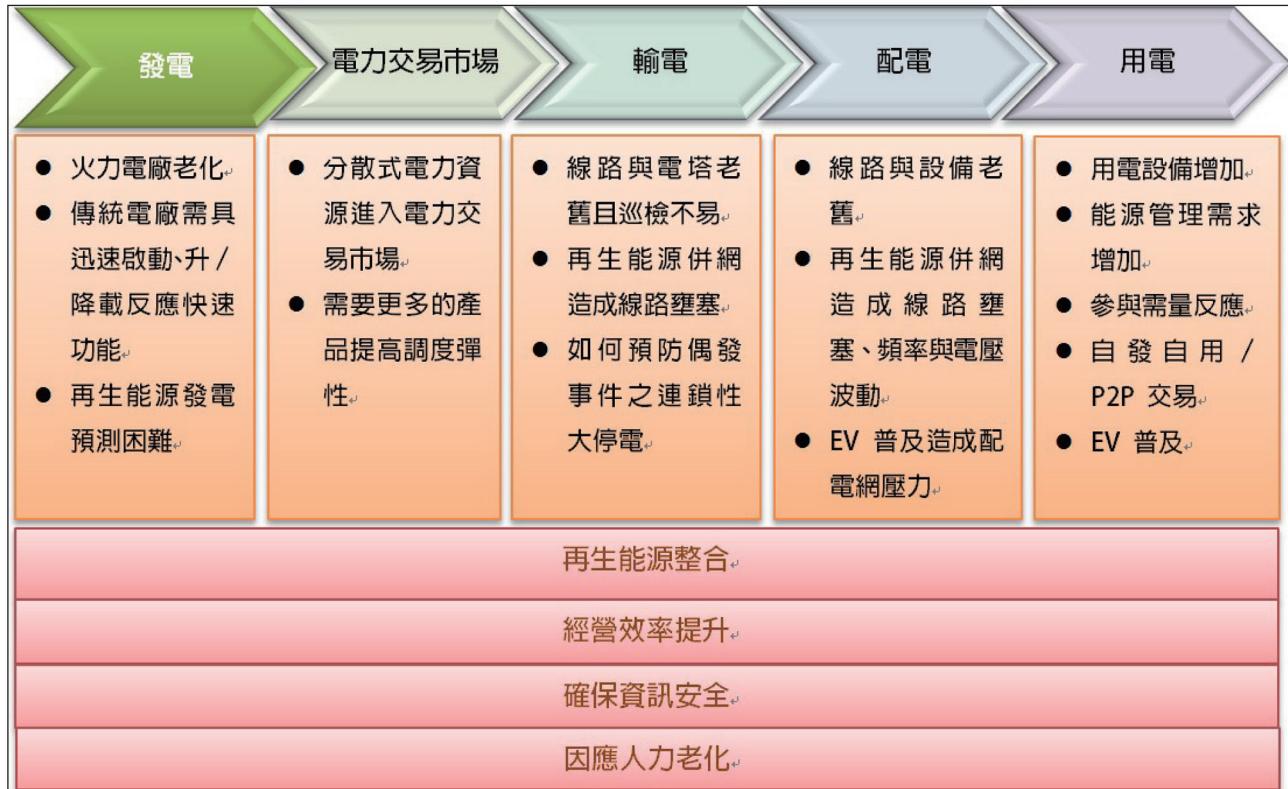
黃雅琪提到，當此非常時期，反讓智慧化投資效益更加突顯：

- 智慧電表系統與數位化溝通管道：掌握即時負載狀況，提升負載預測精準度，遠端抄表、斷電／復電控制、線上付款、減少現場工作；
- 先進配電自動化與智慧變電所：可提供遠端操作或系統自動故障隔離、上游復電，以減少戶外工作人員與公眾之間的接觸、感染風險與變電所人員配置，並整合與計算配電線路饋線裕度、最高／最低電壓及線路損失等資訊，提供調度決策參考依據；
- 資產運行狀況遠端監視與分析：使電力公司能瞭解各資產之健康狀況，並告知公用事業公司維修工作的優先級；
- 微電網：為電網提供彈性、可支援臨時性的電力負載增加需求，或運用智慧給流器減少電力輸出。

她指出，電力系統面臨分散化、減碳化與自由化挑戰，利用智慧技術可提升經營效率、預測能力與智慧調度，並列舉幾項以智慧化技術創新、實現智慧化維運的應用案例如下：

1. 日本關西電力與東芝合作，在京都府內的架空輸電線展開自動追蹤無人機輸電線巡檢實證，利用4K高畫質動態攝影準確抓出異常(例如，因雷擊電弧放電使高架接地線的表面熔化留下的痕跡)，最遠可飛600公尺，可以懸掛在鋼塔頂部的虛擬接地線作為標記，自動追蹤電線位置並保持安全距離，利用AI技術建立與精進異常事件影響的辨識模型，自動判讀異常圖像；
2. 日本中部電力與KDDI電信公司於2020/10～2021/01在名古屋市大高變電所，展開5G技術用於變電站應用的示範計畫；
3. 三菱電機的巡檢機器人與高畫素攝影機，可在無人值守的場所巡邏、監視與快速偵蒐現場情況，利用5G高速、大容量和低延遲特性搭配智慧眼鏡，可即時共用工作指南並進行遠端操作指導，

圖 1：電力系統面臨分散化、減碳化與自由化挑戰



資料來源：工研院產科國際所 (2020/10)

利用 AI 技術分析影像及辨別異常事件；

4. 風力發電領導廠商維斯塔斯 (Vestas) 與智慧頭戴裝置廠商 RealWear 合作，將 AI 應用於 HMT-1 AR 穿戴式裝置 (可在潮濕、多塵、熱／冷、危險和嘈雜環境中使用並配備高畫素的微型顯示器)，可提升風力發電機維修效率並降低工作風險。

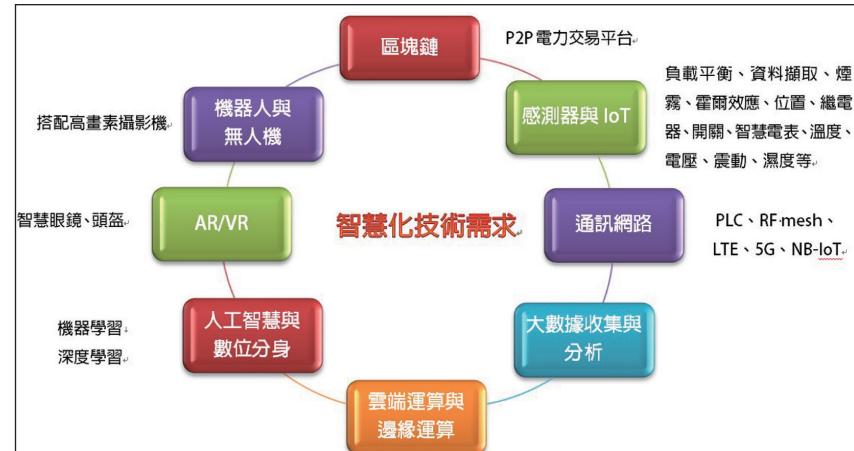
再生能源整合與調度、自動化需量反應、教育訓練，AIOT 來相助

其次，是再生能源整合與調度彈性。黃雅琪闡述，先進配電自動化可快快復電速度並確保再生能

源併網後之供電品質，AI 技術可提升虛擬電廠 (VPP) 管理平台的預測、監控及投資組合最佳化決策能力。借助 IoT 匯集各環節資料，再運用 AI 技術資料反饋修正運算模型、優化控制決策，有助於最大

化投資組合配置；例如，投入的「分散式能源」(DER) 類型及數量分配、投入市場的時機及機會成本、投標價格等。再者，是關於負載預測與管理，可循「自動化需量反應完成式」實現：由單一設備控制、

圖 2：電力系統智慧化對 AIOT 之技術需求



資料來源：工研院產科國際所 (2020/10)

家庭／建築設備互連、社區多棟建築互連，終點至電網互連。

黃雅琪透露，住宅用戶主動參與需量反應的意願其實並不高，反倒是住宅可控負載、發電與儲能設備逐漸增加。有鑑於此，日本中部電力與電裝 (DENSO) 的家庭能源管理系統 (HEMS) 合作，於去年二月推出住宅用戶需量反應方案「Co-Energy」，可控設備範圍包括空調與熱泵熱水器 (ECO CUTE)，率先導入對象包含豐田房屋的建案及 Chubu Electric Power 簽約用戶；今年一月再推儲能與 V2H 配合方案，旨在透過調整需求側的負載資源降低尖峰用電需求，鼓勵自發自用。另一個案例來自歐洲。

葡萄牙在 2018 年 4 月出現再生能源發電佔總電力需求 104% 的驚人現象！於是，同年七月，葡萄牙能源攜手地質國家實驗室 (LNEG)、德國虛擬電廠 Next Kraftwerke、大金空調等，在首都里斯本的四棟公共建築（包括市政廳）安裝具有自動化需量反應功能的變頻多聯式空調系統與儲冰式空調系統，進行自動化需量反應示範，以調整負載資源、平衡再生能源的波動。最後，AIOT 還能用於教育訓練。由於核電廠每年只允許到訪一次、且不會開放供培訓使用，奇異 (GE) 使用 VR 培育核能電廠與變電站工程師，學習如何在複雜環境組裝、拆卸渦輪機。

電網分散化與智慧化， 為虛擬電廠帶來新商機

黃雅琪認為，電網分散化與智慧化將為虛擬電廠帶來新商機——包括：供應端 VPP、需求端 VPP 與混合型 VPP。分散式能源 (DER) 持有者將資源控制權交由協力廠商管理者（用戶群代表，Aggregator）運用 IoT 控制技術進行資源整合，提供類似發電廠功能，以作為中央電網供需調節的備用發電廠，可整合單一種類資源或混合多種類型資源，主要應用情境從商業化程度高到低依序為：輔助服務市場、批發電力市場及用戶側尖峰管理，輔助服務市場是目前較為成熟的應用，以儲能及需量反應為大宗，美國加州／紐約州、英國、德國案例較多。

分散式能源將衍生「P2P 電力交易模式」。P2P 交易可由 P2P 業者、DER 營運業者、建商或微電網業者主導，在社區、工業

區在地即時交易，不需透過電力市場或電力公司交易系統。澳洲區塊鏈新創公司 Power Ledger 與馬來西亞可持續能源發展區 (SEDA) 國營電力公司 TNB 合作，於 2019 年底啓動為期八個月的 P2P 示範計畫；透過監管沙箱模式，允許淨電力生產者透過 P2P 交易平台將多餘的太陽能 (PV) 電力出售給 TNB 消費者，淨電力生產者以平均發電成本 + 10% 利潤的價格出售，TNB 則向該平台收取每度 6.3sen 的網路服務費。

值得留意的是，V2G 技術使電動車成為移動式儲能設備。黃雅琪分析，電動車 (EV) 普及將對電網產生下列影響：1. 發電／電力批發市場層級——高電力需求或電力供應不足時將導致電價上升；2. 輸電系統／電網營運商層級——尖峰負載承受更大壓力，需要更多頻率控制、增加備用容量等系統穩定服務；3. 配電層級——可能導致饋線及變壓器容量過載及電壓下降，

圖 3：電網分散化與智慧化帶來新機會



資料來源：工研院產科國際所 (2020/10)

過載恐加速設備老化導致停電，需進行饋線與變壓器擴充投資。若將EV視為儲能設備，藉由車聯網(V2X)可協調、雙向控制車載電池與設備／電網間的能源傳輸並維持有效且可信賴的操作。

V2X三大應用浮現，降低DER市場門檻為起手式

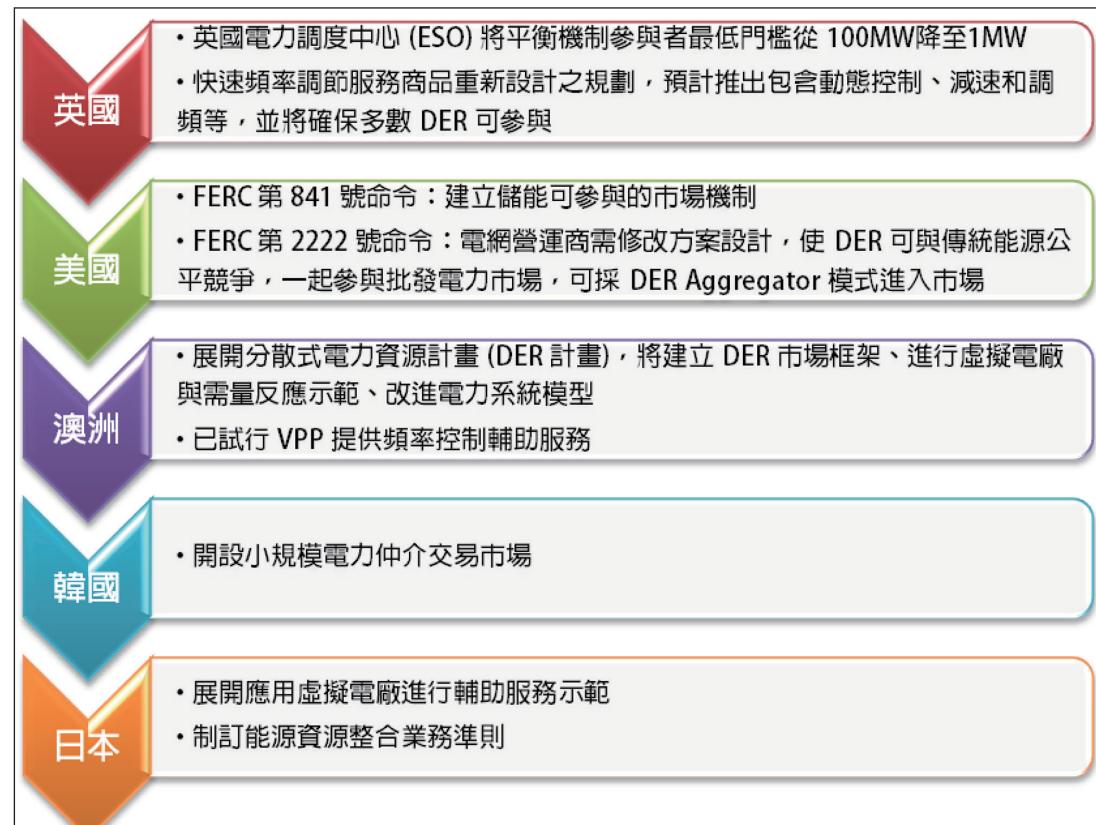
黃雅琪說明V2X三大應用方向：V1G單向充電控制、V2G車輛到電網雙向控制，以及V2H/V2B車輛到建築雙向控制。豐田通商的V2G商業模式構想是：V2G用戶群代表透過參與電力市場或提供電力小賣事業者尖峰移轉服務賺取收入，汽車業者及充放電器製造商是合作對象；向簽約用戶提供設備或服務購買折扣，部分成本轉由V2G用戶群代表負擔，第一線面對用戶的汽車銷售業者可協助推廣V2G服務並降低服務提供費用。放眼未來DER有機會參與批發電力、輔助服務與容量市場交易，各國亦著手改革電力市場設計以降低

DER參與市場之門檻。

韓國便已開設1MW以下的新能源與再生能源、儲能、電動車等小規模電力仲介交易市場。與此同時，電力公司亦透過併購拓展新業務：北陸電力以智慧電表基礎建設之通訊系統為基礎，開發IoT服務；2017年東京電力(TEPCO EP)推出「遠處亦安心服務」運用NIALM(非侵入式負載監視)技術提供高齡者守護服務。工研院總結，運用AIoT等智慧化技術可提升電力調度彈性、促成再生能源整合、提升電網設施維運管理效率與降低人力需求，且可落實用電需求管理。

疫情讓許多電力系統意外提早測試智慧化的成果；儘管預期受到財務狀況不佳的影響，短期內智慧化投資與建設將略為放緩，但中長期仍會加大智慧化投資力道。分散化與智慧化技術的發展使許多新的商業模式及參與者得以進入電力市場提供服務，帶來許多新市場機會；然而，成本高且投資效益不明顯、網路安全與隱私保護、缺乏監管規範與市場設計、網路通訊標準未統一，將成為電力系統智慧化發展的四大阻力。

圖4：各國改革電力市場設計之措施



資料來源：工研院產科國際所(2020/10)