

本月專題

通往淨零之路－淺談建築物「能源效率」

謝智宸¹

摘要

「能源效率」除了是減碳和淨零排碳目標達成的必要策略外，也是確保能源轉型成功與否的重要關鍵之一，在電力消費方面，提升耗電設備的「能源效率」，可以在滿足相同能源服務水準下，消費更少的電，所節約的電力就是沒有使用的電力，當然沒有任何的污染物及二氧化碳排放，故被譽為「最乾淨的電」。由於「能源效率」的應用範疇至為廣泛，在工業、運輸、服務業及住宅等部門都有節能與能源效率提升的潛力。本文聚焦於住商部門亦即建築物的能源效率，尤其近年來國外先進國家新興的能源效率方案，結合能源轉型中之電網運行與低碳化觀念與方法。雖然上述建築物與電網低碳運作互動的能源效率概念尚處於發展中的階段，但全球暖化問題的解決刻不容緩，人類日常生活建築物內活動的時間最長，能源服務需求不容小覷，在開發建築物節能潛力的同時若有利於增進電網可靠度及減碳和增綠，則對建築物內住戶、電業及其他所有電力用戶均能創造更大的效益。

一、前言

能源效率在全球能源轉型過程中將扮演極重要的角色，在再生能源和脫碳技術尚未達到完全取代化石能源排碳的過渡時期，減少或節約能源的使用至關重要。所謂節約能源 (Energy conservation, Energy saving)，簡而言之就是減少能源的使用。減少能源的使用有兩種途徑，第一種途徑經由行為面的改變，例如少開一盞燈、調高冷氣設定溫度、儘量不開自用車而使用大眾交通工具及儘量爬樓梯而不搭電梯等，即不過分損及能源服務需求的滿足下減

¹財團法人台灣綜合研究院 研究員

少能源的使用；第二種途徑，必須經由技術創新及研發的投入，創造新的或改善舊的能源使用效率，例如白熾燈泡、一體式螢光燈(省電燈泡)和 LED(發光二極體)燈具和傳統內燃機引擎(Internal Combustion Engine, ICE)汽車、油電混合(Hybrid)汽車、純電動汽車(EV)的漸次創新，以及傳統馬達、直流無刷(Brushless Direct Current, BLDC)馬達(IE1、IE2、IE3、IE4 精進)和節能電器分級產品(節能 5 級至節能 1 級)的持續能效改良等，均能在滿足相同的能源服務需求下減少能源的使用。上述第二種途徑，美國能源資訊署(Energy Information Administration, EIA)定義為「能源效率(Energy efficiency)」²，以下本文論述亦側重於能源效率。

二、能源效率的重要性

由於再生能源技術尤其太陽光電及風力發電歷經近 20 年來的發展與布建，使得不排碳的電力占比逐年增加，加以全球氣候變遷議題因為空污問題和極端氣候事件日益嚴重和普遍化，造成農業、社會經濟的顯著影響，甚至連政治的穩定性也開始受到了威脅。主要起源於能源使用所造成的溫室氣體排放為全球氣候亟速暖化最大的因素，如何減少甚至完全屏棄化石能源遂成為全球能源轉型最終目的。

產業部門(製造業及大型服務業)需求面管理業尤其是節能與能源效率措施已行之多年，國外電業及我國均已累積多年之經驗，無論法規制度、市場誘因及規則、致能技術(enabling technology)開發與應用等，業界廠商多已相對熟稔。例如國際能源總署(IEA)今(2021)年 11 月 17 日發布 2021 能源效率報告中所呼籲將空調、照明、馬達、冰箱等 4 項關鍵設備(預計占 2030 年全球 40% 能源使用)能效標準加倍，設備的能源效率提升一直是業界和社會大眾熟稔之節能推動策略。

推動能源效率政策可以在環境及經濟上帶來極大的效益，包括在全球層級上的減少溫室氣體排放，國家層級上的減少能源進口需求與支出，家庭及

² Use of energy explained, Energy efficiency and conservation.
<https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/efficiency-and-conservation.php>

個人層級上的減少能源費用開銷進而增加可支配所得，可以說是一舉數得。聯合國永續發展目標(SDG)第 7 項「確保可負擔且具可靠性、永續性之現代化能源的可及性」，其中強調擴大能源可及性、增進能源效率和提高再生能源佔比是達成上述目標的三大支柱³。

美國拜登政府於今(2021)年 11 月甫公布之 2050 年「美國經濟去碳化長期策略」⁴，能源效率與強化輸電線路、儲能技術、零碳排發電並列為電力部門主要發展策略，明確揭示能源效率的提升可以減少整體電力負載的增加、減少尖峰負載成長及電網建設的投資，並且有助於減緩能源轉型過程帶來的衝擊。在建築物節能方面，除了強化外牆隔熱外，室內供熱(空氣及用水)能源轉換為電熱泵及節能家電產品效率提升等，都將有助於減少用電。英國今年 10 月公布的淨零策略(Net Zero Strategy)也將能源效率(energy efficiency)列為重要的策略，在發電業、工業部門尤其能源密集產業、建築物熱水與暖房所需等領域，均將持續投入資源及擬定相關策略，為邁向淨零目標不可或缺奠基石。

而我國政府推動各業節能與能源效率提升已行之多年，相關法令在電業法第 69 條；能源管理法第 14 條、15 條；能源管理法施行細則第 6 條、7 條，陳規有關「能源效率」和「節約能源」之定義、規定及應用等，在設備效率管理及用電行為管理上，透過規範、輔導、獎勵補助、教育宣導等途徑，均有明確及執行多年的方案與措施。

三、需求面管理攸關電網穩定

能源轉型尤其大量間歇性(intermittent)的再生能源電力進入電網，在電網技術尚未獲得強化之際，例如輸電線路尚未擴充至足以容納和去化更多的太陽光電和風力發電、儲能技術及電力市場商業模式尚未發展至足以緩衝電網中間歇性電力和電力需求端日益普及的分散型電力資源(DERs)之供需平衡問題等，需求面管理工具如時間電價(TOU)、需量反應(DR)及能源效率(EE)等，

³ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_7_-_Affordable_and_clean_energy

⁴ "THE LONG-TERM STRATEGY OF THE UNITED STATES, Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050", NOVEMBER 2021

遂成為維持電網穩定可靠尤其攸關電力調度效能之重要管理策略。亦即電網端尤其在配電等級，愈來愈需要開發更多的彈性資源(flexible resource)來因應與日俱增的顛覆性技術(disruptive technology)⁵對於電網穩定與可靠度所造成的影響。

例如較為國內產官學界所知者，近年由於電動運具技術(電動車，EV)發展迅速，供應鏈規模經濟逐漸達成，已足以與傳統內燃機引擎(ICE)汽車市場相抗衡，且世界主要國家紛紛訂立全電動車市場銷售目標年⁶，上述 IEA 2021 能源效率報告亦呼籲各國 2035 年起禁售燃油小客車，各類電動運具儼然已成為淨零排碳時代唯一型式之道路運具。運輸部門淨零責任很大一部分將由電動車的推廣及應用策略負擔，然而電動車的普及亦將造成電力需求的增加，尤其車主及車隊(fleet)管理者的充電行為影響電網可靠度(grid reliability)甚鉅，為同時有效管理運輸部門電氣化與電網可靠穩定兩大議題進而創造雙贏，近年來美國及歐盟紛紛推出電動車與電網整合概念與方案(Vehicle-Grid Intergration, VGI)⁷，配合電網資源特性與電動車充電需求的智慧充電(G2V)，並進一步開發電動車充、放電的彈性以提供電網可靠與穩定的需求(V2G)，將運具電氣化與能源轉型作具效率與效能的整合。VGI 的發展進而結合再生能源電力間歇性的特性與儲能技術應用的普及，以及運輸行為與模式的改變與演進，使得在淨零路徑上運輸部門可以扮演更重要的角色，將在後續期別的專題報告另行著墨。

如上所述之 VGI，國外先進國家在住商部門尤其商業大樓及住宅大樓推動節能的領域，近年來也因應能源轉型及減碳的趨勢，結合了建築物電能管理與電網整合概念(Building-Grid Intergration, BGI)，根據理論開發方法並作實證研究，希望能夠創造用戶、電業、電網及減排等多贏的效益。BGI 概念仍處於發展與試驗及示範階段，以下本文以較簡捷清晰的方式說明及介紹此一重要的概念。

⁵ 電動車充放電樁、自發自用發電設備及儲能裝置等顛覆傳統電力供需預測模式之技術稱之。

⁶ 挪威 2025 年；英國、瑞典、新加坡、蘇格蘭、荷蘭等 2030 年；加拿大、中國、日本等 2035 年；法國、西班牙 2040 年；德國 2050 年，Global EV Outlook 2021。

⁷ <https://www.nrel.gov/transportation/project-ev-grid-integration.html>

四、建築物能源效率

除了產業與運輸部門外，住宅部門的電力需求面管理尤其能源效率策略之應用在我國較少為民眾所熟悉，原因多為我國地處亞熱帶，較不若緯度相對高之國家大量耗能於暖房及熱水所需。我國鼓勵住宅部門節能除了家電用品耗能分級管理制度外，行之有年的「節能家電補助」及「台電公司節電獎勵活動」為代表，但前者常產生因「反彈效應(rebound effect)」⁸而導致電力需求量不減反增的疑慮，後者則常有給「搭便車者(free rider)」不當補貼的隱憂⁹。根據統計，我國住宅部門 2020 年電力消費達 502 億度電，占國內消費的 18.51%，較服務業部門的 17.05% 為高¹⁰，足見我國住宅部門電力消費及其節電潛力不容小覷。人類日常生活活動於建築物的時間多於戶外，且我國城市化趨勢與世界潮流吻合，近年台灣都會區新建及都更之住宅及商辦大樓正方興未艾。

(一)建築物能源消費與電網的關係

1.電氣化

能源轉型、減碳以至淨零即是所謂「淨零路徑」，零排碳的再生能源電力逐漸取代化石能源轉變產出之含碳電力，但建築物內仍有許多非使用電力的耗能器具例如瓦斯爐、瓦斯熱水器等，故能源轉換即「電氣化」非電能使用器具為淨零路徑最重要的策略，令零排碳的電力可以提供更多樣的能源服務需求，例如供熱及交通運輸等。

2.能源效率標準

隨科技的進步，各項耗能設備如家電用具的能源效率提升可以減少能源費用支出，對於消費者構成行銷的誘因。除了市場因素外，政府部門也多有強制性效能提升目標的設定，例如我國制定「容許耗用能源基準」、「能源效率分級標示」及「節能標章」等。如前所述，能源效率提升可以在不

⁸ 例如因為變頻冷氣機較省電且節省電費，故常不由自主增加其使用頻率及時數，導致冷氣機用電量不減反增的現象。

⁹ 當期與比較期電力消費量的差異因缺乏用戶基準線(CBL)的設計，績效的量測過於寬鬆，很多因素導致參與者無真正改變用電行為卻「自然」減少了用電量，例如本期全家出遊不在戶的天數較比較期多等。

¹⁰ 109 年能源統計手冊，經濟部能源局。

減損原有能源服務需求水準下減少總能源消費量，達成減少電能使用的目的。

(二) 轉型中的電網

由於再生能源技術的持續進步及成本的逐步下降，又因應日益頻仍與強度益增的極端氣候事件及空氣汙染，世界各國無不積極推廣再生能源及分散型電源的設置。未來將在全球主要國家承諾 2050 年達成溫室氣體淨零排放的前景下，更大規模的再生能源電力將被開發而併網或自用，然由於再生能源尤其太陽光電及風力發電均呈間歇性的特性，在現有各式發電設備追隨大規模負載陡升陡降的因應能力不足、各式儲能技術尚未大規模布建及應用的過渡時期，電網的穩定性與安全遭遇極大的挑戰，眾所周知的「鴨子曲線(duck curve)」效應及「棄光棄風」、「負電價」等不合常規的電網影響電業經營事件，均為鮮明的例證。為了緩解上述能源轉型過程電網常見的窘境，需求端的彈性資源(flexible resource)所扮演的角色顯得越來越重要，尤其需求端用戶日益成為產消者(prosumer)¹¹，彈性資源既是造成電網問題的根源，也是解決電網問題的良方，而建築物內確有很多電力資源具有彈性的潛力尚待開發。

(三) 建築物能源管理結合電網運行

上述過渡時期電網挑戰的因應，可以結合當今資通訊科技(ICT)之發展及大數據與物聯網(IoT)之運用，使得智慧電網(Smart grid)有效連結彈性資源如分散型能資源(DERs)、儲能技術及先進讀表設施(AMI)，使得電力之供給與需求更具彈性與效率，並且也可以精進傳統電業的經營模式及開發新的第三方能源服務業的商機。在建築物電能使用配合電網運行(operating)之新興制度與商業模式的發展正方興未艾，也是能源管理技術在傳統製造業領域外最值得應用也最具效能潛力的場域。

1. 電網互動效能建築(Grid-interactive Efficient Buildings, GEBS)

由美國「新建築機構(New Buildings Institute, NBI)」及「美國綠建築協會(U.S. Green Building Council, USGBC)」共同主持的國家級「併網最適化建

¹¹產消合一者(Prosumer)，亦稱生產性消費者，在電力領域係指是可以自行生產電力的電力用戶，結合了電力生產者(electricityr producer)和電力消費者(Consumer)的角色

築倡議(GridOptimal Buildings Initiative)」計畫¹²，2020 年定義 GEBs 包含以下三項組成與特性，一為擁有分散型能資源(DERs)如再生能源發電設備及/或儲能設備、電動車充放電樁等；二為建築物設計及/或能源管理系統符合能源效率認證；三為有能力調整電力使用符合電網平衡及/或零碳電力供需狀況之所需。

由於能源轉型最終目標即為低碳以至於零排碳，故 GEBs 的績效度量以減少碳排放為最優先。

2. 建築物對減碳的貢獻

由於 GEBs 的績效度量以減少碳排放為最優先，建築物能源使用型態與特性可以成就其對於電網低碳化的貢獻。例如在需求面，單位面積淨電力消費量(扣除自發電力饋網量)低顯示節能及能源效率具成效；電力使用多集中在離峰而減少尖峰用電，可以避免高排碳電力增加電網電力排碳係數；刻意多在電網無碳電力相對充沛的時段先使用原本預定在其他時段使用的電力，可以避免前述「棄光棄風」、「負電價」等不合常規的電網影響電業經營事件的發生。

產消者(prosumer)之產電方面，建築物自用發電設備及/或儲能設備也可以有助於電網低碳化的貢獻，例如優先使用自發再生能源電力可減少電網對含碳電力的需求；多餘的綠電可以饋網以降低排碳係數，或儲存於儲能設備以待電網尖峰或排碳係數高時自用。

五、建築物能源效率策略的未來發展

傳統的「能源效率」定義，其策略目的著重在行為改變的「節約能源」與滿足相同能源服務需求水準下減少能源使用的「器具能源效率提升」，降低能源需求量以減少經濟社會對於能源的依賴性，不僅可以提高抵禦情勢如上世紀 70 年代兩次全球石油危機的韌性，也可以緩解一國對於傳統化石能源常受制於區域政治動盪因素的影響。

¹² 該計畫目的在建立建築物能源管理對於電網貢獻度的共通性指標及其計算與評量的方法，作為美國新建築及既有建築物能源管理分級的重要依據。

(一) 能源效率超越節能嵌入減碳

近年來由於氣候暖化所造成的極端氣候事件日益嚴重和普遍化，造成農業與社會、經濟的顯著影響，甚至連政治的穩定性也開始受到了威脅，各界對於「減碳」的意識愈來愈重視。職是之故，當前正值全球能源轉型方興未艾之際，「能源效率」進一步嵌入了「減碳」的元素，即所謂「效率」不僅意指減少能源使用的總量，且更積極能夠達到減少含碳能源及/或增進零碳排能源的發展與應用之目的，如前述之 GEBs 的績效度量以減少碳排放量為最優先。而 GEBs 的績效表現，有許多是傳統需求面負載管理之「需量反應」的定義範疇，例如激勵負載「削峰填谷」、產消者彈性資源追隨電網充放電等。誠然，傳統的需量反應措施除了削減(Shed)用電的目的外，也具有形塑(Shape)負載型態的功能，亦即可以塑造其負載曲線樣態貼近電力系統經濟排程下的即時成本(realtime cost)曲線，若將形塑的目的改為依據電網排碳係數曲線設計方案，則即能達成上述 GEBs 的減碳績效。

現今許多先進國家已將需求面管理之「能源效率」範疇涵蓋了以往屬於「需量反應(demand response)」，即順應了上述減碳及淨零路徑的趨勢而成為顯學。

(二) 推動制度及市場

建築物能源效率策略可以朝向經由建築主管機關訂定新建築法規、能源主管機關訂定建築物能源效率標準等法規，建立規範與管理制度並辦理評比與認證等獎勵誘因，惟如前述之「電網互動效能建築 GEBs」必須投資所費不貲之相關發電、儲能及能源管理設備，應有回收獲利機制之安排及設計，例如可經由電價機制、輔助服務和備轉容量市場及房屋稅、增值稅優惠等，值得研析其可行性。

此外，透過如國際知名之「能源與環境設計領導認證(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)」綠建築標準評等及認證，可以增加開發商及建築物品牌知名度及聲譽，為業界行之多年的誘因機制，目前美國「併網最適化建築倡議 (GridOptimal Buildings Initiative)」正與 LEED 機構共同合

作一項先導計畫，探討並建立 GEBs 指標應用的可行性及量測與驗證方法等，並評估納入現行 LEED 之體系。也鼓勵電業(utility)及負載服務提供業者(Load service providers, LSP)¹³與溫室氣體相關利害關係者包括碳信用管理與交易商、其他碳中和承諾業者等，探討評估將 GEBs 合併進入現有認證交易體系之方式與必要之調整。

六、結論

在邁向我國 2050 年碳中和目標的路徑上，經濟體系內各部門都應該要有朝向低碳與淨零尤其積極開發與應用零排碳再生能源的積極策略，誠然能源轉型非一蹴可幾，逐步取代含碳能源需要其他相關策略的應用與配合，才能確保轉型過程得以維持電網的穩定與可靠，「能源效率」即為其中一項重要的策略。在再生能源尚未全部取代含碳能源及碳補存技術、負碳技術未臻完善前，減少電力使用量為必要的策略，然更積極的是除了減少電力消費外，更積極地經由轉移負載及儲能設備的應用以不浪費再生能源電力，同時避免電網因供需調度而產生可靠度事件的窘境。本文介紹國外刻正積極發展中之「電網互動效能建築(GEBs)」概念，在我國都市化且住宅與商辦大樓已成趨勢、分散型能源資源 DERs 漸次普及、用電行為改變應為氣候行動之必要責任的認知下，希望能夠為國內正在轉型中之電業，提供住商部門可以參與貢獻的策略，同時也是值得開拓的商機。

¹³ 類似我國的 ESCO 業者，但服務範圍較為廣泛，包括電力零售業、負載聚合者(aggregator)、甚至 EaaS(energy as a service)統包業者均屬之。

參考文獻

1. Policy paper overview 「Net Zero Strategy: Build Back Greener」
<https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-strategy>
2. Use of energy explained. Energy efficiency and conservation,
<https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/efficiency-and-conser>
3. 「The Cleanest Energy: Conservation & Efficiency」,
<https://environmentamerica.org/feature/ame/cleanest-energy-conservation-efficiency>
4. 「New Metrics for Evaluating Building-Grid Integration」, Alexi Miller and Kevin Carbonnier, New Buildings Institute, 2020。
5. GridOptimal Buildings Initiative. 2020. Portland, OR: New Buildings Institute.
<https://newbuildings.org/resource/gridoptimal/>
6. NBI (New Buildings Institute). 2019. “NBI Releases Zero Energy Performance Targets for New Construction Projects.” Portland, OR: NBI.
<https://newbuildings.org/nbi-releases-zero-energy-performance-targets-for-new-construction-projects/>