

從綠建築到淨零碳排建築 智慧永續的未來城市

黃一展^{1*}

摘要

隨著都市化(urbanization)的發展，各國人口皆有朝向都會區聚集的趨勢，也因此推高了生產、消費、與各類能源與資源消耗的需求，進一步導致以二氧化碳為主的溫室氣體排放量大增。受目前國際減碳潮流影響，各國無不致力達成巴黎協議之急迫標準—2050以前控制全球增溫在2度以內。也因此，如何降低整體城市的碳排放，建構不光是智慧更要永續的生活環境，十分重要。我們分析城市中人類活動的足跡，超過70%的時間皆處於建築「室內」，故本文以建築生命週期(LC)中的「使用階段」為探討對象，討論在建築空間中的能耗與碳排情況，以期能從城市規劃的角度，達成淨零碳排的目標。

關鍵詞：永續城市，低碳建築，淨零碳排，零熱排

1. 從低碳城市看永續發展

智慧城市(smart city)在近幾年成為顯學，原因不外乎全球化與都市化(urbanization)導致人口逐漸集中在大都會；而根據聯合國統計，在2050年甚至更早，世界上超過80%的人口將以都市或都會區而居，相應的基礎建設、住房、公共空間、交通規劃、社區與社會的治理，乃至能源、污染、廢棄物處理等，都將變得更為迫切，亦是政策的重點。誠如聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)第11項揭櫫「將城市與人居環境打造的更為普惠、安全、健康及永續」，未來的都市規劃與生活型態，勢必不只是專注在由科技所引導的「智慧」層面，科技亦將扮演重要的角色，把「永續」的思維，落實在建築與空間，以及整座城市之中。

談到智慧城市，我們多半從字面意義上，

直接與「資訊科技」連結在一起，進而衍伸數據導向決策(data-driven decision-making)、物聯網(internet of things, IoT)、數位化等議題，輔以像是5G、人工智慧、運輸電動化、智能建築與居家(其實也就是物聯網的基礎應用)、以及雲端技術的運用等等。「智慧城市」一詞，最早是由IBM所提出「智慧地球」含義的延伸，08年金融海嘯期間，IBM在紐約發布了「智慧地球：下一代領導人議程」報告，提出智慧城市的核心要素為「全面透徹的感知、寬頻泛在的互聯、智慧型融合的應用以及以人為本的可持續創新」。文中雖提及「可持續」(sustainable)，但可惜早期多數論述仍著重在資訊科技與技術在城市規劃中各個領域的結合，以及它們所產生的經濟效益(與效率)，較少將環境因素作為重點考量。而近年來無論是企業社會責任、永續發展、或 ESG (Environment, Social, Governance)等議題蔚為風向，讓人逐漸

¹ 菁鏈科技(本住)公司 執行長；前聯合國OICT顧問
*通訊作者，電話：0918-246809, E-mail: jackh.should@gmail.com

收到日期: 2021年06月16日
修正日期: 2021年07月31日
接受日期: 2021年08月09日

意識到：城市不光是「智慧」就好，而是要能兼顧「永續」，方能長治久安。

在2015年各國簽署巴黎氣候協議後，這類「結合科技發展與永續指標」的概念，也由聯合國歐洲經濟社會理事會(United Nations Economic Commission For Europe, UNECE)提出「智慧永續城市」(United for Smart Sustainable Cities, U4SSC)¹，共同倡議的包含國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)、聯合國發展署(United Nations Development Programme, UNDP)、聯合國環境署(United Nations Environment Programme, UNEP)、聯合國教科文組織(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)、聯合國氣候變遷綱要公約組織(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)、聯合國工業發展組織(United

Nations Industrial Development Organization, UNIDO)等。「智慧永續城市」強調資訊科技與新創技術，不只是帶來更居民便利的生活、促進經濟發展與繁榮，同時也要能夠達成永續目標、以及對重大環境議題——例如減碳與氣候變遷——的承諾。因此，U4SSC也陸續制定一系列KPI (Key Performance Indicator)，搭配其他類似的倡議，諸如城市自主檢視報告(City Voluntary Local Review, VLR)²等，讓每座城市可以自我檢視是否有達標，截至2020年底，全球已有超過100座城市在市政規劃上，納入了部分或全部的KPI。

隨著城市成為主要人類的活動聚落，其中最為重要的碳排統計，也積極被各地區政府採納，作為一座城市是否「永續」的指標。表1即列出世界前幾大碳排的城市，有些已有相關的政策與落實VLR，其他則尚未或正在計劃中。

表1 世界主要城市之碳排放統計(GGMCF, 2021)

Urban Cluster	Country	Footprint/cap (t CO ₂)	Population	Footprint (Mt CO ₂)	Global ranking	Domestic ranking
Seoul	South Korea	13.0±2.4	21,254,000	276.1±51.8	1	1
Guangzhou	China	6.1±1.0	44,309,000	272.0±46.2	2	1
New York	USA	17.1±5.5	13,648,000	233.5±75.4	3	1
Hong Kong SAR	China	34.6±6.3	6,029,000	208.5±37.8	4	1
Los Angeles	USA	14.6±3.2	13,482,000	196.4±43.7	5	2
Shanghai	China	7.6±1.9	23,804,000	181.0±44.6	6	2
Country of Singapore	Singapore	30.8±6.5	5,235,000	161.1±34.1	7	1
Chicago	USA	21.1±5.1	7,260,000	152.9±37.2	8	3
Tokyo/ Yokohama	Japan	4.0±0.6	32,999,000	132.8±21.4	9	1
Riyadh	Saudi Arabia	20.7±4.6	5,747,000	118.8±26.4	10	1
Dubai	UAE	22.3±6.2	4,971,000	110.8±31.0	11	1

¹ <https://www.itu.int/en/ITU-T/ssc/united/Pages/default.aspx>。

² 美國紐約是全球第一座發表全球首例的永續發展目標自願性地方政府評估報告(VLR)的城市，為回應聯合國SDGs，於2018年7月聯合國High-level Political Forum上，由直屬市長辦公室的Global Vision完成該份報告。與此同時，也廣邀世界各主要城市響應，分別自主檢視在永續發展各個方面的努力，以及共享彼此的經驗。可參考：<https://sdgs.un.org/topics/voluntary-local-reviews>。

2. 智慧永續城市的挑戰

要論述永續，無論是從國家還是城市的角度，總離不開環境與氣候的影響，更精確而言，溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)所導致的增溫效應。舉凡主流科學界、SDG13標榜的氣候行動、以及從1997年京都議定書到2015年的巴黎氣候協議，無不針對「降低二氧化碳濃度，以控制全球升溫不超過2度C」為目標。著名的國際非營利組織350.com，亦是直接將「大氣二氧化碳濃度須控制在350 ppm」，作為組織的名稱。正因如此，如何透過節能規劃與適當的科技引入，扭轉氣候危機，是智慧永續城市的必要考量。

觀察單一都市，能源消耗與碳排放大抵來自以下幾個領域：建築、交通、與經濟活動。除了交通運輸外，建築空間與經濟活動多半以「電力消耗」為統計基礎，加上其他的間接排放源所搜集的數據，歸納成為具體的碳足跡。根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)的調查，綜觀全球的溫室氣體排放，房地產與建築佔據了約30%，以及消耗原材料至少40% (BLab, 2021)。又因為人口成長與都市化的影響，隨著移居城市的居民數量攀升，勢必需創造出更多的「空間」以供社會經濟活動，惡性循環之下，廣義上因為建築所造成的碳排放也節節高升。若想落實政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)之建議，呼籲在2030年前就要先減排45%，以便「控制暖化趨勢至可承受的衝擊」³，我們都需要從建築到城市規劃，甚至是居民的生活與消費型態，從根本正視這項挑戰，所幸，降2度C的減碳目標，也幾乎是所有國家的主流訴求，有史以來第一次人類團結起來的共識。

由於建築業屬於高碳排產業，故鎖定城市中的建築減碳，對整體減排的貢獻，不啻

為一實際的切入點。統計各國在建築業的碳排狀況，美國約為38% (2004)，加拿大約為30% (2004)，日本約為36% (1990)，而臺灣則為28.8% (2003)，中國大概是30%，統計數據稍舊，但不難推估近幾年來，隨著都市化的發展，碳排即便在比例上維持相似，但總量上絕對有所上升。為了解決棘手的問題，一向在氣候議題領先世界的歐盟，便在2018年由歐盟議會通過了「建築能源效率指令」(Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)的修正案，並建立「智慧建築指標」(smart readiness indicator)，讓建築空間從設計開始，不僅是在科技與物聯網技術的導入，而是涵蓋節能配置，例如鼓勵電動車充電設備，低耗能的規劃等，EPBD希望把「淨零耗能」作為建築的標準配備，以符合歐盟自己所制定的「綠色政綱」(Green Policy)要求。

當然，除了EPBD之外，德國則是更早就提出「建築能源護照」的制度，在房屋買賣的過程中，不光是實價登錄讓價格有機可查，在耗能方面的資訊亦需完整揭露給下一任屋主，房東必須出具能源護照(Energieausweis)，標示單位時間內每平方公尺的耗能狀態，讓買方可以知道往後需規劃付出的能源費用。誠然，這套機制需因地制宜，例如以亞洲為例，居住生態與生活方式和歐洲不同，家電往往是房子建好後額外的「加項」，而非從一開始便整套規劃置入，故，如何計算追加設備的耗能，是能源護照引進亞洲市場，需審慎的原因之一。

除了歐洲，亞洲部分，中國住房和城鄉建設部於2019年公告了「建築碳排放計算標準」(GB/T51366-2019)⁴，作為因應氣候變遷和建築節能減碳的政策方針，其中具體明示了以建築的完整生命週期來評估，應把綠建築，節能，低碳城市作為完整的規劃，而非僅在營建過程中去計算碳足跡而已。至於在日本，則在建築節能方面，也有相當的表現。在面對溫室氣體

³參考IPCC「全球升溫攝氏1.5度特別報告」(Global Warming of 1.5°C)之決策摘要(Summary for Policymakers, SPM)。

⁴https://ideacarbon.org/news_free/49003/。

減量的手段上，東京市政府優先鎖定在較好量化的商辦大樓，搭配碳權交易機制(Emission Trading System, ETS)⁵，成功的降低大東京地區的碳排。參考早稻田大學Toshi H. Arimura和Tatsuya Abe兩位教授的研究，成功導入區域型碳交易機制的商辦大樓，最高可有近50%的減碳效果，當然，論文中也分析，部分因素也來自東京電價逐年上漲，電費因素的關聯。可以肯定的，無論是哪種科技或能源解決方案，若政透過策引導適當的市場機制，諸如屬於碳定價(carbon pricing)之一的碳權交易制度，便可更有效促使企業在日常運營與建築空間的使用方面，產生一定的節能減碳效果。兩位教授也在論文最後建議現階段合理的碳權定價應在每公噸50美金左右，可以在不造成太大財務衝擊的情況下，達成目標效益。

簡單回顧國家在建築方面的減碳方式，接下來要進一步探討，除了由上而下的政策，建築空間本身、科技與系統整合的方式，如何做到淨零耗能、淨零碳排，甚至以長遠眼光來看，如何做到溫室氣體的淨負排放，以阻止暖化現象與其造成的持續性或不可逆的系統性浩劫。

3. 從綠建築到淨零排放建築

一般談到建築產業的減碳，多數焦點會以「綠建築」⁶的討論居多。所謂綠建築，定義上涵蓋建築整體生命週期(life cycle, LC)，從選址、設計、建設、營運、維護、翻新、拆除等各階段，皆要求達成環境友善與資源的有效運用。然而，在早期實務上，多半著重於建材與施工階段，例如環保水泥、環保鋼筋、綠色標章的營建耗材，或是表層植被，增加視覺上的

綠化面積，但在真正佔據建築LC最大比例的運營部分，即便有個別幾組的節能方案，卻仍較少有系統性的節能與減碳論述。若以SRC (Steel Reinforce Concrete Construction)、RC (Reinforce Concrete Construction)構造來看，平均各國的耐用年限標準約為50年，在這麼長的使用時間內，依據行業別和空間功能之不同，計算用水、用電、用燃料等日常耗能的碳足跡，加上牽涉到的複雜社會活動、氣候、商業景氣、甚至是使用者的組成與本身狀況等變動因素(例如社會與經濟地位、職業、年齡、生活習慣等)，空調、用水、電器設備一年約會產生8,760小時的運轉，成為耗能碳足跡的大宗。

探討建築在LC過程中產生的溫室氣體排放，市面上已有諸多文獻可供參考，例如Adalberth (1997)就是納入完整LC架構下，去計算建築在各個階段的碳排放；Michiya等學者(1995)，也針對日本的住宅大樓進行調查，先是區分不同的類型後，再逐一進行耗能與碳排放的分析；Nassen等人(2007)，則是透過「投入-產出分析」(input-output analysis)，研究了瑞典的建築產業；在中國，早就有學者如Chen (2009)和Chen & Luo (2008)，從LC的角度，去探討低碳建築的檢測標準，以及提升建築在使用過程中的能源效率。

基本來說，「建築耗能指標的調查與分析」在LC的使用階段，主要為：單位面積耗電量、用電尖峰需量、空調裝置量及照明裝置量等，加上其他產生耗能的特殊機組設備、綜合各類數據，便可較為準確的揭露碳排。現行實務上，界定範圍並計算建築碳排的方式有很多種，以界定邊界來說，可以從ISO 14064-1: 2018溫室氣體查證標準著手⁷，有scope1到scope3不同級距。不同級距，要求收集查證的

⁵ETS屬於碳定價(carbon pricing)的方式之一，藉由引入市場機制，將原本難以量化的外部成本，以經濟模式加以計價，加諸到產生碳排的活動之中。主流的碳定價包含總量管制與交易，也稱作ETS，以及碳稅，碳費等設計。

⁶完整的綠建築，定義下有九大指標，涵蓋「生態」、「節能」、「減廢」、與「健康舒適」四大領域與九個層面，包含：生態多樣性、綠化、基地保水、日常節能、二氧化碳排放、廢棄物處理、水資源運用、水污染與垃圾減量、室內健康指標(空氣品質、噪音、電磁波等)。

⁷參考英國標準檢驗局(BSI)之資訊：<https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/zh-tw/e-news/no181/iso-14064-1-2018-transition-intro-max-tsai.pdf>。

類別也不一樣，包含直接與間接排放的各種項目。又或，根據臺灣學者林憲德教授所著「建築產業碳足跡」一書，亦詳細解釋了建築在「碳足跡-產品類別規則」(Carbon footprint - Product category rules, CFP-PCR)中，所揭示與對應的邊界設定(如圖1)；而所謂使用階段(Use Stage)，主要的碳排便是來自於營運的耗能與耗水，與廢棄物的處理。當然，要在複雜的日常運作過程中，捕捉各類變動的參數與數據，實屬不易，因此，林憲德也從多年的研究與參考他國經驗後建議，建築空間須先以其執行的功能做分類，也就是「功能空間」、「空調營運分區」、「水能源使用分區」。不同的功能空間會有不同的耗能密度標準 EUI (Energy Usage Intensity, EUI) ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$)，像是歸類為A1的「24小時間歇空調型住宿類空間」，包含透天住宅和集合住宅；歸類在G1的「18小時交通運輸類空間」，就有車站、轉運站、航站之大廳(不含販賣部與餐廳之營業場所)；歸在K1的「10小時行政辦公空間」，涵蓋辦公、會議行政、視聽、研究相關空間、及其附屬大廳和市區區域……更多類別，可參考國際認可之EUI標準，或著同樣由林憲德教授所著「建築能效評估手冊」中，新興建築能效評估系統BERSn，也能針對全新案場，給予較客觀的計

算。一旦完成不同建築區域，室內空間的EUI分類後，便能套用相關公式，完成精確的統計(林憲德，2018)。

如前文所述，各類建築在使用階段所產生的能耗以EUI計算，便可得出能源的使用狀況。舉例來說，為了「冷卻建築物」(cooling building)與營造舒適的室內空間，我們在冷凍空調機組的耗能上，佔據整體建築耗能極高的比例。根據臺北科技大學的研究，空調用電量約佔臺灣夏季尖峰負載的三分之一，而且無論建築物的規模大小，或是否提供特殊功能，空調用電幾乎都佔據總耗電量最大的比例。以商辦大樓來說，實測結果至少都在40%以上，在某些需長時間運營的大樓，甚至有70%的耗能都來自於空調用電(柯明村，2016)。也因此，從最為耗能的部分著手，勢必有助於改善建築整體的能耗與碳排。不光是臺灣，各國亦紛紛採行以能源效率為導向的規範與認證，例如「冷氣季節性能因數」(Cooling Seasonal Performance Factor, CSPF)，就結合了使用季節的外氣溫度條件，測試計算冷氣機滿足建築物所需的製冷量與其對應的耗電量，精確評估空調機的能源效率。

除了就現有的冷凍空調進行改善之外，亦有完全從同角度思考，滿足人在室內對溫度、

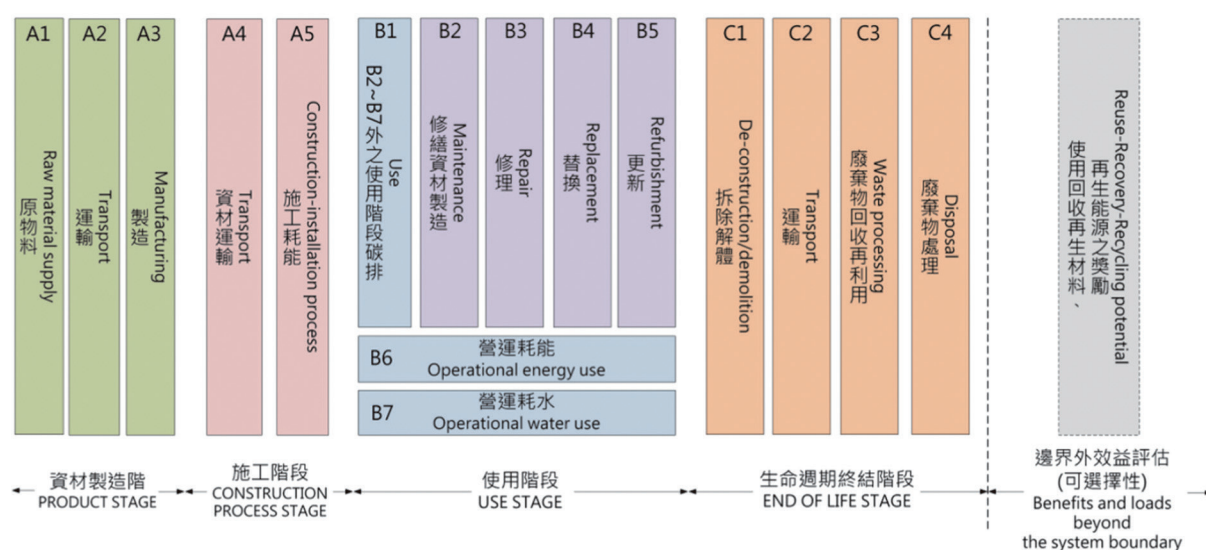


圖1 國際EPD系統之建築碳排盤查(林憲德，2018)

濕度、甚至新鮮空氣需求的解決方案。以勤益科技大學翁國亮博士(2019)所領導的團隊，自主研发的全外氣自然能轉換系統(Full-Outer-Air-Intake Natural Air-Conditioning System) (圖2)，便是透過室內外溫差與熱交換原理，從室外引進新鮮空氣，利用水分子壓力差(water molecular pressure difference)和氣凝捕捉(water evaporation)的技術，降低室內的溫度，並同時增加換氣率與降低二氧化碳濃度。這樣的做法，有別於傳統的冷凍空調，不使用壓縮機、冷凍機組，也幾乎不使用冷媒，一樣提供適合「人體舒適度」的室內環境，能源消耗卻不到傳統冷氣機組的五分之一，甚至還包含了全熱交換機(新風系統)的功能，可達到充分的全外氣循環。自2020全球新冠疫情爆發以來，過往以空氣清新機、濾網為主的內循環模式，已被主流專家認為無法有效防止空氣交叉感染，而需要以「外循環」為主的設計，方能有效降低空氣交叉感染的機率⁸。也因此，各國政府也漸

意識到建築空間，特別是人潮密集的商辦大樓，需更完整的室內空調解決方案，同時又要能滿足相當的節能效益。

此外，無論是臺灣還是國外，在建築空間的節能減碳方面，應該跳脫過去「單點」節電的思考，而以系統性思維去通盤規劃，或又稱能源健檢，彙整出建築空間整體的能源與使用者需求，找出耗能熱點，再搭配EUI的動態統計，便能清楚知道要如何減少不必要的浪費。從空調、用水、照明、營業耗材、廢棄物處理、能源管理等面向，逐一減少各個領域的溫室氣體排放。「能源健檢」的概念，其實早在歐美與日本行之有年，無論是德國的「能源護照」、以及日本企業的自發行動，如EPSON的「節能巡邏隊」等，都是很好的例子。借鏡他山之石，臺灣於2011年成立的「臺灣節能巡邏隊聯盟」便評估發現，若臺灣多數的中小企業能落實節能診斷的建議，每年至少可省下1.2億度的用電，相當於省下3.7億元的電費，更能減

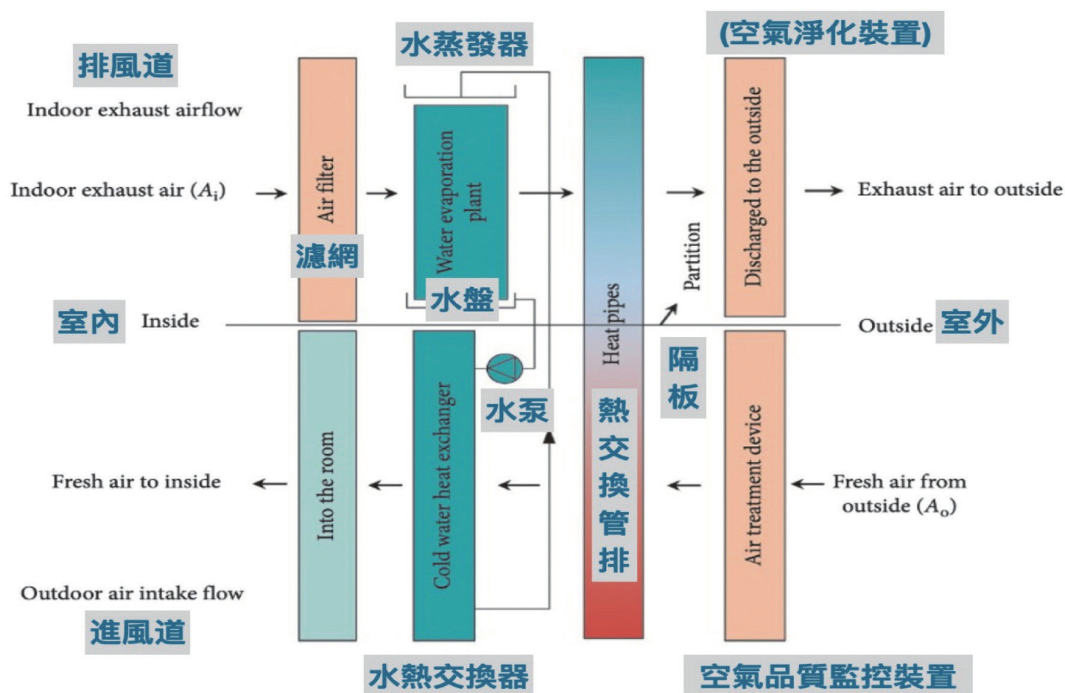


圖2 全外氣自然空調系統概念示意圖(翁國亮，2019)

⁸參考疫情遇到夏天 關冷氣開窗的救星「新風熱交換機」：密閉空間也能有新鮮空氣 Available at: <https://e-info.org.tw/node/225196>。

⁹<https://csr.cw.com.tw/article/41135>。

少可觀的碳排放量⁹。

誠然，要達成淨零排放，絕對不只是消極節能而已，而是應該要同時能夠積極創能與產能。歐洲近年來風行的「被動式節能屋」(passive house)與「正能量建築」(positive energy building)，就是希望建築空間的能源需求能做到自給自足，如同臺灣潘冀聯合建築師事務所協理李大威曾表示：「綠建築在某種程度，只是減低它對環境的影響；而正能量建築，它其實是從一個更宏觀的角度，希望因為這種建築物的普及，能帶給環境正面的一些效益」。

綜觀目前世界各國的狀況，除少數腹地廣大、日照充足的地區，要做到產能大於耗能的「正能量建築」，實屬有相當難度。不過，退一步從「淨零建築」(Net-zero Energy Building, NZEB)開始，倒是有多個國家已開始推動。要做到零碳排，除了節能，產能部分勢必要從再生能源取得，從離岸風力、水力、生質能、到都市建築中較常見的屋頂型太陽能版¹⁰、氫燃料、或其他混合形式的再生能源，都可作為提供能源的重要來源。本文受限於篇幅，故不一一探討各項再生能源之使用現狀，以及應用於建築空間的實際案例，讀者可自行參考其他文獻。

美國綠建築委員會(USGBC)也在2019年提出「LEED Zero」的淨零建築標準指引，分為能源、碳排、耗水、及廢棄物四大面向，其中特別指出建築物在過去一年內所購入的能源(energy delivered)和透過再生能源或綠能所置換的能源(energy displaced)¹¹，相減後要小於等於0，淨零的認證方能成立。這裡的「置換能源」，包含建築自發(on-site)、由社區生產、離岸(off-site)再生能源、與可提供購買證明之綠電憑證(REC)。當然，在某些國家的規範中，也可以將諸如類似歐盟潔淨發展機制(CDM)的減碳額度，納入個別專案的減碳績效。

此外，國際未來生活研究所(International Living Future Institute, ILFI)，同樣屬於長年探討淨零科技，如何導入建築與城市的組織，特別是在開發財務模型方面，於2013年就發起了「Economics of Change」專案，結合美國聯邦政府，州政府共同合作，致力在開發出與房地產綠色投資之有關財務模型，並提供給開發商，營建商，以及金融機構做參考。不只是美國，北邊的加拿大，更是早在1970年代，就因為能源危機而開始關注各個層面的環保議題，其中，綠色生態建築的討論，也是一大重點。2003年成立的加拿大綠建築委員會(Canada Green Building Council, CaGBC)，也在積極倡議規範一套完整，準確的綠建築標準，並希望在各階段的設計去有效減少對環境和住戶的不良影響，而每年所舉辦的CaGBC National Conference and trade show，更是加國綠建築屆的年度盛會，每屆都吸引來自北美地區相關的同業與民眾數千人共襄盛舉。

嚴格來說，對大型建築和機構來說，別說正能量，光是要達到淨零碳排與耗能就是一項非常大的挑戰。特別是在擁擠與人口稠密的都市區域，大型商業建築與集合住宅每年的用電量十分可觀，若再加上「智慧城市」所引入的各類「智慧」電子產品，總體對能耗的需求勢必呈現上升趨勢。正因如此，在產能之餘，也應重視節能，從建築的營建過程、大樓外殼、空調系統、照明設備、三相用電平衡、電器等方面先做好節流，再加上開源(創能與產能)，並輔以適度的定期維運，才是用整合的系統性思考，去達到淨零建築，以及長遠的淨零城市的目標。

4. 打造智慧且永續的未來

不同的機構與研究，在計算耗能、碳排

¹⁰包含直接使用太陽能光伏(Photovoltaics, PV)，或間接使用聚光太陽能熱發電(Concentrated solar power, CSP)。

¹¹對於不同「功能空間」的能源購入與置換，需考量不同的熱量單位及轉換率(詹詒絜，2020)，舉例來說，以英制熱單位BTU (British thermal unit)來看，一度電1 kWh相當於3,413 BTU；一立方米m³的天然氣大約是35,730 BTU。

放、與對環境的影響時，可能會方法的不同而產生數據上的差異。但無論如何，從個別的建築空間乃至從一座城市來看，我們急需智慧永續的解決方案。據美國科學人雜誌對全球 13,000 多座主要的城市調查，可以卻定至少超過 20% 的總體碳排來自於此¹²。要能滿足巴黎協議的高標準，政策扮演著重要因素，而企業與個人在建築空間、交通運輸、生產與消費、生活模式等方面，亦需重新審視能源使用的狀況。

根據奧爾德斯蓋特(Aldergate Group)，全英國最具政策影響力的商業聯盟，執行長 Nick Molho 表示，要能達成巴黎氣候協議的目標，不只政府須積極制定防止暖化的相關政策，企業更是要嚴肅對待氣候變遷的議題。好消息是，自 2018 年以來，各產業，尤其是食品、零售、和仰賴全球供應鏈的製造業，都紛紛赴支實際行動。同時，公司也不該光注重營運過程中的減排，而是要進一步從顧客導向出發，幫助所有的利害關係人減少碳排，才是關鍵。

不少大型的國際工程公司，做出了類似製造業 RE100¹³ 的承諾，包含建立氣候目標與風險因子評估，儘速落實 2030 年前營運淨零排放，甚至是對於大型工程案，需與客戶溝通、精準計算並試圖將建設過程中的碳含(embedded carbon)減半。舉例來說，英國建設公司 Willmott Dixon 就宣示了「Now or Never Strategy」，承諾在 2040 年前，所有的新建案以及老舊建築翻新工程、整修與修繕、乃至上下游供應鏈，全部要做到淨零碳排。這之中，牽涉到龐大的資金，而政府部門亦打算投入相當的資源，幫助企業與產業，能加速落實減碳的工作。英國氣候變遷委員會(The Climate Change Committee, CCC)，近期向政府提交的「第六次碳預算」報告中，便估計若英國欲達到 2050 年淨零目標，至少應在低碳、減碳的研

發與基礎建設上，每年規劃 500 億英鎊的投資。而 IPCC 則預測，全球每年在能源方面需投入 2.4 兆美元，方能減緩氣候變遷的影響。這些鉅額的資金，可以透過各種創新的金融模式，包含 Public-private partnership (PPP)、影響力投資(impact investment)、又或是引入私募架構，結合金融科技的方式，擴大投資人的參與基礎。

回顧臺灣，從缺水、缺電議題，加上國際減碳趨勢，前幾大企業紛紛喊出「綠色供應鏈」、「能源轉型」、「碳定價」與「碳關稅」等目標，溫室氣體造成的影響不再只是環境面，而是更深入到社會與經濟的層次。未來無論是在生活、消費、生產製造，都必須審慎思考相關的氣候因子，否則很難維持競爭力。臺北市作為臺灣最重要的政治、經濟、社會與文化中心，自然在關注國際減碳行動的同時，也積極落實行動方案，打造不光是智慧城市，而是永續城市的目標。根據臺北市政府的公開資料，透過「共享、綠能、E化、安全」的政策，市府除允諾 2050 淨零排放外，更是將原本 2030 年中期的碳排目標，從依據基準線減少 25%，提升為減排至少 30%。如此具野心的標準，自然必須從根本改變起，先鎖定高碳排的交通與建築開始執行，前者可依循大眾運輸導向都市發展規劃(Transit-oriented development, TOD)，包含 2030 年以前公共汽車全面電動化，廣設所謂的 4U 綠能運輸(公共自行車 Ubike、共享機車 U-moto、共享汽車 Car-sharing、以及智慧停車 U-parking)，來完成大眾運輸到居家或公司的「最後一哩路」；後者則是能進一步結合危老都更、綠建築、低碳建築聯盟等方案，不僅在營建、修繕過程降低碳排，更是以完整的建築物生命週期(life cycle, LC)通盤考量，鼓勵建制再生能源、節電設備，並搭配計畫中的城市智慧電網，達到更有效率的能源調度與運用，並徹底落實到各個層面，邁向永續的智慧

¹² <https://www.scientificamerican.com/article/heres-how-much-cities-contribute-to-the-worlds-carbon-footprint/>。

¹³ 「RE100」是由氣候組織(Climate Group)與碳揭露計畫(CDP)共同成立的企業及非營利機構自願性協同組織，加入的成員必須公開承諾在全球達成 100% 使用再生能源的目標及時程。

城市。

除了臺北，台灣電力公司亦是從整體的能源布局上，計劃大幅提高能源效率與擴大再生能源，並建立電力承載順序>Loading Order)，達成零碳電力目標；此外，台電也與各級單位合作，規劃推廣社區型自用電、能源及服務(Energy-as-a-Service, EaaS)，甚至是將「循環經濟」的理念納入全臺電力產電、輸電、配電、除電等各環節之中，攜手全民一起打造低碳社區和淨零城市。

從個別建案來看，最好的範例莫過於臺北101金融大樓，繼2011年取得由美國綠建築協會USGBC (the U.S. Green Building Council) 所頒發全球範圍難度相當高的綠建築國際標準認證後，於2017年再次拿到更進階的LEED v4 (Leadership in Energy and Environmental Design, Version 4)認證。臺北101董事長周德宇在接受訪問時亦表示，臺北101投入了超過2,000萬臺幣，以全方位系統整合的方式思考，從智慧能源管理、綠色照明、空調節能以及環保電力上推動各種措施，整年因為能源效率提升與水資源回收運用，節省近14萬公噸的碳排量、58,000噸的用水¹⁴，成效可觀。

若轉向鄰國借鏡，新加坡在2021年啟動的「2030 綠色計畫」(Singapore Green Plan 2030)，從五個主軸呼應聯合國永續發展目標：自然城市(City in Nature)、永續生活(Sustainable Living)、能源重置(Energy Reset)、綠色經濟(Green Economy)、和韌性未來(Resilient Future)。新加坡也因為國土面積受限，難以大規模開發潔淨能源，故新加坡政府特別重視各項能資源之充分利用與處理，以及個別建築空間，如居住空間、營業場所等，如何運用最有效益的方式，進行節能減碳。同時，2030綠色計畫也是一個開放大眾參與的計畫，其動員公、私部門與一般民眾，共同創造永續解決方案。

放眼首屈一指的大都會：紐約，除了在上述提及(註2)，早於2018年便率先提出自願性地方政府評估報告(VLR)之外，更是早在2015年便提出了OneNYC (One New York: The Plan for a Strong and Just City)計劃。即便時任美國總統的川普無意推行綠色政策，紐約仍堅持以城市的力量，響應控制1.5度升溫的目標¹⁵，並於2019年宣布將斥資140億美元，讓紐約可以在2030年以前，較基準年降低30%的碳排，以及2050全面使用潔淨能源。如此雄心壯志，勢必得從「碳排大戶」著手改造，綜觀紐約這樣的都會，廣義上建築物便佔了近70%的碳排污染，交通運輸次之。因此，紐約市便打算將該市約50,000棟左右、具有25,000平方英尺或以上的現有建築進行能源升級，以減少碳排放(能源知識庫，2019)。而在能源供應的部分，紐約也計畫將連結加拿大的水力發電系統，並透過智慧電網，鼓勵自主建置節能設施等方式，朝2050年100%淨零碳排邁進。

而臺灣自2015年推出「溫管法」以來，預計2021年二度修法，都是希望能有效控制溫室氣體排放，並導入適當的碳定價機制，讓外部成本內部化，符合「污染者付費」的原則。雖說現階段僅針對表列的碳排大戶與特定廠商，但如本文分析所指，建築所若佔總體的碳排放有相當的比例，則為了儘早「碳達峰」並邁向「碳中和」，勢必也有跨部會協調，擬定減排方案的必要。無論是利用溫管法(環保署)，抑或是效仿歐洲能制定建築能源護照(營建署)，甚至是結合政府大型工程採購(經濟部)，減碳額度折抵營利所得稅(財政部)等，都是極具創意的政策思考，未來，都有機會在時機成熟之際，逐漸被討論並納入可行性評估。

5. 建築與城市，城市與人，人與環境共好的生活樣貌

¹⁴ http://www.ibtmag.com.tw/new_article.asp?ar_id=25059。

¹⁵ <https://www.climatechangenews.com/2017/10/03/new-york-city-aims-carbon-neutral-2050/>。

當氣候緊急時代來臨，各行各業都必須動起來因應。在營建、建築與空間使用方面，也會需要做出適當的調整。從法規、建造方式、工程、設計規劃、與能源使用等，再加上生產與消費方式的改變、政策與法規上的與時俱進，全方位系統性的思考規劃，才能真正用最有效率的方式，盡量減少負面的經濟衝擊與疏漏(carbon leakage)，以在時限內去符合巴黎協議的高規標準。

面對共同的城市問題，則是可以透過平台整合的方式來解決，例如，蘋果建置iOS系統，人人皆可在上面開發；鴻海喊出了MIH (Mobility In Harmony)電動車聯盟，讓產業相關的人都可以參與貢獻；甚至中本聰提出的區塊鏈理念，也造就了去中心化卻能穩定運作的金融生態體系。同理，建築、生活空間、乃至城市規劃，亦需從根本架構進行調整，從過去工業時代注重功能與成本，轉而重視終端用戶的需求：潔淨能源、室內空氣品質、以及模組化的服務而非單純設備買賣，進而讓淨零碳排、零廢熱、零廢電的目標，可以逐步作為綠建材、建造工法、冷凍空調、熱水冰水主機、以及空間使用與運營的標準。如此，至少能從建築的角度，解決高度城市化之下，能源需求與降低碳排的議題。

誠如世界永續發展商業委員會(World Business Council for Sustainable Development)負責建築能源效率專案的Christian Kornevall所言，他認為節約能源能夠省錢，又能推動經濟發展。光是綠能科技的市場，保守估計就已超過1兆美元，還有機會減少溫室氣體排放。放眼全球，世界各國已積極採取行動。像美國總統歐巴馬任內所公布的「更好建築計畫」(The Better Buildings Initiative)，就是為了提高商業大樓的能源使用效率、增加就業機會，同時又能做到節能減碳。

我們都需要更好的方式、用正確的態度，來解決當下的問題。節能不光是政府與企業「漂綠」的公關形象，而是應從基礎著手，系

統化思考，並運用適當的新創模式與技術，來改變逐漸暖化的世界。最後，引述馬克吐溫曾說過的一句話：

Plan for the future because that's where you are going to spend the rest of your life.

參考文獻

- 林憲德，2018。建築產業碳足跡：建築、景觀、室內裝修的碳管理策略，臺北：詹氏出版。
- 柯明村，2016。空調系統節能與實務案例，國立臺北科技大學，能源與冷凍空調工程系，會議簡報，<https://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr/news/asip2016/04.files/A/%E7%A9%BA%E8%AA%BF%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E7%AF%80%E8%83%BD%E8%88%87%E5%AF%A6%E5%8B%99%E6%A1%88%E4%BE%8B.pdf>。
- 能源知識庫，2019。美國紐約市將禁止低效率的玻璃摩天大樓，華盛頓州則將在2030年完全依靠碳中和電力，https://km.twenergy.org.tw/Data/db_more?id=3634。
- 翁國亮，2019。Planning and Design of Low-Power-Consuming Full-Outer-Air-Intake Natural Air-Conditioning System. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2019/6939632/>。
- 詹詒絜，2020。國際「淨零」建築系統 帶你一起節電、降排、省水、減廢，台達電子文教基金會，Available at: <https://www.delta-foundation.org.tw/blogdetail/3090>。
- BLab，2021。全球夯投資房地產科技 扭轉氣候危機，<http://blab.tw/b-media/fifth-wall-proptech>。
- Adalberth, K., 1997. Energy Use during the Life Cycle of Buildings. Build. Environ. 32, 317-320.
- Arimura, Toshi H. & Tatsuya Abe, 2021. The

- impact of the Tokyo emissions trading scheme on office buildings: what factor contributed to the emission reduction? <https://link.springer.com/article/10.1007/s10018-020-00271-w>.
- Chen, L.L., 2009. Research on the Evaluation Index and Methods of Low-Carbon Buildings; Southwest Jiaotong University: Chengdu, China.
- Chen, W.K. & F. Luo, 2008. Research on the building energy consumption based on life cycle theory. *Build. Sci.*, 10, 23-27.
- GGMCF, 2021. Global Gridded Model of Carbon Footprints, <http://citycarbonfootprints.info/>.
- Michiya, S., O. Tatsuo & O. Kiyoshi, 1995. The Estimation of Energy Consumption and CO₂ Emission due to Housing Construction in Japan. *Energy Build*, 22, 165-169.
- Nassen, J., J. Holmberg & A. Wadeskog, 2007. Direct and Indirect Energy Use and Carbon Emissions in the Production Phase of Buildings: An Input-Output Analysis. *Energy*, 32, 1593-1602.

From Green Buildings to Net-Zero Buildings, How Can We Create a Sustainable City

Jack Huang^{1*}

ABSTRACT

The increasing urbanization causes the fact that people move to the mega cities in different regions, as a result, this trend further push the productivity, consuming, energy consumption and the demand of resources. All business-as-usual activities could lead to a dramatically heighten the level of GHG emission, mostly, the carbon dioxide emission. In order to prevent warming beyond 2 degree C by 2050, nations around the world must work together under the guidance of the Paris Agreement. According to studies, cities play an important role on climate change and it's also critical to reduce GHG emission within cities. Among many discussions on the future cities, we shall not only focus on "smart city" but also emphasizing "sustainable city" in the dialogues. If we look closely on humankind's activities in a city, it can find that people spend more than 70% of their time indoors. Thus, the building-related energy consumptions could be one of the major emitters. In this paper, we will focus on the "use stage" of the whole life cycle (LC) of the buildings, analyze their energy consumption, as well as the carbon footprint, and argue the potential solutions for creating the net-zero buildings. Eventually, creating the net-zero city could be possible in the near future.

Keywords: Sustainable City, Low-Carbon Emission Buildings, Net-Zero Carbon Emission, Zero Heat Emission.

¹CEO, Eliconn Co., Ltd. (SHOULD); Former Consultant, OICT, United Nations.

* Corresponding Author, Phone: +886-918-246809,

E-mail: jackh.should@gmail.com

Received Date: June 16, 2021

Revised Date: July 31, 2021

Accepted Date: August 9, 2021