

2023 EDITION

建築碳足跡 評估概論

實現低碳建築要從設計開始



從建材到建築、組成建築的碳足跡，
在設計階段就做出正確的決定，才能逐步邁向淨零建築。

**建築蘊含碳排是什麼？
什麼是低碳混凝土？**

**什麼是合理的結構設計？
舊建築是否要再利用？**

序

2015 年的《巴黎協定》，在國際上掀起了淨零排放的浪潮，呼籲全球推動淨零排放立法，最遲於 2050 年全面達到淨零排放的目標。2021 年國際能源署提出了 2050 淨零路徑，以做為各國的行動準則。為因應此國際趨勢，我國於 2022 年，由國家發展委員會發佈「台灣 2050 淨零路徑」，具體宣告我國淨零碳排的時程。

綠建築標章自 1999 年施行已逾二十年，讓我國的營建產業，在經濟發展的同時，能夠落實永續發展的社會責任。這個堅持平價技術、尊重設計、自然優先的制度，也成為具備亞熱帶特色的模範評估系統。雖然，綠建築標章是一個兼顧生態、節能、減廢及健康的綜合型指標，碳排放量的減量，亦在綠建築的內涵之中，但仍需再建立針對碳排放量評估的指標，以因應國內外對於淨零碳排評估與相關政策的需要。

建築全生命週期的碳足跡，包含建築能源使用部分的「使用碳排」，以及建材製造運輸與施工的「蘊含碳排」。本所已於 2022 年建立建築能效標示制度，將使用碳排納入評估，而蘊含碳排的評估方式，也即將於 2024 年上路。這兩個標示制度，是依據當前國際最新的建築全生命週期碳足跡評估標準所建立，可以將國內外對於淨零建築、零碳建築的期待，予以具體化，成為我國達到淨零建築的量化指標。而本所也配合編擬一系列的叢書（教材），包含「非住宅建築能效評估概論」、「住宅建築能效評估概論」及「建築碳足跡評估概論」等，做為相關領域人才培訓的教材，以及對社會大眾的科普叢書，提升各界對淨零建築議題的關注。

「低蘊含碳建築評估標示」制度是依據當前國際最新的建築碳足跡評估標準所建立，可以將國內外對於淨零建築、零碳建築的期待具體化。這個制度適用於設計階段的簡易評估。期許我國營建產業，在碳排評估的建築能效評估標示制度（BERS）及低碳建築評估系統（LEBR）雙軌制度之下，讓減碳從改變設計開始，在設計階段就做好低碳的決策，才是落實碳排減量的具體且有效之策。

內政部建築研究所 所長

王崇達 謹誌

2023 年 12 月

建築碳足跡評估概論

Section 1. 淨零初探

Chapter 1. 溫室效應是什麼	2
Chapter 2. 碳中和	4
Chapter 3. 什麼是 Race to Net Zero	6
Chapter 4. 碳中和與淨零排放有何不同	8
Chapter 5. 台灣的 2050 淨零路徑挑戰	10
Chapter 6. 實踐淨零建築的兩支箭	14
Chapter 7. 近零建築與淨零建築有何不同	18

Section 2. 建築蘊含碳排理論

Chapter 8. 什麼是蘊含碳排？	22
Chapter 9. 建築的蘊含碳排怎麼來的	24
Chapter 10. 國際上如何管制蘊含碳排？	26
Chapter 11. 碳盤查與碳足跡	28
Chapter 12. 環保署的碳標籤與減碳標籤	29
Chapter 13. 建材產品的碳足跡	30
Chapter 14. 國際上的建材產品碳足跡資料庫	32
Chapter 15. 建築工程要如何得到碳排放量？	33
Chapter 16. 建築的生命週期與蘊含碳排	34
Chapter 17. 在設計階段減碳最有效	36

Contents

Section 3.	Chapter 18. LEBR 的方法論	40
我國低蘊含碳排	Chapter 19. 建築構件的分類	42
建築評估系統 LEBR	Chapter 20. 如何知道建築構件的壽命長短	44
	Chapter 21. 我國的建材碳足跡資料庫	45
	Chapter 22. 低碳循環建材的認定	46
	Chapter 23. 低碳工法的認定	47
	Chapter 24. 為建築設計階段設計的四階段評估法	48
	Chapter 25. 看 LEBR 的分級就知道多低碳	50
Section 4.	Chapter 26. 合理的結構設計是成功減碳的第一步	54
如何降低建築的	Chapter 27. 採用低碳混凝土	55
蘊含碳排	Chapter 28. 依據需求選擇適當且低碳的建築構件	56
	Chapter 29. 鋼構造比較減碳嗎	57
	Chapter 30. 採用木構造比較低碳嗎	58
	Chapter 31. 建構低碳城市	59
	Chapter 32. 循環經濟的創意無限	60

1. ABRI (Architecture and Building Research Institute)，內政部建築研究所

為我國政府機關，設置目的係為推動全國建築研究發展，達成國家整體建設之目標。

2. BERS (Building Energy-Efficiency Rating System)，建築能效評估系統

內政部建築研究所以台灣的氣候條件、建築節能法規、綠建築評估體系所開發的建築能效評估系統。

3. BERSc (Building Energy-Efficiency Rating System for Convenience Stores)， 既有便利商店能效評估系統

建立於 BERS 下，適用於品牌連鎖超商之便利商店之建築能效評估系統。

4. BERSe (Building Energy-Efficiency Rating System for Existing Buildings)， 既有建築能效評估系統

建立於 BERS 下，適用於既有非住宅類建築之建築能效評估系統。

5. BERSi (Building Energy-Efficiency Rating System for Institutional Buildings)， 既有機構建築能效評估系統

建立於 BERS 下，適用於辦公、旅館、百貨商場、醫院等四類建築群組織機構組織對旗下建築之建築能效評估系統。

6. BERSn (Building Energy-Efficiency Rating System for New Buildings)， 新建建築能效評估系統

建立於 BERS 下，適用於新建非住宅類建築之建築能效評估系統。

7. CEI* (Carbon Emission Intensity Index)，碳排密度指標

在建築能效評估系統 BERS 所定義的耗能量計算範疇 ECB 內，每單位坪樓地板面積的碳排密度，單位為 $\text{kgCO}_2/(\text{m}^2.\text{yr})$ ，它與耗電密度指標 EUII* 意義相同，被用來作為 BERS 的分級評估與能效標示依據。

8. CFR (Carbon Footprint Reduction Ratio)，碳足跡減碳率

設計建築物與基準建築物相比，在 LEBR 評估範疇內的蘊含碳排之減碳比例。

9. DEC (Display Energy Certification)，能源公開揭露認證

針對既有公眾使用的建築物提供以能源單據能效評估並對公眾公開揭露之認證，它源自 EPBD7.3 文件的規定。

10. EC (Embodied Carbon)，蘊含碳排

是由消費者角度「隱藏看不到」而內含於建築物生命週期過程，包括由建材的原始資材挖掘、運輸、工廠生產、運至工地、現場施工、更新維護、拆除廢棄等過程的碳排。

11. EPC (Energy Performance Certification)，建築能效認證

以模擬計算為主且無須能源單據驗證的新建建築物能效評估法，它源自 EPBD7.2 文件的規定。

12. EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)，建築能效指令

歐洲議會為了改善歐盟建築能效所推出的法令，該第一版指令 EPBD2002/91 / EC 於 2002 年 12 月 16 日獲得批准，並於 2003 年 1 月 4 日生效。

13. EPD (Environmental Product Declaration)，國際第三類產品環境宣告

基於產品生命週期之特性，依據 ISO 14025 標準提供消費者量化且可比較之環境績效結果。

14. EUI (Energy Use Intensity)，耗電密度

建築物每單位樓地板面積的全年用電密度，單位為 $[kWh/(m^2 \cdot yr)]$ 。

15. EUI* (Energy Use Intensity Index)，每單位樓地板面積的全年用電密度指標

在建築能效評估系統 BERS 所定義的耗能量計算範疇內，每單位樓地板面積的耗電密度，單位為 $[kWh/(m^2 \cdot yr)]$ ，被用來作為 BERS 的分級評估依據。

16. ESR(Energy Saving Rate)，節能率

以綠建築節能計算基準年（2000 年）水準與能效計算範疇 ECB（在 BERS 為空調、照明、電梯三系統總耗電量）所計算的節能比例。

17. GHG (Greenhouse Gas)，溫室氣體

造成地球溫室效應的氣體種類，包括二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、一氧化二氮 (N₂O)、氟化氣體、水蒸氣等氣體。

18. LEBR (Manual of Low Embodied-carbon Building Rating system)， 低碳 (低蘊含碳) 建築評估系統

內政部建築研究所以台灣的建築工法、建築法規、綠建築評估體系所開發的低碳建築評估系統。

19. LEBRS (Low Embodied-carbon Building Rating System)，低碳建築評估系統

用於評估台灣建築蘊含碳排 EC 之評估系統。

20. Net Zero，淨零排放

在特定時間內（通常是一年）使溫室氣體的人為排放與移除量達成平衡。

21. NZCB (Nearly Zero-Carbon Building)，近零碳建築

仿歐盟的近零能建築 NZEB 概念，被提出作為台灣建築能效標示制度最高能效建築的名詞。NZCB 在非住宅建築以節能率 50% 以上被認定為 NZCB 水準，在住宅建築則以減碳率 30% 以上被認定為 NZCB 水準。

22. NZEB (Nearly Zero-Energy Building)，近零能建築

NZEB 在 EPBD2010 之第二號文件的定義：NZEB 對於 EPBD2010 附件 1 所規範之能源項目（採暖空調、換氣、熱水等）必須具備非常高的能效，且必須以當地或鄰地生產的再生能源，將建築用電減至接近零或非常低耗能的水準。

23. NZB (Net Zero Building)，淨零建築

依賴現場再生能源設施或外購再生能源憑證所產出的全年耗電量大於或等於該建築物全年總耗電量之建築物。

24. OC (Operational Carbon)，使用碳排

指產品或服務的使用過程中產生的碳排放，例如開車時汽車燃料燃燒產生的碳排放、建築物日常使用電力產生的碳排放等。

25. PCR (Product Category Rules)，產品類別規則

針對特定的一個產品或一產品群進行環境宣告之生命週期範疇進行界定之作業程序文件。

26. R-BERS (Building Energy-efficiency Rating System for Residential Buildings) , 住宅能效評估系統

建立於 BERS 下，適用於新建住宅類建築之建築能效評估系統。

27. UR (Urban-Rural Factor) , 城鄉係數

BERS 為了因應鄉間人口密度下降所產生建築空間使用率低落因而導致建築耗電量下降現象所導入的耗電量修正係數。

28. ZEB (Zero Energy Building) , 零耗能建築

日本政府為加強日本國內建築物之能效提升措施，非住宅類建築節能 50% 以上且使用 100% 再生能源或以上者，將全年一次能源消耗量為淨零或負值的建築物。

29. ZEH (Zero Energy House) , 零耗能住宅

日本政府為加強日本國內住宅之能效提升措施，住宅類建築節能 20% 以上且使用 100% 再生能源或以上者，將全年一次能源消耗量為淨零或負值的建築物。

Section

1

淨零初探

Chapter 1. 溫室效應是什麼	2
Chapter 2. 碳中和	4
Chapter 3. 什麼是 Race to Net Zero	6
Chapter 4. 碳中和與淨零排放有何不同	8
Chapter 5. 台灣的 2050 淨零路徑挑戰	10
Chapter 6. 實踐淨零建築的兩支箭	14
Chapter 7. 近零建築與淨零建築有何不同	18

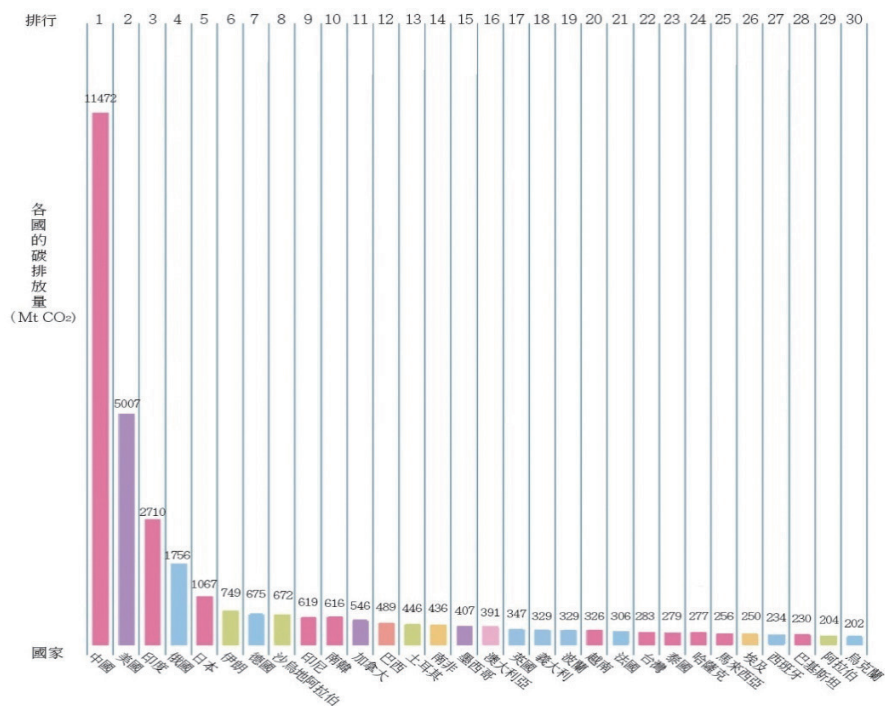
溫室氣體 (Greenhouse Gas, GHG) 中包含二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4)、一氧化二氮 (N_2O)、氟化氣體、水蒸氣等，主要是日常生活中為提供能源時，燃燒石油、天然氣或煤炭等化石燃料所釋放出溫室氣體，溫室氣體和溫室玻璃類似，射進來的太陽光經地球反射成為紅外線，而溫室氣體導致紅外線無法輕易釋放到外太空，使地球變的溫暖，此種現象被稱為「溫室效應」。不同的溫室氣體對造成地球溫室效應的能力都不同，例如：氟化氣體為無機人造氣體大部分用在冷藏冷凍，而該氣體對於全球暖化潛勢 (Global Warming Potential, GWP) 是二氧化碳的 1 千倍以上，為了方便計算，需要一個統一的量度單位。由於二氧化碳占溫室氣體總量約 80%，且是主要人為產生的溫室氣體，國際間便以其作為基本單位，將其他溫室氣體造成溫室效應的能力，也轉化為相當於多少二氧化碳所造成溫室效應的能力，這個比例叫做「二氧化碳當量」，單位是 CO_2e 。

由於台灣高度仰賴進口化石燃料高達 98%，名列於全球前三十大高碳排國家（第 22 名），而 2021 年的人均碳排放量為 11.84 公噸，遠高於世界 (4.69)、日本 (8.57)、歐盟 27 國 (5.89) 和中國 (8.05)。顯示出台灣的人口數與面積比相對其他國家都小，卻有如此高的人均碳排放量，減碳的責任責無旁貸。

燃燒化石燃料會增加大氣中的溫室氣體，捕捉熱能，導致地球變的溫暖。造成嚴酷天氣，包括颶風、豪雨、洪水、乾旱、暴風雪等異常氣候。

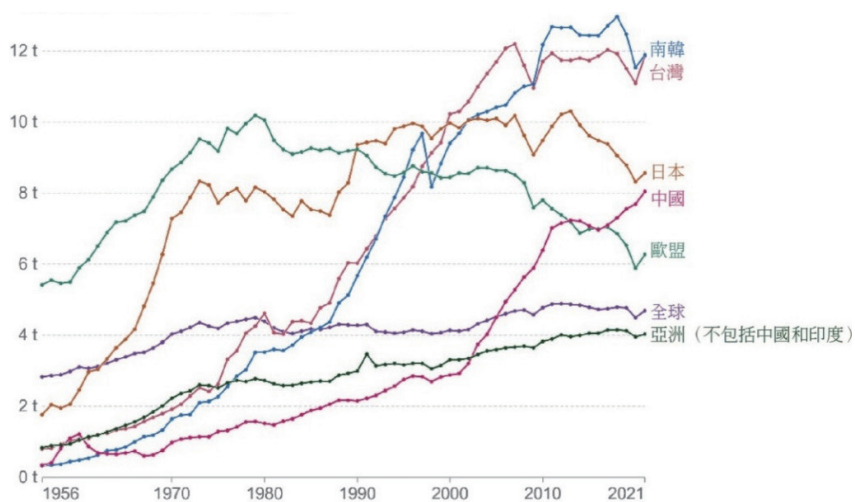


溫室效應對地球的影響



世界前 30 大碳排國

參考資料 | <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>



來源：Our World in Data based on the Global Carbon Project (2022) [OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions](https://www.ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions) • CC BY

1. 化石燃料排放 (Fossil emission)：化石燃料排放是指燃燒化石燃料所排放的二氧化碳以及工廠製造水泥和鋼鐵生產等產品所排放的二氧化碳。
2. 化石二氧化碳 (Fossil Co₂) 包括煤、石油、天然氣、燃燒、水泥、鋼鐵和其他工業過程的排放。
3. 化石燃料排放不包括土地利用的變化、森林砍伐、土壤或植被。

人均碳排放比較 (1956-2021)

參考資料 | <https://www.worldometers.info/co2-emissions/co2-emissions-per-capita>

自 18 世紀工業革命以來，人類依賴石化燃料帶來的文明發展也讓溫室氣體排放急劇上升，對全球經濟、社會和環境造成深遠影響。碳中和（Carbon Neutrality）目的在抵銷人類活動產生的二氧化碳，**可以透過減少碳排放、增加碳匯、購買碳權等方式實踐**。例如：執行綠建築設計、提高能源效率、使用可再生能源和推廣綠色交通等方式有助於減少碳排放；在基地內多種植樹木、保護生態系統等方法則可增加碳匯。為了抵銷產生的二氧化碳，期望透過以下手法達成：

(1) 減少碳排放：

實現綠建築設計、提升能源效率、使用可再生能源以及推廣綠色交通。

(2) 增加碳匯：

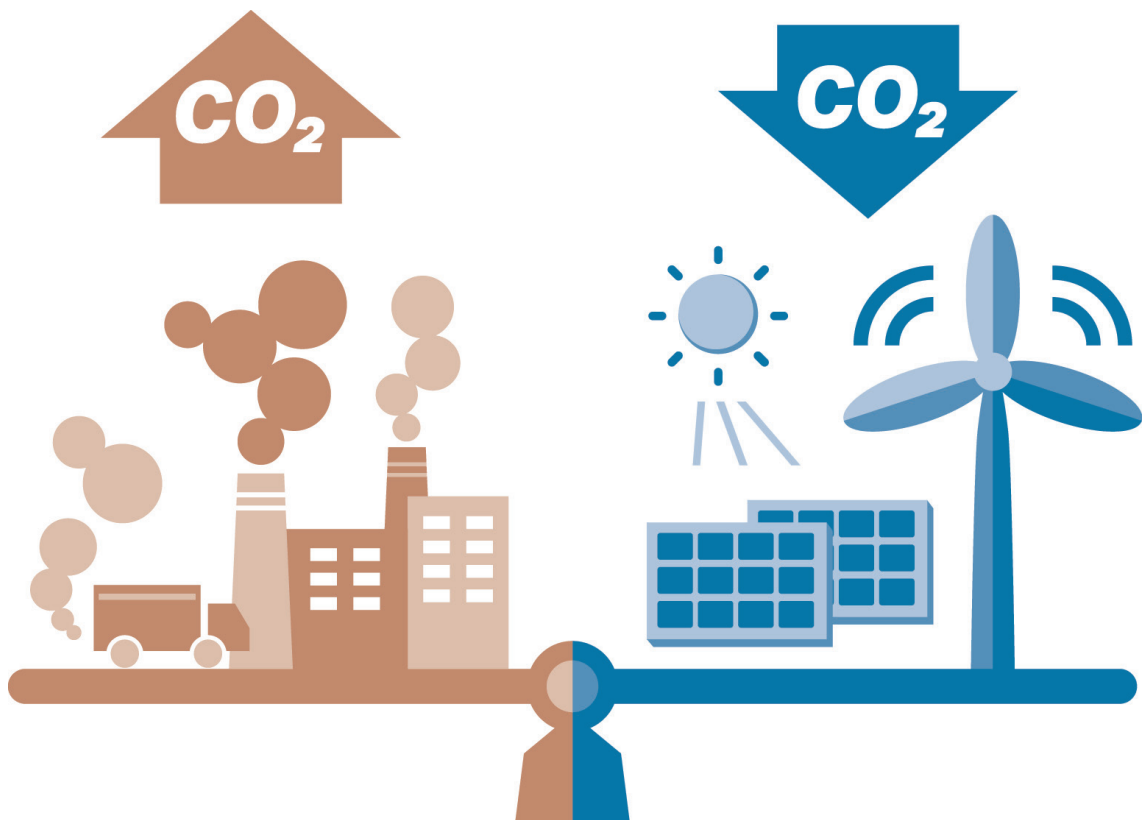
保護森林、沼澤、草原等生態系統，並在建築周圍種植樹木以吸收並固定二氧化碳。

(3) 購買碳權：

企業和國家可通過購買碳權來抵銷無法減少的碳排放，達到淨零碳排。

TIPS

「碳權」是一種碳排放權利的交易，是將碳排放類似財產的方式進行買賣。碳權通常是由政府或國際機構發放，表示某一國家、企業或個人在一定時間內可以排放的碳的總量，稱為碳排放配額。如果某個國家或企業的碳排放量超過了它的碳排放配額，就必須從其他國家或企業購買額外的碳權，以彌補其超額排放的部分，而購買碳權的錢通常作為投資綠色能源的開發或環保事業。



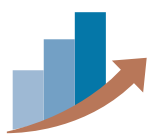
碳中和：人類生產消費或進行活動產生的二氧化碳，透過減少碳排、增加碳匯、購買碳權等方式抵銷產生的二氧化碳，兩者相抵後為零。



「碳中和」的目標在於減少溫室氣體排放和提高碳匯能力，以減緩氣候變遷帶來的衝擊。2015 年《巴黎協定》後，聯合國提出 Race to Net Zero 活動（淨零排放競賽），全球共有 137 個國家參與，絕大多數國家承諾在 2050 年左右實現碳中和。其中，不丹和蘇里南已實現碳中和，烏拉圭希望在 2030 年達成，歐洲的芬蘭、奧地利、冰島、德國和瑞典則定目標為 2045 年前。超過 90% 的國家設定在 2050 年實現碳中和，但澳洲、新加坡、烏克蘭、哈薩克斯坦和排放量最大的國家中國則延後至 2060 年。雖然台灣未列入 137 個國家名單，但 2022 年國家發展委員會提出 2050 淨零排放路徑，期望共同參與這場環保活動。截至 2022 年 9 月，全球已有 8,307 家公司、595 家金融機構、1,136 個城市、52 個州和地區、1,125 所教育機構和 65 家醫療機構加入 Race to Net Zero，共同為碳中和努力。

TIPS

巴黎協定（Paris Agreement）於 2015 年通過，旨在抗衡氣候變化。主要目標為：(1) 控制全球氣溫上升在 2°C 內，並努力將其限制在 1.5°C 內；(2) 在本世紀中期達到全球碳排放上限，進而實現淨零排放；(3) 已發展國家向發展中國家提供資金支持，促進綠色低碳發展；(4) 建立全球透明度框架，以評估和監察各國在應對氣候變化方面的進展。



盈利能力

節約成本、改進流程、降低能源和碳價格——以及新的收入來源。



安全性和彈性

減少對更廣泛的能源網絡的依賴以及相關的故障風險。



聲譽利益

客戶更喜歡對環境負責的公司，並通過他們的購買行為表現出來。



可持續性

可以支持企業未來的發展方向和成功，同時也有利於當地社區。

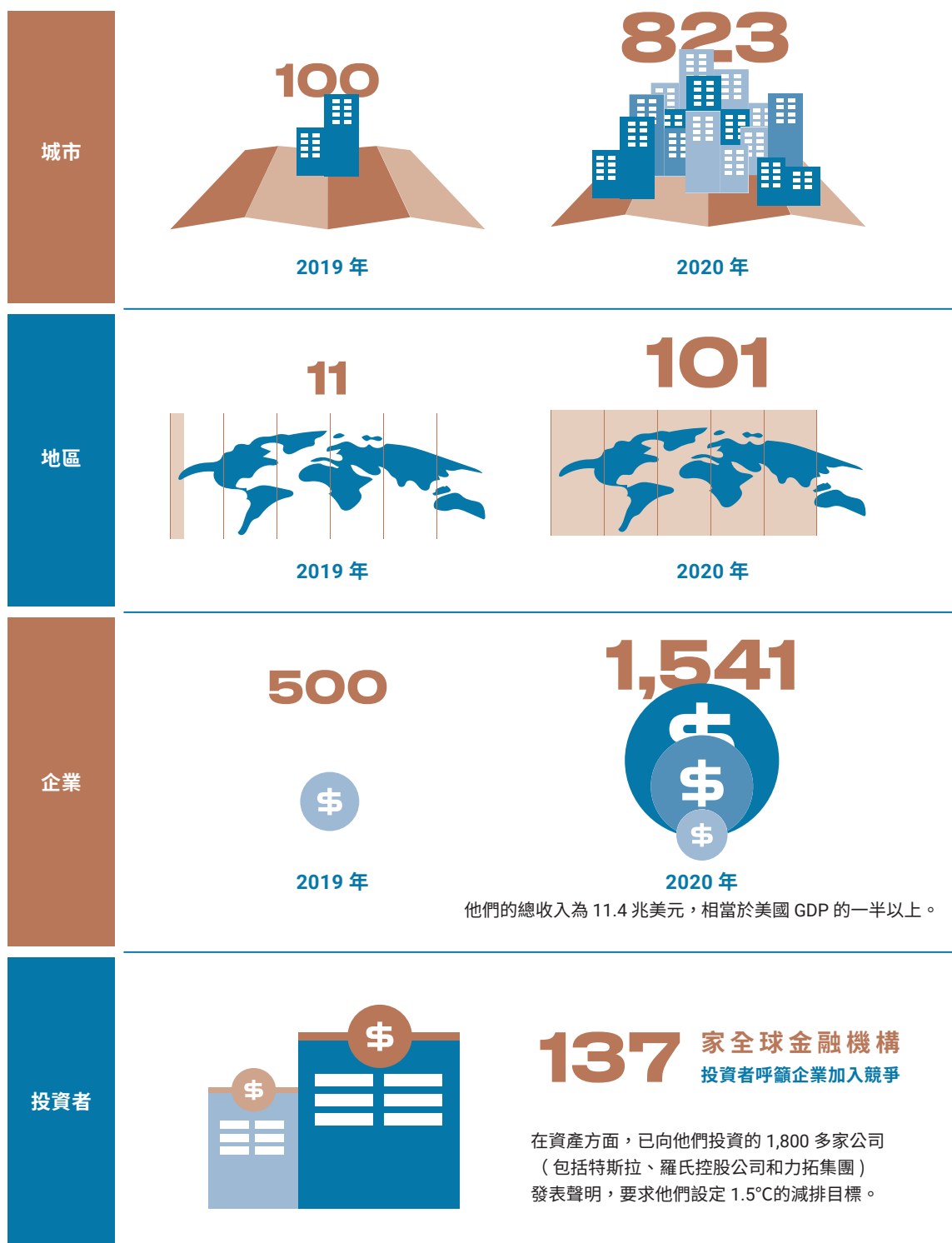


投資與創新

增加綠色投資可以減少資本支出需求，幫助企業專注於創新。

企業追求淨零排放有什麼好處

參考資料 | <https://bit.ly/3K2GRuy>



有誰加入了 Race to Net Zero 淨零排放競賽

參考資料 | <https://bit.ly/3K2GRuy>

「碳中和」與「淨零排放」的本質其實很接近，但其降低的對象與策略有所不同。碳中和主要針對二氧化碳排放，而淨零排放則涵蓋二氧化碳及其他 6 種溫室氣體。兩者皆在降低排放並抵銷排放，但淨零排放的目標更為廣泛。本單元比較它們的定義和涵蓋範疇的不同。淨零排放不是不排放，而是努力讓人為造成的溫室氣體排放極小化，再用負碳技術、森林碳匯等方法抵消，達到淨零排放。

(1) 碳中和 (Carbon Neutrality)：

主要關注在二氧化碳 (CO₂) 的排放與抵銷。目標是通過減少二氧化碳的排放、增加碳匯和購買碳排放抵消等方式，在特定時期內（通常是一年）使人為排放的二氧化碳減至零。這需要進行「碳足跡盤查 CFV」，以掌握評估標的物的碳排放量，然後採取減量措施或抵換行動，以實現「碳中和」。

	碳中和	淨零排放
定義	溫室氣體排放總量被平衡或「抵消」，無須降低絕對排放量	根據最新的氣候科學和 1.5° C 軌跡，減少溫室氣體排放，並抵消難以減少的剩餘排放
排放涵蓋範疇	涵蓋範疇 1 和範疇 2 排放的最低要求，鼓勵範疇 3	涵蓋範疇 1、2、3
適用的抵銷量	碳避免 / 減少信用額度，以及去除信用額度	僅碳去除信用額度
應用對象	公司企業、產品、服務層級	全球、國家、公司層級

1. 範疇 1 (**直接排放**)：組織的溫室氣體排放，如製造過程使用的石化燃料或運輸工具所產生的排放。
2. 範疇 2 (**間接排放**)：組織購買電力、熱和蒸氣產生的間接排放溫室氣體。
3. 範疇 3 (**其他間接排放**)：為公司外部產生的所有間接排放，不受組織直接控制，如員工通勤、商務差旅、使用銷售商品、廢棄物處理等多個方面的排放。

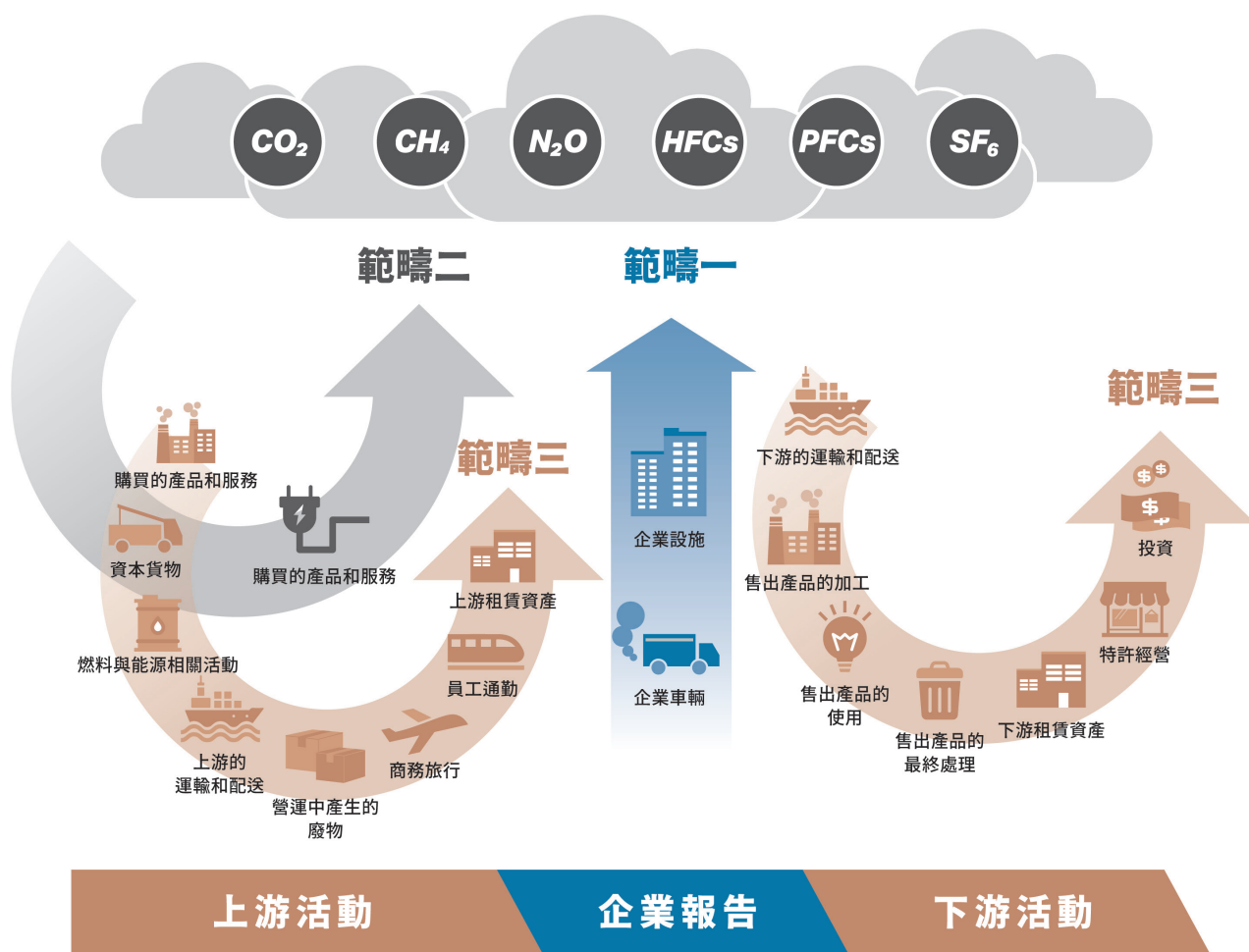
TIPS

碳足跡盤查 (Carbon Footprint Verification, CFV)：

根據 ISO 14067 所提出的「碳足跡」評估標準，進行產品或服務所產生的碳足跡調查，在完整的生命週期內產品或服務的溫室氣體排放量。溫室氣體排放涵蓋了直接排放、間接排放、其他間接排放等 3 大範疇。

(2) 淨零排放（Net Zero）：

上述碳中和的觀念是以二氧化碳（CO₂）減量為主要訴求，但是溫室氣體中仍存在其他暖化增溫更為劇烈的氣體，如甲烷（CH₄）、氧化亞氮（N₂O）、氫氟碳化物（HFC_s）、全氟碳化物（PFC_s）、六氟化硫（SF₆）、三氟化氮（NF₃）等氣體。其目標是在特定時間內（通常是一年）使所有的溫室氣體人為排放與移除量達成平衡。



溫室氣體（GHG）協議範疇和價值鏈中的排放

參考資料 | Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard

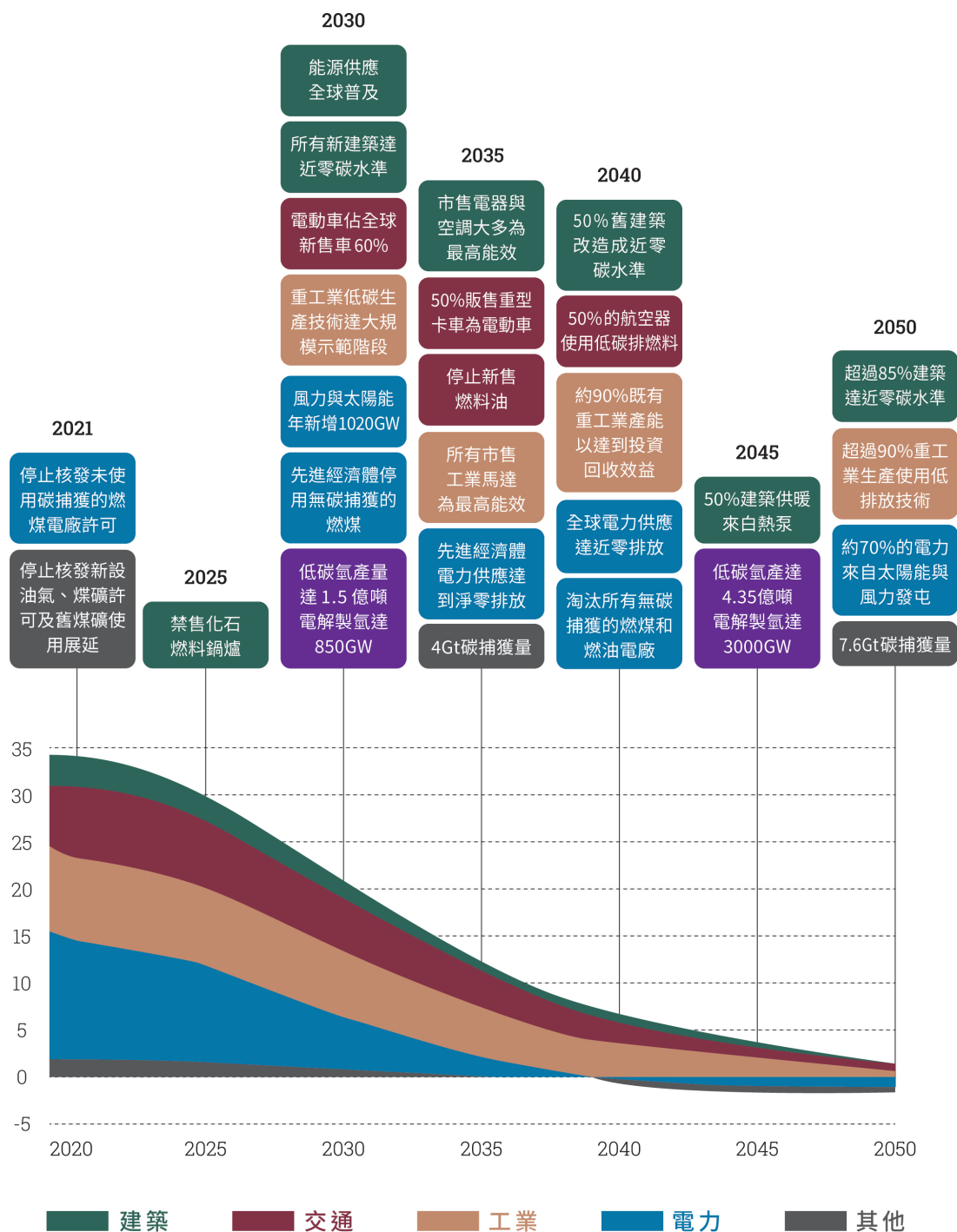
2021 年國際能源署（IEA）在「2050 淨零路徑（Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector）」報告中設定了各國政府的行動指南，提出多個重要的里程碑。包括 2025 年禁售化石燃料鍋爐，到 2030 年新車需有 60% 為電動車，2040 年全球電力應達近零排放，以及到 2050 年 70% 的電力需來自太陽能和風力等。同時，該報告強調建築產業需要加強近零碳建築的推動，即到 2030 年所有新建建築，2040 年超過一半的現有建築，以及到 2050 年超過 85% 的所有建築，都需要達到近零碳建築的水準。

因應這一國際趨勢，2022 年國家發展委員會也發佈了「台灣 2050 淨零路徑」。該路徑包括「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」和「社會轉型」四大轉型，以及「科技研發」和「氣候法制」兩大治理基礎，以實現台灣的淨零轉型目標。讀者應該有發現該圖的「建築產業」減碳量似乎沒有顯著降低，這是因為該路徑的建築產業是計算直接碳排（瓦斯、煤炭等能源），而建築物碳排放最高的則是間接碳排（電力能源）歸類於「電力產業」之計算，加上建築產業最大的減碳潛力集中在電力能源的節約上，因此呈現建築產業似乎沒有明顯降低的誤解，其實相同規模的建築物，如果確實執行節能設計，要節約 5 成以上的電力並非難事。在建築產業方面，期望在 2030 年所有公有新建建築物需達到建築能效 1 級或近零碳建築的水準，到 2050 年所有新建建築物以及 85% 的既有建築都必須達到近零碳建築的目標，此一艱鉅的目標顯示台灣在應對氣候變化方面的決心和努力。

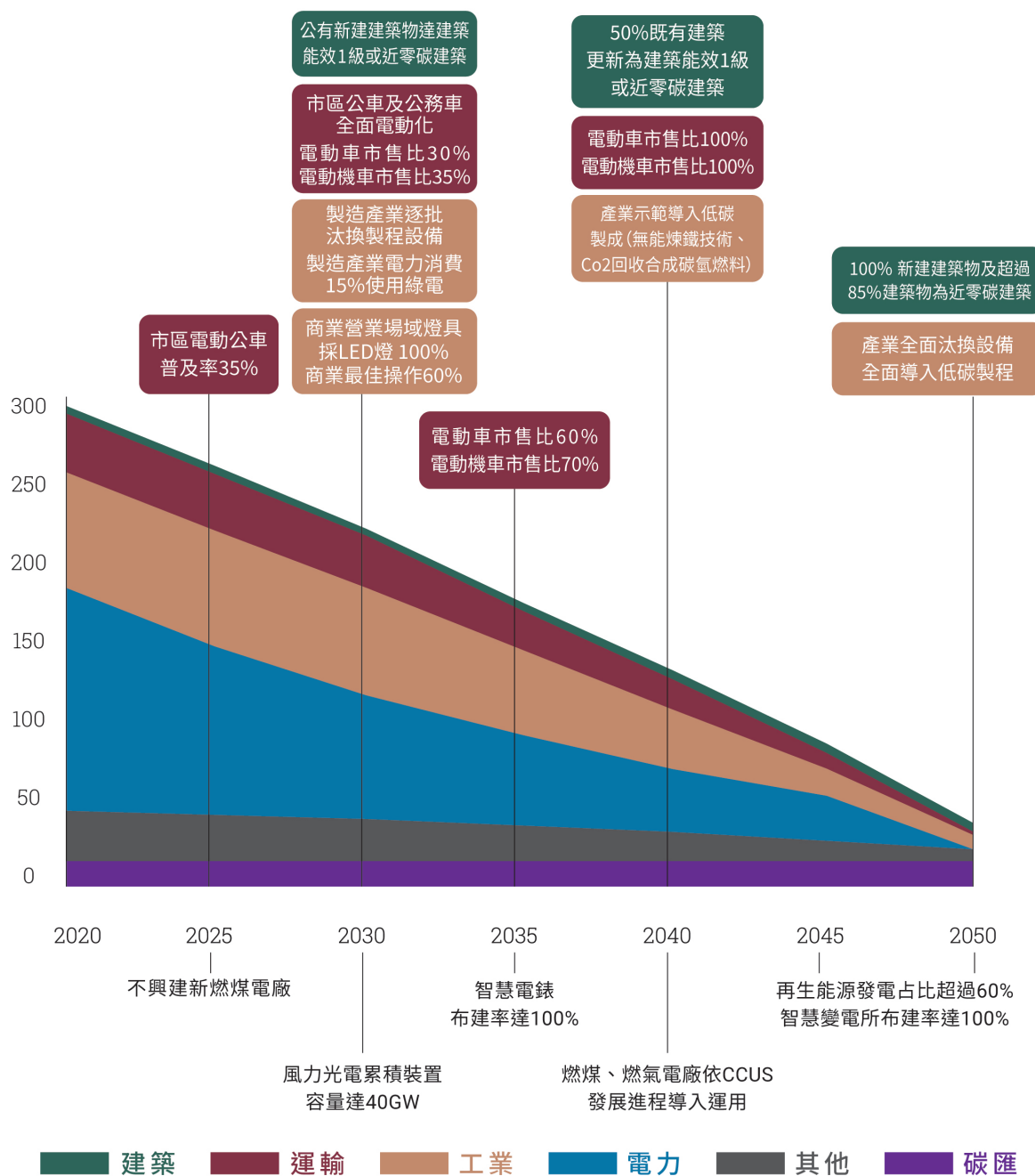
TIPS

既有建築的能效改善市場龐大

根據 2022 年第三季全國建築存量約 10,079,644 棟，住宅建築就高達 9,038,780 棟（近 9 成），為我國數量最多的建築類別。



國際能源署 IEA 所發表的淨零路徑里程碑 (IEA, 2021)



2022 年國家發展委員會發佈之「台灣 2050 淨零路徑」

NOTE

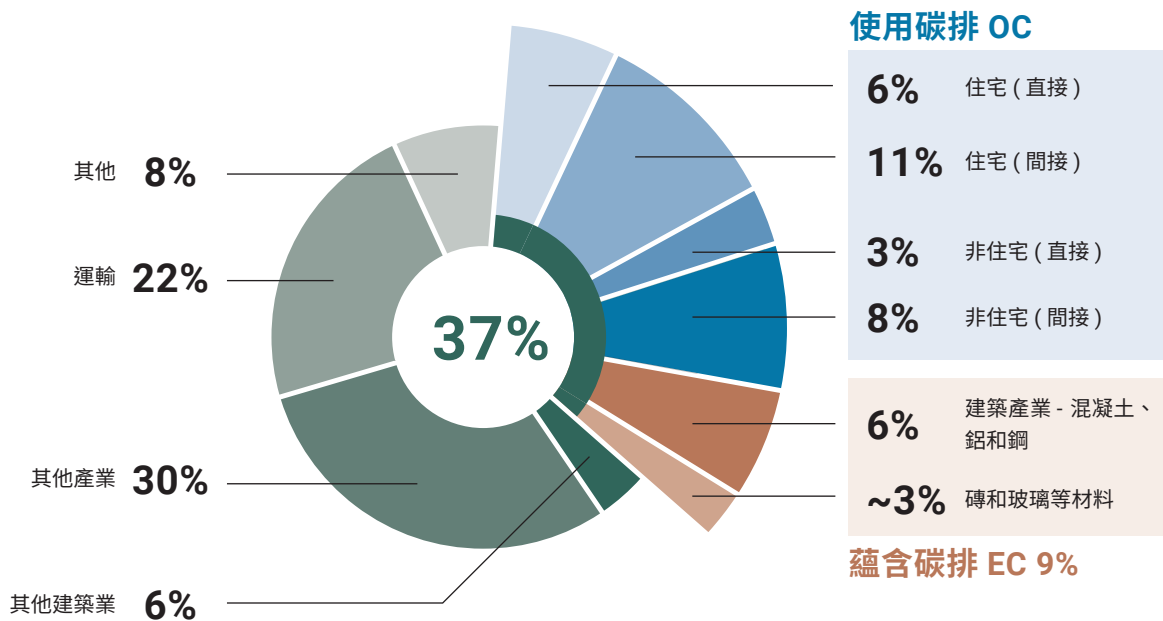
[illegible]

聯合國 UN 在 2023 年的「2022 年全球建築與營建現狀報告 (Buildings-GSR)」中指出，全球建築營建部門的溫室氣體排放佔全球排放總量的 37%，進一步凸顯建築領域在節能減碳上的重要性。這 37% 建築營建部門的溫室氣體排放中，有 28% 源自於建築能源使用（使用碳排 OC），而剩餘的 9% 則來自於建材如鋼筋、水泥、玻璃等製造與施工（蘊含碳排 EC）。

儘管全球溫室氣體排放的 9% 來自建材製造、運輸與施工，討論建築節能減碳政策時，通常只關注 28% 的能源使用 OC，卻忽視了後者的 EC 減碳政策。因此許多國際先進國家已建議從建築全生命週期評估 (Whole Life Cycle Assessment) 的角度來實施淨零建築政策，即同時利用建築能效評估制度來降低使用碳排 OC，並以建築碳足跡評估制度來降低蘊含碳排 EC。根據最新的全生命週期建築碳足跡評估標準 EN15978(2011)，包含使用碳排 OC 與蘊含碳排 EC 的評估內涵，為了迎合這個全生命週期評估的國際趨勢，內政部建築研究所採用「建築能效評估系統 BERS (Building Efficiency Rating System)」進行使用碳排 OC 的評估和標示，並使用「低碳建築評估系統 LEBRS (Low Embodied-carbon Building Rating System)」對蘊含碳排 EC 進行評估和標示，推動全方位的淨零建築政策。

TIPS

- 使用碳排 OC (Operational Carbon)：產品或服務的使用過程中產生的碳排放，例如開車時汽車燃料燃燒產生的碳排放、建築物日常使用電力產生的碳排放等。
- 蘊含碳排 EC (Embodied Carbon)：產品製造過程中所消耗的能源，通常包括原材料的生產、運輸、加工等階段所釋放出的溫室氣體排放量。



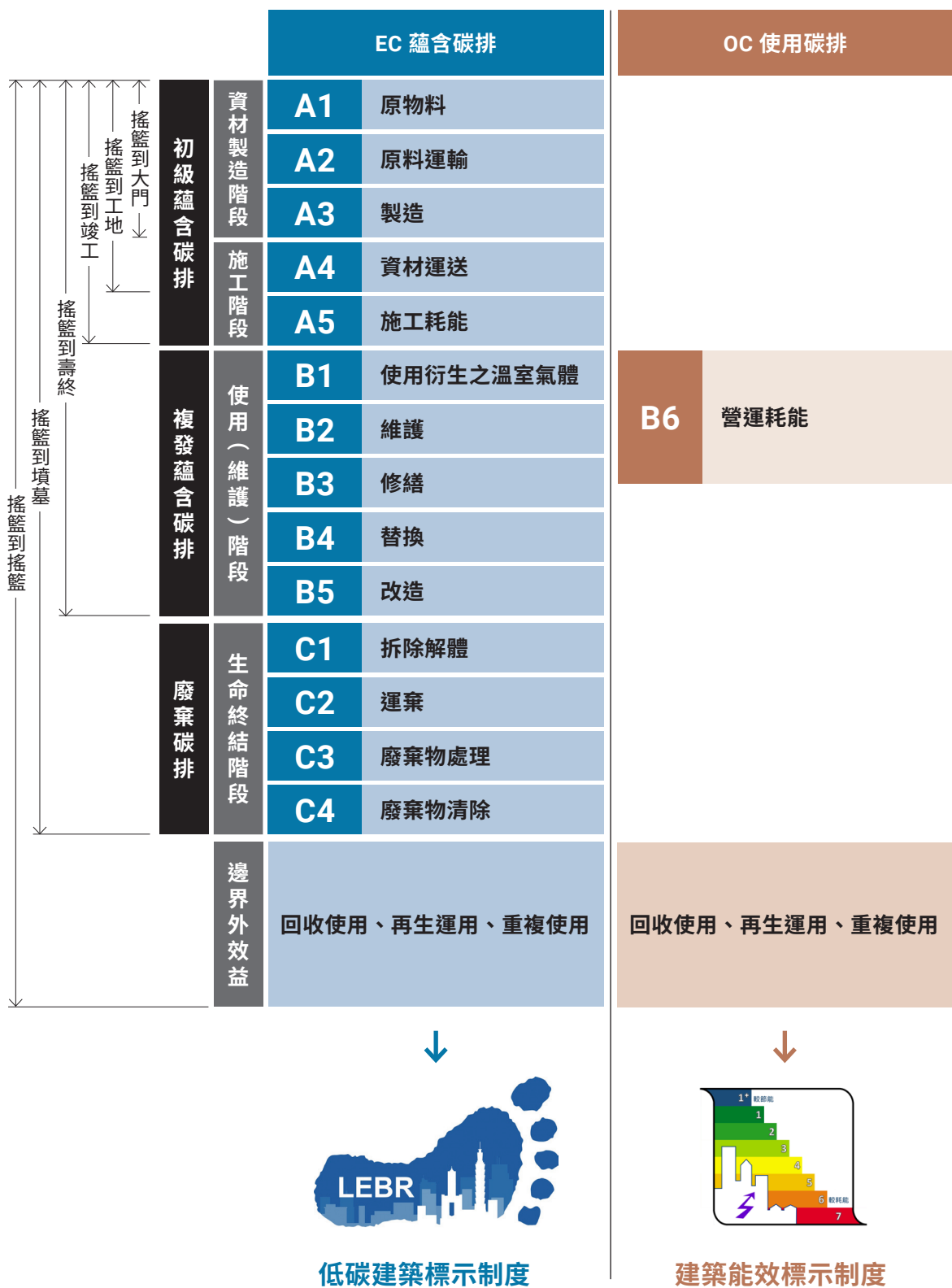
2022 年全球建築物使用碳排 OC 與蘊含碳排 EC 在溫室氣體排放的構成比例

參考資料 | 2022 Global Status Report for Buildings and Construction

建築全生命週期總碳排 = 蘊含碳排 EC + 使用碳排 OC



建築全生命週期碳足跡包含蘊含碳排 EC 與使用碳排 OC



建築能效與低碳建築雙軌標示的台灣淨零建築策略

NOTE

[illegible]

近零建築與淨零建築有何不同

在討論近零建築或淨零建築有何不同前，必須釐清「淨」或「近」的對象是「能源」還是「碳」，兩者的目標略有不同。在我國的 2050 近零碳排路徑中，目標是到 2030 年讓公有新建建築物達到「建築能效 1 級」或「近零碳建築」之水準。

儘管有媒體以「淨零建築」來報導相關新聞，但實際上「近零建築 Nearly Zero Energy Building (nZEB)」與「淨零建築 Net Zero Energy Building (ZEB)」的達成難度並不相同。許多人以為所有建築需要在 2050 年直接達成淨零建築 ZEB 水準，但其實並非如此。因為即便是節能極致的建築物，也還是會有一定的耗電量，除非使用再生能源（綠電）將建築全年耗電量全部抵銷，才能達成 ZEB。我們現階段的目標是降低建築耗電，達到建築能效 1 級或近零能建築的水準。

為提升我國建築物節約能源實施成效，達成 2050 淨零建築之願景，採分年分階段方式，由公有帶頭示範，引導民間跟進，自 2023 年 7 月 1 日起，由公有辦公、服務類建築 (G-1 金融證券、G-2 辦公場所) 率先推動，於申請綠建築標章時，需同時申請建築能效評估，且其建築能效等級至少須達 2 級以上，並自 115 年起須達 1 級或近零碳建築 (1⁺ 級)，至其他建築類組之適用對象及時程將逐年公告納入實施。





建築物的**近零能**

第 1 層 Nearly Zero Energy Building :

盡力讓建築物的能源使用降低到最低，但已不可能透過任何節約方式將耗能降至零，因此給予「近零能」之肯定。



建築物的**淨零能**

第 2 層 Net Zero Energy Building :

讓建築物的能源使用與再生能源能夠抵銷為零。



建築物的**淨零碳排**（包括使用碳排：水、電、瓦斯..等）

第 3 層 Net Zero Carbon Building :

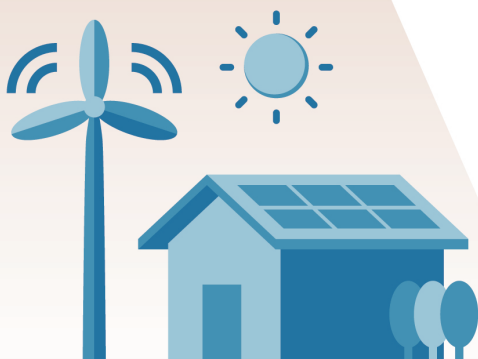
讓建築物日常使用階段的碳排都能抵銷為零，此部分包括了用水、用電、瓦斯使用過程中所產生的碳排。



整體建築的**淨零碳排**（包括建材等蘊含碳排）

第 4 層 Net Zero Carbon Building Including Embodied Carbon :

除了建築物日常使用階段的碳排外，構造材料（前面所述的蘊含碳排 EC）也能夠全部抵銷為零，也是最難達成的終極目標。



Section

2

建築蘊含碳排理論

Chapter 8. 什麼是蘊含碳排？	22
Chapter 9. 建築的蘊含碳排怎麼來的	24
Chapter 10. 國際上如何管制蘊含碳排？	26
Chapter 11. 碳盤查與碳足跡	28
Chapter 12. 環保署的碳標籤與減碳標籤	29
Chapter 13. 建材產品的碳足跡	30
Chapter 14. 國際上的建材產品碳足跡資料庫	32
Chapter 15. 建築工程要如何得到碳排放量？	33
Chapter 16. 建築的生命週期與蘊含碳排	34
Chapter 17. 在設計階段減碳最有效	36

蘊含碳排的英文是 Embodied Carbon，顧名思義，指的是蘊含在產品或材料身體上的碳排放量。當我們在使用家電用品或車輛時，很容易依據耗電量、耗油量等數字估算出碳排放量的高低，但在購買一個產品時，卻很難直接判斷隱藏在產品身體裡的蘊含碳排放量。

當我們在炎熱的天氣下買了一瓶清涼的易開罐飲料，在生產出這瓶飲料的鋁罐與內部的汽水時，蘊含了鋁礦的開採、運輸、加工，以及汽水生產過程所耗用的能量。喝完這瓶飲料後，空罐還要被廢棄或回收再利用，這個稱為「生命週期」的過程中，所產生的碳排放量加總就是蘊含碳排。

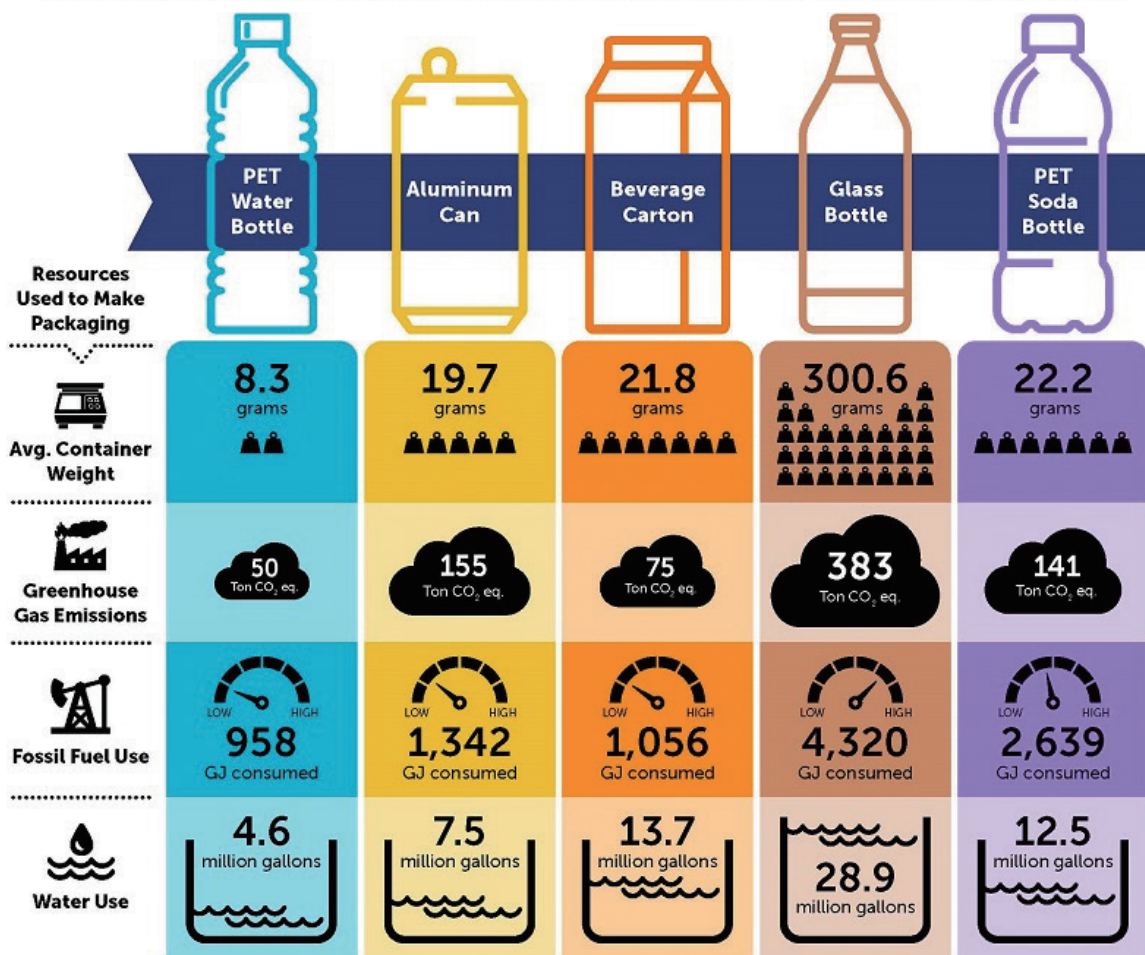
建築材料的蘊含碳排，指的是該材料在製造期間（包含原料取得、運輸到工廠、加工製成產品、把產品運輸到工地）、施工期間（在工地被使用或組裝）、使用期間（維護管理與修繕），以及材料被廢棄或回收再利用的廢棄期間所產生的碳排放量。

TIPS

Embodied Carbon 不像是耗用能源時會顯示在電費、瓦斯費上，而是隱藏在材料或產品製造過程中，消費者一般是看不到的，所以才會用蘊含這個名稱。

Environmental Impact of Drink Packaging

(Weights are for individual 16.9 oz containers. Other values represent 1 million 16.9 oz bottles, cartons, or cans each.)



Source: Life Cycle Assessment for the International Bottled Water Association (www.bottledwater.org) by Trayak (2021), which used COMPASS to compare packaging sustainability using the average recycled content for each package as reported by industry/industry associations. "Gigajoule (GJ) consumed" is the total quantity of fossil fuel consumed throughout the life cycle. Visual representations of numerical values are not to scale.

飲料的包裝方式對碳排放量的影響很大喔

參考資料 | <https://bottledwater.org/environmental-footprint/>

建築的蘊含碳排怎麼來的

建築物的蘊含碳排，同樣來自於生命週期當中所產生的碳排放量加總，也就是說，**建築的蘊含碳排來自於生命週期中建材的生產、運輸、施工與廢棄等過程**。以我們常見的鋼筋為例，從鐵礦開採時機具的耗油、耗電，鐵礦運輸到我國的船運與陸運耗油，再到煉鋼過程耗用的燃料與電力等，一直統計到廢棄階段所耗用的能源所對應的碳排放量，就是鋼筋的蘊含碳排。

每個產品在生命週期中產生較大量碳排的過程可能會有很大的差異。有些產品在原料開採時需要使用大型機具、耗用大量的能源；有些產品的原料的運輸需要飄洋過海、在運輸上耗費大量能源；有些產品是在工廠中使用大量能源才能加工或提煉。也因此蘊含碳排常需要統計跨國的資料，而在每個國家使用一度電的碳排放量，會因該國的能源比例而有不同的碳排放係數，**也因此同一種建材的蘊含碳排可能會因生產過程不同而有不同的數據**。

TIPS

以建築材料而言，使用量多且排碳量較高的是水泥、鋼鐵等材料，無論是水泥的燒製或是煉鋼的過程，都需要耗用相當大量的能源。再加上水泥與鋼鐵是建築結構體的主要材料，使用量相當大，也因此成為國內外優先管制的對象。



建築的蘊含碳排來自於生命週期中建材的生產、運輸、施工與廢棄等過程

參考資料 | 改繪自 <https://www.igbc.ie/what-is-embodied-carbon/>

既然蘊含碳排這麼重要，在全球邁向淨零碳排的管制上，該如何降低蘊含碳排呢？

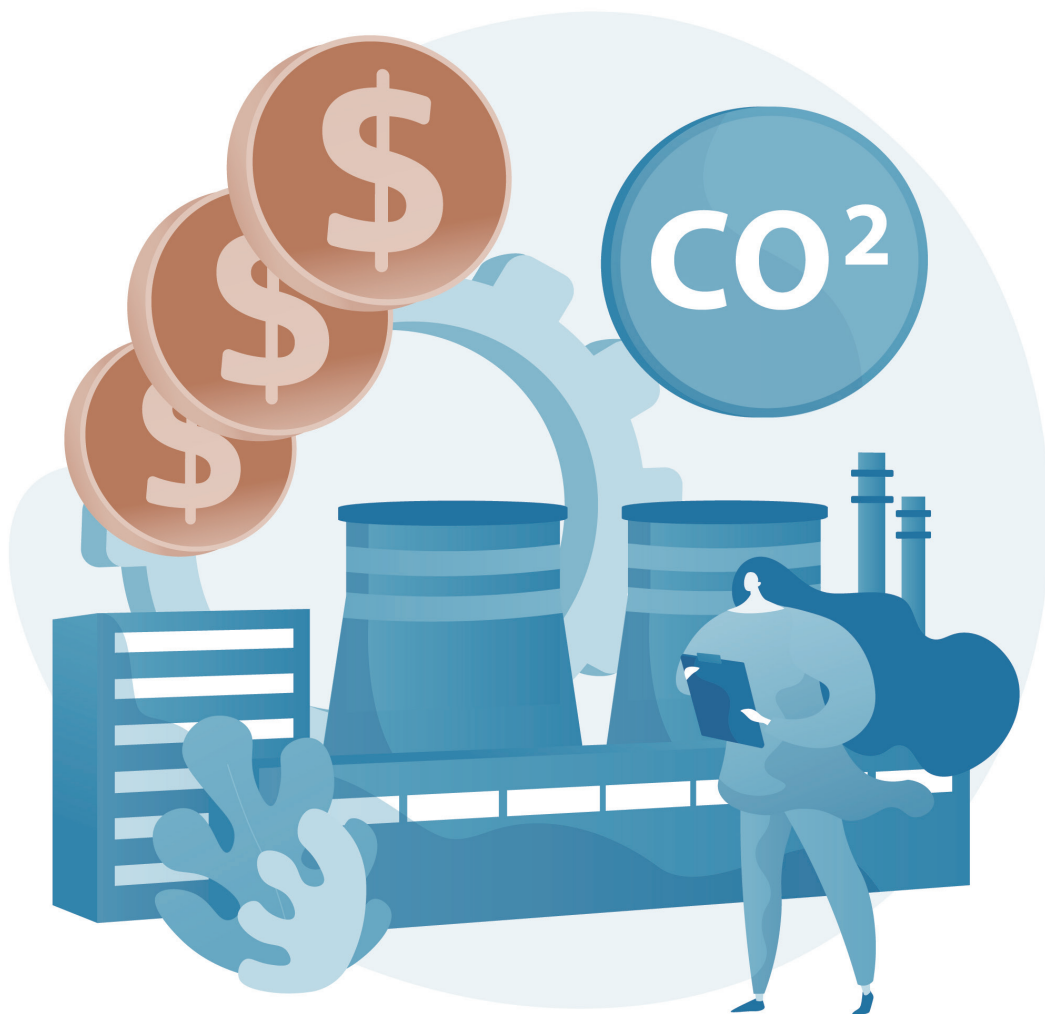
歐盟為了不讓進口的產品增加自己的碳排放量，已要求輸入產品到歐盟的業者，自 2026 年開始需支付碳關稅。也就是說，**如果我們要把產品賣到歐盟去，必須先在自己的國家內達到淨零碳排的要求，否則碳排放量將增加該產品的成本、降低價格的競爭力。**

這種為**碳排定價的措施**稱為「**碳的有價化**」，政府可以針對特定產業設定碳排的上限額度，如果某家公司的碳排低於政府所設定的限額，就可以把減下的額度拿到碳交易市場上買賣；反之，如果某家公司的碳排高於政府所設定的上限，就得到碳交易市場上購買碳權了。

政府無論是在國家的邊境對進口產品做管制，或是對國內企業訂定碳排限額，都是一種總量管制的方式。為了管制建材的蘊含碳排，許多國家都已經為水泥、鋼鐵等高碳排的建材訂定了蘊含碳排的基準。企業若能有效降低建材生產過程中的碳排，將可在許多工程採購中具備較高的競爭力。

TIPS

相較於我國許多外銷產品，建築材料並非邊境碳關稅的主要對象，然而許多建材產品的原料雖然是從國外進口的，但大多在我國境內加工、施工與廢棄，也因此蘊含碳排的管制對於我國境內碳排放量的淨零是相當重要的一環。



碳的有價化將促進企業減碳的競爭力

圖片來源 | https://jp.freepik.com/free-vector/clean-economy-eco-friendly-facility-co2-consuming-by-factory-reduce-pollution-save-environment-safe-manufacturing-dioxide-carbon-use-vector-isolated-concept-metaphor-illustration_12470248.htm#query=carbon%20trade&position=3&from_view=search&track=ais

碳盤查與碳足跡就像健康檢查。我們到醫院做健康檢查時，會依據身體各部位的機能進行不同的檢查，然後得到各項代表身體健康狀況的數字。

碳盤查與碳足跡可看成不同的健康檢查項目，**碳盤查是以一個工廠或組織為邊界來進行盤查**，而**碳足跡則是以一個產品為對象來計算總碳排放量**。在管制國家的碳排放量時，碳盤查可以有效掌握一定範圍土地上的碳排放量，而碳足跡的標示則是便於作為各項產品採購的參考依據。

碳盤查或是碳足跡除了可以讓企業了解自己工廠或產品的碳排放量，在國家政策的推動配套之下，可以應用於企業進行碳排放量的交易，或是採購各項產品時可要求對方提供較低碳的產品。因此，這些健康檢查的結果，需要採用一個共通的標準方法，也需要另外找一個公正的單位來查證，才能確保數據的可靠性。

工廠碳盤查



計算一個**工廠（組織）**
的總碳排放量

ISO 14064 - 1:2018

A 食品工廠

全廠生產製造各項產品總碳排放量 =
12,000 公噸 CO_{2e} / 年

產品碳足跡



計算一個**產品**
的總碳排放量

ISO 14067:2018

A 食品工廠的芝麻油

芝麻油 (543m) 的總碳排放量 =
1.90 公斤 CO_{2e} / 每瓶芝麻油

碳盤查與碳足跡與碳盤查的概念

參考資料 | https://ghg.tgpf.org.tw/CVKnowledge/CVKnowledge_more?id=a0a947ee6fab4c0dbcc4e0cdaf0107f6

TIPS

如果我們是一個建材加工廠的業者，在生產線上換了一台較為節能的機器，這個減碳的額度將反映到碳盤查上，並同時降低生產線上每個產品所分擔的碳排放量，可說一舉兩得。

在日常生活當中，我們會在飲料罐、面紙盒，甚至高鐵車票上看到一個綠色的腳印，上面的數字標示了碳排放量，這就是我國環保部所推動的碳標籤（又稱碳足跡標籤或碳排放標籤）。

這個碳標籤要求業者必須委託專業者，並運用國際上所通用的規定進行計算，把該產品（一瓶飲料）或服務（搭乘一趟高鐵）的碳排放量呈現在消費者眼前，讓消費者能夠清楚了解這次的消費為地球增加了多少的碳排放量。而減碳標籤，則是產品五年內碳足跡減量達 3% 以上時，經審查通過後即可取得減碳標籤使用權。

這種讓碳排放量無所遁形的標示，將產品對環境的破壞赤裸裸地呈現，對企業而言可說是相當具有殺傷力的一個標示。然而，這個標示也可能是一個強化公司品牌聲譽，或是藉此擴展商機的機會。無論是國家採購時優先購買綠色產品的制度，或是消費者因環保觀念的提升而積極購買低碳產品，碳標籤與減碳標籤在促進低碳經濟時扮演了相當重要的角色。

碳標籤	減碳標籤
	
碳標字第 2014910001 號 每人 - 每公里 (高鐵)	減碳標字第 R2014910001 號

台灣高鐵的碳標籤與減碳標籤

資料來源 | <https://www.thsrc.com.tw/ArticleContent/5a1f4c72-b564-4706-bcdd-efbda93c3d93>

TIPS

試著找找看，您的生活週遭有多少產品上有碳標籤？

我們在日常生活的各種消費用品當中都會看到碳標籤或減碳標籤，這個綠色的腳印我們並不陌生，但您是否在市面上的建材產品上看到這個碳標籤？

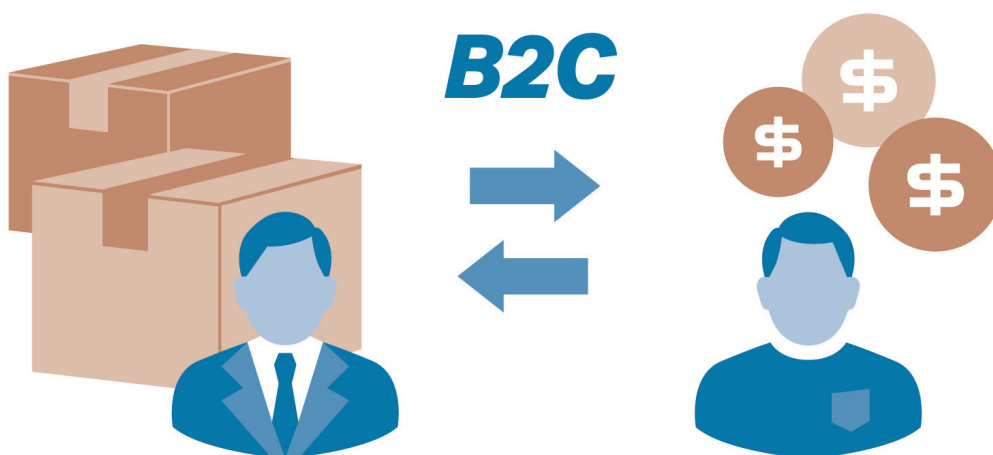
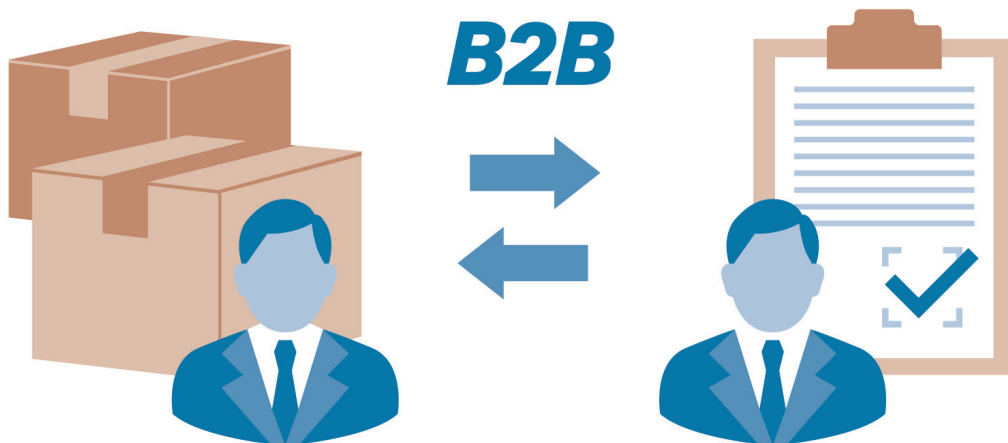
其實，我們會自行去購買的建材、且回家自行施工的人並不多，大多僅只於年底大掃除時大家一起粉刷牆面，或是鋪設木地板。然而，在建築工程當中所使用到的鋼筋、水泥、磚塊等建材，消費者委託工班或工程公司，甚至大型營造公司來進行施工。這種「連工帶料」的消費方式，消費者常常未能直接挑選建材，而是藉由建築師、室內設計師或工班師傅等人來挑選。另外，國家的各項建設會使用大量的建材，但同樣大多以「連工帶料」的方式採購，而非像民生消費用品般直接採購。^[1]

目前建材產品申請碳標籤的數量較少，未來希望更多政府機關或消費者在工程採購的「工程規格」之中加入「建材規格」的要求，可以提升建材廠商申請產品碳標籤的意願。

TIPS

有人說：每一次消費，都在為你想要的世界投票，希望我們在每次的消費行為中、試著選擇碳足跡較低的產品或服務，讓我們共同投票邁向理想的永續世界。

[1] 一般民生用品消費主要為 B2C，而建築工程主要為 B2B 模式。「B」即代表 Business，意思是企業，「C」就是 customer，消費者或顧客，中間「2」就是 to 的意思，換言之 B2B 就是企業和企業之間的交易；B2C 就是企業和消費者之間的交易。



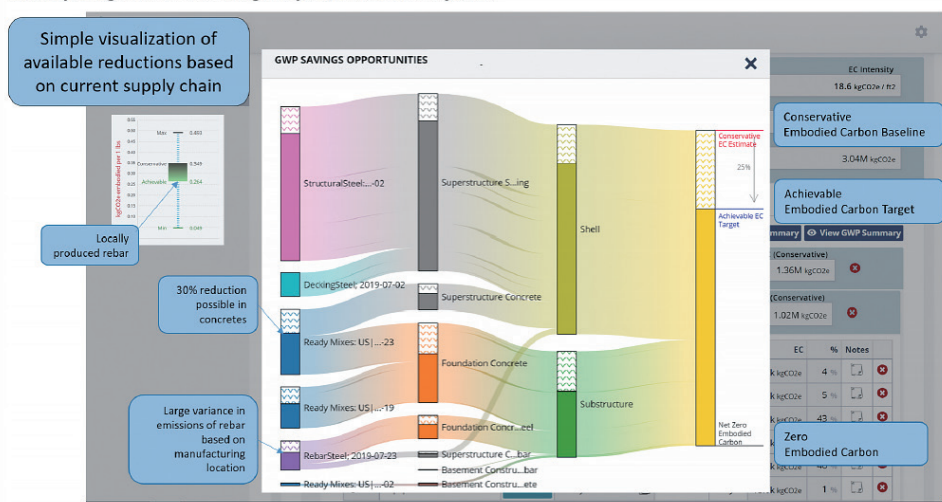
建材產品的販賣大多依附於建築工程，屬於 B2B 的消費型態

資料來源 | <https://bootcamp.uxdesign.cc/b2b-vs-b2c-transactions-whats-the-difference-4eb12b9f9fc>

營建產業是相當大的碳排來源，也因此許多人都認為在土木或建築工程的設計階段，應該要挑選較為低碳的建材。我國環保部產品碳足跡資料庫中包含了一些建材產品，但一個建築工程可能成千上萬種，因此這個資料庫常常難以用來評估一整個建築工程的碳排放量。這個現象也普遍存在其他國家，於是有許多國家或私人公司開始收集建材的碳足跡，建構出建材碳足跡資料庫。

這種碳足跡資料庫就有如在逛超大型的建材量販店，進入資料庫中就可以比較全世界各國建材的碳足跡，並作出低碳採購的決策。不過要注意的是蘊含碳排包含了運輸與施工的碳排，也就是說當這些建材的碳排數據只計算了在某個生產國、某個工地施工的資訊時，我們還得考量進口時的跨國運輸，以及在本國施工時的碳排可能與國外不同。這些差異有可能造成看似低碳的產品反而不低碳，使用上不可不注意。

Sankey Diagram for Building Project, Structural System



知名建材碳足跡資料庫 EC3 可以比較各家產品，做出相對低碳的選擇

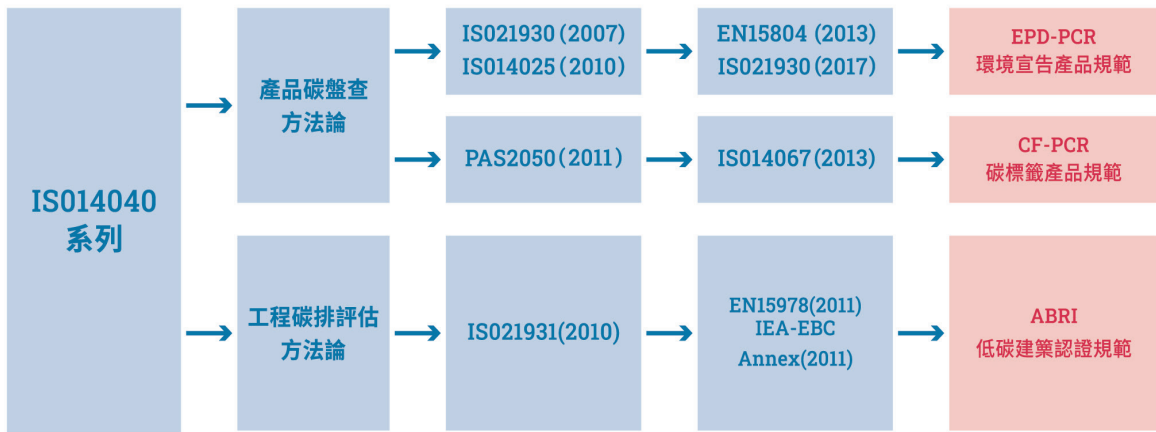
資料來源 | <https://carbonleadershipforum.org/ec3-tool/>

TIPS

國外有許多超大型的碳足跡資料庫，資料量很豐富但使用上不可不慎，就像無人熟悉的手機生產鏈一般，同一種建材產品可能在不同的國家加工，這些因素都可能造成產品碳足跡的大幅差異。

土木或建築「工程」與「產品」最大的差異，就是工程是收集了成千上萬的建材產品，在建築工地（基地）進行施工，期間有許多建材甚至會在工地現場加工；而產品則是整個生產過程幾乎都在工廠內完成。另外，每個工程可能採用的建材、施工方式都不同，但工廠裡同一條生產線上的產品則是完全相同。因此，相較於產品碳足跡或工廠碳盤查，工程的碳排放量計算則複雜許多。我們可以想像，若是有一家餐廳每天、每道菜的原料跟煮法都不同，那要給予每一道不同的菜進行卡路里標示是否難上加難？

因此，國際上對於產品與工程的碳排放量計算有著不同的思維。產品碳足跡或碳盤查的方法是針對生產線上量產型的產品進行精準的分析，把投入的人力、機器與原料等逐一盤點後加總計算。對於工程的計算，則是依據工程設計的圖面來套用各種構件的碳排，而非到工地現場逐一盤點。



產品層級與工程層級的不同碳足跡評估標準發展源流

資料來源 | 低碳（低蘊含碳）建築評估手冊，內政部建築研究所出版，2023

TIPS

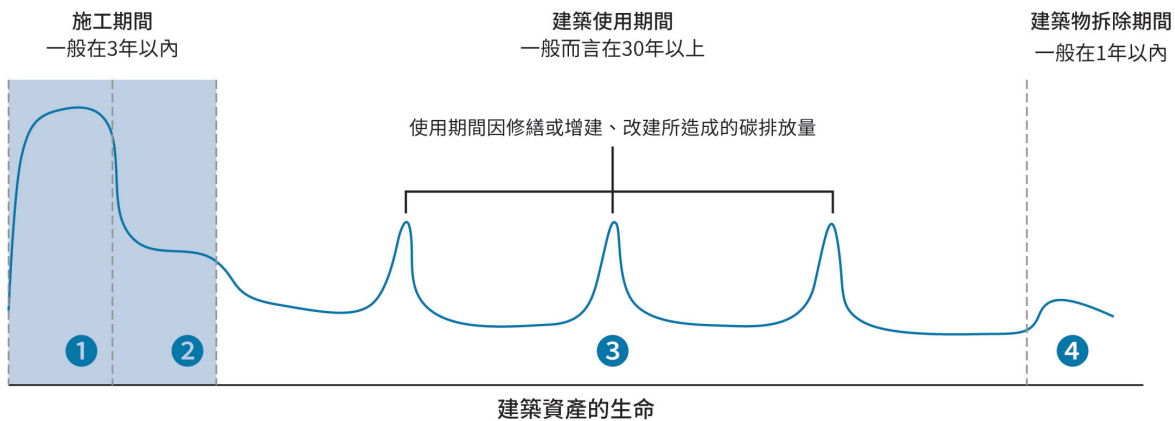
為了要在規劃設計階段作出低碳的判斷，工程碳排評估的方法論可以看成「推估值」，而產品碳盤查的方法論，則是藉由實際的盤查得到「實際值」。推估值的計算雖然較簡單，但仍要盡可能接近實際值，這也是許多研究者不斷精進的技術。

如果把建築的生命週期攤開來看，從建築師完成設計、營造廠商施工、使用者營運管理，一直到建築物被拆除，這個期間可能長達 60 年以上。然而，建築物大多數的蘊含碳排是在施工期間（包含建材生產）就決定了，接著是建材因修繕而更換時會再增加蘊含碳排，修繕週期越短、產生的碳排越多。相較於使用碳排可藉由更換建築材料或高效率的設備而降低，蘊含碳排一旦產生就會存在十數年至數十年之久，可說幾乎是不可逆的，也因此建築物設計規劃階段的決策相當重要，錯誤的決策影響甚巨、不可不慎。

其實，我們生活中熟悉的 3C 產品以及汽機車，蘊含碳排也大多發生在製造過程，但產品的生命週期較短、建築的生命週期遠大於產品的生命週期。再則，建築的修繕也比產品換零件來得複雜許多，產品用得太久時，還可能因零件停產而沒辦法維修了，更遑論建築的構件在完工一、二十年後要維修時，也可能連產品與施工方式都早已更改。建築不像許多產品可以說換就換，所以在設計階段就要更謹慎地掌握建材使用及施工的碳足跡，否則這些碳排會持續存在建築物很久，影響深遠。

TIPS

以汰換污染空氣的烏賊車為例，我們要逐步調整新車的環保標準，還要逐步取締不符合環保標準的車輛，並提供較高基準機車的購買補助，可能要花數十年才能完全汰換。建築比車輛的單價高出許多，生命週期也長了許多，要全面汰換可說是百年大計，談何容易？



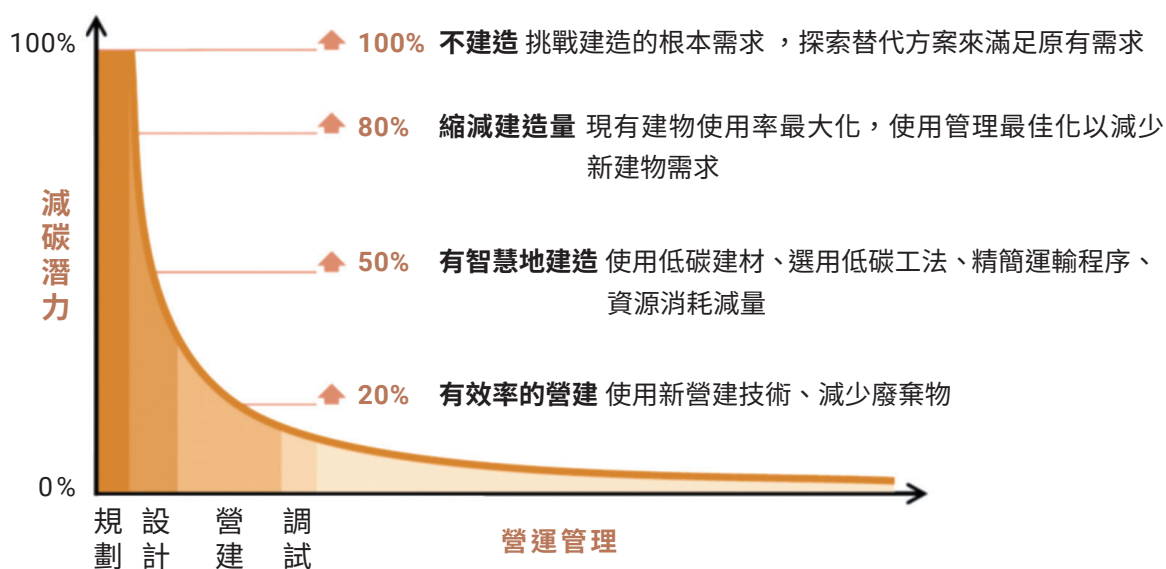
- ① 鋼鐵、水泥等建材從原料開採、運輸、加工所產生的碳排
- ② 在工地施工過程中所產生的碳排
- ③ 在建築物使用過程中所產生的碳排
- ④ 建築物拆除廢棄過程中所產生的碳排

建築的蘊含碳排主要發生在施工階段 (含材料生產) 與維護管理階段

資料來源 | <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/global-infrastructure-initiative/voices/reducing-embodied-carbon-in-new-construction>



工程跟產品的減碳思維不太一樣，產品的生產線經過精準的、逐一的盤點後，思考並套用減碳的策略後（如更換機器），可以讓生產線上每天量產的產品更加低碳，每個低碳的產品被消費者購買時，都是在為這個國家進行減碳的動作。然而，**建築工程的減碳思維**，則是依據設計圖面套用每個構件的碳排進行加總計算，不需到工地現場逐一盤點，而是在設計圖完成時就可預估蘊含碳排。我們如果覺得碳排放量過高，也方便立刻回去更改設計圖，而不是在工地現場才在思考變更設計。^[1]



建築蘊含碳排評估必須在設計階段執行快速評估、事前減碳方有最大減碳功能

資料來源 | UK Green Building Council, 2017, Embodied Carbon: Developing a Client Brief

TIPS

英國綠建築協會倡議：建築物設計階段的蘊含碳排減量效益約占建築生命週期減碳策略的 50%，是遠勝於營建階段與完工後的營運階段的所有的減碳策略。為了讓建築工程能夠邁向淨零碳排，減碳要從設計做起，從源頭減碳才是最有效益的方法。

[1] 在施工階段更改設計稱為「變更設計」，需要相當繁複的流程，也有可能造成需要追加預算。

NOTE

[illegible]

Section

3

我國低蘊含碳排建築 評估系統 LEBR

Chapter 18. LEBR 的方法論	40
Chapter 19. 建築構件的分類	42
Chapter 20. 如何知道建築構件的壽命長短	44
Chapter 21. 我國的建材碳足跡資料庫	45
Chapter 22. 低碳循環建材的認定	46
Chapter 23. 低碳工法的認定	47
Chapter 24. 為建築設計階段設計的四階段評估法	48
Chapter 25. 看 LEBR 的分級就知道多低碳	50

內政部建築研究所為了評估建築工程的蘊含碳排，制定了低碳（低蘊含碳）建築評估系統 (Low Embodied-carbon Building Rating system)，簡稱 LEBR。LEBR 是依照國際上對於建築工程碳排放量分析的方法論，將建築工程分成製造運輸、施工、更新修繕、拆除廢棄等四階段的蘊含碳排評估法。

這個評估法有兩個主要的特色，第一個特色是可以在設計階段藉由套用建築構件的碳排放量進行快速的評估，讓建築師在完成大致上的圖面時就可以看到碳排放量；第二個特色則是藉由跟標準方案相比，得到目前設計方案的減碳比率，以及該方案減碳的等級。



我國 LEBR 制度的標示圖案

出處 | (red arrow right) 低碳（低蘊含碳）建築評估手冊，內政部建築研究所出版，2023

TIPS

未來，我們委託建築師提出設計方案時，除了請建築師提出建造成本分析之外，還能要求建築師運用 LEBR 提出各個方案的碳排放量。在邁向「碳經濟」的路途上，這個系統可以協助我們選出最佳減碳經濟效益的方案。

NOTE

[illegible]

LEBR 將建築分成主結構工程跟六種非主結構工程。主結構工程指的是建築物的柱樑、樓版、樓梯、內外結構牆等工程，而非主結構工程則包含了：

1. 傳統 RC 外牆外牆裝修工程：貼磁磚、板材、塗料粉刷等。
2. 外窗工程：外窗戶工程，包含玻璃與窗框構件。
3. 帷幕外牆工程：指非承重帷幕牆構件之不透光牆構件部分。
4. 內隔間工程：在建築結構體內部施作的非結構性、無承重之泥作隔間工程。
5. 室內地坪工程：在樓板結構上施作水泥粉刷、貼磁磚、木質地板等工程。
6. 戶外地坪工程：車道、步道、廣場、停車場等地坪工程。

TIPS

建築的施工相當耗時，牽涉的廠商相當多，投入的人力、機器與物料也都相當龐大，LEBR 的分類是建築工程常用的分類方式，可讓評估的人員輕鬆、快速上手操作。



LEBR 的建築碳足跡評估範疇（林憲德教授繪圖）

資料來源 | 低碳（低蘊含碳）建築評估手冊，內政部建築研究所出版，2023



建築與車輛或電腦等產品類似，**每個部位的壽命都不同**，通常柱梁等結構體會設計得比較強韌、壽命較長，而木地板等室內裝修可能就會壽命較短。**同樣部位但不同材料，壽命也不一樣**。一扇木質窗框的窗戶壽命大約是 20 年，但金屬窗可能長達 60 年。**即使是在同樣部位的同樣材料，使用強度不同時壽命也會不一樣**。比方說國際機場大廳跟一般住家的大廳都用了相同的花崗石地磚，但國際機場大廳的地板每天受人來人往、行李拖來拖去，相較之下壽命就可能比較短。

更困難的是，就像有些人經常更換最新新手機產品一樣，我們也可能並非因建築或室內裝修不堪使用才進行更新，而是因為住宅買賣換了主人、商店換了老闆就要重新裝潢，或是住戶們集體參與都市更新的計畫而拆除重建。因此，**在 LEBR 的計算中，我們把建築構件的壽命（生命週期年數）以及更新次數（該構件在建築生命週期中被更換幾次），依據工程類別與建築耗損程度等特性訂定標準。**

構件計算範疇			構件構造類別	高耗損建築 (商店商場、旅館、餐廳、運動、醫療、娛樂、交通旅運設施)		中耗損建築 (出租辦公建築、工廠、公共廳舍、教育文化設施)		低耗損建築 (自用辦公建築、倉庫、住宅、住宿類建築)	
				LCi	RTi	LCi	RTi	LCi	RTi
地上層RC、SRC、S主結構體 (另外：輕鋼構為48年、木構造為30年)*1				60	0	60	0	60	0
非結構工程	傳統窗牆	1.傳統RC外牆外裝*2	RC牆貼磁磚、鋼件掛石材	基層60 表層30	基層0 表層1	基層60 表層30	基層0 表層1	基層60 表層30	基層0 表層1
			RC牆塗料外裝	基層60 表層15	基層0 表層3	基層60 表層15	基層0 表層3	基層60 表層15	基層0 表層3
		2.外窗	金屬、塑鋼類外窗	60	0	60	0	60	0
			木製外窗	20	2	20	2	20	2
	3帷幕窗牆	帷幕外牆	金屬、PC類帷幕牆	60	0	60	0	60	0
		帷幕外窗	金屬、塑鋼類外窗	20	2	30	1	60	0
	4.內隔間*3		內隔間 (非結構牆)	20	2	30	1	60	0
	5.室內地坪*2*4	PU、Epoxy樹脂、水泥磁磚、石材、金屬類	基層30 表層15	基層1 表層3	基層60 表層20	基層0 表層2	基層60 表層40	基層0 表層0.5	
		實木、板材、塑膠類	基層30 表層10	基層1 表層5	基層60 表層15	基層0 表層3	基層60 表層30	基層0 表層1	
	6.戶外地坪*2*4	RC基層地坪	基層60 表層15	基層0 表層3	基層60 表層20	基層0 表層2	基層60 表層30	基層0 表層1	
碎石基層地坪		基層60 表層10	基層0 表層5	基層60 表層15	基層0 表層3	基層60 表層20	基層0 表層2		

建築構件生命週期年數以及生命週期更新次數的標準

資料來源 | 低碳 (低隐含碳) 建築評估手冊，內政部建築研究所出版，2023

TIPS

建築構件壽命的標準並不是要精確代表每個構件真正的壽命，而是讓建築師在設計階段進行碳排評估時，在材料選用上可以有一致的比較基準，避免造成壽命上的爭議。

一般民間工程可指定使用低碳的建材產品，但我國的採購法要求建築師在繪製設計圖時，不能夠指定使用特定廠牌的產品，若有特殊的規格也必須有三家以上的廠商能夠提供，以避免圖利特定廠商。也因此，我們常常必須等到施工廠商競標或工程施工前，才會決定建材的廠牌。

我國的內政部建築研究所建構了一個建材碳足跡的資料庫（簡稱 ABRI 資料庫），資料庫內每個建材都有碳排放量的基準。也就是說在設計階段可以先使用標準的數據來設計，到了建築施工階段時便可要求廠商比照這個數據挑選建材，這樣才能有效在設計階段挑對建材、做好低碳設計。



圖片來源 | https://www.freepik.com/free-vector/architect-isometric-flowchart-with-office-people-involved-project-development-drafting_14665774.htm#query=building%20design%20process&position=0&from_view=search&track=ais

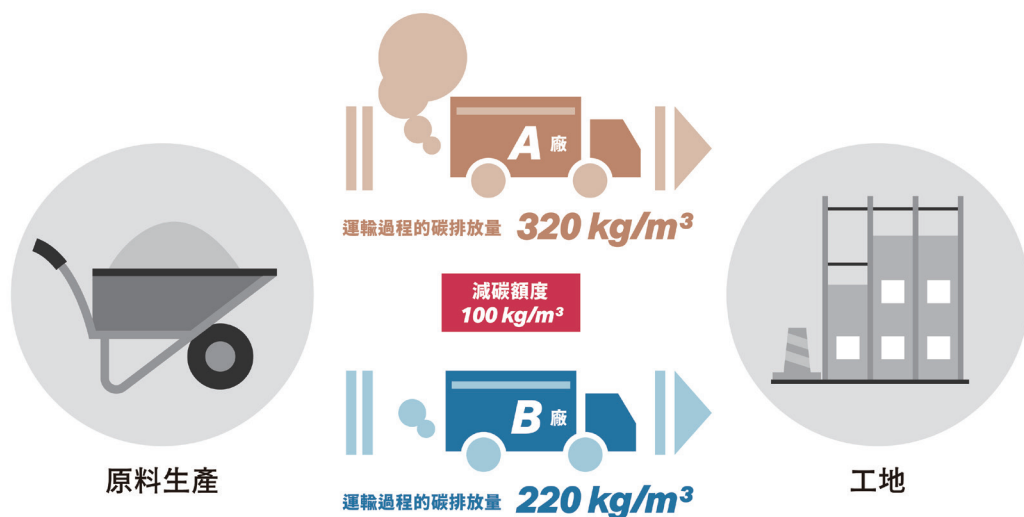
TIPS

比方說我們在設計某個公共工程的過程中，採用國際知名資料庫來計算蘊含碳排。裡面雖然有豐富的建材可供挑選，但我們該拿哪個廠牌的水泥、哪個廠牌的鋼筋來評估呢？如果不知道建材的廠牌型號，要怎麼在設計階段算出建材的碳排放量呢？

套用 ABRI 資料庫雖可快速得到碳排放量的基準值，但有許多廠商致力於改善生產過程中的碳排放量，在 LEBR 的評估系統中要如何肯定這些廠商致力減碳的努力？

低碳循環建材的認定是一個鼓勵建材廠商開發低碳建材的制度，廠商首先要委託第三方驗證單位來進行產品碳足跡的認定，也就是精準的逐一盤點該產品的碳排放量。**產品的碳足跡如果比環保部產品碳足跡資料庫中的基準來得低，表示該產品在生產過程中努力減碳，我們將在審查後給予這個產品減碳額度。**

在 LEBR 系統中計算建築物的碳排放量時，這個減碳額度就可以被用來減少總碳排放量。比方說資料庫中的一款預拌混凝土，從原料生產到運輸至工地計算下來，每立方公尺共產生 320 公斤的碳排放量。某個致力於環保的廠商，在混凝土製造過程摻配了其他產業可循環再利用的副產品後，可將碳排放量減至每立方公尺 220 公斤，因此低碳循環建材給予兩者的差值：每立方公尺 100 公斤進行認定，就是這個產品的減碳額度。



採用低碳循環建材可以減少原料的採取，減少對地球的破壞

TIPS

建材的交易對象是建築工程，如果建築工程的碳排放量被限制的話，減碳量較高的建材就可能會優先被採用。在邁向 2050 淨零排放的路上，我們期盼政策能讓建材產業走向「減碳力就是競爭力」的良性競爭。

低碳工法的認定是另一個鼓勵廠商積極開發減碳技術的措施，廠商同樣可以套用 ABRI 資料庫來作為比較對象，經過認定的減碳量與減碳額度可用於 LEBR 計算建築工程碳排放量時給予碳排放量的折減。

低碳工法的認定範圍是從原物料、原料運輸、建材製造到建材運輸這四個階段的碳排放量（又稱為從搖籃到工地的碳排放量）。申請者會提出一個創新低碳工法的「申請案」，然後提出市場上最普遍、且具相同功能的「基準案」情境作為比較對象，同時進行兩案四階段的碳排放量計算後，依兩案差異之減碳量核定其減碳額度。



低碳工法可以鼓勵產業進行低碳科技的研究

資料來源 | https://www.freepik.com/free-vector/biotechnology-concept-lab-elements_12978234.htm#query=research%20material&position=30&from_view=search&track=ais

TIPS

低碳工法是一個特別預留的開放式減碳優惠計算途徑，也可說是一個最有潛力、最富挑戰、最前瞻的創新減碳科技的優惠項目，希望藉由廠商的研發能量、開發出低碳的工法，依據減碳量申請減碳額度認證後，即可得到減碳優惠計算。

LEBR 的計算範疇是依據國際標準 EN15978，分成 (1) 製造運輸、(2) 施工、(3) 更新修繕、(4) 拆除廢棄等生命週期四階段的碳排。至於建築在拆除後的回收再利用，則是在計算上給予適當的優惠。四個階段的計算內容如下：

(1) 製造運輸：

包含主結構體工程與非主結構六項工程，在製造運輸階段的碳排 (A1~A4)。

(2) 施工階段：

依據簡算公式，分地上層與地下層面積乘上係數求取 (A5)。

(3) 更新修繕：

依據該工程分類的生命週期更新次數計算 (B1~B5)。

(4) 拆除廢棄：

依據簡算公式，分地上層與地下層面積乘上係數求取 (C1~C4)。

TIPS

在建築設計階段，建築師在繪製較為粗略的設計圖時，即可藉由查找資料庫並對照生命週期更新次數，來估算製造運輸與更新修繕的碳排，而施工與拆除廢棄的碳排則同樣依據圖面上的面積計算求得。LEBR 是一個在繪製設計圖的同時，即可簡易計算並評估碳排的評估系統。

資材製造與 運輸階段	A1	原物料
	A2	原料運輸
	A3	製造
	A4	資材運送
施工 階段	A5	施工耗能
更新修繕階段	B1	使用衍生之溫室氣體
	B2	維護
	B3	修繕
	B4	替換
	B5	改造
拆除廢棄階段	C1	拆除解體
	C2	運棄
	C3	廢棄物處理
	C4	廢棄物清除
回收再利 用階段	回收使用、再生運用、重複使用	

建築工程蘊含碳排的評估範疇

資料來源 | 改編自 EN15978:2011

採用 LEBR 的生命週期四階段碳足跡計算法，可以快速計算一個設計案的蘊含碳排。為了讓業主、建築師，甚至消費者能夠立即判斷設計案的減碳程度，LEBR 要求計算「基準案」與「設計案」後進行比較，也就是說：

- 基準案碳排＝基準案四階段碳排總量
- 設計案碳排＝設計案四階段碳排總量＋舊建材再利用減碳量＋低碳循環建材減碳量＋低碳工法減碳量

而基準案跟設計案的差值，就是設計案的減碳量，減碳的比率就是減碳率。

等級	減碳率 CFR 間距
1 ⁺ 級	$20\% < \text{CFR}$
1 級	$16\% < \text{CFR} \leq 20\%$
2 級	$12\% < \text{CFR} \leq 16\%$
3 級	$8\% < \text{CFR} \leq 12\%$
4 級	$3\% < \text{CFR} \leq 8\%$
5 級	$-10\% < \text{CFR} \leq 3\%$
6 級	$-20\% < \text{CFR} \leq -10\%$
7 級	$\text{CFR} \leq -20\%$

減碳率 CFR 分級表

資料來源 | 低碳（低蘊含碳）建築評估手冊，內政部建築研究所出版，2023

TIPS

設計案除了可以藉由設計上的改變，在四階段碳排計算中減碳，更可藉由舊建材再利用、採用低碳循環建材，以及採用低碳工法來得到三項的減碳優惠計算。而最後依據設計案的減碳率 CFR，分成 1⁺、1、2、3、4、5、6、7 之八等級間距來給予分級。

NOTE

[illegible]

Section 4

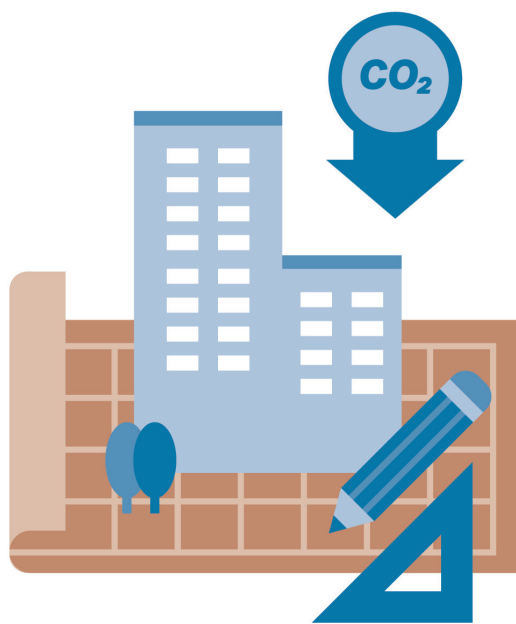
如何降低建築的蘊含碳排

Chapter 26. 合理的結構設計是成功減碳的第一步	54
Chapter 27. 採用低碳混凝土	55
Chapter 28. 依據需求選擇適當且低碳的建築構件	56
Chapter 29. 鋼構造比較減碳嗎	57
Chapter 30. 採用木構造比較低碳嗎	58
Chapter 31. 建構低碳城市	59
Chapter 32. 循環經濟的創意無限	60

台灣位於地震帶，一般而言地震力可說是建築結構設計最大的挑戰。地震力會對建築物施加縱向（上下）與橫向（左右前後）的搖動，這些力量的方向與大小都需要在結構設計時被考慮。

建築物本身的重量越重，所受的地震力越強，如同人抱著重物坐公車，煞車時會更難以保持平衡。相較於長寬較大（細長型）、形狀較複雜的建築物，建築物的形狀較方正時能更有效率地對抗外力的影響。因此，所謂「合理」的結構設計，就是避免建築物的平面形狀過於不規則、平面的長寬比過大，或是有許多的出挑（陽台等僅單邊支撐的突出物）。

一般而言，建築物的結構系統是使用最多建材的部位，而合理的結構系統設計是建築減碳設計最大的影響因子，其中尤其是均勻跨距（柱子間的距離）結構系統是最有效的建築減碳設計策略，它最大約有 12.7~13.0% 的減碳效益，這有賴設計者對合理結構與建築平面機能的整合協調才能達成。反之，不規則平面、長寬比太大是造成地震力集中而必須增加鋼筋水泥用量補強之原因，它最大會增加約 6.0~10.0% 的總碳足跡。



建築物的結構設計是減碳的關鍵項目

TIPS

結構系統有如人類的骨骼，是支撐身體最重要的架構。建築物的主結構體除了承載裡面的重量之外，還要對抗地震、颱風等外部給予建築物的力量，一旦結構體無法承受這些「載重」而產生破壞，建築物可能會傾斜、甚至崩塌，損及生命財產，因此結構的設計可說是關乎人命的重要部分。

我們生活周遭有許多房子是由鋼筋混凝土所建造的，混凝土與鋼筋天衣無縫的搭配，可以建造出強度高、堅固耐用的建築，小到水溝、大到水壩或高速公路都可以看到鋼筋混凝土的蹤影。然而，煉鋼與水泥的燒製過程都需要使用到大量的能源、產生大量的碳排放。使用量高且碳排高，也造就鋼鐵與水泥成為營建產業蘊含碳排的最大製造者。更令人擔憂的，是隨著經濟發展，全球對於鋼鐵與水泥的需求持續上升，在邁向 2050 淨零碳排的路上，這個現象無異於火上加油。

除了改變鋼鐵與水泥在工廠製造過程當中的製程以減少碳排（如改用氫能製鋼、導入碳捕捉技術等），我們也可以選擇使用低碳混凝土來減少碳排放量。**低碳混凝土設計**指的是以膠結材料配比與攪拌技術所達成的減碳技術，也就是說藉由加入替代水泥的材料、調整配比等方式，就可以大幅減少水泥的用量。這個方法是很多材料專家可發揮的有潛力減碳策略，目前最大約可達 10% 的減碳率。



低碳水泥可以大幅減少碳排放量

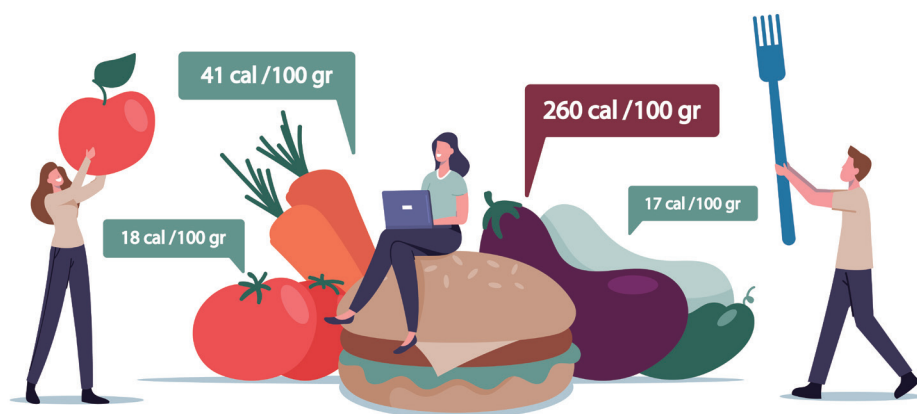
圖片來源 | <https://www.scientificamerican.com/article/low-carbon-cement-can-help-combat-climate-change/>

TIPS

水泥產業碳排放量約佔全球碳排 7%，主要原因是水泥在製作過程中會耗用許多燃料與電力，可說是建材中的排碳大戶，在許多國家推動建築碳排減量時，大多會優先要求水泥產業積極進行減碳策略。

除了建築的主結構體之外，LEBR 對於外牆外裝、外窗、帷幕牆、內隔間、室內地坪、室外地坪，六項非結構的建築構件進行碳排放量的計算。也就是說，**當我們在決定外牆要貼磁磚還是粉刷，或是地板要貼石英磚還是木地板時，都會對建築的碳排放量造成影響。**

當我們開始體重控制時，要開始對於每天攝取的卡路里進行管理。而我們也不能只考慮吃低卡路里的食物，而是要同時兼顧攝取的營養比例，才能夠「瘦得健康」。同樣的，當我們在設計建築物時，在碳排放量高低之外，也要考量美觀、耐用等因素來挑選適當的建材。建築或室內設計有相當多的考量，有時因商業或美學考量無法用盡最大減碳之利，但設計者只要用心一點，常常可以藉由「挑選」而得到合乎設計需求且低碳的建築構件。在 LEBR 所評估的六項非結構工法中，選用較低碳構件的減碳設計最多約有 11.3~20.6% 的總減碳潛力。



挑選營養而低卡路里的食物才能瘦得健康

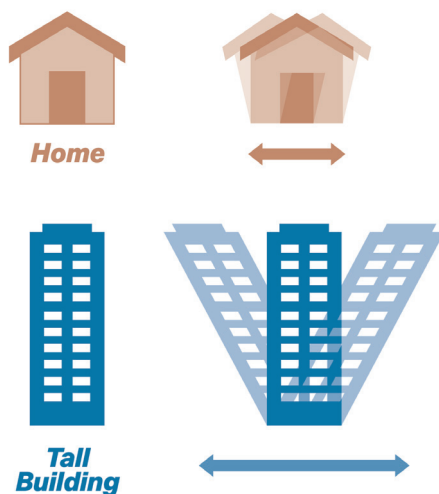
圖片來源 | https://www.freepik.com/premium-vector/app-nutrition-dieting-concept-tiny-male-female-characters-huge-healthy-unhealthy-meals-counting-calories-using-application-weight-loss-cartoon-people-vector-illustration_16300250.htm

TIPS

我們知道許多業主與建築師，對於建築物的美感與時尚都有相當的堅持，但我們也看到許多世界頂尖時尚產業將環保視為品牌價值，建築產業是不是也該學習世界的潮流，追求兼顧低碳的時尚美學呢？

我們常在都市裡看到高聳的辦公大樓正在建造，而一根根不斷吊裝與組立的鋼骨，則形塑了建築物的結構。鋼構造指的是以鋼鐵作為主結構的建築構造，不只有許多高層建築採用鋼骨作為結構材料，量販店、工廠、甚至是住宅都可以使用鋼構造。有些人會問，鋼鐵與水泥都是高碳排的產業，用鋼骨來取代鋼筋與水泥固然減少了水泥的用量，但這是否同時也增加了鋼鐵的用量？會比較減碳嗎？

相較於鋼筋混凝土，在抵抗同樣載重的條件下、鋼構造的建築結構整體較輕，輕量化除了可以減少建材的使用之外，也可以讓建築物受到的地震力減小，也因此，在 LEBR 計算中給予構造體碳排放量 10% 的減碳率優惠計算，如果是輕鋼構造的建築物，更可獲得 20% 的減碳優惠。然而，除了主結構的部分之外，我們也希望其他的建築構件也要導入減碳的設計，在減碳率的評比上才能獲得更高的等級。



高層建築受到地震力的影響較低層建築大，結構的輕量化可減少地震力的影響

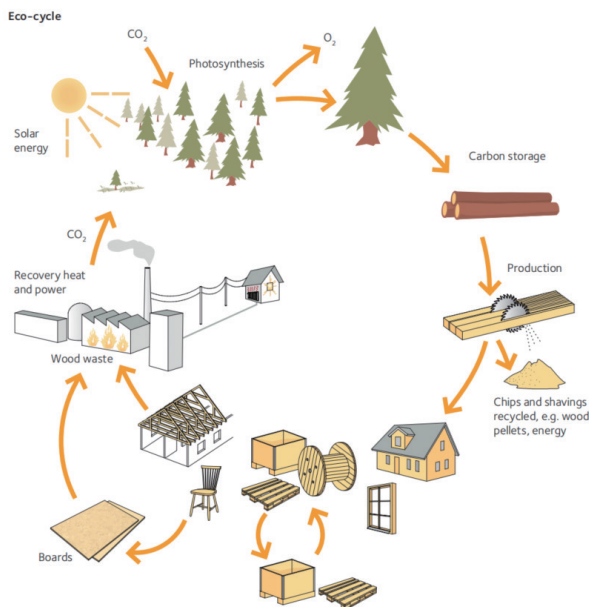
資料來源 | <https://gosmartbricks.com/earthquake-resistant-buildings/>

TIPS

有一種將鋼骨與鋼筋混凝土結合的構造，稱為 SRC 構造，要注意的是採用 SRC 構造會增加鋼筋水泥用量，因此在 LEBR 計算中反而會增加約 5% 的總碳足跡，是我們要特別注意的。

木構造建築不但重量較輕、對抗地震的能力較佳之外，生產與加工過程的碳排放量也比鋼鐵、水泥來得低許多。木材是一種生生不息、可再生循環的建材，再加上造木植林有固定大氣中二氧化碳的效果^[1]，也因此採用木材來蓋建築物時，可說是最低碳的建材選擇。在 LEBR 計算中，採用木構造的建築物，主結構部分可以取得 30% 的優惠，在 LEBR 中相對容易取得最高 1⁺ 等級的評估。

過去一般認為木構造只能用於小規模的建築物，且比較不能防火，因此在使用上有諸多疑慮。然而，隨著時代的進步，發展出許多工程木材的技術，讓木材可以用於建造更大型的建築物，也能夠符合建築法規對於防火、地震的要求。另外，木材也可以跟鋼筋混凝土、鋼骨等材料共同運用、形成混合構造，也是一種集各種材料優點的建構方式。



使用木構造可以促進低碳建築的循環

圖片來源 | <https://forgemind.net/media/%E6%9C%A8%E6%A7%8B%E9%80%A0%E7%A2%B3%E4%B8%AD%E5%92%8C%E6%95%B8%E4%BD%8D%E8%A3%BD%E9%80%A0%E9%A0%90%E9%91%84%E5%BB%BA%E7%AF%89>

TIPS

木材雖然是一種低碳的建材，但在加工與施工的過程當中，可能會因為防腐、防蟲以及黏著等需求而加入化學物質，這些化學物質可能揮發到空氣中危害健康，所以在選用木材時也要特別注意添加物喔。

[1] 樹木行光合作用時吸附二氧化碳、放出氧氣，就是把大氣中的碳固定在樹木中，是運用自然力減碳的方式。

城市的建築物也是需要新陳代謝的，許多歷盡自然的風霜，甚至天災人禍的建築，在確保公共安全的前提之下可能需要拆除重建或是補強。在每次新陳代謝的決策中，都蘊含了讓城市更低碳的機會。

在都市更新的過程當中，除了拆除重建之外，**老屋新生也是一個選項。老屋新生是一種再利用 (reuse) 的思維，不但減少拆除時的廢棄物，更同時減少新材料的生產與使用，可說是具備一舉兩得的減碳功效。**在台灣各地有越來越多的老屋，藉由地方創生、社區營造、故事行銷等手法成功轉身成為民宿、餐廳或商店。建築立面的修繕又稱為「老屋拉皮」，是一種破壞性較低、費用較低，又能讓建築性能提升的方式。其實，**歐洲有許多百年老屋至今仍然屹立不搖，藉由持續的修繕讓老屋的生命不斷延續，也讓許多城市的景觀具備歷久彌新的文化特色。**建築物的拆除廢棄與重新建造都會製造大量的碳排，也因此建築物的生命週期越長，是減少碳排的重要手法。



都市的更新與老屋改造都是推動低碳城市的契機

圖片來源 | https://jp.freepik.com/free-vector/old-buildings-modernization-abstract-concept-illustration-building-up-service-construction-modernization-solutions-historic-buildings-insulation-design-team_12144998.htm#query=building%20reform&position=3&from_view=search&track=ais

TIPS

近年來，有許多都市老舊的社區在「都市更新」、「危老重建」的政策之下，在確保公共安全的前提之下，無論是舊建築再利用、舊建材再利用，或是採用低碳建材與低碳工法，都是推動低碳城市的契機。

無論是建築或是生活周遭的各式產品，蘊含碳排都來自於材料的生產、加工與廢棄。也因此被稱為 **3R 的減量 (reduce)、再利用 (reuse) 與循環 (recycle)**，可說是降低蘊含碳排的核心思維。都市中仍然會有許多的新建築持續被建造，我們希望這些建築物在建造時能夠藉由 LEBC 的計算分析降低蘊含碳排，讓建造新建築的過程能夠比過去更加低碳。另一方面，我們也要積極鼓勵都市中藉由老屋新生來增加建築物的生命週期，期許藉由眾人的創意讓老屋的魅力更加提升。

在現行的 LEBC 系統中，給予舊建築物的再利用、低碳循環建材與低碳工法這三個項目減碳計算優惠，就是要鼓勵老屋新生、建材產業能夠再生循環，以及開發營建低碳新技術。然而，循環建築的設計手法因目前在國內仍在起步當中、尚未成熟，因此暫時未能列入 LEBC 的減碳優惠行列。另外，在我國面對 2050 淨零碳排的挑戰中，推動循環經濟可說是減少蘊含碳排最重要的政策之一。廢棄物的再生循環已行之有年，但如何運用創意來提升經濟效果，恐怕才是循環經濟最核心的內容。期許建築師們運用建築設計，以「低碳創意」來減少我們家園的碳足跡，共同實現 2050 淨零碳排。



讓我們發揮低碳創意，別讓營建廢棄物成為地球沈重的負擔

圖片來源 | https://www.freepik.com/free-vector/hand-holding-model-modern-skyscraper-with-recycle-sign-top-reusing-recycling-technology-person-flat-vector-illustration-eco-city-concept-banner-website-design-landing-web-page_26921845.htm#query=recycle%20construction&position=1&from_view=search&track=ais

NOTE

[illegible]

建築碳足跡評估概論

Introduction to Carbon Footprint of Buildings in Taiwan

內政部建築研究所編輯

ISBN:0 (平裝)

NT\$: 0

GPN:0

國家圖書館出品預行編目 (CIP) 資料

建築碳足跡評估概論 Introduction to Carbon Footprint of Buildings in Taiwan

內政部建築研究所編輯 . -- 第一版 . -- 新北市 : 內政部建築研究所, 民 112.12 面 ; 公分

ISBN 0(平裝)

1.CST: 建築能效 2.CST: 建築節能

441.577 111010593

建築碳足跡評估概論

出版機關：內政部建築研究所

發行人：王榮進

地址：23143 新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

內政部建築研究所

編輯單位：郭柏巖、嚴佳茹、蔡耀賢

監修：陶其駿、褚政鑫

網址：<http://www.abri.gov.tw>

電話：(02) 89127890

出版年月：112 年 12 月

版次：第一版

定價：NT\$0

展售處：政府出版品展售門市 - 五南文化廣場：台中市中山路 6 號

(04)22260330 <http://www.wunanbooks.com.tw>

政府出版品展售門市 - 國家書店松江門市：台北市松江路 209 號 1 樓

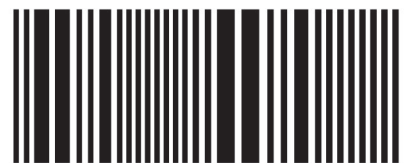
(02)25180207 <http://www.govbooks.com.tw>

GPN : 0

ISBN : 0 (平裝)

內政部建築研究所保留本書所有著作權利，

欲利用本書全部或部分內容者，需徵求書面同意或授權。



GPN:**1011100907**

定價：**000**