營建產業ESG：循環、減碳與永續

呂良正

國立臺灣大學土木工程學系 教授
台灣營建安全學會 理事長
臺灣營建研究院 前院長
台灣循環經濟學會 名譽/創會理事長
中華工程教育學會(IEET) 秘書長/執行長
中華台北亞太工程師暨國際工程師監督委員會主任委員

臺北市建築師公會
2025年3月27日

授課講師

呂良正 教授

ljleu@ntu.edu.tw

現　職

- 國立臺灣大學土木工程學系/教授
- 台灣營建安全學會/理事長
- 台灣循環經濟學會/常務監事
- 台灣國際營建材料應用學會/常務理事
- 台灣混凝土學會/理事
- 中國工程師學會/理事
- 中華民國地震工程學會/理事
- 中華民國結構工程學會/監事
- 中國土木水利工程學會/監事
- 中華工程教育學會(IEET)/秘書長及認證委員會執行長
- 台北亞太工程師暨國際工程師監督委員會/主任委員
- President, EASEC International Steering Committee
- Chair, Canberra Accord

學　歷

- 美國康乃爾大學理論與應用力學/博士
- 國立臺灣大學土木工程學系/碩士、學士

主要經歷

- 財團法人臺灣營建研究院/院長
- 國立臺灣大學土木工程學系/系主任
- 國立臺灣大學工學院地震工程研究中心/主任
- 中國土木水利工程學會/理事長
- 中華民國結構工程學會/理事長
- 台灣循環經濟學會/(創會)理事長
- 【結構工程】期刊/主編
- Journal of the Chinese Institute of Engineers 土木領域/主編

榮　譽

- 中國工程師學會/傑出工程教授獎
- 中國土木水利工程學會/工程獎章(學術研究類)
- 台灣循環經濟學會/名譽理事長
- 中國土木水利工程學會/榮譽會員、會士
- 中華民國結構工程學會/榮譽會員、會士
- Honorary Fellow, Myanmar Engineering Society

簡報大綱

CONTENTS

0

ESG-現在進行式

ESG

ESG可作為企業永續發展的關鍵指標，三個面向代表企業的永續維度，依據面向評鑑企業永續經營及風險管控的能力。

公司治理（Governance）

公司管理和透明度。包含內部審計與監管政策、系統化風險管理、意外與安全管理、商業倫理、政治影響、競爭行為及供應鏈管理。

環境保護（Environmental）

公司的環境影響和永續性。企業如何管理溫室氣體排放、空氣品質、碳足跡、能源使用、燃料、水資源和廢棄物處理、生物多樣性等問題。

社會責任（Social）

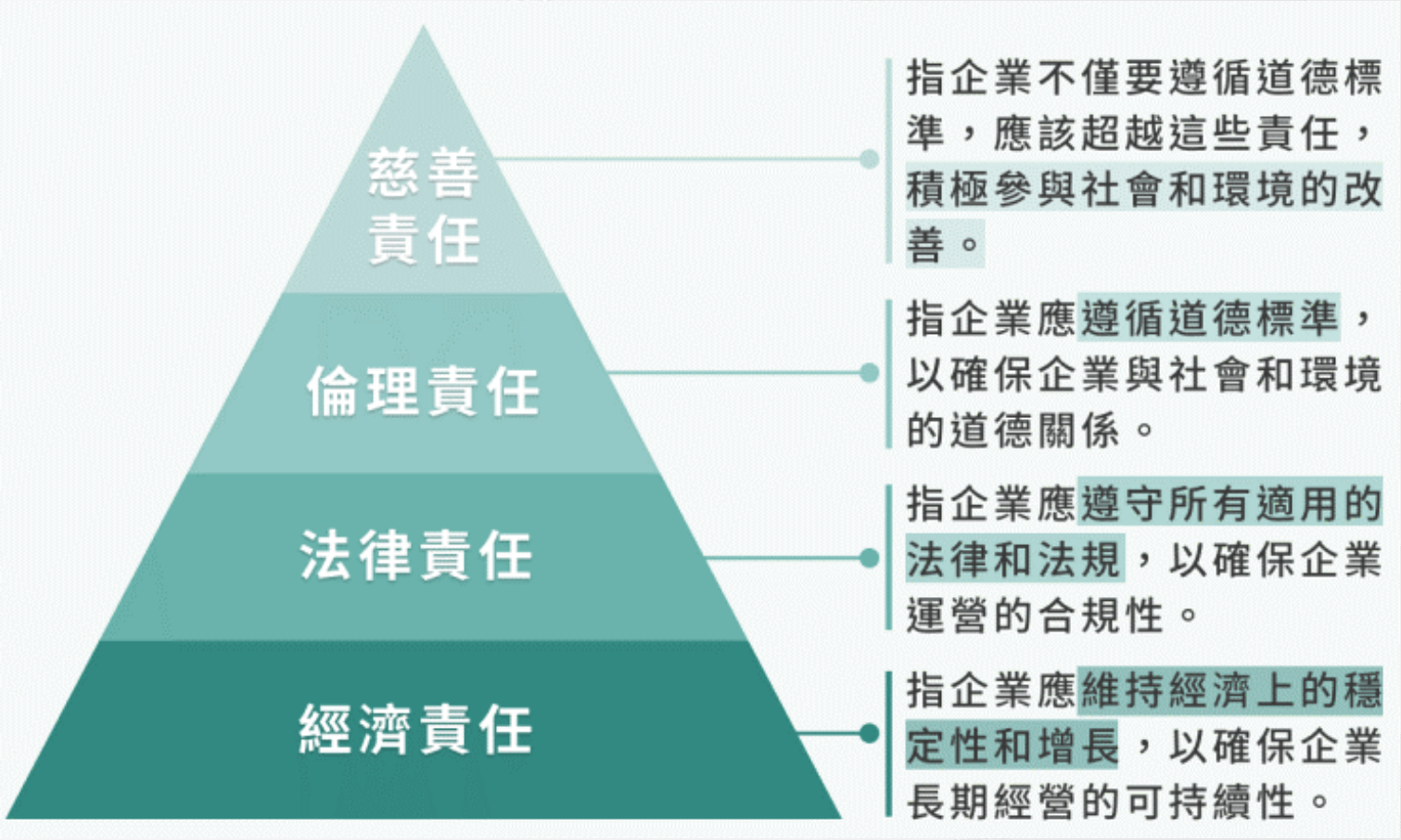
如何處理利害關係人的權益。包含管理供應鏈、勞資關係、員工健康安全及舒適、多元職場、薪酬福利等問題

資料來源:CSR天下,csr.cw.com.tw/article/43025(2023)

CSR

- 企業社會責任(Corporate Social Responsibility, CSR) 指「企業在經營活動中，除遵守法律規定和追求經濟利益之外，還自願為社會、環境的永續發展做出貢獻。」

- 企業透過實施CSR，可以在保持經濟效益同時，達到環境保護、社會公平、永續發展等目標，還能提高社會形象，提升員工、投資人與客戶的滿意度和信任。



其指標內容為企業社會責任 4 層次

資料來源: www.kdanmobile.com/zh-tw/blog/product/csr/ (2024)

SDGs

- 2015年聯合國宣布「2030永續發展目標」（Sustainable Development Goals, SDGs），SDGs包含17項核心目標，其中又涵蓋169項細項目標、232項指標，指引全球共同努力、邁向永續。

- 當時有193個國家同意在2030年前，努力達成 SDGs 17項目標。

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

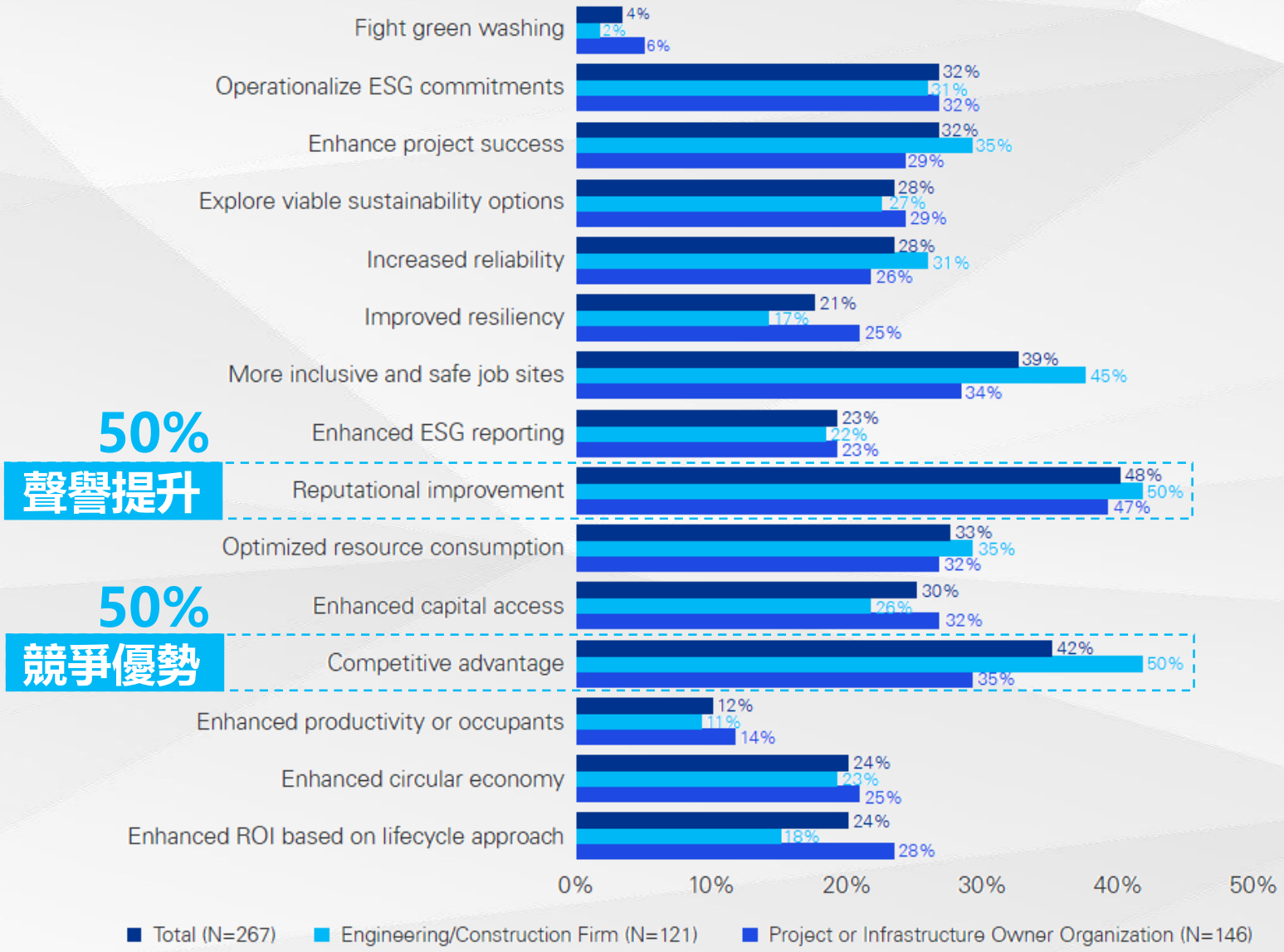
資料來源:futurecity.cw.com.tw/article/1867 (2024)

SDG、CSR 及 ESG 有什麼不同

	ESG 環境保護、社會責任、公司治理 (Environment/Social/Governance)	CSR 企業社會責任 (Corporate Social Responsibility)	SDGs 永續發展目標 (Sustainable Development Goals)
年代	2004年	1995年	2015年
指標	以3個面向評估企業:環境保護社會責任、公司治理。	企業社會責任4層次:經濟責任、法律責任、倫理責任、慈善責任。	針對經濟、社會及環境保護3大面向，所提出的17項永續發展目標。
特色	視為評估一間企業經營的指標並在永續發展的理念下，提供明確的檢驗標準。	代表企業在追求盈利與成長的過程，也必須對社會提供相對應的回饋，並對環境的永續發展有所貢獻。	永續發展目標作為全球各個國家、企業、團體，甚至是每位公民的決策考量之一。

國際實踐ESG的建設相關產業帶來的好處

- 當被問及ESG的優勢，最重要的2個是聲譽改善和競爭優勢。
- 32%業主意識到需要整合ESG，以增加資金來資助專案的機會，並承認永續發展滿足投資者的重要性。
- 業主和建設公司對ESG看法不同。前者認為減少溫室氣體排放和發展再生設施最為重要，而承包商更關心社會因素，例如DEI(多元、平等、共融)以及滿足政府要求。



資料來源：KPMG, Familiar challenges- new approaches 2023 Global Construction Survey (2023)

永續(ESG)報告書撰寫國際準則

資料來源:孫智麗、江佳純，台灣經濟研究社永續發展政策研究中心，實施國際財務報導準則(IFRS) S1/S2 成本效益分析

去年約420人，今年約230人

營建產業ESG永續報告書撰寫指引

課程大綱:

一、永續營建: 循環經濟與淨零減碳
二、營建產業ESG發展趨勢與探討
三、永續報告書編製及品質確保相關準則介紹
四、營建產業永續報告書案例剖析及撰寫技巧

課程日期:

臺北班	臺中班	臺北班
2025年2月19日	2025年2月26日	2025年3月18日

歡迎掃描QR-code 或上網(edu.tcri.org.tw)報名

授課講師:

呂良正 教授

- 國立臺灣大學土木工程學系/教授
- 台灣營建安全學會/理事長
- 台灣循環經濟學會/名譽理事長
- 中華工程教育學會(IEET)/執行長及秘書長
- 中華台北亞太暨國際工程師監督委員會/主任委員
- 坎培拉協定主席

課程介紹:

2024年上半年曾針對本主題開課五場次，合計修課人數約420人，本次課程除了精進前次內容外，也將教授更具體的永續(ESG)報告書撰寫架構、步驟及輔助工具，讓撰寫永續報告書可以輕鬆上手。

ESG永續發展不只是上市櫃公司需要關注的，非上市櫃公司及業主也要有所掌握，才能跟上浪潮，也讓台灣成為ESG實踐的典範。

綜言之，本課程聚焦於營建產業，首先分享國內外循環經濟、淨零減碳(碳費、碳盤查、碳管理及相關國際標準如ISO14064-1、14067及PAS2080)現況及ESG發展趨勢與推動策略。

其次探討撰寫永續報告書所依循的全球性標準如GRI、TCFD、SASB及IFRSs等，以及確保永續報告書品質的AA1000保證準則和ISAE3000確信準則。

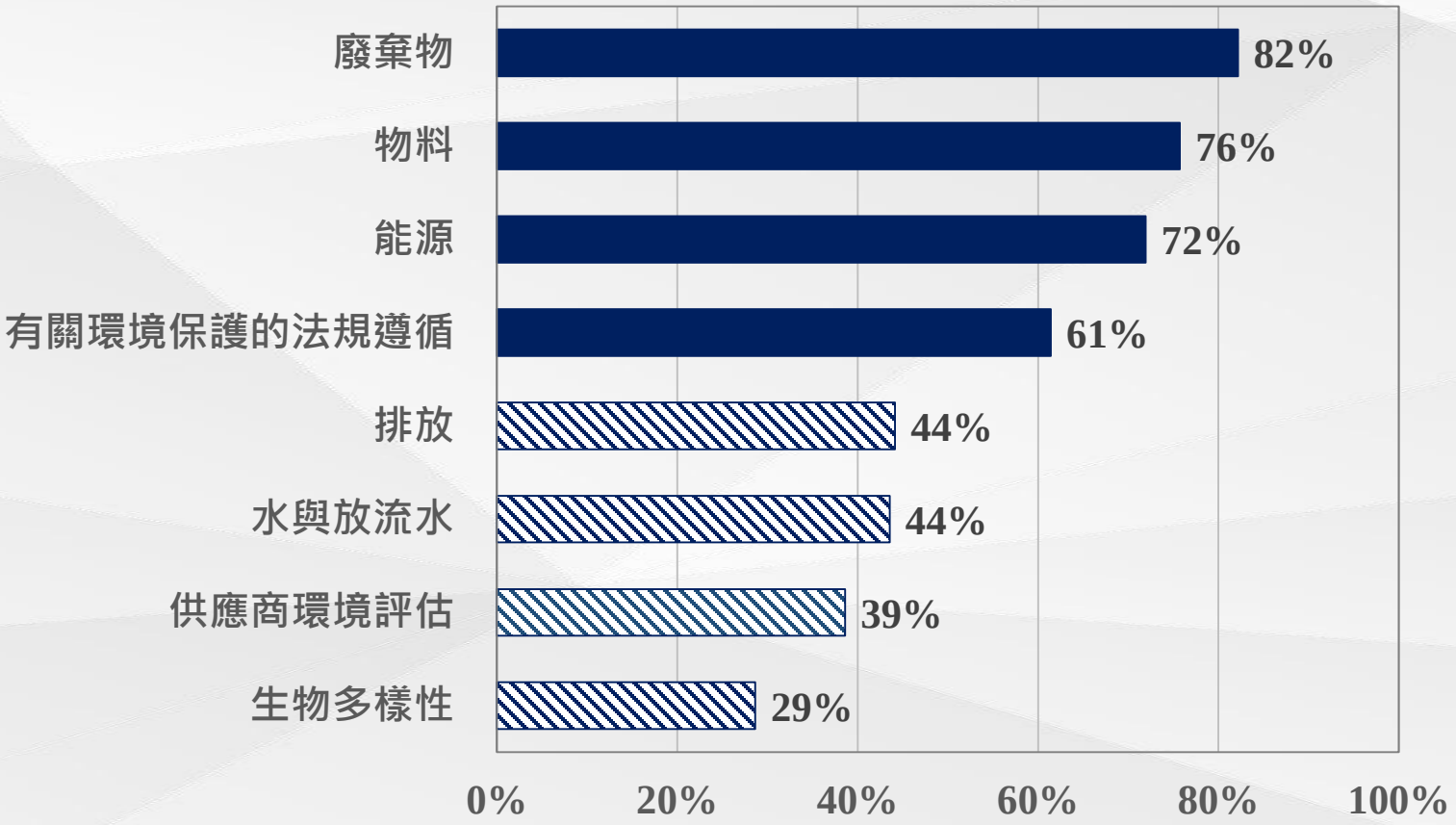
最後，將藉由幾個永續報告書的案例剖析，讓學員快速掌握重點，此外也將介紹如何利用AI或其他可行工具，提升永續報告書的專業度和可讀性。

參與本課程能培養公司永續報告書撰寫人才，為公司打造符合ESG核心價值的永續報告書，彰顯企業在永續發展的貢獻，使營建產業除了善盡社會責任外，也成為永續發展的實踐者。

主辦單位:財團法人臺灣營建研究院 02-89195033 楊小姐

GRI 環境面向的看法 (342位去年上課學員的統計)

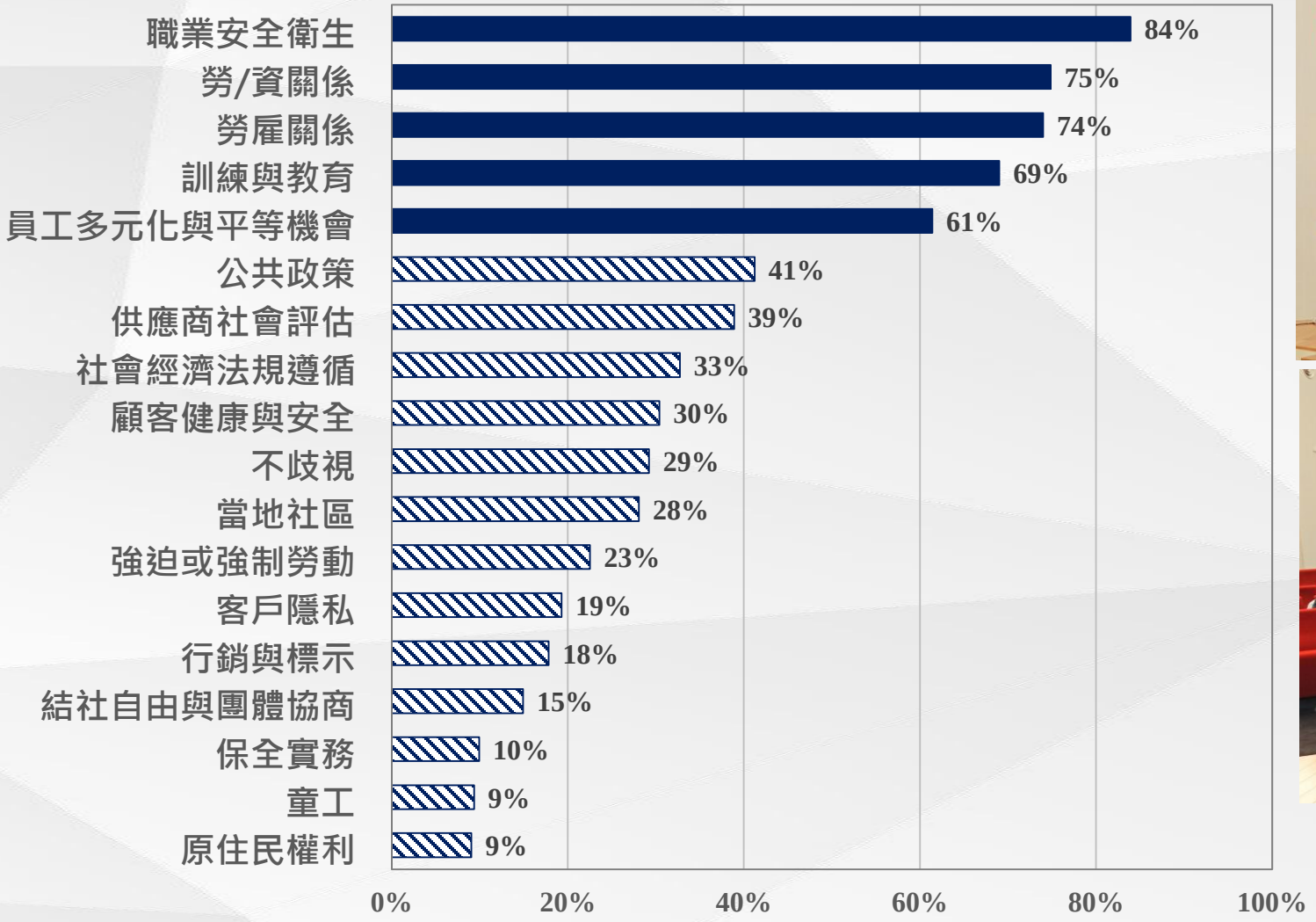
- 2024年針對營建產業授課「永續報告書撰寫技巧」，並就GRI準則中的環境、經濟及社會主題(GRI 200、GRI 300、GRI 400)進行問卷調查，蒐集北、中、南地區共342位營建相關人員的意見。
- 這項調查篩選出哪些主題準則對營建產業較為重要，可為臺灣營建產業提供永續報告書的撰寫方向，促進營建產業在環境、經濟和社會三個方面的均衡發展。



環境主題準則關注情形

資料來源:呂良正、鄒思宇、營建產業永續報告書的現況與撰寫方向，營造天下195期 (2024)

GRI 社會面向的看法 (342位去年上課學員的統計)

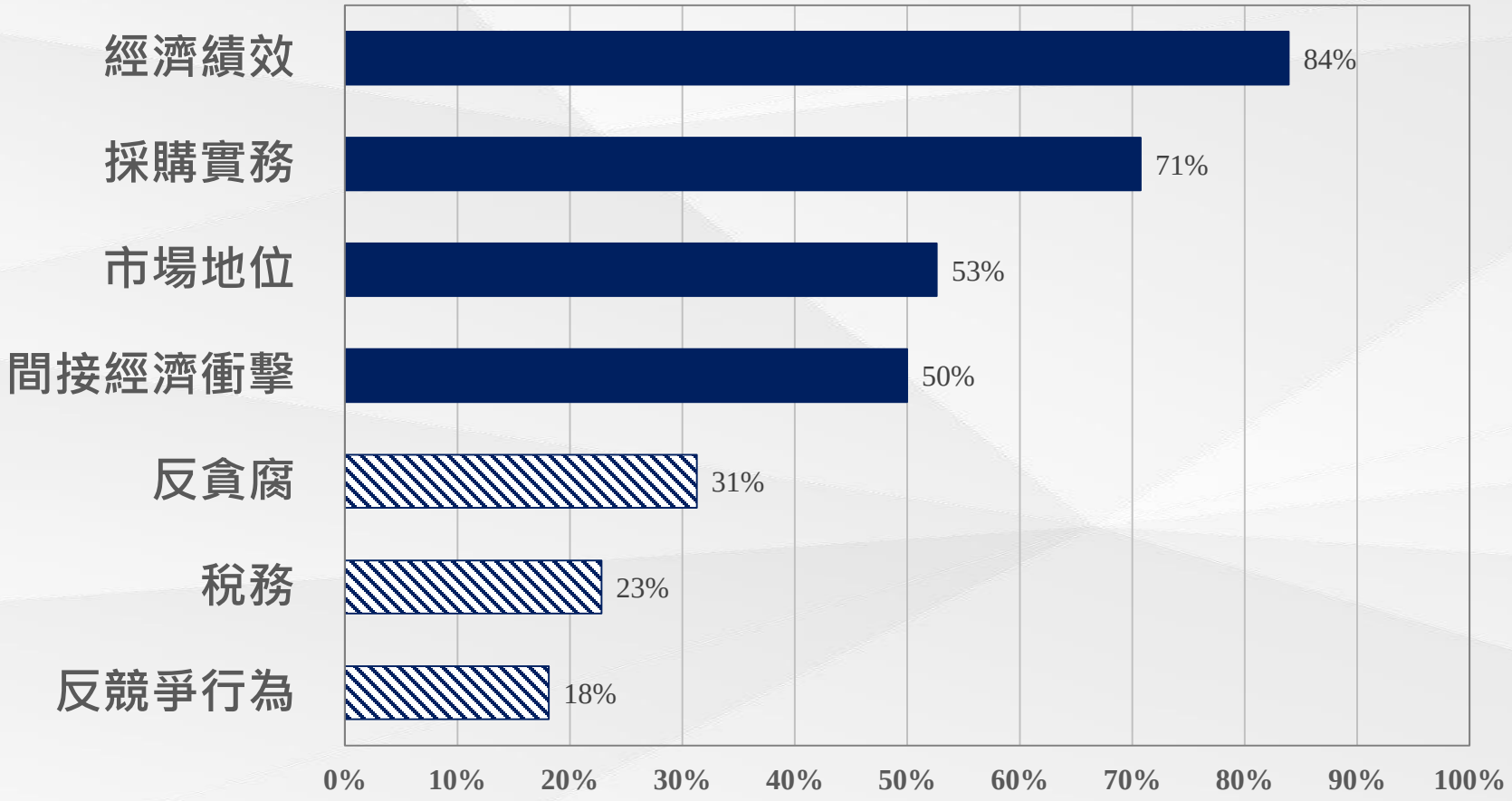


社會主題準則關注情形

2023年12月15日成立台灣營建安全學會

資料來源:呂良正、鄒思宇、營建產業永續報告書的現況與撰寫方向，營造天下195期 (2024)

GRI 經濟面向的看法 (342位去年上課學員的統計)



經濟主題準則關注情形

資料來源:呂良正、鄒思宇、營建產業永續報告書的現況與撰寫方向，營造天下195期 (2024)

營建業 ESG: 環境(E)策略

POINT 1 實施廢棄物管理計畫：**盡可能回收或再利用材料**，妥善處置有害廢棄物，並減少施工過程中的廢棄物。

POINT 2 使用節能設備和方案：**使用節能照明和電器**、設計時考慮能源效率及施工過程中實施節能措施。

POINT 3 使用永續性材料：**使用回收材料**、採購在地材料或對環境影響較小材料。

POINT 4 保護自然棲息地：**避免在敏感地區施工對生態影響**，以及施工期間保護野生動物和自然棲息地。

POINT 5 實施節水措施：**使用抗旱植物和高效灌溉系統**、安裝低流量裝置及減少施工用水量。

POINT 6 抵消碳排放：**購買碳權或減少施工期間碳排放**，例如使用替代交通或再生能源。

資料來源 :UGREEN， ugreen.io/how-esg-can-help-your-construction-business-thrive-in-a-changing-world2024)

營建業ESG: 社會(S)策略

POINT 1 確保公平和安全的勞動：**遵守勞動法規**、提供安全工作條件及提供公平的工資和福利。

POINT 2 **與當地社區合作**：解決當地居民可能存在的擔憂，**並減少施工對當地負面影響**。

POINT 3 **創造無障礙空間**：**設計可供身障人士使用的建築**，納入通用設計原則，並考慮不同使用者的需求。

POINT 4 **促進多元化和包容性**：工作場所**實施多元化和包容性**，例如僱用多元化的勞動力。

POINT 5 **回饋地方社區**：向當地慈善組織捐贈資源，參與志工服務及**參與社區發展計畫**。

資料來源 :UGREEN， ugreen.io/how-esg-can-help-your-construction-business-thrive-in-a-changing-world2024)

營建業ESG: 治理(G)策略

POINT 1 明確的道德標準：制定員工行為準則及確保所有員工進行**道德實踐教育訓練**。

POINT 2 商業實踐的透明度：**揭露公司營運和財務績效的資訊**、與利害關係人溝通以及定期提供公司活動資訊。

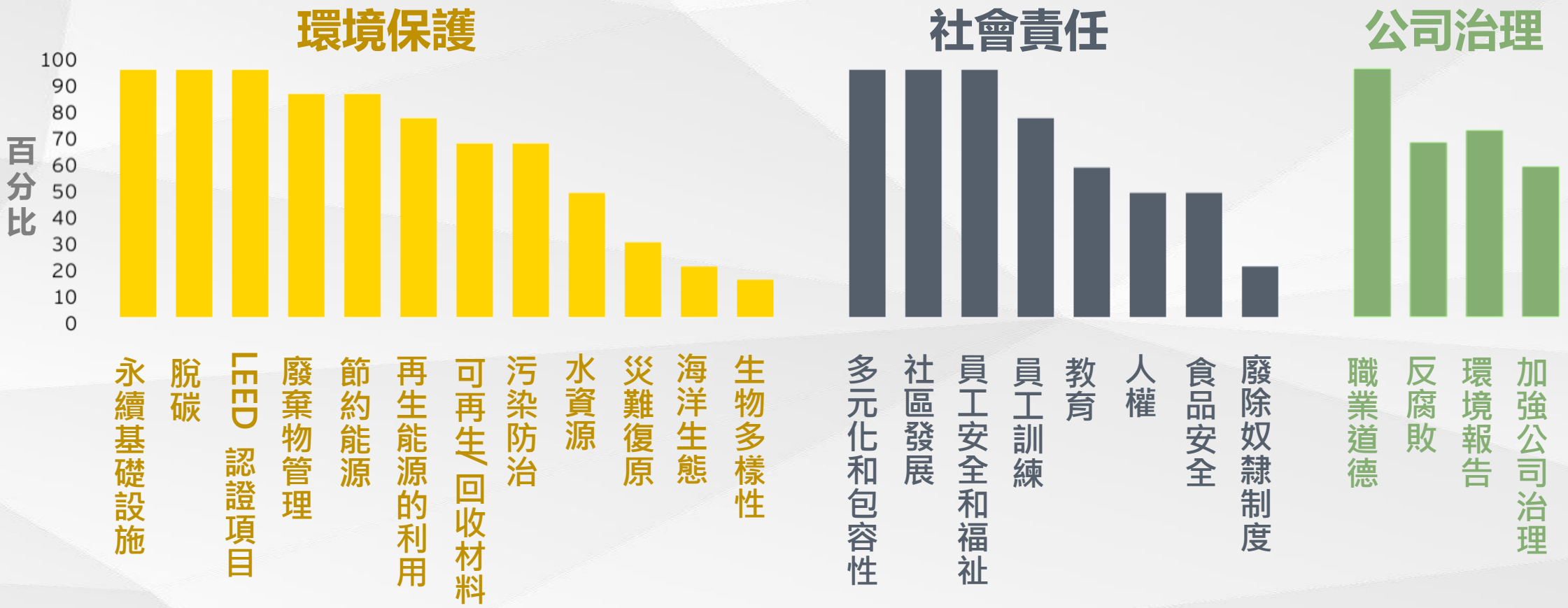
POINT 3 實施風險管理系統：**評估潛在風險並採取措施降低風險**，及持續監控和審查風險管理流程。

POINT 4 擁有完善的內部系統：**建立財務報告和內部稽核系統**，及建立公司治理政策並確保所有員工對其行為負責。

資料來源 :UGREEN， ugreen.io/how-esg-can-help-your-construction-business-thrive-in-a-changing-world2024)

美國工程和營建產業ESG: 前20大公司ESG指標的百分比

美國前20名工程及營建公司ESG指標的百分比



資料來源：Ernst & Young LLP， The current state of ESG reporting in the engineering and construction industry(2021)

氣候相關財務揭露建議(TCFD)準則

- 「氣候相關財務揭露」（TCFD）目的是商討**金融產業如何因應氣候相關議題**，協助相關決策人準確評估企業所面臨的氣候變遷風險與機會。

- 金管會在「公司治理3.0永續發展藍圖」強調**除遵循GRI準則外，也須引進TCFD與SASB的編製準則，強化上市櫃公司永續報告書的揭露**，將氣候風險連結公司治理，以提升企業資訊透明度。

TCFD TASK FORCE ON CLIMATE-RELATED FINANCIAL DISCLOSURES

資料來源:氣候相關財務揭露建議TCFD assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/TCFD-Recommendations-Report-Traditional-Chinese-Translation.pdf(2019)

氣候相關財務揭露建議(TCFD)準則

對各產業部門的指引

項目	說明	建議揭露事項
治理	揭露組織對氣候相關風險與機會的治理情況。	■ 描述**董事會**對氣候相關風險與機會的**監督**。 ■ 描述**管理階層**在評估和管理氣候相關風險與機會方面的**角色**。
策略	針對重大資訊，揭露組織業務、策略和財務規劃中，因氣候相關風險與機會帶來的潛在及實際衝擊。	■ 描述**組織鑑別的短、中、長期**氣候相關風險與機會。 ■ 描述衝擊**組織在業務、策略和財務規劃**的氣候相關風險與機會。 ■ 描述組織在**策略上的韌性**，並考量不同氣候相關情境。
風險管理	揭露組織如何鑑別、評估和管理氣候相關風險。	■ 描述組織在氣候相關風險的**鑑別和評估流程**。 ■ 描述組織在氣候相關風險的**管理流程**。 ■ 描述氣候相關風險的鑑別、評估和管理流程如何整合在組織的整體風險管理制度。
指標和目標	針對重大性的資訊，揭露用於評估和管理氣候相關風險與機會的指標和目標	■ 揭露組織依循其策略和風險管理流程進行評估氣候相關風險與機會所使用的指標。 ■ **揭露範疇1、範疇2和範疇3**（如適用）溫室氣體排放和相關風險。 ■ 描述組織在管理氣候相關風險與機會所使用的目標，以及落實該目標的表現。

資料來源:氣候相關財務揭露建議TCFD assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/TCFD-Recommendations-Report-Traditional-Chinese-Translation.pdf(2019)

上市櫃公司永續發展路徑推動原則

- 金管會於2022年3月3日正式啟動「上市櫃公司永續發展路徑圖」。
- 因應未來全球淨零碳排趨勢循序漸進，推動企業建構溫室氣體盤查。
- 所有上市櫃公司2025年開始要繳交永續報告書(明年改成ESG報告書)

揭露對象

- 按實收資本額自2023年起分階段推動
- 鋼鐵、水泥業自2023年起揭露

揭露內容

- 範疇一：溫室氣體直接排放
- 範疇二：能源間接排放量

揭露及查證範圍

- 分階段揭露至與公司合併財務報表範圍相同

全體上市櫃公司

2027 完成溫室氣體盤查
且與財務報表範圍一致

2029 完成溫室氣體盤查查證
且與財務報表範圍一致

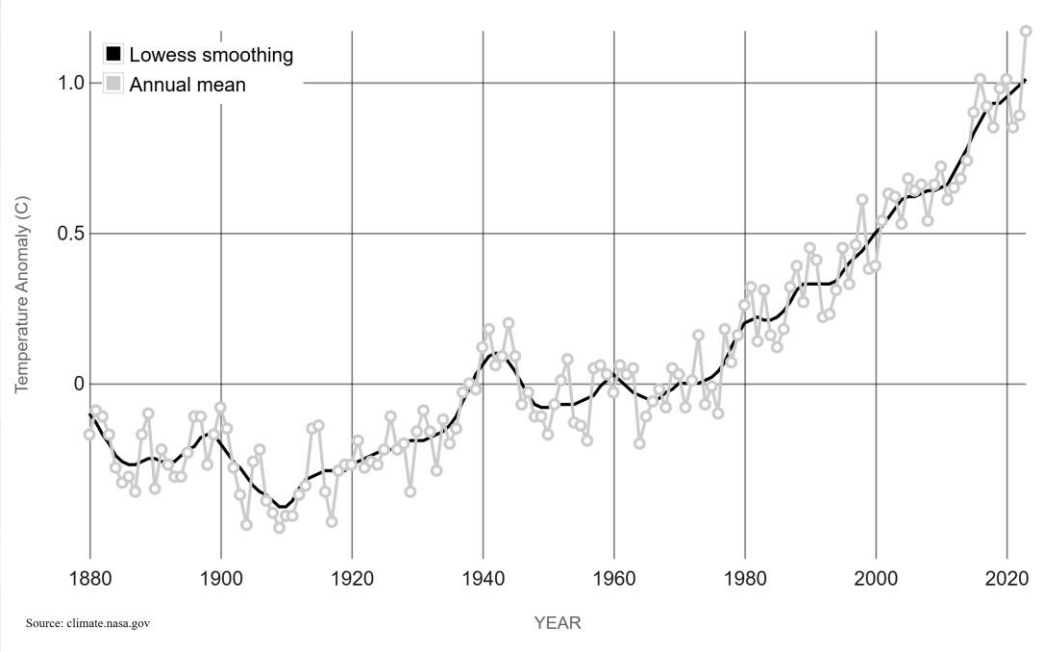
資料來源:金融監督管理委員會,www.fsc.gov.tw(2023)

1

氣候變遷及碳排趨勢

科學證據顯示氣候變暖

- 根據NASA數據，2023年地球溫度比19世紀末(1850-1900年)工業化前平均溫度高約1.36度(140年來溫差已超過1.5度)。
- 人類活動(主要燃燒化石燃料)使地球表面及海洋盆地變暖，進而持續影響地球氣候。

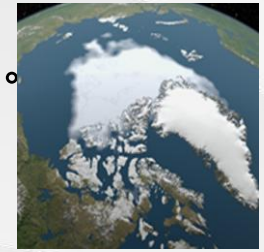


140年間全球平均升溫趨勢

氣候快速變化的證據

全球氣溫上升

19 世紀末以來地球平均地表溫度上升了約1度



北極海冰正在減少

在過去的幾十年裡，北極海冰的範圍和厚度都在迅速下降

冰層/冰川正在縮小

南極洲每年損失約1480億噸冰，冰川在各地都在消融

積雪正在減少

北半球春季積雪量在過去50年有所減少，且積雪融化速度也較早

海平面上升

上個世紀海平面上升了約20mm。最近20年的速度是上個世紀2倍

海洋正在變暖

1969年以來海洋表層(100m)的溫度升高0.33度以上

海洋酸化加劇

近幾十年來，海洋吸收人為二氧化碳排放總量的20%至 30%(每年 7.2至 108 億公噸)

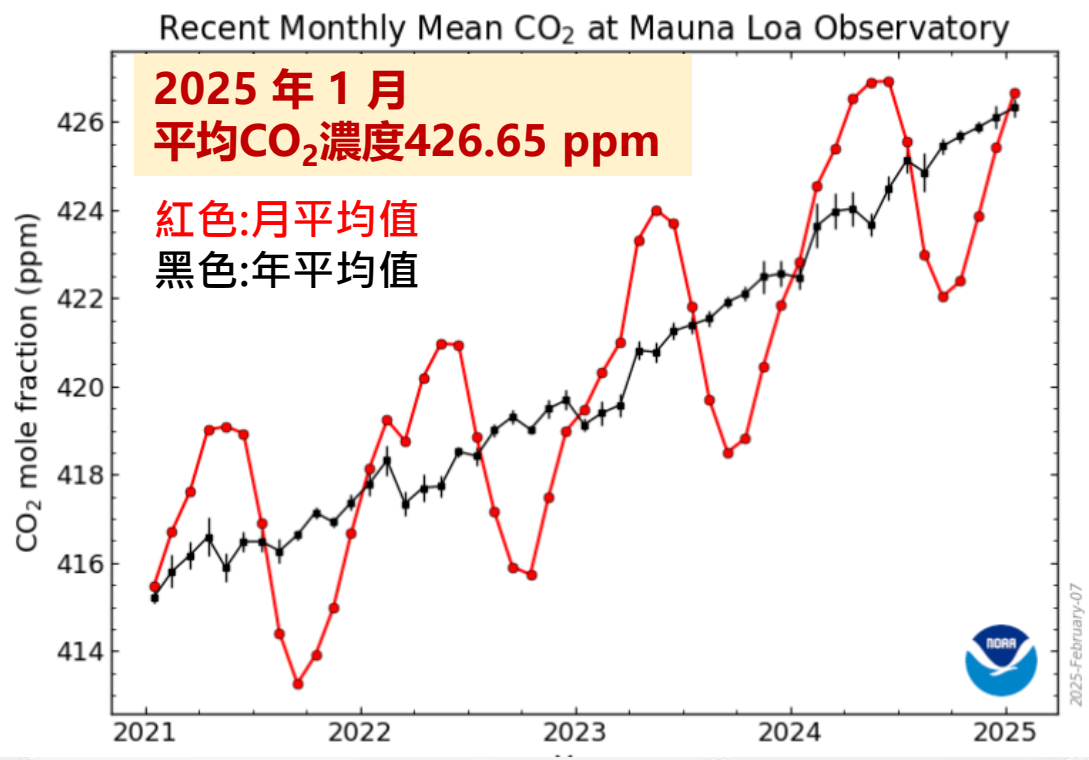
極端事件頻繁

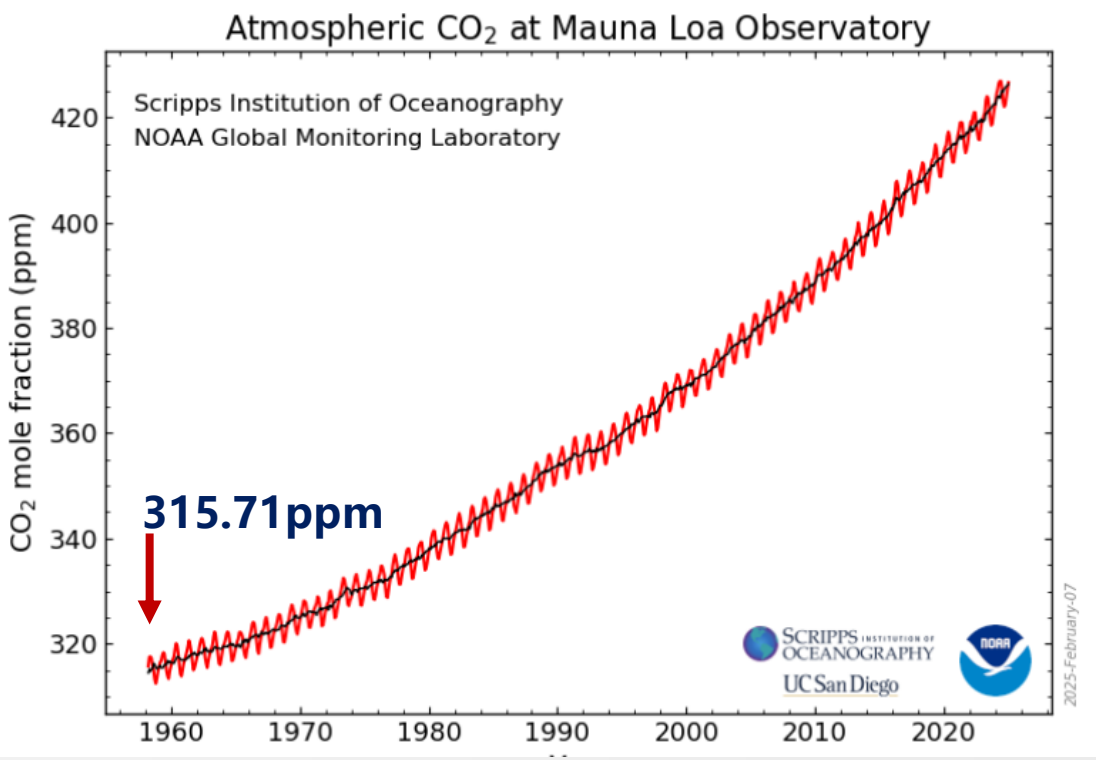
1950年以來美國創紀錄的高溫一直增加，而創紀錄低溫一直在減少

資料來源: NASA Global Climate Change，science.nasa.gov/climate-change/evidence/(2023)
http://herdsoft.com/climate/widget/config.php?width=640&height=480&start_year=1920&title=World+climate+Widget&temp_axis=Temperature+Anomaly+%28C%29&co2_axis=CO2+Concentration+%28ppm%29&temp_rgb=1786ec&co2_rgb=b21010&ice_rgb=178600&alias=2

二氧化碳濃度持續創新高

國際期刊《科學》的研究表示，大氣中CO_2濃度已達到人類歷史上1400萬年以來的最高。若全球CO_2排放持續增加，預測到2100年大氣中的CO_2濃度可能達到600ppm至800ppm。





- 美國科學家基林從1958年在美國海洋大氣總署(NOAA)設於夏威夷毛納洛峰(Mauna Loa)觀測站，開始測量大氣中的二氧化碳CO_2的濃度，形成地球科學最重要的圖表–基林曲線(Keeling Curve)。
- 二氧化碳有季節週期，北半球夏季的植物生長期，會吸收二氧化碳等冬季再吐回來。所以大氣中的二氧化碳濃度，會在每年的五月達到高峰，並在每年的十月下降至當年低點。

資料來源: gml.noaa.gov/ccgg/trends/ (2024)
www.lex.idv.tw/?p=766

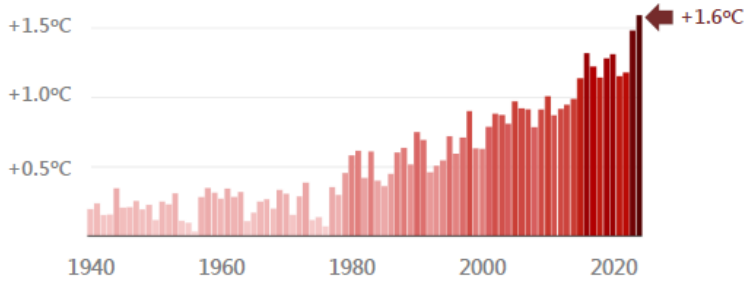
回顧2024年全球氣候事件

2024年 全球極端氣候事件

高溫

全年全球

2024年為有記錄以來最熱的一年，全球氣溫首次突破 1.5°C 門檻



寒潮

1月 美國、加拿大

極地渦旋導致北美氣溫降至零下40°C

熱浪

5-6月 墨西哥

墨西哥高溫達51°C，為有史以來極端高溫之一

極端降雨

9月美國東南部

海倫颶風登陸佛羅里達州，隨後席捲美國東南部六州

極端降雨

10月 西班牙

東部遭遇罕見暴雨襲擊，為1967年以來歐洲最嚴重的洪水事件

乾旱

9月 亞馬遜河流域

持續乾旱，亞馬遜河流域許多河流水位達史上最低

極端降雨

9月 撒哈拉沙漠

半個世紀以來最強降雨，形成沙漠湖泊的罕見奇景

熱浪

5-6月 印度

首都德里氣溫飆升至49.9°C

颱風

7月 東南亞

摩羯颱風是近年來單一颱風造成最嚴重的多國性災害

颱風

11月 菲律賓

連續受銀杏颱風、桔梗颱風、萬宜颱風、天兔颱風侵襲

乾旱

上半年 非洲南部

辛巴威、尚比亞、馬拉威和莫三比克等國降雨量僅為氣候正常值的20%

野火

3月 澳洲

東南部受熱浪影響，面臨4年以來最嚴重的大規模森林野火

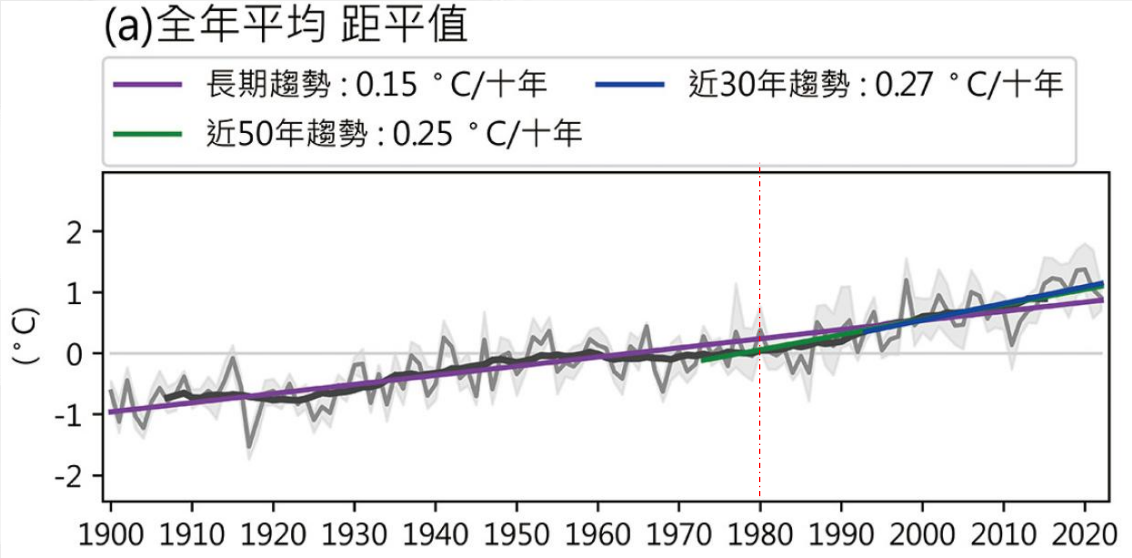
- 許多重大災害集中於發展中國家，這些國家雖碳排放量低，卻遭受最嚴重的氣候影響。

資料來源：環境部第2次委員會議報告簡報資料(2025)

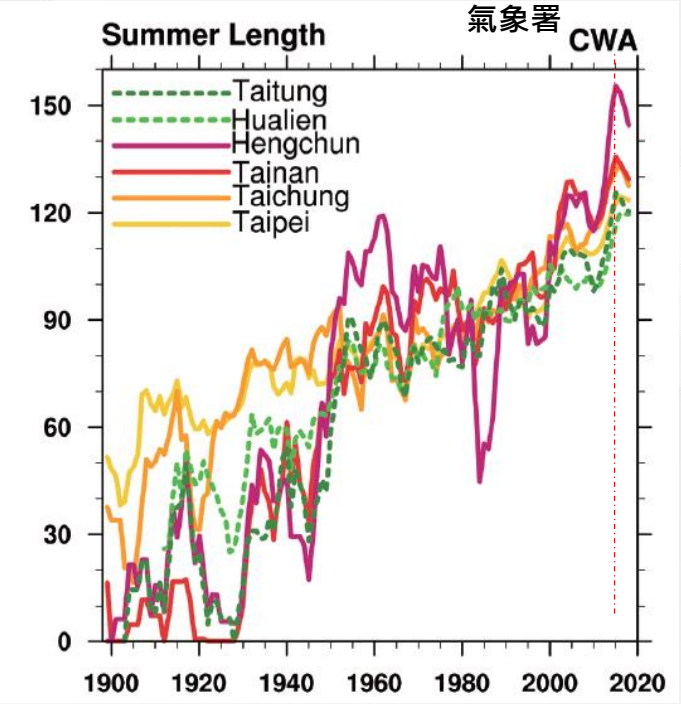
臺灣百年氣候變遷情形

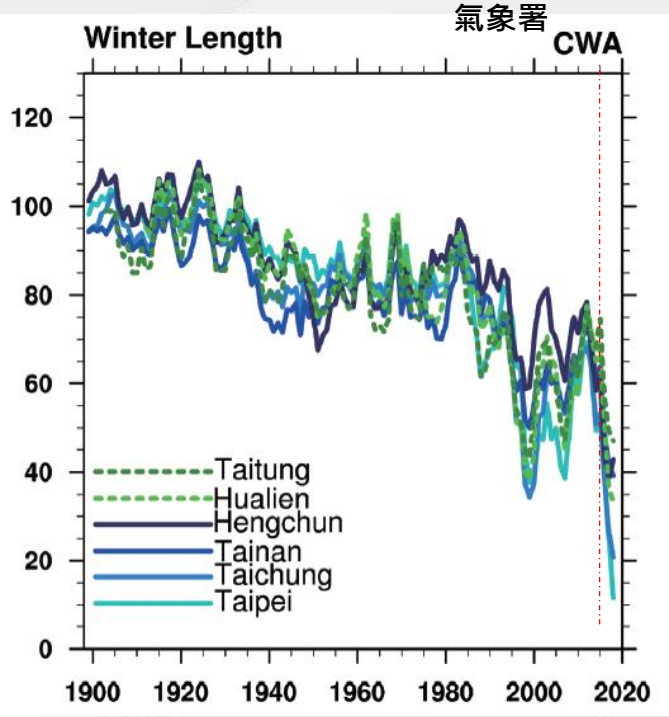
國科會及環境部依氣候變遷因應法共同發布的科學報告

- 平均氣溫1980年後有較大幅度的增溫，增溫幅度明顯高於其他時段。
- 測站統計2015年後夏季天數明顯增加，反之冬季日數則越少。



日平均氣溫距平值時間序列圖
(6個百年署屬測站平均)





臺灣6個百年署屬測站的夏季 (左) 及冬季 (右) 長度日數

資料來源:國家科學及技術委員會、環境部，國家氣候變遷科學報告2024: 現象、衝擊與調適

七大類溫室氣體 (Greenhouse Gas; GHG)及來源

「溫室氣體」指易吸收太陽輻射的氣體，將太陽熱能保留在地球中，若大幅增加則會形成地球暖化現象。

1.二氧化碳（CO_2）：

是燃燒化石燃料時產生

2.甲烷（CH_4）：

由反芻動物以及垃圾填埋場產生排放

3.一氧化二氮（N_2O）：

為農作物的肥料使用和牲畜肥料使用過程排放

4.氫氟碳化合物（HFC）：

來自冷氣、製冷設備排放

5.全氟化碳（PFC）：

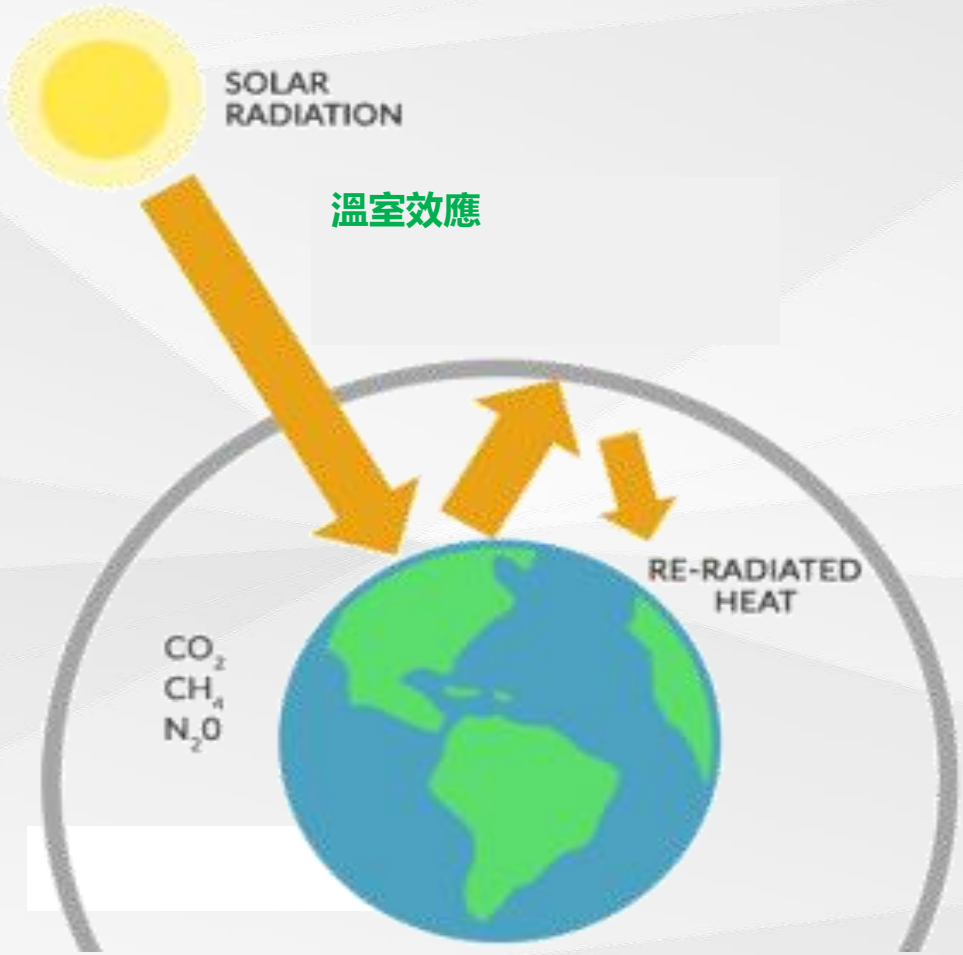
鋁產業排放

6.六氟化硫（SF_6）：

開關設備排放

7.三氟化氮（NF_3）：

電腦製造過程中排放



資料來源: www.caro.ie/knowledge-hub/general-information/science-of-climate-change/greenhouse-gases(2023)

GWP（Global Warming Potential) 計算 二氧化碳當量 CO2e

聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）所公布氣候變遷第六次評估報告(AR6)。

將二氧化碳GWP定為1，以其為基準比較各個溫室氣體一段時間（常使用100年）內對地表增溫的效果。

如右表，甲烷（CH_4）的百年GWP(100)是27.9，亦即以100年為比較時間，甲烷對全球的增溫效果是二氧化碳的27.9倍[1]。如右表分為七大類，共83項次[2]。

1 kg CH_4=27.9 kg CO2e

1 kg N_2O=273 kg CO2e

GWP(100) (AR4, AR5, AR6) 比較

註 1: 環保署[2]已增列AR5，但2016年後盤查一般仍採AR4

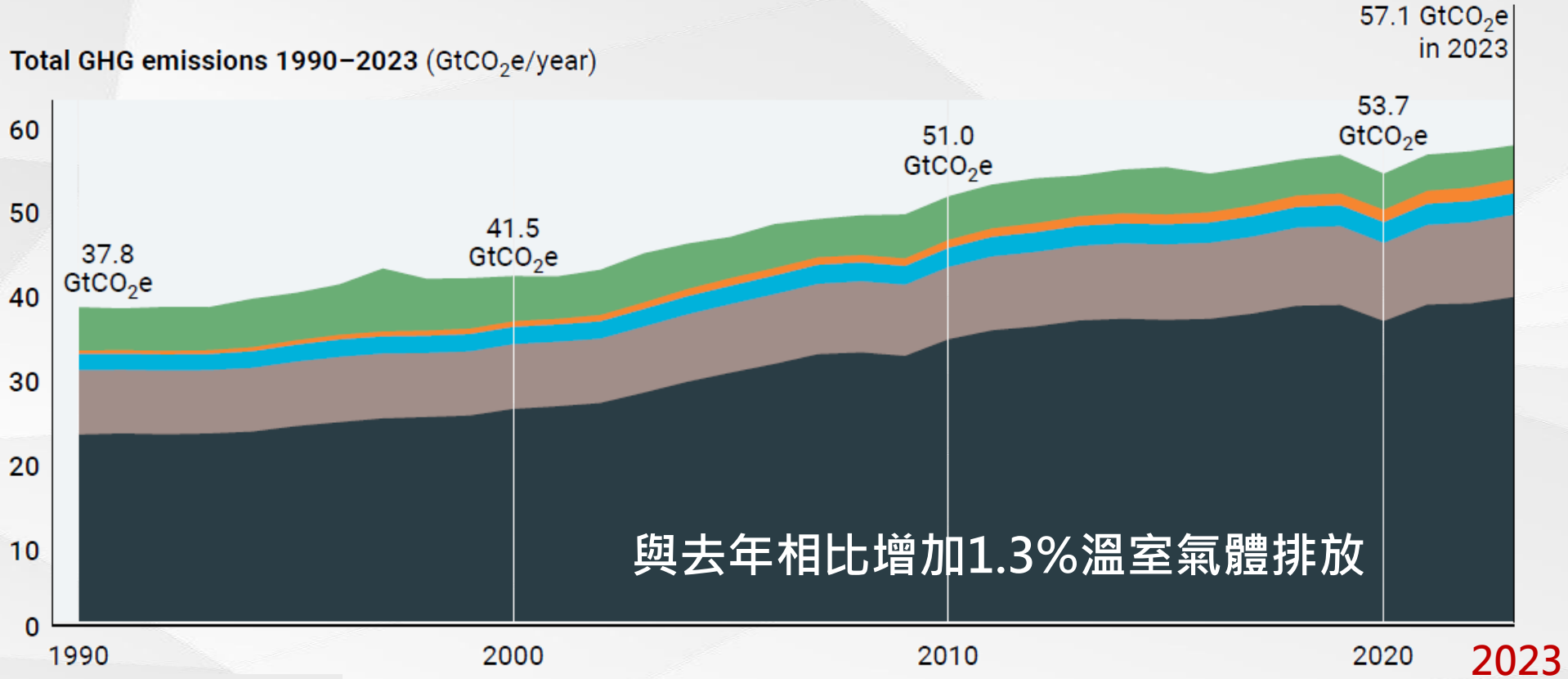
註 2: 目前 ISO 碳盤查採AR5/AR6

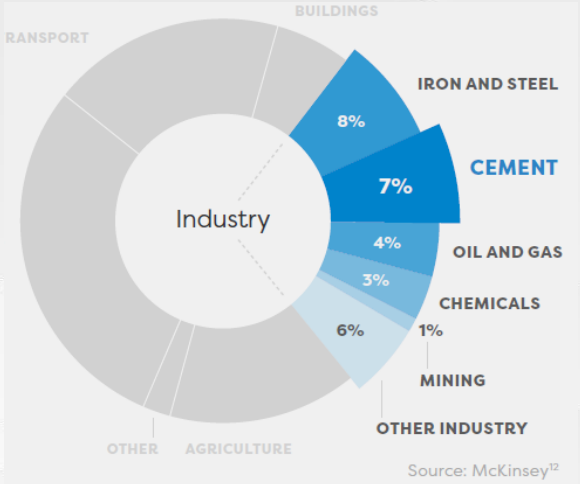
項次	類別	GWP(100)		
		AR4(2007)	AR5(2014)	AR6(2021)
1.	CO_2，二氧化碳	1	1	1
2.	CH_4，甲烷	25	28	27.9
3.	N_2O，氧化亞氮	298	265	273
4.	HFCs, 氫氟碳化物			
4-1	HFC-23/R-23三氟甲烷，CHF_3	14,800	12,400	14,600
	.			
4-19	HFC-43-10mee十氟戊烷	1,640	1,650	1,600
5	HCFCs, 氫氟氯碳化物			
5-1	CH_3CCl_3	146	160	161
	.			
5-4	$CHCl_3$	31	16	21
6	Fully Fluorinated Species氟化物			
6-1	NF_3，三氟化氮	17,200	16,100	17,400
	.			
6-10	PFCs，全氟己烷	9,300	7,910	8,620
7	SF_6混合冷媒			
7-1	R-401A	1,182	1,130	1,263
	.			
7-50	R-509A	5741	5,758	6065

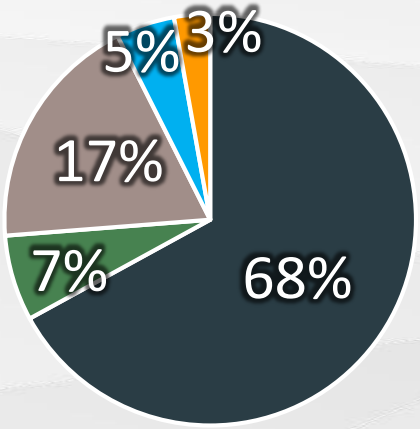
資料來源:
[1]IPCC 6th Assessment Report (AR6)，2021
[2] 環境部溫室氣體排放係數管理表6.0.4版，2019
https://ghgregistry.epa.gov.tw/Tool/tools.aspx?Type=12

2023年全球溫室氣體排放量 571 億噸

- 聯合國環境規劃署(UNEP)表示， 2023年達到571億噸二氧化碳當量 (CO_2e) 的新紀錄。
- 二氧化碳排放量佔溫室氣體排放量68%，主要來自於化石燃料燃燒和工業。
- 鋼和鐵佔總量8%、水泥佔總量7%、石化佔總量7%。

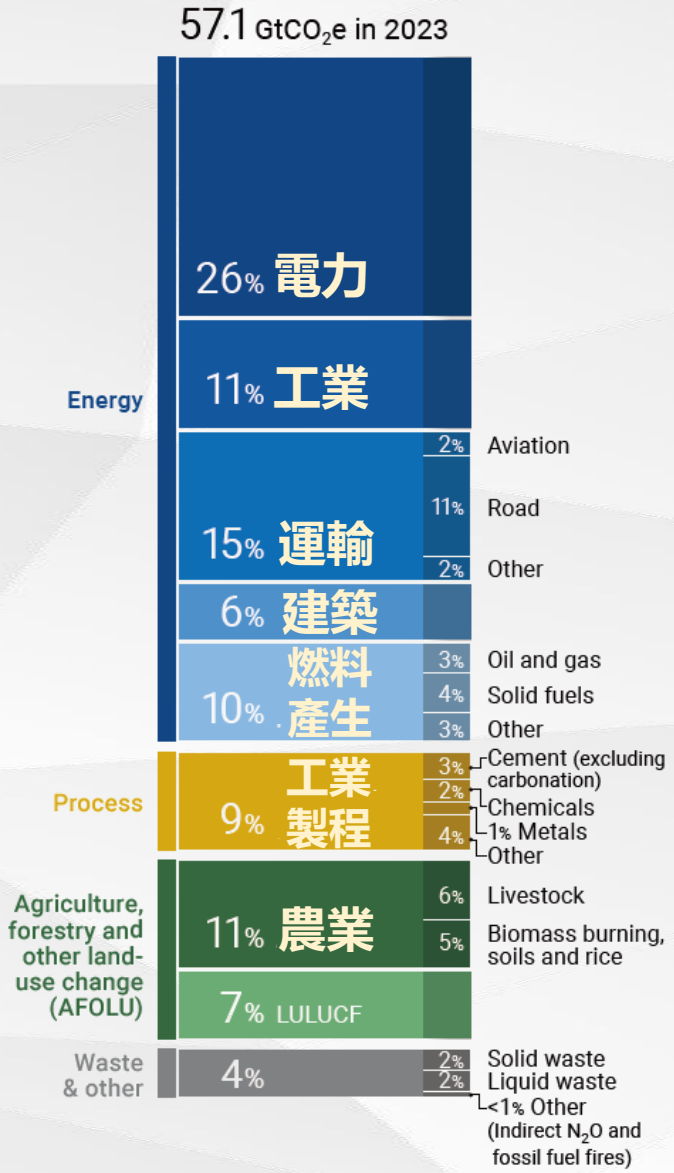






資料來源:聯合國環境規劃署(UNEP), Emissions Gap Report 2024
Paving the Way for Low-Carbon Concrete(2020)& McKinsey

2023年全球溫室氣體排放量



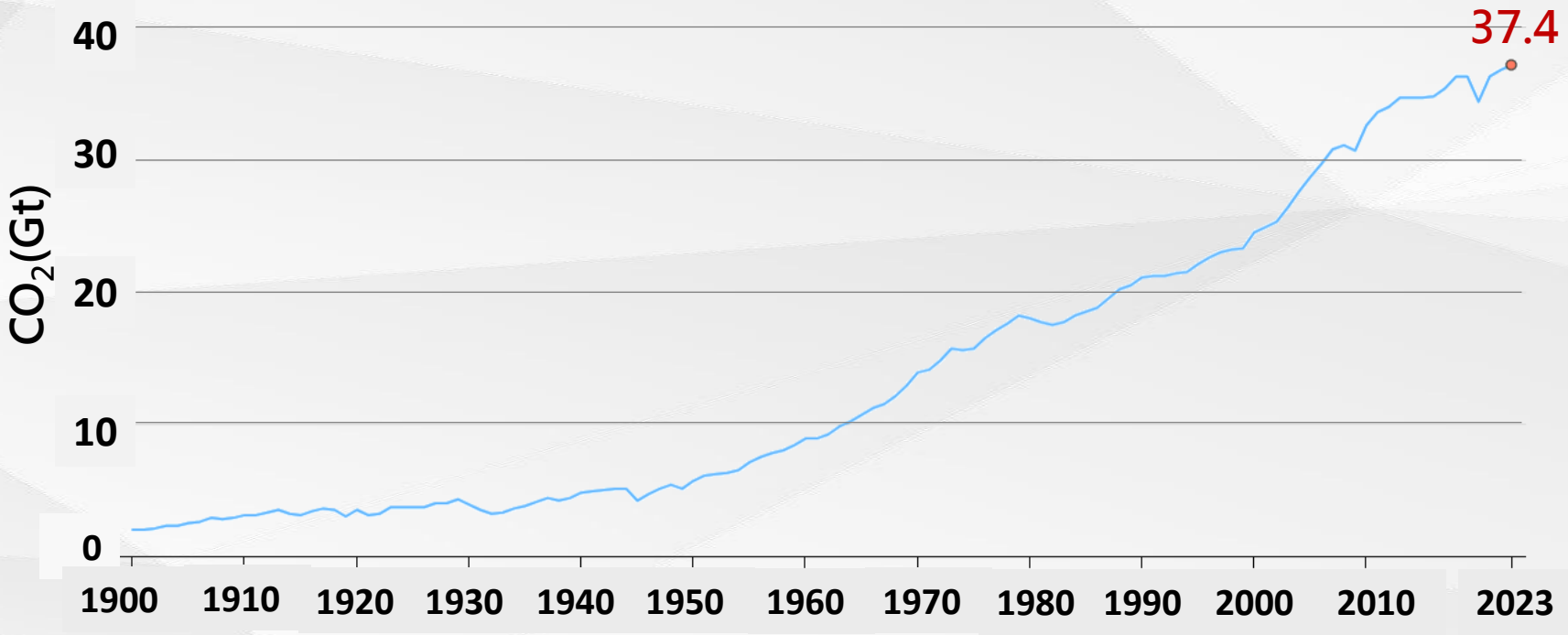
- 2023年 G20 成員的溫室氣體排放量佔全球排放量的77%。
- 美國和俄羅斯的人均排放量為世界平均6.6 tCO_2e的近3倍。

國家	2023年排放總量	2022-2023年排放量變化	2023年人均排放量
	$MtCO_2e$ (%全球占比)	%	tCO_2e/人均
中國	16,000 (30)	↑5.2	11
美國	5,970 (11)	↓1.4	18
印度	4,140 (8)	↑6.1	2.9
歐盟（27個國家）	3,230 (6)	↓7.5	7.3
俄羅斯	2,660 (5)	↑2	19
巴西	1,300 (2)	↑0.1	6.0
非洲聯盟(55個國家)	3,190 (6)	↑0.7	2.2
最不發達國家(47個國家)	1,730 (3)	↑1.2	1.5
G20	40,900 (77)	↑1.8	8.3

資料來源:聯合國環境規劃署(UNEP), Emissions Gap Report 2024

2023年全球能源相關碳排放（能源排放幾乎都是CO_2)

- 國際能源總署(IEA) 表示(2024/3月)，2023年全球能源相關碳排量(化石燃料、電力及再生能源及低排放燃料)較前一年增加約1.1%（4.1億噸），雖達374億噸(37.4 Gt)的歷史新高，但相較於2022年（36.8億噸）增加的1.3%（4.9億噸）碳排量，增長幅度下降。
- 截至2023年的十年間，全球CO_2排放量每年增長略高於0.5%。儘管2020年排放量急劇下降(Covid-19 大流行)，但隔二年就反彈至大流行前的水準。



	碳排量	占比
2023年總排放 571 億噸		
能源	374億噸	65.5%
非能源	197億噸	34.5%

資料來源:國際能源總署(IEA),www.iea.org(2024)

國際能源署提出淨零排放的策略

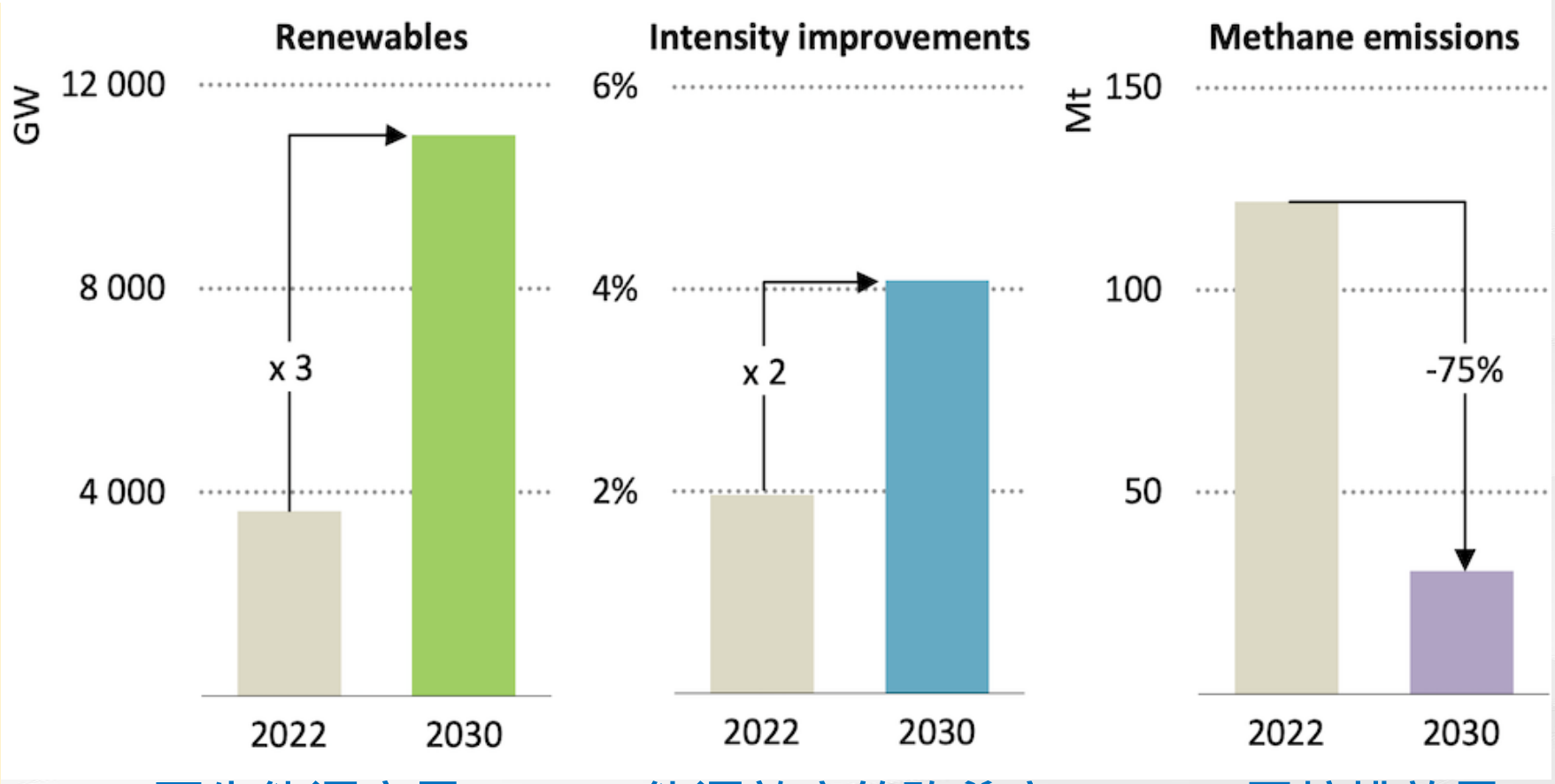
■ 國際能源署表示全球CO_2排放量在2025年達到峰值，在2100年全球暖化控制在2.4°C 。

國際能源署在COP28提出建議目標是，到 2030 年世界應該:

✓ 將再生能源容量增加2倍，達到 11,000 GW。

✓ 將能源效率的年增長率提高1倍，達到 4%。

✓ 將化石燃料開採產生的甲烷排放量減少75%。



再生能源容量　　能源效率的改善率　　甲烷排放量

Source: World Energy Outlook 2023

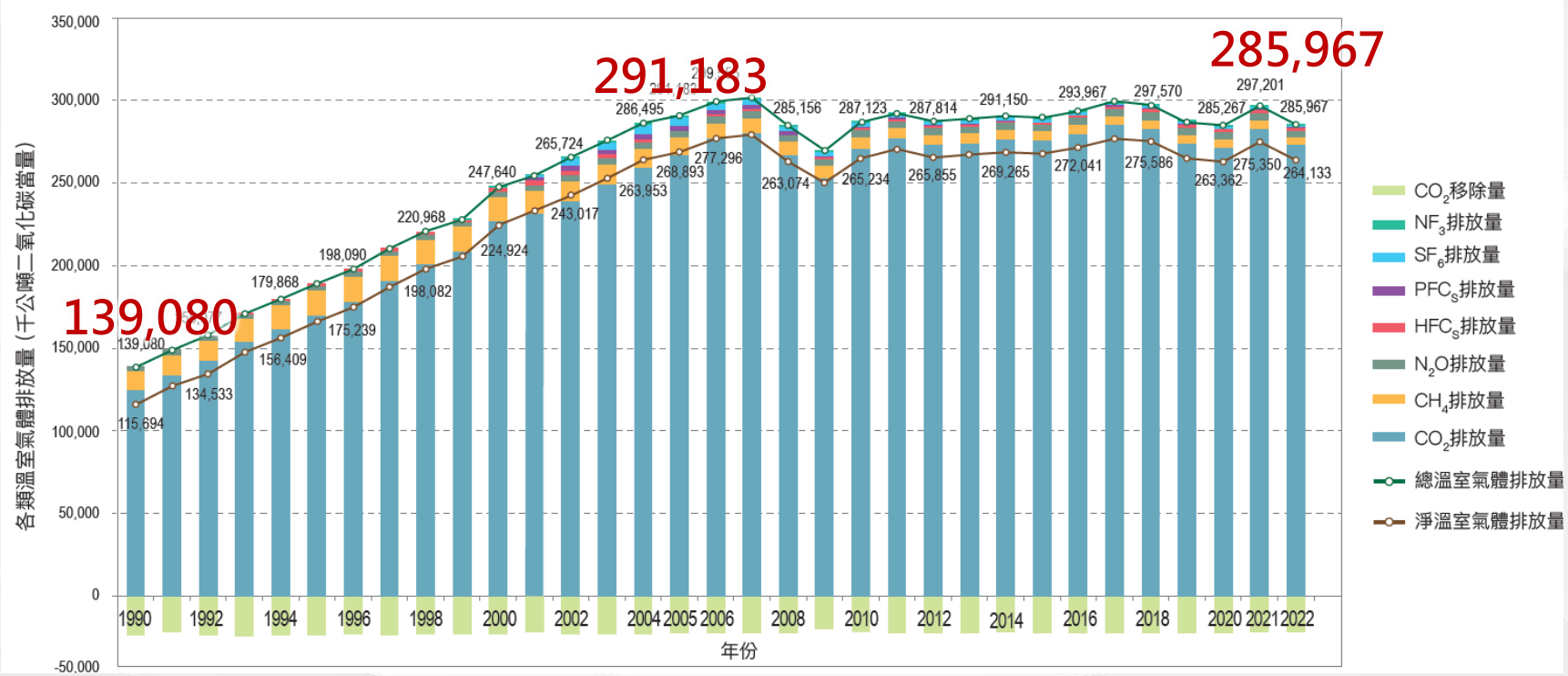
資料來源: www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-could-peak-as-soon-as-2023-iea-data-reveals/ (2023)

2022年臺灣總溫室氣體排放量和移除量趨勢 (總排放近3億公噸)

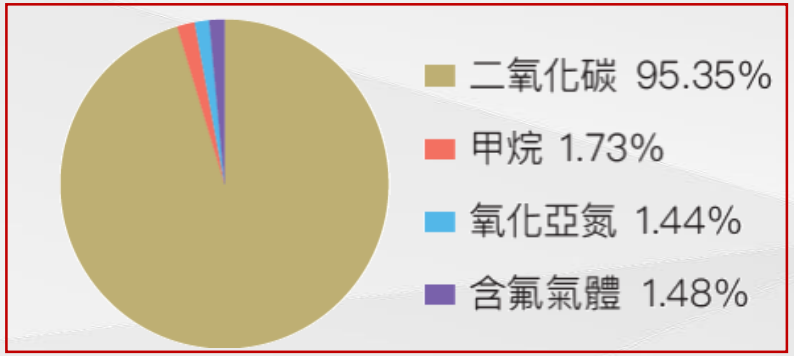
總溫室氣體排放量2022年為285,967千公噸二氧化碳當量，較2005年減少1.79%，年平均負成長率為0.11%。
淨溫室氣體排放量2022年為264,133千公噸二氧化碳當量，較2005年減少1.77% ，年平均負成長率為0.11%。

2022年總溫室氣體排放量285,967千公噸二氧化碳當量
2022年臺灣人口數23,264,640位

= 12.3公噸二氧化碳當量/人 (世界平均6.6公噸/人)



1990年至2022年總溫室氣體排放量和移除量趨勢



資料來源: 2024年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告

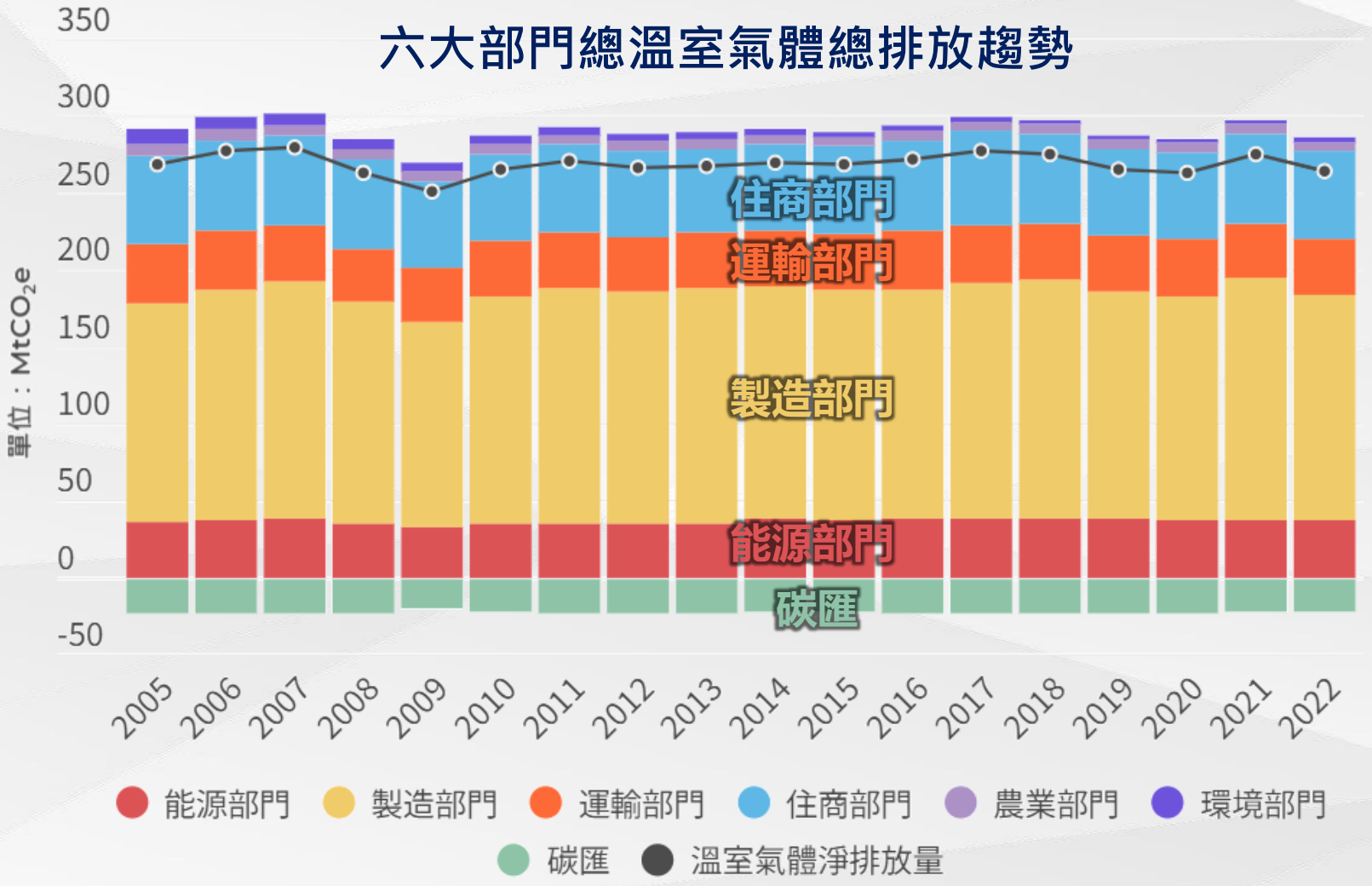
臺灣溫室氣體排放以製造業為大宗

- 在整體的溫室氣體排放中，**製造部門排放占比最高**，約占總體排放量51.37%。

2022年碳排放量:

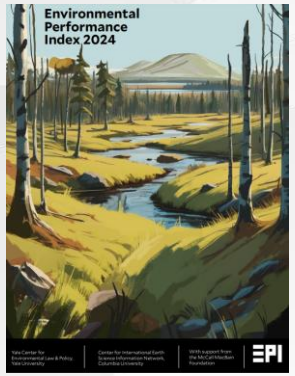
- 製造: 146.894 $MtCO_2e$
- 住商: 56.818 $MtCO_2e$
- 能源: 37.175 $MtCO_2e$
- 運輸: 36.282 $MtCO_2e$
- 農業: 6.168 $MtCO_2e$
- 環境: 2.700 $MtCO_2e$

依氣候變遷因應法第11條規定，國家減量責任係由能源、製造、運輸、住商、農業及環境等六大部門共同承擔。



資料來源: www.cca.gov.tw/climatetalks/emission-and-reduction/national/1867.html(2024)
「國家溫室氣體排放清冊報告（2024年版）」

臺灣環境績效指數表現排名 (全球：60/180) (亞洲：4/25)



- 2024年環境績效指數 (EPI) 提供全球永續發展狀況的數據驅動總結。
- EPI 使用 11 個類別及 58 個績效指標，對 180 個國家的氣候變遷、環境健康和生態系統進行排名。

2024 年 180 個國家的 EPI 排名、分數和地區排名 (REG)

RANK	COUNTRY	SCORE	REG
1	Estonia	75.7	1
2	Luxembourg	75.1	1
3	Germany	74.5	2
4	Finland	73.8	3
5	United Kingdom	72.6	4
6	Sweden	70.3	5
7	Norway	69.9	6
8	Austria	68.9	7
9	Switzerland	67.8	8
10	Denmark	67.7	9
55	Ecuador	51.3	12
55	Oman	51.3	2
57	Saint Lucia	51.1	13
58	South Korea	50.6	3
59	North Macedonia	50.3	15
60	Taiwan	50.1	4
61	Timor-Leste	49.9	5
62	Serbia	49.8	16
63	Colombia	49.7	14
64	Chile	49.6	15
65	Dominica	49.3	16
171	Afghanistan	31.0	5
172	Iraq	30.3	16
173	Madagascar	30.1	45
174	Eritrea	29.0	46
175	Bangladesh	28.1	6
176	India	27.6	7
177	Myanmar	27.1	23
178	Laos	26.3	24
179	Pakistan	25.5	8
180	Viet Nam	24.6	25

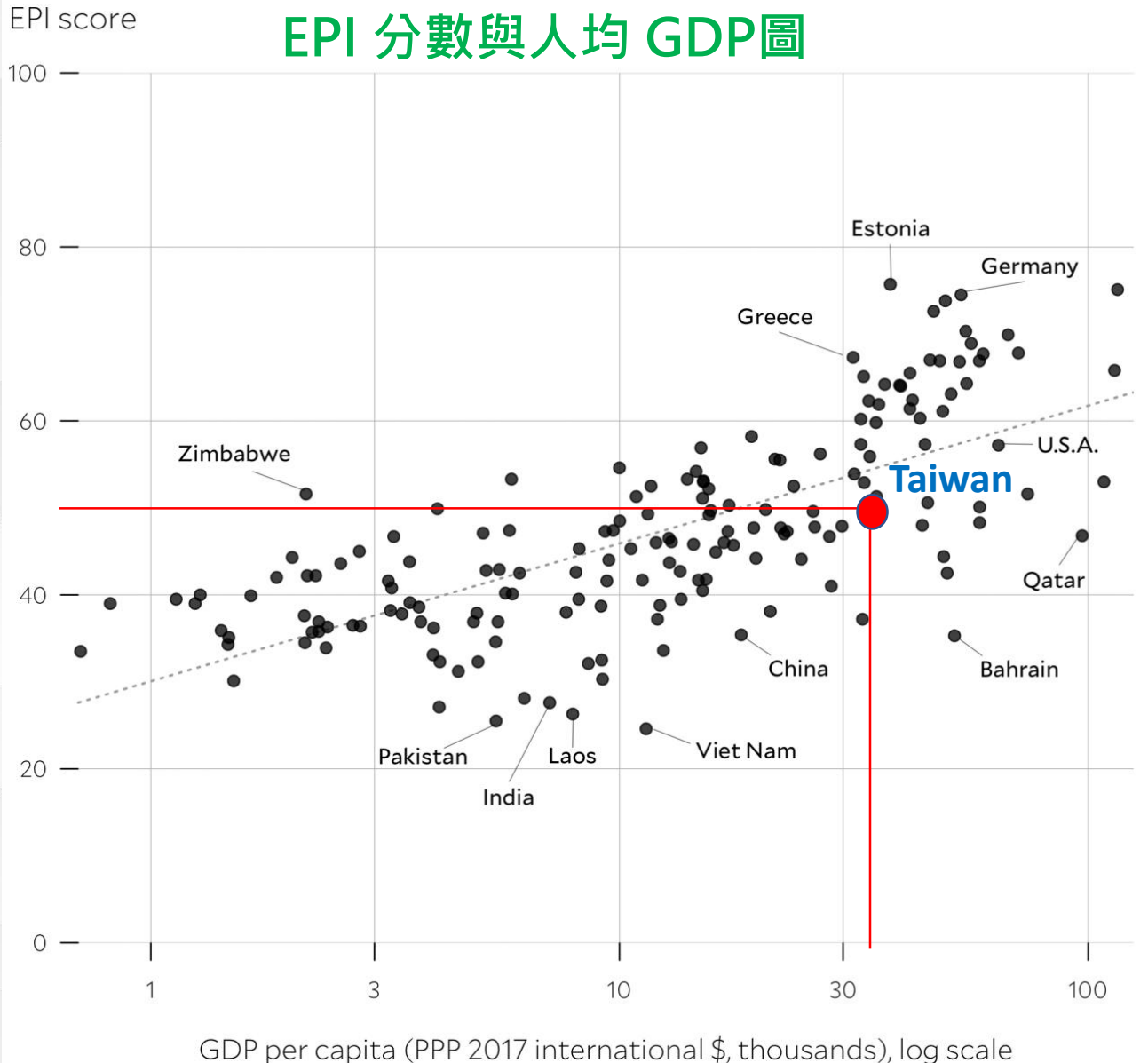
Asia-Pacific		
Country	Score	Rank
Japan	61.4	1
Singapore	53.0	2
South Korea	50.6	3
Taiwan	50.1	4
Timor-Leste	49.9	5
Brunei Darussalam	48.3	6
Samoa	47.1	7
Fiji	46.0	8
Thailand	45.7	9
Vanuatu	45.0	10

Asia-Pacific
Eastern Europe
Former Soviet States
Global West
Greater Middle East
Latin America & Caribbean
Southern Asia
Sub-Saharan Africa

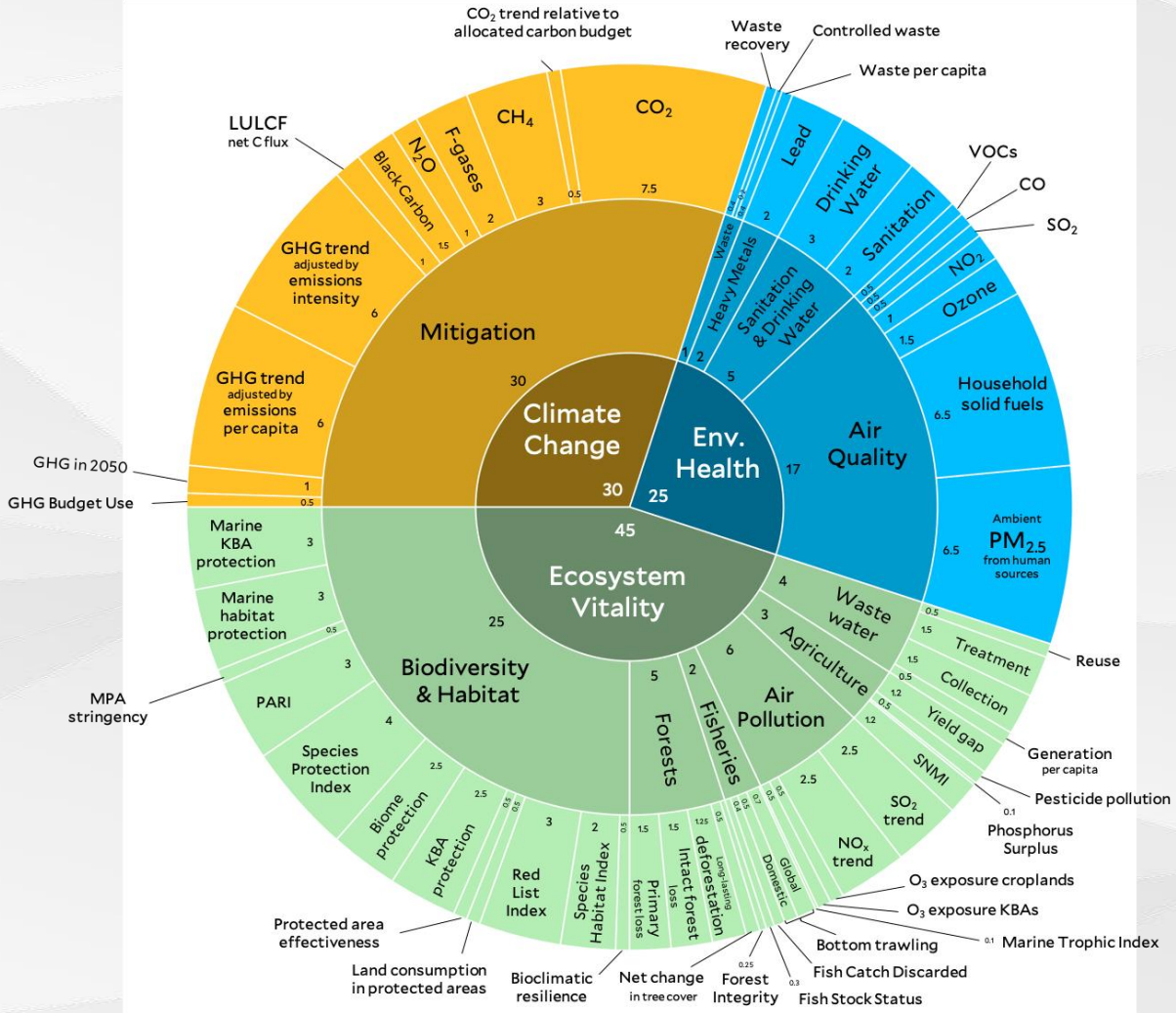
資料來源: epi.yale.edu(2025)

臺灣環境績效指數表現排名 (全球：60/180) (亞洲：4/25)

EPI 分數與人均 GDP圖



2024 年 EPI 架構



資料來源: epi.yale.edu(2025)

臺灣在環境健康、氣候變遷和生態系統的全球及亞洲排名

環境健康面向

全球:第71名，亞洲:第11名

Asia-Pacific		
Country	Score	Rank
Brunei Darussalam	71.0	1
Japan	67.3	2
Singapore	66.0	3
Tonga	58.4	4
South Korea	58.0	5
Samoa	57.8	6
Micronesia	56.8	7
Fiji	55.9	8
Marshall Islands	55.6	9
Solomon Islands	50.8	10
Taiwan	49.9	11
Vanuatu	49.5	12
Kiribati	46.4	13
Malaysia	45.8	14
Papua New Guinea	37.2	15

氣候變遷面向

全球:第49名，亞洲:第7名

Asia-Pacific		
Country	Score	Rank
Timor-Leste	65.2	1
Japan	59.7	2
Vanuatu	53.7	3
Solomon Islands	52.8	4
Samoa	51.3	5
Fiji	51.1	6
Taiwan	48.4	7
South Korea	47.0	8
Thailand	46.0	9
Micronesia	44.4	10
Singapore	41.2	11
Marshall Islands	41.0	12
Kiribati	40.9	13
Malaysia	39.9	14
China	39.8	15

生態系統面向

全球:第79名，亞洲:第4名

Asia-Pacific		
Country	Score	Rank
Japan	59.2	1
Mongolia	55.2	2
Singapore	53.8	3
Taiwan	51.5	4
Thailand	51.3	5
South Korea	48.8	6
Brunei Darussalam	48.3	7
Timor-Leste	47.9	8
Kiribati	45.6	9
Cambodia	44.7	10
Laos	40.5	11
Indonesia	38.9	12
Malaysia	38.9	12
Samoa	37.7	14
Fiji	37.2	15

資料來源: epi.yale.edu(2025)

高等教育及工程師都需要落實永續 (聯合國17項永續發展目標 SDGs)

中國工程師學會
Chinese Institute of Engineers
工程永續 百年彌堅

2022年 簽訂合作協議 暨 8月8日
共同發表永續發展宣言

IEET
中華工程教育學會
Institute of Engineering Education Taiwan

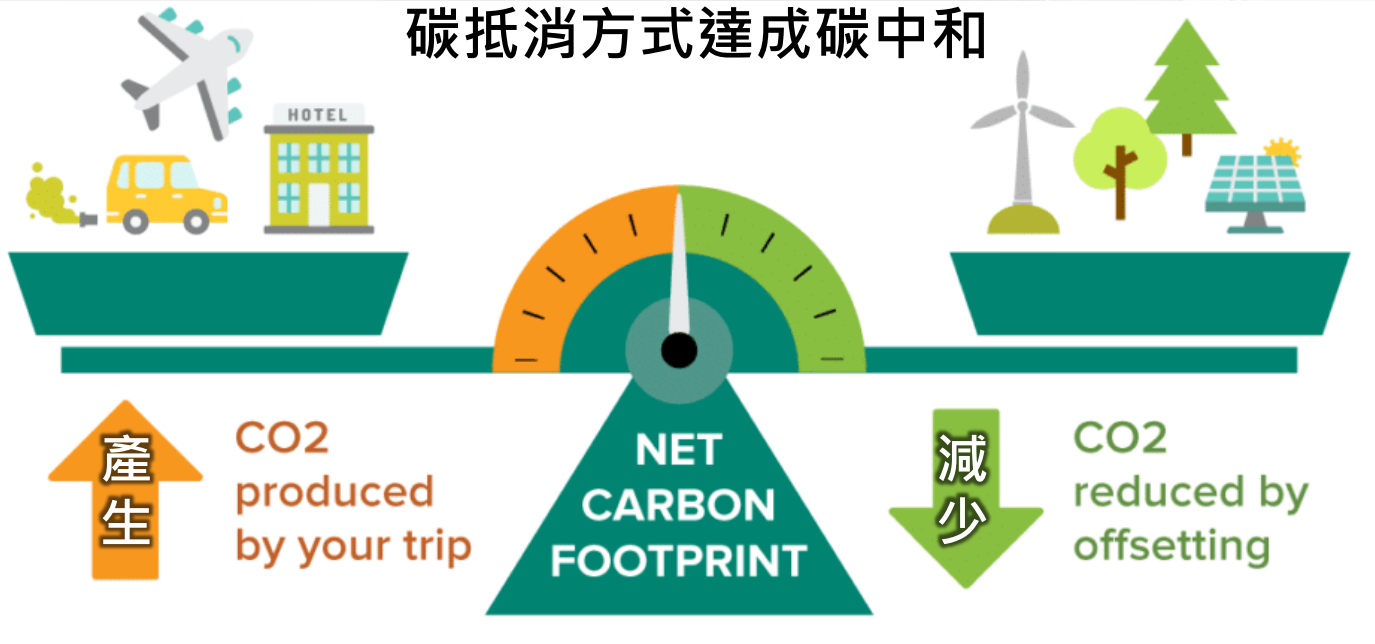
2

如何邁向淨零排放

淨零排放是什麼

淨零排放(net zero emissions)

- 聯合國政府間氣候變化專門委員會(IPCC)定義淨零排放(Net Zero)是在特定一段時間，全球人為造成溫室氣體排放量，扣除人為移除的量等於零。
- 國際能源署報告表示，2050年可以實現淨零排放，但這需要一些重大改變，能源系統將需要徹底轉型。



資料來源: Energy Tracker ASIA

什麼是碳足跡(carbon footprint)

碳足跡=**產品**或**服務**在整個生命週期過程所產生的溫室氣體排放量總和，以CO_2當量表示（ISO 14067:2018）

產品的一生：生命週期

原料階段	製造階段	配送銷售階段	使用階段	廢棄處理階段(回收/處置)
CO_2e	CO_2e	CO_2e	CO_2e	CO_2e

案例

紙尿褲的組成？

不織布	0.3
吸水高分子	2.3
紙漿	1.2
熱熔膠	0.2

4kg CO_2e

＋

製造時會使用到什麼？

電力	0.3
水	0.2
柴油	0.1

0.6kg CO_2e

＋

紙尿褲送到經銷商

運輸	0.03

0.03kg CO_2e

＋

小寶寶穿紙尿褲

0kg CO_2e

＋

使用後的紙尿褲/包裝之處理

廢棄紙尿褲(焚化)	0.9
包裝(焚化)	0.2

1.1kg CO_2e

＝ **5.73** kg CO_2e/包(50片)

紙尿褲L號

資料來源:經濟部產發署產業節能減碳資訊網ghg.tgpf.org.tw

碳足跡計算原理

$\sum$ 使用項目 **活動數據** × **排放係數** = **碳足跡**

生產產品的投入與產出項目

排放的二氧化碳當量
(CO_2e; carbon dioxide equivalent)

案例

$\sum$

名稱	每單位數量	單位
鋼胚	1.03	噸
抑制劑	0.0000053	噸
天然氣	0.052	千度
台電電力	0.108	千度
燃料油	0.01	噸

×

名稱	數值 (噸 CO2e/單位)	單位
鋼	0.677	噸
抑制劑	2.09	噸
天然氣	2.56	千度
電	0.601	千度
燃料油	3.891	噸

=

碳足跡
0.697
0.000
0.133
0.065
0.039

0.934 噸CO_2e /噸 熱軋H型鋼

資料來源:經濟部產發署產業節能減碳資訊網ghg.tgpf.org.tw

碳足跡(carbon footprint)

一杯（250毫升）牛奶碳足跡相當於：

- ✓ 0.8 kg CO_2e
- ✓ 行駛3.8公里
- ✓ 0.77 m^3 CO_2

牛奶	(250ml)	0.8 公斤二氧化碳當量
咖啡	(15ml)	0.4 公斤二氧化碳當量
米漿	(250ml)	0.3 公斤二氧化碳當量
啤酒	(355ml)	0.25 公斤二氧化碳當量
豆漿	(250ml)	0.25 公斤二氧化碳當量
燕麥奶	(250ml)	0.22 公斤二氧化碳當量
杏仁奶	(250ml)	0.18 公斤二氧化碳當量
可樂	(330ml)	0.17 公斤二氧化碳當量
紅酒	(150ml)	0.13 公斤二氧化碳當量

乳製品在全球碳排放量達3%，甚至超過航空業
比爾蓋茲投資「低碳奶」對抗氣候變遷

圖片來源：ESG遠見

Apple MacBook Pro 16
One Apple MacBook Pro 16 is equivalent to 394kg CO2e, or 2000.2km of driving.
394 kg CO2e

Apple iPad Pro
One iPad Pro is equivalent to 119kg CO2e, or 604.1km of driving.
119 kg CO2e

Apple iPhone
One iPhone is equivalent to 72kg CO2e, or 365.5km of driving.
72 kg CO2e

製造約占80%

汽車(10km)

BMW X5 M50i 2020
10km of driving is equivalent to 3.72kg CO2e.
3.72 kg CO2e

Toyota RAV4 AWD 2020
10km of driving is equivalent to 2.31kg CO2e.
2.31 kg CO2e

VW Golf 2020
10km of driving is equivalent to 2.09kg CO2e.
2.09 kg CO2e

Tesla Model 3 2020
10km of driving (using avg USA grid for charging) is equivalent to 0.81kg CO2e.
0.81 kg CO2e

建築(住宅)碳足跡 (建造+使用60年):
大約 500+1500=2000 kg CO2e/m^2

資料來源: www.co2everything.com/categories(2024)

如何計算碳排量?

溫室氣體排放量 = 活動數據 × 溫室氣體排放係數 × GWP

案例

A公司110年度鍋爐煤炭耗用量50,000公噸，溫室氣體排放量為何？

燃燒煤炭產生二氧化碳、甲烷、氧化亞氮排放

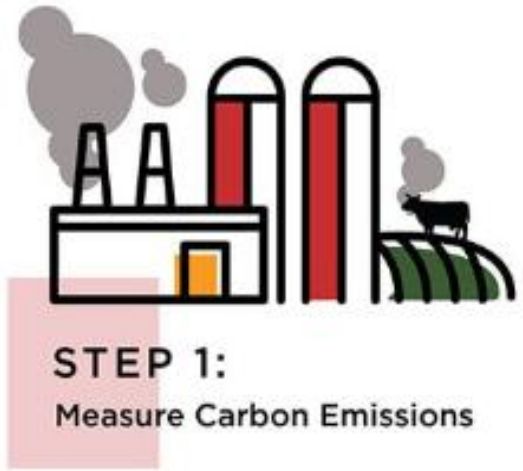
CO_2排放當量 12,405.0000	=	50,000 ton	×	2.408100 tonCO_2/ton	×	1
+						
CH_4排放當量 34.8750	=	50,000 ton	×	0.000025 tonCH_4/ton	×	27.9
+						
N_2O排放當量 518.7000	=	50,000 ton	×	0.000038 tonN_2O/ton	×	273

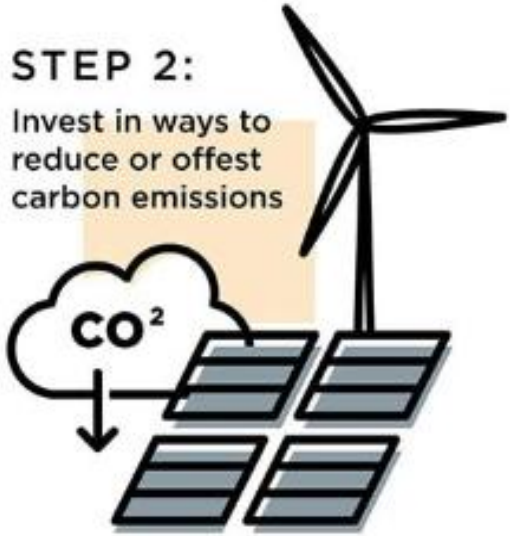
總排放當量 120,959 tonCO_2e

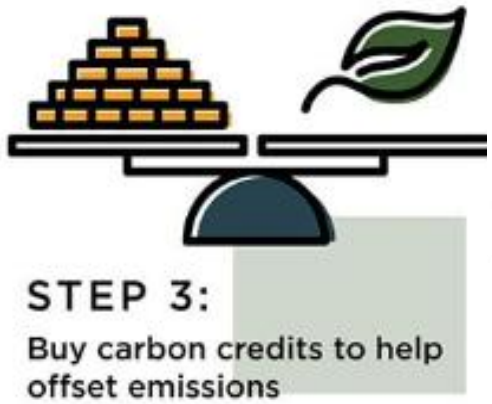
資料來源:經濟部產發署產業節能減碳資訊網ghg.tgpf.org.tw

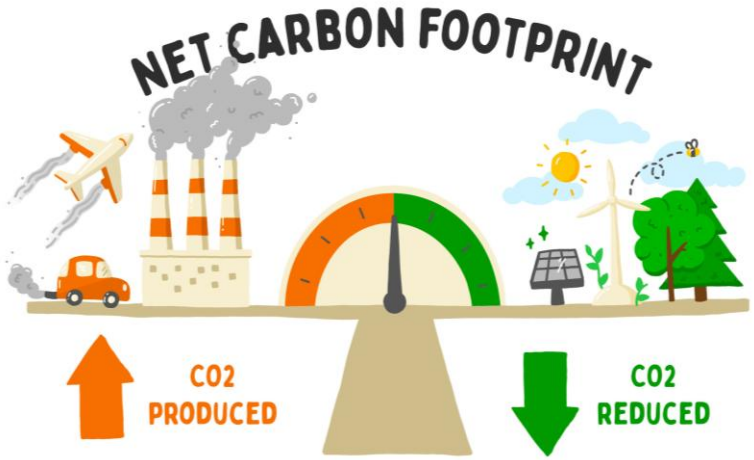
如何完成碳中和

碳中和(Carbon Neutral)









盤查

計算碳排放量

- ISO14064-1組織碳盤查
- ISO14067 產品/活動碳足跡

減量

落實減碳措施

- 設備汰換
- 製程改善
- 使用綠電

抵換

購買減量額度(碳權)抵換剩餘碳排放量

碳中和

二氧化碳排放量與再生能源等方式所累積的減碳量相互抵換

資料來源: justcook.butcherbox.com/understanding-our-carbon-footprint-making-a-carbon-neutral-claim/(2021)

碳管理國際標準及其應用

碳盤查

組織溫室氣體盤查
如:營運總部或工廠

產品碳足跡
如:商品、服務

	ISO 14064-1:2018 組織溫室氣體盤查	ISO14067：2018 產品碳足跡
範疇一	類別1:直接溫室氣體排放和移除	評估產品/服務在生命週期各階段(生產、使用至最終處理階段)的溫室氣體排放和移除量。
範疇二	類別2:輸入能源的間接溫室氣體排放	
範疇三	類別3:間接溫室氣體排放(運輸)	
	類別4:組織使用產品的排放(上游)	
	類別5:使用組織產品的排放(下游)	
	類別6:其他來源(前述未包含部分)	

公司該年度
所有產品/服務的總排放量

單一產品/服務
生命週期碳排放量

碳管理國際標準及其應用

碳管理及減量

碳管理標準
針對企業及專案

循環經濟標準
針對企業及專案

PAS2080:2023 建築與基礎建設碳管理標準	BS8001 : 2017 循環經濟標準
為工程減碳管理的標準,對於整體企業碳管理方式,針對上游、下游進行碳管理之管控。相關標準發布後,未來可透過PAS2080之執行架構,建立不同工程類別之價值鏈的碳管控模式。	有鑑於地球資源有限,循環經濟概念在近年來逐漸被受到重視,亦有越來越多的企業尋求替代方案(循環經濟),循環經濟標準透過資源利用的改善,協助企業進行整體改造,除材料循環也包含外部效益及創新。

整體企業、工程全命週期碳管理方式

整體企業循環經濟的執行方式

溫室氣體盤查涵蓋範圍 (ISO 14064-1)

依據ISO/CNS 14064-1溫室氣體盤查涵蓋範圍可分為 **三個範疇 六個類別**

- **範疇一，事業直接排放的溫室氣體。**例如工廠直接碳排、製造過程使用甲烷等氣體等。
- **範疇二，能源的間接排放源。**主要指的是輸入電力、熱或蒸汽而造成間接排放溫室氣體。
- **範疇三，其他間接排放源。**由組織活動產生的溫室氣體排放。

上游

類別3 (運輸)
- 原料運輸
- 員工通勤
- 客戶拜訪
- 商務行程

類別4 (使用產品)
- 購買原料排放
- 購買/租賃設備排放
- 廢棄物委外處理
- …

類別6
- 其他

範疇三

事業

類別1(直接溫室氣體排放) **範疇一**
- 固定式燃燒排放源(鍋爐、加熱爐…)
- 移動式燃燒排放源(公務車、堆高機…)
- 製程排放
- 逸散源(廢棄物掩埋、滅火器、冷氣…)

類別2 (能源間接溫室氣體排放)
- 外購電力
- 外購蒸氣
- 外購冷/熱能
- …

範疇二

下游

類別3 (運輸)
- 產品運送
- 員工通勤
- 客戶拜訪
- 商務行程

類別5 (產品被使用)
- 產品使用排放
- 產品壽命終止階段排放
- 下游租賃資產排放
- …

類別6
- 其他

範疇三

在報告邊界內之排放源，依據不同類別加以鑑別、區分

範疇(Scope)	類別(Category)	ISO/CNS14064-1 定義
範疇1	類別1	直接溫室氣體：排放與移除
範疇2	類別2	間接溫室氣體：輸入能源排放
範疇3	類別3	間接溫室氣體：運輸所造成的排放
	類別4	間接溫室氣體：使用產品所造成的排放
	類別5	間接溫室氣體：生產產品被使用所產生的排放
	類別6	間接溫室氣體：其他排放

環境部/金管會盤查涵蓋範疇

資料來源: 【淨零政策資訊懶人包】環境部與金管會減碳政策、組織型溫室氣體盤查

溫室氣體盤查涵蓋範圍-國產建材實業範例

■ 針對總公司、台南分公司、營運生產之29個預拌廠區，進行範疇一（類別一）、範疇二（類別二）及範疇三（類別三～類別六）的溫室氣體排放盤查，並順利取得 ISO 14064-1: 2018 溫室氣體查證聲明書。

國產近 2 年溫室氣體排放量及溫室氣體排放強度

單位：公噸 CO_2e

總排放量		2022 年	2023 年
範疇一	類別 1：直接 GHG 排放量	11,602.2644 0.86%	10,156.2165 0.79%
範疇二	類別 2：進口能源產生的間接 GHG 排放量	9,699.0425 0.72%	9,094.4340 0.70%
範疇三	類別 3.1：上游運輸及配送產生的排放量	74,183.6224 5.49%	72,112.1602 5.59%
	類別 4.1：採購商品與服務產生的排放量	1,255,507.3144 92.92%	1,199,394.0811 92.91%
	類別 4.3：營運產生之廢棄物處理產生的排放量	139.6696 0.01%	116.1225 0.01%
總溫室氣體排放量		1,351,131.9133	1,290,873.0144
營業額（仟元）		16,984,058	17,870,020
溫室氣體排放強度（公噸 CO_2e/ 仟元營收）		0.0796	0.0722

「範疇三」是企業實現淨零排放的關鍵

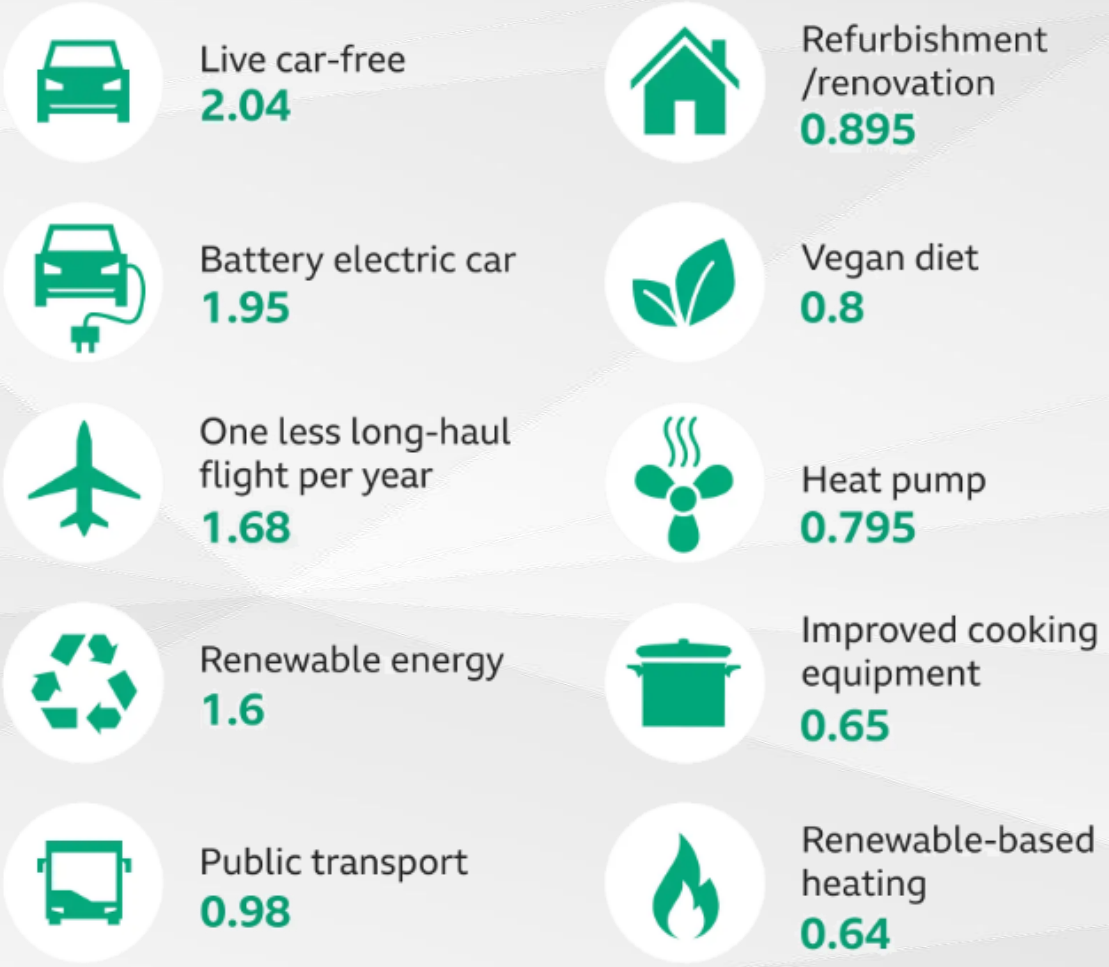
價值鏈排放的涵蓋範圍廣，數據收集與管理困難

資料來源: 國產建材實業2023年永續報告書

減少碳足跡的十大方法

減少碳足跡的最佳選擇
每人每年將減少約 9 噸 (英國人年均約10噸)
二氧化碳當量

1. 無車生活
2. 駕駛電動車
3. 每年減少一次長途飛行
4. 購買再生能源
5. 使用公共交通
6. 房屋做好隔熱
7. 純素飲食
8. 使用熱泵
9. 改善烹飪設備
10. 可再生能源供暖



Source: Centre for Research into Energy Demand Solutions BBC

資料來源: www.bbc.com/news/science-environment-52719662(2020)

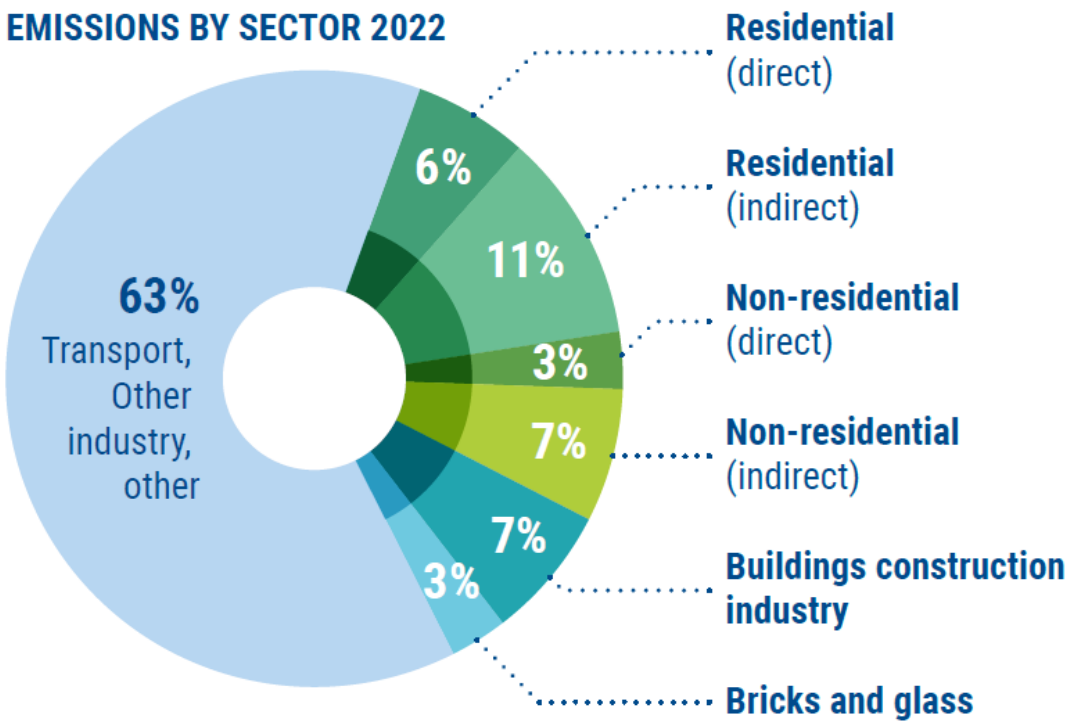
3

營建產業碳排現況與減碳發展

2022年全球建築業仍是主要能源消耗者

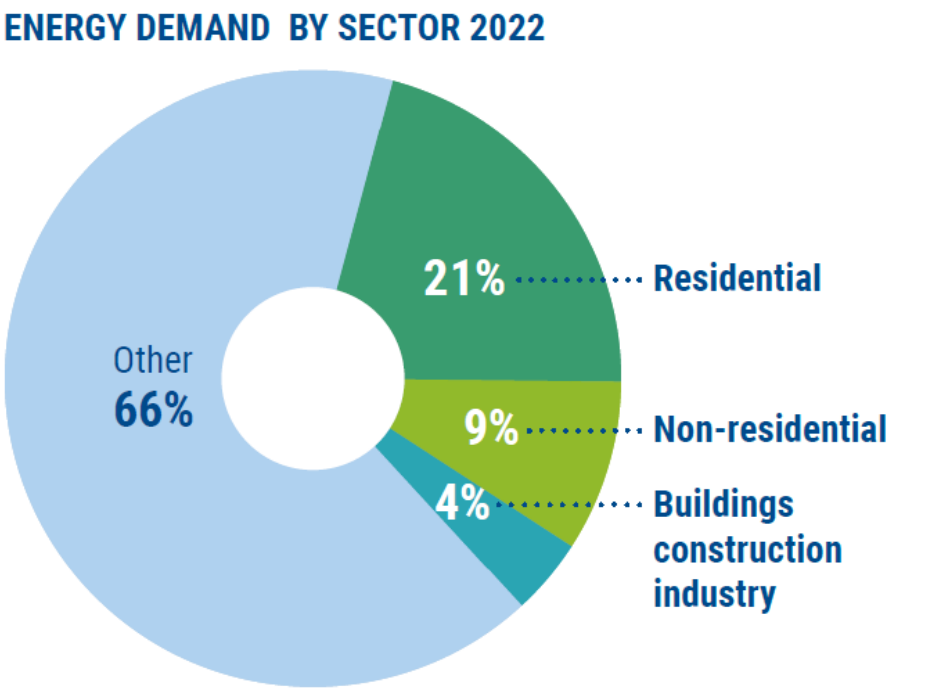
■ 聯合國環境署報告顯示，建築產業仍然偏離 2050 年實現淨零排放的軌道。

建築運營和施工產生的碳放量佔全球37%



建築新建及營運碳排放比例

建築用電、建材生產施工佔全球能源34%



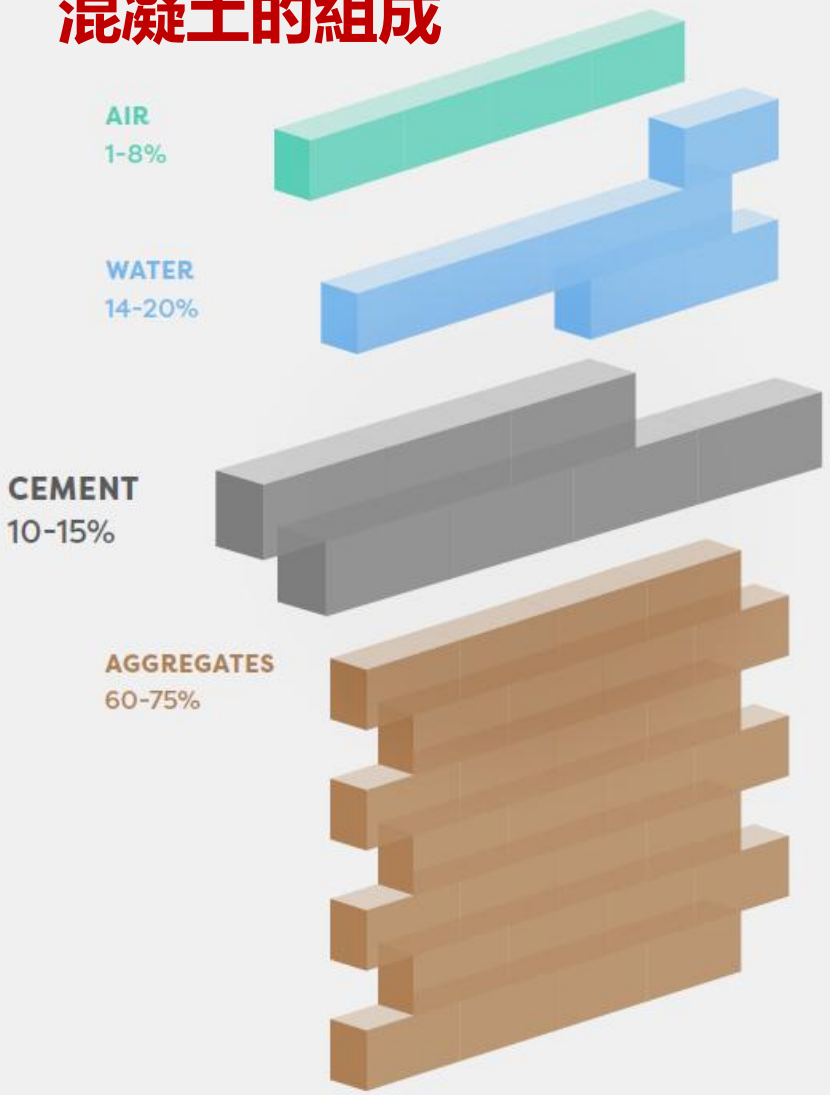
建築能源消耗量比例

(Source: IEA 2023a. Adapted from 'Tracking Clean Energy Progress')

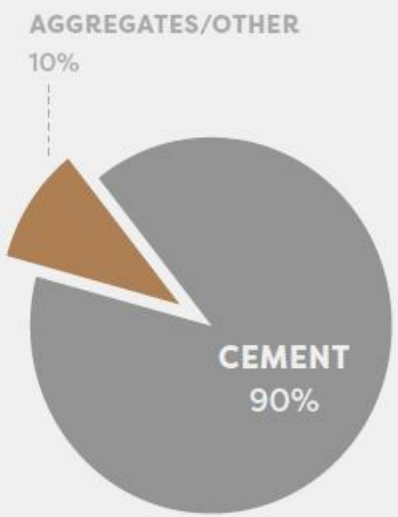
資料來源:聯合國環境規劃署(UNEP)
Global Status Report for Buildings and Construction(2024)

水泥是全球二氧化碳排放的主要來源

混凝土的組成

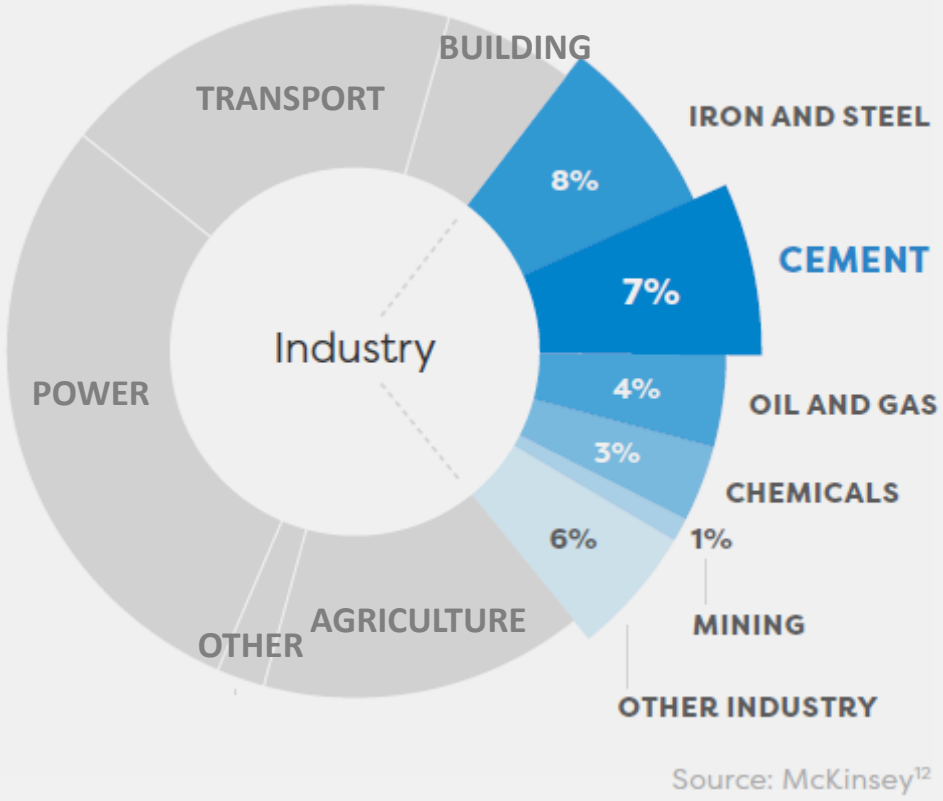


- 水泥生產是全球二氧化碳排放的主要來源，約佔總量7%
- 如果水泥工業是一個國家，它將是世界第3大排放國



混凝土的碳排放

Emissions from concrete are 90% from cement and 10% from aggregates and other inputs as well as quarrying, transport, and preparation of raw materials.

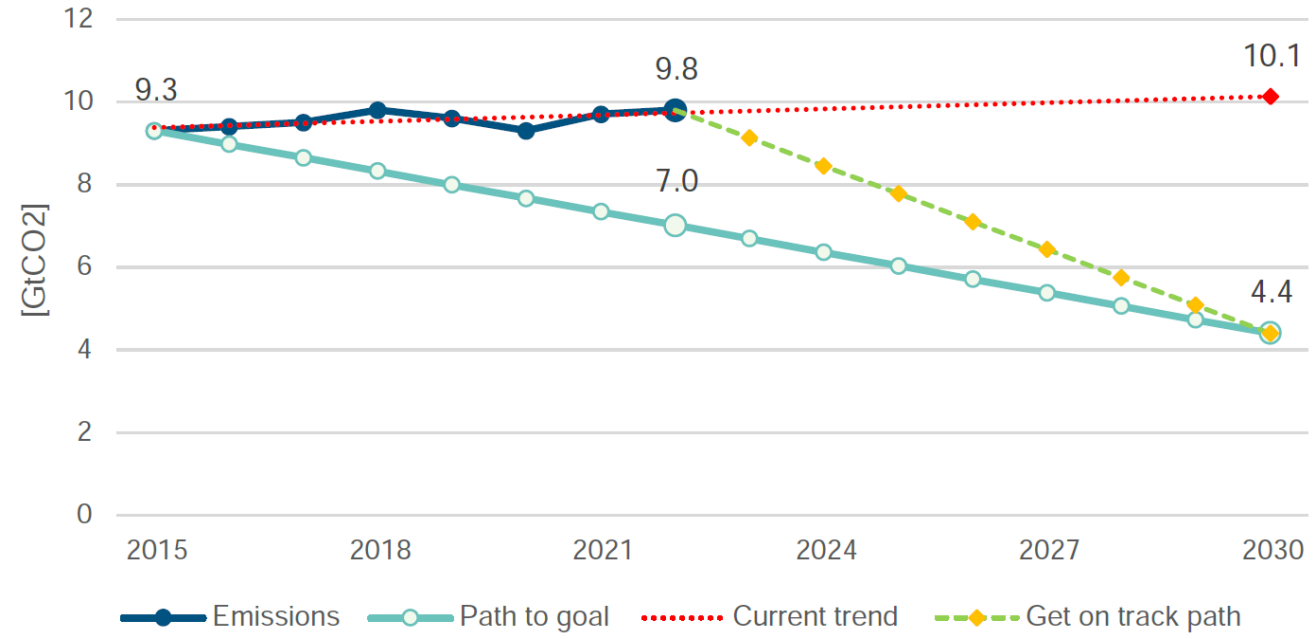


生產水泥佔全球二氧化碳排放量的比例

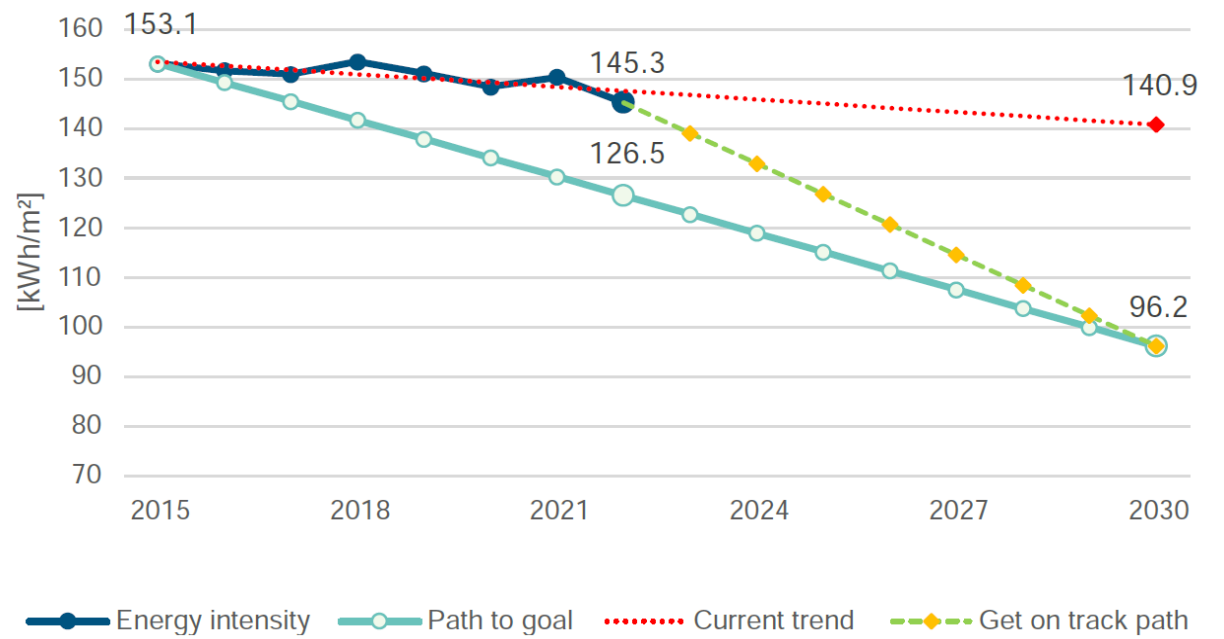
資料來源: Paving the Way for Low-Carbon Concrete(2020)& McKinsey

全球建築產業脫離節能減碳的目標路徑

- 2022年建築營運的碳排放量達9.8 $GtCO_{2e}$/年，距離2030年目標(4.4 $GtCO_{2e}$/年)仍有一大段距離若要步入正軌碳排放量應在2030年前平均每年減少約10%。
- 2022年建築能耗強度較2021年下降約3%，達145.3kW · h/m^2 / yr(每年每平方公尺樓地板面積能耗145.3度)，距離2030年目標(96.2 $GtCO_{2e}$/年)仍有一大段距離，若要步入正軌到2030年能源強度應每年降低 5% 左右。



建築碳排放的現況與目標路徑

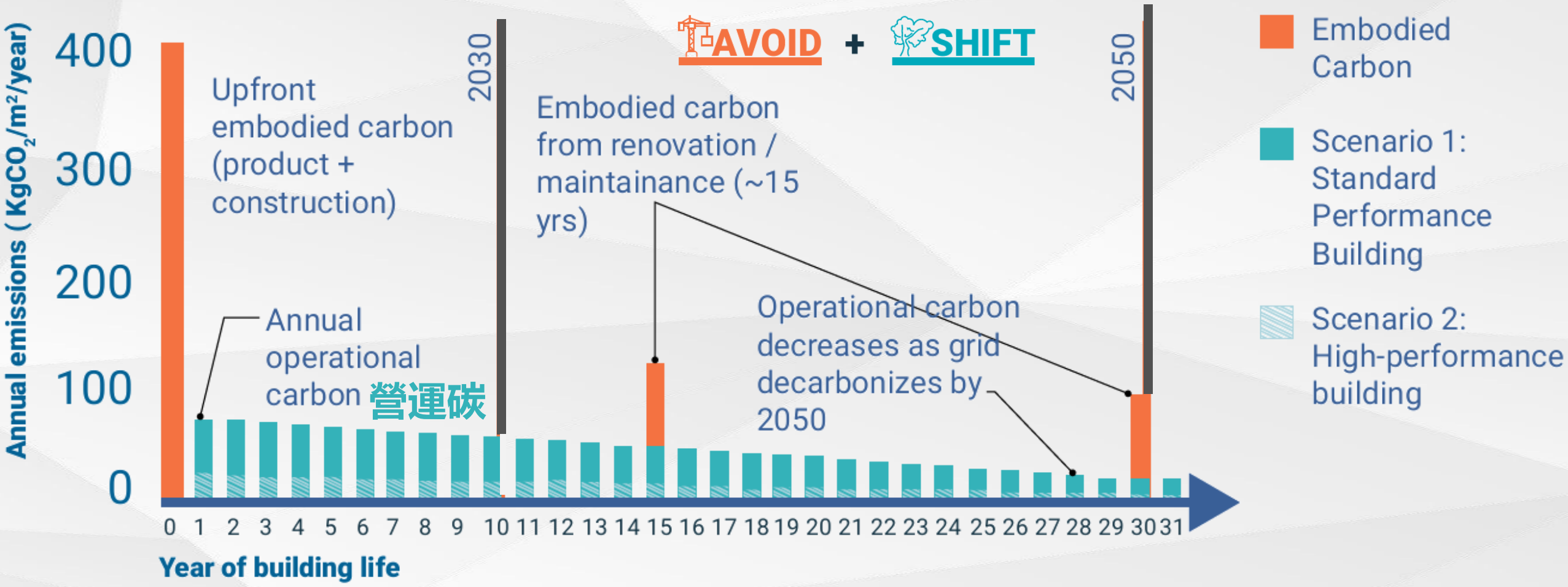


建築業能源強度的現況與目標路徑

資料來源:聯合國環境規劃署(UNEP)
Global Status Report for Buildings and Construction(2024)

蘊含碳 (Embodied Carbon, EC)、營運碳(Operation Carbon, OC)

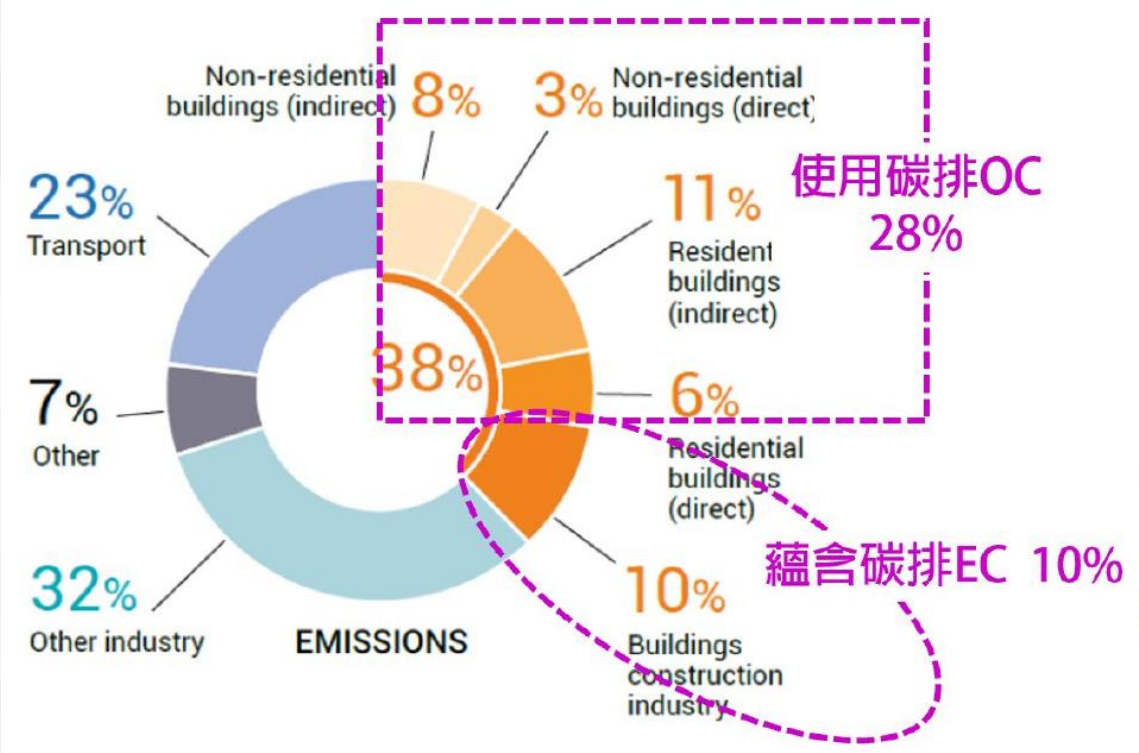
建築物生命週期蘊含碳及營運碳的分配情形

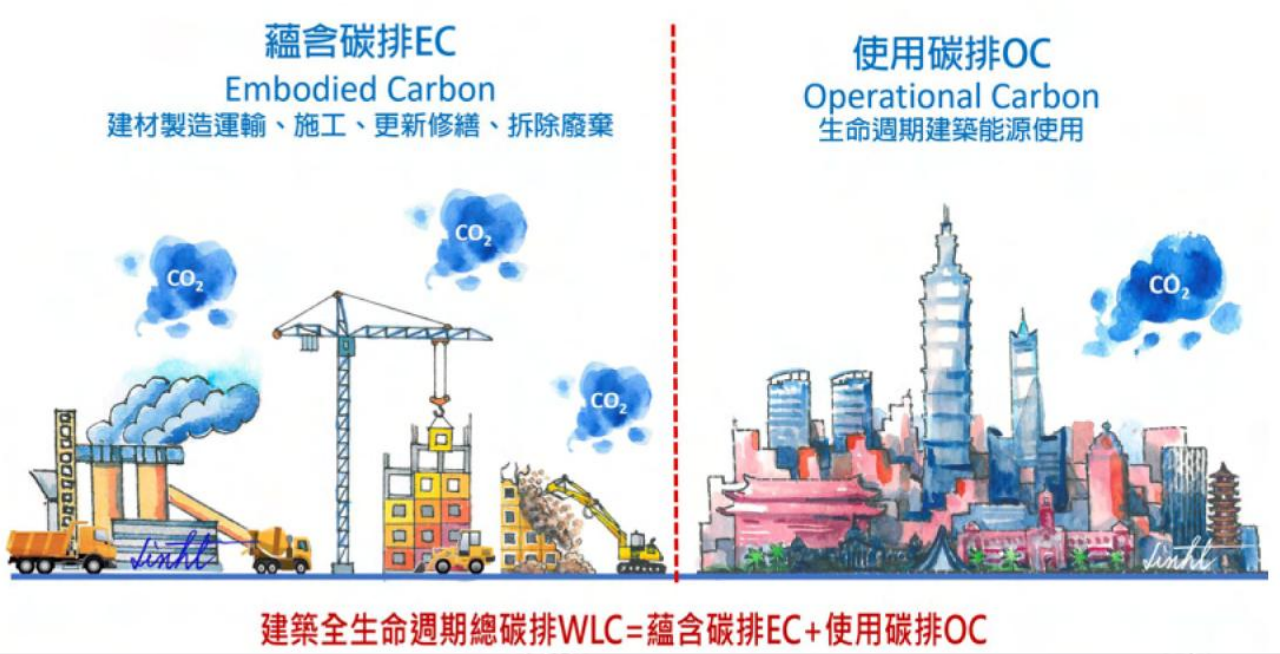


資料來源:GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION(2022)

全球建築物使用碳排OC與蘊含碳排EC情形

- IEA的「2050淨零路徑報告書」揭露全球建築營建部門的能源消耗與溫室氣體排放約佔全球35~38%。
- 在38%的溫室氣體排放比例中有28%是建築能源使用部分的溫室氣體排放，另有10%是鋼筋 、水泥、玻璃等建材的製造運輸與施工的溫室氣體排放。





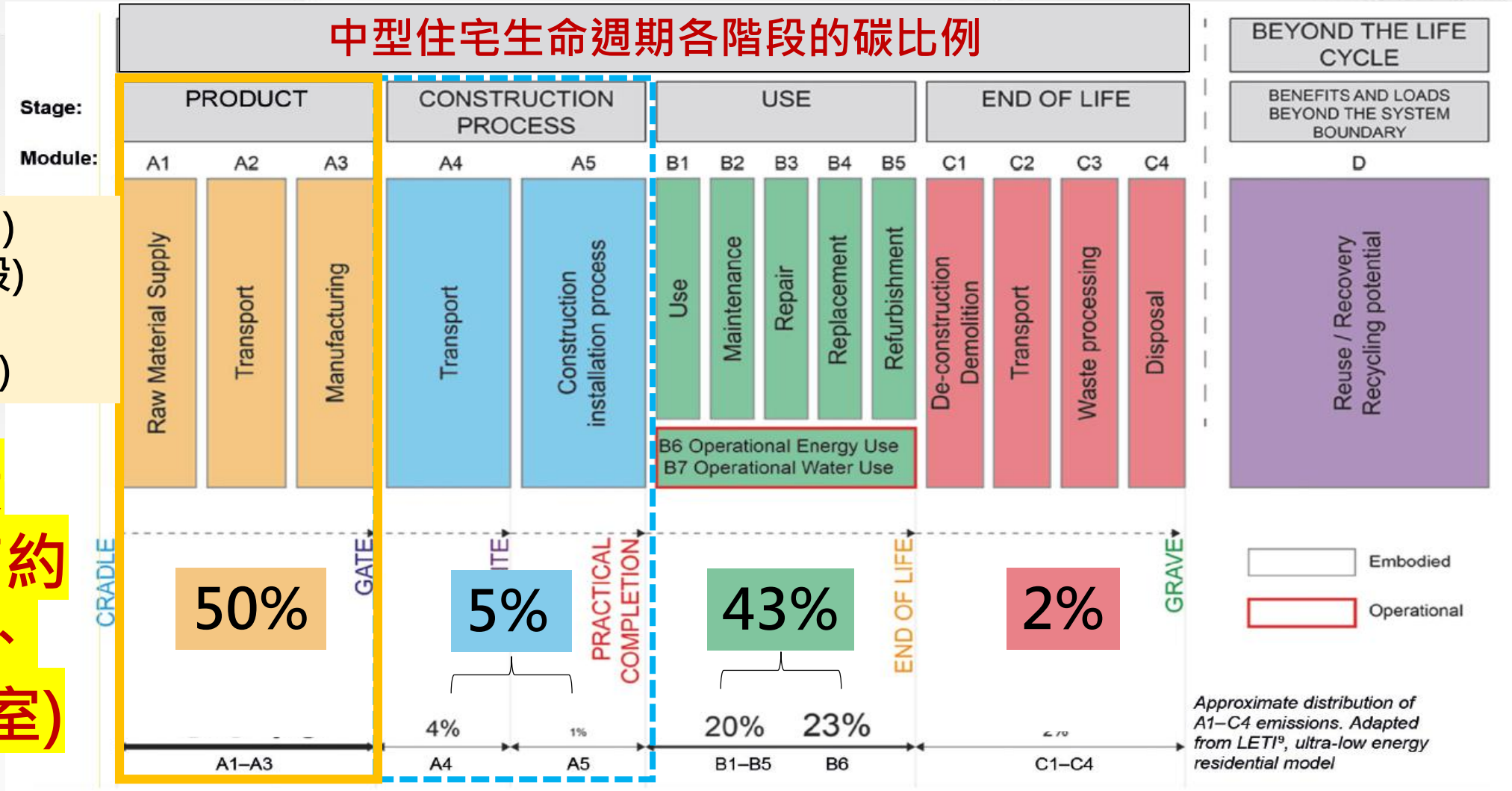
資料來源: 2023年低碳(低蘊含炭)建築評估手冊

建築生命週期各階段的碳排放比例

新建築在建材的原料、運輸、製造階段，到建造過程的運輸和施工，占生命週期一半的碳足跡

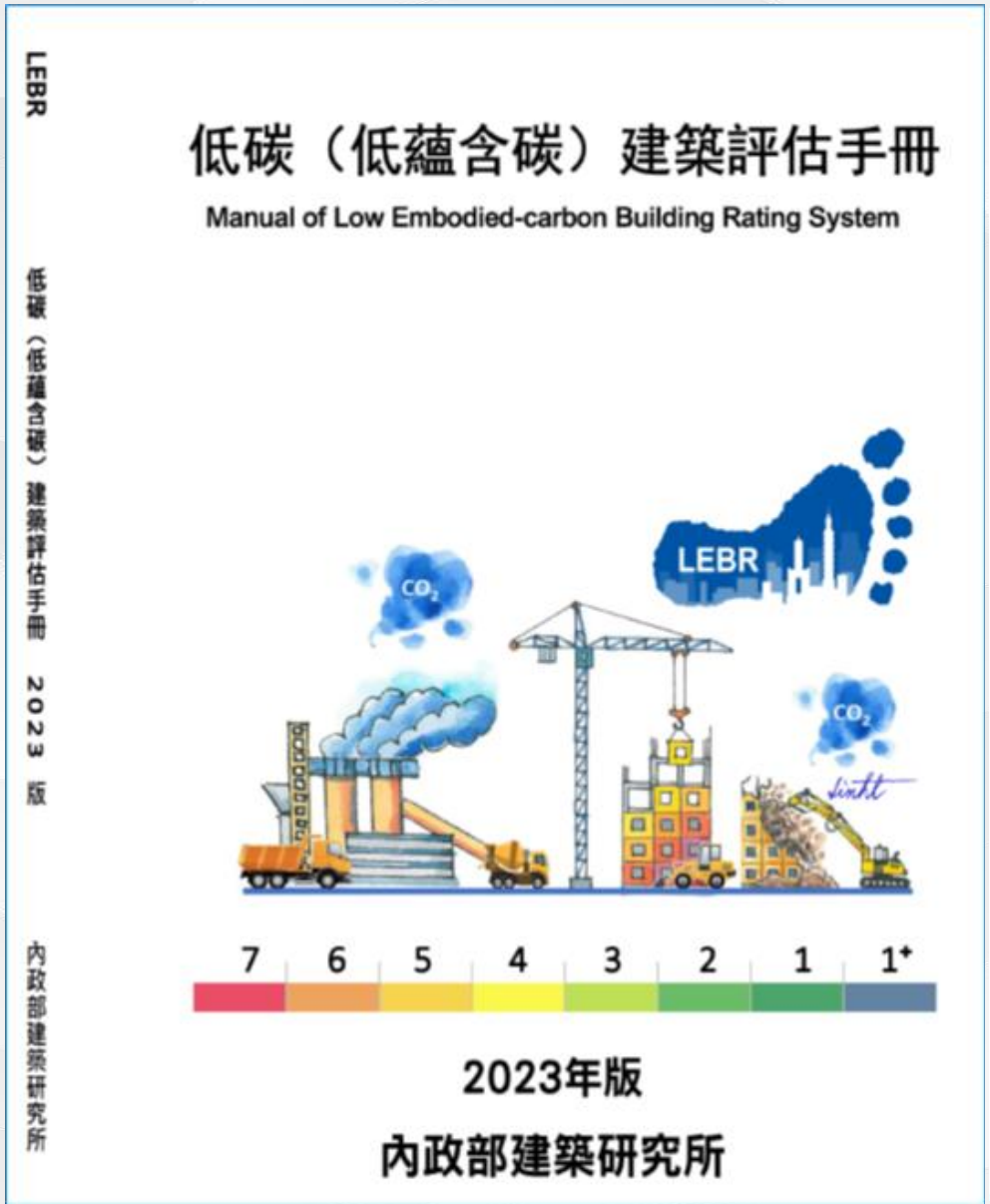
A1-A3(從搖籃到大門)
A4-A5 (施工過程階段)
B1-B7 (使用階段)
C1-C4(退役拆除階段)

台灣隱含碳比例應該只有約25% (住宅)、12.5% (辦公室)



資料來源: The Institution of Structural Engineers, csr.cw.com.tw/article/42352(2022)

低碳(低蘊含碳)建築評估手冊 2024年1月1日起實施

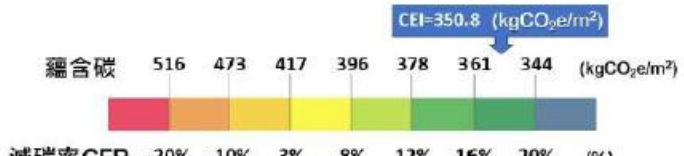


低碳（低蘊含碳）建築標示

建築物名稱	高雄市Z社會住宅
坐落地址	高雄市O區O段
評估範疇樓地板面積 Afu	54270.09 [m²]
評估範疇蘊含碳排 EEC	19,036,558 [kgCO₂e]
蘊含碳排指標 ECI	350.8 [kgCO₂e/m²]
減碳率 CFR	18.44 [%]
低碳建築標示字號	

1

低碳等級 CEI=350.8 (kgCO₂e/m²)



MINISTRY OF THE INTERIOR 內政部

2023 LEBR

資料來源：內政部建築研究所

生命週期中建築蘊含碳及營運碳比例

BEST GIVING 麗明營造

台中四季藝術幼兒園仁美校、補習班、店舖新建工程碳足跡研究報告

生命週期碳足跡不同階段比例

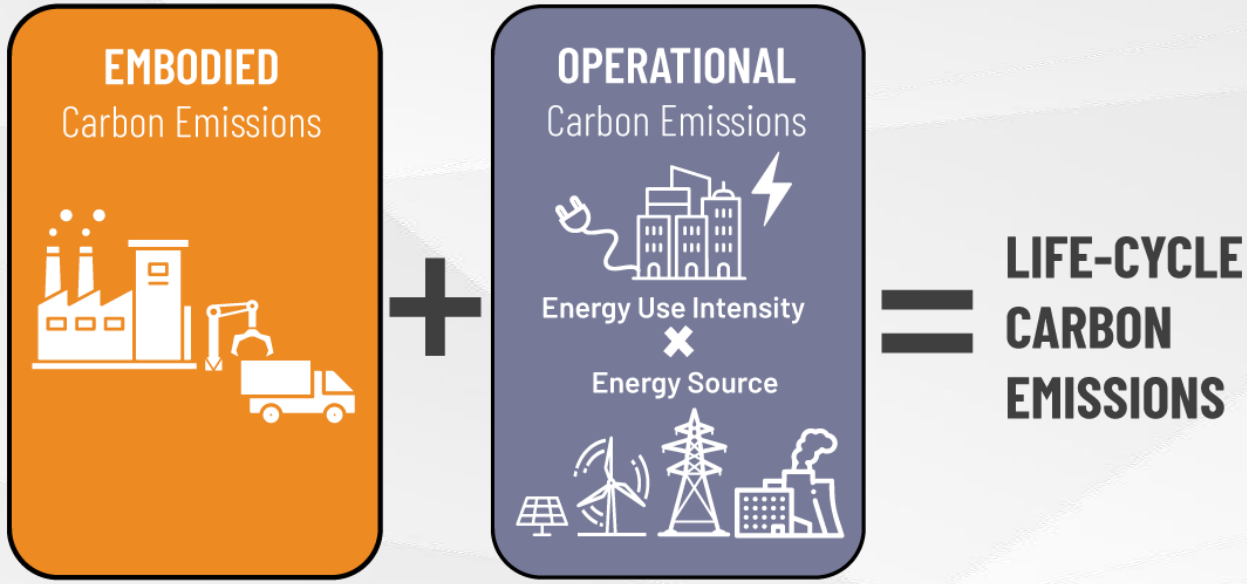
階段		排放量($kgCO_2e$)	比例(%)
新建工程原料取得階段	資材生產	4,275,500	90.38
	資材運輸	111,099	2.35
營造施工階段		344,034	7.27
建築使用階段		本研究不考慮	-
修繕更新階段		本研究不考慮	-
拆除廢棄階段		本研究不考慮	-
加總		4,730,634	100
本案總樓地板面積：10,444.33m2			

CEI=350.8 ($kgCO_2e/m^2$)

- 蘊含碳(EC): 453 kg CO_2e/ m^2(如上表，尚未包含修繕及拆除階段)
- 本案是低樓層碳排放已達453kg CO2e/ m2，且尚未包含修繕及拆除階段，因此低碳建築標章蘊含碳計算(包含修繕及拆除階段)似乎過於低估。
- 營運碳(OC): 50 kWh/(m^2．yr) (耗電密度以住宅估)x 60年 x 0.5kg CO_2e/度(電力排碳係數)=1,500 kg CO_2e
- 總碳排放量= 453+1500=1,953 kgCO_2e

蘊含碳(EC): (約佔23%)　營運碳(OC): (約佔77%)　辦公室: 500+3500 kgCO_2e (12%、88%)

隱含碳(EC) 、營運碳(OC)



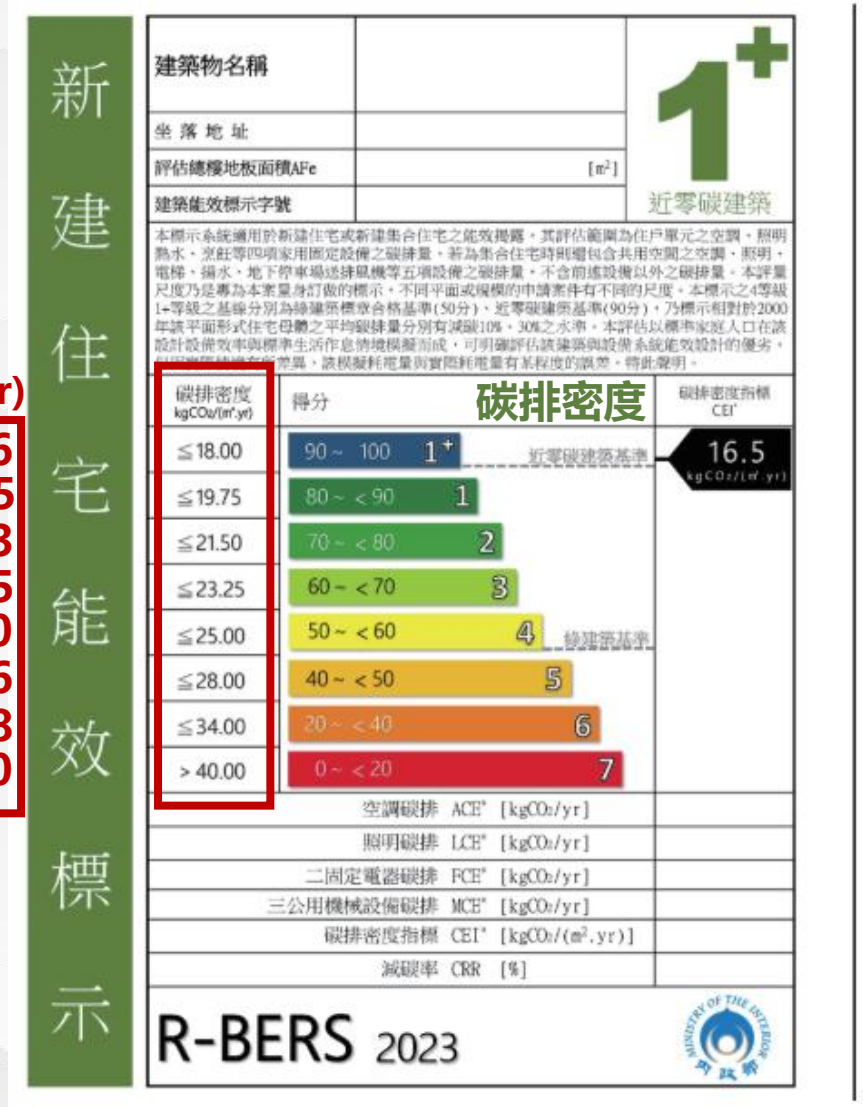
住宅大約 500 +1500 (1:3) =2000 kg CO_2e/m^2

辦公室大約 500 +3500 (1:7) =4000 kg CO_2e/m^2

資料來源: https://www.buildingmaterialsandclimate.com/chapte-2-life-cycle-thinking/2-1-embodied-versus-operational-carbon-emissions-in-buildings

新建住宅(R-BERS)及非住宅類(BERSn)建築之能效標示

住宅



- 估算

kWh /(m² • yr)

36
39.5
43
46.5
50
56
68
80

非住宅

資料來源:綠建築評估手冊-住宅類2023年版

零能量建築案例

高雄那瑪夏民權國小

- 有連續三年達成淨零能耗的紀錄
- 亞洲校園首座LEED Zero Energy 認證
- 包括六座3 kW的風力發電機，及10 kW與建築結合而成的太陽能屋頂
- 採用大屋頂和多窗設計手法，以利陽光阻擋及風的對流

LEED Zero
CARBON | ENERGY | WASTE | WATER




降低蘊含碳(EC): 低碳(含再生)材料；綠能製成；生物質材料； 施工機具電動化、...
降低營運碳(OC): 透過設計手法，如節能外牆、Low E 玻璃、綠屋頂、通風、遮陽、節能設備(包含燈具等)、綠植栽、水環境、創能及儲能、...

如何實踐低碳建築

蘊含碳(EC)

營運碳(OC)

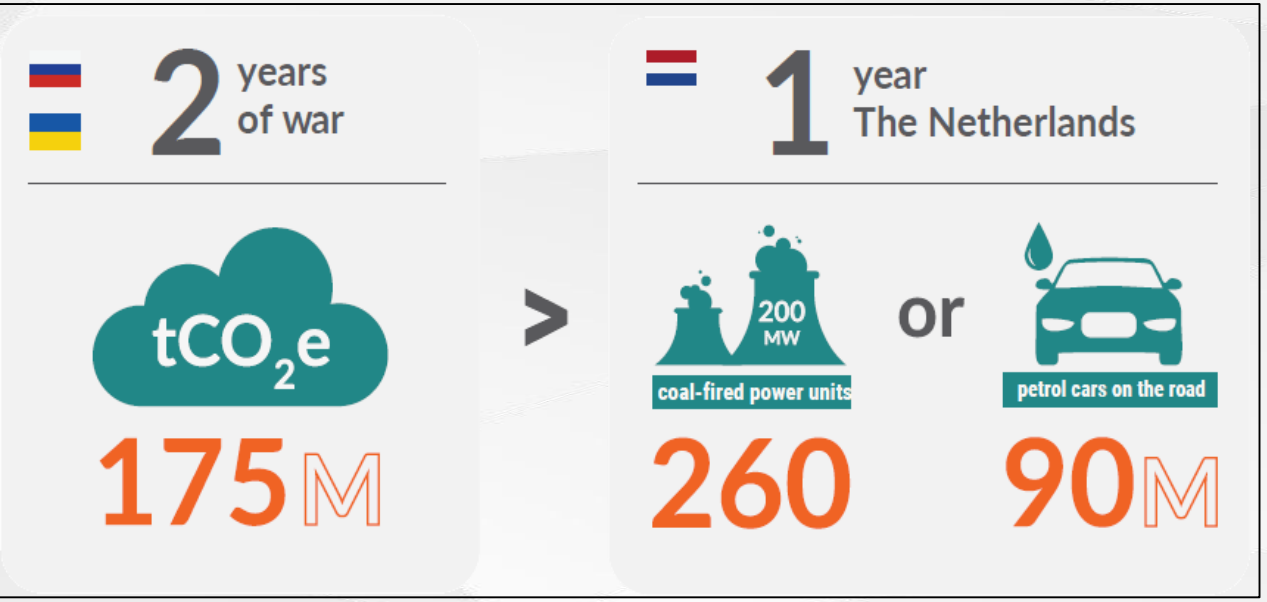
- 蘊含碳少部分來自施工及建材運輸，最主要是建材製造過程(混凝土及鋼)。
- 混凝土碳排8成來自水泥，設計者對於蘊含碳能夠著墨的非常少。
- 因此工程推動蘊含碳計算意義不大，若能建立可靠的建材碳排係數資料庫，供設計者參考其實已掌握到主要的蘊含碳了。

蘊含碳:
設計更耐久、更容易維護修繕的工程，甚至考慮生命週期結束後的物質再循環利用。

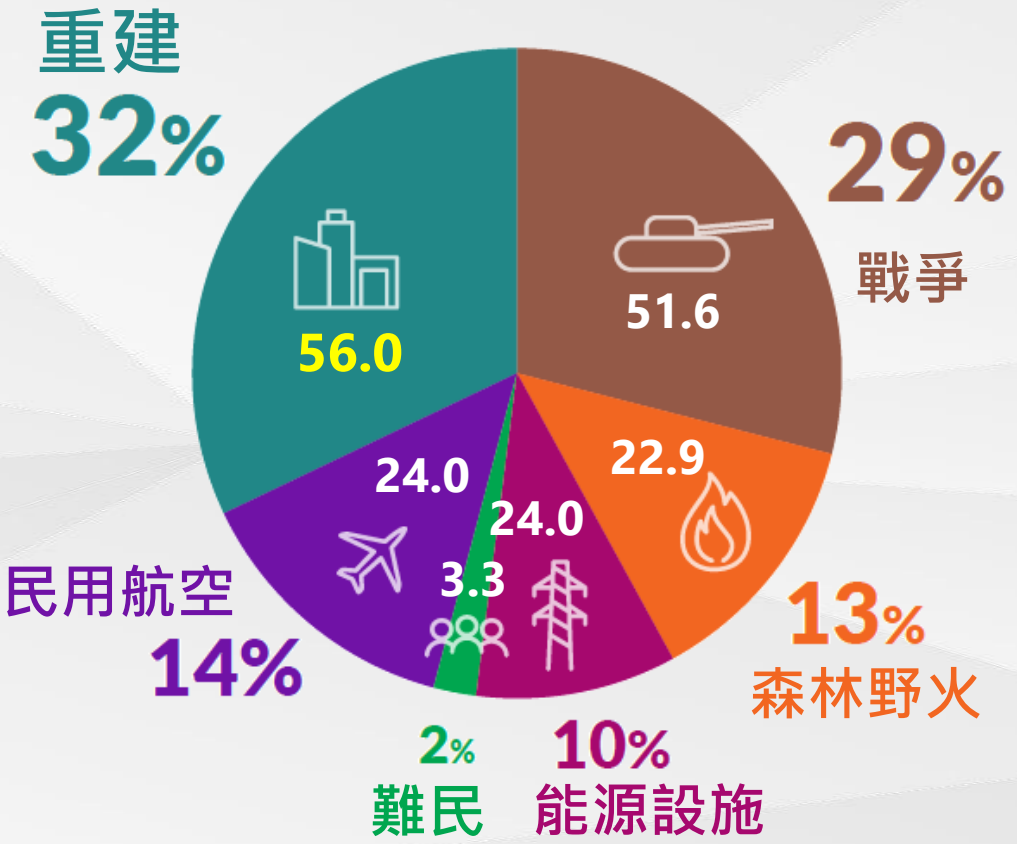
營運碳:
透過各種節能策略達到近零或超低耗能的水準，再利用再生能源的方法來達成目標。

烏俄戰爭前兩年產生1.75億噸溫室氣體

- 烏俄戰爭(戰爭以來的2年)產生1.75億噸 CO_2e ，等同荷蘭2022年的排放總量，或260座200MW火力發電廠(11座台中火力電廠)或9,000萬輛汽油車一年的排放量。
- 氣候損失(climate damage)超過320億美元(185 USD/tCO_2計)。



- 戰後受損的基礎設施使用混凝土和鋼材重建，故造成大量的碳排放，佔總排放的32%。



戰爭期間溫室氣體總排放量情形($MtCO_2e$)

資料來源 :CLIMATE DAMAGE CAUSED BY RUSSIA' S WAR IN UKRAINE (2024)

COP26(2021年)先行者聯盟的承諾: 看見未來減碳趨勢

美國氣候特使凱瑞(John Kerry)
在 2021 年 COP26 上發起了該聯盟

First Movers Coalition

由96間知名跨國、跨領域企業所組成的
先行者聯盟(First Movers Coalition, FMC)

90+	$16 billion	31M tonnes
Active members	Annual clean demand in 2030	Annual emission reductions in 2030

先行者聯盟透過成員的集體購買力推動的新興氣候技術
承諾在 2030 年購買接近零排放的商品和服務

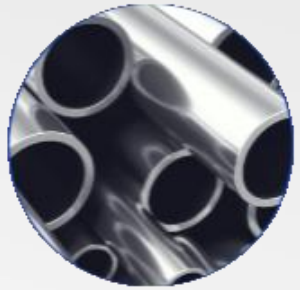
聯盟所關注的七個產業


鋁


航空


水泥和混凝土


航運


鋼


卡車貨運


碳移除

資料來源: news.agu.org/press-release/reaching-zero-net-carbon-emissions-is-surprisingly-feasible-and-affordable-study-finds/(2021)

COP27(2022年)的協議: 看見營建產業未來趨勢

水泥和混凝土

- ✓ 購買120億美元的綠色技術，以實現水泥和混凝土產業的脫碳。
- ✓ 通過先進的二氧化碳去除技術倡導負排放。
- ✓ 到2030年每年採購至少10%近零排碳的水泥（含碳量低於184kg CO_2e/ton的水泥)和混凝土。
- ✓ 購買滿足以下標準的接近零排放的水泥或混凝土：

鋼

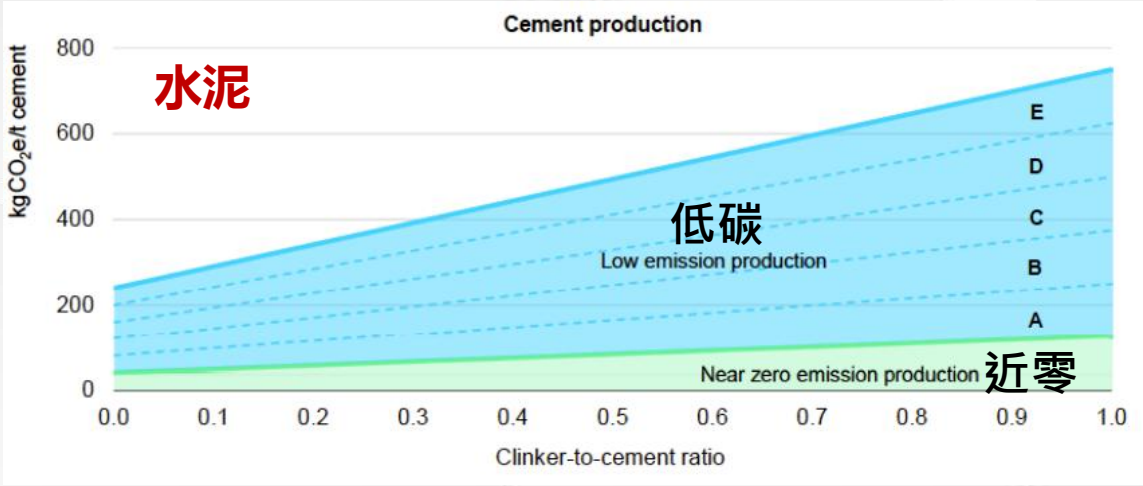
- ✓ 到2030 年每年至少採購10% 近零排放的鋼材。
- ✓ 需要部署突破性的鋼鐵製造技術，以實現淨零鋼鐵產業。
- ✓ 每噸粗鋼的直接與間接排放小於0.1噸（含 100% 廢鋼）
- ✓ 每噸粗鋼的直接與間接排放小於0.4 噸（含 0% 廢鋼）

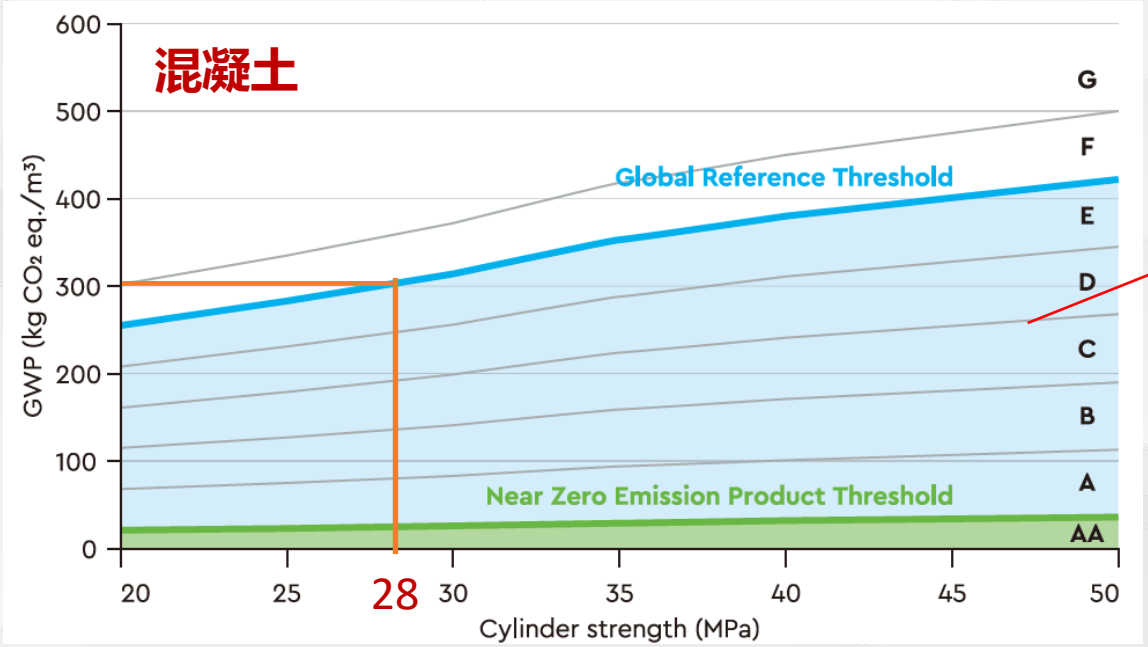
目前生產水泥和鋼的碳排是以上預期2030近零排放目標的4~5倍

資料來源: First Movers Coalition, www.weforum.org/first-movers-coalition/sectors(2023)

COP29(2024年)全球水泥及混凝土協會提出低碳和近零水泥及混凝土定義

- 採用IEA(國際能源署)對低碳和近零水泥的定義，將水泥依每噸二氧化碳當量（kg CO_2e）排放分成六個類別。
- 「低排放」水泥定義: 每噸水泥排放強度 750kg CO_2e(類別E)到 240kg CO_2e(類別A)。
- 「近零水泥」定義：每噸水泥排放強度 125 kg CO_2e。
- 對照右下圖: 28 MPa (4000 psi)混凝土每立方米若是 300 kg CO_2e 已經是低碳(類別E)的上限





COP 29 2024年在亞塞拜然的巴庫(位於東歐和西亞交界處)舉辦

備註:巴庫是世界上海拔最低的首都以及低於海平面的城市

資料來源：www.youtube.com/live/5GKdgKk0GWo(2024)

預拌混凝土碳足跡驗證 (CRMC; Carbon of Ready Mixed Concrete)

證書編號 CRMC001

預拌混凝土碳足跡驗證
Carbon of Ready Mixed Concrete

驗證證書

和昌國際工業股份有限公司內湖廠
申請預拌混凝土碳足跡驗證，特予證明並摘錄事項如下：

生產廠址
台北市內湖區安康路111號

驗證標準
ISO14067: 2018
預拌混凝土碳足跡產品類別規則（CFP-PCR）

驗證規格
預拌混凝土（共計29組配比）抗壓強度 80 – 420 kgf/cm^2

產品生命週期評估範疇
原料取得、製造

產品碳足跡
每立方公尺（共計29組配比） 138.364 – 312.704 kgCO_2e

附加資訊
| 產品生命週期盤查資料自2023年1月1日至2023年12月31日止。
| 本驗證碳排放係數引用，以環境部「產品碳足跡資訊網 碳足跡資料庫」及「 ICE database V.3.0 」為主。
| 本驗證登錄之產品碳足跡詳見后附表及產品碳足跡研究報告書。

財團法人臺灣營建研究院
院長 呂良正

頁次：1 of 2
版次：1
發證日期：2024 年 7 月 29 日
有效日期：2026 年 7 月 28 日

【民眾新聞-張嘉誠／綜合報導】

近年因應2050 年實現淨零碳排政策推動，企業或產品的碳盤查或碳足跡標示工作更受重視，為加速營建工程使用混凝土產品的碳排放揭露，由財團法人臺灣營建研究院以第三方公正單位之角色，啟動預拌混凝土碳足跡驗證（Carbon of Ready Mixed Concrete, CRMC），進行預拌廠常用產品規格碳排放的評估與查驗，使受驗證廠商能具有公信力的混凝土產品碳足跡宣告資訊，以滿足營造工程端對於使用材料碳排放計算的核心需求。

淨零排放(Net Zero Emissions)：減碳增匯 (減排才是根本)

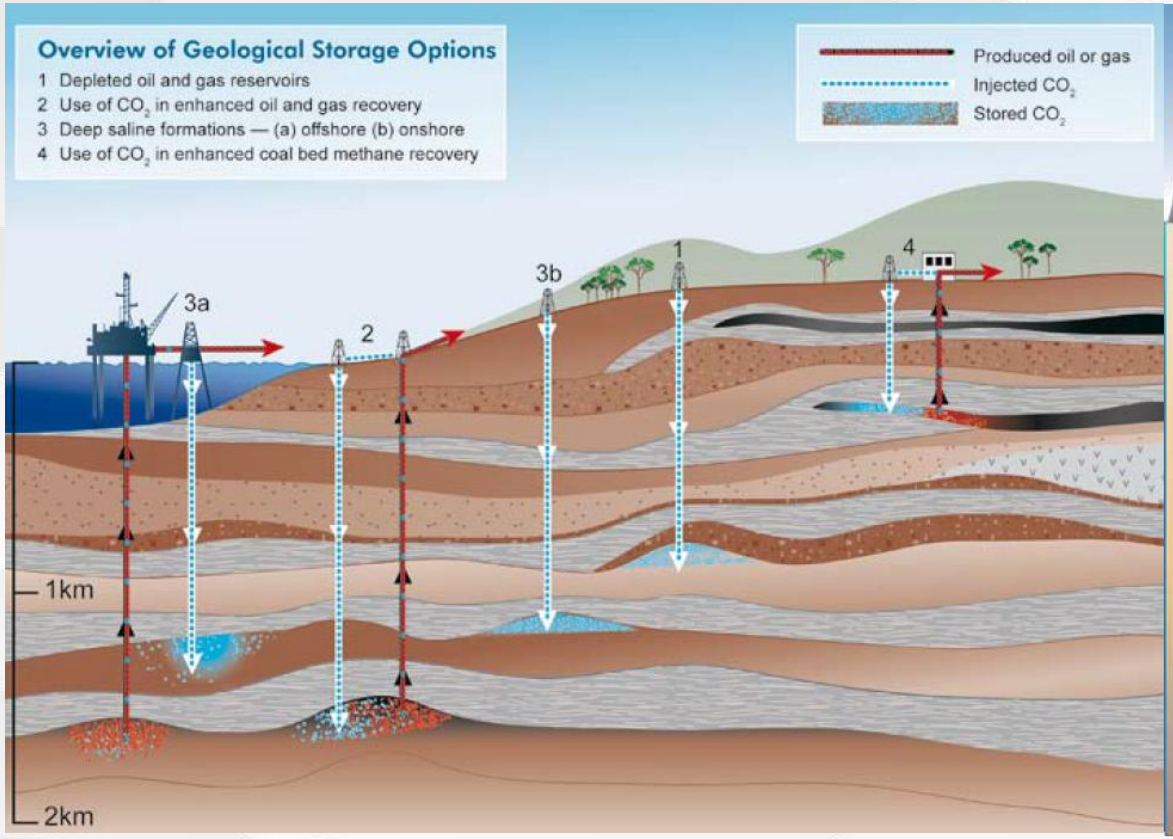
淨零排放不是不排放，而是努力讓人為造成的溫室氣體排放極小化，再用負碳技術、森林碳匯等方法抵消，達到淨零排放。

資料來源:經濟部淨零辦公室www.go-moea.tw

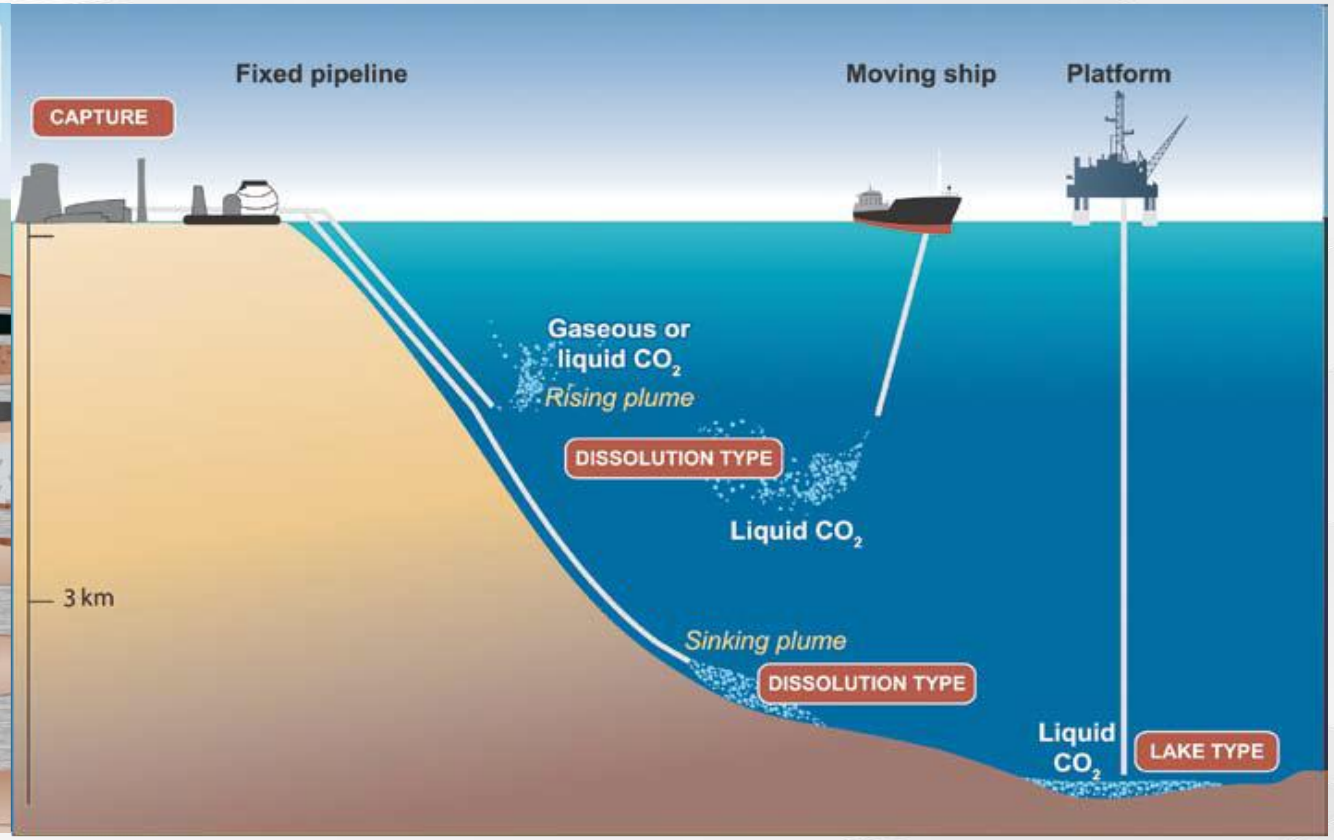
Carbon Capture and Storage（CCS): 目前貴(200美元/噸 上下)且有洩漏風險

■1970 年首次提出將人為產生的 CO_2 封存在穩定地質內，作為溫室氣體減量方案。

■1996 年挪威國家石油公司在北海的啟動世界上第一個大型封存計畫。



在地下深層貯存 CO_2 的方法



在海洋深層貯存 CO_2 的方法

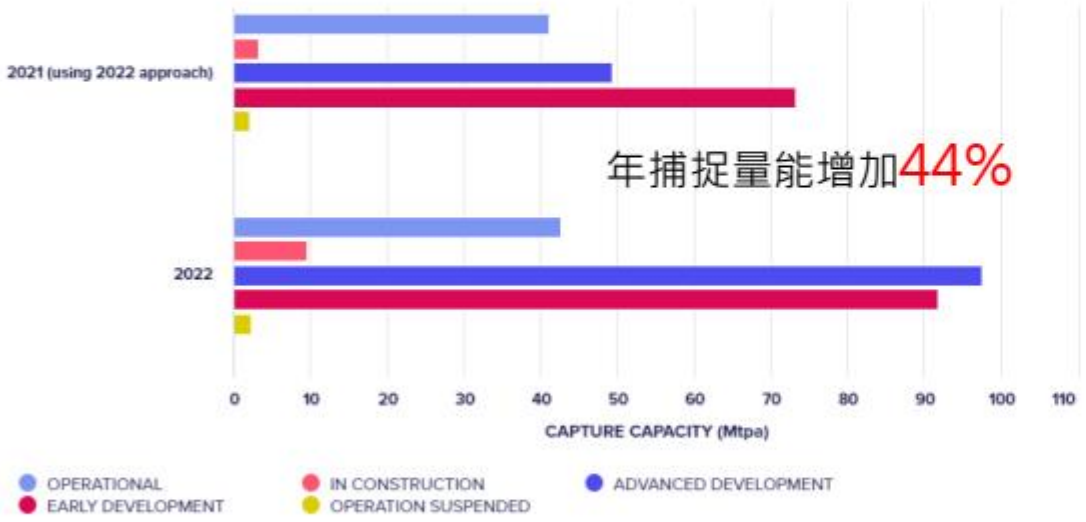
資料來源: Carbon Dioxide Capture and Storage(2005)

全球CCS發展現況

截至2022年9月，全球共有196個與CCS設施相關計畫，比2021年新增61個

年碳捕捉量能約2.44億噸(244Mtpa)

- 在196個計畫中，
  - 營運中(Operation)有30個、
  - 建設中(In Construction)有11個、
  - 進階開發(Advanced Development)有78個、
  - 早期開發階段(Early Development)有75個、
  - 營運暫停(Operation Suspended)有2個。



(GCCSI · 2022)

台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan

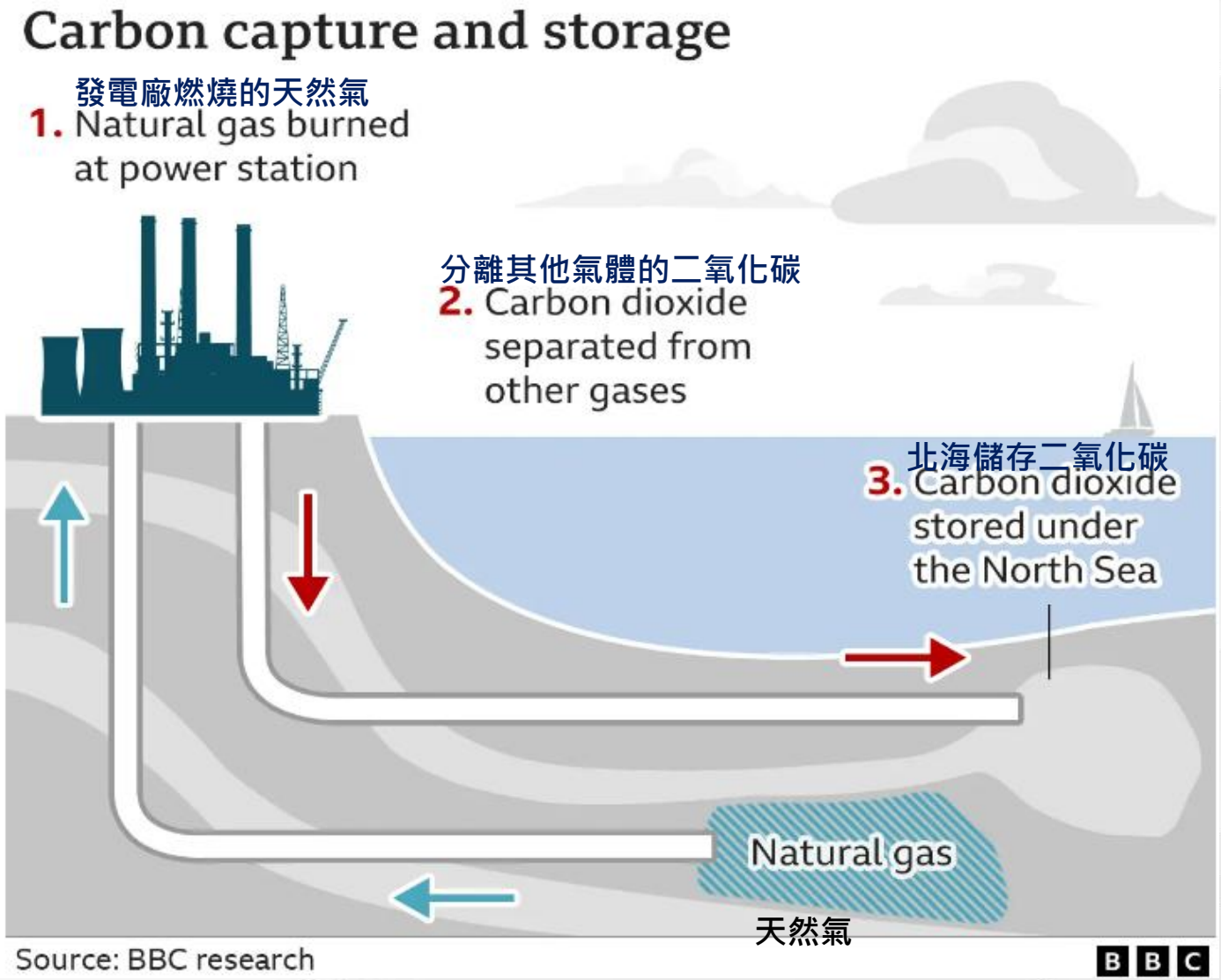
資料來源:陳大麟，台灣中油公司研所，中國工程師學會環境與能源委員會「淨零轉型及環境永續研討會」我國碳捕存(CCS)發展現況與展望，112年9月8日

Carbon Capture and Storage（CCS): 英國即將投入營運

英國宣布多個碳捕集計畫，到2030年每年捕捉和封存 2000~3000 萬噸二氧化碳。

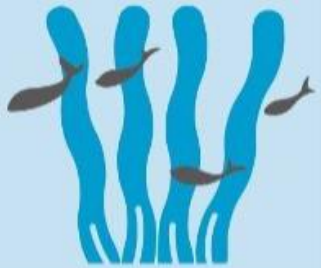
- 碳儲存許可證已授予 12 家公司，共有20個海域地點，其中 9 個位於林肯郡(lincolnshire)海岸附近，總覆蓋面積達 10,000 平方公里。
- 北海過渡管理局 (NSTA) 表示這些場地可儲存英國年排放總量的 10%。
- 第一個儲存點可能在六年內投入營運。

但反對者對「新興科學」持懷疑態度，該科學仍處於起步階段，尚未證明可以阻止多少碳進入地球大氣層。



資料來源: www.bbc.com/news/science-environment-64723497 (2023)
www.bbc.com/news/articles/ce7gpgnz8wwo

天然儲碳庫「三色碳」

藍碳	綠碳	黃碳
紅樹林、海草床、潮汐鹽沼	森林、竹林	農田、黑土、永凍土、旱地等土壤
		
儲碳總量		
第一名	第三名	第二名
吸碳速率		
第一名	第二名	第三名
取得碳權難度		
較難	難	最難
國際方法學數量		
較少	較多	極少
台灣至2030年預估增匯量*		
34萬公噸	75.8萬公噸	25.95萬公噸

＊說明：
1. 增匯量單位為二氧化碳當量（CO2e）
2. 根據國發會2050淨零路徑的關鍵戰略中期目標，2040年增匯總量為1000公噸二氧化碳當量

資料來源與檢視：中興大學生命科學系終身特聘教授林幸助　資料整理：郭逸

《全球碳移除報告》估計三色碳每年約移除20億噸二氧化碳，約占全球碳排的4%。

資料來源:郭逸、林讓均 udn.com/news/story/6842/7884252(2024)

森林碳匯 (綠碳):

碳匯（carbon sink）是儲存二氧化碳的天然「倉庫」。地球最會儲存二氧化碳的天然倉庫就是森林，植物吸收空氣中的二氧化碳行光合作用，樹木可以把空氣中四公斤的二氧化碳轉成一公斤的木材放到肚子裡，一棵樹木有生之年大概可以吸收900公斤的二氧化碳。樹木吸收二氧化碳的能力在20年生命會達到頂峰，接下來隨樹齡增加下降，到了60年、80年，將二氧化碳轉換成木材的能力就變得非常緩慢。

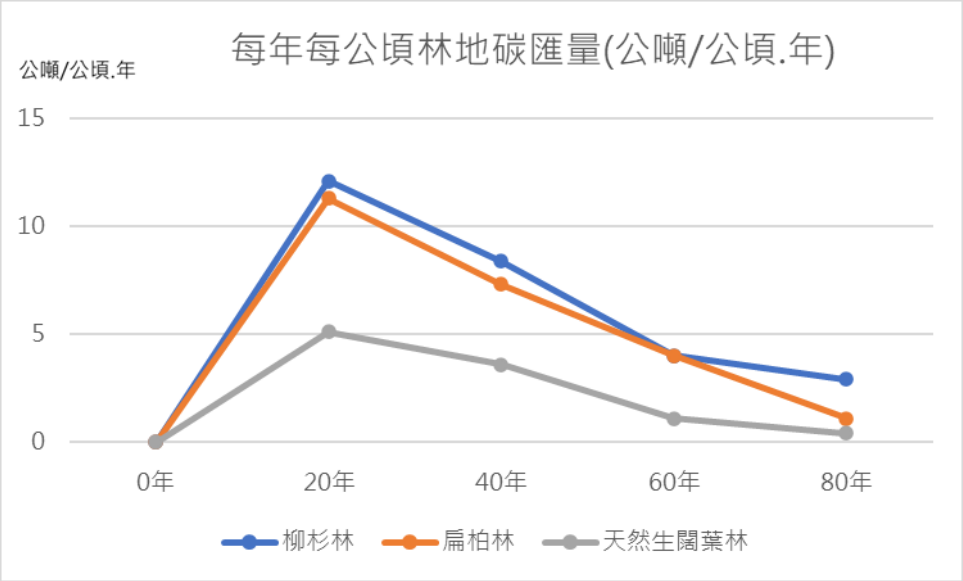
1公頃林地每年約10公噸碳匯；台灣森林面積約210萬公頃；碳匯約2100萬公噸。

臺灣2019: 總排放 2.87億噸，森林吸收0.214億噸，淨排放2.656億噸

其他碳匯: 海洋(藍碳)、土壤(黃碳)

日本森林每年每公頃林地碳匯量(公噸/公頃.年)

樹種	20年	40年	60年	80年
柳杉林	12.1	8.4	4.0	2.9
扁柏林	11.3	7.3	4.0	1.1
天然生闊葉林	5.1	3.6	1.1	0.4

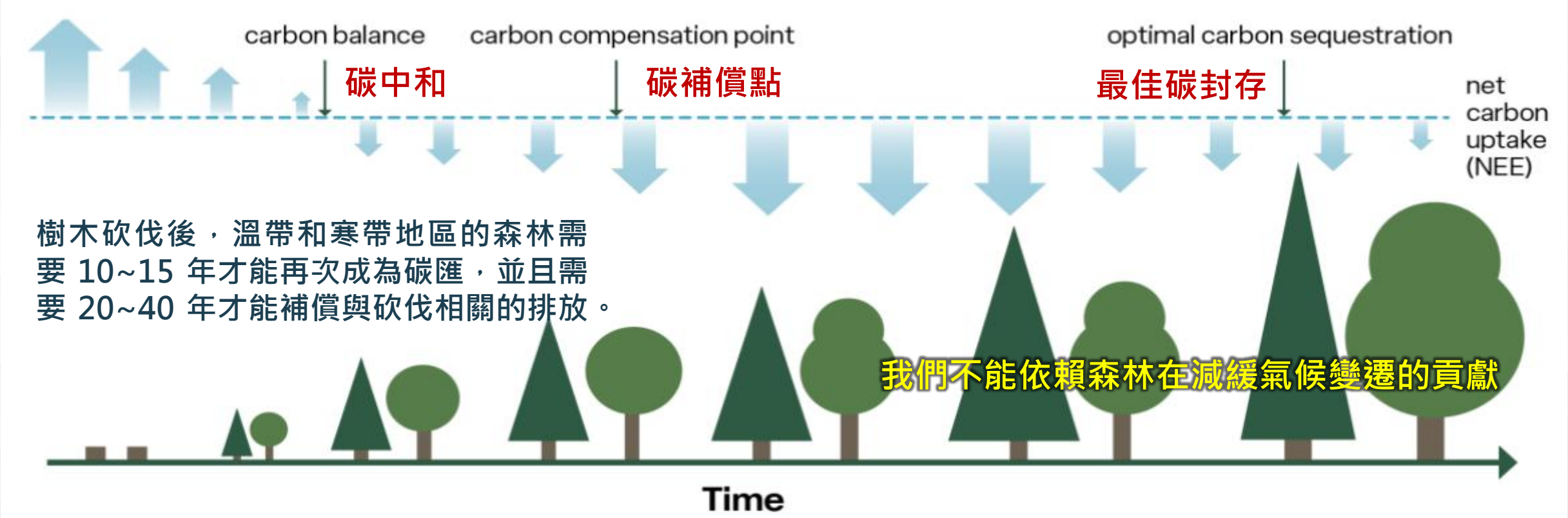


資料來源: www.thenewslens.com/article/155765 森林, 木材利用 與 地球暖化防止之 推廣手冊，2014]

森林碳匯很重要 但不應該是唯一

部分科學家指出，增加碳匯可能是短視行為

- 過往歐洲有以生產為導向的森林，由於是單一品種的森林，故因氣候變遷而影響整座森林，且忽略森林的生物多樣性。
- 南歐試圖透過種植樹林來增加木材產量和碳儲量，但氣候變遷導致乾旱而造成野火風險增加。



資料來源：www.icos-cp.eu/fluxes/2/forest-carbon-sinks-under-pressure (2024)

加拿大野火相當全球第四大排放國

《Nature》期刊刊登的研究指出，2023年加拿大森林大火所產生的碳排放量為6.4億噸，超過德國、日本、俄羅斯等排放大國，僅次於中國、美國、印度，**意即光是這場森林大火產生的碳排量，就可排名全球第4，是加拿大年排放量的5倍。**

- 加拿大擁有佔全球8.5%的廣大森林面積，2023年發生在加拿大的森林大火共燒毀了多達1,500萬公頃土地，約佔該國森林面積5%，**燒毀面積是過去40年平均燒毀面積的七倍多。**
- 過去十年，加拿大森林火災年碳排放量一直徘徊在3,000至8,000萬噸
- **研究指出人類依賴森林碳匯的隱憂，以及科學家統計碳排放量的盲點。**

資料來源：technews.tw/2024/09/02/wildfire-emissions/(2024)
www.nature.com/articles/s41586-024-07878-z

王老先生有塊地: 種樹 還是 種電?

Q1:

企業認養森林

賣碳權可賺錢嗎?

增匯10公噸/公頃/年
碳權多少錢?

Q2:

種樹還是種電?

淨零只是永續一塊

減碳500公噸/公頃/年

1MW/公頃

1MW X 365day X 3hr/day X (0.494-0.048)kg/KW.hr
=489465kg (約500公噸)

註: 電力排放係數: 0.494 kg CO_2/kW.h

資料來源: e-info.org.tw/node/225612

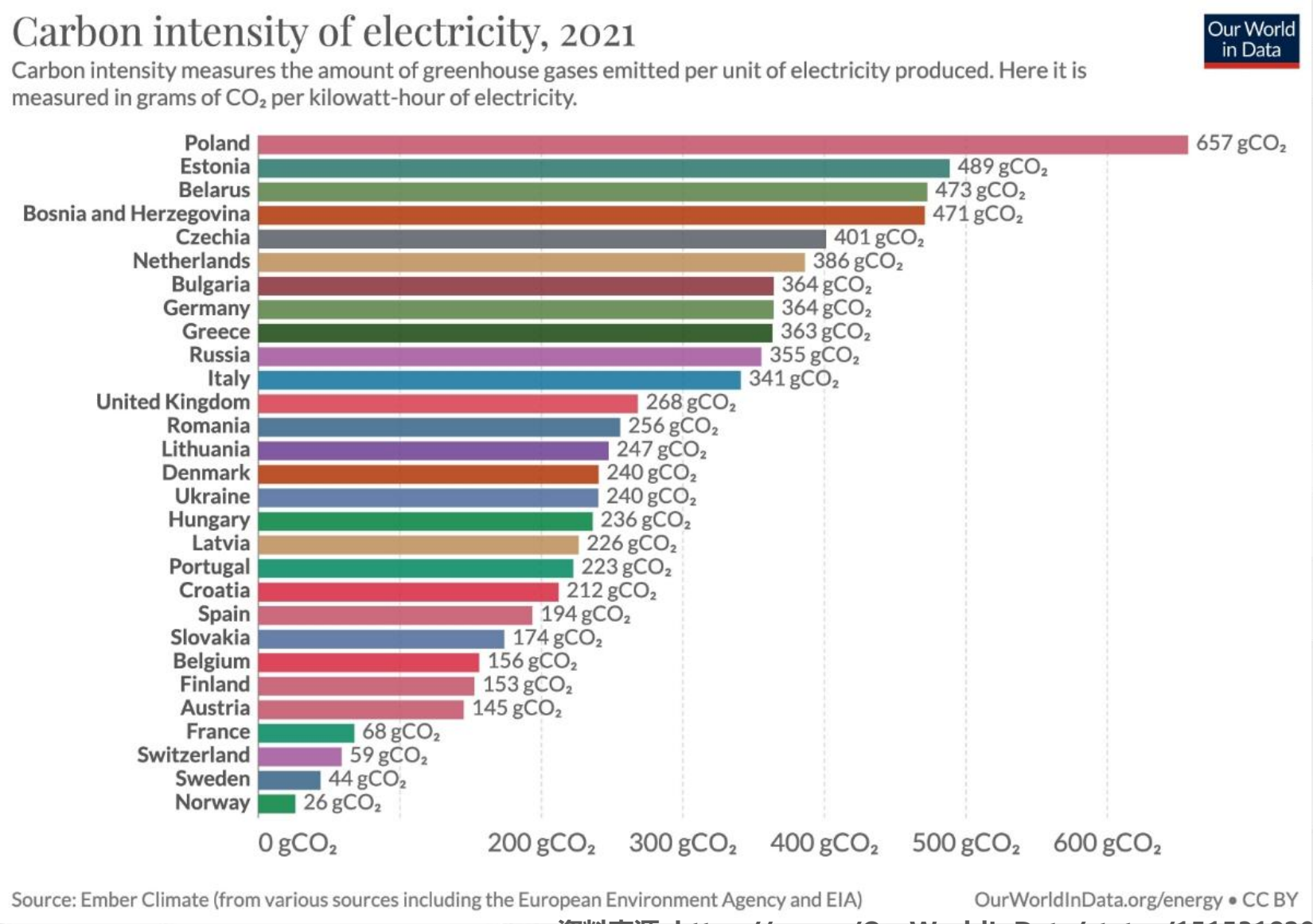
電力排放係數比較: (臺灣112年度為 0.494)

臺灣與世界各國電力碳排係數比較

資料庫		單位	$kgCO_2eq/kWh$
臺灣	產品碳足跡資訊網(108年度)	環保署	0.601
	建築產業碳足跡服務平台	內政部	未收錄
	台電(能源局110年9月公布之109年度電力排放係數)	台電	0.502
韓國	Electricitymap 2022[1](政策:不延不建，逐步脫核)		0.478
法國	Electricitymap 2022[1](核能占比超過8成)		0.104
日本	Electricitymap 2022[1](政策:暫時關閉核電廠)		0.538
挪威	Electricitymap 2022[1](天然水力資源)		0.032
歐盟	歐盟2017平均值 [2]		0.34

資料來源: [1] https://app.electricitymap.org/map [2]今周刊2020，我們與低碳的距離

歐洲各國每度電的碳排



資料來源: https://x.com/OurWorldInData/status/1515318293959258120/photo/1(2021)

不同電力來源碳排係數比較

燃燒類的發電類型碳排放量大於其他類型。

能源類別	kgCO²eq/kWh
煤炭	0.820
天然氣	0.490
生質能	0.230
地熱能	0.038
水力	0.024
核能	0.012
太陽能(公用事業規模)	0.048
風力 (陸域/海域)	0.011

資料來源:[IPCC，AR5，2014]

生質能應用

生質料源可經由不同的生產流程**獲得不同型態的生質燃料**。

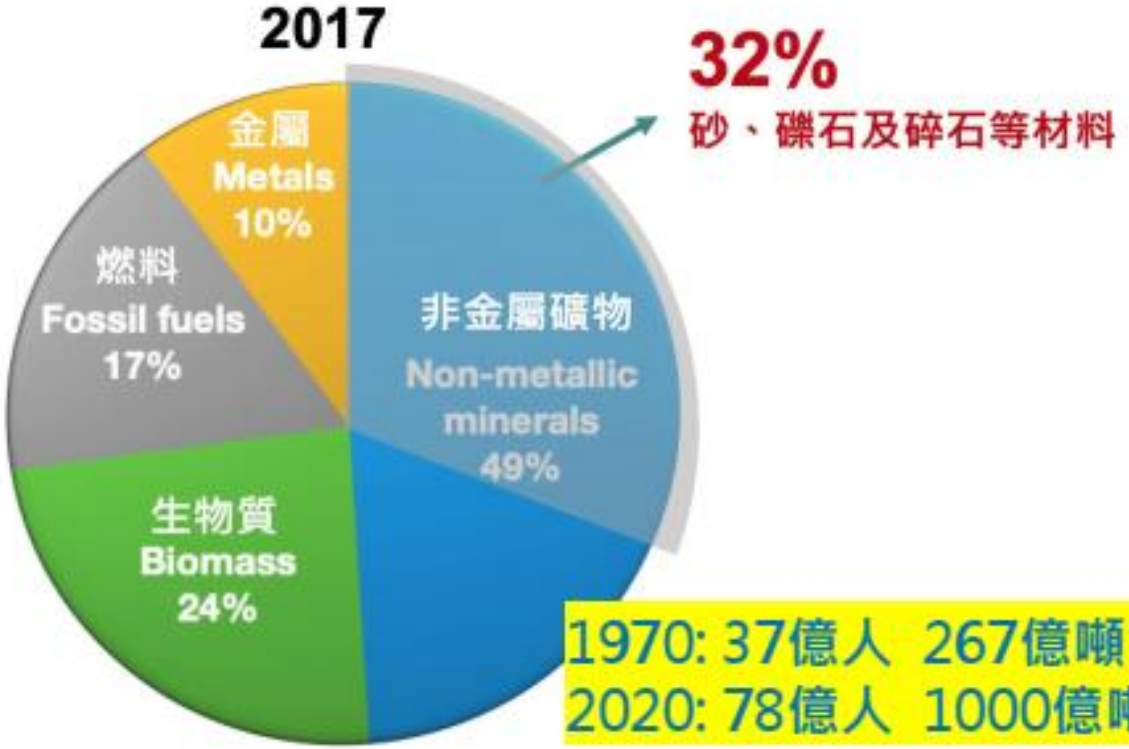
可直接應用在化石燃料系統中，並與其他再生能源搭配應用，**提供穩定的電力輸出**。

資料來源:[21世紀能源革命－生質能 科學發展 2016 年 4 月｜ 520 期]

4

國際淨零趨勢下的循環經濟

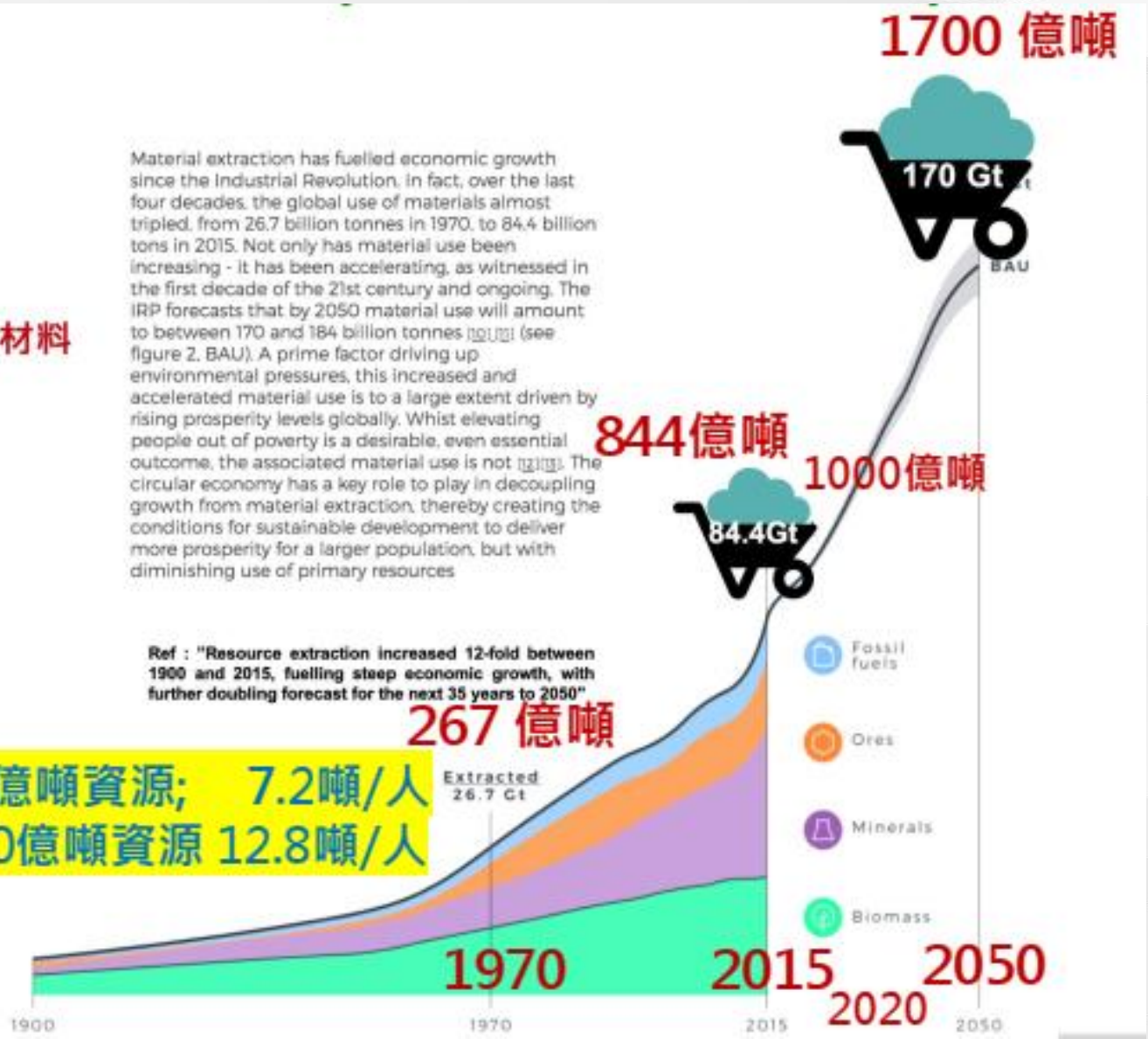
天然資源消耗指數成長 VS 人口線性成長 (營建業消耗50%天然資源)



Material extraction has fuelled economic growth since the Industrial Revolution. In fact, over the last four decades, the global use of materials almost tripled, from 26.7 billion tonnes in 1970, to 84.4 billion tons in 2015. Not only has material use been increasing - it has been accelerating, as witnessed in the first decade of the 21st century and ongoing. The IRP forecasts that by 2050 material use will amount to between 170 and 184 billion tonnes (see figure 2, BAU). A prime factor driving up environmental pressures, this increased and accelerated material use is to a large extent driven by rising prosperity levels globally. Whist elevating people out of poverty is a desirable, even essential outcome, the associated material use is not. The circular economy has a key role to play in decoupling growth from material extraction, thereby creating the conditions for sustainable development to deliver more prosperity for a larger population, but with diminishing use of primary resources

Ref : "Resource extraction increased 12-fold between 1900 and 2015, fuelling steep economic growth, with further doubling forecast for the next 35 years to 2050"

1970: 37億人 267億噸資源; 7.2噸/人
2020: 78億人 1000億噸資源 12.8噸/人



Ref : Global Material Resources Outlook to 2060, OECD (Organization for Economic Cooperation and Development · 經濟合作暨發展組織)

循環經濟: 維持價值、資源循環利用

Ref : 英國麥克阿瑟基金會

歐盟

盡可能地維持產品、材料和資源的價值，並且使廢棄物的產生最小化。

In a circular economy, the value of products and materials is maintained for as long as possible. Waste and resource use are minimised, and when a product reaches the end of its life, it is used again to create further value. This can bring major economic benefits, contributing to innovation, growth and job creation.

Ref : https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/circular-economy_en

台灣循環經濟學會 (TWSCE)

2019年6月19日
創立 TWSCE

LOGO 設計理念
(設計人：呂良正、凃哲維)

TWSCE Act Circular

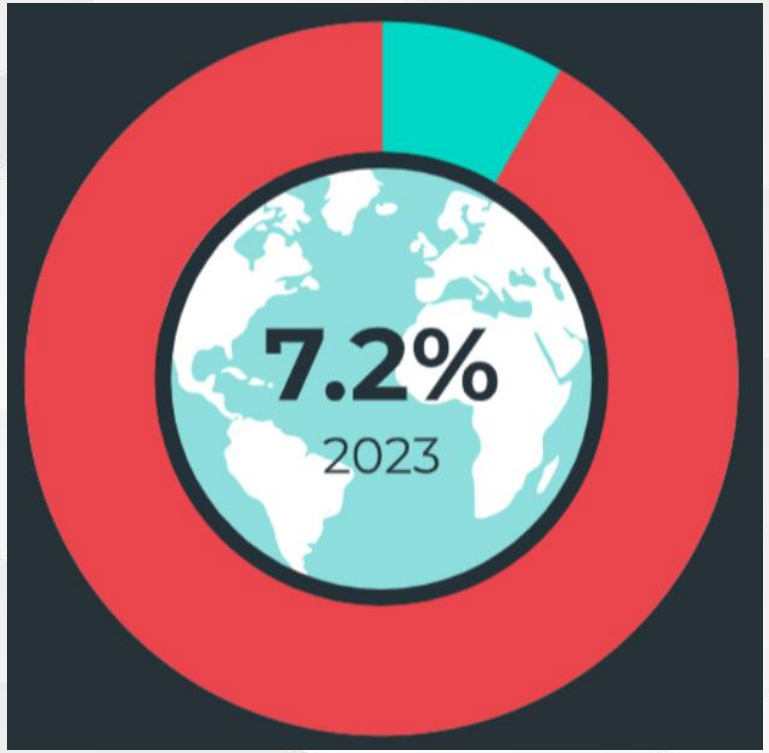
台灣循環經濟學會

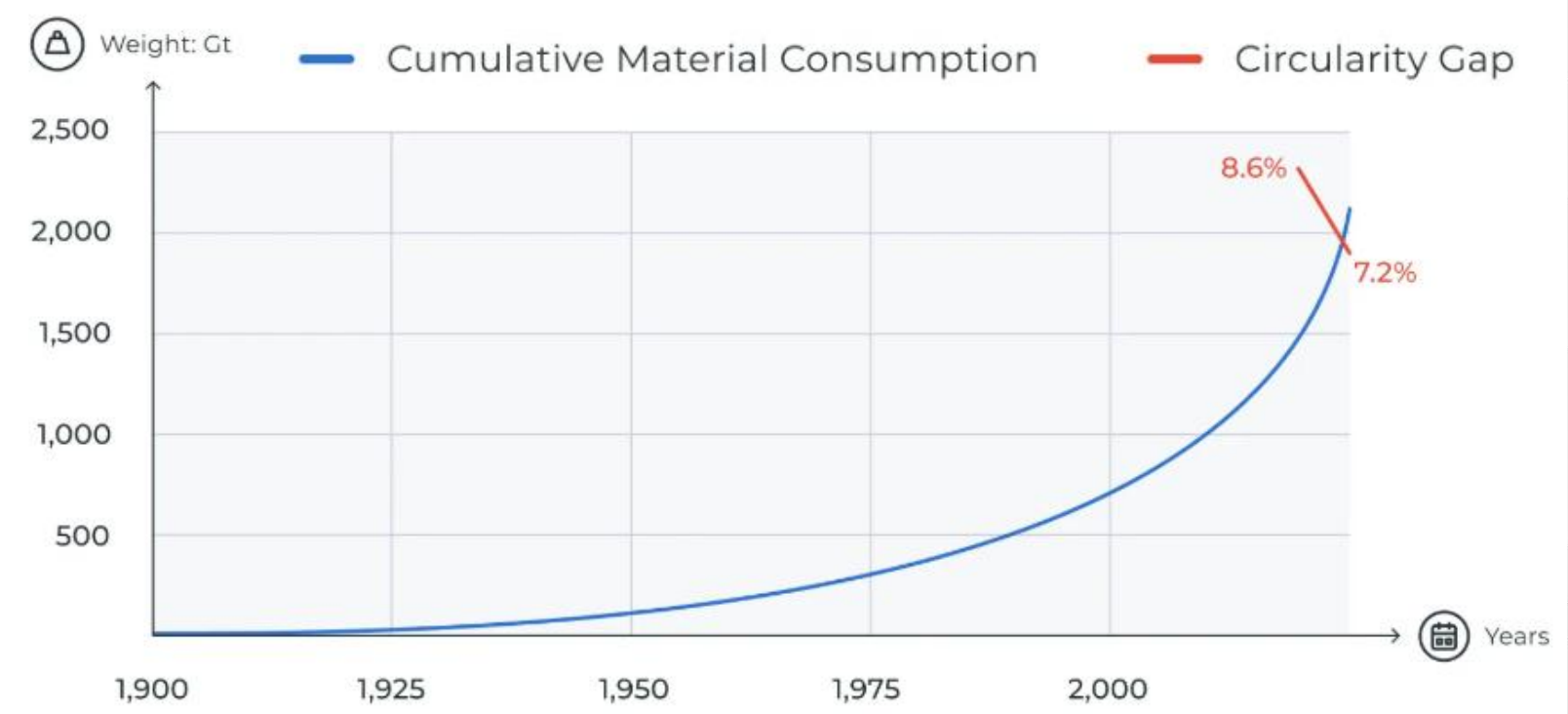
Taiwan Society for Circular Economy (TWSCE)

1. LOGO以太極為發想，代表永續平衡。
2. LOGO顏色以藍綠為主，這兩色是循環經濟蝴蝶圖中所用的顏色。
3. 藍色代表天，綠色代表地。小點設計成水滴和葉片意象，表現水由天而降，滋養大地枝葉，自然生態循環，生生不息。
4. 天和地交接就是人類生活的空間，呈S 形狀，Society，乃人所構成。 外圈以四小段灰色箭頭圍繞，表現人類經濟活動中消耗主要天然資源的工業循環，希望也能如同生態循環一樣，生生不息。
5. 天、地、人圍成一個圓，就是我們生活的地球，希望藉由循環經濟理念的推動，讓地球得以永續發展。

2023年的全球循環率下降到7.2%

- 根據全球循環差距報告(Global Circularity Gap Report)，由於材料開採和使用的增加，全球情勢逐年惡化。
- 材料開採量的增加導致全球循環率下降：從2018年的9.1% 下降到2020年的8.6%，再到2023年的7.2%。這意味著超過 90% 的材料無法再利用。





資料來源:www.circularity-gap.world/2024

三分之二減碳有賴規劃設計

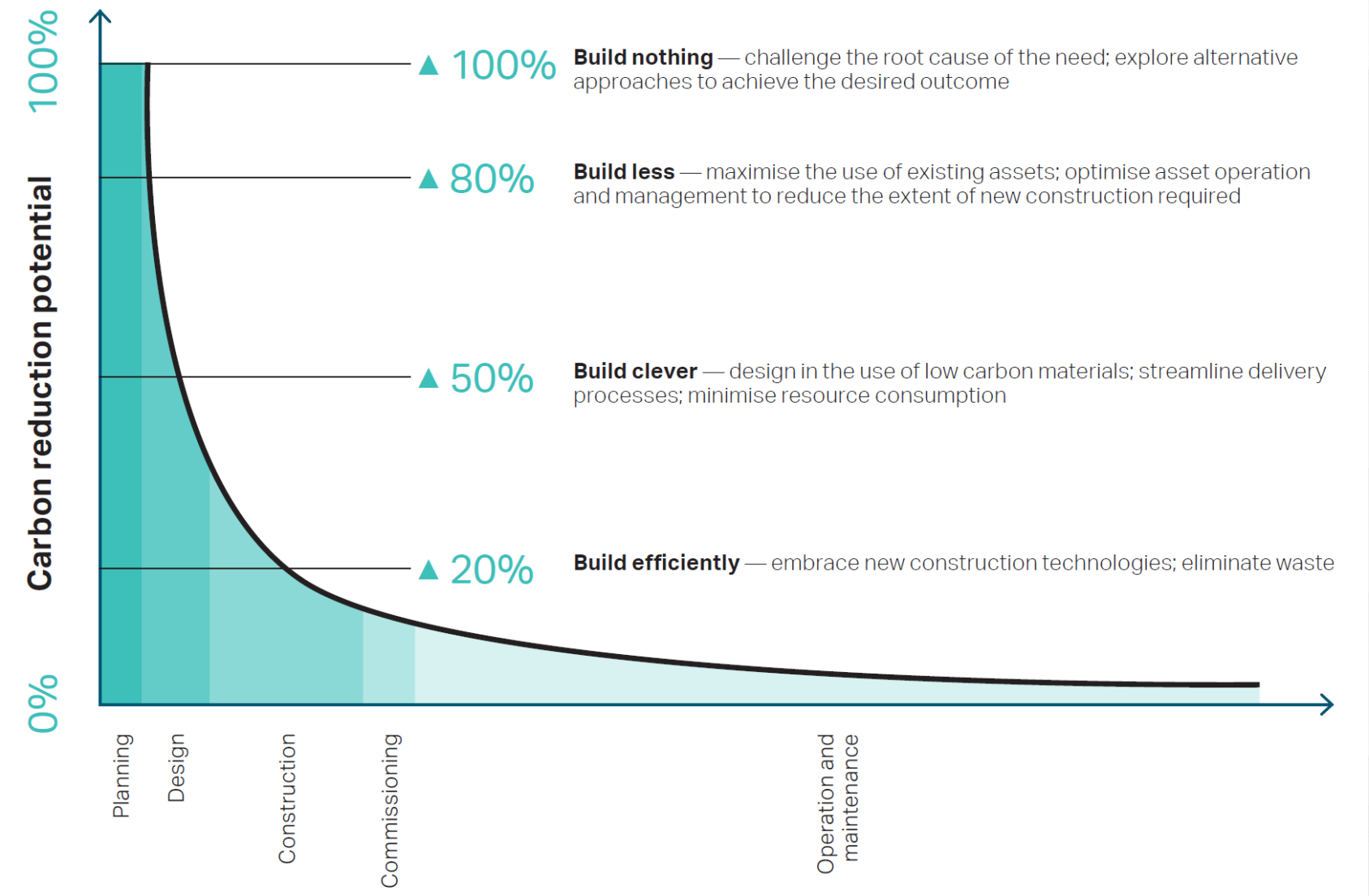
根據AECOM成立MI-ROG (Major Infrastructure–Resources Optimization Group) 於2020報告指出，循環經濟在營建生命週期提供不同程度減碳效益

其中減碳潛力:

規劃設計階段: 65%

營造施工階段: 20%

使用維護階段: 15%



資料來源: The Circular Economy and Net Zero Carbon Circular economy approaches to reaching net zero carbon infrastructure | White paper(2020)

歐盟為實現氣候目標需要對建築進行大規模翻新

- 歐盟委員會在建築產品法規(2022)建立框架來評估建築產品的環境和氣候性能。
- 新的建築產品要確保設計和製造是最先進的，可更耐用、可維修、可回收和更容易再製造。

實現 3個 循環目標

10 項 循環改造行動

Increasing life spans,
延長使用年限

- 增加使用多元性：將現有空間改造成多功能區域
- 改裝：現有辦公室轉換住宅用途減少建築需求
- 選擇耐用的建築材料：減少翻新頻率、延遲拆除
- 延遲拆樓：修復老化建築物的結構和基礎

Reducing the need for material consumption
減少材料消耗

- 使用符合拆卸設計原則的產品：對原料需求減少
- 提高材料的回收含量：最大限度回收含量為目標
- 最大化再利用：材料重複利用節省等量新材料

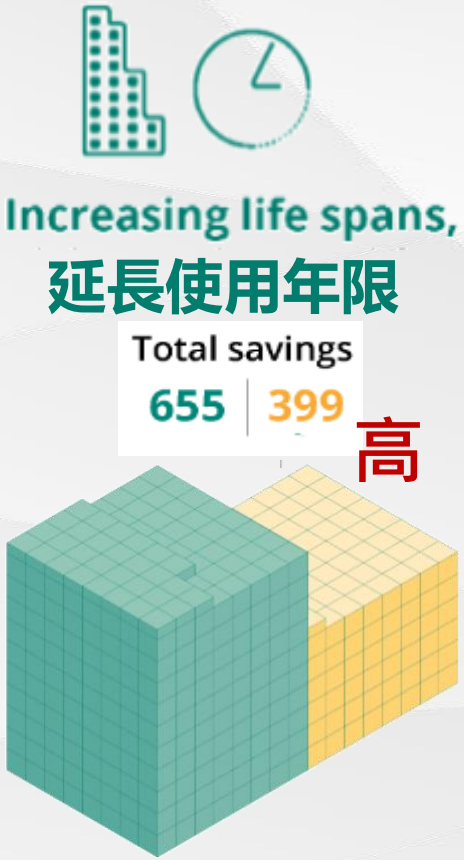
Making use of new generation materials
使用新型材料

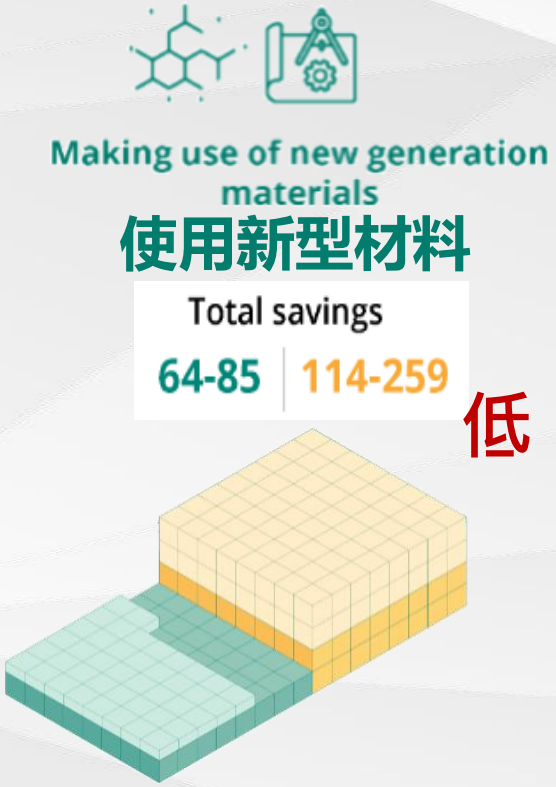
- 使用預鑄外牆：可節省約25%的材料
- 使用生物質作為原料：木材(節省不可再生資源)
- 使用天然的解決方案：綠化屋頂(降溫等)

資料來源:European Environment Agency, www.eea.europa.eu/publications/building-renovation-where-circular-economy(2022)

歐盟建築實施循環改造行動預估效益

模擬2022年至2050年期間循環改造行動的材料累積節省量和溫室氣體排放量。





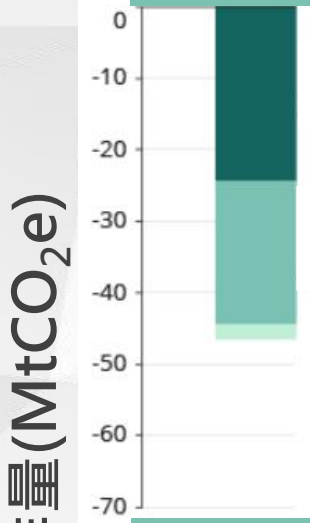
延長建築物使用年限的改造行動，具有最大的節省材料和降低溫室氣體的潛力。這是因為壽命的延長轉化對新建築的需求降低，而新建築的材料和溫室氣體排放量非常大。

資料來源:European Environment Agency, www.eea.europa.eu/publications/building-renovation-where-circular-economy(2022)

歐盟建築產業循環經濟行動及其減排方向

2050年減排 1.3 億噸二氧化碳當量
(與 2015 年基線相比)

建築設計

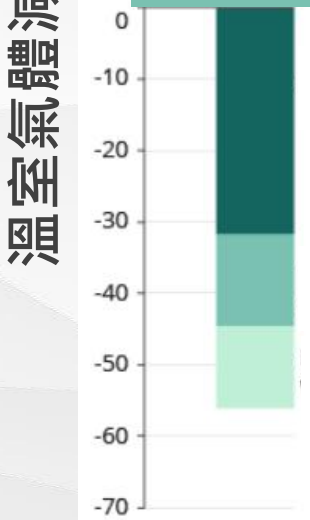


減量設計(混凝土)
-12%排放量

減量設計(鋼)

建築拆解設計

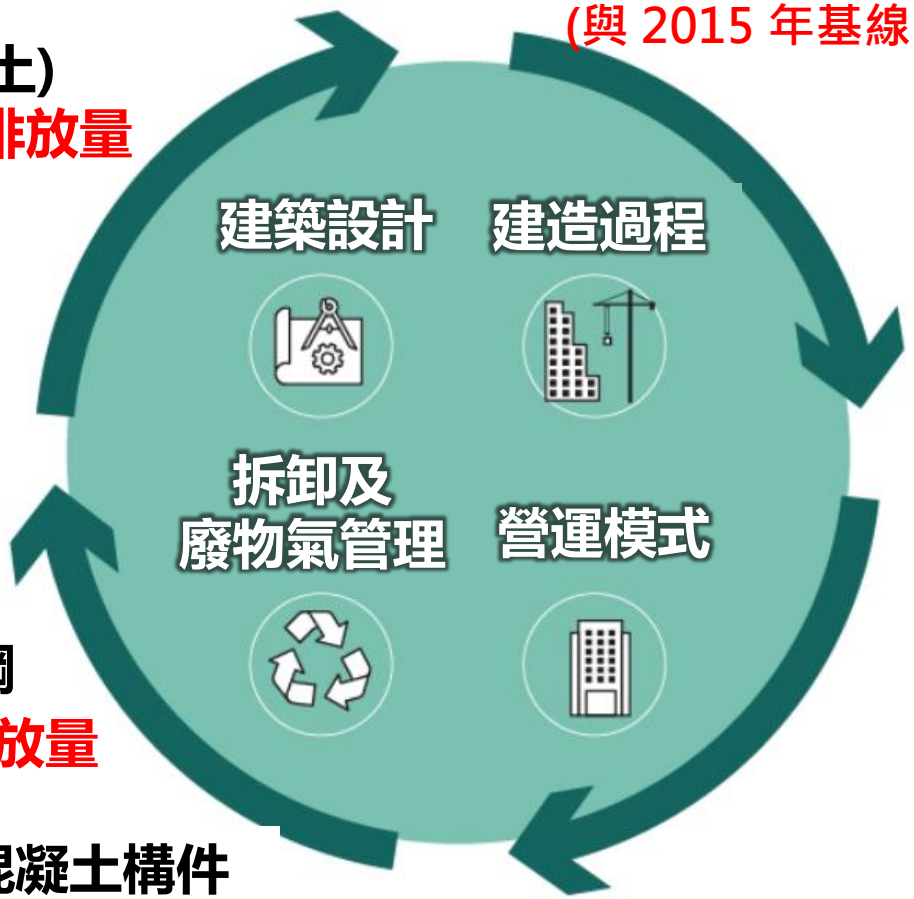
拆卸及廢棄物管理



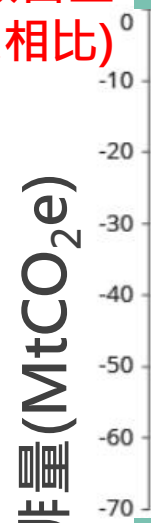
重複使用結構鋼
-15%排放量

重複使用結構混凝土構件

使用創新技術回收
廢棄混凝土中的水泥



建造過程



新型水泥
-16%排放量

使用木材作為
建築結構材料

降低水泥熟料
比例

營運模式

優化建築物
使用的空間

生命週期的四個階段，都有減排放的機會。
減少建築物中混凝土、水泥和鋼材的使用，具有最大減排潛力

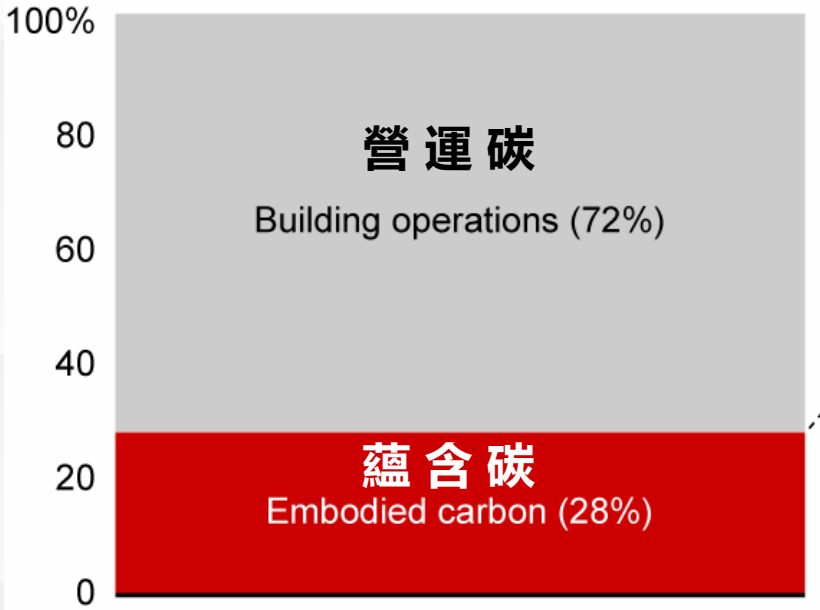
資料來源:European Environment Agency, www.eea.europa.eu/publications/building-renovation-where-circular-economy(2022)

蘊含碳如何減: 使用綠能製造及提高材料的循環性

- 降低建材製造的能源消耗及增加使用循環材料(或可再生材料)，有助於減少建築蘊含碳。
- 2040年因水泥生產的碳捕獲以及使用木材和其他循環替代品，將可減少約50%碳排放 。

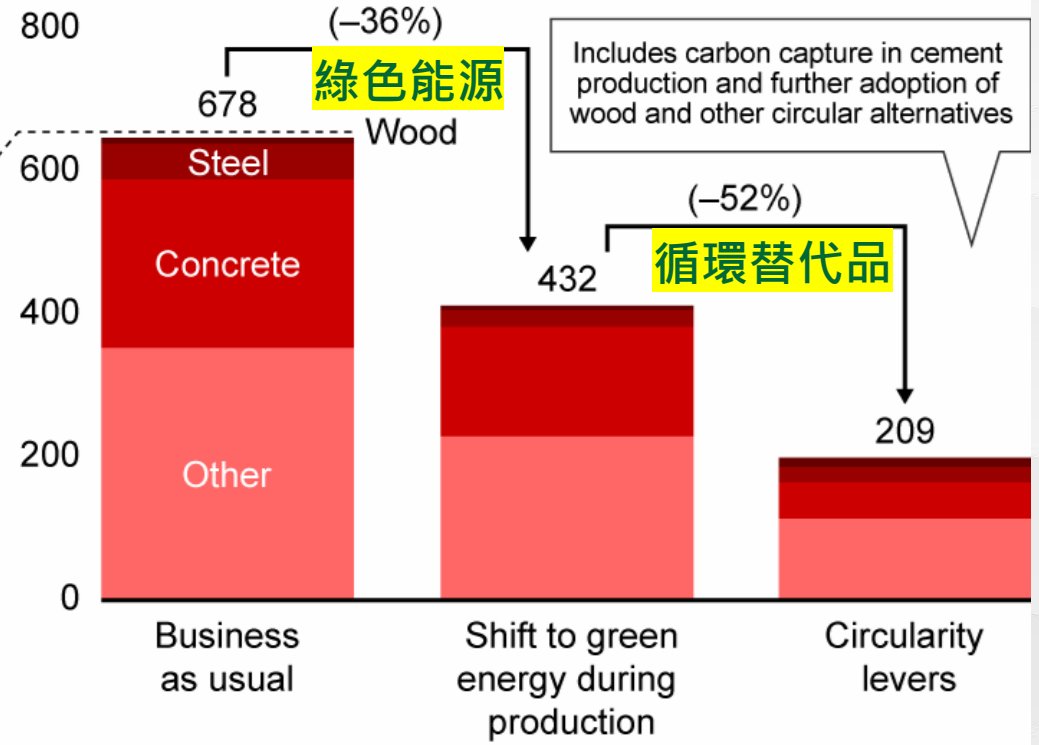
About 30% of emissions from buildings are released during production and considered embedded carbon

Global building sector CO_2 emissions, 2019



Use of more circular materials and processes will help reduce the effects of embodied carbon

Estimated embodied emissions by material for buildings constructed in 2040 (million metric tons of CO_2, Europe)



參考資料: https://www.bain.com/insights/five-ways-to-improve-circularity-in-construction/#(2022)

循環經濟在生命週期中減碳的三種策略

			低碳材料		提高材料效率		提高使用服務效率
			1 MATERIAL RECIRCULATION		2 PRODUCT MATERIAL EFFICIENCY		3 CIRCULAR BUSINESS MODELS
GHG EMISSIONS	=	USEFUL SERVICE	$\times$	$\frac{\text{GHG}}{\text{MATERIALS}}$	$\times$	$\frac{\text{MATERIALS}}{\text{PRODUCT}}$	$\times$ $\frac{\text{PRODUCT}}{\text{USEFUL SERVICE}}$

- 更高價值的回收
- 減少材料生產
- 更低的材料碳排

- 減少產品所需原料需求
- 增進生產過程效率
- 重複使用的元件
- 設計階段減少材料使用

- 較少的產品可以達到同樣服務品質與效益
- 更高的利用率和密集使用產品(共享)
- 延長產品生命週期

資料來源: The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation(2018)

循環經濟策略: 使用可再生材料 (木、竹)



(2022年、甘銘源建築師設計)

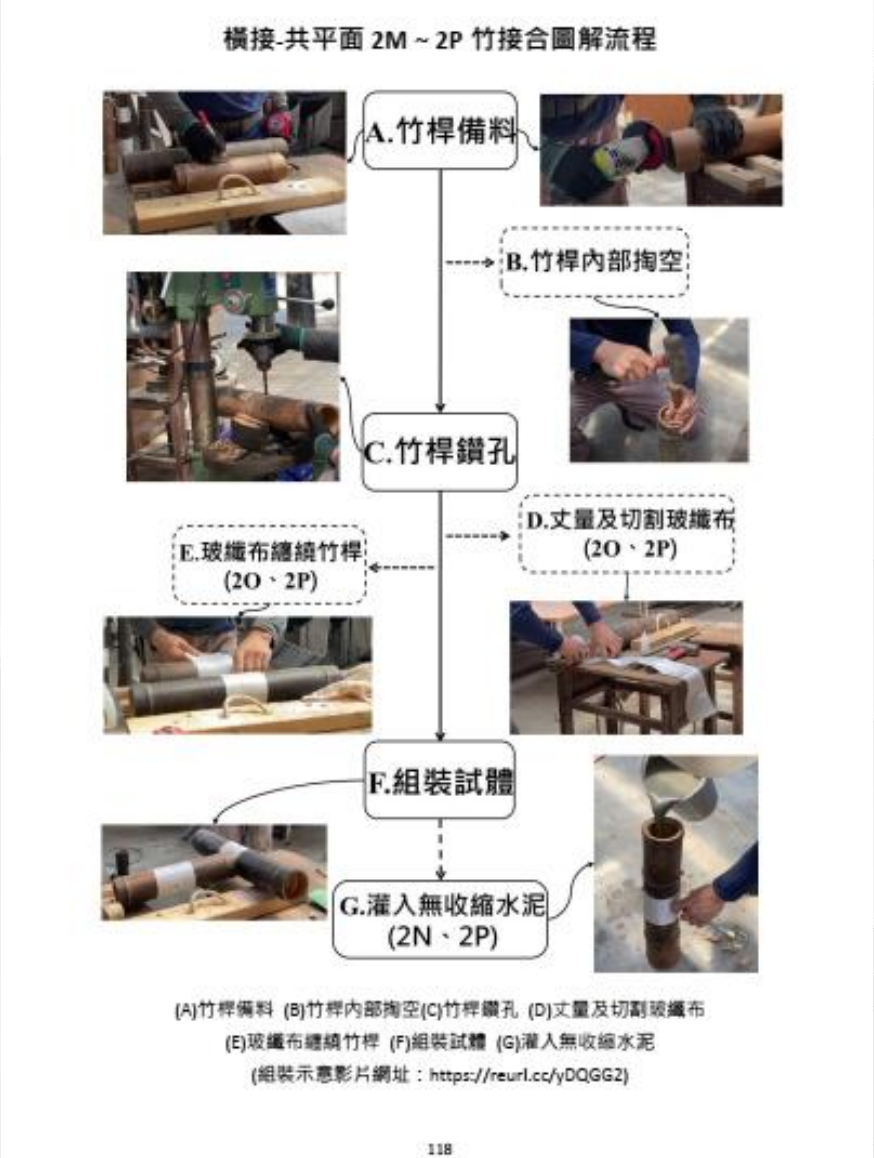
我的實驗室現況(竹材試驗與竹結構設計)
(農業部林業及自然保育署委託)



呂良正、楊晏瑜、李建敏、陳冠帆(2024) 竹構造設計指南 (農業部林業及自然保育署)

目錄

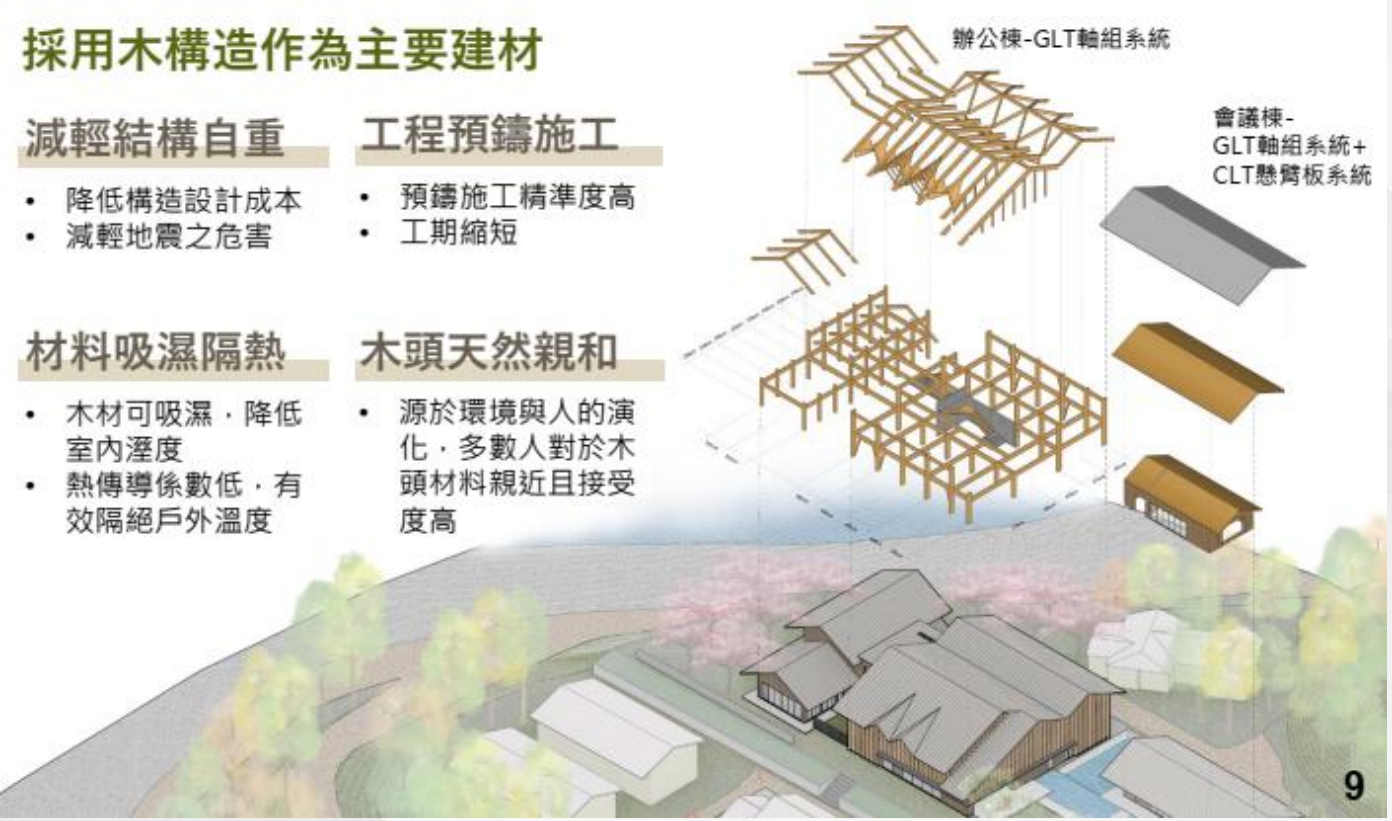
(草稿)



木構造: 萬大電廠辦公大樓 (2023竣工)

萬大電廠辦公大樓新建工程

承攬廠商：竟展營造有限公司
設計單位：實式木造有限公司(分包商)
黃明威建築師事務所
原型結構工程顧問有限公司
宇石電機技師事務所



資料提供: 實式木造有限公司

資料提供: 實式木造有限公司

一座木結構建築將封存 2,000 至 4,000 噸二氧化碳

- 由於碳封存的優勢，木材等替代品對環境更加友善。
- 一般鋼筋混凝土建築在施工過程中排放 1,000 至 2,000 噸二氧化碳相比，木結構建築將透過封存 2,000 至 4,000 噸二氧化碳來消除排放。
- 經過化學處理的木材具有彈性防火特性，並且在抗震測試表現良好。

美國開發商 HINES 報告表示，雖然使用木材建造辦公樓的成本比混凝土或鋼材成本高，但施工時間縮短使得成本相當。

2012年 奧地利 LIFECYCLE TOWER ONE 八層公寓

- 混合預製木材/混凝土建築系統
- 對有限資源的影響非常低，重量僅為同類傳統結構的42%
- 成本僅比同類鋼筋混凝土工程高出2%。

參考資料: www.woodsolutions.com.au/case-studies/lifecycle-tower-one-8-stories-wood-concrete(2022)

世界上第一座完全回收建材建造的混凝土建築

HOLCIM

霍爾希姆集團（HOLCIM GROUP)，現為全球大型水泥製造商
是第一家簽署UNGC BUSINESS AMBITION FOR 1.5°C 倡議的建築材料公司

ECOCycle 技術

- 全球每年產生**數十億噸建築和拆除材料**。
- 霍爾希姆(HOLCIM)開發世界**第一個完全再生混凝土**：混凝土所有成分（水泥、粒料和水）均為再生料。
- 將建築和拆除廢物回收到新的建築解決方案中，減少自然資源的使用和碳足跡，且不會影響性能。

法國正建造「RECYGÉNIE」住宅，採用ECOCYCLE®技術，粒料是從建築廢棄物中回收，再與回收水和水泥混合，故混凝土的主要成分均由再生材料所製成，藉此技術約節省6,000多噸天然資源（其中水泥4,000噸、粗粒料1,500噸、細粒料500噸），與傳統混凝土建築相比，還減少50%的碳排放，預計於2024年底完工。

參考資料: Holcim www.holcim.com(2023)

混凝土全循環

以50MPa~150MPa 之碎解力破壞廢棄混凝土中之水化物，並保留原有之礫石、砂。

利用吸力於碎解過程中將未水化水泥及水泥化合物有效率的分選出。

水泥化合物可再透過熱處理(400-500 °C)形成類似高爐石粉之膠結材料，以替代水泥。

減碳率約 33%

提高建築循環度的5種策略

1. **翻新和延長使用年限：** 改善現有住宅和商業建築以延長使用年限。
2. **輕量化：**設計和材料的創新，可將建築重量減少20%，碳含量最多減少15%。
3. **可再生材料投入：**使用木質材料可以吸收碳，同時作為鋼材和混凝土的替代品。
4. **增加回收材料使用：**增加回收材料的數量，再生混凝土具有較大可行性。
5. **恢復材料功能和技術：**更先進的材料分離技術，可提升重複使用率或材料的回收數量。

參考資料: www.bain.com/insights/five-ways-to-improve-circularity-in-construction/#(2022)

5

循環營建實踐的減碳方法

環境部攜手民間 共組8+N資源循環聯盟 2024/8/30

8個 聯盟: 營建、食品、塑膠、紡織、健康、電子產品、無機資源、循環產業。

擔任營建循環與低碳聯盟召集人
(目前有10幾個公司加入本聯盟)

循環經濟策略: 少蓋多活化

嘉義市立美術館: 活化再利用 新舊混搭

嘉義市立美術館
CHIAYI ART MUSEUM

資料來源: https://chiayiartmuseum.chiayi.gov.tw/ 嘉義市美術館(2022)

循環經濟策略: 少蓋多活化

New HQ for Alliander in Duiven, the Netherlands (completed in 2015)

https://archello.com/project/alliander-hq

資料來源: https://daf9627eib4jq.cloudfront.net/app/uploads/2017/01/attachment-ners-liander-projectboek-min.pdf

循環經濟策略: 少蓋多活化

New HQ for Alliander in Duiven, the Netherlands (completed in 2015)

1. 保留高達83%的舊有建築物，再藉由大屋頂覆蓋、連接這些既有和新建建築，提供了光線充足的公共社交空間和環境，

2. 巨型大屋頂係與雲霄飛車結構設計公司合作所規劃，因此所產生的結構體比傳統建築結構設計輕30%，使用的材料亦減少了35%，並且該屋頂可以在建築物使用壽命結束時進行拆卸再使用。

3. 大量再利用一些低階廢棄之木材作為既有大樓立面的隔熱層，使舊建築之熱量損失率降低以減少能源之需求。另外這些作為新「表層」的木材在巨型屋頂下之中庭環境中，將可以因良好通風與控制的溫溼度，而增強材料的耐候性。

4. 一些舊建築拆除的混凝土、鋼結構、天花板、及洗手間，皆設計於現地再使用於新傢俱或擴建結構中。

資料來源: https://daf9627eib4jq.cloudfront.net/app/uploads/2017/01/attachment-ners-liander-projectboek-min.pdf

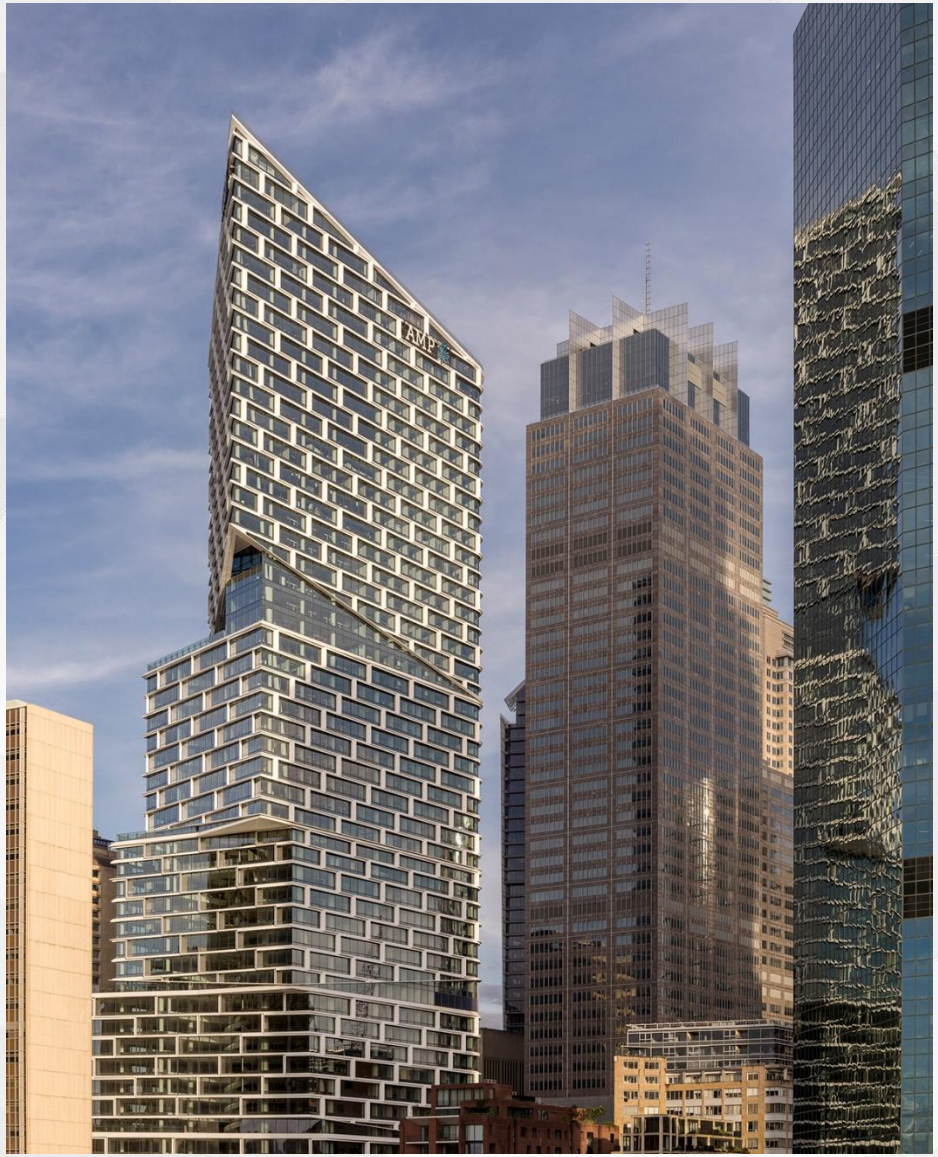
循環經濟策略: 新舊共好 QUAY QUARTER TOWER (completed in 2022)

- 工址：澳洲雪梨 50 Bridge Street
- 業主：AMP Capital
- 建築師：3XN/BVN
- 利用既有舊建築(1970年至今)改建成50層樓、200公尺高之新建築，提供97,000平方公尺之使用面積。
- 保留舊建築中65%的梁、柱、版結構及98%之結構牆，舊建材佔新建築總體材料之50%。
- 採用鋼管填充混凝土之複合構件，強化結構系統的橫向穩定性。
- 建築外型為5個疊層，每個疊層面海側設計不同角度，創造出環視雪梨港的效果。
- 每個疊層採用垂直式村莊的概念設計，創造每個疊層內部的互動機會。

50%

資料來源: https://www.bgeeng.com/sbu-tall-towers/50-market-sectors/ms-property-and-buildings/msp-commercial/116-quay-quarter-tower-sydney?tmpl=component

2022 International Highrise Award

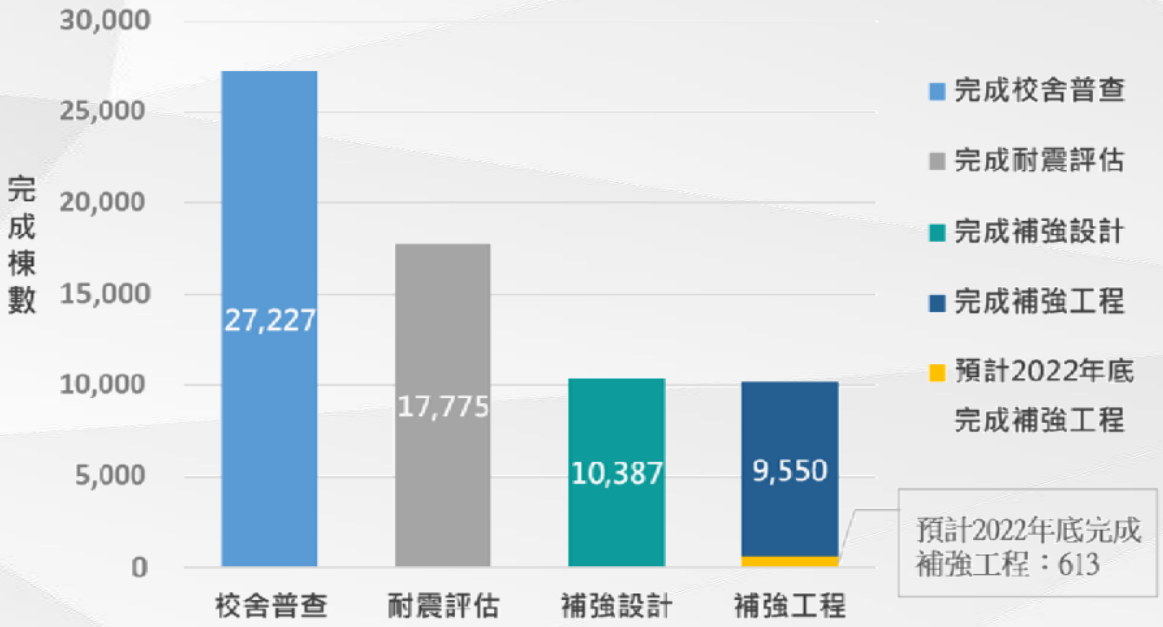


Quay Quarter Tower Wins 2022 International Highrise Award

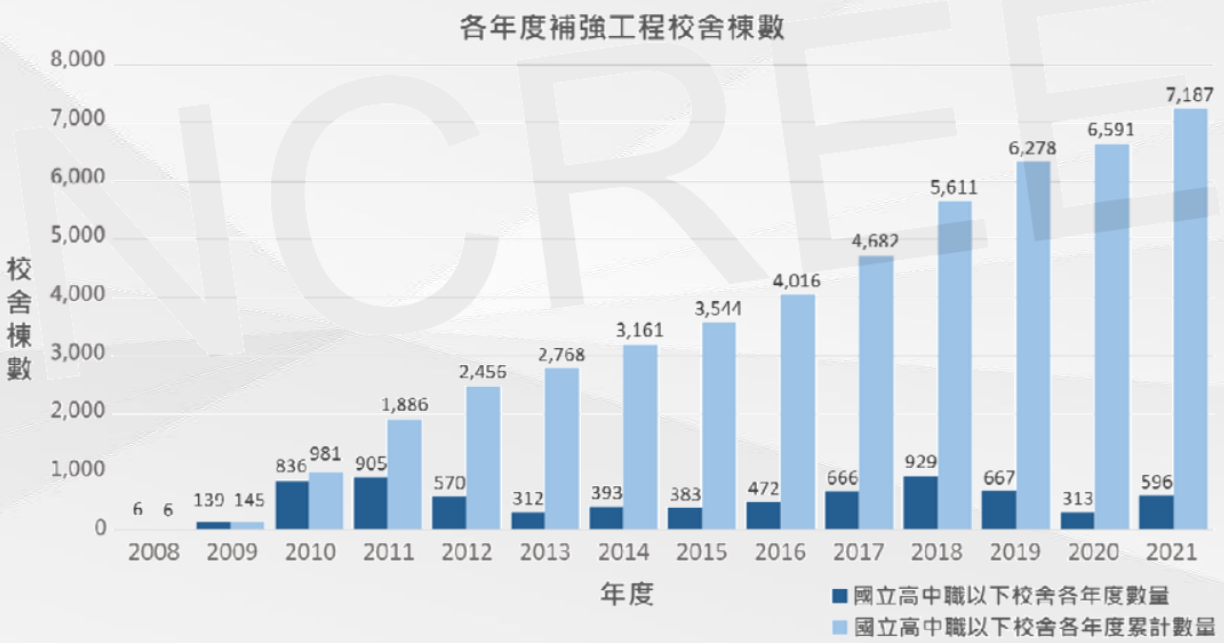
循環經濟策略: 修復、補強、延壽

臺灣校舍耐震補強 延壽的典範

- 國震中心自2009年協助教育部推動「公立高中職以下老舊校舍耐震能力評估與補強計畫」
- 2009年至2022年投入新臺幣約1,284億之經費，已協助各縣市完成9,550棟校舍之耐震能力提昇工程。



老舊校舍耐震評估與補強計畫成果



補強工程完成校舍棟數之統計

資料截止日期:2021.12.31

平均補強費用=11.5% 重建費用

資料來源:國家地震工程研究中心(2022)

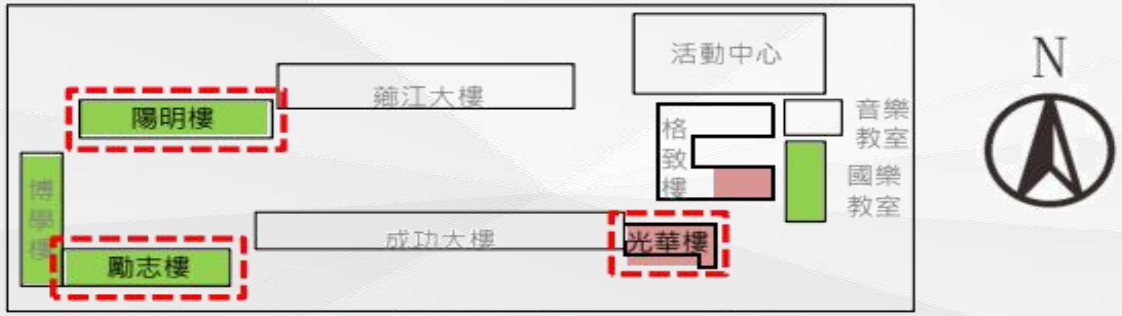
循環經濟策略: 修復、補強、延壽

臺灣校舍耐震補強 延壽的典範

105年2月6日
高雄美濃地震

歸仁國中已補強與待補強校舍比較

- 本次地震以東西向之地震力較大
- 比較待補強光華樓(東西向)與已補強陽明樓與勵志樓(東西向)，可發現已補強校舍在本次地震無損壞。



資料來源:國家地震工程研究中心(2022)

循環經濟策略: 耐久性設計 淡江大橋120年使用年限

主橋耐久性年限120年

橋址位淡水河口，空氣中濕氣重且含大量氯離子，
會大幅加速鋼構材及混凝土結構的腐蝕

混凝土：採用抗氯離子滲透配比，提高混凝土緻密性
導入混凝土水合熱監測與控制規範
加厚保護層（依混凝土結構類別及位置個別考量）
表面塗層保護（河道中混凝土主塔及橋墩）

鋼筋：橋墩易腐蝕位置使用鍍鋅鋼筋

鋼橋：採用耐候鋼材；內/外表面加重防蝕塗裝

斜拉索：採多重系統防護概念，可單根逐一抽換

監測系統：主橋長期即時監測管理

西元一世紀建造於西班牙塞哥維亞羅馬水道橋

全世界最大跨距單塔不對稱斜張橋

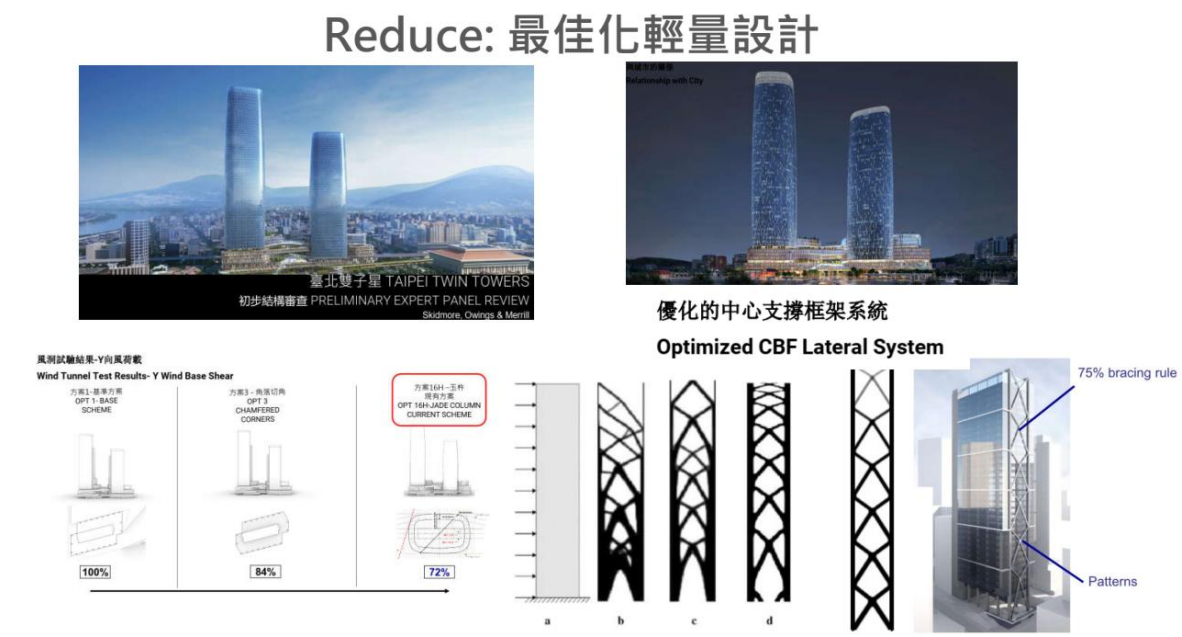
資料來源:交通部公路總局

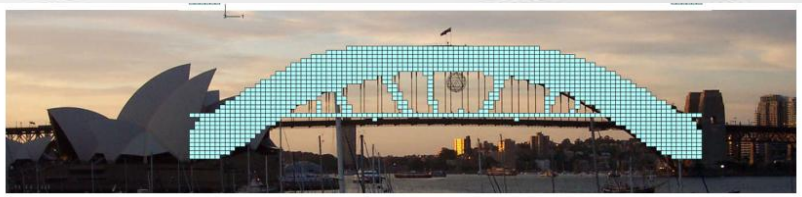
9/12 2024 | 13:30-16:30

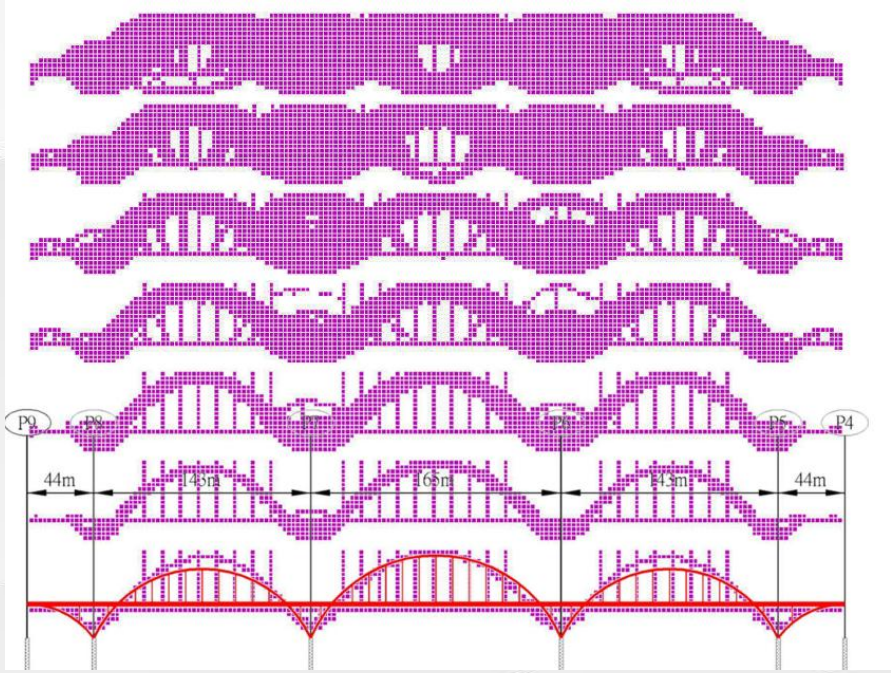
臺大醫院國際會議中心201廳
（台北市中正區徐州路2號）

循環經濟策略: 輕量化設計

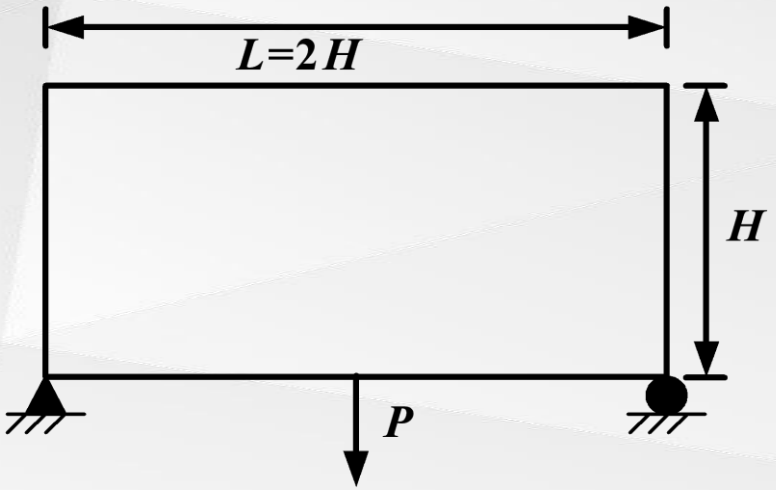
結構最佳化/輕量化設計 (呂良正研究群)

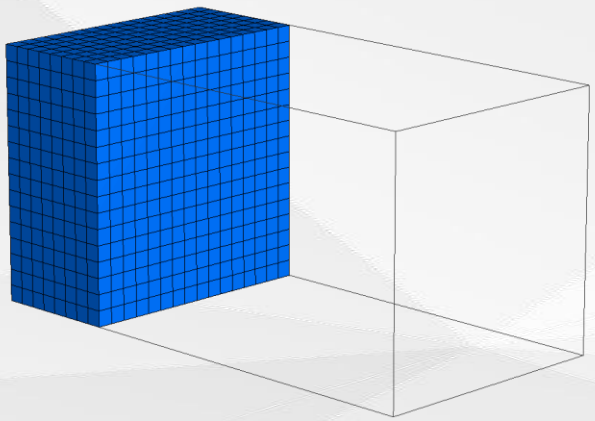


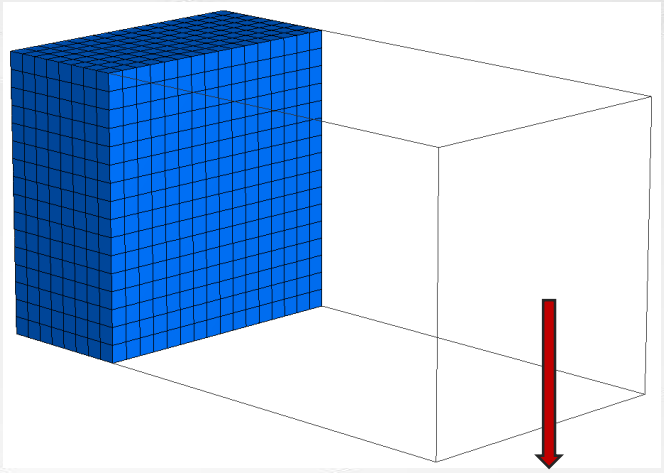


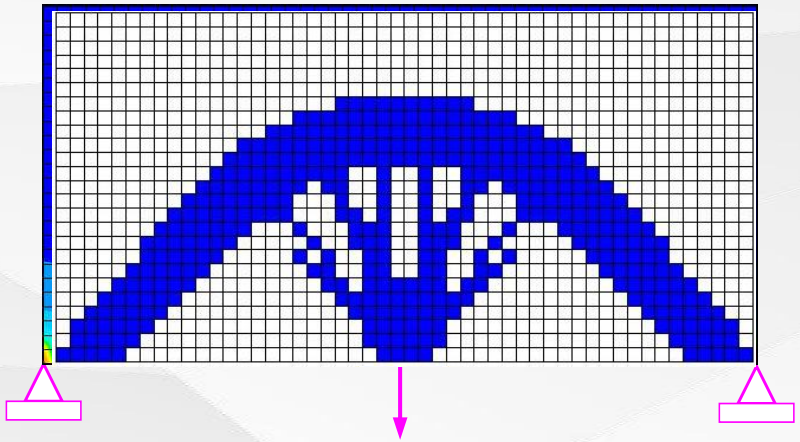


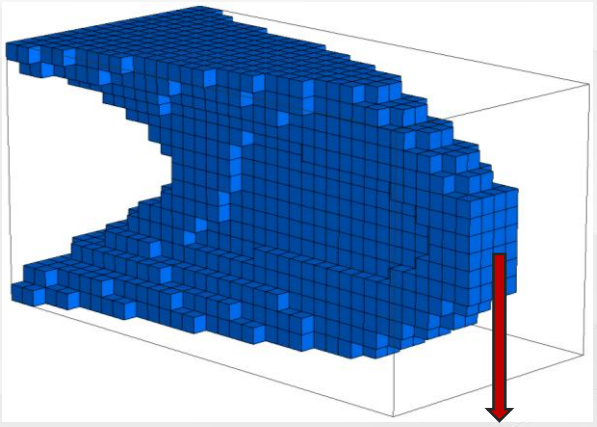
循環經濟策略: 輕量化設計





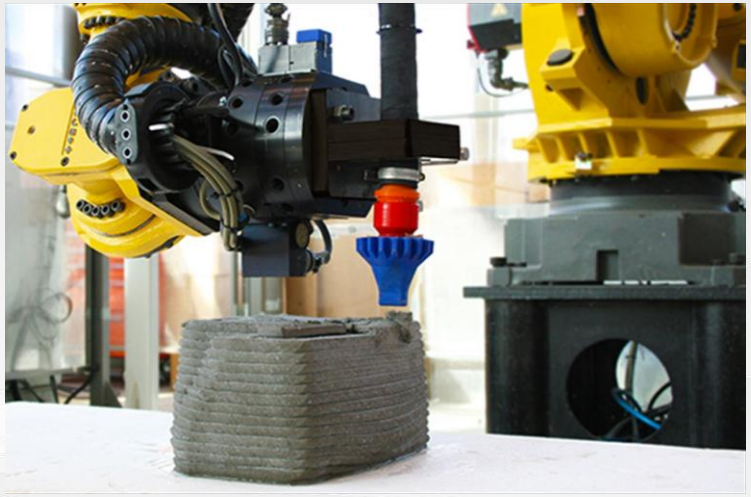


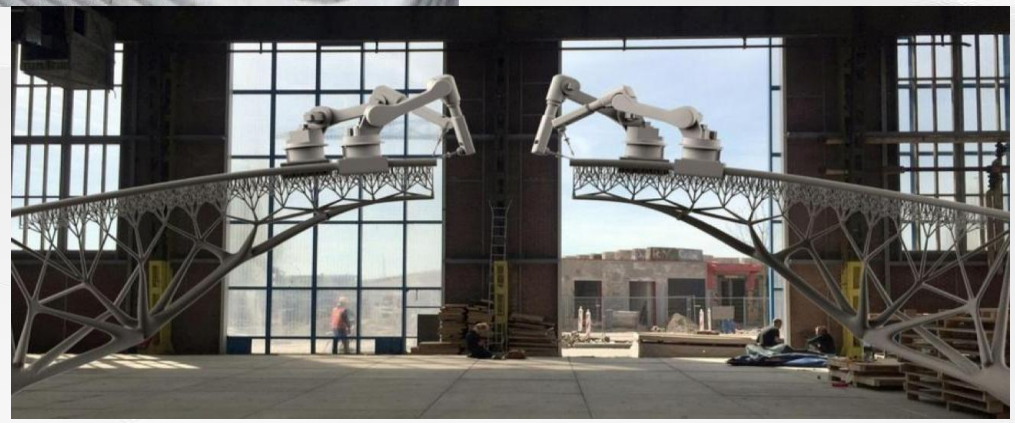




循環經濟策略: 蓋的更有效率

營建自動化、預鑄、3D列印....



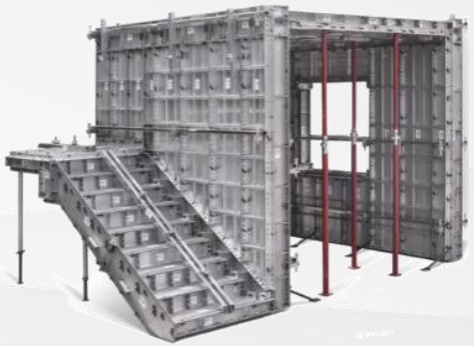


循環經濟策略: 鋁模板的減碳與循環經濟效益

- 目前台灣鋁模板市場的占有率約為1%，鋁模板面積的保有量約為40萬m^2 。
- 鋁模板可提升建築施工效率，縮短工期、降低施工成本，可以有效減少水泥砂漿的用量及木模板廢棄物的產生，達成營建廢棄物減量及減碳目標。
- 以鋁合金系統模板耐用度高，耐用次數超過100次，專案結束之後，鋁合金模板經過整理，約有70%的鋁合金模板可移轉至下一個專案使用。

鋁合金模板（以使用100次計算）系統工法之總碳排量如下

原料開採		原料運輸		產品生產		成品運輸				廢棄回收		生命週期總碳排量
C1		C2		C3		C4(C4a+ C4b)				C5		TCE
3.050	+	0.083	+	0.072	+	0.002	+	0.506	+	0.108	=	3.821



(營造天下196期, 2024)

從國際現況到台灣實踐：鋁模板在營建業中的減碳與循環經濟效益

／江易模　豐譽聯合工程股份有限公司高級主任
／洪文杰　豐譽聯合工程股份有限公司經理
／謝佶燁　豐譽聯合工程股份有限公司董事長
／呂良正　國立臺灣大學土木工程學系教授

申請案生命週期總碳排量 TCE = 3.821 ($kgCO_2e/(m^2 \cdot 次)$)

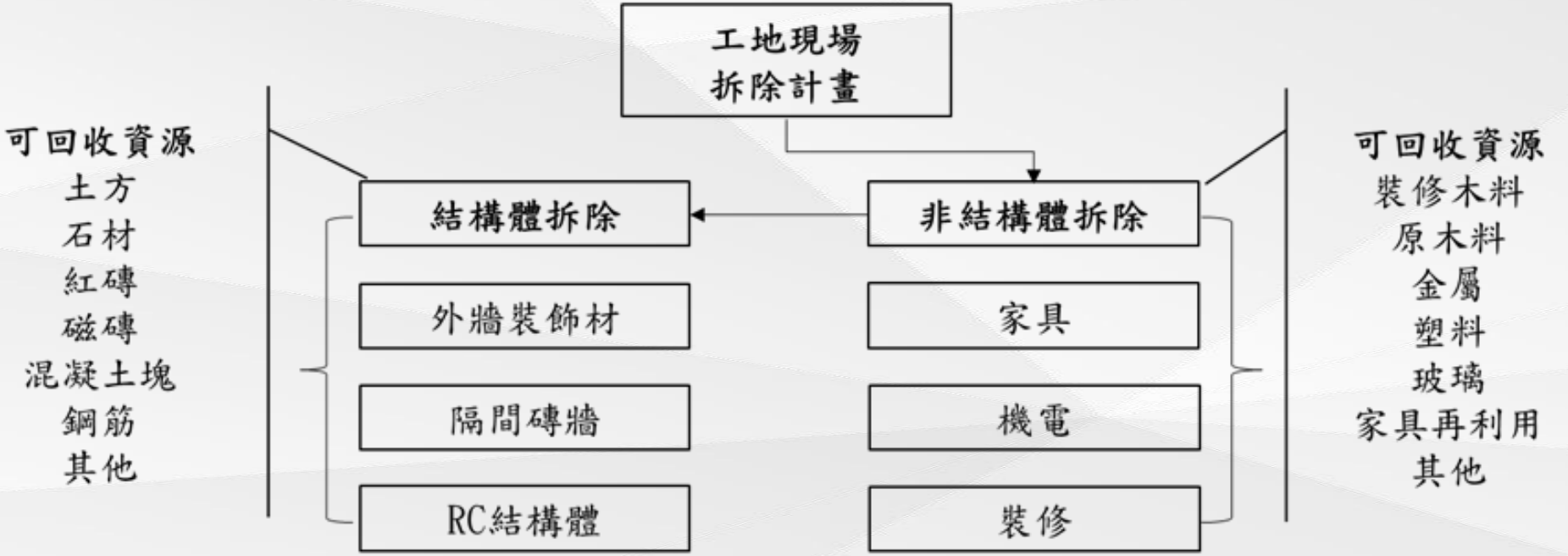
木模板(以使用6次計算)含泥作工程之總碳排量為 10.404 ($kgCO_2e/(m^2 \cdot 次)$)

循環經濟策略: 城市採礦、 建材銀行與循環經濟的關係

營建混合物(廢棄物)的去向? ? ?

循環經濟策略: 城市採礦、建材銀行與循環經濟的關係

建築物拆除流程及可回收資源分類(源頭管理)-分離式拆除工法




紅磚回收

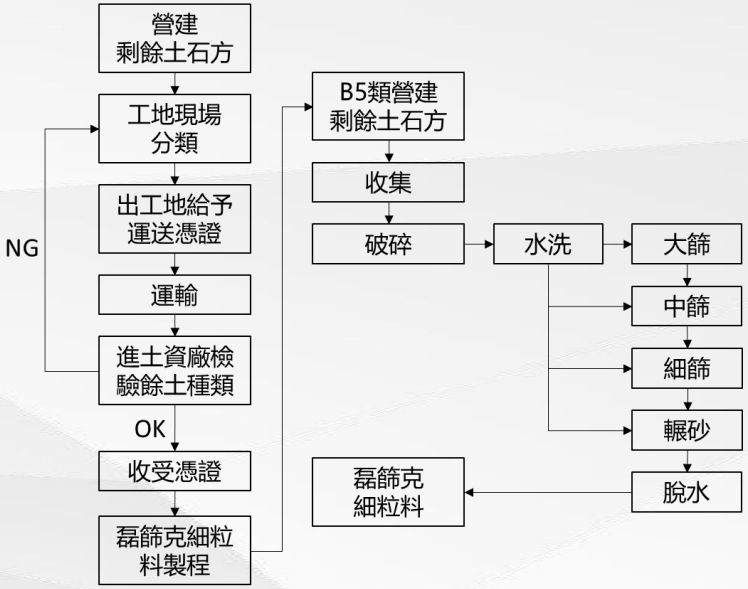

外牆磁磚回收

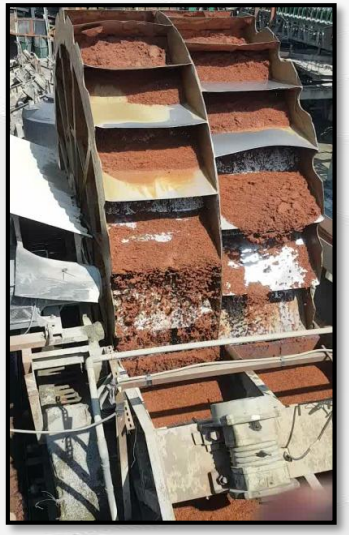

土石回收


鋼筋及混凝土回收

循環經濟策略: 城市採礦、 建材銀行與循環經濟的關係

磊篩克(康固力)粒料產製流程





泥餅為陶粒主要原料來源

循環經濟策略: 城市採礦、建材銀行與循環經濟的關係

磊篩克多孔粒料應用 (作為混凝土粒料可以減碳?)

- 可取代天然粒料產製中高強度結構用混凝土，相較天然粒料混凝土展現較佳的抗裂特性。
- 可以建構以回收材料為主的「新型水資源循環灌溉植生系統」，應用於農業種植領域。

粉刷底層砂

粉刷面層砂

「綠色環保智慧型農場」縮尺模型

磊篩克多孔粒料取得C2C國際循環經濟標準認證 (2021)

評估指標	等級
材料循環性 Material Reutilization	材料健康與安全性	Bronze(銅級)
材料健康性 Material Health	材料循環再利用性	Gold(金級)
再生能源 Renewable Energy	再生能源與碳管理	Bronze(銅級)
水資源管理 Water Stewardship	水資源管理	Platinum(白金級)
社會公平性 Social Fairness	社會公平性	Bronze(銅級)
綜合等級	Bronze(銅級)

CRADLE TO CRADLE PRODUCTS INNOVATION INSTITUTE

LICENSED MARKS:

CERTIFIED cradletocradle BRONZE

Cradle to Cradle Certified™ Bronze

THE LICENSED MARKS IDENTIFIED ABOVE MAY BE LICENSED TO:

XING LEI RECYCLING CO., LTD.

FOR THE BELOW LISTED CERTIFIED PRODUCTS ASSOCIATED WITH THE NAME:

Recycled Porous Aggregate

Peter Templeton

Cradle to Cradle Products Innovation Institute

START DATE 06 July 2021

CERTIFICATION # 4918

EXPIRATION DATE 05 July 2023

LEAD ASSESSMENT BODY: EPEA GmbH - Part of Drees & Sommer

EPEA PART OF DREES & SOMMER

Only the following products are considered Certified Product(s) within the scope of this certification and the associated Trademark License Agreement:

Recycled Porous Aggregate

Horticultural and agricultural applications are outside the scope of certification.

Certified under Version 3.1 of the *Cradle to Cradle Certified™* Product Standard
Use of Licensed Marks is subject to terms and conditions of the C2CPII Trademark License Agreement and Trademark Use Guidelines.
Cradle to Cradle Certified™ is a registered trademark of the Cradle to Cradle Products Innovation Institute

銅級認證證書

磊篩克多孔細粒料取得綠建材標章

磊篩克多孔細粒料(2022年7月14日)

綠建材標章證書

綠建材標章證書字號：GBM0102801

申請廠商：長惟工業股份有限公司
申　請　人：林元吉
廠商地址：新北市鶯歌區中正三路 156 巷 26 號
產品名稱：混凝土粒料
產品型號：磊篩克多孔細粒料
生產廠址：新北市鶯歌區橋子頭三段 274 地號
有效期限：自 111 年 7 月 14 日至 114 年 7 月 13 日止
合格項目：再生綠建材
試驗項目：篩分析、土塊及易碎顆粒、小於試驗篩 75μm CNS386-1 之物質、煤及褐炭、水溶性氯離子含量、有機不淨物、健度

內政部 部長 徐國勇

中 華 民 國 111 年 7 月 14 日

康固力細粒料(2024年6月25日)

綠建材標章證書

綠建材標章證書字號：GBM0103414

申請廠商：長惟工業股份有限公司
申　請　人：林元吉
廠商地址：新北市鶯歌區中正三路 156 巷 26 號
產品名稱：混凝土粒料
產品型號：細粒料
生產廠址：新北市鶯歌區橋子頭三段 274 地號
有效期限：自 113 年 6 月 25 日至 117 年 6 月 24 日止
合格項目：再生綠建材
試驗項目：篩分析、土塊及易碎顆粒、小於試驗篩 75μm CNS386-1 之物質、煤及褐炭、水溶性氯離子含量、有機不淨物、健度

內政部 部長 劉世芳

中 華 民 國 113 年 6 月 25 日

循環經濟策略：沙崙智慧綠能循環住宅園區

全臺第一座循環住宅「台糖沙崙智慧綠能循環聚落」，導入建材銀行、以租代買等循環利用思維，打破建築業從原料開採到廢棄的線性經濟。

2022金點設計獎 - 年度最佳設計獎
2021全球循環經濟設計獎
2020臺灣循環經濟獎-創新服務獎典範獎
2019國家卓越建設獎 - 規劃設計類
2018世界建築獎 (WAF) -入圍
低碳建築鑽石級、智慧建築黃金級、綠建築鑽石級標章

未來發展藍圖

1.發揚循環經濟理念，使建築物自設計至拆除之生命週期，皆朝可再利用、再復原、再維修、減廢節能等方向邁進，逐步建立循環建築至循環城市之相關系統及平台。

2.建築設備材料以「使用權取代所有權」、「以服務代替擁有」之嶄新商業模式、追求資源永續再利用，提升經濟效益，進而影響設備製造業改變產業設計思維及營運模式。

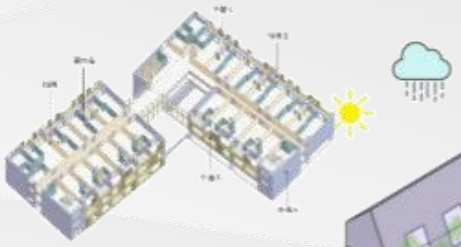
資料來源:台糖沙崙智慧綠能循環住宅園區簡報資料(2021)

循環經濟策略：沙崙智慧綠能循環住宅園區

循環建築導入

建材銀行

- 建材護照
- 預鑄化
- 模組化
- 可回復的建築設計



創新商業模式

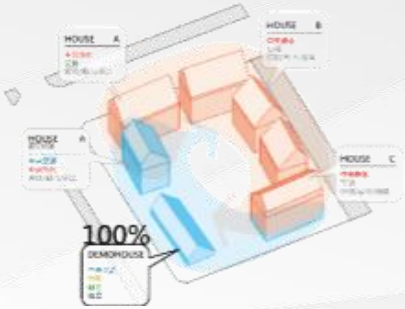
- 租賃服務

水循環系統

- 雨水收集
- 中水處理

能源循環及智慧系統

- 再生能源(太陽能)
- 節能策略
- 智慧監控



食物循環

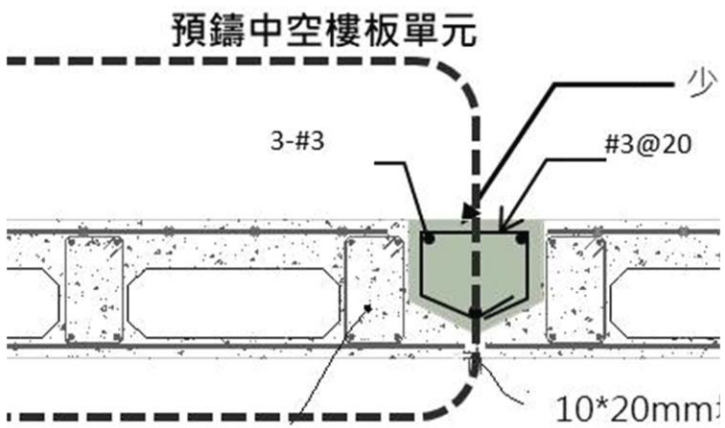
- 都市農園
- 共享廚房
- 可食地景

資料來源:台糖沙崙智慧綠能循環住宅園區簡報資料(2021)

循環經濟策略：沙崙智慧綠能循環住宅園區

施工構造

- 鋼材為主的全案建築物，CO_2排放量比一般RC構造減少
- 採用鋼骨結構、預鑄樓板、預鑄外牆、模組化金屬牆及欄杆



乾式施工及深遮簷設計

明管與外牆造型整合

模組化中空樓板

Demo House/BIM技術建立建材護照

資料來源:豐譽企業團隊簡報資料

循環經濟策略：沙崙智慧綠能循環住宅園區

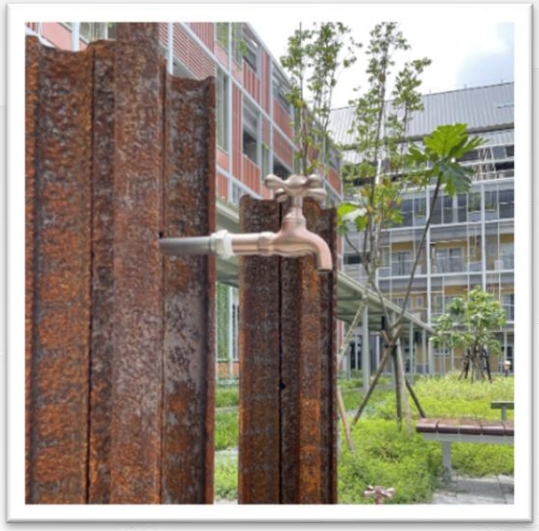
再生建材

- 回收台糖軌道鋼軌作為入口圍欄
- 回收老龍柏木頭做為住戶門牌
- 台糖廢棄房舍檜木重製成家具

回收老龍柏木頭

重製住戶門牌

回收台糖軌道鋼軌



重製入口圍籬

廢棄房舍檜木重製成座椅

資料來源:豐譽企業團隊簡報資料

循環經濟策略：沙崙智慧綠能循環住宅園區

執行成果：減碳效率

依據財團法人台灣建築中心審定 候選**低碳建築鑽石級**標章

60年生命週期期間建築減碳量總計約**2萬**公噸

本案相較同規模案件的減碳百分比為 **23%**，

- 預鑄外牆減碳約169公噸
- 高品質施工減碳約3,679公噸
- 太陽光電系統減碳約4,840公噸
- 熱泵系統減碳約1,523公噸
- 照明系統減碳約3,768公噸
- 保水減碳量約1,352公噸
- 室內綠建材系統減碳量約884公噸

依據能源局_109年太陽光電6.5GW達標計畫簡報數據，

本案每年平均的減碳量為329,541 KgCO2e，

以台北市大安森林公園每年的二氧化碳吸收量389,000 Kg換算，

本案每年的減碳量相當於**0.85座大安森林公園**

資料來源:豐譽企業團隊簡報資料

循環建築要能量化: 循環度計算- 台南台糖沙崙循環宅

D棟地上層之重量和循環度

層次	重量 (公斤)	重量 比例	營造階段 循環度	使用階段 循環度	拆除階段 循環度	全階段 循環度
結構	924,698	58%	7%	100%	68%	45.0%
外殼	250,174	16%	7%	100%	71%	47.3%
室內	86,055	5%	22%	100%	51%	46.8%
設備	49,529	3%	9%	100%	74%	48.6%
景觀	282,963	18%	28%	100%	11%	27.1%
全部	1,593,421	100%	12%	100%	57%	42%

資料來源:豐譽企業團隊簡報資料

低碳水泥: 石灰石水泥 (PLC)

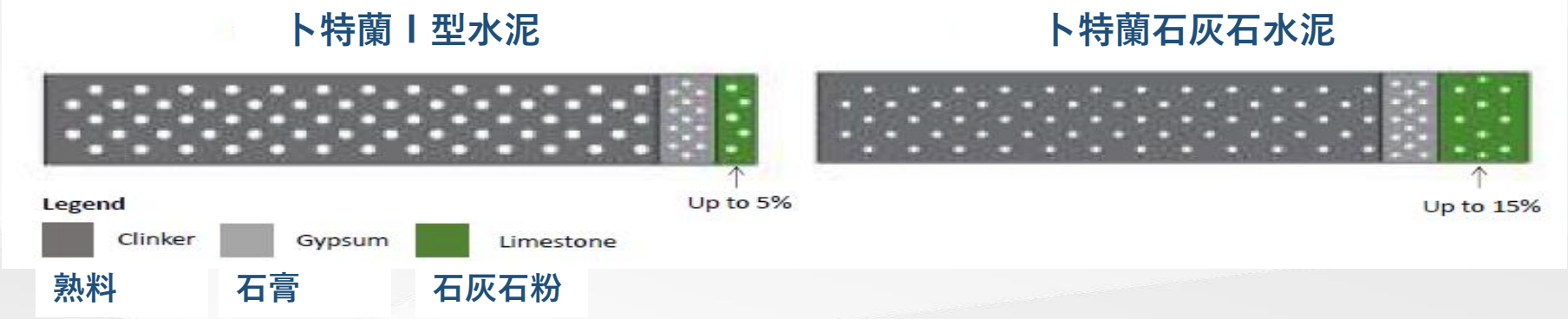
■ 波特蘭熟料水泥的替代主要有二類

- ◻ 水淬高爐爐碴粉、飛灰 替代 卜特蘭水泥 → 技術成熟
- ◻ 高細度石灰石粉 替代 水泥熟料 → **卜特蘭石灰石水泥(PLC)**

NEW

■「卜特蘭 I 型水泥」VS「卜特蘭石灰石水泥」

- ◻ CNS61-2021年版，卜特蘭水泥允許添加5%以內之石灰石
- ◻ 卜特蘭石灰石水泥亦可同時符合CNS61卜特蘭 I 型水泥之物理性質規定

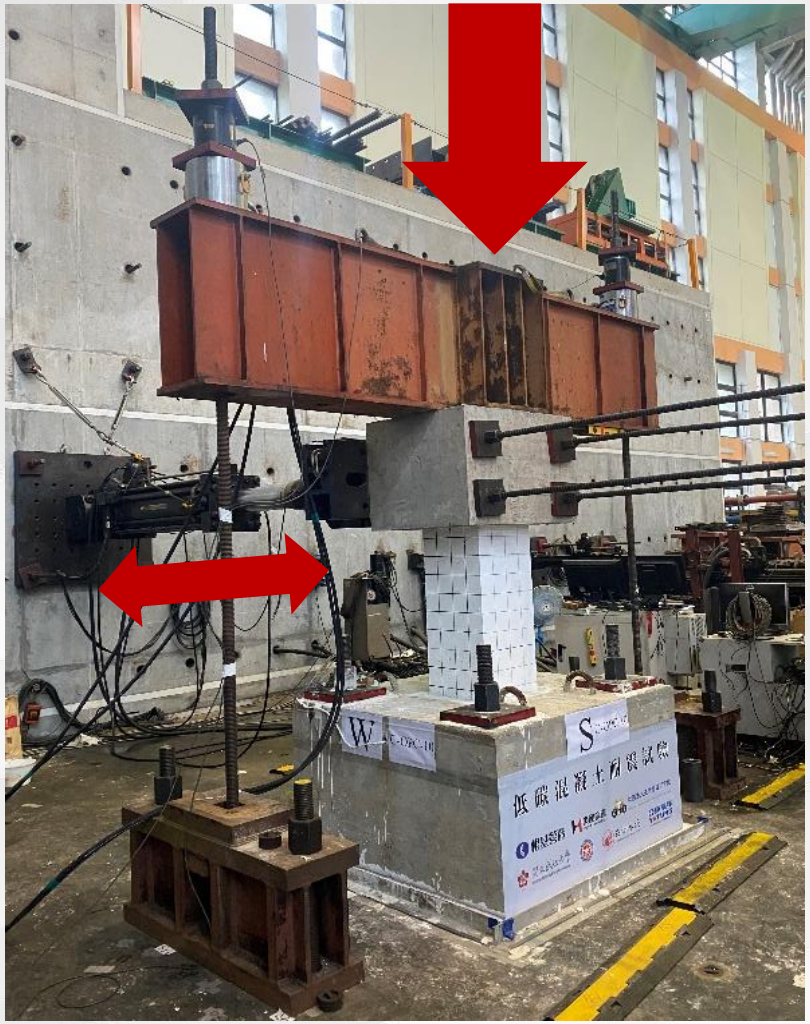


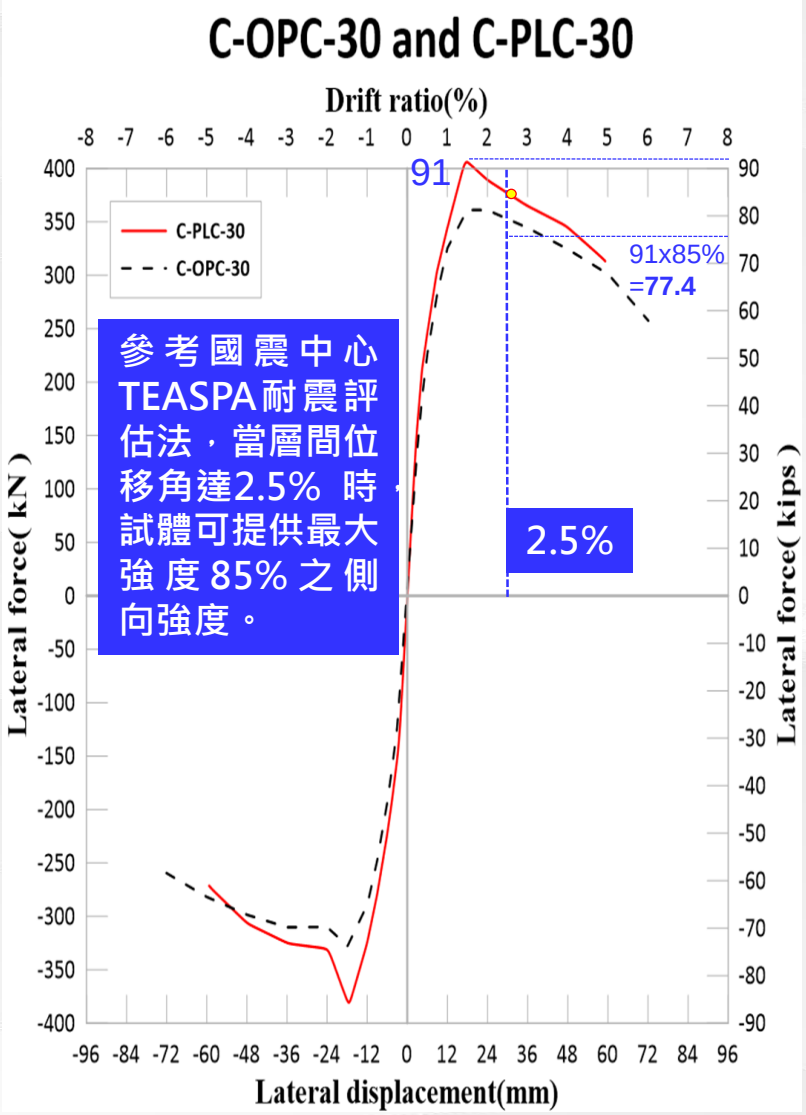
石灰石水泥與一般水泥混凝土比較：性能幾乎相同

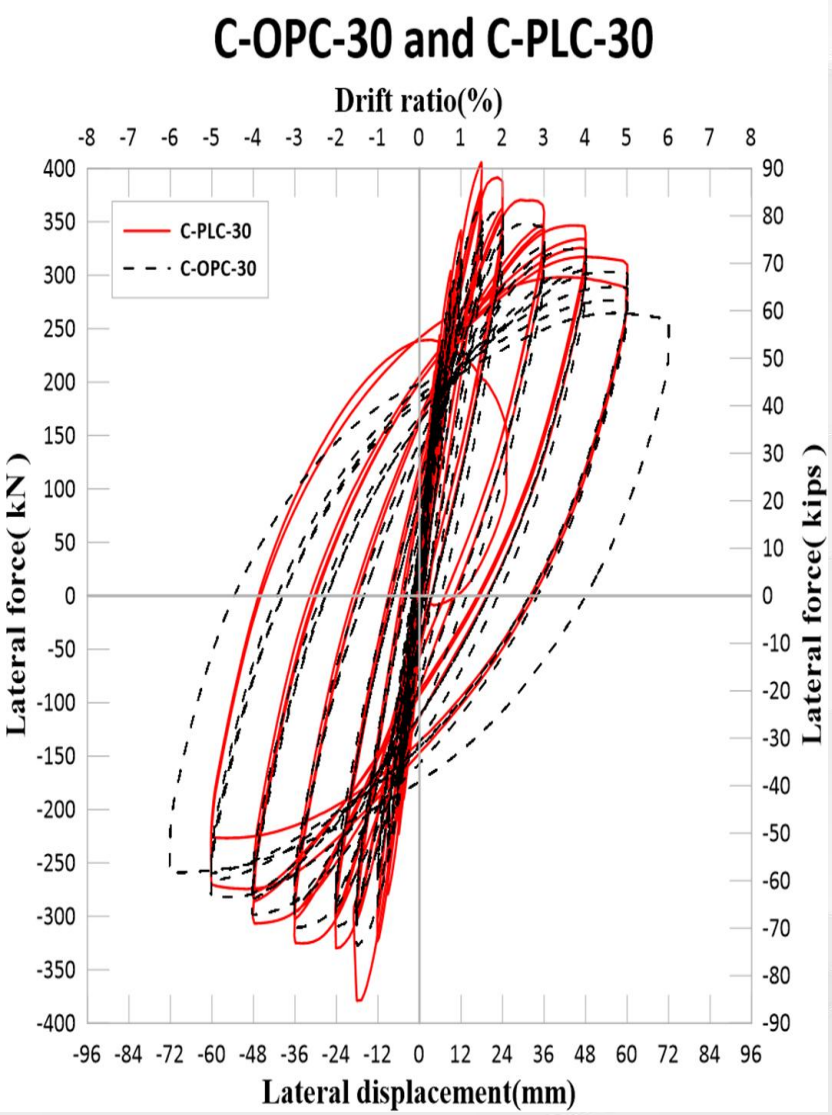
項目	石灰石水泥(PLC)混凝土 vs Ⅰ型水泥混凝土
工作性(坍度、坍損)	與Ⅰ型水泥混凝土相當或P略佳
泌水率	與Ⅰ型水泥混凝土相當或P略佳
凝結時間	PLC混凝土較短，初凝約減少0~1.7小時，終凝約減少0~2.8小時。
抗壓強度	PLC混凝土3天及7天抗壓強度略高於I型水泥混凝土，28天後則相當，添加35%S+15%F和50%S表現更佳
彈性模數、劈裂強度	與I型水泥混凝土相當或略佳
乾燥收縮、自體收縮	與Ⅰ型水泥混凝土相當
抗硫酸鹽能力	PLC混凝土略差，同Ⅰ型可透過添加礦物摻料改善
抗氯離子能力	與Ⅰ型水泥混凝土相當
不同粒料之影響	與Ⅰ型水泥混凝土一致

石灰石水泥與一般水泥混凝土 柱耐震試驗-柱軸壓比0.3

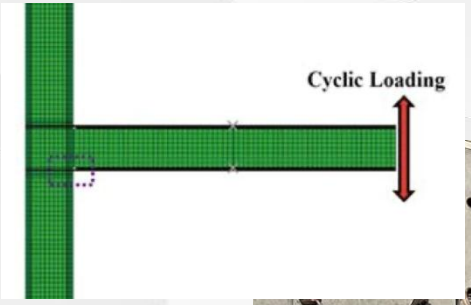
低樓層
大軸力

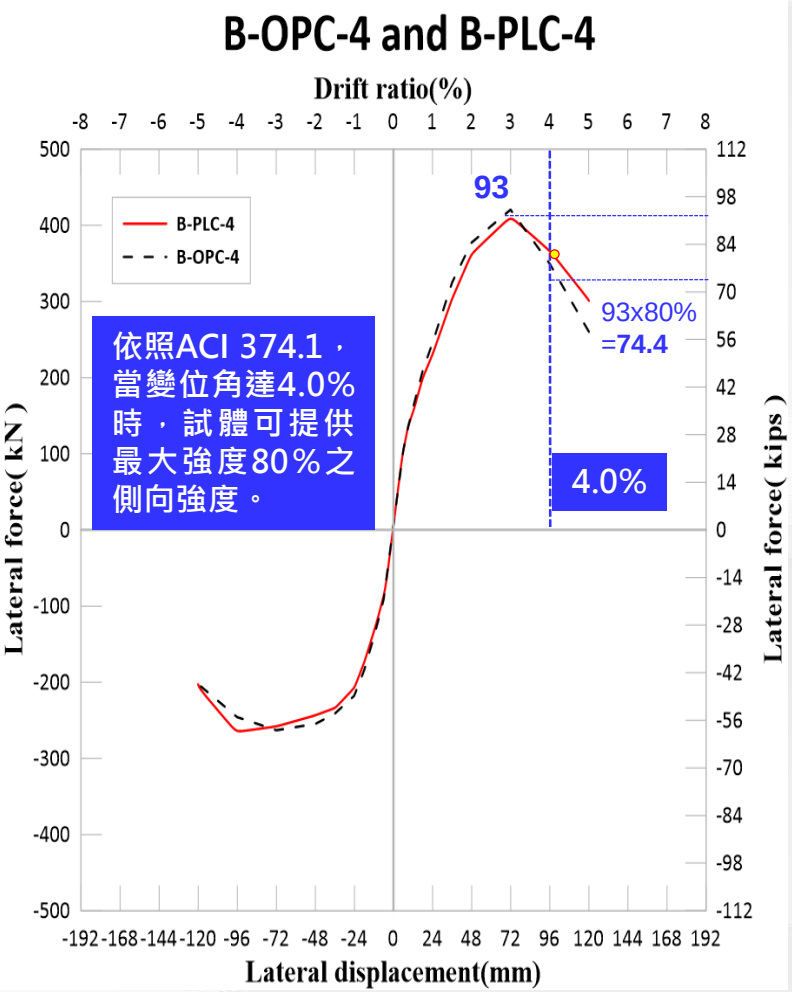


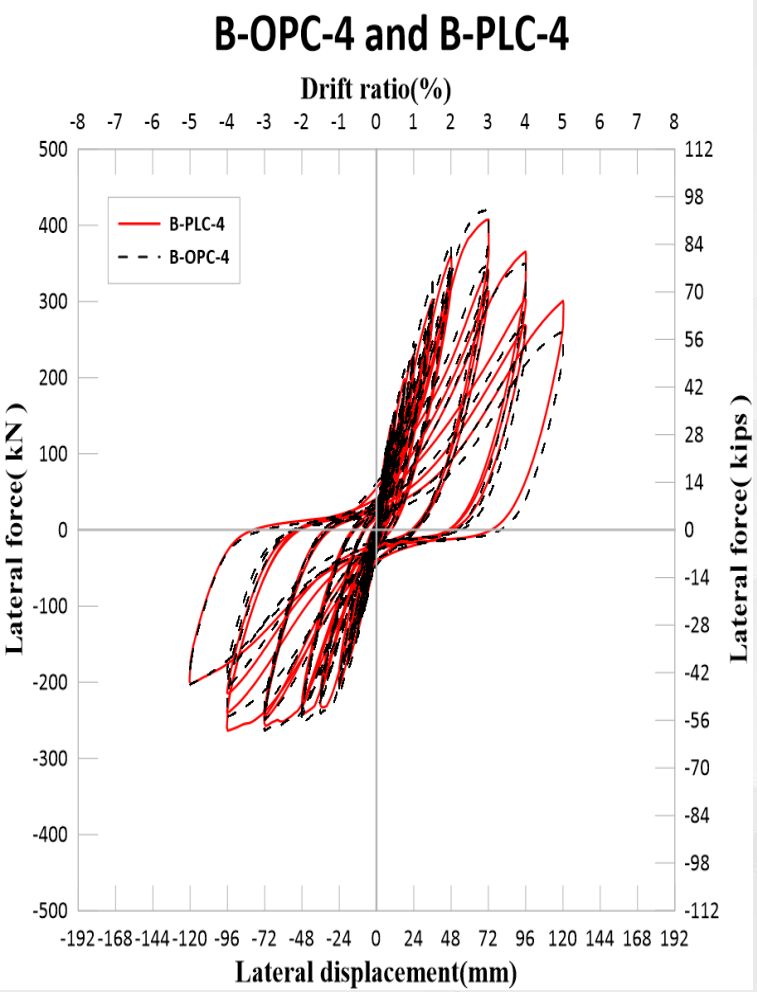




石灰石水泥與一般水泥混凝土 梁耐震試驗-跨深比4(長梁)







爐石飛灰高摻量替代水泥之實例

台北雙子星捷運共構層

表 2.5-1、亞東 84N 柱內灌漿混凝土配比

配比編號	設計強度 (N/mm²)	水灰比	水 (kg/m³)	水泥 (亞泥二型) (kg/m³)	爐石 (kg/m³)	矽灰 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	附加劑 (kg/m³)
784252	84	0.269	150	232 40%	323 55%	25 5%	845	811	6.09
	膠結材總量 =580 kg/m³						含砂率 = 49.50%		
	配比總重 =2392 kg/m³						粗骨材比例= 0.320		

新拌混凝土吸碳技術

- CarbonCure 已與全球 25 個國家近300多家混凝土生產商合作。
- 可節省生產成本，獲得具有競爭力的銷售優勢，並減少建築環境的碳足跡。

402,938.2

metric tons

Total CO_2 emissions saved with CarbonCure

減少二氧化碳的排放總量

6,225,638

Truckloads delivered with CarbonCure concrete

交付混凝土車次

129,889.1

metric tons

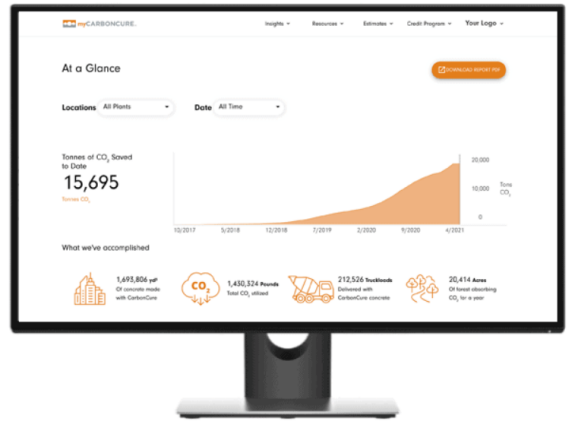
CO_2 emissions saved with CarbonCure in the previous 365 days

過去1年減少二氧化碳的排放量

1,972,113

Truckloads delivered with CarbonCure concrete in the previous 365 days

過去1年交付混凝土車次



利用工業所排出的二氧化碳來減少混凝土的碳足跡，同時不影響耐久性或性能。

資料來源: www.carboncure.com

新拌混凝土吸碳技術

二氧化碳被工業氣體製造廠捕獲並運送到預拌混凝土廠

收集

從大型工業廠收集CO_2

純化

氣體由工業製造商淨化

交貨

CO_2運送到預拌混凝土廠

貯存

CO_2儲存在廠端的加壓罐中

資料來源: www.carboncure.com

新拌混凝土吸碳技術

與現有預拌混凝土廠進行結合與改造

安裝

在廠端中安裝 CarbonCure 設備

整合

CarbonCure 軟體與廠端進行整合

注入 14 kg CO_2 /m^3

於拌合時注入CO_2於混凝土

資料來源: www.carboncure.com

新拌混凝土吸碳技術

亞馬遜第二總部Amazon's Second HQ (HQ2)

Arlington, VA United States

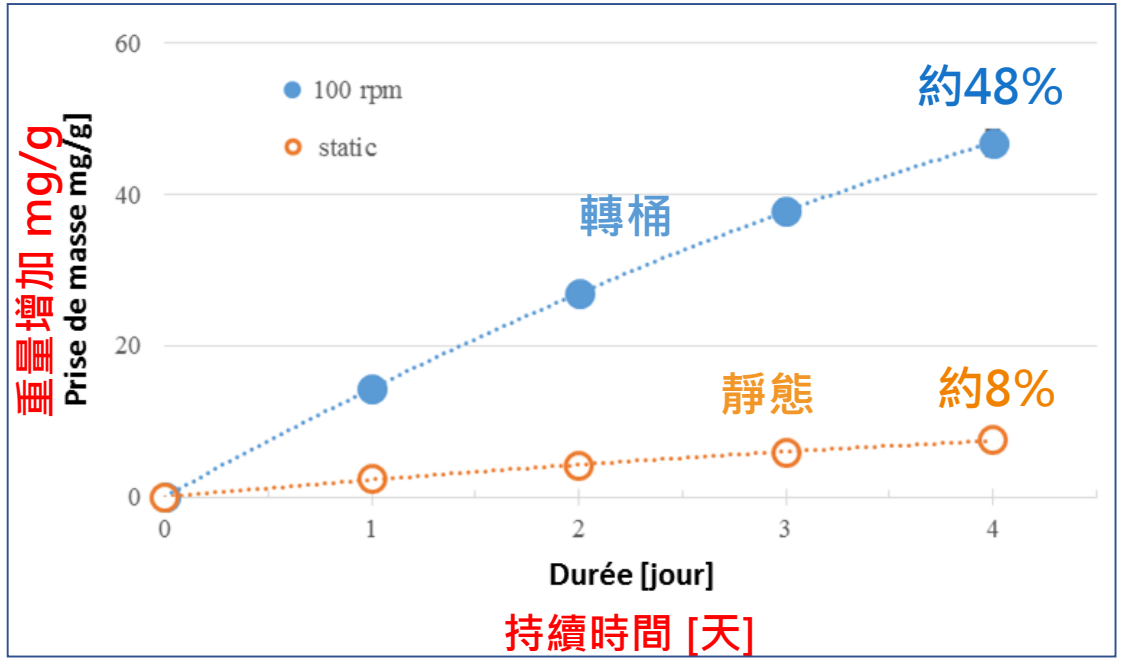
- 使用約 81,467 立方公尺的混凝土
- 二氧化碳儲存約 1,144,000 kg (每立方公尺儲碳 14 kg)
- 混凝土結構的碳足跡至少比其他建築減少了20%

亞馬遜公司為先行者聯盟成員之一，承諾在2040年達成淨零排碳目標，指定CarbonCure作為其低碳混凝土規範，以滿足企業的永續發展目標

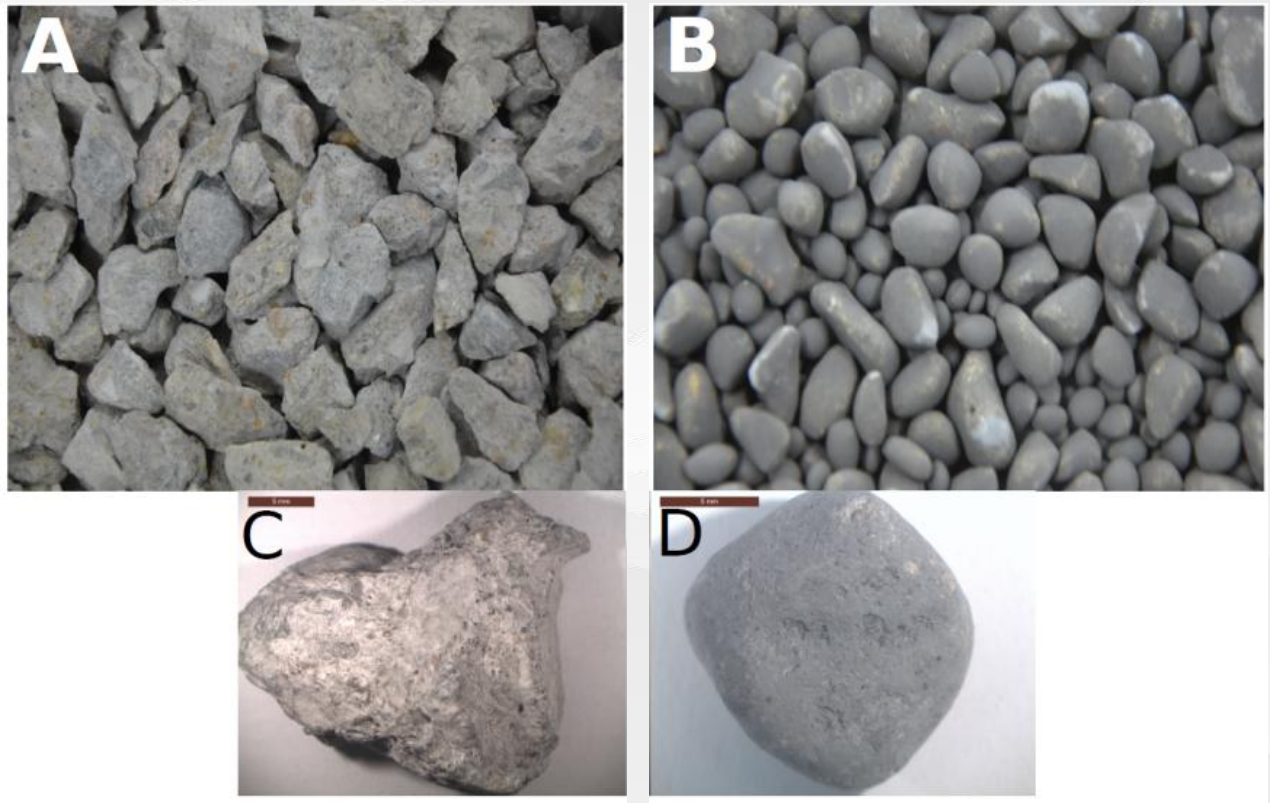
價值25億美元的亞馬遜第二總部混合使用大量木材、低碳混凝土、電氣化能源營運和綠色空間，是全球獲得 LEED 白金評級的最大專案。

資料來源: www.carboncure.com
woodcentral.com.au/amazon-hq2-mass-timber-urban-greening-drives-carbon-reduction/

廢棄混凝土吸收二氧化碳: 再碳酸化技術 (Carbonation)



碳化前 (A, C) 和碳化後 (B, D) 粒料的外觀



靜態和動態(100 rpm) 時 ，CO_2 儲存情形

- 轉桶方式有助於清除混凝土表面附著之砂漿，該過程加速了碳化過程，在相同時間與靜態相比，動態可增加約 6 倍碳酸化。

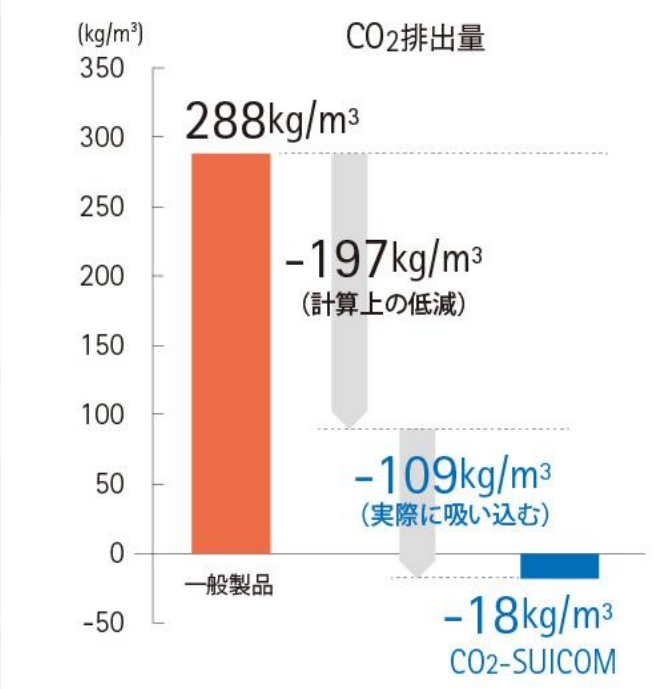
資料來源:fastcarb.fr

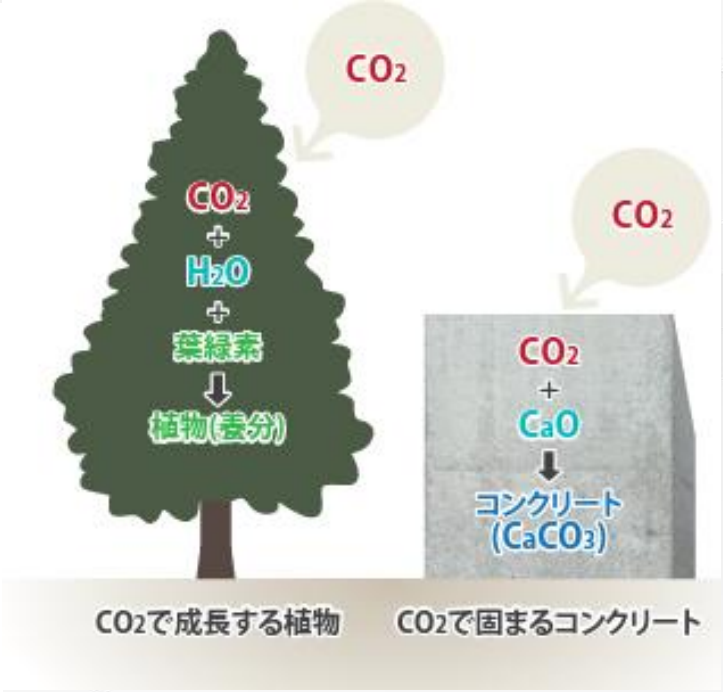
日本混凝土碳封存技術

100年をつくる会社 鹿島

- 一般混凝土生產的CO_2排放量為288kg/m³。
- CO_2-SUICOM可以達成負排放-18kg/m³，生產一立方公尺混凝土吸收的碳，相當於20m高的杉樹一年內吸收的CO_2。

普通混凝土的pH值較高(12-13)，但CO_2-SUICOM通過碳化反應使混凝土的pH值接近中性，使其成為對植物和有機體友好的材料。



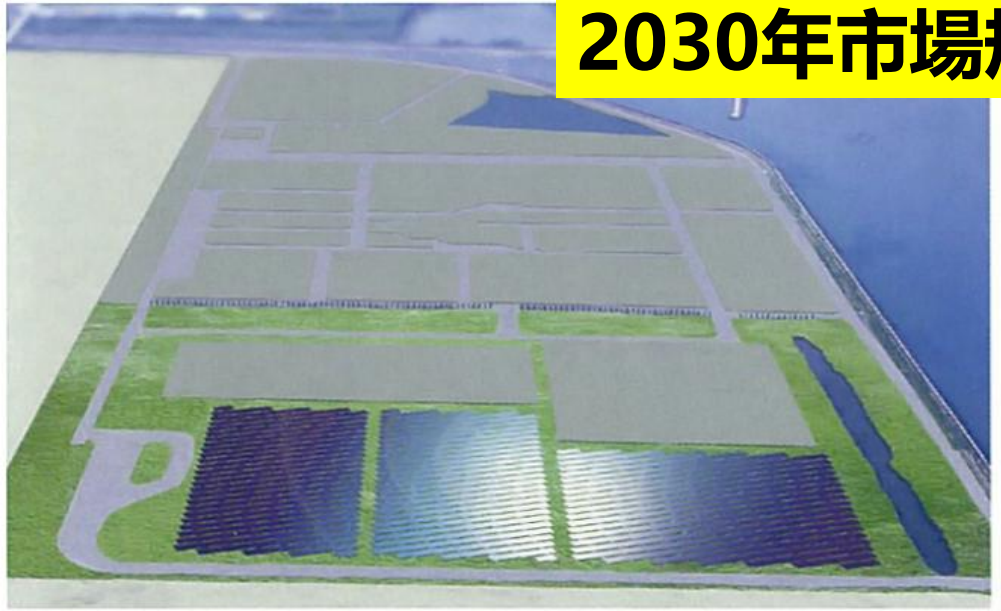


W/C=50%の各種セメントペーストと砂or黒土1:1で混合した土壌にコマツナの種子を撒布。

資料來源:www.kajima.co.jp

日本混凝土碳封存技術

2030年市場規模15萬億～40萬億日元



完成イメージパース

設置状況

資料來源:www.kajima.co.jp

6

標章彰顯ESG

營建產業 ESG 的好處

1 提高公司聲譽

透過展現對永續發展和社會責任的承諾，提高聲譽有助於利害關係人信任和長期關係。

2 提高能源效率

實踐ESG可以更有效率運作並節省經費。例如，使用節能設備減少能源消耗和能源費用。

3 開闊新興市場

投資者可能更喜歡ESG表現出色的公司，實施ESG可以幫助公司進入新市場和機會。

4 降低公司風險

有效的風險管理系統和內部稽核保護聲譽和財務。

5 社會正面影響

為社會和環境做出積極貢獻，可以為後代創造更永續和宜居的世界。

資料來源 :UGREEN， ugreen.io/how-esg-can-help-your-construction-business-thrive-in-a-changing-world2024)

營建產業 ESG 的挑戰

1 成本可能提高

實施ESG可能需要額外支出，例如購買節能設備，但從長遠來看通常具有成本效益。

2 缺乏專業知識

公司可能需要專業知識與相關人才，才能有效實踐ESG。

3 抵制公司變革

員工或承包商可能會抵制公司為因應ESG的相關作為。

4 缺乏明確指引

在實踐ESG時需要明確的指引或標準，但公司很難知道從哪裡開始準備或如何評估其績效。

5 公司資源有限

公司可能需要更多幫助(例如時間或預算)，這可能會使實踐ESG變得困難。

資料來源 :UGREEN， ugreen.io/how-esg-can-help-your-construction-business-thrive-in-a-changing-world2024)

展示ESG成果： 相關綠建築標章

- 營建產業在**證明ESG成果面臨困境**，ESG指標不斷發展且因地區和國家而異，不同公司的透明度差異很大。要遵循哪些標準、要衡量什麼指標並不是一項簡單任務。
- 營建產業專案具有一定複雜性，**所面臨的治理問題恐高於其他產業**，使公司面臨訴訟風險。
- 在專案層面上，公司可為建築物的設計和施工**提供可衡量的評鑑或認證**。

BREEAM

歐盟「建築研究發展環境評估工具」係由英國建築研究機構(BRE)發布，是世界第一個建築永續評估方法

LEED

美國「領先能源與環境設計」係由美國綠建築協會發起，為世界上且具公信力的綠建築評級制度

WELL

WELL健康建築標準認證，是全球首部針對室內環境提升人體健康與福祉的建築認證標準

資料來源: www.lawyer-monthly.com/2022/08/esg-what-are-its-effects-on-construction-disputes/(2022)

展示ESG成果: 耐震標章 (不同審查單位標章設計不同)

■ 耐震標章制度簡介：

「耐震標章」係藉由客觀的第三者以獨立公正的立場，針對建築物設計與施工品質進行一系列的察證。旨在協助起造人、監造人、或承造人建造品質優良的建築物，以提升國內建築工程品質與居住安全。

■ 耐震標章(設計)察證重點：

耐震標章(設計)察證項目與結構設計相關者包括結構系統、設計載重、結構材料與規格、開挖擋土安全設施、結構分析、細部設計、結構圖面、施工程序概要等。本工程將依規定配合上述設計階段查證重點完成細部設計書圖。

國立臺灣大學地震工程研究中心 NTU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH
NTU CEER
耐震標章
CERTIFIED SEISMIC CONSTRUCTION

耐震標章
ACCREDITED ASEISMIC BUILDING
中華民國結構工程技師公會全國聯合會

耐震標章
STRUCTURE ACCREDITATION BUILDING

SAB
耐震設計標章
STRUCTURE ACCREDITATION BUILDING

實現淨零排放須從小處著手並逐步推進

Go Climate Positive

Show you mean business on the climate emergency

Go Climate Positive 公司的存在是讓英國中小企業能夠輕鬆應對氣候變遷並為低碳經濟做好準備。

該公司網站引用老子名言

千里之行，始於足下 - 老子

"The journey of a thousand miles begins with one step" - Lao Tzu

千里遠的路程是從邁開腳下的第一步開始。
比喻任何事情的成功，都是由小而大逐漸累積而成的。

資料來源: go-positive.co.uk/go-climate-positive(2024)

謝謝聆聽