

2023 BLM秋季論壇
降低建築物蘊含碳排 (EC)
與營運碳排 (OC) 的挑戰

112年9月15日(五)13:00-17:00
台北矽谷國際會議中心2B國際會議廳

台灣人居環境全生命週期管理學會 2023 秋季論壇
— 降低建築物蘊含碳排(EC)與營運碳排(OC)的挑戰

AECOM

整合式設計助力建築全生命週期碳減排

Promoting Building Life Cycle Carbon Reduction by Applying
IDP (Integrative Design Process)

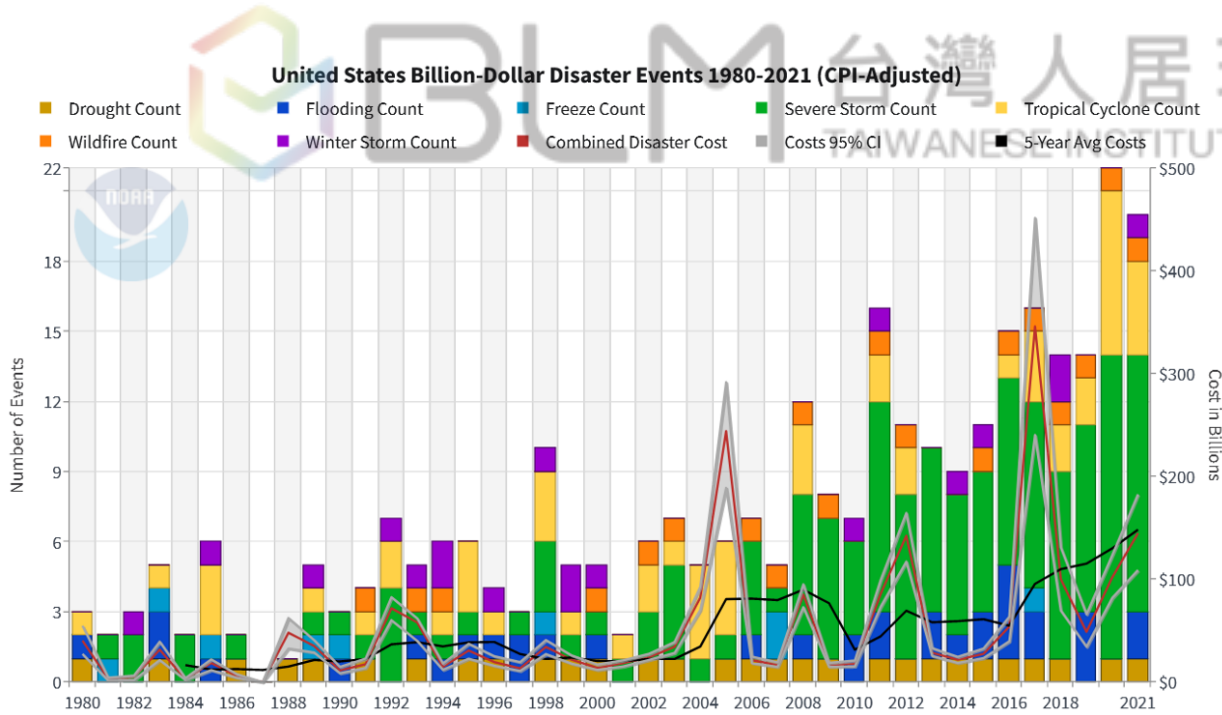
BLM 台灣人居環境全生命週期管理學會
TAIWANESE INSTITUTE OF BUILT ENVIRONMENT LIFECYCLE MANAGEMENT

劉洋

2023.9.15

Taipei

氣候變化成為城市與建築的最大挑戰



Key risks and adaptation options in select cities across Asia

	Central Asia	North Asia	West Asia	South Asia	East Asia		Southeast Asia					
	Tashkent	Salekhard	Riyadh	Ahmedabad	Mumbai	Dhaka	Guangzhou	Shanghai	Kuala Lumpur	Jakarta	Ho Chi Minh City	
Population (thousands of people)	Observed (2020) 916	55	7,281	8,059	20,411	21,006	13,302	27,058	7,997	13,923	8,602	
	Projected (2035) 1,388		9,068	11,295	27,343	31,234	16,741	34,841	10,467	18,649	12,236	
Key risks												
Floods	/	/	●	*	●	●	●	●	●	●	●	
Sea level rise	na	na	na	na	●	●	●	●	na	●	●	
Heat, urban heat island	/	●	●	●	●	●	●	●	●	●	*	
Extreme rain	/	/	●	*	●	●	●	●	●	●	●	
Drought, water scarcity	/	/	●	●	*	●	*	*	●	●	/	
Cyclones	na	na	na	na	○	●	/	●	/	na	/	
Permafrost thaw	/	●	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
Progress												
Institutional	/	●	●	●	*	●	●	●	●	●	●	
Infrastructural	/	●	/	●	●	●	●	●	●	●	●	
Ecosystem-based	/	/	/	●	*	●	●	●	●	●	●	
Behavioural	/	/	●	●	*	/	●	*	*	●	●	
Risk level	○ Large	○ Moderate	○ Small	*								
Progress level	○ High	○ Medium	○ Low	*								
Risk evidence	○ Low	● Medium	● High	/ = Insufficient literature								
Progress evidence	○ Low	● Medium	● High	na = not applicable								

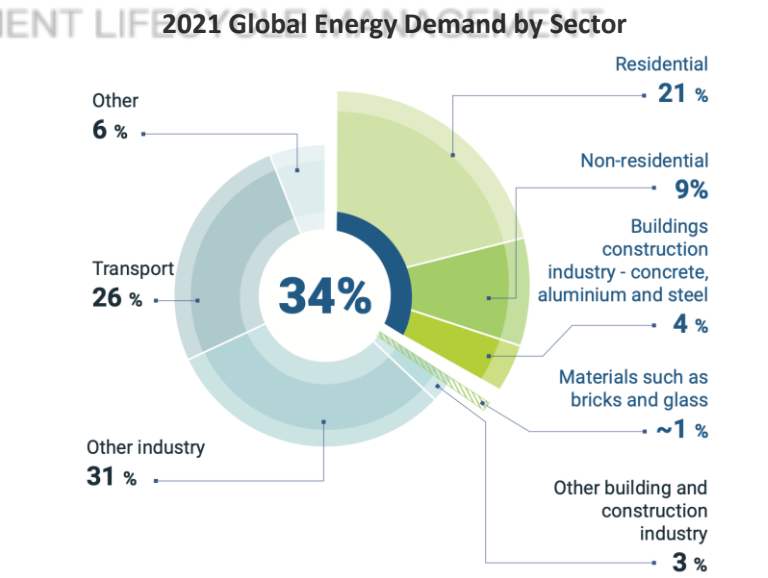
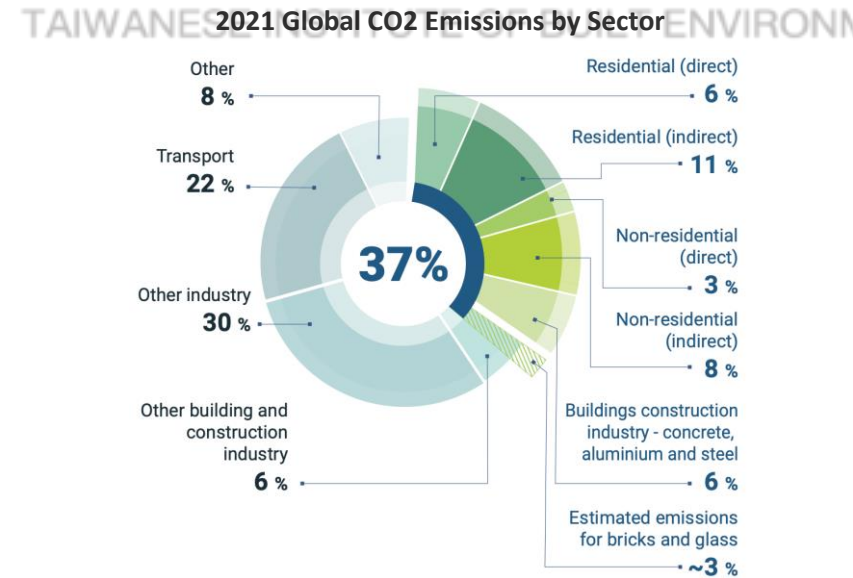
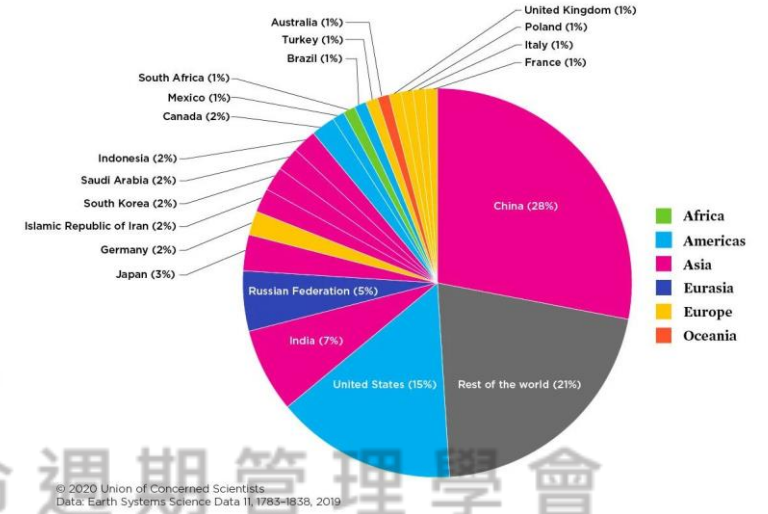
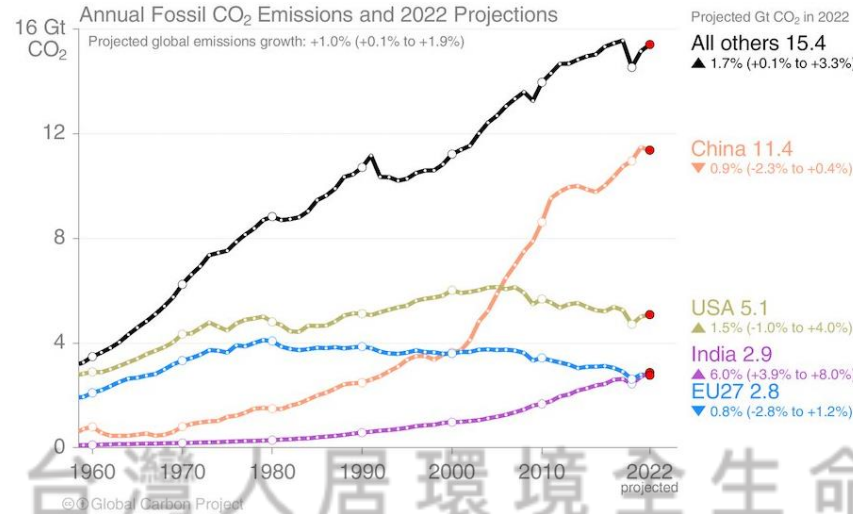
全球碳排放概況 – 聚焦城市與建築

國家

- 全球溫室氣體排放總量約500億噸二氧化碳當量，能源燃燒和工業製程排放近400億噸，照此排放速度，全球1.5度情境下的碳預算在8年內將耗竭。
- 中國溫室氣體排放自2000年以來成長了約3倍，約占全球總量30%，為全球第一大排放國，接近第二名（美國）的兩倍。

產業

- 城市產生超過75%的全球溫室氣體排放，建築產生的碳排佔全球37%，消耗所有電力的50%。
- 2022年，建築物營運所產生的二氧化碳排放量為史上最高，約100億噸二氧化碳，比2020年增加約5%，較2019年出現的上一個峰值高出2%。

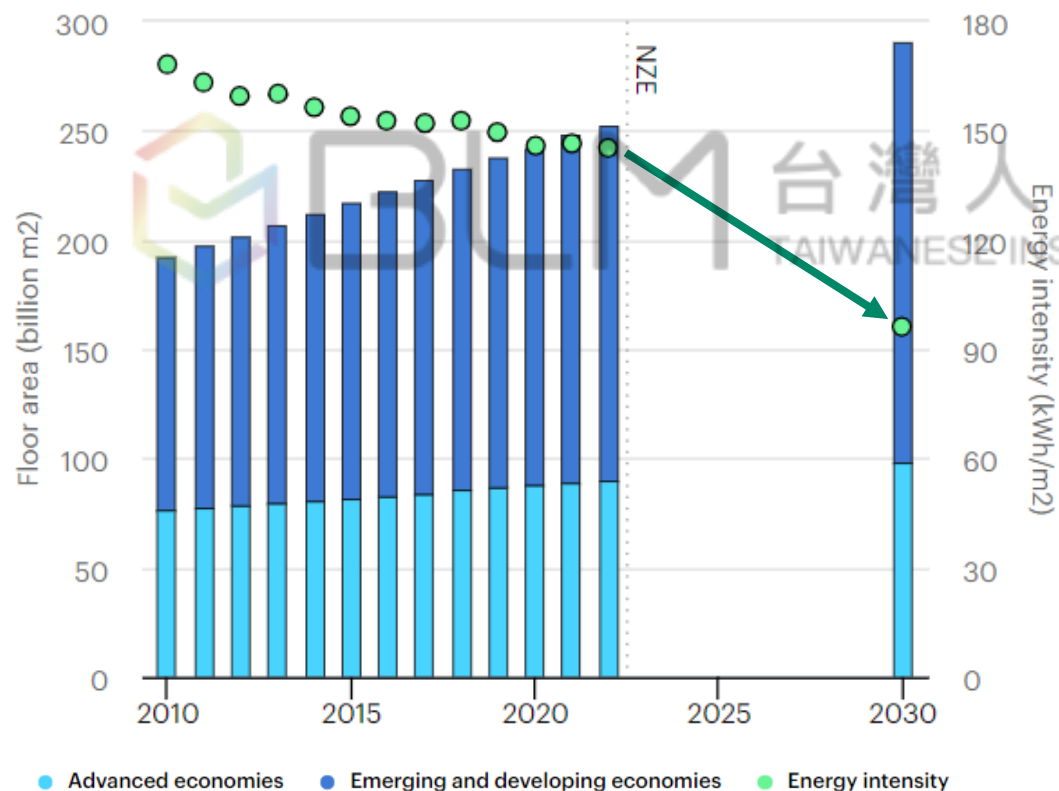


Source: UNEP 2022 Global Status Report for Buildings and Construction

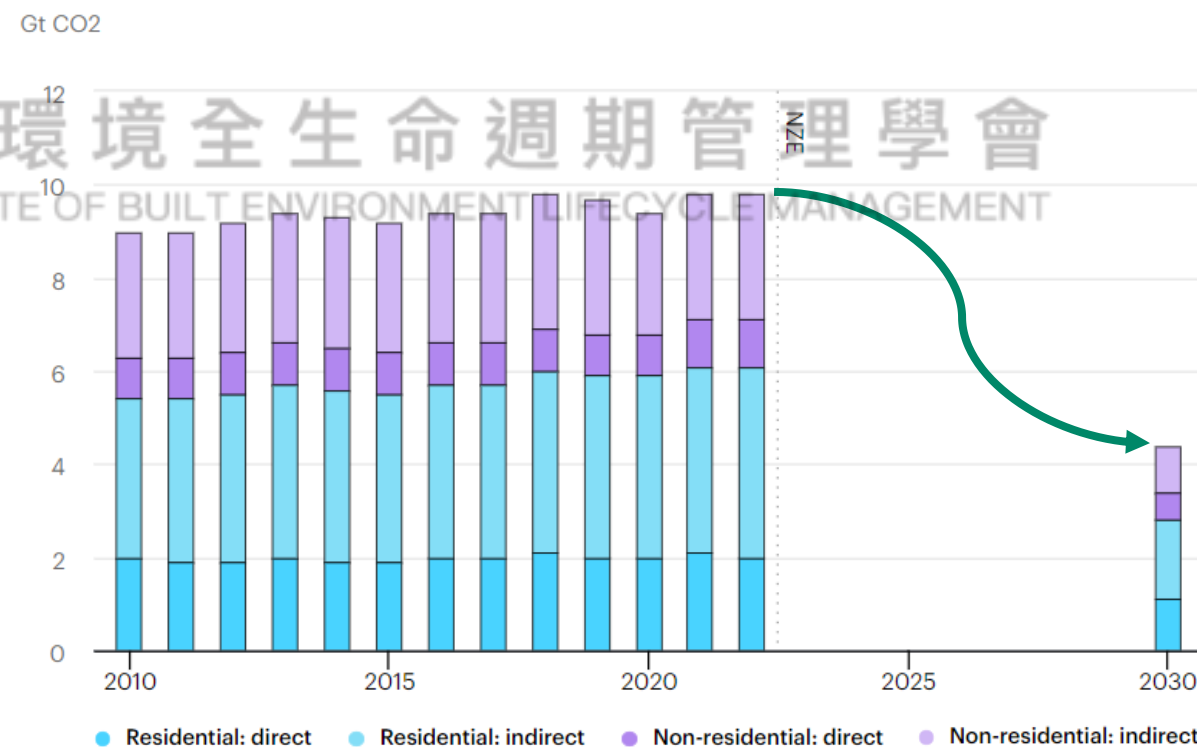
建築行業淨零情境與2030碳減排路徑

- 儘管中國快速城市化進程已接近尾聲，但印度、非洲等地區人口增長和城市化還有很大潛力，全球建築體量將保持增長趨勢。
- 各國不斷提升建築能效之法規要求，未來將結合電氣化與再生能源之使用進一步降低建築單位面積碳排放。

Global floor area and buildings energy intensity in the Net Zero Scenario, 2010-2030



Global CO₂ emissions from the operation of buildings in the Net Zero Scenario, 2010-2030



建築碳排放來源

- 建材碳排放 – 綠建材 / 木建築
- 建造碳排放 – BIM + 預鑄建築
- 營運碳排放 – 近零能耗建築 + 分散式太陽能

建築運營消耗的能源貢獻了全球28%的碳排放，另外，建築材料和施工貢獻了全球11%的碳排放，總排放達39%，是全球碳排放最大的產業。

建築材料碳排放

鋼鐵、水泥、玻璃等建材在生產和運輸過程中產生的碳排放。

施工建造碳排放

建築工程施工過程中能源和材料消耗產生的碳排放。

建築運營碳排放

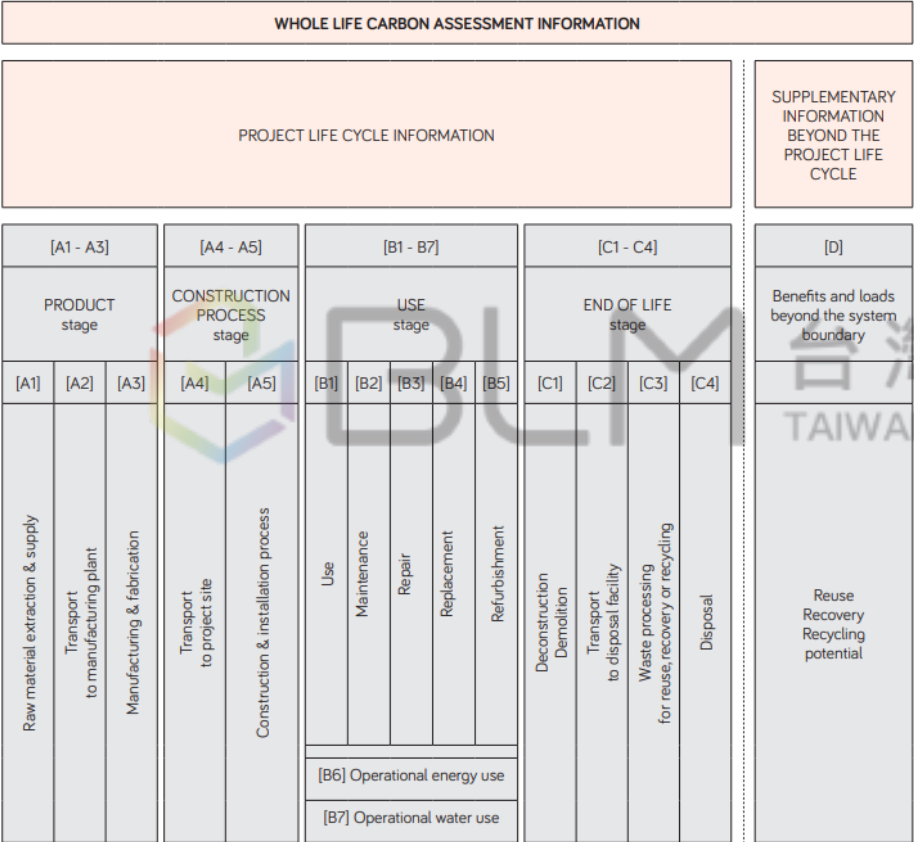
建築運營過程中能源和材料消耗產生的碳排放。

Embodied Carbon

Operational Carbon



建築全生命週期碳排放標準



UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51366-2019

建筑碳排放计算标准

Standard for building carbon emission calculation

2019-04-09 发布

2019-12-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
国家市场监督管理总局 联合发布



建築全生命週期碳排放：案例1

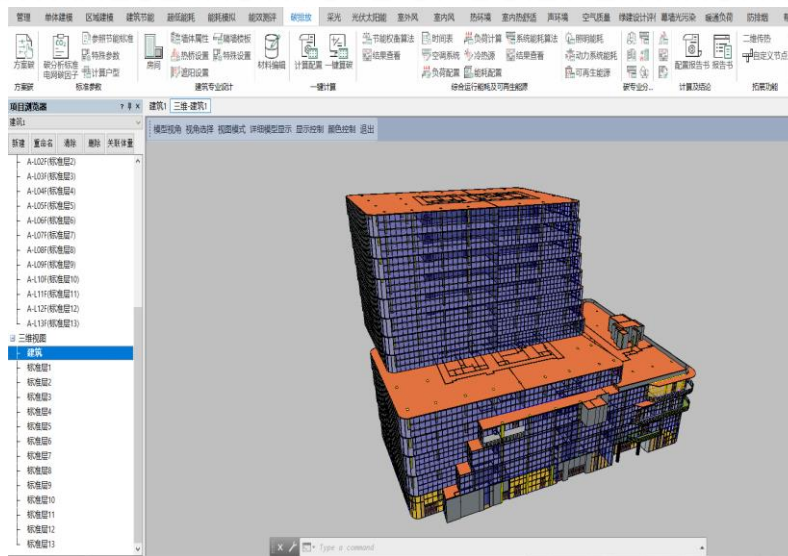
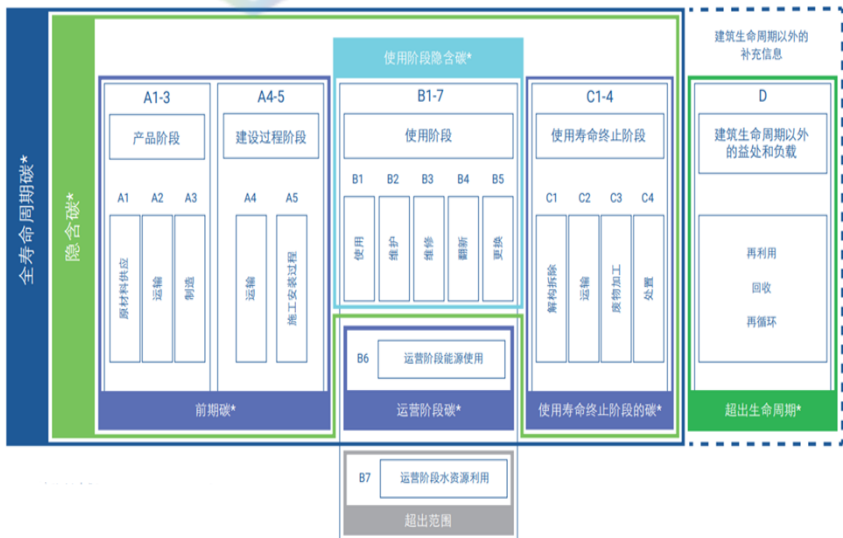
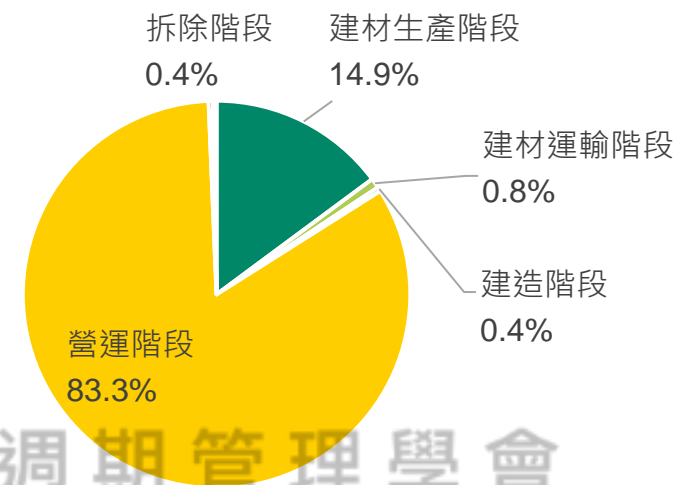
專案地點：上海

建築面積：約5萬平方米

建築全生命週期碳排放總量約為20萬tCO₂e。各階段的碳排放呈現以下特點：

- 隱含碳約占建築全生命週期碳排放的16%，營運碳約占建築全生命週期碳排放的84%。
- 建材生產階段的碳排放量為31,332 tCO₂e，約占全生命週期碳排放的15%。
- 運輸階段、建造階段和拆除階段碳排放分別占比0.8%，0.4%和0.4%。
- 綠化碳匯減碳量約占全生命週期碳排放的0.3%。
- 單位建築面積隱含碳排放為691.5(kgCO₂e/m²)，每年單位面積營運碳為70.3(kgCO₂e/m²/a)。

建築LCA全生命週期排放



LCA階段		碳排放量(tCO ₂ e)
生產階段A1-A3		31,332
運輸階段A4		1,734
建造階段A5		750
營運階段B6		175,756
拆除階段C1-C4		750
綠化碳匯		-633
小計	全生命週期 LCA	209,689
	單位面積隱含碳	691.5 (kgCO ₂ e/ m ²)
	單位面積營運碳	70.3 (kgCO ₂ e/ m ² /a)

• 參考標準BS EN15978: 2011, ISO21930:2017, 《建築碳排計算標準》GB/T 51366-2019
 • 營運階段的總碳排放量按照建築生命週期運營50年計算

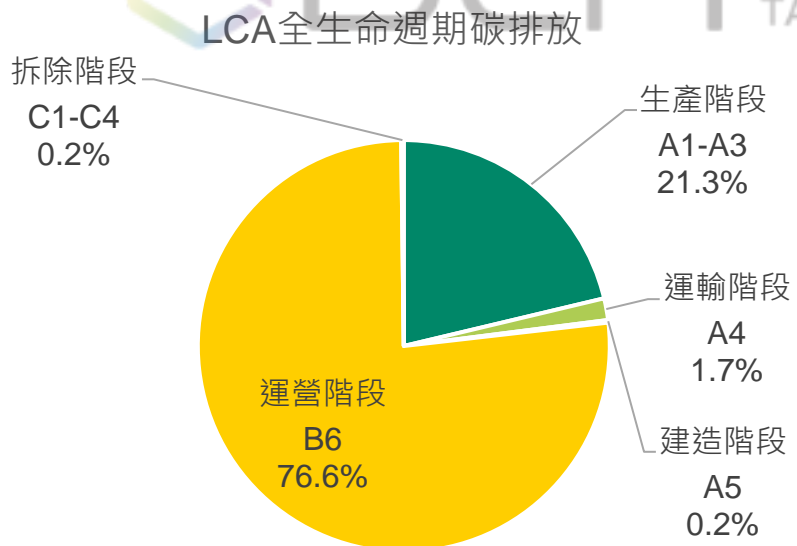
建築全生命週期碳排放：案例2

專案地點：山東

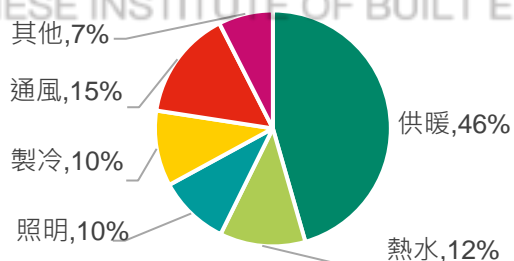
建築面積：約12萬平方米

建築全生命週期碳排放總量約為19萬tCO₂e。各階段的碳排放呈現以下特點：

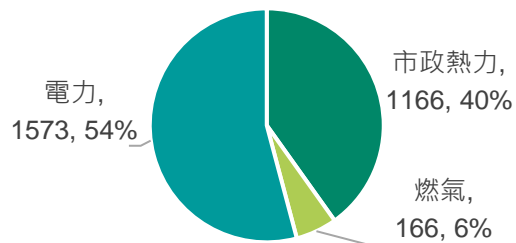
- 隱含碳合計約占全生命週期碳排放的23%，營運碳約占全生命週期碳排放的77%。
- 建材生產階段的碳排放量約為4萬tCO₂e，約占全生命週期碳排放的21%；
- 運輸階段、建造階段和拆除階段碳排放分別占比1.7%、0.2%和0.2%。
- 單位建築面積隱含碳為907 (kgCO₂e/m²)，每年單位面積營運碳為59(kgCO₂e/m²/y)。



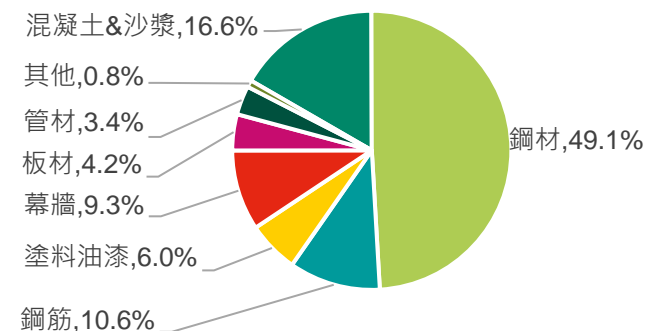
單位面積年綜合能耗kWh/m²



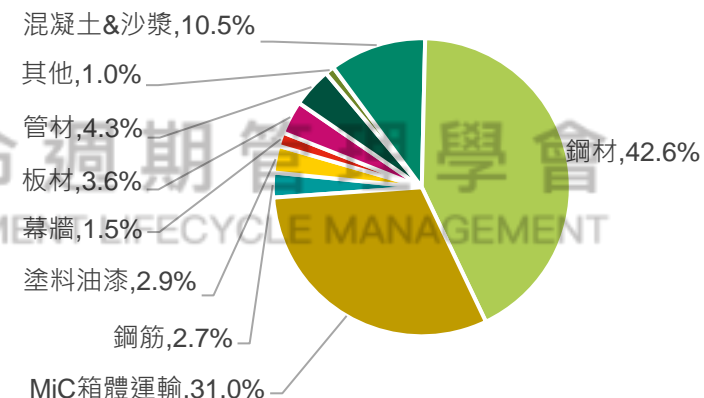
年碳排放量構成tCO₂



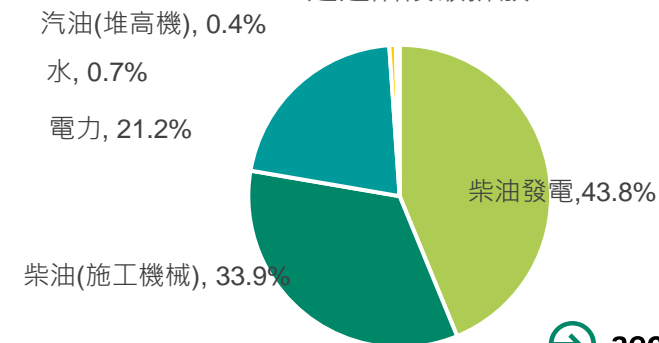
現場施工建材生產碳排放量



建材運輸碳排放量



建造階段碳排放



• 參考標準BS EN15978: 2011 · ISO21930:2017 · 《建築碳排計算標準》GB/T 51366-2019
 • 營運階段的總碳排放量按照建築生命週期運營50年計算

建築材料：碳排放與儲存的載體

建築材料選擇的低碳考慮因素：

1. 材料的自重：

建築的本質是使用建築材料創造使用空間，隱含碳主要來自對建築結構和圍合材料，自重越輕，隱含碳越少。

2. 材料的可回收利用性能：

鋼鐵是對建築隱含碳貢獻最大的建築材料，水泥/混凝土通常排在次席，使用鋼結構會導致更高的建築隱含碳。但需要注意的是，鋼鐵材料有極高的可回收利用性，而水泥幾乎無法回收再利用。

3. 材料生產碳排放的減排潛力：

鋼鐵產業已盤點了全產業與每個環節的減碳路徑，長流程生產鋼鐵之碳排放有望透過氫基豎爐等技術大幅下降。

4. 同種材料是否有低碳產品：

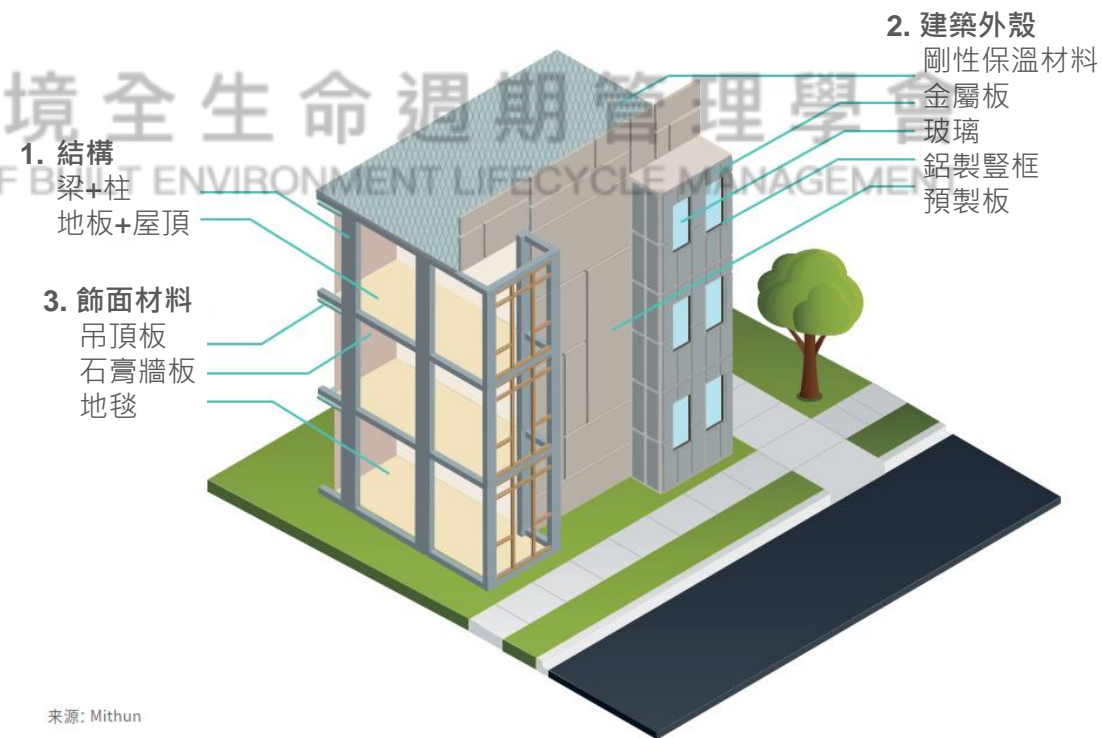
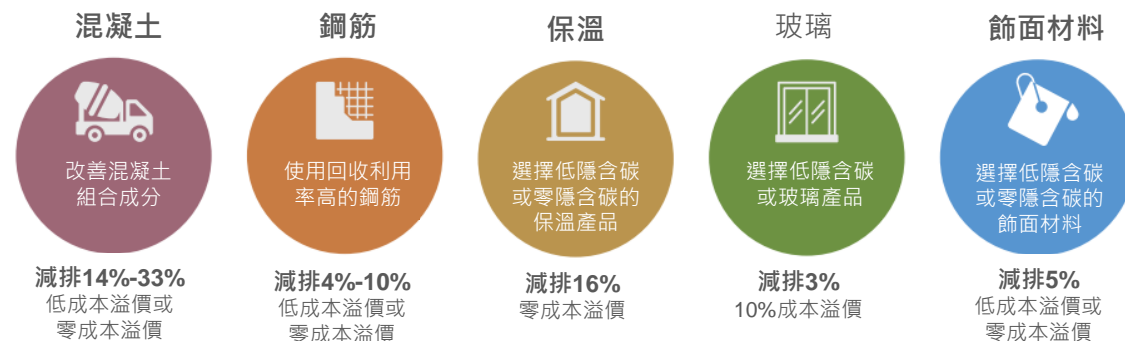
選擇低碳排放之建築材料(如使用高效餘熱回收生產的水泥)可有效降低建築隱含碳。

5. 生物基材料：

碳儲存建築材料也在快速發展中，他們可能會以更簡單的方式、更低的成本或更大的影響力推動隱含碳減排

6. 節能先於材料低碳：

建築外殼的保溫隔熱性能對建築的營運碳排放有重大的影響，儘管高性能門窗、建築保溫材料等產品的隱含碳含量比常規產品高，在全生命週期角度來看(建築營運探排放占比接近9成)，選擇高性能建築材料通常是更合理的選擇。



来源: Mithun

Source : Matt Jungclaus、Rebecca Esau、Victor Olgyay和Audrey Rempher ·
《建築隱含碳減排：低成本、高回報的減排機遇》，洛磯山研究所，2021年

低碳建造案例

使用木材等輕量化、低碳、固碳材料



加拿大不列顛哥倫比亞大學布洛克公寓

- 高53米，共有18層，建築面積15,000平方米
- 混合採用重木、輕鋼和混凝土多種結構形式
- 外立面掛板的製作材料70%是木纖維
- 施工週期縮短**18%**

可循環利用建築材料



英國建築研究院環境大樓

- 建築使用8萬塊再生磚及再生紅木拼花地板
- 老建築的96%均加以再生產或再循環利用
- 90%之現澆混凝土使用再循環利用骨料

場外施工+模組化建設



Wooden Sphere 德國濱湖施泰因貝格

- 全球最大木構預鑄球體
- 所有的零組件都在工廠提前加工製作完成，每個零件都可拆卸並進行二次利用
- 場外施工減少**75%**材料浪費，並降低**80%**現場能源使用

工業化、數位化建造技術



香港科技園區 InnoCell辦公大樓

- 香港第一座混合式模組化綜合建築
- 利用BIM技術對通風、採光、空氣品質進行模擬與改善

建造過程碳中和策略

預鑄式工法

- 預鑄式工法，使用模組化預製產品。
- 預鑄工廠做為長期穩定營運主體可透過多種脫碳措施實現碳中和。

節能增效

- 監測施工現場的能源和材料使用量，透過精細化管理減少浪費。
- 提高施工機械效能，縮短工期。
- 應用BIM等數位化技術提高施工效率，減少浪費。

電氣化

- 使用電動設備取代燃油設備，減少施工機械石化燃料消耗。
- 使用電動車輛取代燃油車輛，減少運輸過程碳排放。

可再生能源/燃料替代

- 設備使用生物燃料或可再生能源。
- 施工現場安裝分散式光電系統，提供部分綠色電力。
- 集團公司投資建設風力、太陽光電站，抵消自身電力消耗。

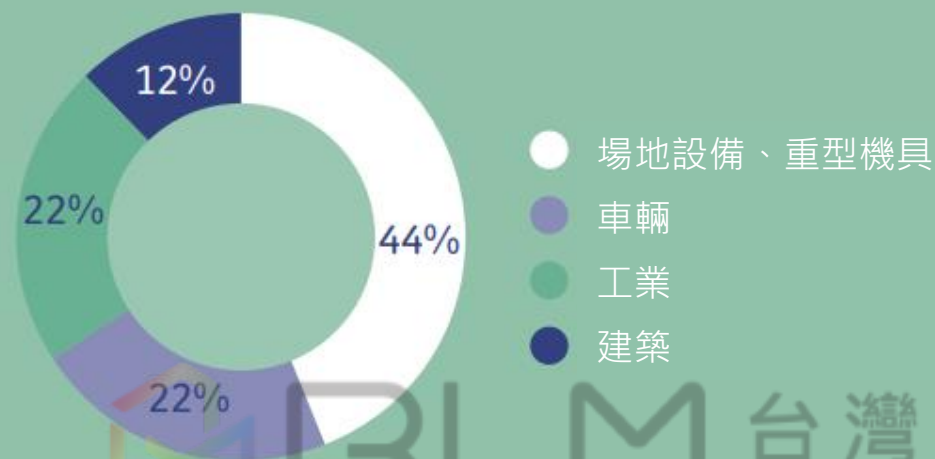


設備列表	
施工區總箱	辦公區總箱
生活區總箱	辦公區分箱
辦公區總箱	辦公區分箱 100A1號
	辦公區分箱 100A2號
	辦公區分箱 63A



低碳建造案例 – Vinci 萬喜集團

2020年溫室氣體排放



電動鑽機

鑽孔直徑1.5米
深度34.5米
電池續航10小時



電動小型液壓機

每週減少使用約5000公升燃油



氫能發電

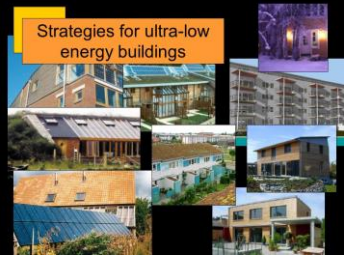
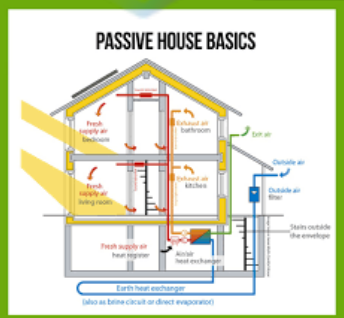
取代柴油發電機



建築運營碳排放減排策略

超低能耗

- 主動式建築設計，充分利用自然通風與採光。
- 被動式房屋：採用保溫隔熱性能和氣密性能更高的外殼和外窗，裝設高效的新風熱回收系統。
- 高能效機電設備。



智慧建築與空間

- 室內柔性功能分區及靈活性布局。
- 以共享空間為導向的空間設計。
- 適時適地適需的公共服務。
- 智慧化營運最大化坪效。



電氣化

- 消除市政蒸汽、天然氣，降低石化燃料的使用。
- 推動炊事電能替代、生活熱水電能替代等。
- 結合儲能與電動車充電設施，建構以智能電網為核心的能源網路。

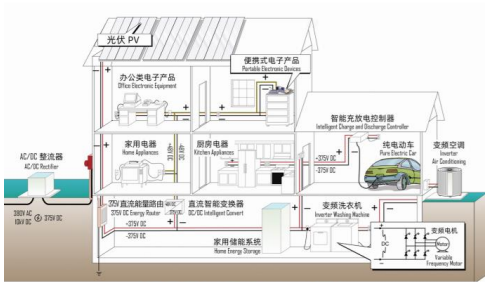


圖 5 “光儲柔直” 建築新型供配電技術



圖表 2. 施耐德電氣中國數字化雲平台與邊緣數字化系統協同示意

可再生能源替代

- 透過電力市場購買可再生能源。
- 安裝分散式光電系統，提供部分綠色電力。
- 投資建設風力、太陽光電站，抵消自身電力消耗。



零能耗/零碳建築標準與案例

- 2015年2月27日，河北省住建廳發布《被動式低能耗居住建築節能設計標準》，是中國第一部有關被動式建築的標準
- 2017年3月20日，青島市城鄉建設委員會發布《青島市被動式低能耗建築節能設計導則》，自2017年4月1日起開始實施。
- 2019年1月，住房和城鄉建設部發布《近零能耗建築技術標準》GB/T51350-2019，自2019年9月1日起實施。
- 2021年4月9日，國家標準《零碳建築技術標準》啟動，2023年8月發布徵求意見稿。

案例

- 青島中德生態園區被動式房屋技術中心專案是國內面積最大、最早獲得德國PHI認證之建築之一。總建築面積13,768平方米，其中地上5層，建築面積8,187平方米。功能主要包括會議、展廳、辦公及部分體驗式公寓等。經過不斷運行改善，實測單位面積年用電量僅為30kWh/m²左右。
- 中德生態園區被動式住宅推廣示範社區弗萊·德建公元 總佔地面積2.8萬平方米，總建築面積6.39萬平方米，總投資5.5億元，容積率1.5，包括8棟住宅和1棟商業，住宅為精裝修，外保溫厚度240mm，冷熱需求36kWh/m²



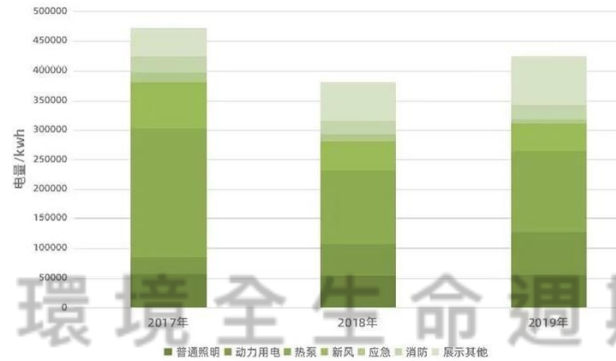
青島中德生態園區被動式房屋技術中心，2016



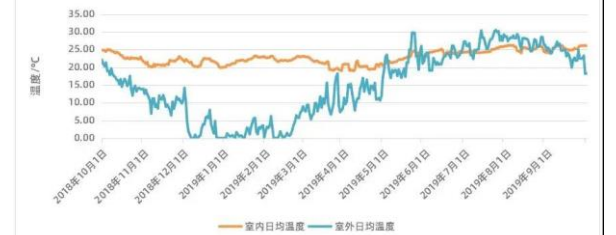
青島被動式住宅社區弗萊·德建公元，2018

	總能耗 (kwh)	單位面積 (kwh/m ²)	暖通單位面積能耗 (kwh/m ²)
2017年	471455.37	34.24	25.84
2018年	382125.16	27.75	22.64
2019年	424743.34	30.85	23.81

2017~2019年被动房总能耗对比



2018~2019年室內、外日均溫度



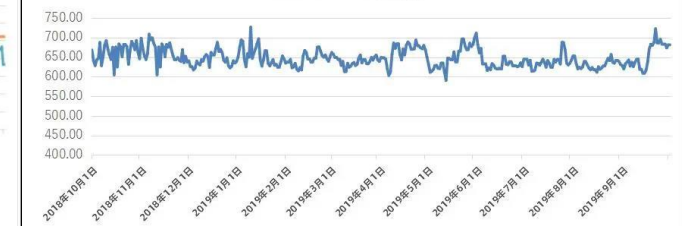
2018~2019年室內外濕度



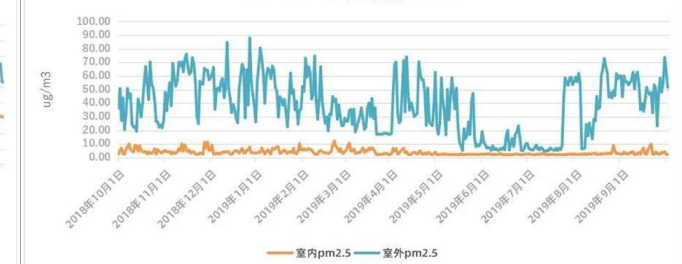
2017~2019年被动房分項能耗比例



2018~2019年室內CO₂



2018~2019年室內外PM2.5



零碳的核心是人和服務 – 從社區到建築

典型 “零碳建築”

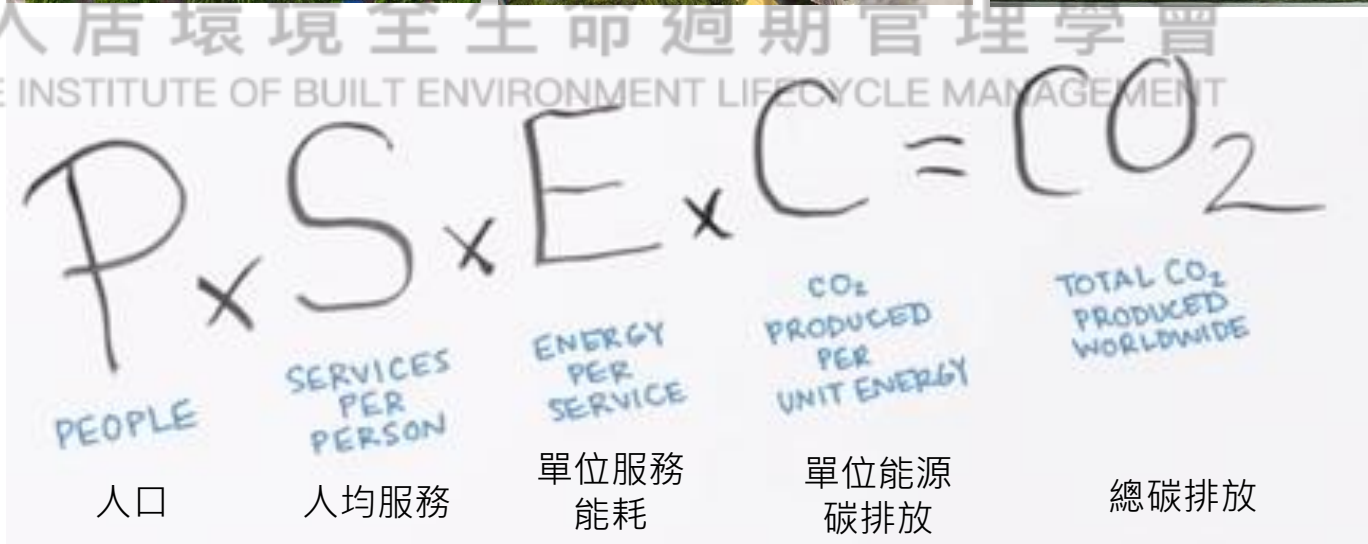
- 香港零碳天地，13,700平方米
- 上海世博倫敦館，2,675平方米
- 台灣綠色魔法學校，4,800平方米

零碳建築常見誤區

- 以追求零碳為目的
- 忽視生命週期中提供的服務
- 超估綠化和樹木的碳匯能力

零碳的全局最優 – 社區著眼，建築著手

1. 最大化提供優質服務，滿足更多人的需求，避免碳洩漏
2. 最小化單位服務的碳排放
3. 數位化解決方案：適時、適地、適需



—— 比爾蓋茲 Innovating to zero! 演講

城市與建築碳排放的微笑曲線

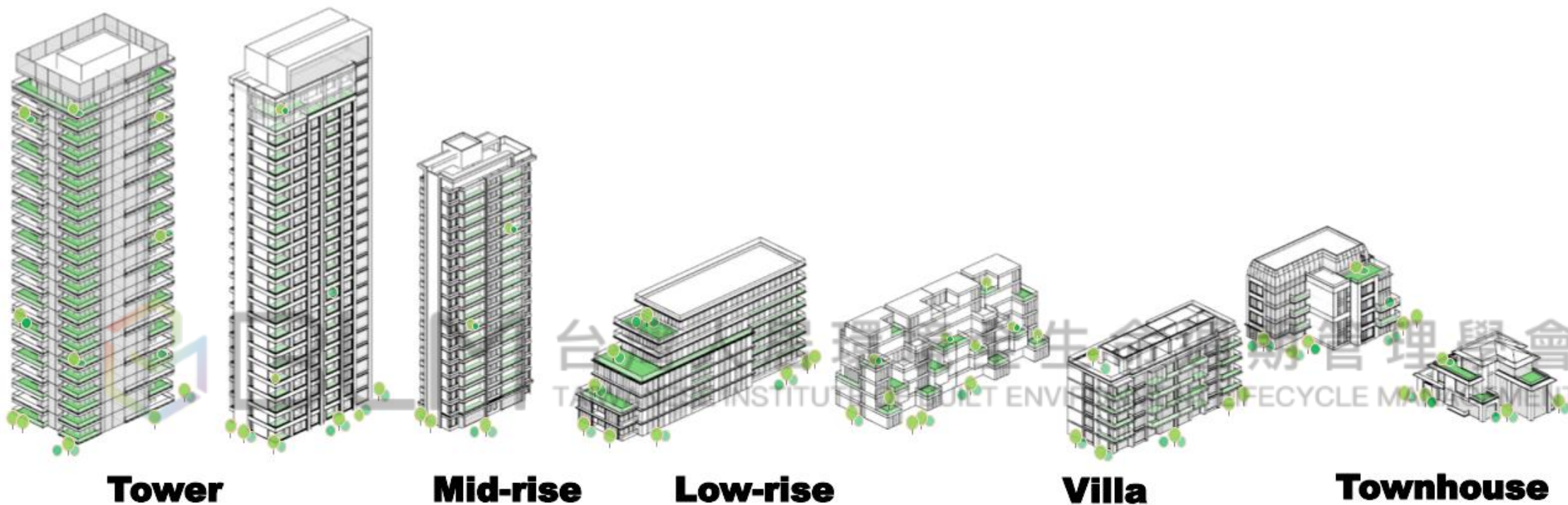


Wolf/LAIF/Camera Press



環
境

怎樣的建築形態組合是低碳的最佳解？



樹塔
公寓

Tree Tower



退台
洋房



一宅一
院疊拼



L疊拼



空中
合院

低碳規劃誤區

低碳=高綠地率



迷你建築



錯誤計算碳排放/吸收



低能耗+低功能



點綴式光電板



垂直綠化



傳統設計-建造-運營方式

傳統設計流程

- 建築主導設計過程，其他專業根據收到的資料開展工作
- 建築、土木、暖通等多專業分工，在滿足各自專業的設計目標與約束條件基礎上整合設計成果
- 設計、施工、營運面對不同的客戶，在過程中不斷透過變更設計應對實際問題

傳統設計方式的問題

- 規劃、設計、施工、營運不同階段存在不同的管理團隊，不同階段的目標不能一致，甚至存在衝突
- 在概念設計和方案設計中缺乏清晰一致的專案目標
- 不同專業的設計目標產生衝突時採取避讓和妥協，不能使用統一的衡量方法進行評估和協調
- 缺乏跨團隊的溝通導致誤差和保守取值，產生過量設計和冗餘
- 建築節能把投資報酬率作為主要衡量指標，不能從全生命週期進行評估，產生“投資門檻”
- 設計與建造、營運脫節，交付後業主發現實際運行效果偏離設計目標，且經驗教訓不能有效反饋給設計團隊，導致不當設計重複出現
- 運營團隊的績效、目標與用戶需求脫節

HVAC系統設計案例

- 為節約投資犧牲外殼保溫性能，然後加大HVAC系統容量以滿足冷熱負荷
- 妥協照明燈具的能效和控制，產生額外製冷負荷



水力系統設計案例

- 為節約投資和空間使用較細管道，然後加大水泵揚程
- 先裝設設備，再規劃管路，增加管道阻力



*Bend minds,
not pipes*



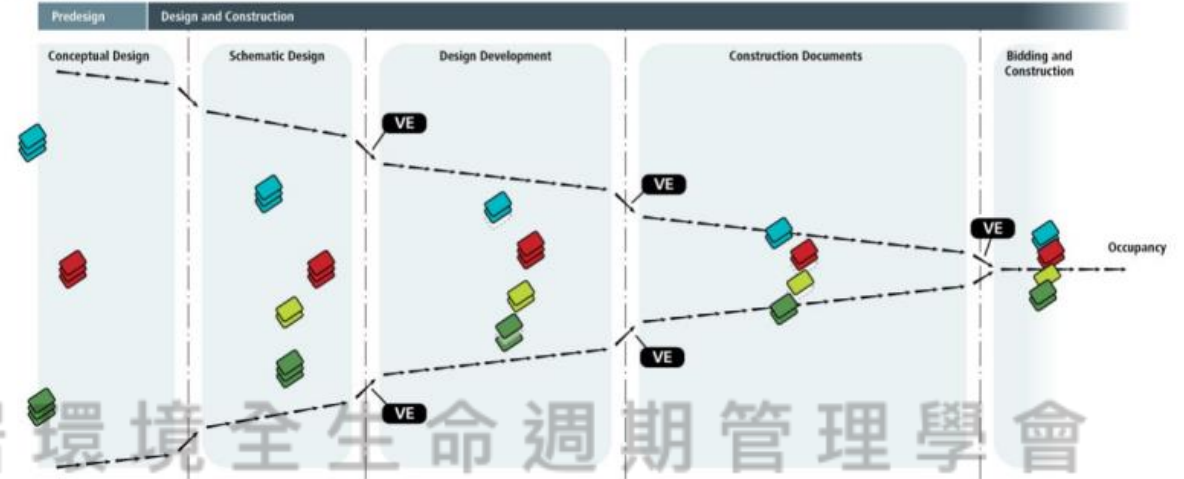
整合式設計流程IDP – Integrative Design Process

整合式設計方法

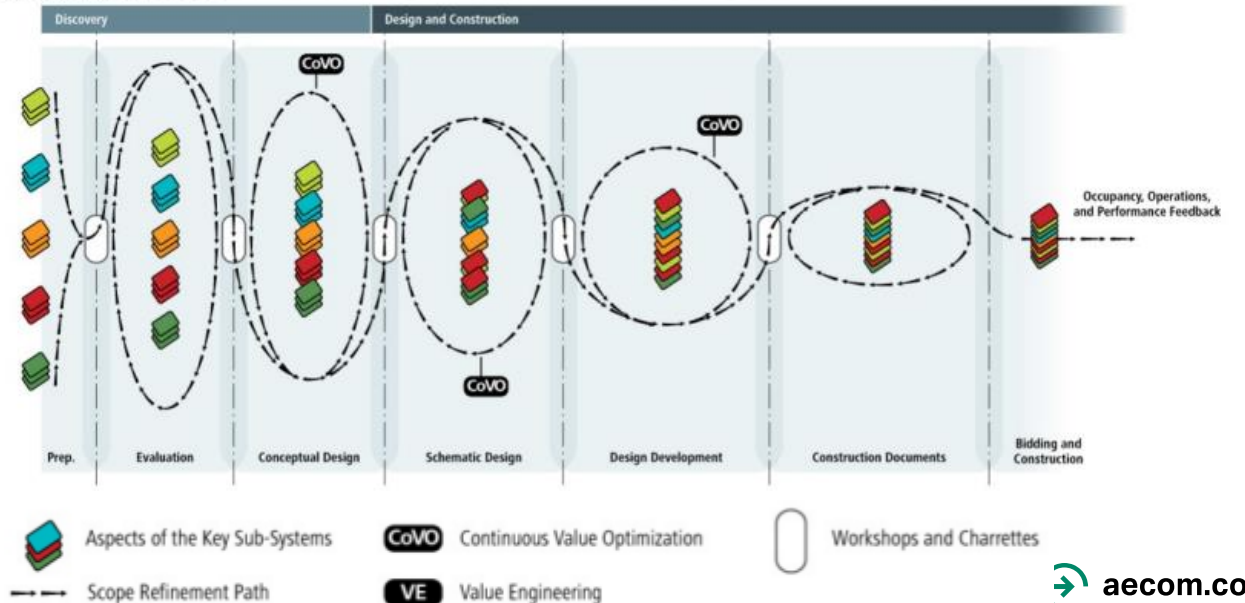
- 客戶的設計、開發與營運團隊與建築設計機構的多專業團隊與在專案初期開始協作，設定全局一致、覆蓋全生命週期的設計目標。
- 從用戶的使用需求、服務品質、系統效率和環境影響、靈活性和韌性等多個面相出發，提出全面性的設計策略。
- 評估全系統、全生命週期的建造和營運成本。
- 將營運經驗和教訓不斷反饋給專案團隊，在新專案及營運過程中持續改進與優化。



Traditional Process

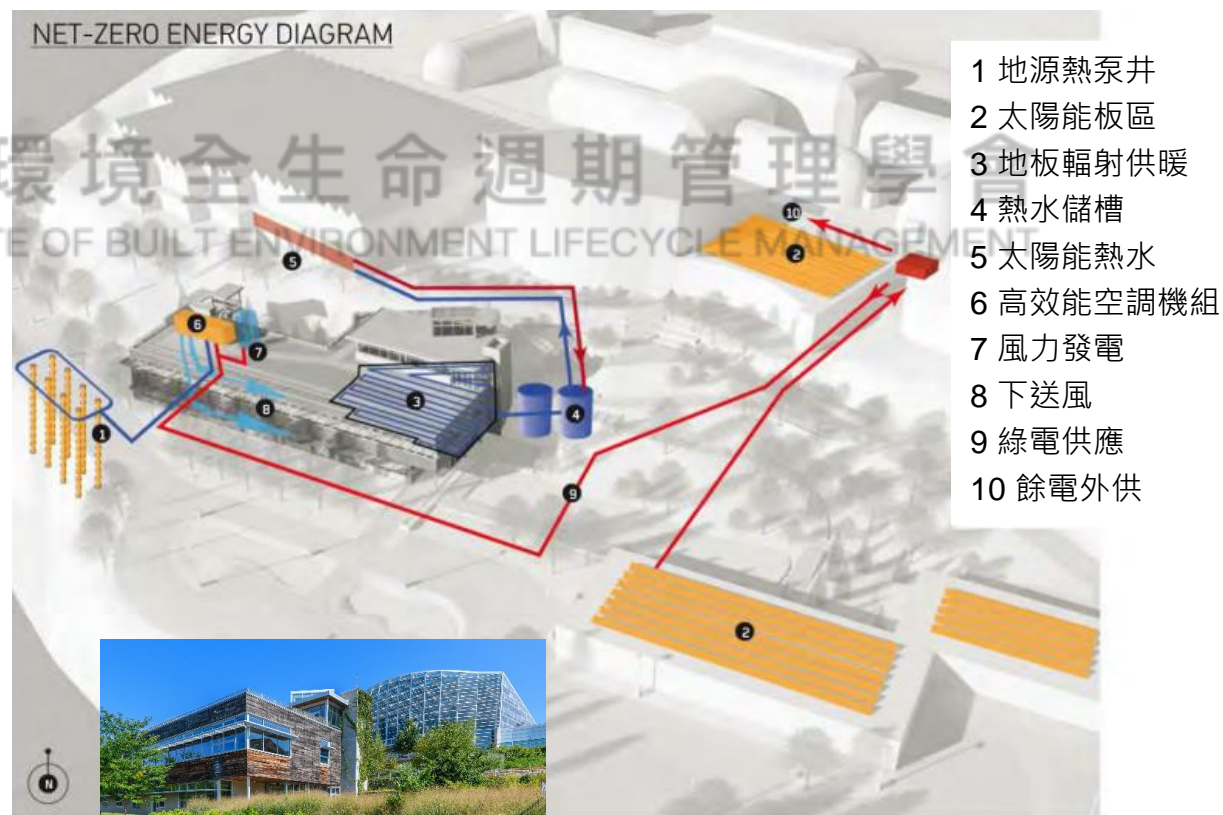


Integrative Process



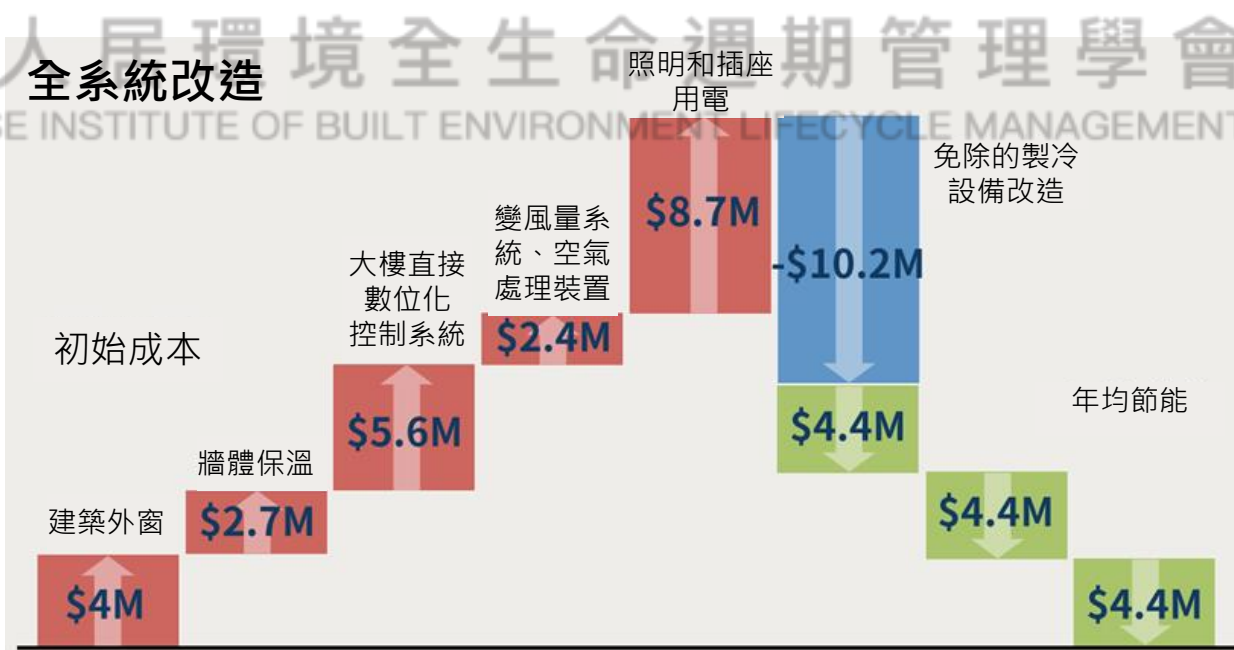
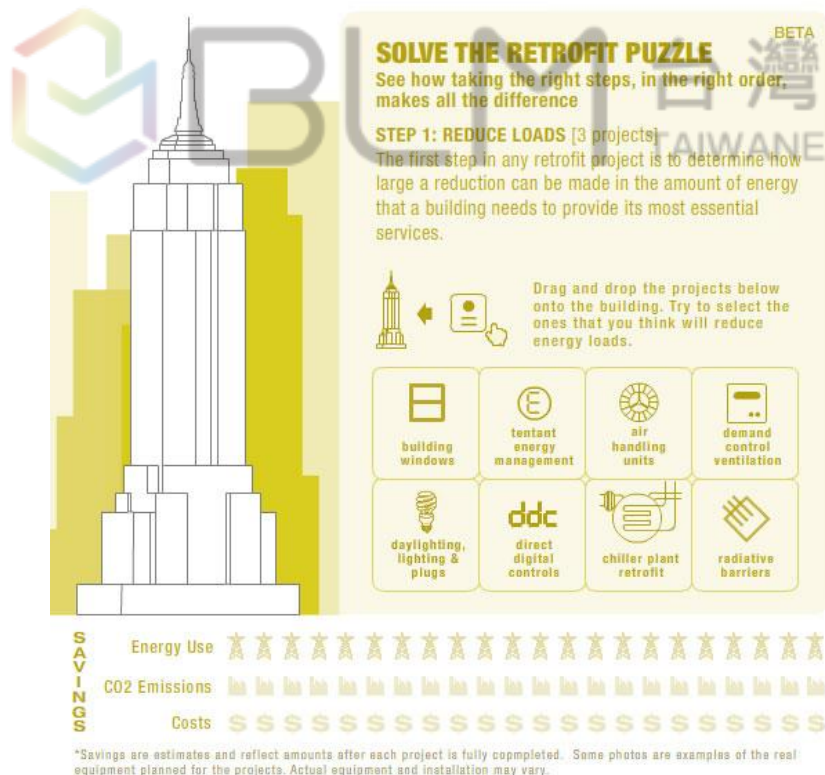
整合式永續設計案例 – 菲普斯溫室植物園永續景觀中心設計

- 菲普斯溫室植物園 (Phipps Conservatory and Botanical Gardens) 建於1893年，由鋼鐵鉅子Henry Phipps出資建造贈送給匹茲堡市而得名，因其維多利亞風格的溫式建築被列入美國國家史蹟名錄。
- 2012年植物園建設的永續景觀中心CSL 創新應用整合式設計方法，實現淨零能耗，獲得包括LEED白金等多項國際永續獎項，成為全球知名的綠色建築。



整合式永續設計案例 – 美國帝國大廈能效改造

- 帝國大廈ESB (Empire State Building) 位於美國紐約曼哈頓區的第五大道，建成於1931年。該建築共有103層，樓高381米，加上1951年加裝的62米天線，建築總高度達443.7米，是紐約最知名的地標性歷史建築。
- 2008年，帝國大廈啟動了資產改造方案。2013年共投資5.5億美元的改造全部完成，建築級別升級為A級辦公大樓。改造透過改善舒適性提高了建築價值和等級，平均租金由35美元/平方英尺提升到高於70美元/平方英尺。
- 透過應用整合式設計方法，提升大樓保溫性能降低冷負荷，避免新增製冷容量，為業主節省1,020多萬美元的投資。能效提升38%帶來每年440萬美元的能耗節省，三年收回投資。2011年帝國大廈榮獲LEED既有建築節能評估金獎。



應用IDP的低碳建築案例：The Edge, Amsterdam

開發商: OVG Real Estate

建築面積: 40,000 m²

服務容量: 1,080 desks / 2850 employees

竣工年份: 2015

綠建築認證: BREEAM – Outstanding (98.3%)

被動式設計

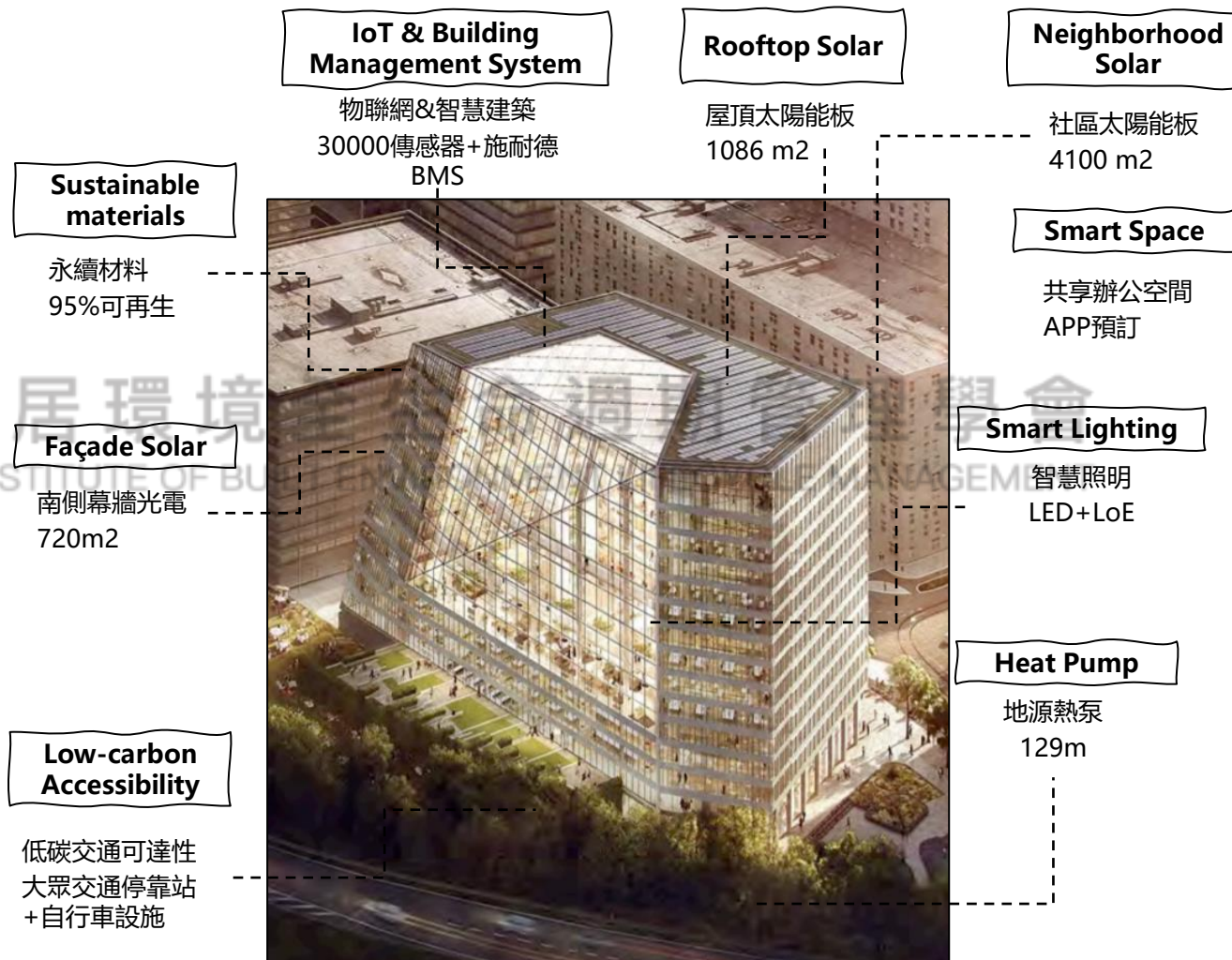
- 建築物的方向基於全天的太陽移動軌跡，中庭提供北側日照
- 南側立面上的太陽能電池板保護工作區免受陽光直射
- 向南，向東和向西的承重牆有較小的開口，以提供陰影和通風
- 百葉窗根據太陽角度設計，可為辦公空間提供額外的陰影

主動式設計

- 建築的65,000平方英尺的太陽能電池板提供足夠的再生電力
- 低輻射LED照明系統
- 地源熱泵

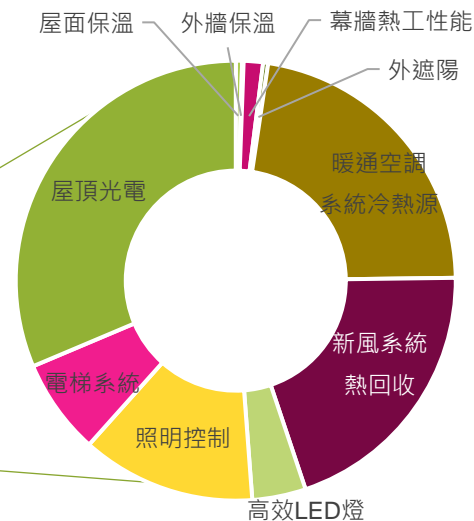
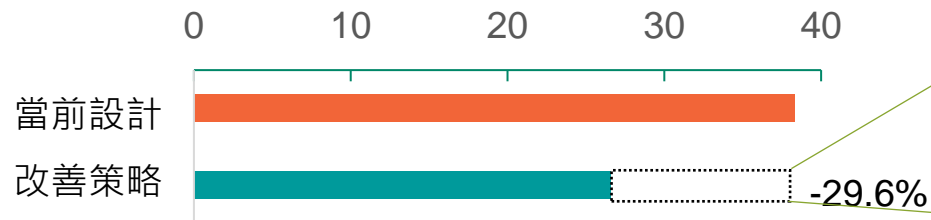
智慧控制

- 傳感提供匿名洞察建築物中的人員活動
- 手機應用收集即時用戶反饋



基於IDP的減碳策略改善分析案例

運營碳排放量對比(kgCO₂/(m²·a))



系統	當前設計	改善策略	營運碳減碳率	增量成本估算/萬元	投資回報期/年
外殼熱工性能	屋面 K=0.46W/(m ² .K) 60mm XPS擠塑聚苯板	屋面 K=0.19W/(m ² .K) 55mm 建築用真空隔熱板II型	-0.14%	34	65
	外牆 K=0.49W/(m ² .K) 425mm 蒸壓加氣混凝土砌塊B06	外牆 K=0.2W/(m ² .K) 385mm 泡沫混凝土砌塊	-0.03%	2.6	22
	外窗 (幕牆) K=1.8W/(m ² .K) 雙層膠合中空Low-e超白鋼化玻璃	外窗 (幕牆) K=1.5W/(m ² .K) 三層充氣雙中空Low-e玻璃	-0.42%	86	55
遮陽結構	遮陽係數SCW=0.3	SCW=0.15 東南西向水平外遮陽·水平擋板深度1000mm·水平擋板角度90°·透射比0.4 (織物面料、玻璃鋼板)	-0.11%	16.5	40
暖通空調系統冷熱源	能源中心集中供應： 電製冷、燃氣熱水鍋爐供暖、溴化鋰三聯供 (變頻離心式冷水機組COP5.83·自備燃氣鍋爐)	分散式電製冷機組+風冷熱泵供暖 (超高效冷水機組COP=6.5)	-6.64%	292	11.7
新風系統	無熱回收	增加全熱回收·熱交換效率70%·焓差節能控制	-5.94%	130	5.8
照明控制	無	增加日光感應· 自動控制燈光照度	-3.79%	80	5.6
高效LED燈	照明功率密度： 商業=9W/m ² 辦公室=8W/m ²	使用超高效LED照明·降低功率密度： 商業=8W/m ² 辦公室=6W/m ²	-1.17%	19	4.3
電梯系統	VVVF驅動系統 蝸輪蝸桿傳動	高效節能電梯 無齒輪·帶能量反饋VVVF驅動系統	-2.08%	75	9.6
屋頂光電	無	裙樓、塔樓屋頂 (除屋頂綠化部分外) 光電板覆蓋率60%	-9.28%	205	5.9

建築全生命週期減碳策略應用分析案例

01 營運碳減碳策略



01 自然採光



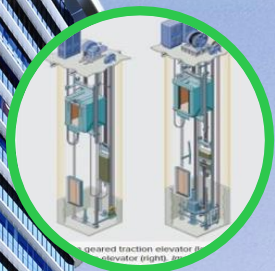
02 空調系統能效提升



03 新風熱回收



04 照明系統能效提升



05 高效電梯

02 隱含碳減碳策略



06 屋頂光電



07 低碳建材



08 鋼木混合結構



09 外殼熱工性能改善



10 外遮陽

03 綜合減碳策略

BLM 臺灣人居環境全生命週期管理學會
TAIWAN INSTITUTE OF BUILT ENVIRONMENT LIFE CYCLE MANAGEMENT



BLM

AECOM

Delivering a
better world

期管理學會
CYCLE MANAGEMENT