

建築產業碳足跡服務平台之建置

楊詩弘 (國立成功大學建築系)

林憲德 (國立成功大學建築系)

許純欣 (國立成功大學建築系)

文章資訊

接受日期：2022.03

關鍵詞：

- 碳足跡
- 碳揭露
- 建築產業
- 碳足跡服務平台

內文摘要 (Abstract)

由於建築產業已被國際間認定有高額的碳排放而對環境有重大影響，未來勢必被強烈檢視其產業的各種減碳策略。有鑑於此，本研究在內政部建築研究所的指導下，建置「建築產業碳足跡服務平台」，針對建築產業界的碳足跡評估進行服務，並以政府之建築營建相關部門，以及民間之設計、營建單位、材料商、工程顧問、設備廠商為對象，透過平台中的公開資料庫，作為計算碳揭露計算與減碳對策之驗證基礎。本研究透過文獻分析、相關建材碳足跡調查、訪談、專家座談會等方式，建構服務平台之需求與界定基本功能後，透過專業團隊建置網站工具式之服務平台，其中包含歷年所累積之建築相關資材的1003項碳足跡數據以形成資料庫，包含資料引用等相關功能，並同時就其申請之使用要點、維運計畫、未來擴充與運用方面提出強化之建議。綜上所述，透過本研究之成果，可藉由碳足跡的查詢服務輔助公私部門在建築規劃設計與材料選擇過程之低碳策略參考。另，為進一步強化碳足跡服務平台的功能與突顯建築相關之碳排資料公開的重要性，建議持續探討及研究如何結合我國現有綠建築、綠建材等標章制度，將「碳揭露」作為必要之評估項目，以擴大服務平台之應用範圍，並與現今各國對建築產業「碳揭露」活動進行接軌。

THE ESTABLISHMENT OF THE CARBON FOOTPRINT INFORMATION SERVICE PLATFORM FOR BUILDING INDUSTRIE

Shih-Hung Yang (Dept. of Architecture, National Cheng Kung University)
Hsien-Te Lin (Dept. of Architecture, National Cheng Kung University)
Chun-Hsin Hsu (Dept. of Architecture, National Cheng Kung University)

Information	Abstract
Accepted date : 2022.03 Keywords : <ul style="list-style-type: none">• Carbon Footprint• Carbon Disclosure• Building Industry• Information Service Platform	<p>Since the building industry has been recognized internationally to have high carbon emissions and have a significant impact on the environment, the various carbon reduction strategies of its industry are bound to be strongly reviewed in the future. In view of this, under the guidance of the Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (ABRI), this research has established a "Building Industry Carbon Footprint Service Platform" to provide services for the carbon footprint assessment of the construction industry. Design, construction units, material vendors, engineering consultants, and equipment manufacturers are targeted, through the public database in the platform, as the verification basis for calculating carbon disclosure calculations and carbon reduction countermeasures. The research uses literature analysis, interviews, expert forums and other methods to construct the requirements of the service platform and define basic functions, and then build a website tool-like service platform through a professional team, which includes the buildings accumulated over the years 1003 embodied carbon data of related materials are used to form a database, including data citation and other related functions, and at the same time, suggestions for future enhancements are made on the main points of its application, maintenance plans, subsequent expansion and use. In summary, through the results of this research, the carbon footprint query service can assist the public and private sectors in the process of building planning and design and material selection for low-carbon strategy reference. In addition, in order to further strengthen the function of the carbon footprint service platform and highlight the importance of building-related carbon emission information disclosure, it is recommended to continue to explore and study how to integrate my country's existing green building, green building materials and other marking systems, and "carbon disclosure" is necessary The evaluation project to expand the scope of application of the service platform and to align with the current "carbon disclosure" activities of the construction industry in various countries.</p>

壹、緒論

依據聯合國環境規劃署UNEP於2006年的估計，全球的建築產業約消耗地球能源的40%、水資源的20%、原材料的30%、固體廢棄物的38%等。近年由於世間對於溫室氣體減量時程與成效的要求，各國建築產業未來勢必被強力要求實施減碳的策略降低其排放量。為呼應此全球性之課題，本團隊在內政部建築研究所的規劃與指導下，試圖建置公開、透明、可信之「建築產業碳足跡服務平台」，藉由此系統，政府之相關部門，與民間之建築設計、營建單位、材料商、工程顧問，及設備廠商等使用者，供產業查詢、下載及引用等，可明確檢視建材/工法的碳足跡之餘，也能進一步就建築規劃、設計等建築生命週期歷程，具體診斷可被控制的節能減碳熱點，以期指引執行有效，且具實質效益的減碳行動，意即可藉由量化的建築碳標示，作為建築生產的環境資訊公開、進而可驗證材料、工法改變的設計方案下，建築生命週期的減碳效益。另，藉由建構以我國數據為基礎的「建築產業碳足跡服務平台」，可改善各界目前任意使用海外或過時碳足跡資料之亂象，以符合本土之建築生產現況；同時，提供即時動態之建築碳足跡資訊與評估服務，以其推動對友善環境之建築產業；或可配合環評、都審、建照、使照等，以建管關卡提供政府有效的減碳管理工具；另，亦可用於未來發展綠建築認證、綠建材認證、建築節能/減碳之評估、建築產業碳足跡計算的國家標準。

有關碳足跡之定義，係指個人、組織、活動或產品，以直接或者間接之方式所導致的溫室氣體排放總量，用以衡量人類活動對環境所造成的影響。碳足跡從原物料的開採、製造、使用，直至產品廢棄回收處理，於「從搖籃到墳墓」的生命週期中，所產生的二氧化碳排放量，均為碳足跡的計算範圍。而建築產業碳足跡，依據本研究的界定，目前在其領域類別以「建築」、「景觀」、「室內裝修」等三大項目進行資料庫內容之建置。

貳、碳足跡揭露之國內外發展動向

地球生態因工業污染等人類活動持續惡化，讓世人對於環境破壞的危機感益趨加劇，特別是溫室氣體排放造成地球暖化的威脅日增，因此近年各國產業活動的碳揭露與減碳的行動，儼然已成為現代人類最關心的課題之一；而各國在年度減量目標與方法雖因歧見而有差異，但碳排放的掌握與抑制，仍是重要之國際共識。目前世界上對於產品或工業活動的碳足跡計算，多以其全生命週期為計算條件、可量化環境負荷的LCA(Life Cycle Assessment)作為主要的評估方法。其工具運用之起源來自1960年代末期可口可樂公司評估各種飲料容器的耗能與環境衝擊，之後開始實施於各種產業。而ISO於1997年公告ISO14040系列標準，提供標準化之分析方法使其成為國際間共通之工具。

隨著溫室氣體對於環境影響的議題逐漸受到重視，現今世界各國所投入的減碳行動上，不僅所生產的工業製品有碳標示的義務，許多企業也大舉投入碳揭露工作。例如在民生消費品方面，世界知名的寶潔公司Procter & Gamble、擁有多種跨國著名食品/飲料/清潔劑和個人護理產品的聯合利華公司Unilever、全球最大的食品製造商雀巢公司Nestle等全球500大企業，從2007年開始聯合組成「供應鏈領導聯盟」，要求旗下供應商公布有關碳排放等資料。而這些入選碳揭露領先指標CDLI的500大企業相較於2005年，投資報酬率成長了83%，而未入圍的企業僅成長50%，由此顯示，「減碳策略」已成為全球企業的主流，亦是提升企業競爭力的新策略。

而在建築產業方面，2007年，IPCC(政府間氣候變化專門委員會)在有關氣候變遷的AR4評估報告中，預估2030年不同產業在各種碳交易價格下，對於全球溫室氣體減緩之經濟潛力中，建築產業是位居減碳投資效益最高的行業。該報告認為2005~2030年間投資至少20兆美元於減碳基礎設施，在每噸二氧化碳當量減碳成本低於100美元之條件下，全球到2030年每年可減碳60億噸二氧化碳當量，於2050年可將CO₂當量控制在450ppm~710 ppm之間，全球平均總體經濟成本GDP 增加1%與減少5.5%之間。另，AR5報告建議減碳措施於能源使用層面，交通運輸、建築、工業佔了能源消耗相當大的比例，若能調整運作模式節省能源，對於二氧化碳減量也是很大的幫助。例如運輸業改用碳密集度低的燃料，建築物選用低碳的建材、設計考量採光、通風，工業大規模升級技術、促進材料使用效率、廢棄物減量等作法。(劉馨香，2018)

我國為因應全球性之碳減量共識，經濟部於2006年正式成立產業部門的溫室氣體減量專責機構「經濟部產業溫室氣體減量推動辦公室(TIGO)」，其主要功能在於整合經濟部溫室氣體減量策略，作為各局處間溝通協調平台以確保減量目標可逐年達成。而隨著2015年7月由總統公布施行「溫室氣體減量及管理法」，第四條即明定減量目標為2050年溫室氣體排放量降低為2005年排放量50%以下；行政院亦於2018年04月發布「國家整體減量架構」，藉由明確的溫室氣體階段管制目標作為施政與規範/輔導產業之重要依據。而在建築與營建工程等領域方面，行政院公共工程委員會在2012年「研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則」專案研究計畫中提出:針對公共工程於2013~2014年推動「碳足跡推估前置作業」，與2015~2019年執行「碳足跡推估作業」，於2020~2024年執行「碳足跡推動作業」，並預計於2025之後實施「碳中和推動作業」等。另一方面，在相關業界的努力下，近年環保署已陸續通過道路、橋梁、隧道、建築物、庭園景觀與室內裝修工項等的「碳足跡產品類別規則」(CFP-PCR)，建築產業的碳揭露規範亦日漸完備。而2013年在科技部「小產學聯盟計畫」下由成功大學林憲德教授設立的「低碳建築聯盟」，所發起的建築碳足跡評估BICF法與認證機制，有許多公家民間建築案件已經陸續接受此建築碳足跡標章之認證，同時有些地方

政府也開始援用依此評估法執行工程碳足跡管理，截至目前為止已共計有47個建築案例通過低碳建築之認證。

綜上所述，在當今有關全球環境之議題上雖然所面對的課題多元，但由於日趨嚴重的地球暖化形成國際間必須共同面對之態勢，是故減碳議題係屬最為迫切。而我國也在前述背景與「溫室氣體減量及管理法」等之多重壓力下，建築產業於不久之將來，勢必被要求全面性地執行工程碳足跡之揭露、預測、操作、控制等碳管理作業，而非僅是採用現今的建築節能指標、綠建築指標，故以「碳揭露」為核心的評估法則日受重視。然而，為準確掌握建築工程所衍生之建築資材、設備、工法之碳足跡，建置完整的碳排放數係屬必要之前提條件。本研究依據前述低碳建築聯盟所建構之資料庫為基礎，取得聯盟之授權使用後，在內政部建築研究所的規劃下建置「建築產業碳足跡服務平台」，未來開放各界在規劃設計、工程計畫、建築行政管理等層面之碳足跡揭露運用。

參、國內外碳足跡資料庫與服務平台分析

一、資材碳足跡資料庫的建置方法

世界各國在相關資料庫的建構方面，於材料碳足跡的盤查統計有三種方法。第一種為「製程盤查法」(Process Based Method)，又稱為PB法，係直接由資材製造廠商的產量與耗能結構算出碳排放量，亦即相當於資材生產線的直接耗能統計。雖然不同資材廠商的耗能效率不盡相同，但以現今產業競爭與節能效率提升下，最終產品耗能效率與碳排放量之差異已日漸縮小，因此本方法可視為一種最直接可靠的碳排統計法。但目前由於各種資材廠商之數據提供尚在起步階段、生產線耗能結構的統計不易、統計量龐大之因素，使本統計之難度增高。第二種方法為「產業關連表統計法」(Input-Output Method)，又稱為IO法，係由諾貝爾經濟學獎得主Wassily Leontief於20世紀30年代創立的一種反映經濟系統各部分之間投入與產出數量依存關係的分析方法。其係以政府定期對各種產業間的產值、需求量、交易量、粗附加價值等，所進行的金額相關統計資料等，分析產業活動與周邊影響。而所謂資材碳排的產業關連表統計法，就是利用產業關連表之關係，以相關產業的需求量與資材消耗量，求出對其他資材產業與能源產業的產值、產量之直接、間接波及效果，並因此求出碳排放量之方法，目前常被用於計算資材的蘊含能源與蘊含碳排放。

綜合前述說明，PB法係盤查產品生命週期的能源、物質輸入與產品、污染的輸出，得出產品的環境負荷，其特色在於可透過微觀的過程分析，「由下而上」的盤查法，可求出產品的總環境衝擊量；IO法則是根據產業的能源及物質的經濟輸入輸出清單，計算產品生命週期的物質及能源投入量和環境負荷，其特徵係以宏觀的全域分析，「由上而下」的盤查法，可視為不同部門的環境衝擊比例。一般而言，PB法適用於工程單體層面的生命週期碳足跡的揭

露，IO法則適用於產業層面。而歐洲技術委員會在 2011 的CEN/TC350 標準卻只推薦BP法，因為此法是由下至上的算法，可理解建築物由每一與生命週期衝擊相關的產品與製程組合。是故，本研究在建築碳足跡資料庫的規劃上，以PB法作為數據建置之基礎。

二、產品碳足跡資訊網 (行政院環保署)

為因應國際發展趨勢，並為了促成台灣環保標章、碳標籤、機關綠色採購及綠色消費等政策之推動，我國環保署近年建置符合國際標準化組織(ISO)規範之「產品碳足跡資訊網」與「碳足跡計算服務平台」，目前由財團法人工業技術研究院進行系統之維護。此服務平台的特色在於以免費方式(但須會員登錄)提供查詢與下載，讓產業各界自行引用。另，為協助相關業者克服碳足跡盤查計算的專業與成本門檻，資訊網中的碳足跡計算服務平台，係透過本土係數資料庫之支援，提供線上計算、供應商協同合作、簡式報告產出、數據品質評核及申請碳標籤等功能服務，藉以降低業者產品碳足跡計算所需之時間與成本。而各種產品的碳足跡登載於平台的資料庫前，必須經過環保署所規定之「我國碳足跡排放係數審查作業流程」審核通過，此作業流程分為三個階段，分別為「文審階段」，由碳足跡係數資料庫管理單位，進行備查文件確認與修正；「查核階段」，召集各界學術與產業專家進行碳係數備查文件查核；「審議階段」則是交付環保署推動產品碳足跡標示審議會，由技術小組進行審議，經認可後由環保署依行政程序核可公告，並同步公告於「碳足跡計算服務平台」與「台灣產品碳足跡資訊網」。

目前該平台的功能，已可支應各類產業執行碳足跡計算與分析，且截至2021年11月為止，已累計共有995項品目的碳排放係數建置於資料庫中。與建築產業有關的建材方面，目前包含礦石/石料、窯業製品、塑膠製品、管材、水泥、板材、金屬製品等類別，惟多屬於基本之原料或資材，在運用於建材、設備使用多元的建築工程方面恐有不足，其資料庫上具有內容擴充之空間。

三、國外建築碳平台的案例分析

包含前述我國環保署的產品碳足跡資訊網在內，現今國際間有關碳足跡資料庫的搜羅對象多以一般工業製品為主，針對建築產業開發的專用「建築產業碳足跡服務平台」僅有日本AIJ-LCA。相較之下，各國有關產品碳足跡生命週期評估之電腦資料庫軟體系統則相對有非常多種，如Boustead(英)、R. F. Weston (美)、ChemSystems (美)、EMPA (瑞士)、PIRA International(英)、Charlimers Industriteknik(瑞典)、Environmental Conscious Design Support System(美)、SimaPro(荷蘭)等，都已經發展成熟至商品化，廣為全球各行業所用。然而，前述軟體多以一般工業製品為主要對象，並不適於建築物碳足跡之評估，尤其其數據來源(如各

國電力結構的差異等)、解析方法因國情有所差異，若其數據直接引用至國內建築產業碳排診斷，其結果之準確性有待商榷。

另，根據美國建築師協會所出版之"建築生命週期評估實務導論" (AIA, 2012)，其中列舉在美國、澳洲、加拿大、泰國等地被執行過的建築碳足跡評估的8 個案例分析結果，可看出目前各國的評估工具、能源解析軟體、碳排放資料庫、計算邊界、虛擬情境等，尚處於各自訂定的階段，尤其缺乏公認的比較基準，同時也非建築設計導向的操作機制。是故，適用於世界共通之建築專用的碳足跡評估工具目前可說是尚未成形。

至於在日本的AIJ-LCA的開發方面，日本建築學會於1997年發起「地球環境行動計畫」，在1999 年訂立「建築物的LCA 指針」作為建築物碳足跡評估法LCCO₂ 法之標準，其中的建築資材與設備的碳足跡資料庫亦作為計算建物生涯碳足跡的主要依據。另一方面，日本在2003年推出本土之綠建築評估系統稱之為CASBEE(全名為Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency，建築環境績效綜合評估系統)，並在2008年的版本中正式納入前述的LCA指針的計算原理，規定新造建築須進行LCCO₂ 評估，該評估計算從建造、使用到拆除和處理廢棄物等整體建築生命週期中的二氧化碳排放量。而針對碳排放的掌握，在CASBEE中有兩種計算方式可以選擇：第一種是在CASBEE軟體中內建的「標準計算」方法，可根據已輸入到 CASBEE 電子表格中的數據，包含建築基本資料 (建築類型、建築面積等)，軟體會自動對 LCCO₂ 的進行簡化估算；第二種則是「個別計算」，則需提供建築物全生命週期的二氧化碳排放量(kgCO₂/m²/年)。無論是用前述哪一種計算方法，新建建築的碳排結果，均必須與CASBEE中的「基準建築」比較，而此基準建築的碳排數據是來自那些滿足日本節能法規定的業主評估標準的建築，將符合建築節能法規定的建築物作為基準，再與要評估的建築物進行比較，以百分比的方式呈現評估目標與基準案之間的差異，以得到分數結果。

綜合以上說明，目前唯有日本建築學會的AIJ-LCA 資料庫軟體是國外建築專用的碳足跡評估工具。然而，它雖有龐大的建材、設備、施工的碳排資料庫、精細的生命週期碳排解析理論、良好的減碳設計診斷與建議功能，但因為資材數據、氣候條件、建築節能指標、營建構造之差異，日本的AIJ-LCA 也不適用於台灣，這也是本研究必須研發本土化建築碳足跡標示工具的原因。

肆、建築產業碳足跡服務平台之建置

依據前面內容之說明，針對地球暖化的延緩與控制以成為全球性之課題，是故各國在低碳策略方面多以生產活動或生命週期之明文化的碳揭露為初期目標，進而提出生產面、政策面之減量對策。我國環保署於近年已針對各種產品提出近千項的碳足跡資料與試算平台，惟

牽涉建築生產相關之材料、工法、設備等數據較少。而國際上適用於建築碳足跡計算之資料庫雖以日本之AIJ-LCA建置最為健全且與現有綠建築評估制度(CASBEE)結合，但其數據之引用恐不符我國現況。有鑑於此，本研究在內政部建築研究所指導下，建構包含本土建材資料庫在內的「建築產業碳足跡服務平台」，以政府與民間之建築營建相關部門為服務對象，運用資訊科技提供創新服務，提供動態即時之建築產業碳足跡資訊與評估之輔助，未來可善用於低碳建築、低碳建材、低碳工法、低碳設計、低碳管理之產業認證，其內容說明如下所述。

一、平台架構與定位

本研究以運用worldwide-web為媒介，以網際網路及資料庫整合應用技術，採用Web-Based架構，支援XML的標準格式，建置建築產業碳足跡服務平台，建構一具延展性及擴充性之碳足跡資料庫管理系統，以達到資料之互通及資源之共享，並具備未來資訊改造之共用系統需求。而在使用者的設定方面，為考量安全性與後台管理/分析，本平台以鎖定IP位址為前提，藉由免費登錄式之「會員制」，結合數位憑證功能，提供身分認證之相關應用及憑證等級的資訊安全，以達到會員系統與資料庫的機密性、完整性與不可否認性。

有關平台的系統需求方面，應用軟體置於伺服器端，後端為碳足跡資料庫，在使用者端，僅需安裝網頁瀏覽器(Web Browser)，不需另外安裝其他附加元件，以簡化維護作業；在支援使用者端介面上，可在中文視窗環境相關的電腦作業平台，完全利用瀏覽器進行資料庫線上查詢相關資料處理。而在管理端的系統需求上，則以AP-Server (應用程式伺服器) 配合L4網路設備，作資料分流以維持系統穩定度，並以網路儲存設備(NAS)做為AP-Server的檔案儲存、共用及資料備份等工作。

而有鑑於近年各國網路系統的安全性日益受到重視，本平台針對資安與緊急應變在功能上的因應如下:首先在於確保資料傳送過程中的加解密以保障資料傳送安全；資料庫電子檔案放置於檔案伺服器時，提供建築產業碳足跡資料庫本文檔及加密安全控管，加密方式採用AES、DES等；系統本身，可防範相關資安漏洞（例如SQL-Injection、Cross-Site Scripting）與木馬程式；系統必可防止使用者在網址列，及帶參數方式以別的使用者帳號進入系統網頁破壞、新增、修改、刪除、查詢及列印系統任何資料；以及可提供系統資料每日之伺服器本機與異地備份、資料回復功能，以及系統毀損(例如硬碟、伺服器故障)、災害(例如火災、地震)時，可於一定時間(4小時)內復原處理機制等。

目前本研究所開發之平台依據使用者之需要，分為電腦版與手機版等兩種介面，其功能與內容完全相同；平台架構分為「網站前端」、「管理控制台」、「碳排資料庫」、「會員專區」等四大項目。內容如下所述：



Copyright © THE MAGIC SCHOOL OF GREEN TECHNOLOGIES DESIGN All right reserved.

碳動態 / NEWS

- 2021-09-08
110年度綠建材標章制度講習會
- 2020-11-30
何謂建築產業碳足跡?
- 2020-09-01
Q&A 碳認證問題集
- More...



關於我們



碳動態



公開碳排資料



聯絡我們

2020 © 中華民國內政部建築研究所.

231 新北市新店區北新路二段200號13樓(捷運新店線大坪林站) (02)8912-7890#283 (02)8912-7826 service@abri.gov.tw

圖1：建築產業碳足跡服務平台首頁畫面

- (1). 前端功能：係為服務平台的首頁，以「關於我們」(敘述平台成立背景、建置目的與碳揭露有關法源依據)、「碳動態」(碳足跡評估相關活動與研習資訊)、「碳資料庫」(以會員與否設定可閱覽權限)、「聯絡我們」等項目構成。

- (2). 管理控制台：提供後台進行管理，功能總覽計有管理區首頁(針對會員的背景以圓餅圖顯示比例)、選單列表、主題文章、碳動態、會員資料、碳排資料庫、碳排點閱率、引用清單管理、點閱列表等功能。
- (3). 碳排資料庫：目前計有初級資材、建築構件、景觀構件、室內構件等四類資料庫，共1003筆碳排數據。本產業平台依據會員與否設定可閱覽之內容。有關資料庫之內容將於後節敘述之。
- (4). 會員專區：「會員專區」設有申請帳號、忘記密碼查詢、登入系統與平台聯繫資訊之服務。會員在經過註冊、確認隱私權政策後，可瀏覽全資料庫內容之餘，亦能利用「會員個人碳排資料庫」的功能新增或編輯個人專屬之建材資料庫並查看細項(含圖片)，而在資料庫中收集完竣所需碳排數據後，即可自動建立清單，此為提供會員引用資料庫內容之重要依據，系統會自動提供QR-code形式之專案碼作為管理依據。(參照圖2、圖3)



圖2：平台「會員專區」資料庫內容瀏覽示意圖

二、資料庫架構與內容

納入本平台之資料庫，包含「初級資材碳足跡資料庫P-LCC」、「建築構件碳足跡資料庫B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫I-LCC」等四類碳足跡資料庫。此資料庫係依照EN15978所規定的境界條件建置而成。EN15978 對EC 之計算範疇如圖4所示，亦即以產品、施工、使用維護、生命終結等四階段，為其必要計算的境界

件，但也可額外加入建材回收再利用之評估，形成五階段計算範疇(此第五階段為選擇性的額外優惠計算項目)。其中，前四階段必要評估的內容為：

- (1). 資材製造階段: 含原物料開採(A1)、運輸(A2)、材料製造(A3)
- (2). 施工階段: 包含資材的運輸(A4)、施工製程(A5)
- (3). 使用維護階段: 建材設備的使用碳排(B1)、維護(B2)、修繕(B3)、替換更新(B4)、改造(B5)、能源使用(B6)、水資源使用(B7)
- (4). 生命終結階段: 含拆解(C1)、運輸(C2)、廢棄物回收(C3)、廢棄物最終處理(C4)
- (5). 邊際外效益: 回收使用、再生使用、重複使用等，係屬額外優惠計算項目。

碳足跡資料庫引用項目表							
專案名稱*	例：綠色魔法學校			資料庫 專案碼	v3ral202003110001		
專案編號	例：BCFd20200001						
查詢單位*	例：大明建築師事務所						
查詢人*	例：林大明						
查詢mail*	例： 123456789@gmail.com						
聯絡電話*	例： 06-2760000			有效期限	2020/1/1-2020/12/31		
No.	代入式	材料/工法*	引用資料庫項目	系統	分類	總碳排	碳排單位
1	Cfe	塑膠	PVC原料	原料	化學塑膠	2.21 kg	
2	Cfe	貼石材牆面	貼石粒/石版/石片/天然文化石片	室裝	牆面裝修	12.73 m ²	
3	Cfe	牆面貼鏡面	貼鏡面	室裝	牆面裝修	13.81 m ²	

圖3：平台「會員專區」資料庫內容引用清單示意圖

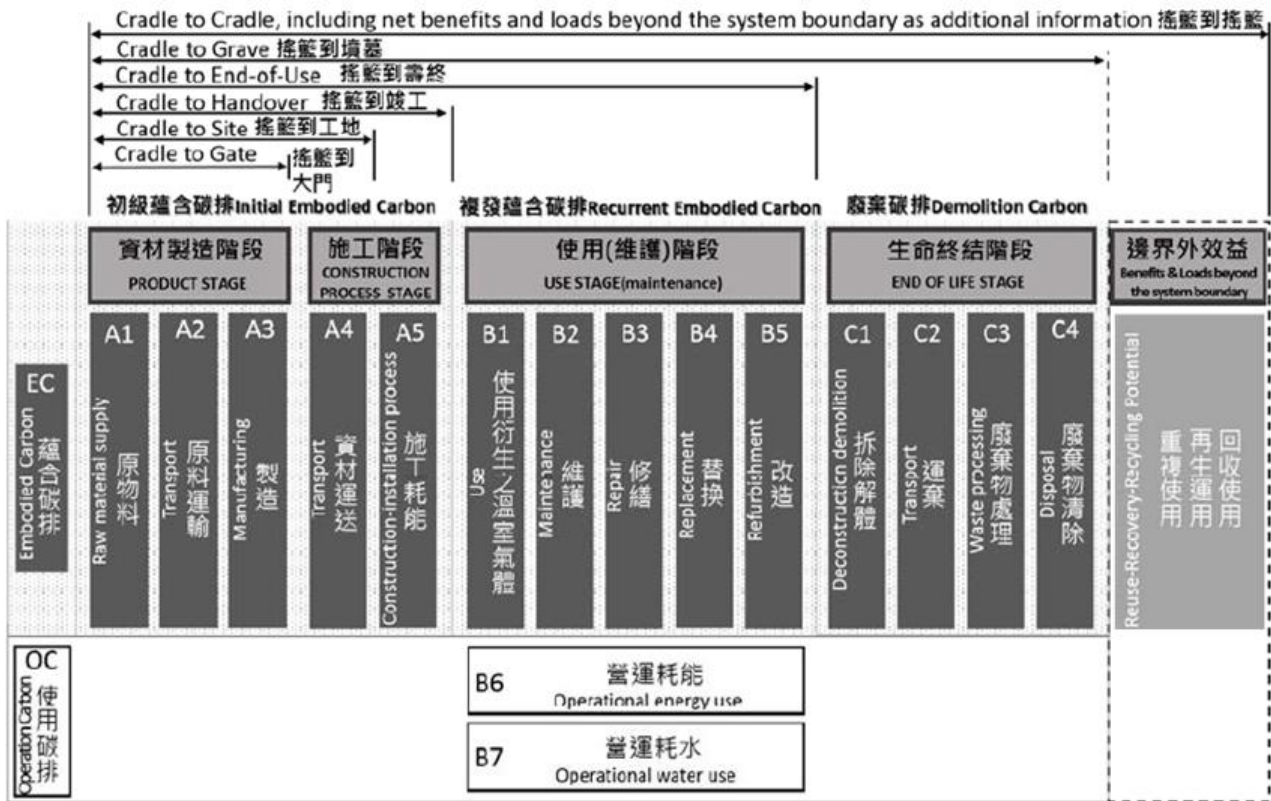


圖4：EN15978建議蘊含碳排EC的計算境界條件

本研究建置之資料庫欲作為我國建築產業碳足跡計算之共通標準，故針對建築營造、室內裝修、景觀園藝等內政部營建署主管範疇之產業，優先建構三大產業共通之「初級資材碳足跡資料庫P-LCC」，而後建構「建築構件碳足跡資料庫B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫I-LCC」，共計四類碳足跡資料庫。上述資料庫中，因實務簡化計算上之需要，分別有「搖籃到工地」與「搖籃到竣工」等兩種範疇。前者包含圖所示的A1~A4項目的碳排，後者則是A1~A5項目的碳排。其差異在於對景觀、室內裝修工程等兩類資料庫，為了減少其複雜的施工碳排計算，事先將A5項的施工碳排併入資料庫內。其原因在於景觀、室內裝修兩類工程的施工碳排，係隨著工程構件項目一對一產生，因此將其併入構件整體的碳排數據中就可免除使用者再一一盤查計算其施工碳排，將帶給日後的碳足跡LCA 很大的方便性。然而，建築構件的施工碳排是伴隨著假設工程(例如吊車、施工電梯等)、地下室土方等整體工程所衍生，無法分散入工程構件的碳排數據，因此只能以「搖籃到工地」為範疇，其施工碳排必須另在LCA 中進行解析，其說明以表1所示。

本研究之四個資料庫內容，其係多為國立成功大學建築系林憲德講座教授與研究室歷時十餘年所建置，四個資料庫中目前總計登錄1003項目，以初級資材523項(52%)為最多，其次依序為室內裝修構件193項(19%)、建築構件151項(15%)、景觀構件136項(14%)。在各資料庫

中佔比最高的前三位由高至低排序，在初級資材資料庫P-LCC中為水泥類、運輸類、加工板材類；室內裝修資料庫I-LCC為板材櫥櫃類、天花裝修類、牆面裝修類；建築構件B-LCC為昇降設備類、帷幕類、屋頂外裝類；景觀構件L-LCC則是表層結構類、擋土與護岸類、景觀照明類。

表1：四類資料庫與碳排計算範疇

資料庫內容	內容列舉	計算範疇
材料 層級	初級資材碳足跡資料庫P-LCC 鋼筋、水泥、紅磚	搖籃到工地 Cradle to Site
構件 層級	建築構件碳足跡資料庫B-LCC 隔間牆、門窗	搖籃到工地 Cradle to Site
構件 層級	景觀構件碳足跡資料庫L-LCC 道路、鋪面、棧道	搖籃到竣工 Cradle to Handover
構件 層級	室內裝修碳足跡資料庫I-LCC 天花板、和式地板	搖籃到竣工 Cradle to Handover

資料來源: 本研究整理

綜上所述，目前所完成的資料庫中以「初級資材碳足跡資料庫P-LCC」較為完整，其餘三項資料庫雖已有基本之常用材料碳足跡數據登錄，但為因應建築生產使用材料、工法之多樣性，其數量與種類有待陸續擴充之。本研究以P-LCC為例，就其建置方法與內容列舉說明如下：

- (1). P-LCC 所涵蓋的內容為EN15978 所定義之「搖籃到工地」之範疇，亦即包含圖所示A1~A4 之碳排項目。
- (2). 有關P-LCC 在初級原材料上，如水泥、木材等材料依照建材工業製程之PB 法建置而成，部分如玻璃等材料依廠商提供之耗能與產量換算而得，如合板、隔間牆等二次組合材料或工程構件則由材料構造圖與施工圖計算而成。
- (3). 若有國內環保署或更高公信力機構之碳足跡盤查資料(通常包含A1~A3 碳排資料)，則優先採納並加入A4 碳排計算資料，做成搖籃到工地形式才能加入P-LCC當中。
- (4). 若有環保署公告之產品碳標籤之碳足跡資料(通常包含A1~A3 碳排與廢棄物處理碳排)，則扣除其中廢棄物處理階段碳排，再加入A4 碳排計算資料，彙整成搖籃到工地形式而加入P-LCC 當中。

- (5). 部分有關環保署公告之碳足跡資料，例如鋼鐵與水泥等，僅明示生產階段之碳排，為使其盤查範疇一致，本研究特別額外由SimaPro 資料庫加入原材料開採之碳排數據，同時也加入由運輸距離所換算之運輸碳排，成為P-LCC資料庫。

前述的P-LCC大多為建築工程常用之基本資材，例如混凝土、鋼筋、合板、矽酸鈣板、石膏板等。但在建築產業亦常使用如輕隔間牆、貼磁磚、高架地板等多種建材組合而成的複合式構件。而這些構件的碳足跡很難由設計者自由組合計算而成。為了建築碳足跡產業推廣，本研究未來亦積極擴充此構件碳排資料庫之內容，本研究目前規畫此構件碳排資料庫為今後第二階段的發展計畫。

而構件碳排資料庫之擴充，最關鍵在於建置標準化的建築構件圖面資料(例如剖面詳圖)，然後依此圖面系統累算其一次建材之碳排數據即可。雖然理論上構件在組合程序上內含一些加工碳排，如攪拌、搬運、固定等小機器運轉所生的碳排，但是國際上均認為這些碳排均非常小而可以被省略。例如，皇家特許師協會(RICS)在2012年建議構件碳排資料庫之建置法如圖所示，此法即為相關構件碳足跡資料庫的建置法，其標準內容之說明將於以下述之。

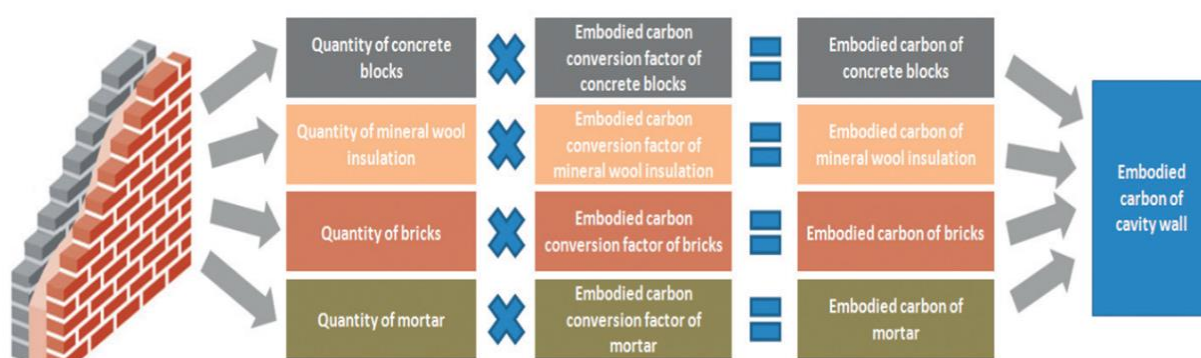


圖5：RICS(2012)建議之構件碳排資料庫之建置法

三、各構件碳足跡資料庫的建置作業標準

(一) 建築構件碳足跡資料庫 B-LCC 建置作業標準

「建築構件碳足跡資料庫B-LCC」為搖籃到工地範疇、不含現場施工碳排的數據。儘管建築構件在組合程序上可能內含一些加工碳排，但如同前述，這些碳排均被視為非常小故可被省略(如RICS於2012之建議)。而建築構件的碳排數據只要由施工圖計算各材料的數量，並由P-LCC 找到材料的碳排，然後累算其碳排即可。另，必須注意的是建築構件應依據

PAS2050 與EN15978 所定義之「功能單位」來建置碳排資料，此目的係為了有利於計算評估上的便利性，基本上只要依據工程實務上常用的估算單位標示即可。例如，大部分建築構件的單位碳排均以「m²」計之，十分方便於業界的實際使用。

(二) 景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC 建置作業標準

「景觀構件碳足跡資料庫L-LCC」為搖籃到竣工範疇，必須內含現場施工碳排的數據。景觀構件初級原材料的碳排可輕易由P-LCC 取得，但其施工碳排必先分析景觀構件的機具施工程序、機具碳排係數，再累算程施工碳排量。尤其景觀工程之施工機具為推土機、山貓、怪手、壓路機、吊卡車等大型機具，較難由設計者或評估者自行盤查計算其施工碳排，因此L-LCC 必須為其代勞，以「標準化施工理論」將施工碳排內含於資料庫內以免其繁雜之計算。本研究所提之「標準化施工理論」，即是針對每一工程構件建立標準化的施工圖、施工程序，然後依此訂出正確的施工機具與工作量來統計其施工碳排量。後續建置景觀構件之碳排資料時，依下述步驟執行之：

- (1). 確立景觀構件的標準施工圖
- (2). 每一工程構件必須有標準化的施工圖，才能建立其標準化的碳排數據，其圖面應該是最合乎相關施工規範且市面上最常見的圖面才具代表性。
- (3). 確立景觀構件的標準機具施工程序
- (4). 景觀構件的施工碳排計算必先正確掌握景觀構件的機具施工程序並累算每一程序的碳排量，其程序最好能請教老練的施工估算專業者，先由標準施工圖訂定景觀構件的標準機具施工程序。例如某一廣場的乾砌石板步道鋪面(底層為碎石路基)，其施工程序為：①以夯實機將底土整平夯實、②由傾卸貨車運來需要的碎石級配、③以山貓鏟裝機(3t)鋪成10cm 厚的碎石基底層、④膠輪壓路機(8.5-20t)壓地、⑤三輪壓路機(10-12t)壓地、⑥以二輪壓路機(6-8t)壓路、⑦以履帶式平土機(寬3.8m)整平路面、⑧襯墊砂、⑨鋪設石板。而在此共計九個的程序中，②碎石、⑧砂、⑨石板被歸入材料碳排計算範疇，其他尚有六個程序必須依下累算其施工機具的碳排。
- (5). 確立施工機具之單位時間工作量與碳排放密度標準
- (6). 有關施工機具之單位時間工作量亦即其工作效率，單位為每小時的工作量m³/hr 或 T/hr。基本上，其工作效率與土質、工作環境、作業循環時間、坡度、運距等條件的不同，存有相當程度之差異，但本研究所界定的景觀工程，暫設定於城鄉環境平野地區，其條件相對單純故可採用標準化條件設定之。所採用的機具單位時間工作

量分析法，係依據以下文獻：行政院農委會水土保持局2015年版的「工程預算書編製原則及工料分析手冊」、台北市政府工務局2010版的「工料分析手冊」等內容作為標準進行計算。所採用的標準化條件乃依據一般建築開發用地情況設定，例如以普通土、平地、30m~40m 工作距離、一般機械作業效率、柴油碳排係數2.58kgCO₂/L 來標準化此工作量與碳排放密度之計算。

- (7). 由標準施工圖計算施工量與標準施工碳排量
- (8). 依上述機具施工程序，由標準施工圖可算出每一機具之施工量，再乘上其碳排放密度標準並累算之後，即成為該工程設施之施工碳排量。
- (9). 計算最終構件碳排數據
- (10). 最後藉由標準施工圖可算出每一層的初級原材料用量，其A1~A4的碳排數據可輕易由P-LCC 取得，加上前項機具碳排量(即A5碳排)，即成L-LCC 數據。

有關景觀構件碳排量之計算，本研究以「乾砌石板鋪面表面+碎石路基底層」工程為例，以表2與表3說明之。

表2：景觀工程之碎石路基的碳排表(單位: kgCO₂e/m²)

路基	材料或施工機具說明	細項碳排	碳排標準
碎石路基	平土機	0.08	6.36
	二輪壓路機 (6-8t)	0.04	
	三輪壓路機 (10-12t)	0.05	
	膠輪壓路機 (8.5-20t)	0.06	
	山貓鏟裝機施工，重 3t	0.14	
	步道碎石級配底層 (T=10cm)	5.93	
	底土整平夯實施工	0.06	

資料來源：截錄自L-LCC碳排資料庫

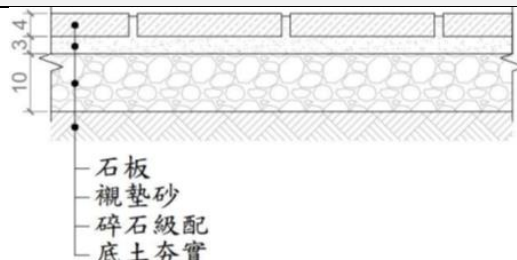
(三)室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC 建置作業標準

「室內裝修碳足跡資料庫I-LCC」為搖籃到竣工範疇，必須內含現場施工碳排的數據。室內裝修初級原材料的碳排數據可由P-LCC 取得，但其施工碳排很小且難以盤查計算，因此I-LCC 必須為其代勞，以「標準化施工理論」將施工碳排內含於資料庫內以免其繁雜之計算。

有關室內裝修的施工，可分為「泥作類」與「金屬木作類」兩種。前者之現場施工僅使用攪拌機等小工具而大部分均仰賴人力完成，其施工的碳排微小，而根據PAS2050 規定，人

力不被計入碳足跡，因此I-LCC 省略泥作類工程之施工碳足跡計算。另一方面，後者之金屬木作類工程則常使用工作鋸台、線鋸機、電鋸、電鑽、打磨機、研磨機、拋光機等較大功率之切割、接合、研磨機具，其施工碳排必須被考量。綜合上述，I-LCC 的施工碳足跡主要鎖定金屬木作類工程來計算之。有關I-LCC 的施工碳排的掌握，本研究以專業工匠問卷方式，就室內裝修之單位構件整理得出「標準工時」，單位為「人天/m」或「人天/m²」，再乘上「施工碳排密度3.48kgCO₂e/人天」。此「施工碳排密度」，意即一個工匠在一單位工作天的施工排碳密度，係由林憲德教授之研究團隊於過去調查四個室內裝修案場所得的機具碳排數據(參照表4)。更具體的I-LCC 建置作業標準如下：

表3：景觀工程之乾砌石板鋪面表面+碎石路基地層的碳排表(單位: kgCO₂e/m²)

材料	厚度	細項碳排	碳排標準	圖面
防腐硬木	16cm	30.74	31.46	
襯墊砂	5cm	0.72		
碎石路基	10cm		6.36	

資料來源: 截錄自L-LCC碳排資料庫

表4：室內裝修施工碳排密度標準表(單位: kgCO₂e/m²)

裝潢種類	單位	平均標準工時(人天)	施工碳排密度
實木地板	10 m ²	1.6	0.557
辦公高架地板	10 m ²	2.8	0.974
明架系統天花	10 m ²	0.8	0.278
夾板木作天花	10 m ²	1.4	0.487
12cm 木骨架合板隔間牆	10 m ²	1.7	0.591
C 型鋼矽酸鈣板隔間牆	10 m ²	1.2	0.417

資料來源: 截錄自I-LCC碳排資料庫

- (1). 任一室內裝修構件必先繪製標準化的施工圖。
- (2). 由施工圖可詳細計算每一層之原材量，並由P-LCC取得其每一原材之碳排數據，全部累加之後即為該構件A1~A4合計之碳排數據。

- (3). 依據室內裝修構件之屬性，如表4所示取得該構件應有的施工碳排密度(此為A5碳排數據)。
- (4). 前兩項合計之後即為該構件之 I-LCC 數據。

伍、研究成果、市場潛力與營運建議

一、研究成果

隨著全球暖化之威脅加劇，在國際間的減碳政策上產品被要求碳標籤、企業被要求碳揭露之勢日漸高漲。而台灣在2015年6月15日經立法院會三讀通過《溫室氣體減量及管理法》後，明文規範我國溫室氣體長期減量目標為「2050年的溫室氣體排放量要降為2005年的50%以下」；在此背景下，環保署未來將可參考《聯合國氣候變化綱要公約》等相關國際公約實施溫室氣體總量管制及排放交易制度。在上述動向與政策走勢的方興未艾之際，為進一步達到碳足跡資料的透明化、對外公開與諮詢，本研究以政府之建築營建相關部門，以及民間之設計、營建單位、材料商、工程顧問，設備廠商為對象，建置「建築產業碳足跡服務平台」，除了促進相關產業綠色競爭力之提升以外，今後對台灣走向低碳行動世界接軌之路具深遠之幫助。而本研究彙整世界各國對於建築領域碳足跡之揭露樣態與公開方式，並參考我國環保署對於各種物料碳足跡表示方式的相關作法，正式建構「建築產業碳足跡服務平台」，依據此種針對建築領域特性所量身訂作的平台，特色與功能如下所示：

(一)產業服務平台的整體架構

平台以web網站形式公開，並以會員「免費」登錄方式，在註冊完成後始可閱覽全部內容，平台的主要架構，係分為「碳足跡相關訊息系統」與「碳足跡資料庫」兩大部分。前者為國內外有關碳足跡動向、我國中央與地方政府相關政策、優良案例介紹、低碳建材與低碳工法指引等；後者的資料庫包含「初級資材碳足跡資料庫P-LCC」、「建築構件碳足跡資料庫B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫I-LCC」四類碳足跡資料庫。

(二)產業服務平台之資料庫內容匯出

由於平台可提供業界最新可靠之建築產業碳足跡資料庫，並由平台的「資料匯出」功能出具碳足跡資料證明書，其可消除目前國內各單位誤用來源不明、缺乏時效的碳足跡資料等情事，故可提升國內碳足跡評估報告的信賴度與可比較性。

(三)資料庫引用分析與內容之維護

本平台依據「會員管理」功能與資料庫系統中管理控制台，可精確統計各種材料/建材/工法之碳排資料的點閱率、以及不同使用者的閱覽項目。上述資料藉由進一步分析與交叉比對，可得知目前建築產業各種碳揭露資料與各種建築從業人員之相關性，亦可鎖定未來資料庫內容須持續整備之方向。此外，在平台內的各種資料庫中，P-LCC於現階段已具備較完整之內容，其他三類碳足跡資料庫目前已建置，惟後續可隨市面上新產品之增加，可持續擴充相關項目。而平台的建置，亦可鼓勵並輔導我國資材廠商，自行調查生產量與耗能結構，推算出精確的碳排放量，進而發展低碳工法與低碳建材，促進產業的永續發展競爭力。

二、市場潛力

有關建築相關產業的「環境性能」評估與認證系統，目前已進入法制化的有「綠建築標章」與「綠建材標章」；攸關碳足跡之認證則有「低碳建築認證」與「低碳建材與工法認證」等，但目前因尚未具有強制性，是故在市場需求下尚有可推廣之空間。然而，有鑑於行政院公共工程委員會目前正推動「公共工程低碳評估作業」；而地方政府如台中市亦已對特定區域之建設開發，要求提出相關低碳之認證等。在中央與地方對於建築生產碳足跡揭露的重視下，本平台的建置有助於其認證作業的接軌，可望成為國內土木、營建、建築、景觀工程的碳足跡評估標準與便於計算之依據。另，目前世界先進潮流，在於拓展「建築能源標示制度」、「近零碳建築認證」，同時目前LEED、BREEAM、Green Star 等國外知名綠建築評估系統，已經把建材部分的減碳評估採用優惠評估制度，我國應可利用本研究之建置的建築產業碳足跡服務平台，將綠建築制度中納入碳足跡的優惠評估法，同時也可考量以生命週期法與「建築能源標示制度」結合引入低碳建築認證之精神，讓我國成為世界第一個擁有碳足跡標示之綠建築制度的國家。此外，依據「碳揭露」的精神，未來可藉由此服務平台，協助內政部地政司制訂不動產交易法，鼓勵房屋交易機制中含括建築物碳足跡標示認證，如此更能落實建築碳足跡政策，並確實達到節能減碳之目的。

三、平台營運之建議

有關產業服務平台建置後的營運與產業接軌方面，本研究透過內政部建築研究所(官方)、建築碳足跡相關研究者(學界)、平台營運相關專業者(業界)、建築師與工程顧問公司團隊(業界)等所組成之專家群，以三場計二十人次之專家座談會，提出今後平台營運之建議。

在平台本體的經營上，未來在內政部建研所擁有著作權的前提下，可自行管理營運，或是將其成果可藉由「技術移轉」之模式給第三公正單位(例如學術機關、公設法人等)授權使

用與營運。其年度權利金建議在建築產業碳足跡推廣之初段期間，採取免費或較低額之設定，待其逐漸普及或低碳相關認證法制化後再予以彈性調整。而於被授權單位(使用單位)方面對於服務平台之營運，同時須針對其成本與收入進行更進一步之評估；前者成本包含平台系統的定期維護、資料庫內碳排資料的增補與更新、電腦與伺服器之點檢與汰換等；後者之平台收入，主要為資料庫中碳排數據的運用等。而本研究建議現階段在平台採會員制為前提下，免費使用的範圍為自評、學術運用、自由閱覽者，但引用時須註明出處；若資料的運用涉及相關認證或作為商業使用者，則可依資料筆數等收取碳排資料使用費，惟本研究建議在營運初期，為擴大推廣與鼓勵使用，其費用不宜過高或是需要搭配相關優惠措施。

而在資料庫內容的擴充方面，目前雖已有超過一千筆以上的碳足跡數據，然而考量材料/產品推出之日新月異，除了有賴學術界的持續研究與調查以外，如何誘導民間業界持續提供新材料與新工法的相關碳排放數據亦是重點；本研究在前述所提結合現有綠建築相關標章的策略，即是有效鼓勵由民間充實資料庫之具體作為，惟其公開數據的正確性亦有賴學界或第三公正單位的審查把關，是故本研究亦建議，新增材料碳排放數據採「隨到隨審」之餘，其資料庫內容至少需以一年一次的頻率，由內政部建研所或被授權之營運單位進行資料庫內容之全面檢視，故其營運單位有召集專家群成立審查小組執行前述工作(新案審查與年度資料庫盤點檢查)之義務。另，在鼓勵業界提供數據之前，建議應宣導業者就「初級資材碳足跡資料庫P-LCC」、「建築構件碳足跡資料庫B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫I-LCC」四類碳足跡資料庫的擴充，須依據本研究所提出之標準計算範疇加以評估與計算，以免影響數據之準確性。

參考文獻

一、中文文獻

1. 林憲德、蔡耀賢、楊詩弘、尤巧茵、黃詠琦，2019。『建築材料碳足跡資料系統建置之研究』，內政部建築研究所委託研究報告。
2. 林憲德，2018。『建築產業碳足跡』，詹氏書局。
3. 伊香賀俊治，2018。「日本建築生命週期碳排放評估系統與政府、民間的活用狀況」，台中市低碳智慧城市碳管理策略國際研討會。
4. 蔡濬莉、王俊堯、蔡崇煌、蘇家龍、張惠雯，2018。「氣候變遷對於人類身體健康的影響」，『家庭醫學與基層醫療』，第33卷，第11期，頁：317~323。
5. 陳峙霖，2018。「臺中市水湳智慧城工程碳管理計畫執行成果與實務經驗分享」，台中市低碳智慧城市碳管理策略國際研討會。

6. 財團法人工業技術研究院，2017。『106年度產品碳足跡資訊揭露服務專案工作計畫』，行政院環境保護署委託研究。
7. 盧怡靜、彭書憶、朱志弘、黃文輝、王王，2015。「碳足跡計算服務平台及碳係數資料庫建置」，『冷凍空調技師季刊』，第10卷，第3期。
8. 財團法人工業技術研究院，2015。『104年度產品碳足跡資訊揭露服務專案工作計畫』，行政院環境保護署委託研究。
9. 中華民國工程技術顧問商業同業公會，2012。『研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則委託研究案-成果報告減碳規則篇』，行政院公共工程委員會專案研究計畫。
10. 陳瑞鈴、林憲德、李振綱、黃國倉、王育忠、蘇梓靖，2008。『建築產業生命週期CO2減量評估應用之研究(三)』，內政部建築研究所協同研究報告。
11. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)，2007。『氣候變化2007綜合報告』，政府間氣候變化專門委員會。
12. 張又升，2002。『建築物生命週期二氧化碳減量評估』，成功大學建築系博士論文。
13. 王松永，1996。「木材利用與環境保護」，木質構造建築之結構與室內居住性研討會論文集。
14. 建築產業碳足跡服務平台，取自：<http://cfp.twnict.com/>。
15. 中華民國內政部建築研究所，取自：<https://www.abri.gov.tw/>。
16. 低碳建築聯盟 (LCBA)，取自：<http://www.lcba.org.tw/>。
17. 產品碳足跡計算服務平台，取自：<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/LoginPage.aspx>。
18. 台灣產品碳足跡資訊網，取自：<https://cfp.epa.gov.tw/carbon/defaultPage.aspx>。
19. 經濟部工業局 產品環境足跡，<https://www.idbcfp.org.tw/news.aspx>。
20. 臺中市政府，「水滄智慧城-工程碳足跡資訊網」，取自：<http://shan.isdc.org.tw/>。
21. PSERCB 私有住宅建築物實施耐震能力評估及補強資訊管理系統，取自：<https://ercb.cpami.gov.tw/web>。

二、日文文獻

1. 日本建築學會，2013。《建物のLCA指針》，日本建築學會。
2. 日本建築士連合會，1994。《建築のライフサイクル設計》，日本建築士連合會。
3. 一般社団法人 日本サステナブル建築協会 (JSBC ，日本永續建築協會)，取自：<http://www.jsbc.or.jp/index.html>。
4. IBEC 建築省エネルギー機構，取自：<http://www.ibec.or.jp/>。
5. 国立研究開発法人 建築研究所 サステナブル建築物等先導事業。

6. (永續建築物等先導事業)・取自：<https://www.kenken.go.jp/shouco2/index.html>。
7. 公益社団法人ロングライフビル推進協会 (BELCA・公益社団法人長壽建築推廣協會)・取自：<http://www.belca.or.jp/>。
8. 建築工事と建物保全 | 東京都財務局 (建築工事與建物保全)・取自：<https://www.zaimu.metro.tokyo.lg.jp/>。
9. 一般社団法人 住宅性能評価・表示協会・取自：<https://www.hyoukakyokai.or.jp/>。

三、英文文獻

1. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change, available from: <https://www.ipcc.ch/>.
2. SimaPro, available from: <https://simapro.com/>.
3. LEED rating system, available from: <https://www.usgbc.org/leed>.