

可逆式建築設計與應用之調查研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 112 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

11215G0017
PG11203-0441

可逆式建築設計與應用之調查研究

受委託者：財團法人台灣建築中心
研究主持人：王婉芝
協同主持人：黃榮堯
研究員：陳怡安
研究助理：李力德
研究期程：中華民國 112 年 3 月至 112 年 12 月
研究經費：新臺幣 98 萬元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 112 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
ABSTRACT.....	XIII
第一章 緒論.....	1
第一節 計畫緣起與目的.....	1
第二節 研究背景.....	2
第三節 研究方法與流程.....	3
第四節 預期成果.....	6
第五節 計畫執行期程.....	7
第二章 國外可逆式建築設計之探討.....	9
第一節 國外可逆式建築定義.....	9
第二節 可逆式建築設計指南.....	27
第三節 可逆式建築構件發展趨勢.....	38
第三章 現行國內外案例蒐集.....	55
第一節 國內外可逆式案例.....	55
第二節 訪查建築案例類型.....	69
第四章 結論與建議.....	73
第一節 結論.....	73

第二節 建議	73
附錄一 ISO 15392:2019 建築和土木工程的可持續性.....	75
附錄二 可逆式建築設計參考指引(草案)	81
附錄三 期中審查意見回覆表	95
附錄四 期末審查意見回覆表	99
附錄五 第一次專家諮詢會議	103
附錄六 第二次專家諮詢會議	111
參考書目	121

表次

表 1-1	計畫期程表	7
表 2-1	可逆性的三個維度	28
表 3-1	訪查建築案例類型	69
表 3-2	參訪建築案例	70

圖次

圖 1-1	建築循環設計架構	2
圖 1-2	工作項目執行流程圖	5
圖 2-1	單次與多次生命週期設計線性模型區別	10
圖 2-2	可逆建築通過再利用和重新配置設計	13
圖 2-3	建築構件的不同耐久率	13
圖 2-4	可逆三個轉換維度	14
圖 2-5	線性(靜態)設計方式與循環(可逆)式設計模式 ...	18
圖 2-6	設計過程作為反覆運算決策迴圈的數量	21
圖 2-7	初始設計階段建築空間可逆轉換可行性研究	22
圖 2-8	RBD 工具與設計協議之間的集成	23
圖 2-9	可逆建築協議整合空間和技術方面的可逆性	24
圖 2-10	施工考量要素面向圖	25
圖 2-11	MCDM 的圖形表示	26
圖 2-12	二分類法囊括可逆三個設計維度	27
圖 2-13	單一功能型:辦公室為例	29
圖 2-14	跨功能型	30
圖 2-15	可改造型	31
圖 2-16	改造潛力	32
圖 2-17	可逆程度高低示意圖	33
圖 2-18	自然光的關係	34
圖 2-19	與類型學關係	35
圖 2-20	支撐(結構)系統和施工方法	35
圖 2-21	建築類型	36
圖 2-22	建築類型	37
圖 2-23	材料系統層級(左), 建築物層級(右)	37
圖 2-24	可逆結構領域界定	38
圖 2-25	設計方面 示意圖	39

圖 2-26	可逆結構領域界定	41
圖 2-27	功能分解示意圖	42
圖 2-28	評估功能自主性	43
圖 2-29	系統化和集群化示意圖	43
圖 2-30	系統化和集群化種類示意圖	44
圖 2-31	元素間的層次關係圖	44
圖 2-32	五種裝配類型	45
圖 2-33	關係位置示意圖	46
圖 2-34	基本元素示意圖	47
圖 2-35	基本元素概念示意圖	47
圖 2-36	幾何拆卸示意圖	48
圖 2-37	裝配順序示意圖	48
圖 2-38	裝配順序類型示意圖	49
圖 2-39	連接類型示意圖	50
圖 2-40	連接類型說明圖	51
圖 2-41	裝配拆卸生命週期示意圖	52
圖 3-1	印度 KOODAARAM 館.....	55
圖 3-2	印度 KOODAARAM 館架構	56
圖 3-3	荷蘭 PEOPLE'S PAVILION.....	57
圖 3-4	荷蘭 PEOPLE'S PAVILION 館結構系統圖	57
圖 3-5	荷蘭 PEOPLE'S PAVILION 館結構系統	58
圖 3-6	荷蘭 TRIODOS BANK.....	59
圖 3-7	日本大阪實驗住宅計畫 NEXT21	59
圖 3-8	日本大阪 NEXT21 格局變化圖	60
圖 3-9	日本大阪 NEXT21 水電配置說明	61
圖 3-10	日本 PANASONIC HOMES 建蓋規模	62
圖 3-11	日本 PANASONIC HOMES 預製細部	62
圖 3-12	中國裝配式建築	63
圖 3-13	中國裝配式建築標準證明	63

圖 3-14	臺中世博荷蘭國家館	65
圖 3-15	沙崙智慧綠能循環住宅園區	66
圖 3-16	沙崙智慧綠能循環住宅園區	67
圖 3-17	EAG HOUSE-易構住宅	68
圖 3-18	預製與預鑄構建	70
圖 3-19	預製與預鑄構建	71
圖 3-20	輕鋼構建築組裝圖	72
圖 3-21	組裝後成品	72

摘 要

關鍵詞：可逆式建築設計、建築循環設計、循環經濟

一、研究緣起

根據聯合國估計，建築及營造業的資源消耗量約佔全歐洲的 50%，廢棄物製造量則佔 60%。但如果老舊房子經過拆解後，所有的樑柱牆板等構件都能重複被使用在下一棟房屋的設計，就像我們以積木堆疊成房子後可以打散再重新堆疊成另一個新的房子一般，則勢必將大幅減少建築營造對地球資源的消耗，並消除大量廢棄物。因此歐盟於 2015 年推出「建材銀行計畫 (Building as a material bank, BAMB)」，其中包含「建材護照(Material Passport)」及「可逆式建築設計(Reversible Building Design)」兩大創新輔助架構的建立，「可逆式建築設計」讓建材能夠被完整地拆卸與重覆使用，「材料護照」則追蹤每一份建材的履歷與狀態，提供其材質之組合、可再利用及拆除評估資訊；如此建築物將轉變成為建材的暫時存放處，在其生命週期結束或用途改變時，將這些建築廢棄資材進行完整規劃再利用的途徑，達到減少建築資源浪費，同時也能減少施工所造成的環境負擔（例如降低能耗、二氧化碳排放、廢棄物等）。因此，為了降低整體自然環境之資源使用及處理廢棄物所消耗的能源，可逆式建築設計概念已成為永續健康綠建築之有效施行策略之一，也翻轉了人們對於建築的想像，逐步成為歐洲地區永續城市循環發展的基礎。

二、研究方法及過程

藉由蒐集國內外文獻進行歸納、整理及分析比較，協助本研究瞭解可逆式建築設計定義、適用之範疇、方法限制等；另輔以個案訪視，蒐集其於實務應用過程面臨與克服之問題。此外，藉由諮詢專家學者進一步探討本研究所研擬可逆式建築設計原則(草案) 以及未來可逆式建築設計於國內推動之合理性與適用性，作為國內發展可逆式建築設計之參考。

(一) 文獻回顧法：

蒐集國內外可逆式建築設計之相關文獻資料與案例，包括論文、研究報告、相關報導等資料，加以分析與歸納整理。

(二) 個案訪視法：

針對國內應用可逆式建築設計之案例進行訪視，蒐集其於實務應用過程面臨與克服之問題，作為後續發展之參考。

(三) 專家座談法：

邀集相關領域專家／建築師舉辦專家座談會，獲取專家們專業的實務意見及觀點，協助本研究檢視可逆式建築設計原則(草案)以及未來可逆式建築設計於國內推動之合理性與適用性。

三、重要發現

(一) 蒐集國內外建築可逆式評估方法，本研究已蒐集歐盟於2015年「建材銀行計畫(Building as a material bank, BAMB)」所出版相關著作內容進行參考文獻的參考資料，資料內容包含可逆式建築的建築設計準則(Reversible Building Design)、可逆式建築的設計階段(Design Strategies For Reversible Buildings)以及對可逆式建築的探究(Explorations for Reversible Buildings)等著作，我國可逆式建築設計的觀念與設計相關的想法正在初創草創階段，因此國內有關此一議題的文獻資訊仍未完備，但隨著近年循環經濟與環保議題再次受到大眾所重視，本研究已收集相關國內外相關資料進行彙整與研析。

(二) 國內可逆式建築設計案例訪視，國內可逆式建築這個名詞雖未被廣泛應用，但有很多工法與建築結構設計的形式已具有在未來達成可逆式建築此一核心概念之設計，例如：預鑄式建築、輕鋼構(組合屋)...等，臺灣在近幾年也已落成多棟以循環經濟為設計概念發想之建築物，如：台中花博荷蘭館、沙崙智慧綠能循環住宅園區以及南港機廠公宅...等，這些示範性建築已具備一定程度的循環設計概念與達成部分可逆目標的落實，可作為本研究之參考資料。目前本研究已參訪亞利預鑄廠辦和潤弘精密工程廠辦等台灣可逆式相關案例，進行現場參訪式的資料蒐集。

四、主要建議事項

建議一

延續可逆式工法進行建築物導入相關議題研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

本研究已研擬可逆式建築設計參考指引(草案)。目前國外於建築循環利用提出「可逆式建築設計」概念，其對建材完整拆卸與重覆使用之相關工法，有利於提升設計階段導入建築循環，但我國目前相關技術的現況與回收上的難易程度以及建築預鑄化及模組化成為可逆式設計潛力，仍持續需要藉由技術面、法規面及市場面等多面向的資料蒐集與探討，才得以修正可逆式建築設計於國內推廣應用的可行性與後續發展必要的配套措施，作為國家建築循環設計與永續城市發展政策策略訂定之參考。

建議二

建立我國循環建築設計綱要手冊：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

配合臺灣 2050 淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫，推動循環建築，從建築設計源頭減量。整合本案研究成果及所內前期研究包含「建築規劃設計導入循環經濟發展理念之研究」、「建築循環設計構件材料度之評估研究」提出我國循環建築設計綱要手冊，提供政府單位相關建築及資源循環政策研擬參考，亦可提供建築師規劃設計及建材產業發展新材料、新工法之參考。

ABSTRACT

Keywords: Reversible architectural design, architectural circular design, circular economy

I. Origin

According to United Nations estimates, the construction and construction industry accounts for approximately 50% of Europe's resource consumption and 60% of waste production. But if the old house is dismantled, all the beams, columns, wall panels and other components can be reused in the design of the next house, just like when we stack building blocks to form a house, it can be scattered and re-stacked into another new one. A house in general will inevitably significantly reduce the consumption of earth resources in construction and eliminate a large amount of waste. Therefore, the European Union launched the "Building as a material bank (BAMB)" in 2015, which includes two innovative auxiliary structures: "Material Passport" and "Reversible Building Design" Established, "reversible architectural design" allows building materials to be completely disassembled and reused, while "material passport" tracks the history and status of each building material, providing information on its material combination, reuse and dismantling assessment; so The building will be transformed into a temporary storage place for building materials. When its life cycle ends or its use changes, these construction waste materials will be fully planned and reused to reduce the waste of construction resources and at the same time reduce the environmental burden caused by construction. (e.g. reducing energy consumption, carbon dioxide emissions, waste, etc.).

II. Research methods:

1. Collect relevant literature and cases on reversible architectural design at home and abroad.
2. Based on the collection and analysis of relevant information and literature collected by this institute, Taiwan's reversible building design principles (draft) were formulated and the opinions of relevant experts and scholars were solicited.
3. Formulate reversible building design principles (draft) and put forward application and promotion suggestions.

III. Major outcomes:

1. This study has collected reference materials for relevant works published by the European Union in 2015 on the "Building Materials Bank Project (BAMB)". The information includes architectural design guidelines for reversible buildings (Reversible Building Design), Design Strategies For Reversible Buildings, and Explorations for Reversible Buildings. The concept of reversible building design in Taiwan and design-related ideas are in the initial stage. Therefore, the domestic literature and information on this topic is still incomplete. However, as circular economy and environmental protection issues have once again attracted public attention in recent years, this study has collected relevant internal and external data for compilation and analysis.
2. At present, this research has visited Taiwan's reversible-related cases and conducted on-site visit-style data collection. Such as: Holland Pavilion at Taichung World Flora Exposition, Taisugar Circular Village, Nangang Depot Public Housing, Intelligent Living Space (ABRI), etc. Those buildings have a certain degree of recycling design concepts and have achieved some reversible goals, and can be used as reference materials for this study.

IV. Main Recommendation

Suggestion 1

Study on methodology to assess reversible building design in building. (short-term (immediate) actions)

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

This study has developed a reference guide (draft) for reversible building design. At present, the concept of "reversible building design" has been proposed in foreign countries for building recycling. Its related construction methods of complete disassembly and reuse of building materials are conducive to improving the design stage and introducing building recycling.

However, the current status of related technologies in Taiwan still needs to collect and discuss data from multiple aspects such as technical, regulatory and market aspects before correcting reversible building design and promoting its application in Taiwan. The feasibility and necessary supporting measures for subsequent development will serve as a reference for the formulation of building recycling design and sustainable urban development policy strategies.

Suggestion 2

Develop circular design guidelines for buildings. (medium and long-term actions)

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

For Taiwan's 2050 net-zero Transition 12 key Strategies "Resource Recycling and Zero waste" action plan.

Integrating the research results to provide a guidelines for circular design buildings to government units relevant building and resource recycling policies. It can also be used as a reference for planning and design by architects and for the development of new materials and new construction methods in the building materials industry.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起與目的

本研究本年度將嘗試針對可逆式建築設計與應用進行初步探討研究，從技術面、法規面及市場面初步探討可逆式建築設計於國內推廣應用的可行性與後續發展必要的配套措施，作為國家建築循環設計與永續城市發展政策策略訂定之參考。

根據聯合國估計，建築及營造業的資源消耗量約佔全歐洲的 50%，廢棄物製造量則佔 60%。但如果老舊房子經過拆解後，所有的樑柱牆板等構件都能重複被使用在下一棟房屋的設計，就像我們以積木堆疊成房子後可以打散再重新堆疊成另一個新的房子一般，則勢必將大幅減少建築營造對地球資源的消耗，並消除大量廢棄物。因此歐盟於 2015 年推出「建材銀行計畫 (Building as a material bank, BAMB)」，其中包含「建材護照(Material Passport)」及「可逆式建築設計(Reversible Building Design)」兩大創新輔助架構的建立，「可逆式建築設計」讓建材能夠被完整地拆卸與重覆使用，「材料護照」則追蹤每一份建材的履歷與狀態，提供其材質之組合、可再利用及拆除評估資訊；如此建築物將轉變成為建材的暫時存放處，在其生命週期結束或用途改變時，將這些建築廢棄資材進行完整規劃再利用的途徑，達到減少建築資源浪費，同時也能減少施工所造成的環境負擔（例如降低能耗、二氧化碳排放、廢棄物等）。因此，為了降低整體自然環境之資源使用及處理廢棄物所消耗的能源，可逆式建築設計概念已成為永續健康綠建築之有效施行策略之一，也翻轉了人們對於建築的想像，逐步成為歐洲地區永續城市循環發展的基礎。

完成國內外可逆式建築設計相關文獻資料與應用案例之蒐集整理，以理解國際間對於可逆式建築的實務應用與發展。並在可逆式建築設計在技術、法規及市場等各面向於國內推廣應用的可行性分析，提出我國適用原則，最終達成建立可逆式建築設計原則(草案)，以作為我國建築循環設計推動與永續城市發展之參考。

第二節 研究背景

在循環經濟中，資源、材料及產品的生命週期與價值盡可能被延長和維持，以保護和降低天然原料的需求，並減少廢棄物的產生。隨著建築營建產業原物料(如水泥、鋼鐵等)價格攀升，以及面臨材料供應鏈可持續性問題，在產業中導入循環經濟理念已成為現今企業持續發展的重要策略。近年各國政府、國際機構與組織積極探討可導入建築物生命週期的循環經濟模式，並在建築規劃設計實務層面上導入循環經濟理念，所採用之「建築循環設計」包括物料、能源、空間、水資源和生物性資源的循環設計手法(圖 1-1)。由於在建築物設計興建、使用及拆除過程中，物料資源耗用顯著及產生大量廢棄物，物料的循環策略主要為提升建築物料價值利用及再循環潛力，例如提升建築物耐久性與調適性的設計、鼓勵採用回收/再生/可回收/具再利用潛力的材料和產品、避免毒性和污染或無法解離的複合材料，以及加強物料循環的環境空間營造策略等。



圖 1-1 建築循環設計架構

(資料來源：內政部建築研究所，2021)

在物料循環中的「可逆式建築組拆設計」，由於其讓建材能夠被完整地拆卸與重覆使用，如此建築物將轉變成為建材的暫時存放處，在其生命週期結束或用途改變時，將這些建築廢棄資材進行完整規劃再利用的途徑，達到減少建築資源浪

費，同時也能減少施工所造成的環境負擔（例如降低能耗、二氧化碳排放、廢棄物等）。因此，可逆式建築設計概念已成為永續健康綠建築之有效施行策略之一，也翻轉了人們對於建築的想像，逐步成為歐洲地區永續城市循環發展的基礎。例如像在荷蘭的 people's pavilion 以及 Triodos Bank 都是應用可逆式設計的循環建築。

此外，2018年在台中世界花卉博覽會興建的荷蘭國家館、2018在印度 Kochi-Muziris Biennale 中的 Koodaaram 館，也都引進了可逆式建築組拆設計，這些案例稍後將進一步說明。

雖然歐盟已發展出「可逆式建築設計指引」，但截至目前為止，國內外可逆式建築設計的案例主要都以使用周期較短暫的展示館、展演廳為大宗，僅有少數像荷蘭 Triodos Bank 這樣稍具規模的建築。顯見可逆式建築組拆設計在一般住宅辦公等建築的應用上仍有其待突破及侷限之處！

事實上國內每次重大颱風地震後救災十分倚賴的活動組合屋，就是可逆式建築組拆設計理念的實踐，但是為何未往一般中低樓層建築之興建發展，有待進一步了解。近年來為縮短建築施工期程，並提升施工品質而發展的預鑄化及模組化的建築設計生產，雖然發展目的不同，但某種程度也呼應了可逆式建築構件組拆設計的觀念，這些議題都值得國內在評估引入可逆式建築設計的觀念技術時探討。

第三節 研究方法與流程

壹、研究採用之方法

一、文獻回顧法：

蒐集國內外可逆式建築之相關文獻資料與案例，如中英文專書、期刊論文、研究報告等資料，以研擬臺灣可逆式建築設計原則(草案)，包括準則範疇、落實方式、資料來源等。

二、個案訪視法：

針對國內應用可逆式建築設計之案例進行訪視，蒐集其於實務應用過程面臨與克服之問題，作為後續發展之參考。

三、專家座談法：

邀集相關領域專家／建築師舉辦專家座談會，獲取專家們專業的實務意見及觀點，協助本研究檢視可逆式建築設計原則(草案)以及未來可逆式建築設計於國內推動之合理性與適用性。

貳、研究內容與流程

本研究主要工作項目之執行流程共八項程序說明如下，如圖 1-2 所示。

一、確定研究主題

確立本研究的研究目標及範疇。

二、國內外可逆式建築設計之文獻資料蒐集

蒐集國內外有關可逆式建築設計文獻與研究資料。

三、國內可逆式建築設計案例訪視

訪視國內可逆式建築設計案例，包括台中花博荷蘭國家館設計施工相關團隊、活動組合屋相關廠商及業主、預鑄工法相關團隊、模組化建材相關廠商等，了解可逆式建築設計國內外應用現況與實務遭遇問題。

四、第一次專家諮詢會

邀請相關專家/建築師，針對可逆式建築設計國內外發展現況，以及於國內應用法規面、技術面及市場面等相關議題進行研討。

五、研擬可逆式建築設計原則

分析及參考國內外文獻及案例資料，以及專家諮詢會議的建議，研擬可逆式建築設計原則。

六、第二次專家諮詢會

針對本研究所研擬可逆式建築設計原則，以及未來國內推廣可逆式建築設計可行性，邀請相關專家/建築師進行研討。

七、擬定可逆式建築設計原則(草案)

參考專家諮詢意見，補強相關資料，擬定可逆式建築設計原則(草案)。

八、提出可逆式建築設計應用與推動建議

針對法規面、技術面及市場面相關議題，提出國內發展可逆式建築設計，未

來應用與推動之建議。

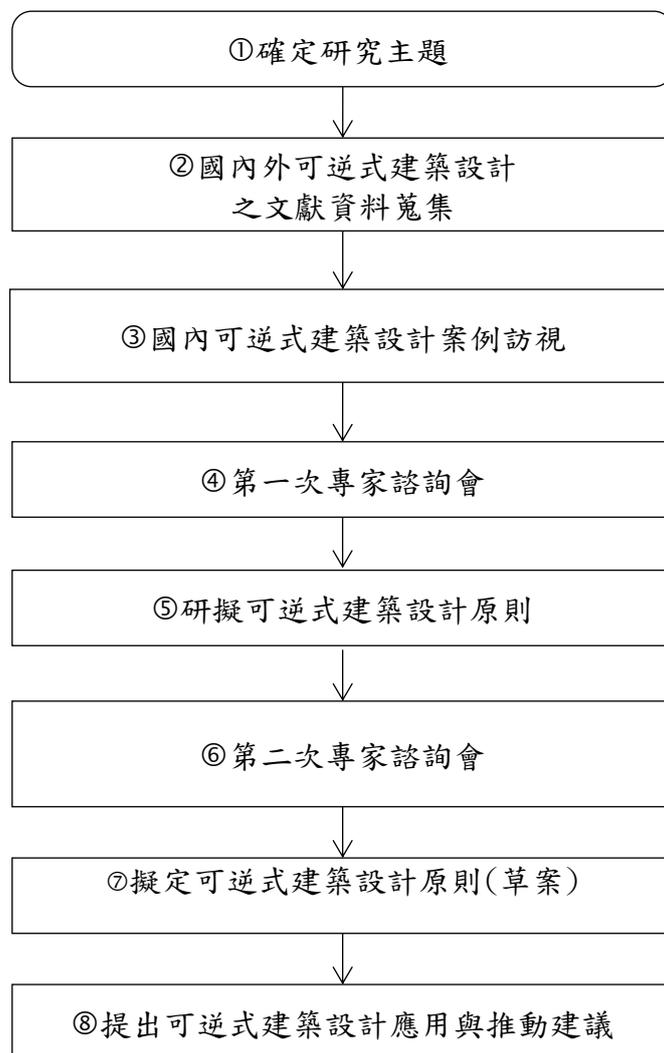


圖 1-2 工作項目執行流程圖

(資料來源：本研究自繪，2023)

第四節 預期成果

本研究預期成果，說明如下：

- 一、完成國內外可逆式建築設計之相關文獻資料與應用案例之蒐集整理，以理解國際間對於可逆式建築的實務應用與發展。
- 二、完成可逆式建築設計在技術、法規及市場等各面向於國內推廣應用的可行性分析，提出我國適用原則。
- 三、完成可逆式建築設計原則(草案)，以作為我國建築循環設計推動與永續城市發展之參考。

第五節 計畫執行期程

本計畫依各項工作項目列出每月執行進度，並以甘特圖表示：

表 1-1 計畫期程表

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	第 12 個 月	備註
1. 確定研究主題													
2. 國內外可逆式建築設計之文獻資料蒐集													
3. 國內可逆式建築設計案例訪視													
4. 第一次專家諮詢會													
5. 研擬可逆式建築設計原則													
6. 第二次專家諮詢會													
7. 擬定可逆式建築設計原則(草案)													
8. 提出可逆式建築設計應用與推動建議													
9. 期中報告						●							112年6月30日前提交
10. 期末報告										●			112年10月13日前提交
11. 成果報告												●	112年12月1日前提交
預定進度 (累積數)	10	16	23	29	39	52	55	68	81	87	94	100	
	<p>說明：1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每1小格粗組線為1分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3 科技計畫請註明查核點，作為每1季所預定完成工作項目之查核依據。</p>												

(資料來源：本研究自繪，2023)

第二章 國外可逆式建築設計之探討

循環經濟是近年國際推動經濟發展之趨勢，有關建築物資源循環度之研究也逐步展開。本研究蒐集國內外可逆式建築設計相關文獻，本章節將針對國內外建築材料循環度評估方法進行介紹，包含目前可逆式建築國外之發展情形與所提出相關可逆式之觀念，以進一步瞭解國內外循環度相關資料之內涵與可逆式建築之定義與範疇，有助於本研究後續研擬台灣可逆式建築設計原則(草案)。

可逆式建築設計(Reversible Building Design)這名詞最早由歐盟成立之建材銀行(Building as a material bank, BAMB)所提出，所提出的內容包含「建材護照(Material Passport)」與「可逆式建築設計(Reversible Building Design)」兩大創新輔助架構的建立，「可逆式建築設計」讓建材能夠被完整地拆卸與重覆使用，「材料護照」則追蹤每一份建材的履歷與狀態，提供其材質之組合、可再利用及拆除評估資訊；如此建築物將轉變成為建材的暫時存放處，在其生命週期結束或用途改變時，將這些建築廢棄資材進行完整規劃再利用的途徑，達到減少建築資源浪費，同時也能減少施工所造成的環境負擔（例如降低能耗、二氧化碳排放、廢棄物等）。

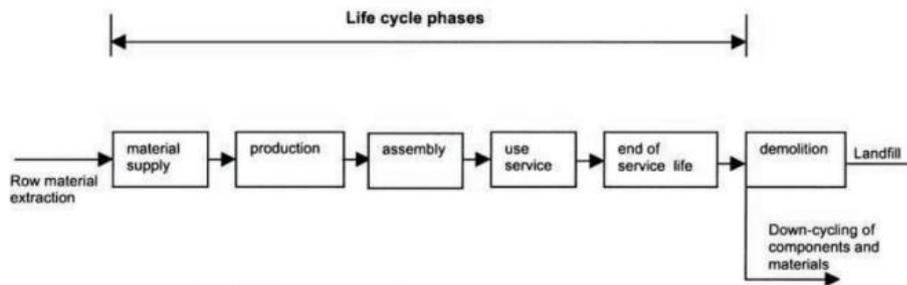
由上述可知可逆式建築(Reversible Building Design)的主要核心概念在於如何改變目前只有一個壽命終結選項（拆除）的線性建築設計方法轉變為循環設計方案，以保證建築及其系統、產品和材料具有多種延長壽命再利用的可能(Elma Durmisevic, 2018)。

第一節 國外可逆式建築定義

由於「可逆式建築設計(Reversible Building Design)」由歐盟所提出，因此此名詞在非歐盟地區並沒有被普遍使用，因此本章節先針對歐盟的建材銀行對於「可逆式建築(Reversible Building Design)」此名詞的定義做一個總述。

可逆式建築設計為建築產業由線性經濟轉型為循環經濟的發展情形，建立一個較為創新的構想與認知，將建築物視為可變化的/可逆的結構，由可變化的模塊產品建造而成，供多種用途。此種看法不是將建築視為靜態產品，而是可以與時俱進的產品，結構將可因透過時代的驅動、新技術的發展和用戶需求不斷變動調整。一座可升級的建築，可隨著時間的推移適應不斷變化的用戶需求和技術。一座始終符合使用用途的建築，在改造和升級過程中不會浪費任何材料，每平方米的材料在其整個生命週期中都可被有價值的應用(通過多種使用選擇)(BAMB,2019)。將建築垃圾視為設計錯誤，為現正在探索的一種新理念(Elma Durmisevic,2016)。此種思維即為可逆式建築設計所要採取的設計方向，以修復現有建築設計和施工實踐中的根本錯誤。傳統設計方法主要不會超出建築物和材料的初始使用壽命，此類建築物專為一種報廢選擇而設計而非拆除後循環。期望可逆式理念的建築設計探討有助於未來實踐動態的建築發展(因時間而做空間上的變化)，使耐用和可變建築層之間的相互作用達到平衡。

Existing: Linear model



New: Cyclic model

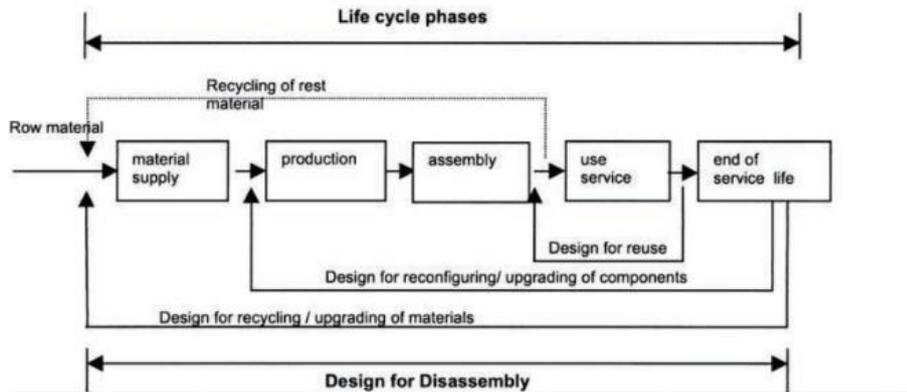


圖 2-1 單次與多次生命週期設計線性模型區別

(資料來源：Elma Durmisevic，2006)

壹、可逆式建築設計

“可逆性”被定義為在不造成損壞的情況下改造建築物或拆除其系統、產品和元素的過程。可以支持此類過程的建築設計是可逆建築設計 reversible building design (RBD)，可以被視為建築循環經濟(Circular Economy,CE)中的關鍵“加速器”。

RBD 因此被視為一種能夠考慮到建築所有生命週期階段並著眼於它們未來使用場景的設計。然而，可逆建築設計的重點是不採用具有最容易對環境和經濟造成影響的較短生命週期材料。較長的生命週期能夠保證建築、系統、產品和材料的高再利用潛力並且具有高轉化潛力，也才使得可以採用設計來尋求解決方案，這樣的一系列設計作為被稱為「可逆式」。圖 2-1 為一個範例為此類設計呈現了一個解決方法。RBD 的一個關鍵要素是可拆卸設計，它允許輕鬆修改空間類型和拆卸以及建築構件的高價值再利用。

許多研究和歐盟建築廢棄物 (construction anddemolition waste,CDW) 報告表明，建築行業產生的大量建築廢棄物和由此導致的寶貴資源損失等相關的關鍵問題為一個需要被重視的議題。BAMB 可逆建築設計研究確定了基本系統錯誤體現在建築設計中，並將 CDW 直接與設計錯誤聯繫起來，表明建築的設計方式決定了建築的生命週期和未來的使用方式。(Durmisevic,2016)

在理想情況下，進入特定製造過程的每個部件都應作為可銷售產品的一部分離開；每個產品中的材料和組件都應該在生命週期結束後用於創建另一個有用的產品 (Graedel 和 Allenby 1996)，並且每個建築物的主要結構都應該在其整個生命週期中適應不同的使用模式。與過去研究和應用拆卸設計和再利用設計的汽車等產品不同，這種方法對建築設計而言是革命性的。可拆卸設計被定義為產品設計的一個特徵，該特徵使產品能夠在其使用壽命結束時被拆開，從而允許元件和零件被重複使用、回收，或者在某些情況下可從廢棄物流中移轉。拆卸是將組裝產品非破壞性地分解成組成材料或元件的方法，可參考附件一 ISO 15392:2019 標準 3.1 拆卸此一名詞的解釋(BS8887-2:2009,3.11)(ISO 15392:2019)。

另一方面拆除通常可以定義為建築物被拆毀的過程，很少或根本沒有嘗試恢復任何組成部分以供再利用 (Crowther,1999)。自設計以來，大多數建築物都是為

報廢場景而設計的因為建築部件的高回收率在傳統上並非設計的一部分。它們專為組裝而非建築產品、元件和材料的拆卸回收而設計。相反的傳統建築的構建被集成到一個不允許更改和拆卸的封閉依賴結構中。此外，所使用的材料通常是複合材料，這對改造/回收過程構成了挑戰。無法拆除和更換建築系統及其產品、元件和材料會導致：大量材料消耗和浪費；缺乏空間適應性，例如改變建築物的佈局；建築物的技術可維護性差，例如磨損產品、元件和材料的維護和更換等能力（Durmisevic,2009）。

建築物由數以千計的材料構成，這些材料技術的生命週期為 10 到 500 年或更長時間，例如中世紀的磚石工程，再利用的方式也不盡相同。建築集成的一般靜態方法法忽略了建築系統、產品、元件和材料具有不同程度的使用和技術耐久性。

建築物結構的使用壽命可能長達 80-500 年，而建築物的覆層可能只有 20-50 年。同樣，服務可能只夠用 15 年，而內部裝修可能每三年更換一次。管理建築時間周期的第一步，是透過將不同級別部件區分出緩慢或快速變化的時間級別。

圖 2-3 說明了建築不同構建具有不同使用耐久率。在傳統的建築結構中，由於不同材料層之間的永久物理集成具有不同用途或技術壽命。建築的最終耐久性和迴圈性不僅與其材料的耐久性有關，更重要的是與材料的組合方式有關。可逆建築設計工具和協議旨在提高人們對設計決策和對未來廢棄物與材料消耗影響的認知。

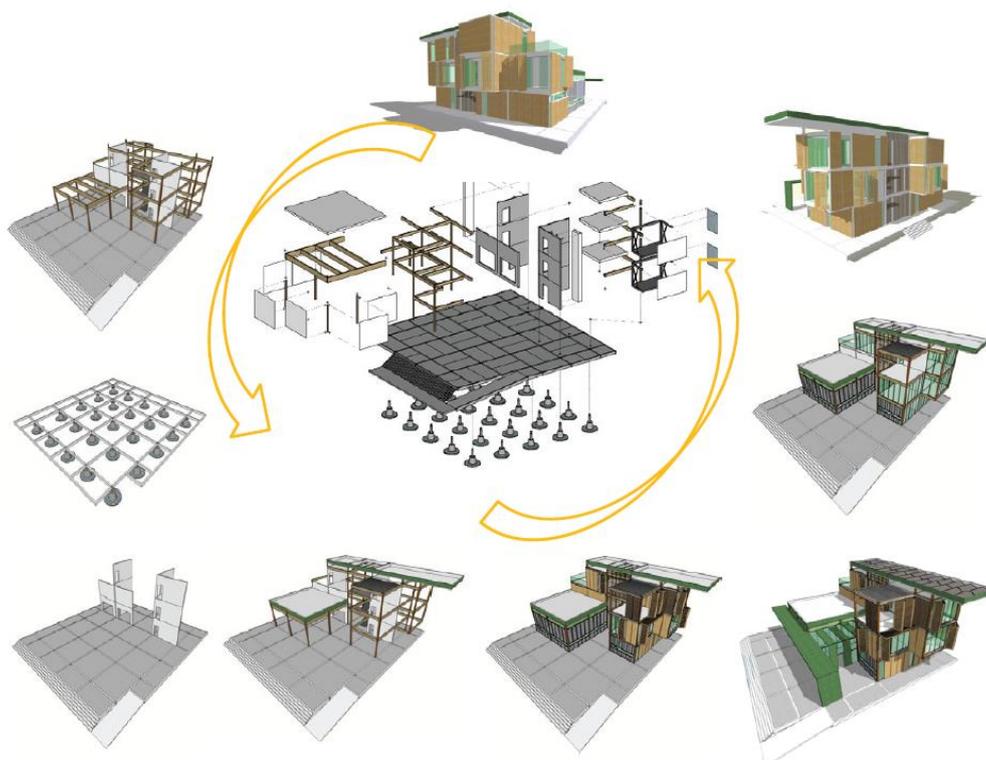


圖 2-2 可逆建築通過再利用和重新配置設計
(資料來源：BAMB，2018)

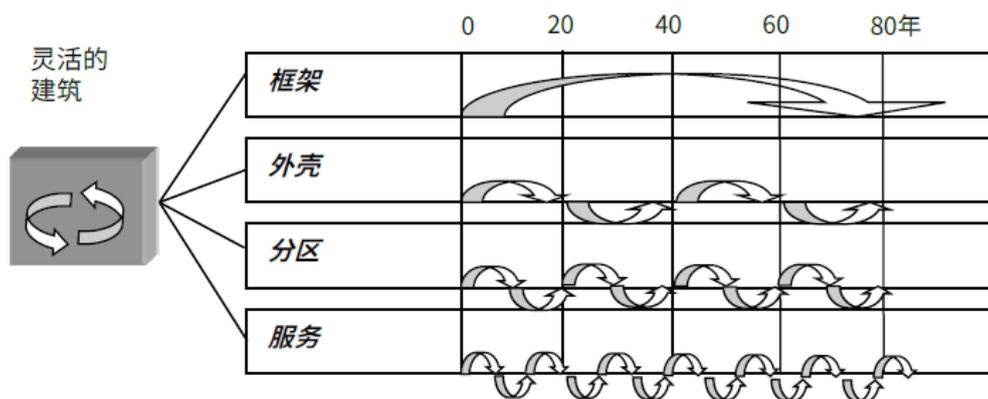


圖 2-3 建築構件的不同耐久率
(資料來源：Durmisevic，2006)

貳、可逆建築設計理念

可逆式建築設計(reversible building design,RBD)可以被視為一種新的理念，其中拆除和由此產生的浪費被視為設計錯誤。可逆式建築設計的目的是為迴圈價值鏈所設計。這意味著設計應保證建築物、其系統、產品、元件和材料的多種再利用選擇，並提供激勵措施以通過再利用、維修、重新配置或再製造來表劉或增加建築物的價值。建築物、系統、產品和材料的再利用與改造的不同場景將產生不同的業務運作/使用方式，這將降低閒置風險以及未來技術表現不佳等問題產生的可能性。租賃空間在房地產領域已經是一個眾所周知的概念，而作為可逆式設計的結果，租賃建築系統、產品、元件和材料或其表現將引入新的業務概念(產品服務系統或回收系統)。

目前可逆建築設計的概念，可視為在建築物內確定的三個可逆性維度，即(1)空間、(2)結構和(3)材料可逆性。這三個維度的概念圖如圖 2-4 所示。這些維度的可逆性透過諸如分離、消除、添加、重新定位和替代的能力等變革性行動來適應，無須拆除系統的任何元素(Durmisevic,2006)。因此，這些維度決定了空間轉換(第一維)、結構轉換(第二維)和材料轉換(第三維)的水平。

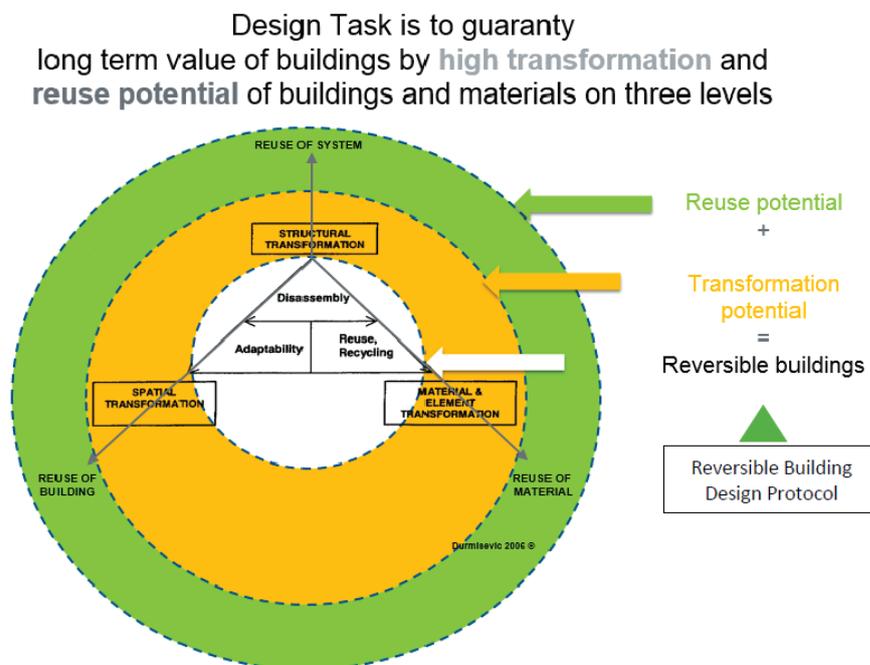


圖 2-4 可逆三個轉換維度

(資料來源：Durmisevic，2006)

可逆式工具(準則)正在幫助設計師了解其設計的可逆性潛力、製造商開發可逆和迴圈產品、業主更好地了解整個生命週期資產價值、承包商開發可逆施工方法以及拆除承包商更好地了解整個生命週期資產價值和建築物的組成及其在利用潛力。

如果建築設計將可逆性的所有三個維度整合到最終設計已解決方案中，那麼在建築及其系統的整個生命週期中，可以預期在三個層面上達到高價值的回收再利用。可逆式工具(準則)將採用以下三個維度建築物內的轉換(以及相關的好處)。可逆建築設計的兩個關鍵指標(再利用和轉換用途潛力)和可逆性的維度包含建築及其結構與所有元算(在建築、系統、產品、元素的各個層面)都是達成可逆性設計缺一不可的要素。(圖 2-4)

再利用和轉換用途潛力這兩個指標都取決於拆卸能力的設計，並且一起(拆卸、改造/適應性和再利用)構成了可逆建築的核心。在這方面，可拆卸設計可被視為可逆的關鍵元素，它允許輕鬆修改空間類型和建築系統和元件的高價值復原，而不會任何元件有所損害。此外，對可逆性適應性和可重用性指標的猜測方面評估有助於瞭解建築物的可逆性水平，低拆卸潛力將導致低可逆性也將導致其可回收價值變低。

最終，拆卸、適應性和再利用構成了建築可逆性的核心，因此決定了可逆建築的空間、結構和材料維度的水平(圖 2-4)。因此，以上工具(準則)可以被採用於評估建築物，也可用於指導設計過程朝向通過成為可逆建築設計協定的一部分，提供更多可逆解決方案。

此外，有另外兩個關鍵的可逆性指標的存在才可達到是建築系統/元件的可交換目標，分別是獨立性與可交換性。獨立性主要是建築獨立和結構體之間功能上具有分開的獨立性(不附著或是沾黏)，並創建一個環境，在這個環境中，一個功能集群的組裝、轉換和拆卸可以在不影響另一個功能集群的情況下實現。而可交換性則解決了技術和物理讀另性問題，並創造了可以拆卸系統/元件/元素的環境，而不會損壞結構的周圍部分，並為它們在其他環境中的重複再利用的可能。

可複製性和層次性結構以及增加重用潛力的對接口類型設計是必不可少的。為了在設計過程中可以有意識的激發原料處理為建材時提高轉化性與再利用性的水平，建立了以下幾點注意事項: 可及性、變化性、再利用、可替換性、重新配置

以及回收。

如果結構的元素/元件/系統被定義為建築結構的獨立部分，並且如果它們的接口是為可交換性而設計的，則結構可以被逆轉。部件的獨立性主要由功能設計領域決定，這些領域涉及建築技術組成的材料層次設計和獨立材料簇的規範。部件的可互換性主要由技術和物理設計領域定義，這些領域處理結構內元素的層次順序以及元素之間的連接。上述內容將會在本章第二節中做更詳盡的敘述。

參、可逆式建築設計協議

可逆式建築設計協議存在的目的在於讓設計師和決策者了解設計的轉換能力和再利用潛力，以及對概念設計階段可能造成的影響。同時也能夠支持例如：辦公室、公寓和公共(社會/文化)建築等具有高度改建和再利用潛力的建築類型來適用於可逆建築設計。

傳統建築設計的設計方法較容易由工法技術來支持空間配置設計，讓空間得以安全舒適並且兼顧建築語彙來達成建築美學。但可逆式建築設計所需考量的因素又更為繁雜，將設計時所需考量的範疇涵蓋到工程與材料的壽命延續議題上。一般來說，建築是一個複雜的系統，需通過最佳化功能、技術和美學這三個主要子系統來設計，因此將時間的因素考量在內，也就需要針對建築空間及其材料在未來可能會被應用的多種場景進行考量，相對而言也就更進一步增加設計上的複雜性。

因此可逆設計需被很有系統考量的進行設計，透過將每一個設計環節切分開來成為獨立的研究主題，並且在研究研究主題問題時透過擴展視圖的方式來回交互的考慮彼此之間的相互影響與作用。

可逆建築不僅考慮一種空間組織，而且考慮空間使用的多種選擇。可逆建築不僅考慮使用材料的一個特定用途，而是考慮將來使用材料的多種選擇。這意味著可逆建築設計的框架將額外的維度集成到建築設計中，從而成一個動態的建築，它考慮了空間動態、技術動態和最終的動態美學。

可逆的建築設計過程旨在定義一個具有定義邊界的轉換模型，該模型告知業主、用戶設計的建築可以做什麼以及它的改變能力是什麼。建築物的核心(結構的永久部分與垂直承重結構、通信和主要服務的技術空間)決定了這個轉換模型所能達成的潛力。這些在一棟建築物中時常不被留意的部分將決定這棟建築能否通過多個使用生命週期容納多種功能和使用場景。也就是說，空間可逆性的設計要求和綜合策略需涵蓋四個主要的設計層面：多功能性、靈活性、能源效率和舒適度。

由上述可知，主要的設計問題是不同設計層面的整體整合效果將如何支援建築物未來的改造潛力及其材料的再利用潛力。為了解答這個問題，設計過程需要從線性和靜態方法轉變為集成和可逆方法，該方法通過建築物的不同設計階段有系統的解決更層面問題。(圖 2-5)

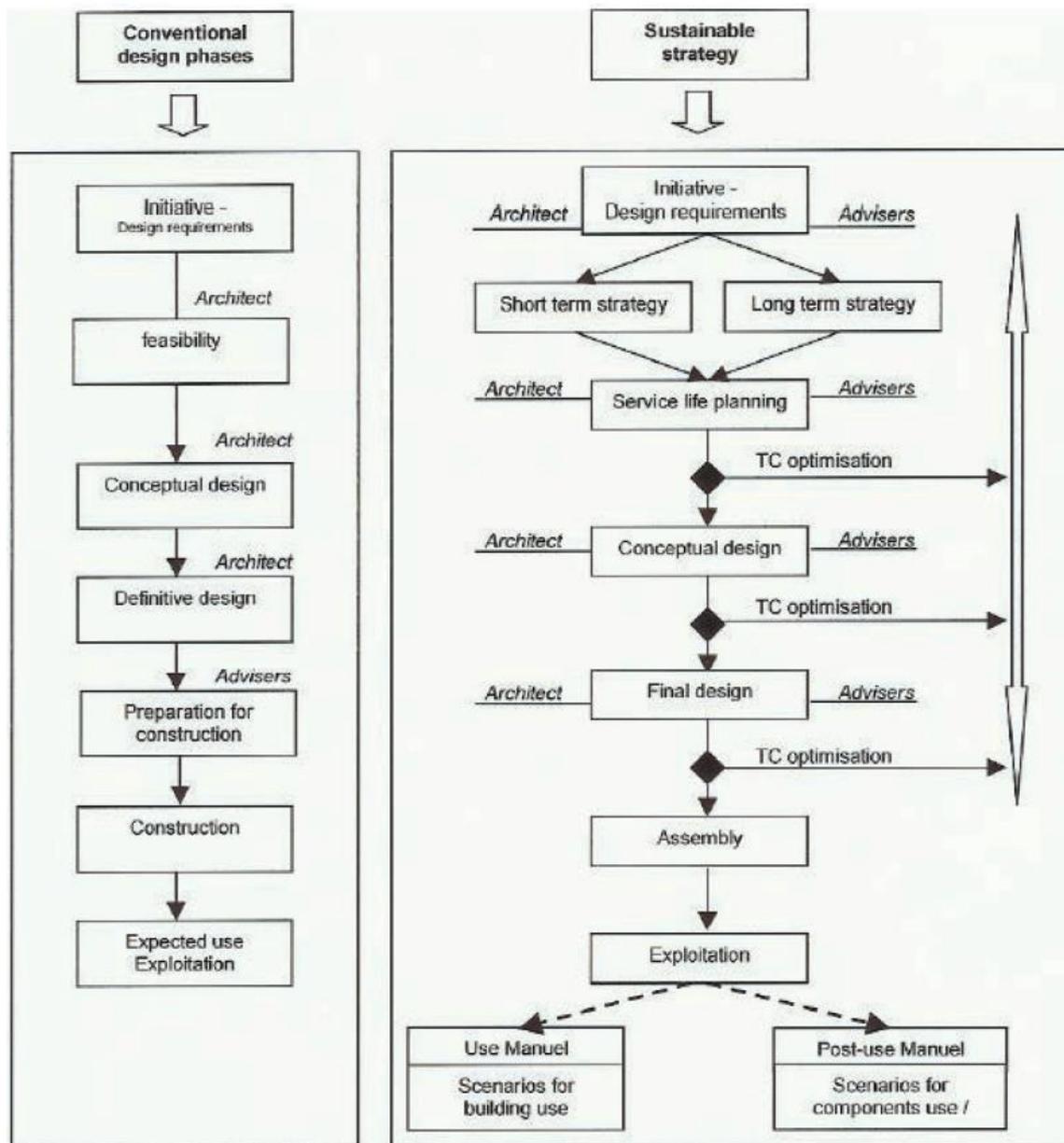


圖 2-5 線性(靜態)設計方式與循環(可逆)式設計模式

(資料來源：Durmisevic，2016)

設計協定將具有讓「可重複使用元件且可轉換建築設計的主要標準」整合到一組設計原則和設計指標中，指出每個設計階段的相關設計層面和適當的設計決策。

可逆式建築設計協議通過五個主要步驟定義：1. 定義項目目標 (Defining project objectives)、2. 建立可逆/循環建築設計生態系統(Setting up Design Ecosystem for design of reversible)、3. 設計概要(Design Brief)、4. 設計過程(Design Process)、5. (多標準設計矩陣) (Multi Criteria Design Matrix – MCDM)。

一、 定義項目目標 (Defining project objectives)

這個初始階段需要通過指定短期和長期的使用場景來確定開發的長期策略。這將導致項目不同生命週期階段的初始規範和每個開發/使用階段所需的要求不同。這也將引發應對開發背後的財務和商業模式進行較早的考慮。

二、 建立可逆/循環建築設計生態系統(Setting up Design Ecosystem for design of reversible)

可逆建築的設計對環繞面向未來的建築環境的設計和建設的多層次決策產生影響，(從城市規劃到材料回收背後的物流，以及為新建築創建材料銀行背後的商業模式)。在開始設計過程之前可逆建築相關的利益相關者和流程需要到位。由於社會對空間和生活品質的需求和想法不斷變化，因此建築物的設計需要以支持這些變化的方式進行。他們需要有能力在不拆除的情況下適應這些變化。能夠做的不僅僅是容納一種類型的特定功能和使用能力的建築物將被使用更長時間間，並將降低未來廢棄建築物的風險。這種可變形的建築也可以成為重要地點的鑰匙。同時，這些建築還將減少與新成本和能源/二氧化碳的產生與對新建築和建築材料的需

三、 設計概要(Design Brief)

設計概要包含用戶需求與技術需求兩個層面：

(1)用戶要求

設計概要的用戶需求部分需要定義建築物的未來使用選項。建築物的所有者需要提供他們對建築物長期使用的願景和策略。房屋公司可能會根據人口統計研究、移民、未來城市規劃等來定義建築物的未來使用選擇和改造。企業主可能會根據鄰里的位置和未來變化、業務增長的預測來定義未來的使用和改造/衰落、企業轉型、工作工作與生活關係的未來趨勢。私人用戶可能會根據其對未來生活階段(夫妻生活、大家庭情況的改變、老年人住房的改變等)的生活方式來定義未來的

使用需求。用戶需求的定義是可逆建築設計概要中最重要的部分之一，因為它將直接影響建築物的體積和高度設計、核心設計、結構穩定性、能源概念和垂直溝通建設及其能力，以及提供重新配置或升級核心能力以支持多種轉型的規定。不同的用戶需求將進一步影響建築技術配置的設計及其功能和技術分解層次。

(2)技術要求

設計概要的技術要求部分需要定義建築結構的未來使用選項。材料迴圈的場景應該是設計概要中的標準技術要求。這應該要求明確說明建築材料的特性和功能，以及它們在相同功能應用程式中的未來使用選項或適應新功能的潛力。設計概要應要求交付最終設計，其中包含每個產品的回收說明和回收步驟的數量。

四、設計過程(Design Process)

可逆建築設計過程的任務是為可逆建築提供一種形式，其技術配置由「轉換能力水平」以及建築產品的「獨立性」和「可交換性」定義。為了實現這一設計過程，解決了可逆建築的兩個要素(1)空間可逆性和(2)技術可逆性。在設計過程中確定了空間和技術轉換的水平定義將決定建築物的空間可逆性和不同時間段的轉換能力。

而設計需要解決可逆結構設計的三個領域：功能、技術和物理設計領域。再設計過程中藉由達成技術可逆性指標的方式解決功能、技術和物理上的難題，讓建築/結構的技術可以達成可逆，最終達成建築物及其產品(建材、構件)的再利用。

可逆建築設計方法意味著通過設計以交互方式對這些層面進行建模。可逆建築設計涉及許多需要綜合分析的指標和層面，並評估其解決方案。因此，可逆建築設計過程(RBD)流程需要一個系統化流程才能實現目標。因此，有效處理複雜決策過程排序的系統設計為可逆建築設計過程的實施提供了堅實的框架。設計過程是一個反覆運算過程，有許多決策迴圈，引導設計從可行性分析、概念設計到施工(包括生產/施工圖紙)階段的到最終設計階段都需要不停的往覆檢討。這些一般設計階段中的每一個都以許多反覆運算迴圈為特徵，以尋找空間、功能和美學層面之間的正確匹配，最終形成最終的設計解決方案。(圖 2-6)

系統設計(或集成設計)由一個有序的協定組成，該協定可針對給定的一組條件做出最佳決策。由於其通用方法，它適用於所有類型和級別的建築物。如果執行

得當，系統的設計使設計人員能夠清楚地瞭解模擬建築/系統的要求，並可以幫助業主和設計師評估擬議的設計並選擇最佳或最佳設計。根據系統的設計方法，所有可逆建築設計過程(RBD)階段都處理每個決策迴圈中的三個基本步驟：分析、合成和評估。

在概念設計階段，空間配置、類型學和尺寸以及核心(服務區塊:包含主結構與電梯、樓梯設備等)的位置和容量(穩定性、主要安裝網絡和垂直通信)相關的初始概念設計層面，主要是解決(圖 2-7)。初始設計階段(概念設計階段)/可行性研究定義建築層面的空間可逆性和轉換能力，表明設計解決方案與其他所需使用場景的相容性。

依循可逆設計指南和虛擬模擬器(模擬圖)會告知設計人員所提議的空間配置的空間容量，以適應多種場景。在初步設計階段，設計的重點在於設計物件的功能。功能性因此，分解在初步設計階段也得到了部分解決，主要表明了建築層面主要建築功能之間的分離程度。

到最終設計階段，功能分解是技術可逆性的重要設計指標，通過最終設計階段進一步解決物理與材料上拆解的難題。藉由對一整個材料基本集群為執行那些功能進行設計，而那些功能有應該被聚集在一起將在此階段進行通盤的考量。

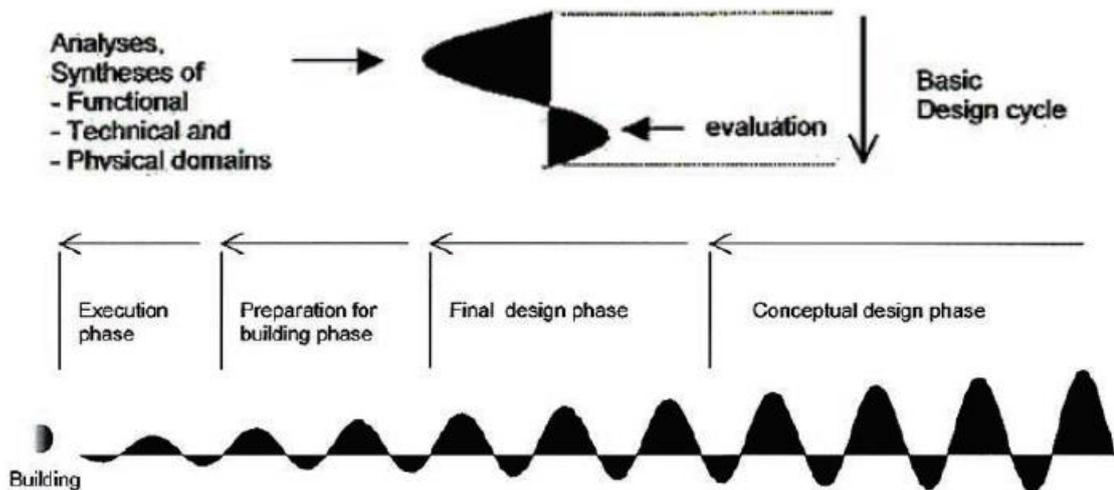


圖 2-6 設計過程作為反覆運算決策迴圈的數量
(資料來源：Durmisevic, 2016)

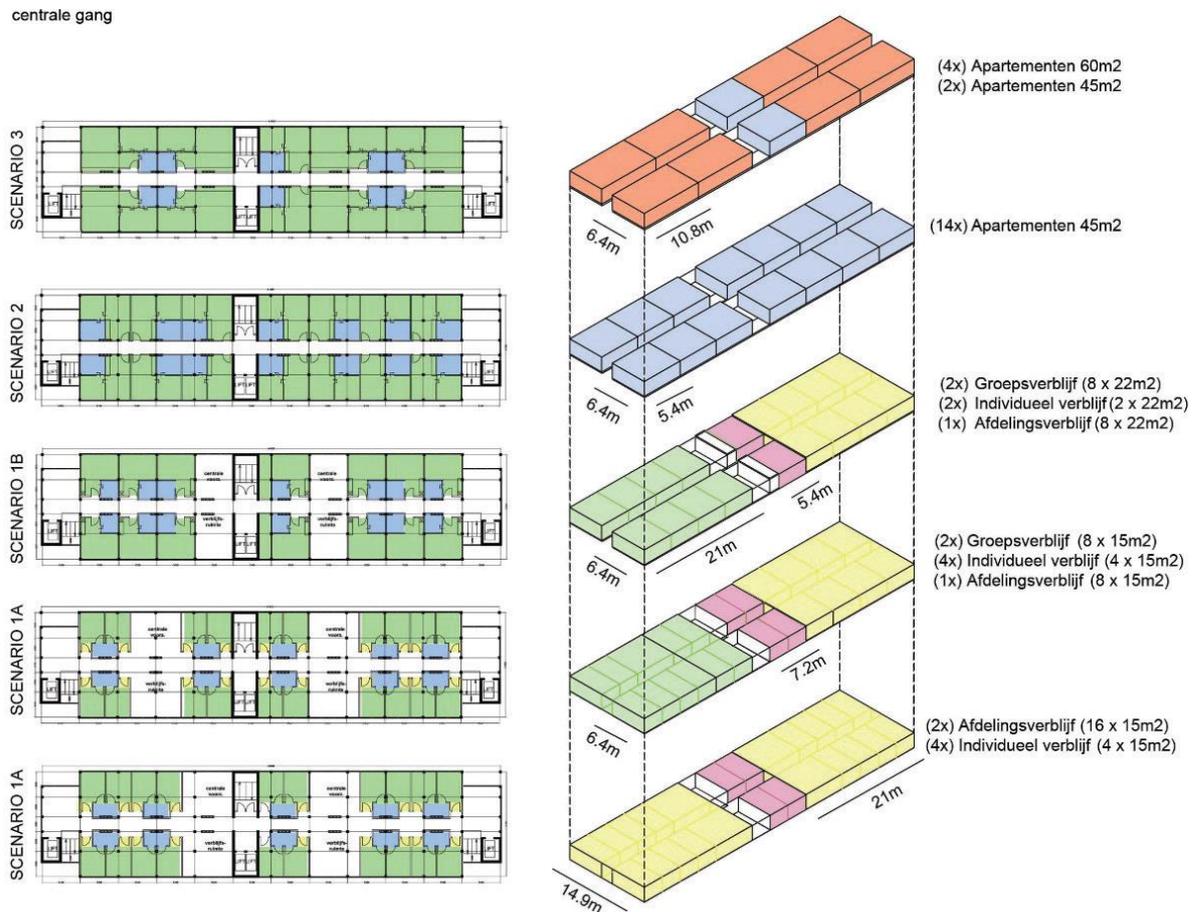


圖 2-7 初始設計階段建築空間可逆轉換可行性研究

(資料來源：BAMB，2019)

產品(建材、構件)的重新配置選項和技術合成在構建和產品級別的複雜性。此外，使用和技術生命週期的生命週期協調在提供更多可逆解決方案層面發揮著重要作用。表示元素和元件之間技術獨立程度的關係和關係模式也在可逆的解決方案。這些設計層面會在最終設計階段得到初步解決。在施工準備階段產品邊緣的連接類型和幾何形狀定義在獨立性上獲得原則性的解決，並將在構建階段的準備期間進一步發展。

獨立性是通過與製造和設計/工程團隊的合作確定的。最終的組裝順序、產品邊緣的幾何形狀、公差和連接類型將最終決定回收建築產品和材料的拆卸潛力和損壞程度。

如果設計概要更多地關注轉換而不是空間轉換，那麼功能分解和技術分解(三

集成設計協議彙集了空間和技術可逆性的各個層面（圖 2-9）。在初步設計階段研究定義空間轉換級別的層面，並在最終設計階段進一步定義。可逆建築設計工具和指南將為設計過程提供有關可逆/循環建築及其產品設計的重要設計指標和層面的資訊。這些工具的使用將隨著設計過程的變化而變化。在初始設計階段，可逆設計指南和虛擬模擬器將用於告知設計師空間可逆性的關鍵指標，並提供有關初始設計解決方案的回饋。隨著設計在概念設計階段的進展，轉換能力工具被添加來評估設計解決方案的轉換能力。在最終設計階段，重點將放在結合可重用工具的技術可逆性設計指南的使用上。

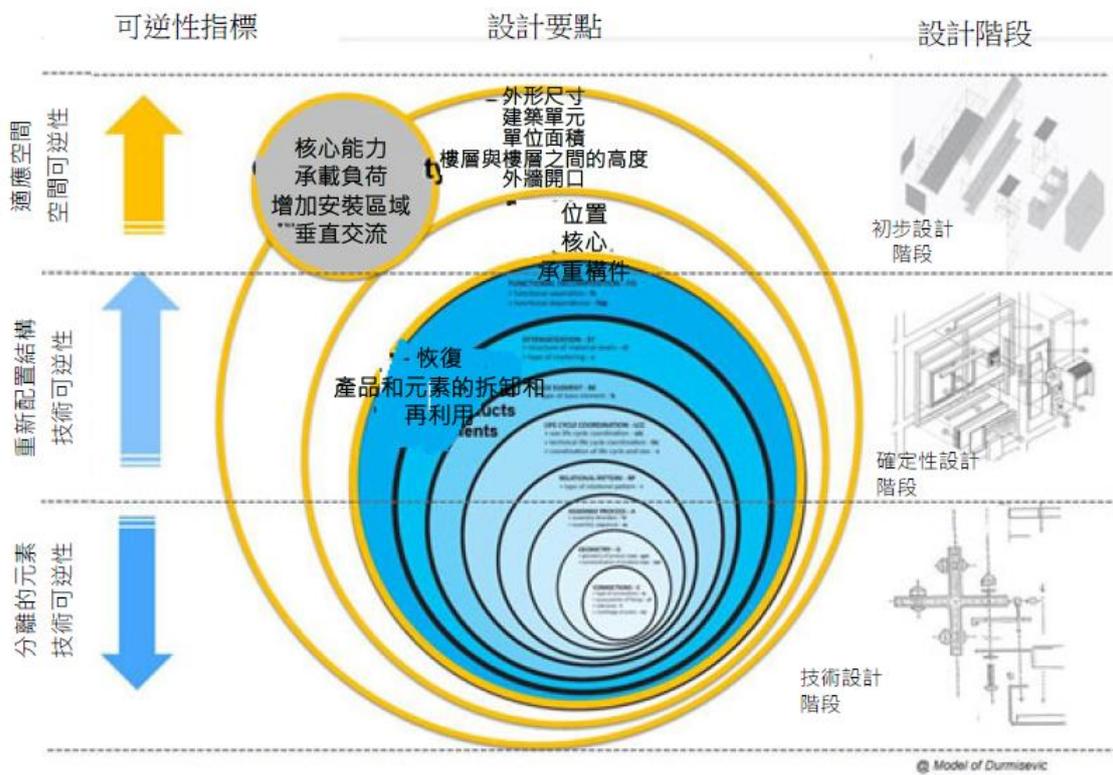


圖 2-9 可逆建築協議整合空間和技術方面的可逆性
(資料來源：Durmisevic, 2016)

五、多標準設計矩陣(Multi Criteria Design Matrix, MCDM)

由於設計重點從過去傳統的競爭因素(傳統上公司根據成本、品質、時間這三個競爭因素進行競標)轉變為 90 年代對環境的更多關注,並進一步優化更廣泛的整體範圍,這正在塑造迴圈經濟的未來,也因此促成在施工階段所需考量的要素更多。

為了在建築和施工中採用可逆/循環方法,設計重點必須超越建築的施工階段(涉及成本、品質和時間的優化),以納入長期運營階段,以及轉換、解構和重用階段。傳統的設計重點主要是優化建築成本、品質和時間等短期價值。與此相反,建築設計和施工的迴圈/可逆方法將這些傳統的競爭因素視為長期可持續發展戰略的一部分的子因素,並將建築及其材料視為長期的社會經濟和環境資產。(圖 2-10)為了對設計方面有一個整體的看法 MCDM 定義和視覺化建築項目的目標,並幫助業主與設計和工程團隊就項目的目標和優先事項達成共識,進而產生 MCDM 工具, MCDM 是客戶與設計和工程團隊之間的溝通工具,並在設計過程開始時形成基礎,使設計概要/要求視覺化。此外, MCDM 是在每個設計階段結束時制定的,目的是傳達在項目開始時建立的建築物的預期性能與在每個設計階段提出和討論的設計解決方案之間的差異。MCDM 也是設計師的檢查清單,它使內部評估過程保持在正軌上。(圖 2-11)

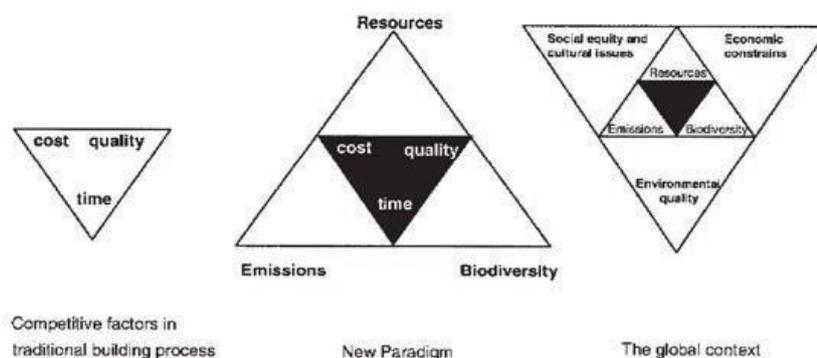


圖 2-10 施工考量要素面向圖

(資料來源：BAMB，2018)

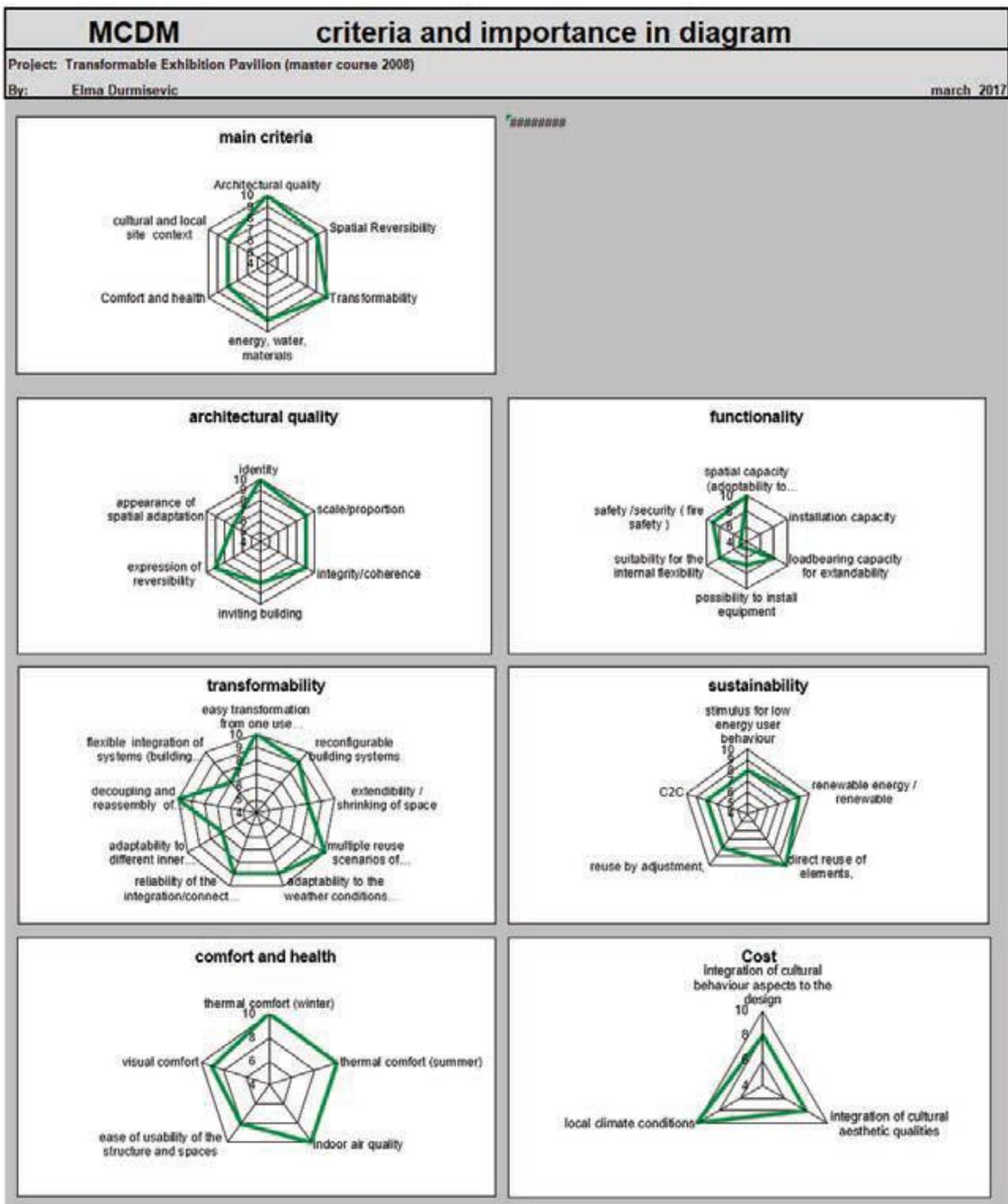


圖 2-11 MCDM 的圖形表示

(資料來源：IDS，2018)

第二節 可逆式建築設計指南

可逆式建築設計策略強調建築物及其元件恢復到早期狀態的能力，力求實現高資源生產率。它包括一個空間維度，其中建築物可以有效地改造以滿足新的空間要求，以及一個技術維度(圖 2-12)，其中建築物元件可以翻新、拆卸和再次使用或解構和回收或生物降解。在探索循環建築的概念時，材料流在建築物及其組成部分的所有生命週期階段的循環性突出了建築物內部三個維度的轉變，旨在對建築物及其組成部分進行高品質的恢復。這些是轉換的空間、結構和材料維度。(表 2-1) 它們對建築、系統和材料等所有實體層面都有影響。這些級別的可逆性通過轉換操作來適應。

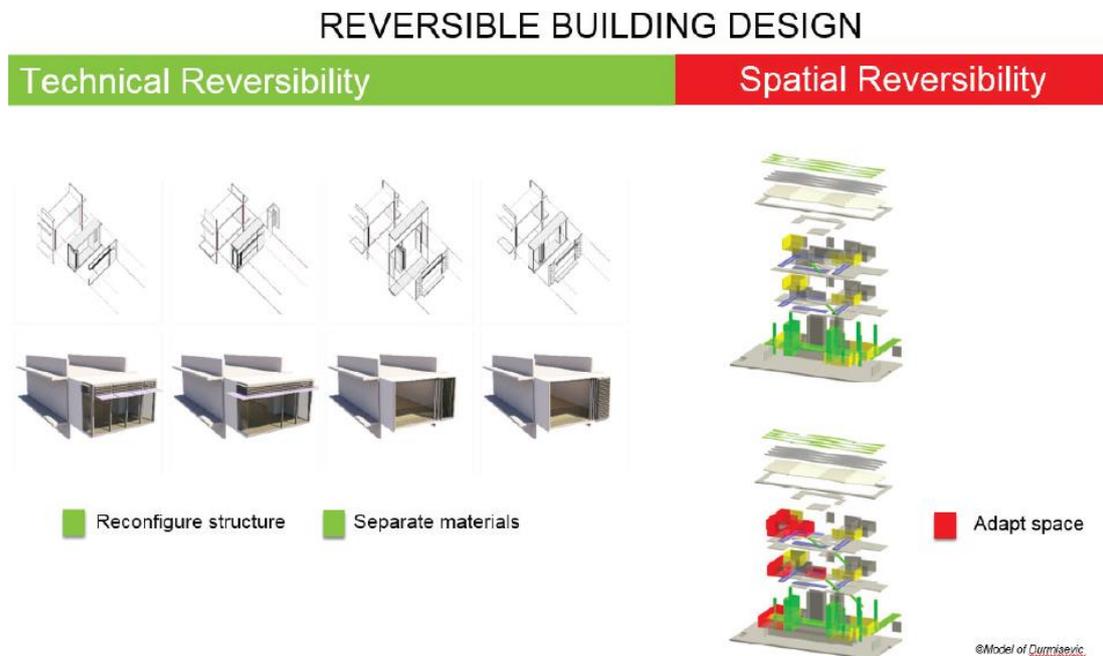
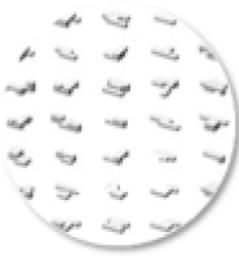
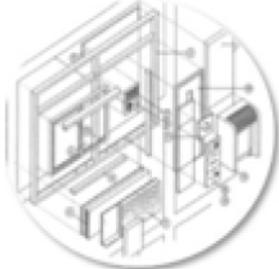


圖 2-12 二分類法囊括可逆三個設計維度
(資料來源：Durmisevic，2016)

壹、可逆性的三個維度

在資源減少和環境問題增加的時候，瞭解建築將建築環境的負面影響轉化為積極影響的能力變得至關重要。然而如何將目前只有一個 "壽命終結" 選項(拆除)的線性建築設計方法轉變為可逆/循環設計方案，以保證建築及其系統、產品和材料的多種壽命選項，則需藉由探討可逆轉型的三個維度 (1) 建築的空間靈活性維度；(2) 系統和產品的技術靈活性維度；以及 (3) 材料靈活性維度來尋求可能的答案，這些維度可以實現從線性建築到可逆/循環建築的過渡。而可逆建築也就是藉由此建築物的設計三個方面的轉變，為建築物及其系統、產品和材料的新價值提供再生的新機會。

表 2-1 可逆性的三個維度

	<p>空間的可逆性</p> <p>適應空間</p>	<p>空間可逆性的參數/設計方面：</p> <p>改造模式決定了空間可逆性的水平。決定轉換模型的參數有：</p> <p>與所需方案相適應的體積尺寸，不限制使用方案數量的核心元素的位置，為所需的升級和使用方案承載負載和提供服務空間的能力。</p> <p>核心設計：核心是綜合的基礎元素，是提供結構穩定性和促進氣候、能源和不同使用方案的舒適性的最低要求。</p> <p>核心部分，這個建築最固定的部分需要有能力促進從一個使用場景到另一個使用場景的轉變，而不需要拆除和產生廢物。</p>
	<p>結構的可逆性/ 重新配置/升級</p> <p>結構體</p>	<p>結構可逆性的參數/設計方面：</p> <p>功能獨立性 透過建築、系統和部件層面的功能分離來提供。</p> <p>技術獨立性 透過最大限度地減少不同功能模組之間的關係和創建結構化和開放的層次結構來提供，這些結構化和開放的層次結構是建立在定義良好的基礎元素上的。</p>
	<p>材料的可逆性/ 分離元素/ 材料</p>	<p>物理可逆性的參數/設計方面： 物理可交換性</p> <p>透過考慮產品邊緣的幾何和形態、拆卸順序、連接類型，設計可拆卸的連接，以防止元素的損壞。</p>

(資料來源：BAMB，2018)

一、空間的可逆性

在可行性和初步設計階段分析了作為建築功能變化的空間和建築相關的轉變及其對建築結構的影響。設計過程中分析空間和結構容納不同功能的能力，而不引起重大的重建工程、拆遷和材料損失。改造一個建築所需的努力越少，它的改造潛力就越大。改造方案的種類和數量越多（建築的再利用方案），改造潛力就越大。有三種主要的改造類型：單一功能的改造選項，跨功能的改造選項，以及整合了上述兩種可交換性和重新安置的多維度改造選項（被命名為可改造選項）。

（一）單一功能型：單一功能背景下的改造

這類建築有能力在一個功能範圍內轉變佈局類型，例如，辦公樓可以將佈局形式從單元辦公類型轉變為開放式辦公類型或會議室辦公類型，而無需大量的重建程式和努力。或者一個住宅區有能力將家庭公寓轉變為單間公寓或殘疾人公寓，而無需大量的重建程式。

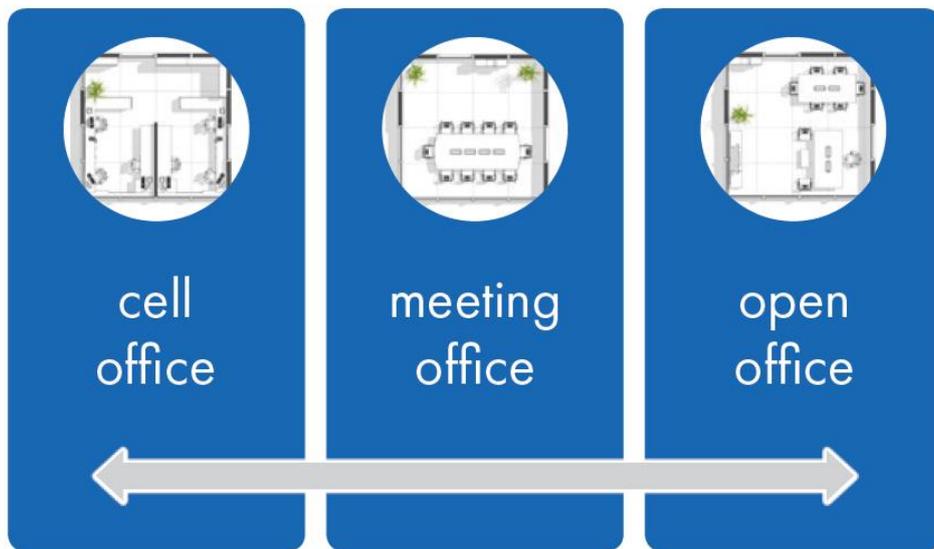


圖 2-13 單一功能型:辦公室為例

(資料來源：Durmisevic，2016)

(二) 跨功能型：跨功能背景下的轉型

這類建築有能力從一種功能轉變為另一種功能，例如：辦公室可以轉變為公寓和教室，而不需要大量的重建程式和努力。

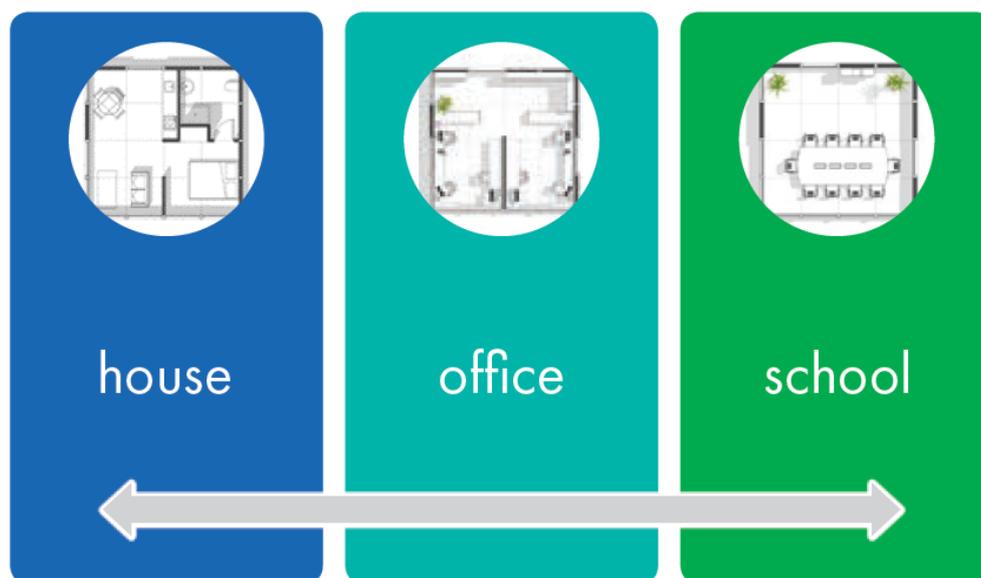


圖 2-14 跨功能型

(資料來源：Durmisevic，2016)

(三) 可改造型：完全可改造的建築

完全可改造的建築可以從一種功能轉變為另一種功能，同時可以擴展、縮小或搬遷到其他地方。

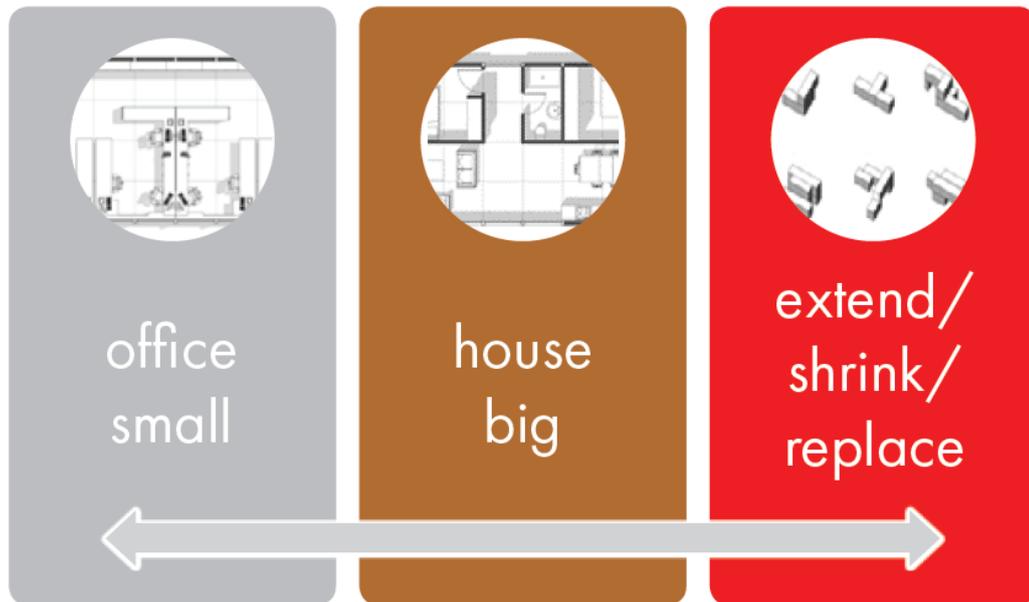


圖 2-15 可改造型

(資料來源：Durmisevic，2016)

改造潛力是指改造建築所需的努力，以及選擇的類型和數量(如圖 2-16)。

在這方面，如果建築物沒有改造方案，它的得分是最低的。此外，如圖所示，三個改造類別被定義為低改造潛力到高改造潛力。下圖顯示了改造潛力和改造類型之間的關係。



圖 2-16 改造潛力

(資料來源：Durmisevic，2016)

二、結構的可逆性

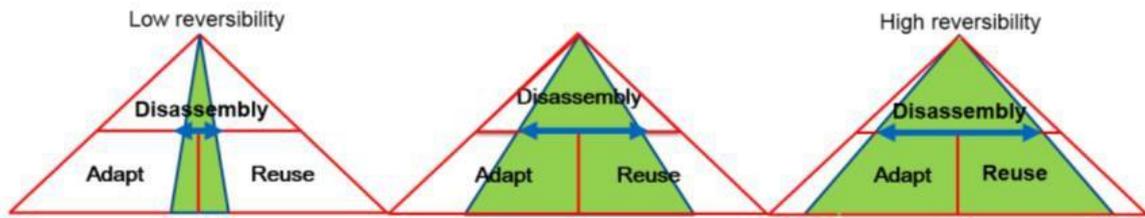
結構可逆性由三個設計領域定義，即功能、技術和物理設計領域，功能領域泛指處理功能分解和將功能分配到具有不同變化可能性的不同材料中。技術領域分解涉及建築材料的層次安排，關係以及材料層次之間的層次依賴性。物理設計領域處理定義物理

三、材料的可逆性

材料可逆性的定義為材料本身可以被回收的程度。從完全可以為收到維權不能被回收的建材，需定義一個分數級距量表來進行量化。

貳、可逆性的水準(水平)

"可逆性"被定義為在不造成損害的情況下改造建築或拆除其系統、產品和材料的過程。能夠支援這種過程的建築設計就是可逆(循環)建築設計(RBD)，可以被看作是建築中循環經濟的關鍵"加速器"。因此，可逆性建築設計被視為一種考慮到建築的所有生命週期階段並關注其未來使用情況的設計。能夠保證建築、系統、產品和材料的高再利用潛力以及具有高轉化潛力的設計方案被描述為可逆設計。RBD 的一個關鍵因素是可拆卸設計，它允許輕鬆修改空間類型和拆卸建築部件。



低可逆性		高可逆性
拆卸	拆卸	拆卸
適應 再利用	適應 再利用	適應 再利用

圖 2-17 可逆程度高低示意圖

(資料來源：Durmisevic, 2016)

參、空間可逆性的設計指標

對轉換潛力有影響的設計參數有：建築類型、建築體塊的尺寸、核心區位置和核心區之間的距離、承重系統的類型、施工方法、地板到天花板的高度和窗戶的開口。通常情況下，以下設計參數的組合會影響建築的跨度。

以下的組合已經被指定為決定改造能力的規則(Durmisevic 2009, 2016, 2017)。

一、自然光的關係

熱帶生物學與街區的深度和範圍相結合。

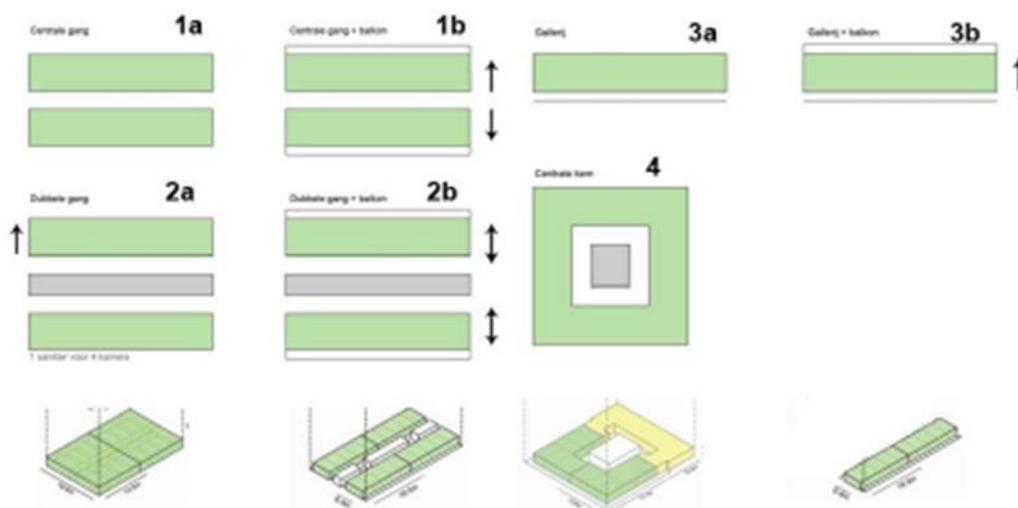


圖 2-18 自然光的關係

(資料來源：BAMB，2018)

二、類型學與核心的類型和位置

類型學與核心的類型和位置、塊的尺寸和核心之間的距離相結合。

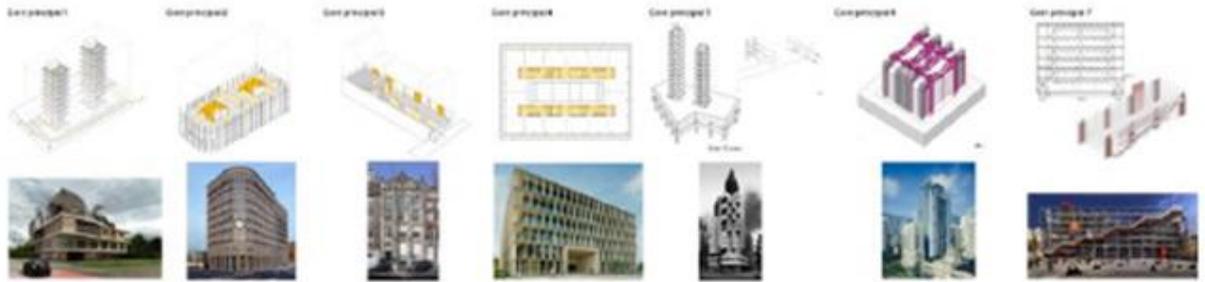


圖 2-19 與類型學關係

(資料來源：BAMB，2018)

三、支撐(結構)系統和施工方法

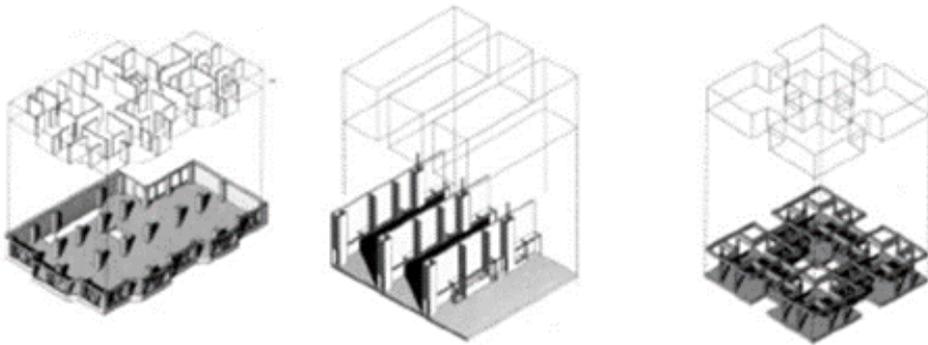


圖 2-20 支撐(結構)系統和施工方法

(資料來源：BAMB，2018)

四、建築類型(天花板高度、外牆開口)

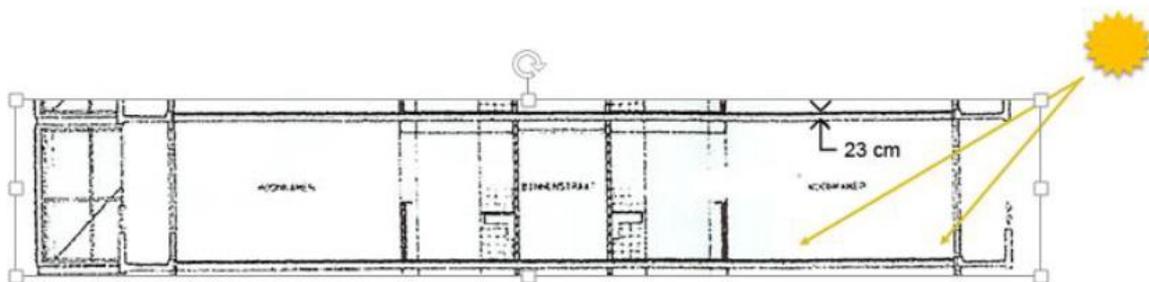


圖 2-21 建築類型

(資料來源：BAMB，2018)

肆、技術分解的層次

諸如系統、子系統、元件的稱呼是相對的。一個層次的子系統是另一個層次的元件。可逆的建築承認三個層次的技術組成/分解是：

- 建築物層面代表了系統的安排，它們是建築物主要功能的載體（承重結構、圍護結構、隔斷和服務）。
- 系統級代表元件的安排，它們是系統功能（承重、裝修、服務）的載體--建築的子功能。
- 構件層代表元素和材料的安排，它們是構件功能的載體，（如承載、裝飾、服務構件）（Durmisevic，2006）。

依據文獻研究，建築物可視為由各種材料系統層級（圖 2-22）以某些接合方式組建起來的結構。各種材料有其特性及循環度，而除了材料層面的循環度以外，在建築物構建過程中，材料和構件的接合方式也是影響其循環性的主要因素、不同生命週期的建築層級（Brand，1994）（圖 2-23）對循環度也具有不同程度的影響。

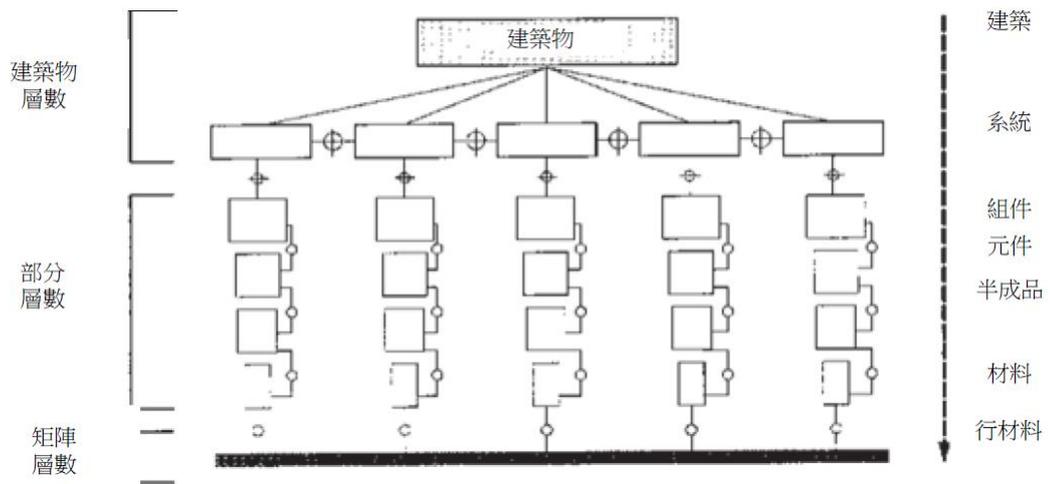


圖 2-22 建築類型

(資料來源：BAMB，2018)

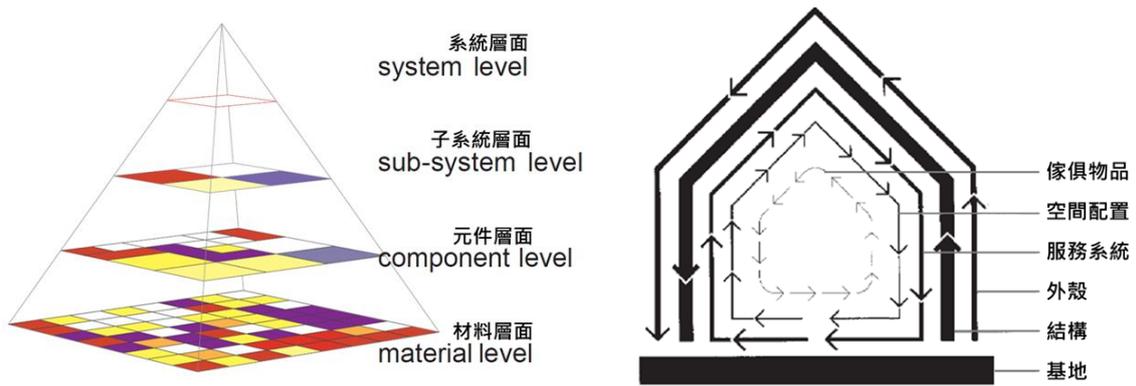


圖 2-23 材料系統層級(左)，建築物層級(右)

(資料來源：Transformable building structures，1996，本研究轉譯)

第三節 可逆式建築構件發展趨勢

壹、可逆的建築結構設計領域

可逆配置被認為是通過定義所選元素之間的關係和它們的功能，從一組給定的元素中創建一個安排的過程，這種方式將滿足拆卸、重複使用和轉換的要求和約束條件。在可逆配置設計中，設計者將功能分配給一組元素並確定它們之間的關係。作為一種設計活動，配置設計可以被看作是一種關注不同關係和相互依賴的活動。定義好的關係和元素集導致了結構的物理狀態，它告訴我們如何將性能告知我們如何將性能要求轉化為材料，以及如何將材料整合到一個系統或建築中。最終這將決定結構的可逆性。(Durimisevic, 2006)

建築結構的可逆性由三個設計領域定義；即功能、技術和物理設計領域：

- 功能領域：處理功能分解和將功能分配到獨立的材料中，這些材料具有不同的變化率。這個領域定義了功能的依賴性。
- 技術分解涉及建築材料的分層安排，以及材料層之間的關係和分層依賴。
- 物理領域涉及到定義結構的物理完整性和依賴性的介面。

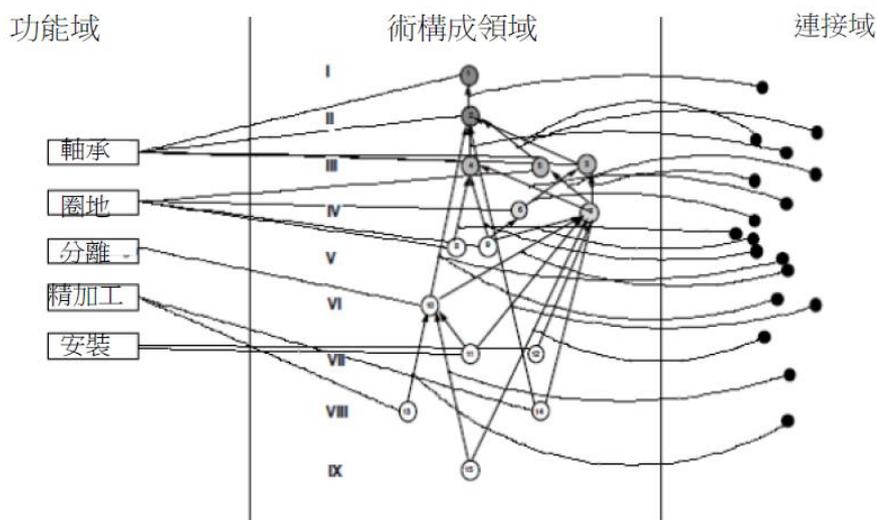


圖 2-24 可逆結構領域界定

(資料來源： BAMB，2018，本研究轉譯)

一、可逆性概述

在分析設計方面及其子方面時，可以開發出建築/系統/部件結構的可逆性概況，這為設計的可能改進提供了初步指示，以便提供更高的結構可逆性。

為了讓設計者瞭解可以改善可逆性建築(產品)結構設計方案的標準和設計過程，對主要設計階段的設計標準進行了說明：初步設計、最終設計和技術設計(施工準備)。這些標準涉及產品結構之間的三個層次的依賴關係：功能、技術和物理。在初步設計階段，設計的重點在於設計物件的功能。在可逆性方面，功能分解是一個重要的設計標準。在這個階段，第二個重要的可逆性建築設計方面是系統化。系統化代表了材料的基本聚類，以執行某種功能。哪些功能被集中在一起，哪些沒有，將決定產品的重新配置選項。

此外，使用和技术生命週期的協調在提供更多可逆轉的解決方案方面發揮著重要作用。代表元素和元件之間的依賴關係的關係和關係模式也在可逆解決方案中發揮著作用。最後，在執行施工的技术設計過程中，裝配序列的獨立性、產品邊緣的幾何形狀和連接的類型將最終決定回收的建築產品和材料的損壞程度。

如果一個設計者更注重轉化而不是功能分解，那麼技術構成將是一個更優先的事項。如果一個設計師更注重高價值的回收和單一部件的再利用，那麼物理解將更有意義。然而，最終，如果一個設計師要設計一個可逆的建築，那麼建築的所有三個層次的分解(功能、技術和物理)都具有同等的意義。

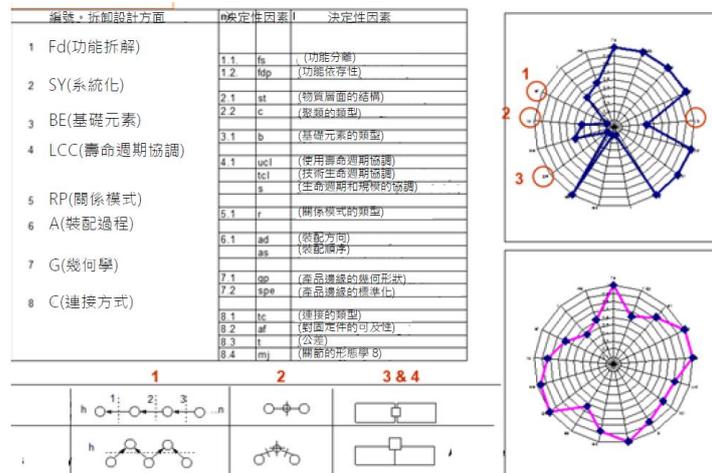


圖 2-25 設計方面 示意圖

(資料來源： BAMB，2018，本研究轉譯)

二、可逆性的關鍵指標

建築結構的可逆性的兩個關鍵指標是建築系統/部件的獨立性和可交換性。

- 獨立性

獨立性主要是指功能上的獨立，並創造一個環境，使一個功能群的組裝、轉換和拆卸可以實現而不影響其他功能群。

- 可交換性

可交換性解決了技術和物理上的獨立性，創造了一個環境，使系統/元件/元件可以在不損害結構的周圍部分的情況下被拆卸，並為它們在其他情況下的重新使用提供了可能性。物理關係的數量和層次，以及增加再利用潛力的介面類型學是至關重要的。

三、可翻轉建築結構的設計原則

為了設計可逆結構，刺激有意識地處理原材料並提供高水準的轉化和再利用，應該滿足以下要求：1. 可及性、2. 變化性、3. 再利用、4. 可替換性、5. 重新配置、6. 回收。

在可逆結構的設計過程中，對決策有影響的設計方面包含：1. 功能分解、2. 系統化和群集化、3. 元素間的層次關係、4. 基本元素規範、5. 裝配順序、6. 連接的類型、7. 裝配/拆卸中的生命週期協調。

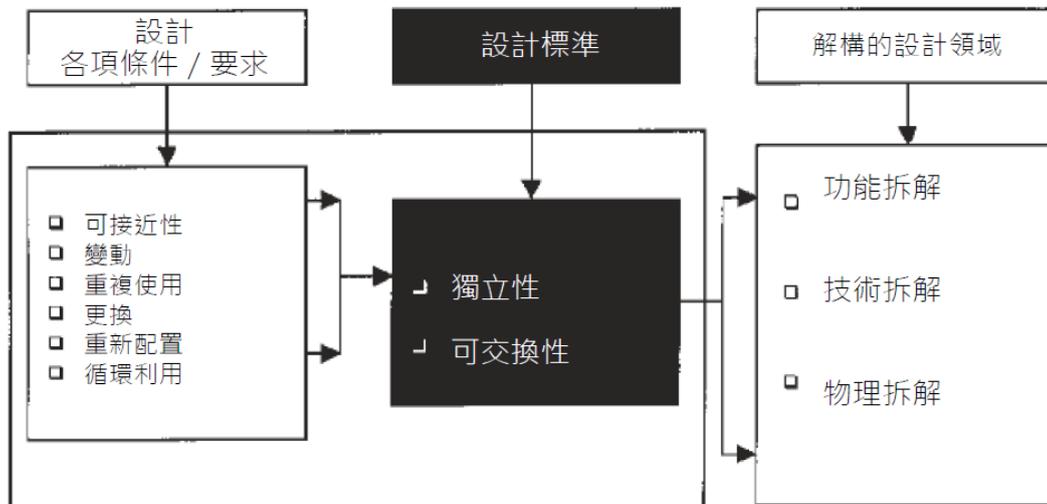


圖 2-26 可逆結構領域界定

(資料來源：BAMB，2018，本研究轉譯)

(一) 功能分解

如果一個建築部件被定義為建築結構的一個獨立部分，那麼它就可以從建築中取出。必須做的第一步是將建築細分為不同的部分，這些部分具有不同的性能和不同的生命週期。四個主要的建築功能是：支撐、圍護、服務和隔斷。每一個都可以進一步細分為子部分（子系統），如：基礎、框架、地板、外牆、屋頂、內牆、通風、供暖系統、水系統、電氣系統等。每個功能都有不同的行為，並提供不同的效果，如：加熱、反射、分配、通風、照明，或處理張力、壓縮等效果。因此，將兩個或更多的功能整合到一個元件中，可以凍結可能需要的轉變，以滿足新的用戶需求。不同的功能可能有不同的生命週期。

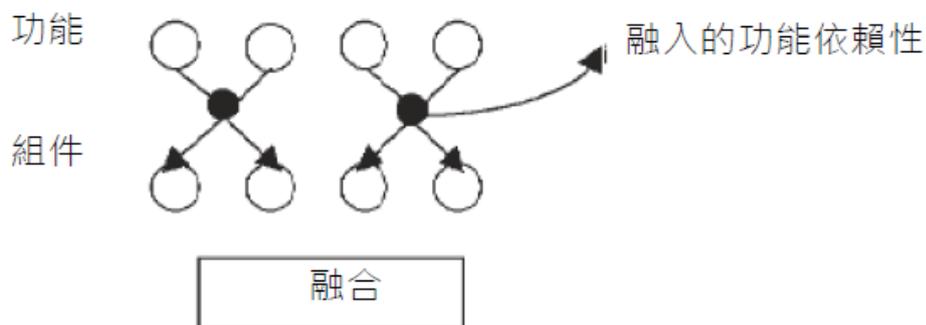


圖 2-27 功能分解示意圖

(資料來源：BAMB，2018，本研究轉譯)

功能自主性 整合通過有計劃或無計畫地將具有不同功能的元件相互滲透，提供了獨立功能之間的部分依賴性。這意味著具有一種功能的元件的重新定位或調整會影響具有其他功能的其他元件的完整性。

納入獨立的功能，會產生以下策略：完全整合、有計劃的相互滲透、無計畫的相互滲透、完全分離。例如，結構和服務之間的整合：

策略 1：完全分離或分區（模組化分區）。

策略 2：有計劃的裝置和承重元素的相互滲透，如：預製孔、和專門為服務設施製作的空隙。

策略 3：通過提供一個自由區域，使裝置和承重元件無計畫地相互滲透。

策略 4：全面整合。結構元素可以作為建築服務系統的一部分。例如，可以利用結構元素的熱慣性來儲存熱量；結構可以吸收或反射聲音；結構的一部分可以裝滿水，以提供主動的防火保護，等等。

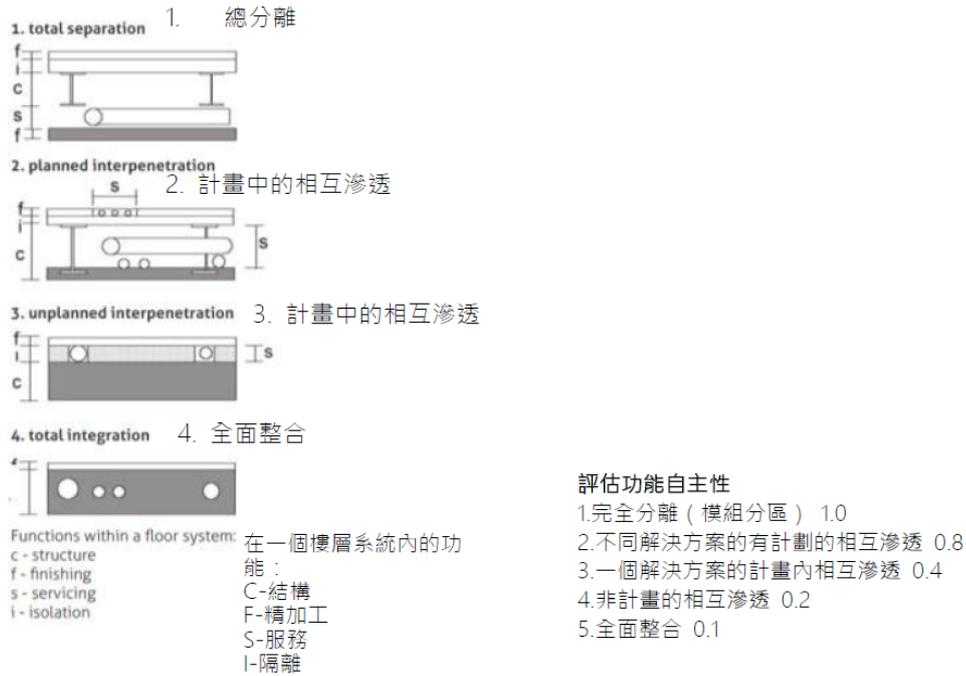


圖 2-28 評估功能自主性

(資料來源： BAMB，2018，本研究轉譯)

(二) 系統化和集群化

建築系統是代表主要建築功能的最具代表性的部件集合。系統是技術構成的最高物質層次，包含一些子層次，如：子系統/部件、元素和材料。拆卸方案的數量會成為可逆性的障礙。如果需要太多的拆卸序列，人們可能會選擇拆除而不是拆卸。這使得兩階段的裝配和拆卸成為焦點。首先，在建築工地，像系統和部件這樣的高級子元件在建築工地被拆卸，以便重新使用/重新配置。其次，在工廠進行拆卸，較低層次的子元件，如子元件和元素，被拆卸和修理，以便重新使用/重新配置/回收。

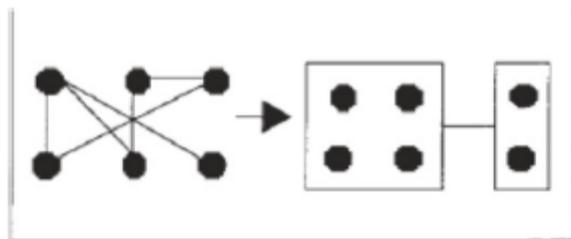


圖 2-29 系統化和集群化示意圖

(資料來源： BAMB，2018)

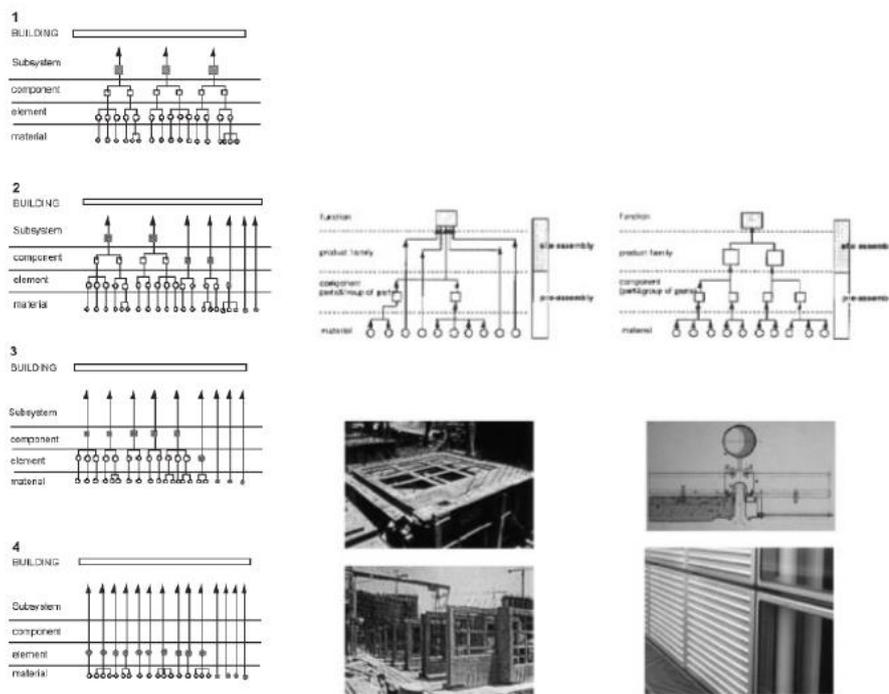


圖 2-30 系統化和集群化種類示意圖

(資料來源： BAMB，2018，本研究轉譯)

(三) 元素間的層次關係

有兩個方面涉及到層次關係模式：「模式的類型」和「關係的位置」

- 模式的類型

傳統建築的特點是複雜的關係圖，它代表了所有建築元素的最大整合，成為一個獨立的結構。在這樣的環境下，一個元素的替換可能會對相關部分的連接產生相當大的影響。影響結構拆解潛力的最重要方面是關係的數量。可以區分六種關係模式，導致五種類型的裝配：1.封閉式裝配，2.分層式裝配，3.卡住式裝配，4.表格式裝配 5.開放裝配

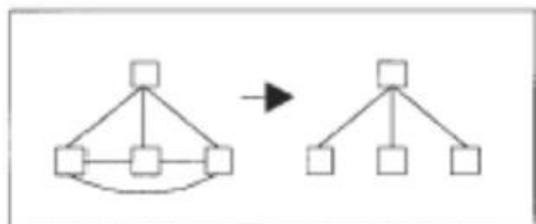


圖 2-31 元素間的層次關係圖

(資料來源： BAMB，2018)

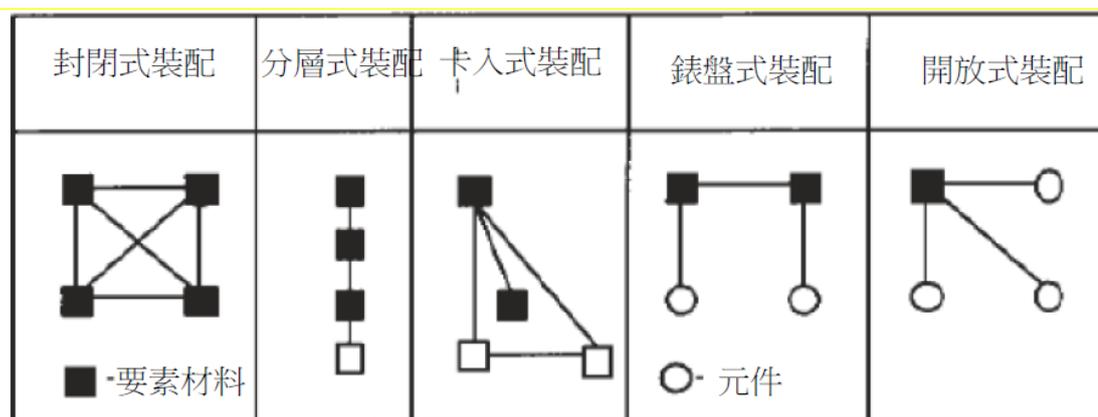


圖 2-32 五種裝配類型

(資料來源：BAMB，2018)

固定配置代表了導致封閉、分層或卡住的裝配的模式。表層裝配的特點是部分開放系統。而開放的層次結構是由建築部件表示的，這些部件通過只與裝配體中的一個元素（配置的基本元素）建立依賴關係而保持彼此獨立。

- 關係的位置

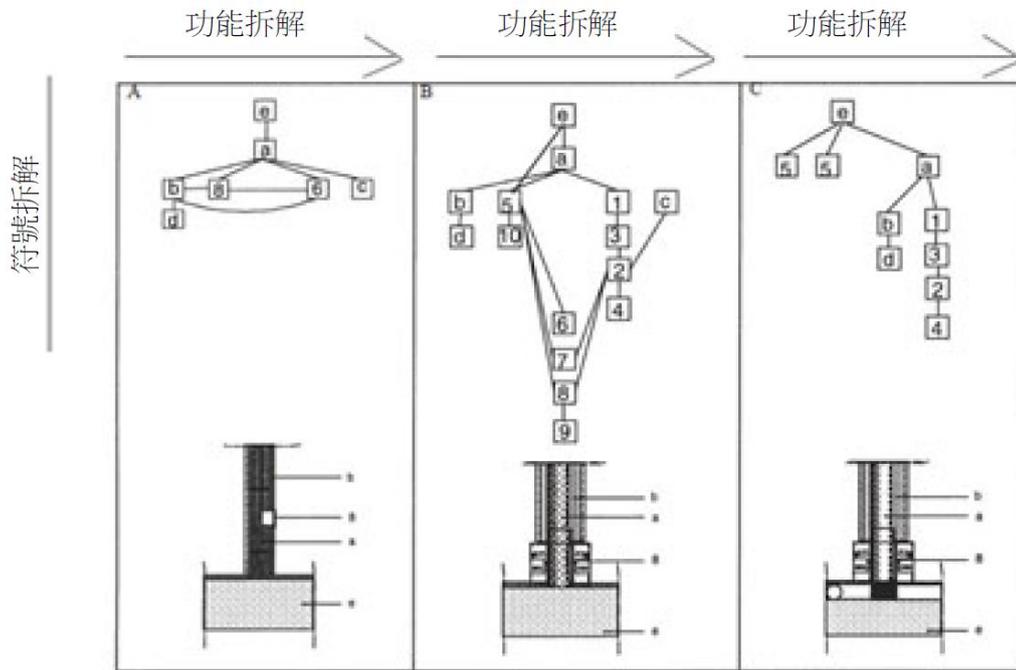


圖 2-33 關係位置示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

子裝配內部的關係與子裝配之間的關係關係圖可以解釋為代表不同族/功能組之間的關係（橫向表示），而每一列代表一個族組內的技術分解。主要規則是，子系統只能與結構的基本元素發生關係。這樣一來，屬於子系統的元件/元件就很容易被替換。垂直關係代表一個功能組內的關係，而水準關係代表不同功能組之間的關係。理想情況下，不同的功能組不應該有直接關係。這使得不同需求的可複製性和修改更加可行。

（四）基本元素規範

建築產品（系統/元件/元素）是特定建築功能的載體。每個裝配式產品都代表著一個元素群，這些元素是子功能的載體。為了使兩個群組內的元素具有獨立性，每個群組都應該定義其基本元素，它整合了該群組的所有周邊元素。這個元素作為元素之間以及集群之間的仲介發揮作用。這種仲介份額在兩個層面上發揮作用：

1. 它連接集群內的元素、2. 作為仲介與其他集群進行交流。基礎元素/仲介可以在建築技術構成的各個層面找到（圖 2-33）。

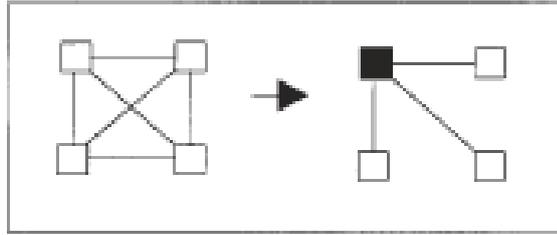


圖 2-34 基本元素示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

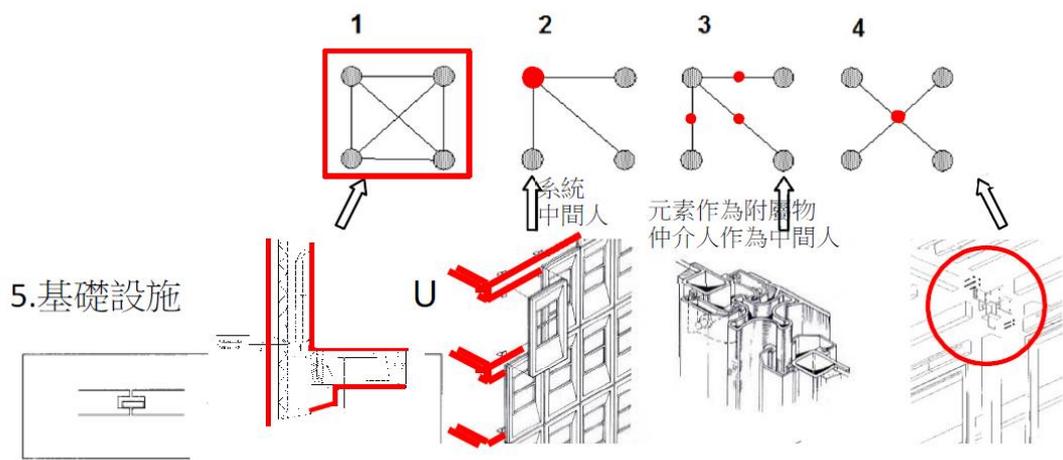


圖 2-35 基本元素概念示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

可逆性/拆卸可以通過改變產品邊緣的幾何形狀來影響。這與介面設計和連接類型的規範密切相關。有可能確定六種情況來定義幾何形狀對部件拆卸的適宜性。主要有兩種區別，一是開放的幾何形狀，二是穿插的幾何形狀。穿插式的幾何形狀不太適合拆卸，因為元件只能從一個方向拆卸。在最壞的情況下，元件只能通過拆卸連接的元件來移除。

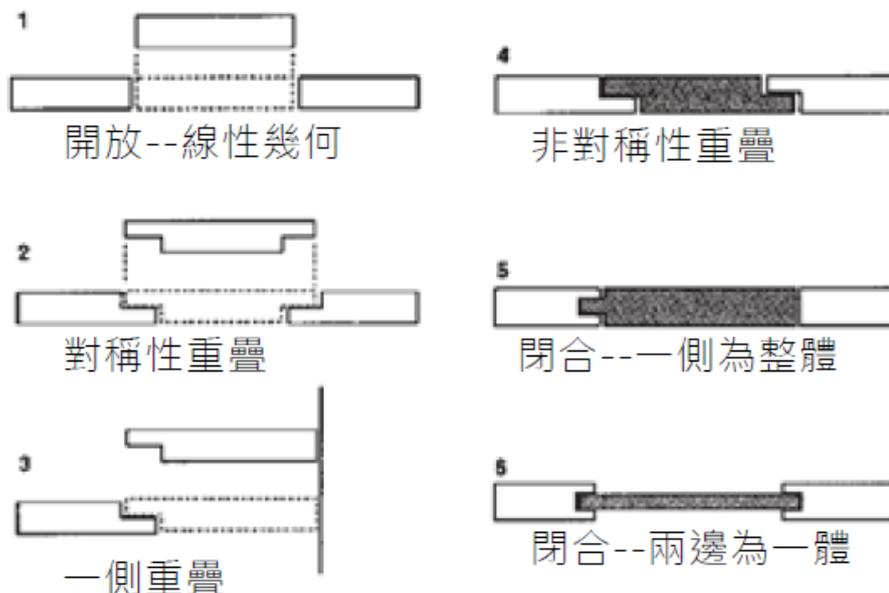


圖 2-36 幾何拆卸示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

(五) 裝配順序

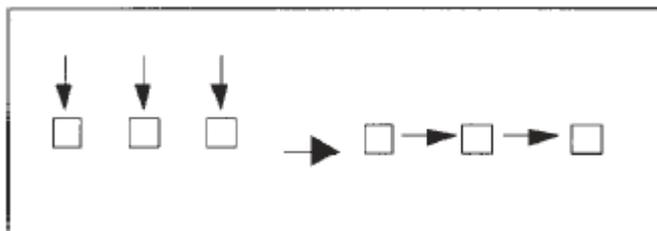


圖 2-37 裝配順序示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

裝配材料的生命週期、材料類型、產品邊緣的幾何形狀和連接類型影響裝配/拆卸順序。

裝配的順序代表了結構的複雜性和建築元素之間的依賴性。我們組裝建築的方式設定了建築在其轉換和拆卸階段的鏡像。可以區分兩種可能的裝配/拆卸序列：一種是平行序列，另一種是順序序列。

平行裝配序列可以加快建築/拆卸過程。順序裝配序列在裝配的元素之間產生依賴性，並使替換更加複雜和耗時。在平行和順序裝配/拆卸序列之間，有可能區

分五種類型的序列：1/2 重力吸引器/平行，3.閉環；4.互鎖，5.順序序列（見圖 2-36）

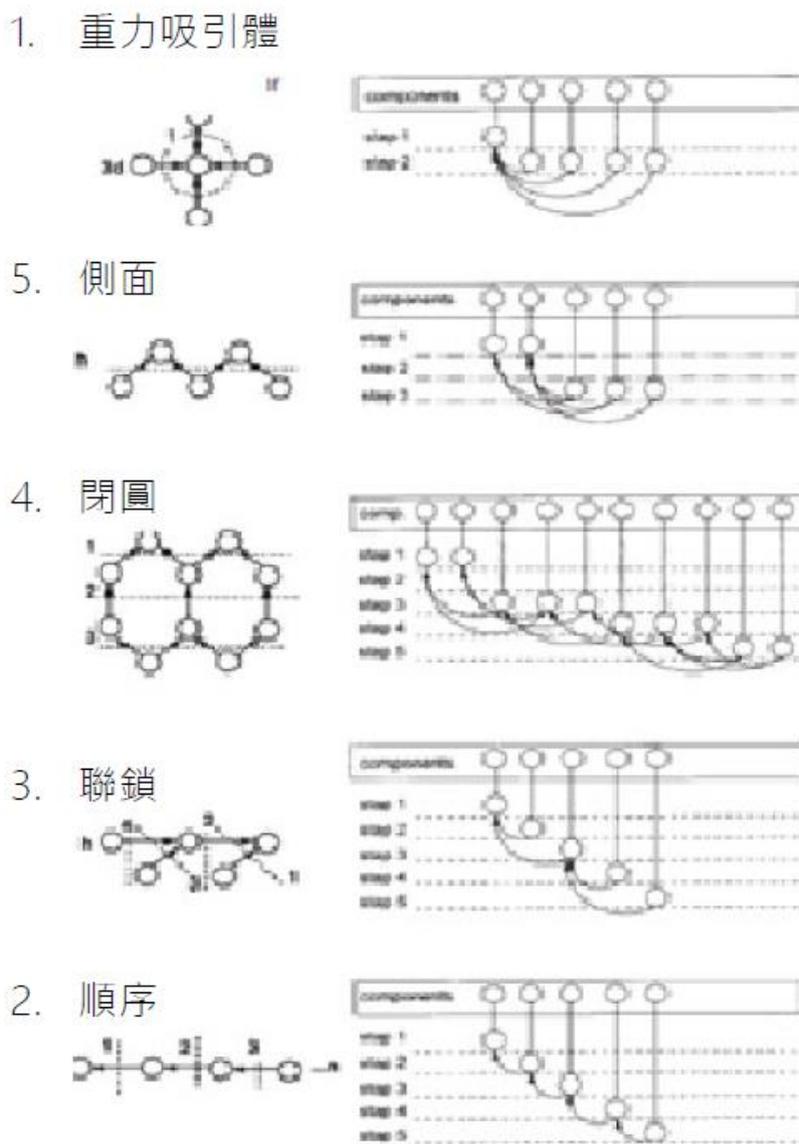


圖 2-38 裝配順序類型示意圖

(資料來源：BAMB, 2018)

(六) 連接的類型

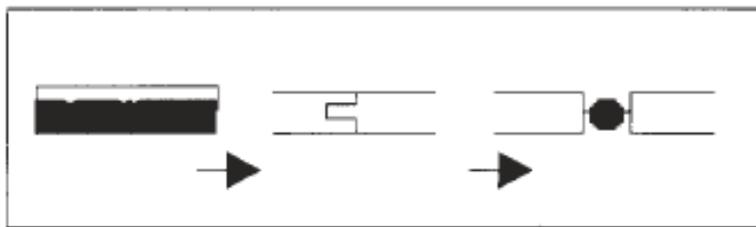


圖 2-39 連接類型示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

通過設計產品的邊緣和規範連接類型，介面定義了元件之間的自由度。一般來說，可以定義三種主要的連接類型：直接（整體）、間接（附屬）和填充。整體連接是指元件邊緣的幾何形狀形成一個完整的連接。可以區分兩種基本的整體連接類型 (i) 重疊式，和 (ii) 互鎖式。重疊式連接常被用作垂直外牆部件之間的連接，或垂直和水準部件之間的連接。它們的拆卸取決於連接中使用的材料類型、裝配順序、部件的層次位置以及它們與其他部件的關係。互鎖連接是一種內部連接，其中部件邊緣的形狀不同。在這裡，邊緣的形狀只允許按順序裝配。

附屬連接是一種連接，其中使用了額外的部件來形成連接。可以區分兩種類型的連接：內部和外部。內部類型包含了一個鬆散的附件，連接部件。該附件被插入元件中。這種連接具有與部件相同的邊緣形狀的優勢。拆卸這種連接可能很困難，因為要按順序裝配。

歸檔連接，這是兩個部件之間的連接，其中充滿了化學材料。這種部件的組裝是勞動密集型的。它們可以是金屬板之間、梁和柱之間的焊接連接，也可以是混凝土樓板或磚塊等之間的連接。拆卸這種連接通常是不可能的，或者需要開發特殊的解構技術，例如雷射技術。

設計可分解連接的兩個主要標準是：

1. 元素/元件應保持分離，以避免滲透到其他元件或系統中。
2. 幹式連接技術應取代化學技術。

這些條件應適用於建築的所有層面。這樣一來，所有的建築系統都是可拆卸的，每個部件和元件都是可替換的，所有的材料都是可回收的。

連接的拆卸特性取決於：

- 連接裝置的數量
- 連接中使用的材料類型
- 組件的邊緣形式

在從固定到可逆的範圍內，可以區分出七種連接類型。(下圖 2-40)

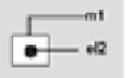
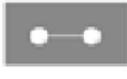
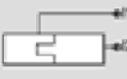
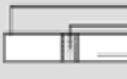
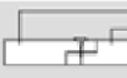
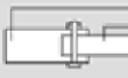
固定	連接類型	圖形表示		裝配中的依賴性
	I 直接化學連接 兩個元素永久固定 (不能重複使用, 不能回收)			m1 — e2
	II 兩個預製構件之間的直接連接 兩個構件在組裝拆卸時相互依賴 (沒有構件重複使用)			e1 ↔ e2
	III 與第三種化學材料的間接連接 兩個元素與第三種材料永久連接 (不重複使用, 不回收)			e1 — m1 — e2
	IV 直接連接有額外的固定裝置, 兩個元件用附件連接, 可以更換。如果有一個元件需要拆除, 整個連接就需要拆開。			e1 — c1 — e2
	V 透過從屬第三元件的間接連接 兩個元素/元件與第三元素/元件分開, 但它们在組裝中具有依賴性 (重複使用受到限制)。			e1 — c1 — e2
	VI 透過獨立的第三部分間接連接, 在組裝/拆卸時有依賴性, 但所有的元素都可以重複使用或回收。			e1 — c1 — e2 e1 — c2 — e2
	VII 間接的, 帶有額外的固定裝置, 改變一個元素, 另一個保持不變, 所有的元素都可以重複使用或回收。			e3 — c — e1 c — e2

圖 2-40 連接類型說明圖

(資料來源：BAMB，2018)

(七) 裝配/拆卸中的生命週期協調

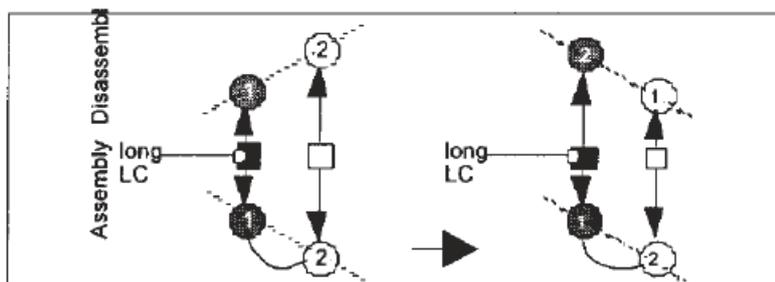


圖 2-41 裝配拆卸生命週期示意圖

(資料來源：BAMB，2018)

裝配中的生命週期協調的一個方面涉及到材料在其生命週期方面的整合。建築材料的生命週期在 5-75 年之間，但材料的裝配順序經常不考慮這一點。

生命週期較短的材料往往先被裝配。

生命週期長、在裝配中依賴性最大的元素，應該先裝配，最後拆卸。生命週期短的元素，應該最後組裝，先拆解。兩個生命週期的協調對於可轉換的結構是重要的，可區分為以下兩種，分別為：

- 材料的組裝，它們有不同的生命週期。
- 材料的組裝，其功能具有不同的生命週期。

貳、可逆式與台灣現行建築技術工法

台灣現行建築技術工法中具有一定程度模組化施工技術的工法主要有預鑄工法與輕鋼構組合屋等，透過對這些工法有初步的了解，也能夠對現行台灣在可逆式建築設計上所面臨的現況與實務遭遇問題有更進一步的認識。

一、預鑄工法

預鑄工法 (Precast Construction Method) 是一種建築構造方法，其中建築元件 (如柱、梁、板、牆等) 在製造廠或預製場地中提前進行製作，然後在現場進行組裝。這種方法與傳統的現場混凝土構造方法相比，具有以下特點：

- (一) 預製製作：預鑄工法的主要特點是在廠房或預製場地中對建築元件進行製作。這些元件通常由預製廠使用模具和混凝土等材料製造，然後在控制良好的環境中進行養護和硬化。
- (二) 現場組裝：製作完成的預鑄元件在現場進行組裝。通常使用起重機或其他設備將預製元件運送到施工現場，然後按照設計和施工計劃進行組裝。
- (三) 提高施工速度：預鑄工法可以減少在現場的施工時間，因為大部分建築元件已經在預製廠中製作完成。這有助於提高施工效率，縮短工期，並減少現場施工所需的人力和設備。
- (四) 質量控制：由於預製元件在控制良好的環境中製作，可以更好地控制製作過程和材料的質量。這有助於提高建築結構的整體質量，並減少施工中的變量。
- (五) 可持續性：預鑄工法可以減少在施工現場產生的廢棄物和減少對自然資源的消耗。此外，預製元件可以在需要時進行拆卸和再利用，以減少對環境的影響。
- (六) 預鑄工法廣泛應用於住宅建築、商業建築、橋梁、隧道和工業建築等各種建築領域。它提供了更快速、可靠和可控制的建築方法，同時確保了結構的質量和耐久性。

二、輕鋼構(組合屋)

輕鋼構 (Light Steel Framing) 是一種建築結構系統，以輕量鋼材料為主要結構元件的建築方法。輕鋼構使用輕型鋼龍骨或輕型鋼柱和輕型鋼樑作為結構骨架，並使用冷彎成型技術製作結構零件。這些結構零件通常是預製的，並在現場進行組裝。

輕鋼構具有以下特點：

- (一) 輕量化：相對於傳統的混凝土或磚石結構，輕鋼構使用的鋼材較輕，減輕了結構荷載，有助於減少基礎負載和施工成本。

- (二) 快速組裝：輕鋼構使用預製的結構零件，可以在現場進行快速組裝，節省了建造時間，提高了施工效率。
- (三) 環保可持續：輕鋼構使用的鋼材可以回收再利用，減少了對自然資源的消耗。此外，輕鋼構在施工過程中產生的廢棄物也相對較少，對環境的影響較小。
- (四) 良好的抗震性能：輕鋼構的結構可以提供良好的抗震性能，鋼材具有優異的強度和彈性，能夠有效地吸收和分散地震能量，提高建築物的抗震能力。
- (五) 輕鋼構在住宅建築、商業建築和工業建築等領域得到廣泛應用。它具有設計靈活性和施工效率高的優勢，可以適應不同的建築需求。同時，輕鋼構還可以與其他建築材料結合使用，實現更多樣化的建築設計。

三、結論

由以上針對預鑄工法和輕鋼構的特點進行列點的檢視可以發現，此兩種工法都具有如需達成可逆式最重要的潛力-「可拆卸」的這個要素，但在現行的實際施工中是否有機會達成循環的可能仍待本研究後續現場資料的蒐集。

後續研究將針對現場與廠商採訪後的內容與專家諮詢會議後所獲得的相關建議進行資訊的確認與分析，再進一步核對歐盟建材銀行針對可逆式建築所設計的可逆式建築綜合設計協議與指南內容進行綜合分析。

第三章 現行國內外案例蒐集

建築營建產業為消耗大量天然資源材料並產生大量廢棄物之領域，於產業中創造循環經濟有其重要性及必要性。近年國內外積極將循環經濟理念導入建成環境中，其中涉及物料、能源、水資源及生物性資源循環，並由整體生命週期的角度發展可保存和提升資源利用價值及再循環潛力的策略。為提高建築構件及材料資源的循環利用，國外已開始著手研究有關可逆式建築設計方法，藉由可拆卸接頭未來可以將這些構件完整拆卸下來再次使用，充分體現"建築即材料庫" (Building as a Material Banks)的循環建築精神，減少天然資源的消耗與廢棄物的產生。國內近年加速都更並興建大量的社會住宅，若能將可逆式設計的概念逐步導入，對於地球資源永續使用以及環境保護，發展永續健康綠城市，因此在本章節著重在國內外可逆/循環建築案例上的蒐集。

第一節 國內外可逆式案例

壹、國外可逆式案例建築

一、印度 Koodaaram 館

這是 2018 年在印度舉辦兩年一度亞洲最大現代藝術博覽會中的 Koodaaram 館，主要是以鋼及竹子所興建的一座半透明、半入土表演與演講場館。這座循環建築標榜建材構建在展覽期結束後可以被完全拆卸，把基地空間回復給大地，拆卸下來的構件則可以被重複再利用。



圖 3-1 印度 KOODAARAM 館

(資料來源： Surfaces reporter, 2020)

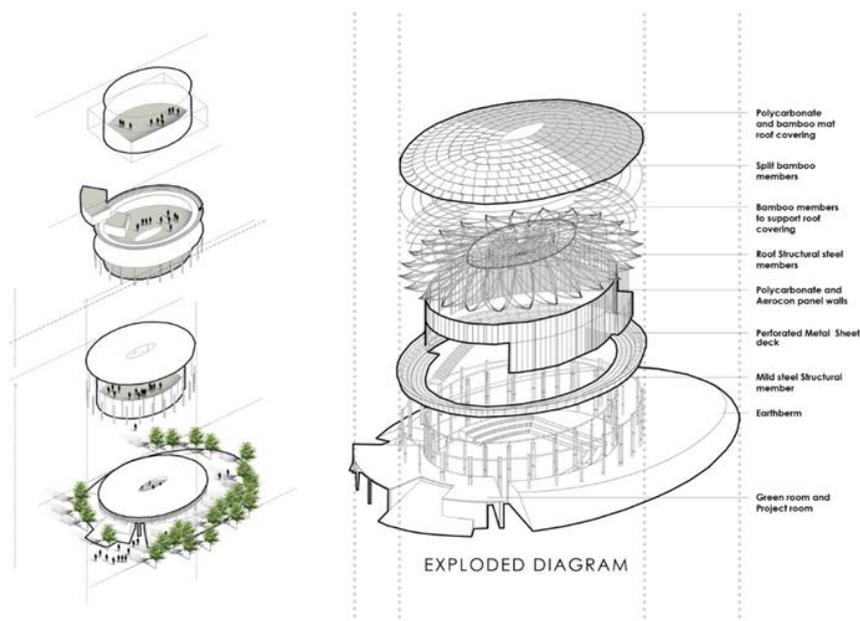


圖 3-2 印度 KOODAARAM 館架構

(資料來源：<https://www.archdaily.com/>，2023)

二、荷蘭 PEOPLE'S PAVILION

該建築是 2017 年荷蘭設計週 (Dutch Design Week) 主場館之一，其整體設計概念緊扣循環經濟及可逆式設計，100% 所有材料都是借來的，活動結束後可以回到各自出處或轉作他用。例如建築內部照明、暖氣及家具等小型物件均借自供應商或當地居民；玻璃屋頂則是由溫室設備商出借，立面底層的落地窗取自廢棄拆除的辦公大樓；建築立面的拼貼瓦片則是家庭塑膠廢棄物的回收製品，這應該是本案唯一無法「完整」歸還的材料，活動結束後轉送當地居民作為紀念。

為達成循環及可逆式建築設計，該建築結構團隊針對這項需求，開發一套特別的結構系統，建築框架以金屬鋼帶捆綁不同長度的木料組成，以符合基本的強度需求，柱子則由 7 公尺高的預鑄混凝土基樁組成，再以同樣取自廢棄辦公大樓的鋼製拉桿作為穩定斜撐，最後以高強度的皮帶連接這三項主要結構單元，形成穩定且能承受強風的高效結構系統，藉由實驗輔助，確保結構安全符合場館需求。



圖 3-3 荷蘭 PEOPLE'S PAVILION

(資料來源： Photo by Filip Dujardin , 2017)

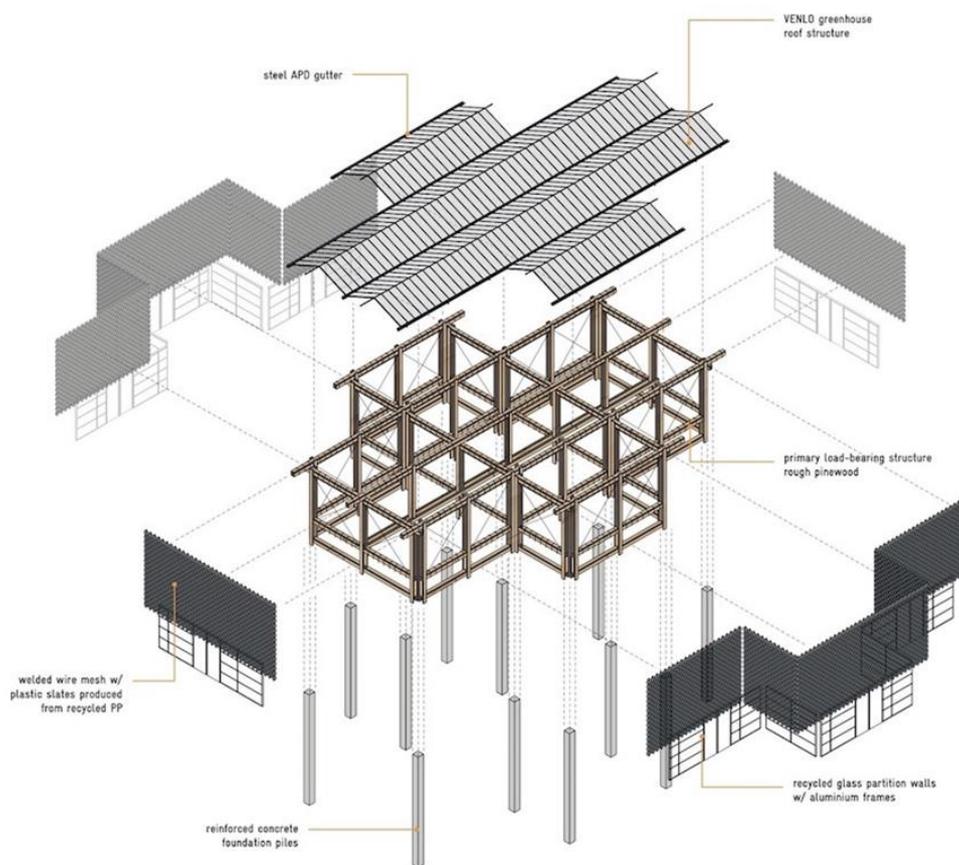


圖 3-4 荷蘭 PEOPLE'S PAVILION 館結構系統圖

(資料來源： <https://www.archdaily.com/> , 2023)

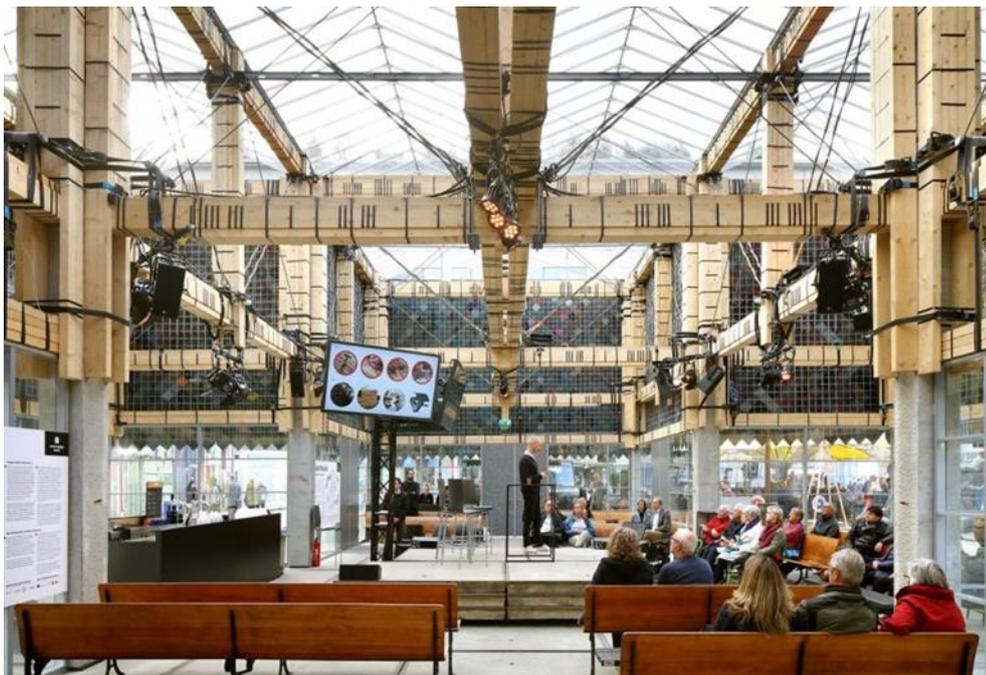


圖 3-5 荷蘭 PEOPLE'S PAVILION 館結構系統

(資料來源： BUREAU SLA 官網 <http://bureausla.nl/project/peoples-pavilion/>，2023)

三、荷蘭 Triodos Bank

銀行總部位於荷蘭 Woodland 一棟 5 層樓的木構造辦公建築，除基礎部分因為防水患使用混凝土結構外，其餘結構及內裝皆採用木材跟透明的玻璃帷幕牆建造。建築曾獲得英國 BREEAM 傑出等級的永續建築認證。

辦公大樓採用可逆式建築設計的概念，包括梁、柱、樓板及豎坑(shaft)皆以各種集成材(laminated timber)、直交集成材(cross laminated timber)以及未加工木材(unprocessed timber)以螺栓接合建造而成，也就是說未來是可以將這些構件完整拆卸下來再次使用，充分體現"建築即材料庫" (Building as a Material Banks)的循環暨可逆式建築設計精神，其所有材料均使用 Madaster 平台提供的建材護照的項目中，進行所有材料的編碼與監控，以便將來可以轉售或再利用。



圖 3-6 荷蘭 TRIODOS BANK

(資料來源：<https://www.archdaily.com/>，2023)

四、日本大阪實驗住宅計畫 NEXT21

NEXT21 的住宅單元都是出租給大阪瓦斯樣的員工家庭，並且會依居住的成員和特性，定期進行不同的改造。在建築設計強調結構體和住宅單元的分離設計概念，在住宅單元改造時能不傷害主要結構，延長建築物壽命。

NEXT21 也有特殊的管道設計，利用彈性的立體管道系統，以明管方式和結構體分離，將配管維修集中於在公共空間，例如走廊的下方，可以依不同住宅單元設計變更配管位置，透明化設計使其更換或維修都相當便利。



圖 3-7 日本大阪實驗住宅計畫 NEXT21

(資料來源：<https://www.osakagas.co.jp/company/efforts/next21/index.html>)

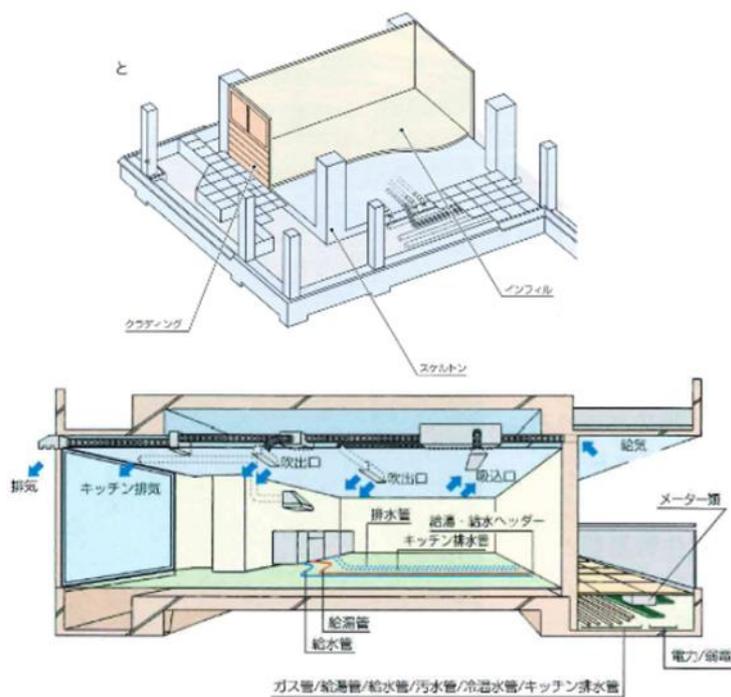


圖 3-8 日本大阪 NEXT21 格局變化圖

(資料來源：<https://www.osakagas.co.jp/company/efforts/next21/index.html>)

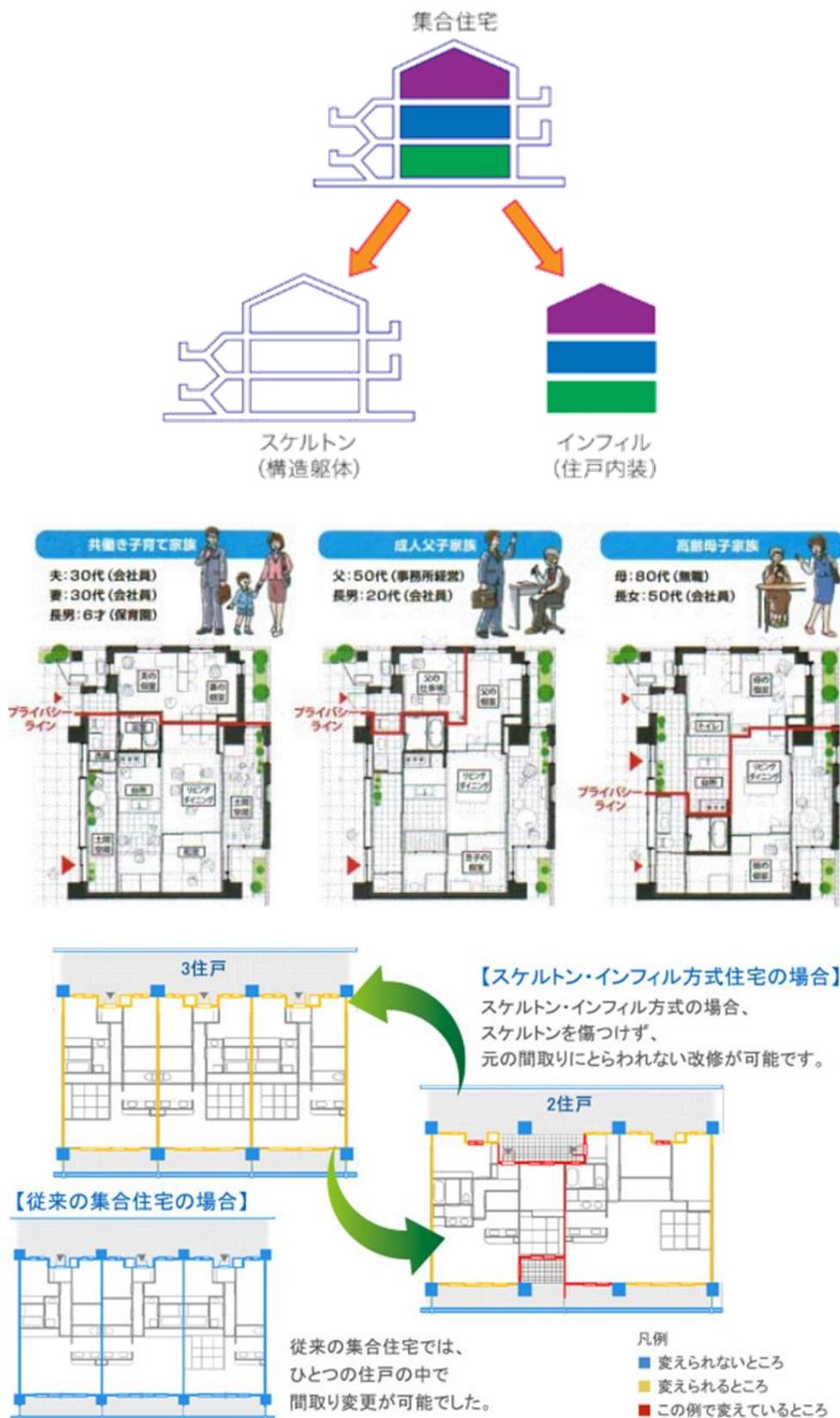


圖 3-9 日本大阪 NEXT21 水電配置説明

(資料來源：<https://www.osakagas.co.jp/company/efforts/next21/index.html>)

五、日本工業化住宅-Panasonic Homes

- 木造軸組工法：是歷史最悠久、應用最廣泛的住宅施工方式。
- 2x4 工法：以 2inx4in 的木材為骨材，結合牆面、地面、天井面等面形部件作為房屋的主體框架進行房屋建造。
- 預製構造工法：該工法是將住宅的主要部位構件，如牆壁、柱、樓板、天井、樓梯等，在工廠成批生產，現場組裝。



圖 3-10 日本 PANASONIC HOMES 建蓋規模

(資料來源：<https://www.panasonic.com/tw/company/homes.html>)

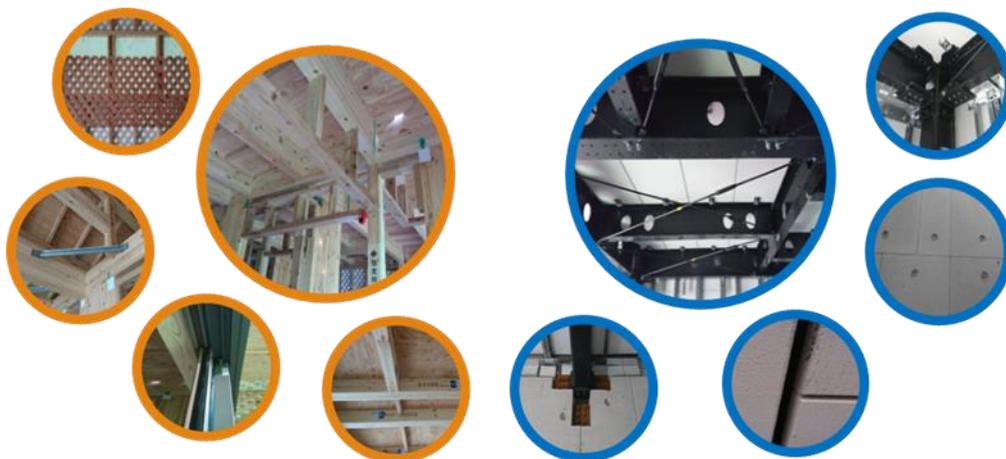


圖 3-11 日本 PANASONIC HOMES 預製細部

(資料來源：<https://www.panasonic.com/tw/company/homes.html>)

六、中國裝配式建築

裝配式建築是指結構系統、外牆系統、設備與管線系統、內裝系統的主要部分，採用預製部品部件整合的建築。在工廠加工製作好建築用構件和配件（如樓板、

牆板、樓梯、陽台等)，運輸到建築施工現場，通過可靠的連接方式在現場裝配安裝而成的建築。

裝配式建築主要分為三種結構形式：裝配式混凝土結構、裝配式鋼結構和裝配式木結構。因為採用標準化設計、工廠化生產、裝配化施工、資訊化管理、智慧化應用，是現代工業化生產方式的代表。



圖 3-12 中國裝配式建築

(資料來源：<http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/>)

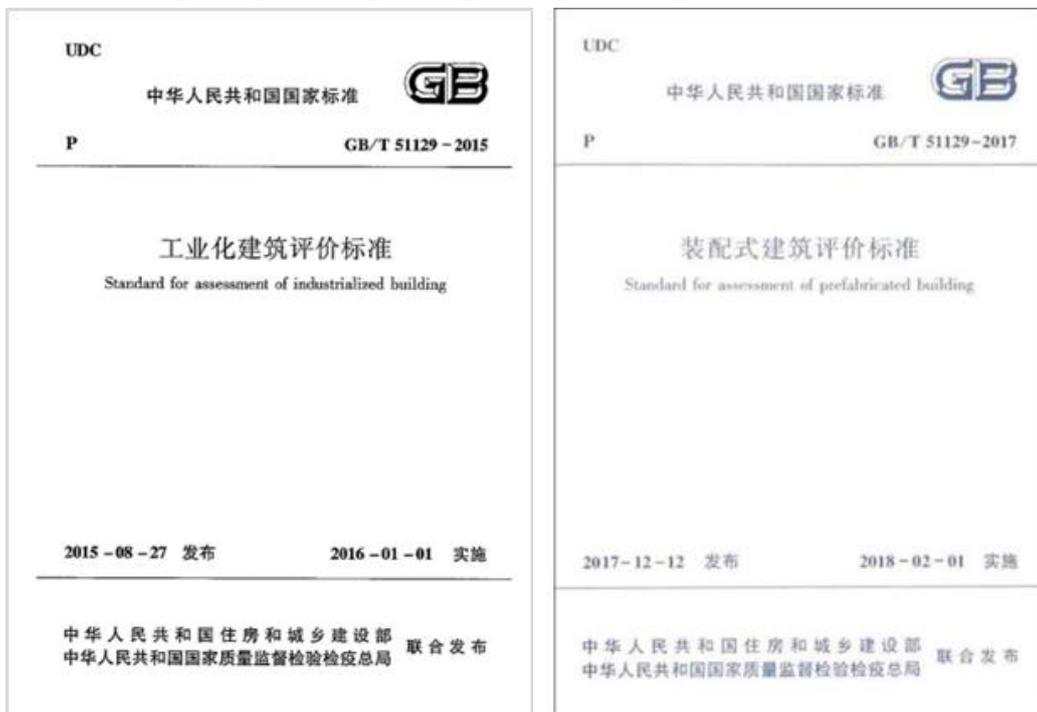


圖 3-13 中國裝配式建築標準證明

(資料來源：<http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/>)

貳、國內可逆式案例建築

綜觀國外循環度評估理念，期望我國建築設計能逐步提升循環材料使用比例，故本研究參考部份國外循環度評估方式，研擬國內建築材料循環度評估方法，本研究評估方法考量興建建明：

一、臺中世博荷蘭國家館

臺中花博荷蘭國家館為荷蘭貿易暨投資辦事處為倡導臺灣邁向循環經濟所推動的全臺第一座循環建築示範案例，該建築中融入循環建築所強調之可拆卸設計。

包括主體鋼構之基礎至二樓層皆採螺栓接合來替代傳統之焊接施工；二樓空間則採用模組化但耐用性佳之特殊輕鋼系統，搭配鋁合金製之模組化結構牆面，使其構件之耐用性符合多次組裝、拆卸之需求性，且與主體鋼構同樣以螺栓接合之方式，滿足施工簡易之前提。

在室內地板、傢俱與門片部分，荷蘭國家館採用舊倉庫拆卸下來的閒置木料所製成，且傢俱、門片部分在組裝過程盡量以木樁結構來維持物料之價值與未來的再使用性。此外透過荷蘭國家館的設計，使得台糖閒置的木料再次被活用，亦提昇其價值性。館內二樓中央展示區採用世界第一塊可以完全回收的地毯，該地毯設計僅採用單一種材質編製，再搭配使用可分離的黏著劑等技術，來達到循環經濟之理念。另外，樓梯踏面、戶外地板、陽臺欄杆等室外構件，則採用回收塑膠和廢棄木屑製作的環保塑木材質，搭配可拆卸式接合，使得再利用與未來可再使用兼備。

該建築在設計階段即考慮後續拆除重建或再利用之可能，透過建築資訊模型（BIM）技術建置館中構件之建材護照，記錄所有建材的資訊，包括來源、尺寸、接合方式及維護方法等，未來搭配建材銀行平臺的資訊留存與傳遞，可加速建材再使用之效率。



圖 3-14 臺中世博荷蘭國家館
(資料來源：循環台灣基金會網頁，2020)

二、台灣沙崙智慧綠能循環住宅園區

配合行政院推動之「沙崙綠能科學城」政策而規劃的住宅區，社區由七個高低不同的量體組成，351 個居住單元的住宅園區，皆採只租不售的方式銷售。社區以循環經濟的模式做為其核心理念。此為全台第一座標榜零廢棄、零污染、建材可拆解回收再製造的循環住宅社區，於 2021 年完工並開始運作，目前作為台積電宿舍使用。

其結構採模組化鋼結構，外殼採預鑄 PC 外牆、預鑄樓板、容易組裝拆解的陽台元件及彈性模組化隔間。配管方面採明管配置(空調設備、給排水衛生管路)，電氣通信線路開放式設計，此外有關建築規劃，從設計、施工、營運維護及拆除即導入 BIM 進行構材編碼，並評估其材料使用年限及轉用效益，建立建材護照暨建材銀行。依據每種材料的生命週期長短，可將建築分成五種項目：結構基礎、結構系統、外殼立面、內牆系統、家具設備。因此，在設計階段便可盤點不同屬性的材料和資源，架構循環暨可逆性系統。



圖 3-15 沙崙智慧綠能循環住宅園區

(資料來源：台糖循環聚落，2021)

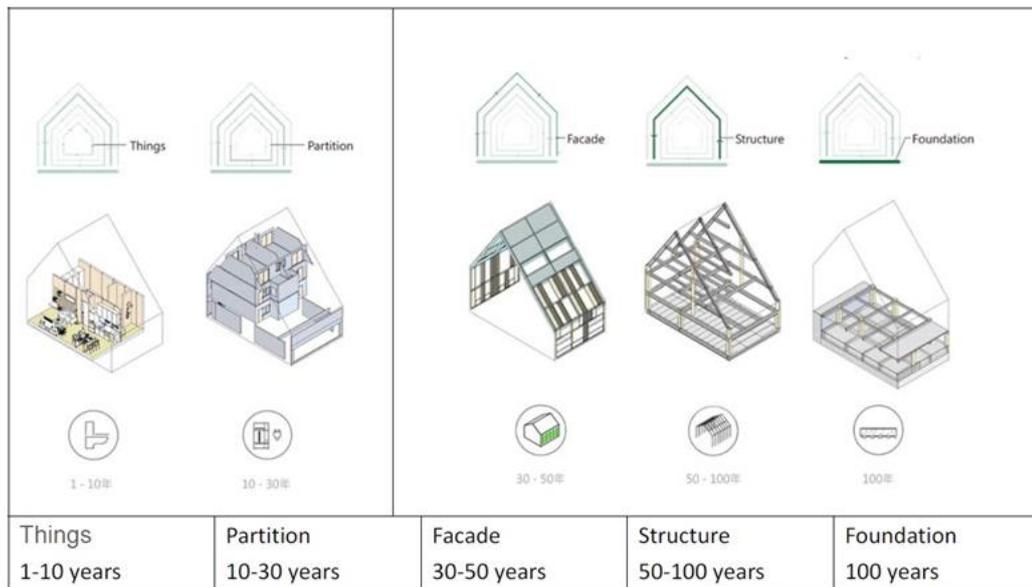


圖 3-16 沙崙智慧綠能循環住宅園區

(資料來源：台糖循環聚落，2021)

三、EAG house-易構住宅

此建築由內政部建築研究所委託國立台灣科技大學生態與防災工程研究中心協助監造、設計與管理，於2010年完工。

易構住宅顧名思義，就是很容易建構的住宅，主結構採用輕鋼構建造。本實驗屋各部位構件，包括：框架式結構單元，內外牆、樓版、門窗、管線等，都是在工廠預先以標準化、模矩化製造，現場進行組裝，所以易構住宅就好像小朋友在現場堆積木蓋房子一樣，可以很快的興建完成；然而小朋友用積木蓋房子，最大的問題在於每次蓋的房子都會不一樣，可是實際上的居住生活，又不可能允許每一次蓋的房子都樣，因此易構住宅應用RFID科技技術，在每個組件上貼上RFID (Radio Frequency Identification) 標籤，作為每一構件之身分證，就像每個小孩剛出生有身份證一樣，易構住宅每一構件生產製造完成，就具有身分證，現場再透過RFID讀取器的辨識，可以清楚知道每個組件組裝位置、施工順序，以及儲存進場的時間等，所以可以很快速正確的組構起來(以實驗屋為例，結構體部分組裝僅需3.5天)。易構住宅英文名稱EAG House House，EAG三個字母E、A、G均有特定的意義，E代表ElectronicElectronic，為電子化管理；A代表AutomaticAutomatic，為營建自動化；而G為Green Buildin Building，表示綠建築。

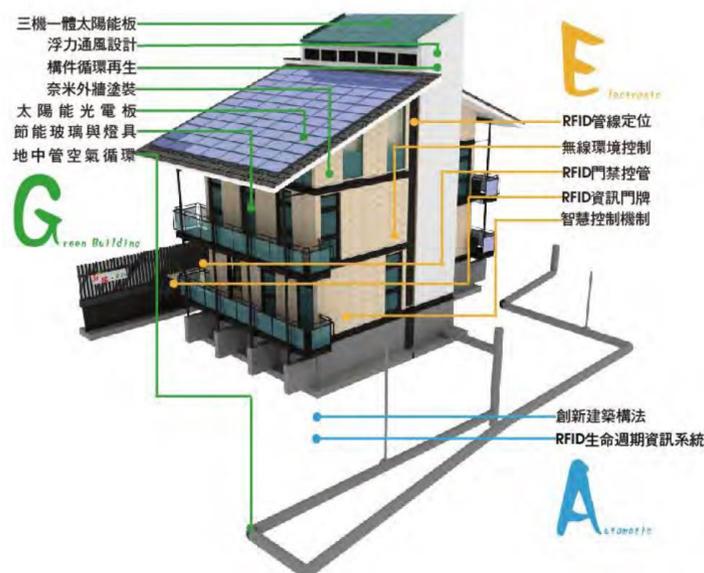


圖 3-17 EAG HOUSE-易構住宅

(資料來源：內政部建築研究所，2010)

第二節 訪查建築案例類型

前節針對國內外循環暨可逆性建築進行初步文獻收集，理解其可逆性設計理念、採用工法或設備等資訊，為加速建築落實循環暨可逆性建築理念，期望我國興建建築時，能將可逆性建築設計概念納入整體規劃，針對國內類可逆式建築進行專家及案例訪視，藉以理解國內產業發展現況、產能及市場規模，並收集後續推動可逆性建築可能面臨的困境，規劃參訪國內類可逆式建築業界專家及個案，如表 2-2。

表 3-1 訪查建築案例類型

類可逆式建築	案例名稱	聯絡人	備註
預鑄	亞利預鑄廠辦 潤弘精密工程廠 辦	林湫湻 協理 吳子良 副總經理	亞利預鑄工業股份有限公司 112.04.25 潤弘精密工程股份有限公司 112.04.25
	EAG house -易構住宅	陳玉賢 經理	
輕鋼構	大雅廚房器具有 限公司(后里廠)- 實習生宿舍	劉泰佑 總經理	金緯鋼構建築/ 金緯綠建材(台中)
展覽空間	台中花博荷蘭館	許智喬 建築師	台中月眉糖廠「台灣 循環設計園區」其中 一棟建物
集合住宅	沙崙智慧綠能循 環住宅園區	吳建志 課長	台灣糖業股份有限公司-台南區處 工程課
	南港機廠公宅	闕河彬建築師	
營造	高雄市民間住宅	陳程 總經理	鼎成營造有限公司 112.06.05

(資料來源：本研究自行製表)

壹、預鑄工廠參訪

專家暨個案訪視重點摘錄

1. 現行預鑄工程，主要是為了提升品質以及施工速度的考量，並未考慮到後續拆除後構建的重複使用問題。(強接頭拆除不易)
2. 建築樓梯、內外牆(含飾材)可預製外掛使用。
3. 成本考量，經濟規模小，需要政府提供相關誘因，促進建築產業升級與技術普及推廣。

表 3-2 參訪建築案例

參訪對象	參訪內容與流程	訪談專家
亞利預鑄工業股份有限公司 (新北市樹林區佳園路二段 3 號)	1. 高層住宅連根梁預鑄工法之應用 2. 預鑄外牆設計、製造與吊裝 3. 預鑄工廠參訪 4. 可逆式建築趨勢分享與討論	林湫湟 協理
潤弘精密工程股份有限公司 (桃園市楊梅區泰圳路 1442 號)	1. 建築預鑄工程設計實務 2. 預鑄廠生產管理實務 3. 預鑄工廠參訪 4. 可逆式建築趨勢分享與討論	吳子良 副總經理

(資料來源：本研究自行製表)



圖 3-18 預製與預鑄構建

(資料來源：本研究拍攝)

貳、外牆、隔間牆組合法(非承重牆)參訪

專家暨個案訪視重點摘錄

1. 於工廠以水泥砂漿製成的板材取代傳統紅磚作為外牆、內牆隔間材料，可於現場安裝裁切，不但可以增加施工速度，而且未來板材可以重新製成板材再利用。
2. 拆除後可回收進行破壞研磨後，可做為土木工程回填材。
3. 內外牆(含飾材)可預製外掛使用。



圖 3-19 預製與預鑄構建

(資料來源：本研究拍攝)

參、輕鋼構建築

專家暨個案訪視重點摘錄

1. 將建築設計圖說轉譯成製造圖面，透過 BIM 等軟體將結構進行拆圖，於工廠以 C 型鋼(C 型鋼連接器)、板金等鋼材進行結構構件生產，採構架式及框組式構造，透過模組化設計(接頭)達精準施工，構造的接點採螺絲鎖固，要改變或增築相對可行。
2. 內外牆(含飾材)可預製外掛使用，管線可於 C 型鋼內配置或採明管。
3. 工廠預製化可為房屋工業化前進。

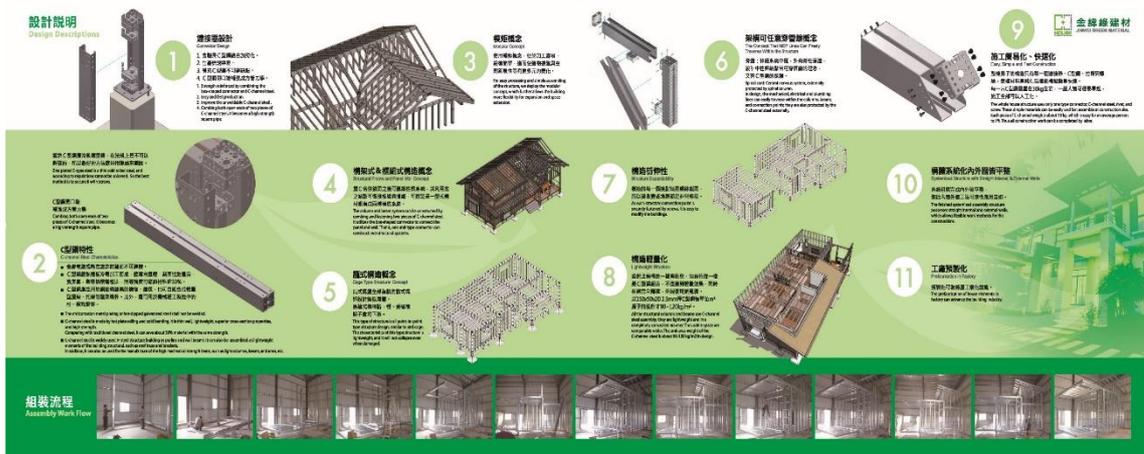


圖 3-20 輕鋼構建築組裝圖

(資料來源：金緯輕鋼構建築廠商提供)



圖 3-21 組裝後成品

(資料來源：本研究拍攝)

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究透過持續蒐集案例和專家諮詢會議的意見彙整，完成「可逆式建築設計原則(草案)」，其內容詳見附錄二「可逆式建築設計參考指引(草案)」，此草案綱要與內容多處仍需更廣泛的資料蒐集才得以齊備，循環經濟此課題即便限縮資料範疇至可逆式建築設計，其所需的專業依然囊括建築、營造、建材生產與回收等領域，因此本研究為拋磚引玉之舉，後續仍需不斷檢討修正才得以使可逆式建築設計參考指引(草案)健全。

第二節 建議

依據所提出的可逆式建築設計原則(草案)進一步透過專家諮詢會議，完成可逆式建築設計應用與推動建議，與未來研究之方向。可逆式建築設計原則與可逆式建築設計參考指引(草案)之應用與推廣仍有努力的空間，建材與建築構件上的相關資料也仍需持續更新蒐集與彙整，因此總體研究建議主要有以下論述。

建議一：

延續可逆式工法進行建築物導入相關議題研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

本研究已研擬可逆式建築設計參考指引(草案)。目前國外於建築循環利用提出「可逆式建築設計」概念，其對建材完整拆卸與重覆使用之相關工法，有利於提升設計階段導入建築循環，但我國目前相關技術的現況與回收上的難易程度以及建築預鑄化及模組化成為可逆式設計潛力，仍持續需要藉由技術面、法規面及

市場面等多面向的資料蒐集與探討，才得以修正可逆式建築設計於國內推廣應用的可行性與後續發展必要的配套措施，作為國家建築循環設計與永續城市發展政策策略訂定之參考。

建議二：

建立我國循環建築設計綱要手冊：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

配合臺灣 2050 淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫，推動循環建築，從建築設計源頭減量。整合本案研究成果及所內前期研究包含「建築規劃設計導入循環經濟發展理念之研究」、「建築循環設計構件材料度之評估研究」提出我國循環建築設計綱要手冊，提供政府單位相關建築及資源循環政策研擬參考，亦可提供建築師規劃設計及建材產業發展新材料、新工法之參考。

附錄一 ISO 15392:2019 建築和土木工程的可持續性

ISO 15392:2019 建築和土木工程的可持續性——一般原則 術語和定義

3.1

獲得服務

建築物 外服務(3.4)的可用性和可達性 (3.2)

注 1：服務可包括公共交通、停車、娛樂、醫療保健、水和能源供應等。

3.2

可達性

輕鬆進入空間的能力

注 1：無障礙要求取決於用戶的需求，以及建築物(3.4)或土木工程 (3.6)生命週期 (3.19) 期間的活動，例如建築工程 (3.9)、維護和解構。

注 2：“建築物的無障礙使用”涉及無障礙性要求，以滿足行動不便的用戶的需求。

3.3

關注的領域

保護區

可能受到建築工程 (3.10)、商品或服務影響的經濟、環境或社會的各個方面

例子：資產價值、文化遺產、資源、人類健康和舒適、社會基礎設施。

3.4

建築

以為其居住者或內容物提供住所為其主要目的之一的建築工程 (3.10)；通常部分或完全封閉並設計為永久站立在一處

[來源：ISO 6707-1:2017, 3.1.1.3，已修改 - 條目註釋已刪除。]

3.5

建設環境

位於特定區域或區域的人造或感應物理對象的集合

注 1：當作為一個整體對待時，建築環境通常包括所考慮區域內的建築物 (3.4)、外部工程 (景觀區域)、基礎設施 (3.6)和其他建築工程 (3.10)。

3.6

土木工程

基礎設施

美國土木工程項目

建築工程 (3.10)，包括水壩、橋樑、道路、鐵路、跑道、公用設施、管道或污水系統等結構，或疏浚、土方工程、岩土工程等作業的結果，但不包括建築物 (3.4)及其相關現場工程

注 1：與建築物相關的現場工程有時被視為土木工程項目，例如在美國尤其如此。

[來源：ISO 6707-1:2017, 3.1.1.2，已修改 — “基礎設施”已添加為首選術語；條

目註釋 1 已修改。]

3.7

建築產品

為納入建築工程 而製造或加工的物品(3.10)

[來源：ISO 21930:2017, 3.2.2，已修改——“建築產品”已添加為公認術語；兩條條目註釋已被刪除。]

3.8

施工服務

支持施工工作 (3.9)或後續維護的活動

[來源：EN 15804:2012+A2:2019, 3.7，已修改 — 已插入“施工工作”一詞來代替“施工過程”。]

3.9

施工作業

建築,美國

形成建築工程 的活動 (3.10)

[來源：ISO 6707-1:2017, 3.5.1.1，已修改 - 條目註釋已刪除。]

3.10

建設工程

建造的一切或建築作業產生的一切

注 1：這包括建築物 (3.4)、土木工程 (3.6)、構築物、景觀美化、外部工程和建築環境 (3.5)內的其他類型的建築工程。

注 2：從經濟角度來看，已竣工的建築工程通常稱為已建資產 (ISO 15686-1:2011, 3.2)。

[來源：ISO 6707-1:2017, 3.1.1.1，已修改 - 添加了兩個條目註釋來代替原始條目註釋；美國同義詞“建築”作為公認術語已被刪除。]

3.11

拆卸

非破壞性地將建築工程(3.10)或建築資產(ISO 15686-1:2011, 3.2) 分解為組成材料或組件

[來源：BS 8887-2:2009, 3.11，已修改 — 添加了對“建築工程”和“建築資產”的提及。]

3.12

經濟方面

可能導致經濟狀況發生變化的建築工程 (3.10) 、與其生命週期 (3.19) 相關的工程部分、流程或服務的特徵

3.13

環境方面

可能導致環境變化的建築工程 (3.10)的特徵、與其生命週期 (3.19)相關的工程部

分、流程或服務

[來源：ISO 14001:2015, 3.2.2，已修改 — 背景從組織相關改為與建築工程相關；添加了對“生命週期”的提及；“與環境相互作用”已替換為“可以導致環境變化”。]

3.14

社會方面

可能導致社會或生活質量發生變化的建築工程（3.10）、與其生命週期（3.19）相關的工程部分、流程或服務的特徵

3.15

環境宣言

表明任何商品或服務的環境因素（3.13）的聲明

注 1：環境聲明可以採用產品或包裝標籤、產品文獻、技術公告、廣告或宣傳等中的聲明、符號或圖形的形式。

[來源：ISO 14020:2000, 2.1，已修改——“環境標籤”作為首選術語已被刪除；“產品或服務”已更改為“任何商品或服務”。]

3.16

環保性能

與環境影響（3.17.2）和環境因素（3.13）相關的績效（3.20）

注 1：環境績效受到與考慮對象的生命週期（3.19）相關的所有過程的影響。

3.17

影響

可能是不利的、中性的或有利的變化或現有條件的結果

3.17.1

經濟影響

對經濟的影響（3.17），全部或部分由經濟方面（3.12）造成

3.17.2

對環境造成的影響

對環境的影響（3.17），全部或部分由環境因素（3.13）造成

[來源：ISO 14001:2015, 3.2.4，已修改——“改變”已更改為“影響”；“無論不利還是有利”和“組織的”等措辭已被刪除。]

3.17.3

社會影響

對社會或生活質量的影響（3.17），全部或部分由社會方面（3.14）造成

3.18

指標

定量、定性或描述性測量

3.19

生命週期

所考慮的物體生命週期中所有連續且相互關聯的階段

注 1：考慮到環境影響 (3.17.2)和環境因素 (3.13)，生命週期包括從原材料獲取或自然資源生成到報廢的所有階段。

注 2：考慮到經濟影響 (3.17.1)和經濟方面 (3.12)，就成本而言，生命週期包括從建造到退役的所有階段。可以選擇與生命週期不同的分析週期 (ISO 15686-5:2008, 3.3.6)，請參見 ISO 15686-5。

[來源：ISO 21930:2017, 3.3.1，已修改 - 原始註釋 2 已被刪除，並添加了新的註釋 2。]

3.20

表現

建築工程 (3.10)、建築產品 (3.7) 或建築服務 (3.8) 在預期使用條件下履行 (履行) 所需功能時觀察到的 (或預測的) 行為

注 1：本文中的性能涉及使用中的功能和技術要求。

[資料來源：ISO 21930:2017, 3.2.7，已修改 — 對“能力”的提及已被刪除，並替換為“觀察到的 (或預測的) 建築工程行為”；提供了進一步的背景說明；已添加條目註釋 1。]

3.21

彈力

預測和適應、抵抗潛在破壞性事件或從潛在破壞性事件 (無論是自然的還是人為的) 中快速恢復的能力

3.22

使用壽命

安裝後建築工程 (3.10) 或其部件達到或超過性能 (3.20) 要求的一段時間

[資料來源：ISO 6707-1:2017, 3.7.3.84，已修改——“設施或其組成部分”已替換為“建築工程或其組成部分”。]

3.23

利益相關者

能夠影響決策或活動、受決策或活動影響或認為自己受決策或活動影響的個人或組織

例子：客戶、社區、供應商、監管機構、非政府組織、投資者和員工。

[資料來源：ISO/IEC 指令第 1 部分，2019 年，附件 L，附錄 2，3.2，已修改 — 已添加示例。]

3.24

可持續性

全球體系的狀況，包括環境 (3.13)、社會 (3.14) 和經濟 (3.12) 方面，其中滿足當代人的需求而不損害子孫後代滿足其自身需求的能力

注 1：環境、社會和經濟方面相互作用、相互依存，通常被稱為可持續性的三個維度。

注 2：在建築物 (3.4)和土木工程 (3.6)的建設中，可持續性與建築工程 (3.9)中使用的活動、產品或服務的屬性或建築工程的使用如何相關 (3.10)，有助於為子孫後代維護生態系統的組成部分和功能。

注 3：雖然可持續發展的挑戰是全球性的，但建築行業促進可持續發展的戰略卻是地方性的，並且各個地區的背景和內容各不相同。

注 4：可持續性是可持續發展的目標(3.25)。

[來源：ISO 指南 82:2014, 3.1，已修改 - 添加了條目註釋 2 和 3。]

3.25

可持續發展

既滿足當代人的需要又不損害子孫後代滿足其需要的能力的發展

注 1：根據世界環境與發展委員會的報告[26]，可持續發展包含兩個關鍵概念：

1) “需求”的概念，特別是世界貧困人口的基本需求，這是最重要的。應給予優先考慮；2) 技術和社會組織狀況對環境滿足當前和未來需求的能力施加限制的想法。

注 2：可持續發展涉及為今世後代提供更好生活質量的所有資源。可持續發展還旨在消除貧困並優先考慮窮人的需求。

附錄二 可逆式建築設計參考指引(草案)

可逆式建築設計參考指引(草案)

壹、主旨

根據聯合國估計，建築及營造業的資源消耗量約佔全歐洲的 50%，廢棄物製造量則佔 60%。但如果老舊房子經過拆解後，所有的樑柱牆板等構件都能重複被使用在下一棟房屋的設計，就像我們以積木堆疊成房子後可以打散再重新堆疊成另一個新的房子一般，則勢必將大幅減少建築營造對地球資源的消耗，並消除大量廢棄物。因此歐盟於 2015 年推出「建材銀行計畫 (Building as a material bank, BAMB)」，其中包含「建材護照(Material Passport)」及「可逆式建築設計(Reversible Building Design)」兩大創新輔助架構的建立，「可逆式建築設計」讓建材能夠被完整地拆卸與重覆使用，「材料護照」則追蹤每一份建材的履歷與狀態，提供其材質之組合、可再利用及拆除評估資訊；如此建築物將轉變成為建材的暫時存放處，在其生命週期結束或用途改變時，將這些建築廢棄資材進行完整規劃再利用的途徑，達到減少建築資源浪費，同時也能減少施工所造成的環境負擔（例如降低能耗、二氧化碳排放、廢棄物等）。因此，為了降低整體自然環境之資源使用及處理廢棄物所消耗的能源，可逆式建築設計概念已成為永續健康綠建築之有效施行策略之一，也因此本國同步跟進投入可逆式設計相關研究，故撰寫此「可逆式建築設計參考指引」供大眾參考。

貳、用語及定義

BAMB(Building as a material bank)，建材銀行

開發建築物作為材料庫，並保存與盤點再生建材，消除浪費並建立共生供應業的組織。

Material Passport，建材護照

採用數位文檔方式，列出產品或建築在其生命週期中包含的所有材料，以促進供應鏈管理中的循環決策策略，這些特徵賦予建材回收和再利用的價值。

LCA (Life cycle assessment)，生命週期評估

生命週期評估(Life cycle assessment,LCA)係說明產品或服務，從原物料取得至生產、使用、生命終結之處理、回收再利用及最終處置(即搖籃至墳墓)，整個產品生命週期中的環境考量面與潛在環境衝擊，包括能源使用、資源的耗用、污染排放等。

Reversible Building Design，可逆式建築設計

可輕鬆解構的建築設計，或可以輕鬆拆卸和添加零件而不損壞建築或產品、組件或材料的建築設計。

參、何謂可逆式建築?

可逆建築設計是指可以輕鬆解構的建築設計，或可以輕鬆拆卸和添加零件而不損壞建築或產品、組件或材料的建築設計。可逆建築設計可實現建築材料、產品和組件的資源高效修復、再利用和回收，因為可以輕鬆存取地板、窗戶、電線、通風、內牆等不同層，而不會損壞建築物的其他部分和組件。刪除或更換。它還可用於設計靈活且易於改造的建築物。可逆建築設計在過去幾年中已經由多個參與者在實驗基礎上進行了開發和測試，但距離主流商業建築還很遠。

- 可逆建築設計能夠：

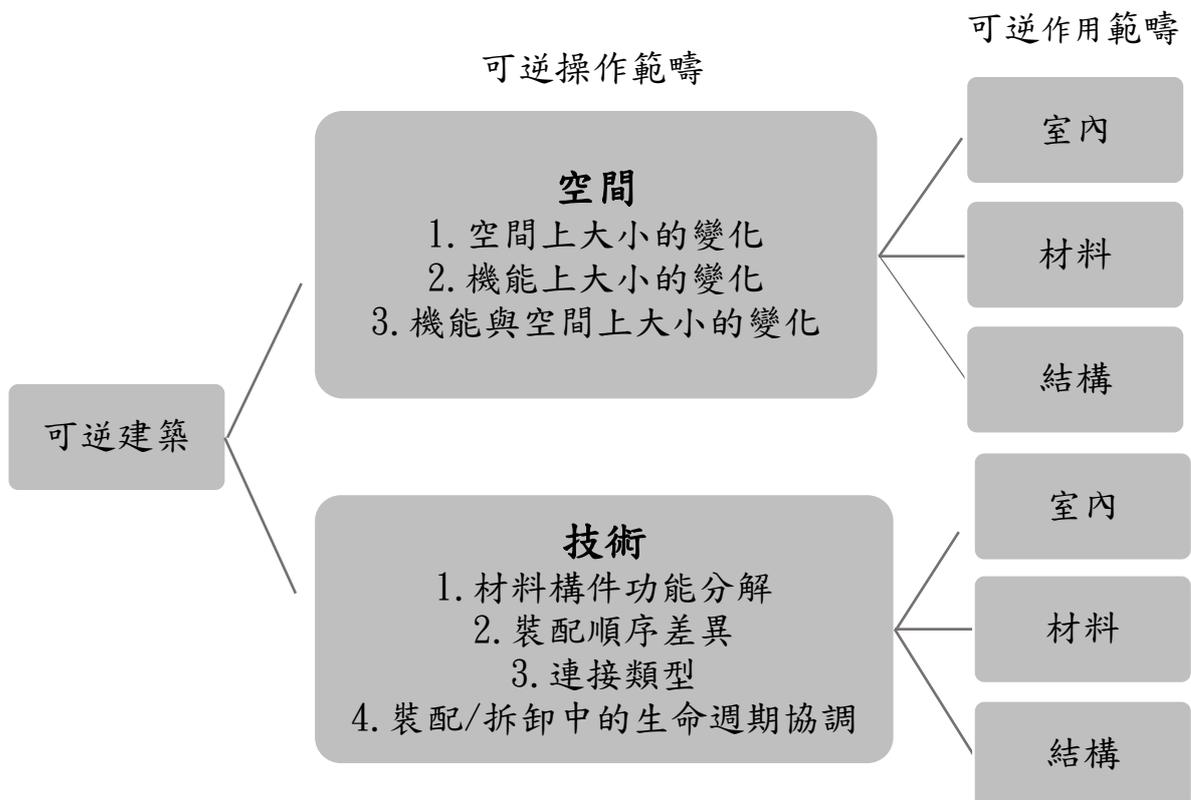
1. 靈活且可變形的建築，易於維修、翻新或更換，同時產生更少的廢棄物。
2. 由於有價值的材料易於取得和回收，建築物可作為有價值的材料庫。
3. 資源高效的維護、維修以及空間和系統使用的靈活性。

可逆建築的設計消除了浪費，並在與可重複使用的材料、產品和組件一起使用時實現了循環建築領域。

肆、可逆式建築設計的範疇

可逆式設計區分為「空間」與「技術」上的可逆，「空間」可逆指的是空間上大小的變化、機能上大小的變化以及機能與空間上大小的變化，「技術」上的可逆則涵蓋較多面向，總共包含材料構件功能分解、裝配順序差異、連接類型、裝配/拆卸中的生命週期協調等很多面向的考量，在上述的兩個大的可逆操作範疇領域中，又依據可逆在建築物的作用範疇分為三種類別，分別為室內、結構、材料（外殼、設備）。

將建築物的可逆架構如下圖：



伍、可逆式建築設計的原則

- 可逆設計核心原則:

壹、 靈活且可變形的建築，易於維修、翻新或更換，同時產生更少的廢棄物。

貳、 由於有價值的材料易於取得和回收，建築物可作為有價值的材料庫。

參、 資源高效的維護、維修以及空間和系統使用的靈活性。

- 對可逆有影響的設計因素：

(以下設計參數需被優先考量，因會影響建築的跨度，因此列以下項目供參考。)

1. 自然光的關係

室內所可以獲得自然採光面積與空間合理使用深度範圍面積之考量。

2. 類型學與核心的類型和位置

類型學與核心(電梯、樓梯)的類型和位置、塊的尺寸和核心之間的距離相結合。

3. 支撐(結構)系統和施工方法

最初的結構系統將決定一棟可逆式建築未來所能改動(變動)的幅度與範圍。

4. 建築類型(天花板高度、外牆開口)

天花板和外牆開口高度，都有可能隨著使用者機能不同而改變。

陸、哪類建築物適合可逆設計?

可逆式設計就設計者而言，在於讓設計師和決策者了解設計的改造能力和再利用潛力，以及概念設計階段設計解決方案的影響。它旨在支持可逆建築的設計，更具體地說是具有高度改造和再利用潛力的辦公室、公寓和公共（社會/文化）建築等未來有變動幅度大的建築，並且也贊同臨時性建物與展場展示用途的建物被採取可回收及可再利用為前提的願景來做設計規劃。

就現有的建築案例來進行分類，可大致歸類出以下幾類建築(例:展示館、展演廳、一般住宅、辦公類建築)，而依據建築法規和建築結構強度上的差異而有樓層數規模上差異的分類(例:五樓以下建築、八到十樓建築、十五樓以上建築)，可逆式概念可區分為空間、結構、材料(外殼、設備)的可逆，因此可已將可逆式所能夠應用到的建築類型範疇初步歸納如下:

機能	規模	可逆作用範疇
展示館	五樓以下建築(含五樓)	室內、結構、材料(皆可)
展演廳	五樓以下建築(含五樓)	室內、結構、材料(皆可)
一般住宅	五樓以下建築(含五樓)	室內、結構、材料(皆可)
	五到十五樓建築 (含十五樓)	空間、材料
	十五樓以上建築	空間、材料
辦公類	五樓以下建築(含五樓)	室內、結構、材料(皆可)
	五到十五樓建築 (含十五樓)	空間、材料
	十五樓以上建築	空間、材料

柒、建築物的結構、外殼、隔間、設備都可以採可逆設計?

基本上建築物的結構、外殼、隔間、設備均具有可逆的潛力，因此以下針對這四的面向來進行論述：

1. 結構

鋼結構:

其結構體因採用高張力螺栓因此造成拆卸時有結構性的破壞，需被裁切才可被使用。如為手動螺栓接合無焊接，在無明顯外觀破壞情形下，可降級使用。

木結構:

CLT(Cross-laminated timber, 直交式集成板材)，在外表保持一定的韌度及溫度，沒有明顯的破壞情形下，是可以拆下來降級使用。

2. 外殼

玻璃帷幕(乾式工法):

可再回收，但無法重複利用，因難管理每個五金是否還有相同的受力能力，因此分類後降級使用。

石材(乾式工法):

可再回收，但無法重複利用，因難管理每個五金是否還有相同的受力能力，因此分類後降級使用。

3. 隔間

輕隔間:

可移動輕隔間是由每個單個輕隔間組成的一組活動隔音牆。每件裝備有兩個水平懸掛輪。水平懸掛輪用於沿軌道長距離懸掛。它可以進行 90 度直角轉彎，並可以自由靈活地移動。通過將其推入其他空間進行收集，可以根據不同的空間使用需求將多個獨立的小空間分隔開。每個單塊隔板的垂直接觸點通過凹凸位置連接，並嵌入密封橡膠條，上下頂部裝有可伸縮的隔音密封機構，此類活動隔間設計如保留接頭可拆下後重複利用。

4. 設備

整體衛浴:

整體衛浴的好處在於快速裝配，考量到建築多樣性但可以快速，再加上同層排水政策，整體衛浴較易施做與拆裝。

水箱:

FRP 水箱系統包含滯洪池，好處是輕、可以不斷組隔，在未來因應政策上的改變，有機會將水箱做更多的擴充，符合集水政策。

捌、可逆式設計案例

以下為可逆式參考案例:

	國家	建物名稱	機能	規模	可逆操作範疇	可逆作用範疇	補充說明
1	印度	Koodaaram 館	表演與演講場館	五層樓以下	技術	室內、結構、材料	鋼及竹子所興建的一座半透明、半入土表演與演講場館，展覽期結束後可以被完全拆卸在利用。
2	荷蘭	People's Pavilion	表演與演講場館	五層樓以下	技術	室內、結構、材料	100%所有材料都是借來的，活動結束後可以回到各自出處或轉作他用。
3	荷蘭	Triodos Bank	辦公空間	五層樓	技術	室內、結構、材料	基礎部分使用混凝土結構外，其餘結構及內裝皆採用木材跟透明的玻璃帷幕牆建造。
4	日本	大阪實驗住宅計畫 NEXT21	住宅	五層樓以下	空間、技術	室內、材料	在建築設計強調結構體和住宅單元的分離設計概念，在住宅單元改造時能不傷害主要結構，延長建築物壽命。

	國家	建物名稱	機能	規模	可逆操作範疇	可逆作用範疇	補充說明
5	日本	工業化住宅- Panasonic Homes	住宅	五樓以下建築或五到十五樓建築	技術	室內、材料	木造軸組工法或預製構造工法。
6	中國	裝配式建築	住宅	十五樓以上建築	技術	室內、材料	採用預鑄技術。
7	台灣	臺中世博荷蘭國家館	展示場館	五層樓以下	技術	室內、結構、材料	體鋼構之基礎至二樓層皆採螺栓接合來替代傳統之焊接施工。
8	台灣	沙崙智慧綠能循環住宅園區	住宅	五到十五樓建築	技術	室內、材料	鋼結構，外殼採預鑄PC外牆、預鑄樓板、容易組裝拆解的陽台元件及彈性模組化隔間。配管方面採明管配置(空調設備、給排水衛生管路)，電氣通信線路開放式設計。
9	台灣	EAG House	住宅	五層樓以下	空間、技術	室內、結構、材料	輕鋼構

玖、結語

感謝內政部建築研究所「112 年度可逆式建築設計與應用之調查研究委託研究案」的協助，才得以進行此重要研究。

本手冊的編寫旨在探討和推廣可逆式建築設計的原則和實踐，並回應當今城市化和氣候變遷所帶來的挑戰，以及尋找可持續發展的解決方案。通過對可逆式建築的研究探討，期望可以改變目前只有一個 "壽命終結" 選項（拆除）的線性建築設計方法，並且逐步轉變為循環設計方案，以期許建築及其系統、產品和材料具有多種延長壽命再利用的可能，並讓我們可以為未來的建築設計提供更多選項，以降低對環境的影響，提高建築的適應性和可持續性。

藉由研究國內外可逆式建築設計之相關文獻資料與應用案例，以理解國際間對於可逆式建築的實務應用與發展，並在透過與國內多位專家討論與會談後，將目前的研究資料簡練彙整成此手冊，以期望可逆式建築設計在技術、法規及市場等各面向於國內推廣應用的可行性增加，並進一步擬定出我國適用原則，最終達成建立我國可逆式建築設計原則之目標，以作為我國建築循環設計推動與永續城市發展之參考。

附錄三 期中審查意見回覆表

112 年度委託研究「可逆式建築設計與應用之調查研究」案期中審查意見回覆

一、時間：112 年 7 月 11 日（星期二）下午 2 時 30 分

二、地點：內政部建築研究所簡報室

三、主席：樂主任秘書中丞

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
江委員哲銘	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究已針對可逆式建築設計之國內外相關文獻及案例，做了蒐集整理，有助於本案之執行，另預計 7 月底、9 月舉辦專家學者諮詢會議，將有利於建構臺灣可逆式建築設計準則。 2. 本研究已提出完成可逆式建築設計準則（草案），以供應用參考，建議後續可討論竹建材與 SDGs3、SDGs11、SDGs12 及 ESG 永續報告書等之連結。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 可逆式建築設計係符合 SDGs 指標、ESG 有關永續跟循環，後續的推動或計畫發想，建議可以進行相關連結。
黃委員秀莊	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築設計是讓建材能夠完整地拆卸與重複使用，除了臨時性輕鋼構造，鋼構造和預鑄式建築外，其他在一般住宅、辦公等建築應用上幾乎很難達到，主要在價格上比一般建材高，另外，將來在整合再利用上，因產權細分很難整合重新拆除再利用，類似都更之整合困難，有待本案之研究。 2. P. 55 類似「沙崙綠能科學城」之綠能循環住宅之可逆式建築設計，本研究可建議政府在整合宜住宅及公宅多多採納， 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，有關建材市場價格與產權問題已納入未來發展方向與研究課題中。 2. 感謝委員建議。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
陳委員瑞鈴	<p>2050 年零碳才有機會。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築之推廣應用，除規劃設計外，建築構件、設備、材料之模組化產品，亦不可缺，此非國內當下可達成者。建議草案兼顧技術面及市場性探討，以提出後續發展必要的條件需求。 2. 案例參訪原則可將建研所易構住宅納入，其雖為實驗性建築，但概念上與可逆式建築類同。 3. 廠商參訪部分，外牆隔間牆組合工法似不宜納入。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 後續將持續修正草案，以利更加兼顧技術面及市場性之探討。 2. 有關易構屋約入案例研究及建築產權的部分，將納入進行探討，另從公宅優先推動，從公有帶動民間，本研究會將此納入後續研究之建議。 3. 有關廠商參訪中外牆隔間牆維合工法，將移除不約入參考。
卓教授至隆(李教授孟杰代理)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 該研究對於面臨淨零溫室氣體排放，有著著實的貢獻，若能跟世界評估方式接軌(如歐盟的建築生命週期評估資料庫)，對於整體效益而言，更為實質。 2. 目前已收集許多資料與案例，對於循環經濟進行評估，有其貢獻，若能將相關拆除建材儲放於建材銀行，進行相關物品再利用，並整合物流管理，則循環價值將更能落實。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 針對建材銀行整合物流管理已納入未來發展方向與研究課題中。
中華民國全國建築師公會 (張顧問文瑞)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預期成果 3 拉出「完成可逆式建築設計原則(草案)」，以做為我國建築循環設計推動與永續城市發展之參考，建議期中報告可將上開草案加以論述，以符合所需。 2. 此外，若表列的預期成果 3 僅是後續研究建議，則建議不適宜列為「預期成果」。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，將於期末報告時加以論述。 2. 感謝委員指正，將修正。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
<p>台灣省建築材料商業同業公會聯合會 (王榮吉總幹事)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築之實務應用與發展，國內目前公共領域之發展運用，應如何加強與推動，建請予以說明。 2. 針對國內可逆式建築之法規及技術發展，應如何逐步建立，建請提出相關建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，將於期末報告時加以論述。
<p>本所- 羅組長時麒</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究為延續計畫的第3年計畫，主要因應循環經濟相關議題執行，其中第1年針對循環建築可行性進行探討，第2年針對建築構件材料循環度加以評估，本年著重建築可逆性設計與應用調查研究，以提供建築循環經濟參考。 2. 目前歐盟推出可逆式建築設計指引以框架為主，建議研究團隊參考歐盟作法建立參考指引草案，再與產業界進行溝通。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，將於期末報告時加以論述。 2. 本研究後續將參考歐盟推動方式建立框架式參考指引，再透過專家座談，針對法規、技術等面向進行反饋修正。
<p>主席(樂主任秘書中丕)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議參考指引內容應包含設計原則、材料的選擇及構造的方式，以提供相關產業應用參考。 2. 可逆式建築的推動，可以鼓勵業界多採用可回收、可拆卸重組及再利用之建材及構件，如何有效或分階段實施，建請補充說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝主席建議，將持續修正指引，於期末報告時加以論述。 2. 將於期末報告中補述。
<p>張建築師矩墉 (書面審查)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築由於其具備可拆解性，接頭設計也必須可拆解，對於地震頻繁好發的台灣地區這是一個不利因素，如何因應要有一定的研究。 2. 可逆式的構材要有一定的共通性，使用性標準化的模矩研究必不可少。有些建築物如展示性的非永久建築物較多可用可 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，有關接頭設計不利於地震好發區使用之議題已納入未來發展方向與研究課題中。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員建議，會再依據不同用途的建築物，

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	見一班。 3. 不同用途的建築物可操作的可逆性會不同，建議也可做一些歸納整理較容易實現。	進行歸納整理。

附錄四 期末審查意見回覆表

112 年度委託研究「可逆式建築設計與應用之調查研究」案期末審查意見回覆

一、時間：112 年 10 月 24 日（星期四）上午 9 時 30 分

二、地點：內政部建築研究所簡報室

三、主席：樂主任秘書中丕

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
江委員哲銘	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議研究團隊完成可逆式建築設計技術、法規及市場等各國案例後，可比較精要式收斂成是用國內之原則。 2. 本研究已如預期成果第 3 項，完成「可逆式建築設計參考指引(草案)」，建議可以在下年度印製成手冊，可提供建築循環設計與永續城市之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員建議與肯定。
徐建築師文志	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案為循環經濟重要一環，研究團隊在營建領域的資料蒐集已有相當的成果，符合預期目標。 2. 可逆式設計，在臨時性或拆卸式組合屋之使用已行之多年，以拆解、重組、回收的方式實踐零廢棄及重置使用的理念。但在國內產業卻面臨產能及市場規模的困境。建議以社宅的共享概念從次結構、裝修材部分或填充式的設備空間做為推動可逆式設計的實踐場域，擴大市場規模以帶動產業技術的提升。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議。
張建築師矩墉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對於所蒐集之國內外可逆式建築案例，個案的可逆高低程度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，建構量化方式判斷可逆程度已

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>是否可以加以說明，以利吸收經檢。</p> <p>2. 預鑄(製)不一定是可逆，且預鑄(製)其原始目的是為解決缺工缺料，及提升工程品質與縮短工期為目的進而發展，與可逆沒有一定的關係。</p> <p>3. 可逆式建第其實在臨時性建築物最成功，在工地辦公室或災後的組合屋等是很成功的應用案例，建議可加以探討。</p> <p>4. 推動可逆式建第，模矩化的系統研究很重要，宜先建立。</p> <p>5. 報告書 P.82 所列建第類型範疇，建議可再保守一些，並增加臨時性建第物。</p> <p>6. 為了可拆解勢必要用到乾式接合，所以會有許多的接線、接縫，對於使用者的使用習性上還有許多要適應之處，宜補充敘明。</p>	<p>納入未來發展方向與研究課題中。</p> <p>2. 感謝委員建議，會再審慎評估預鑄(製)與可逆之關係。</p> <p>3. 臨時性建築物、災後的組合屋、改造能力的規則四大內容將於成果報告時納入可逆建築類型範疇中。</p> <p>4. 模矩化方式已納入未來發展方向與研究課題中。</p> <p>5. 感謝委員建議。</p> <p>6. 會再將此建議納入後續研究發展探討之面向。</p>
<p>陳委員瑞鈴</p>	<p>1. 本研究廣泛蒐集可逆式建第發展背景、規則設計理念、材料構件工法之技術需求，及國內外可逆式建第案例簡介，資料完整豐富，符合預期目標。</p> <p>2. 可逆式建第概念之推動在國內尚屬起步階段，在目前已知的相關技術現況尚未成熟，且法規面、市場面之障礙尚待克服前，後續年度建議深入探討標準化、模矩化、預鑄化等技術提升，以利可逆式建第設計應用。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議，探討標準化、模矩化、預鑄化等技術已納入未來發展方向與研究課題中。</p>

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
黃理事長秀莊	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築設計，主要是讓材料能夠被完整的拆卸與重複使用，而在報告書第 VIII 頁提出訂定臺灣可逆式建築之設計準則，第一優先建議考量可行性及運用性，並從單一產權之建築物著手，如公共建築等屬單一產權且是政府所有最容易適用，沒有產權分散的問題。 2. 另建議有關部門規定建築採用同層排水及盡可能用整體衛浴之設計，以達到可逆式建築設計之精神。 3. 簡報 P. 14 可逆式針對不同空間機能用途之變化，因有涉及結構載重問題，建請列入後續可逆式設計探討。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆建築未來可被應用範圍將參考委員意見，納入國內工期較長的大型公共工程建案臨時房舍與公共建築等具有遷移變化或單一產權等特性之建物，並將可逆適用建築類別和規模再做彙整，期後續供相關從業者參考 2. 將採用同層排水、盡可能用整體位裕之設計以及在空間使用情形變化時其結構載重變化應被考量等建議納入可逆設計前期優先考量內容。 3. 針對不同空間機能用途之變化，因有涉及結構載重問題，將為未來研究探討內容。
簡組長昭群	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築是否均為組合式建築，因需重複拆裝使用，其結構設計及施工方法應和一般建築不同，適用建築類別和規模可提供建議供業者參考。 2. 除表 2-2 訪查案例外，目前普遍使用的組合屋或建案樣品屋是否均屬可逆式建築，本研究成果應可供國內工期較長的大型公共工程或大樓建案臨時房舍建築所需。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 納入國內工期較長的大型公共工程建案臨時房舍與公共建築等具有遷移變化之建物為未來研究探討內容。
中華民國全國建築師公會 (陳建築師俊芳)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書 P. 31 之圖 2-24 及 P. 35 之圖 2-28, finishing 直譯為「最終修飾」。 2. 報告書內容誤繕部分請修正： (1) P. 12 「物理讀另性問題」， 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。並針對報告書中圖片不清楚與誤繕之處修正。 2. 感謝委員指正，已刪修。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>應更正為「物理上獨立性問題」，另「猜謝方面」應更正為「拆卸方面」。</p> <p>(2) P. 41 「幹式連接」應更正為「乾式連接」。</p> <p>(3) P. 16 圖 2-7 內容似乎有誤。</p> <p>(4) P. 31 圖 2-24 缺字，「技」術構成領域及內容多處圖說模糊，建議中文化。</p> <p>(5) 內文缺圖說明，圖 2-24~2-32, 圖後面標號建議改為圖 34-35、圖 37、圖 38-39。圖 2-42~2-6 1, 宜依第三章改名為圖 3-1~圖 3-22。</p> <p>3. P. 28-P. 29, 改造能力的規則四大內容，建議增加更多具體量化說明，此增加之說明並可用於第 80 頁，可逆有影響的設計因素之量化說明。</p>	<p>3. 感謝委員建議，建構量化方式判斷可逆程度已納入未來發展方向與研究課題中。</p>
<p>台灣省建築材料商業同業公會聯合會 (王總幹事榮吉)</p>	<p>1. 有關文獻資料及應用案例之蒐集具有參考價值和意義。</p> <p>2. 目前循環經濟建築、建材，及缺工等為最迫切需面對之問題，可逆式建築設計，可提供國內未來建築循環設計及可行性策略方案，具有應用發展及參考之價值。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議與肯定。</p>

附錄五 第一次專家諮詢會議

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
台灣糖業股份有限公司台南區處 (吳課長建志)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 沙崙智慧綠能循環住宅可以被借鏡的經驗主要於 B 棟所有建築物材料與構建，包含裝修材總計兩萬多件均有採用 BIM 的方式進行資料編碼與管理，此資料目前由營建研究院管理保存，並有平台可見構件、安裝、材質等詳情，可供參。 2. 循環建築探討多個循環部件中，建議主要可做主結構體上的循環，其原因在於許多建築物主結構有做超量設計，沙崙循環宅 B 棟即為一例，目前只有三層樓但基礎結構體是設置成能承載六層樓的重量。 3. 花博荷蘭館後續移至月眉糖廠之案例，其結構體因採用高張力螺栓因此造成拆卸時有結構性的破壞，需被裁切才可被使用，因此材料的循環其拆卸方式、降階使用方式、循環所能得金錢效益都建議應納入考量範疇，有收益才能持續推動。 4. 可逆式建築建議採用預鑄的方式其原因在於具有模矩化的潛力，上海 2023 年完工貨櫃屋形式大樓，但是否能合用台灣的耐震標準，因目前區域性的廠商還沒有相關的工程預算可以來做測試，因此仍待考察。木結構建築則需考量其材料強度本身所造成的高度限制。 5. 可逆式建築的未來使用性，需考量隔間變動是否具有必要性，空間的變動造成材料的損 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員說明。 3. 本研究將整體建築財務效益都納入考量範疇，為未來研究建議考量方向。 4. 感謝委員說明。 5. 感謝委員建議，在政策方面將逐步和業界與內政部討論。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>耗與破壞，所造成的收益是否反而減少。建築適合優先發展的可逆系統，也許可以從設備層面下手再拓展到其他部分，最後才到建築外殼層面。在政策方面建議逐步和業界與內政部討論。</p>	
<p>銘誼建築師事務所 (王建築師銘聰)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 循環建築本體的造價必然較高，如能將碳權、碳交易與相關的標章取得後其所能獲得的銀行貸款、營建貸款金額、銷售利潤與未來可能獲利一併考量，將能有效提高市場上採用的可能。 2. 循環建築除了一次性的建置成本、五十年的結構成本外、生命週期較短的設備成本也一併拉進來考量。房子不再是一次性的結構，能盡可能保留後續價值，也是達到另類保值的可能性。 3. 鄉村建造可拆卸建築，以常民鋼構為例，其建築物無需焊接，接採用手動螺栓方式進行組裝，所有部件皆為可替代。 4. 住宅區五樓以下住宅則有沒有採用木構造的可能，台中有辦公室與住宅採用 CLT(Cross-laminated timber, 直交式集成板材)，借鏡美國使用 CLT 成功的案例，此類型木構造能有效耐震、防火，且木材易於規格化且建造施工都相對容易。假設台灣在五層樓的建築領域範疇，讓 CLT 的產業建置 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員肯定。 3. 本研究將常民鋼構納入考量範疇，為未來研究建議考量方向。 4. 感謝委員說明。 5. 感謝委員建議。 6. 建材銀行、建築履歷與建築護照為未來研究探討內容。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>起來，突破防火、施工接頭問題，讓建築師很好請照、室內設計在變更時好取得法規方面的協助，未來木構造很具有潛力，也符合未來近零碳排裡林業開發問題的趨勢。</p> <p>5. 八到十二樓預鑄、RC、輕鋼構或是木構都有可能，但目前受限於台灣地震法規、消防規定，個人也建議 RC 預鑄較為可行。十五樓以上超高層建築，還是要以鋼構主體為主，再搭配上其他可置換建築部件來組成。</p> <p>6. 但整體循環建築的推行需要一個完善的流程，需要建材銀行、建築履歷與建築護照，藉由制度面的完善才有推行的可能。</p>	
<p>台灣區水泥製品工業同業公會 (苗勵青建築預鑄顧問)</p>	<p>1. 個人認為材料在外表保持一定的韌度及溫度，沒有明顯的破壞情形下，是可以拆下來重新利用。</p> <p>2. 全世界的建築結構、架構有很多形式，有純框架式、抗彎矩構架、複合式等，但這些架構裡接合點如何拆下來再利用？會是一個課題。</p> <p>3. 以中國預制建築、裝配建築為例，所有建築構件皆為預先製造，可參考遠大智能工業案例，可逆的材料從門檔、帷幕窗皆可用。</p> <p>4. 日本五十層樓超高建築物，採用 RC 預鑄構才有足夠穩定性，建築物在考慮結構時，一是地震力二是風力，風力的影</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 感謝委員提問，本研究將再進行研議。</p> <p>3. 感謝委員說明。</p> <p>4. 感謝委員建議與說明。</p> <p>5. 感謝委員建議，本研究會再持續查詢相關規範內容細則。</p> <p>6. 感謝委員說明。</p> <p>7. 感謝委員說明。</p> <p>8. 感謝委員建議，可逆建築未來可被應用範圍，將先從公有建築推行再逐步推廣到市面上。</p>

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>響大於地震力，結構技師考慮風力來計算。再者是地盤因素，像是土壤液化警示區等情況下，如果都在地盤做隔震，地盤及隔震層以上通通可以用任何架構，就沒有高度限制，因為地震變位量會在隔震層就被阻隔。因此循環建築的耐震部分可從這方面措施來著手。</p> <p>5. 102 年推動的營建業產業升級計畫有一標準法規期望能夠推行規格化，若使用規格化後，建築設計及結構設計要變成最一開始就合作，為達循環建築所需的規格整併問題有機會從中獲得解套，但這中間依然很多衝突仍待解決。</p> <p>6. 建築物本身也有需要與時俱進變更的空間，例如設備管線必然面臨汰換，若建築師及結構技師預先在設計端就預先保留天花板空間能夠汰換管線的可能，乃至預鑄化廠商在製造零組件時能預先挖設保留的孔洞，則此建築在未來就可以面對政策上或是在使用需求上設備的汰換與升級。但此舉有結構上強度變弱的疑慮，此部分可參考上述日本隔震的做法，亦可參考外國有許多接頭是利用簡支的方法做二次延續，間接變成連續結構的做法來解決，或是未來預鑄梁柱也效仿鋼接頭預先做出四個角落斷面皆有銜接處的接頭，以利後續拆卸。</p>	

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>7. 循環再生建材的案例以哥倫比亞比大學研究為例，目標將廢棄物變成集合木，再與輪胎、天然橡膠等材料膠結成人造木，韌性就不像天然木有單一方向承載方向，較均質，目前全球做循環經濟的極致就是構件再利用。建築的案例則如同主持人所分享的日本案例一般，外掛牆面是可以拆裝的，未來建築趨勢即為東西不浪費及再利用。</p> <p>8. 台灣的建築與土地商業模式，開發商不需考慮到要拆掉背後所會衍生的問題，因此要讓現行市場推行可逆機制具有難度，但公共建築現行這塊土地要做的是未來可以再利用，此目標與可逆式的目標也就會一致。因此建議先從公有建築推行再逐步推廣到市面上，未來可逆式建築物的概念也才能逐步普及。</p>	
<p>闕河彬建築師事務所 (黃設計師智勤)</p>	<p>1. 社宅為共享概念，也最能實現循環經濟這塊，南港社宅案底下有共享辦公室，當初設計時思考從各種方向切入，在政策上、營建物價、預算編列、法規限制為尚無法執行的原因。從結構體開始，南港機廠社會住宅使用綠構件於次要結構或是採用預鑄，因為捷運板南線經過，必須做加蓋的動作，於是做兩噸米平方載重預鑄構件，注意到構件要拆時並不容易，因為接頭必須要做灌漿，所以難以拆掉再運用。</p>	<p>1. 感謝委員說明。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員建議。</p>

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>2. 可逆式建築從設備至隔間，以社宅來看較容易執行，設備週期最短、計畫性高，採用非常多 FRP 水箱系統包含滯洪池，好處是輕、可以不斷組隔，在未來因應政策上的改變，有機會將水箱做更多的擴充，符合集水政策。</p> <p>3. 室內隔間變動與整體衛浴的部分，南港社宅因成本問題沒有採用。但在可逆建築的精神上，建議採用整體衛浴，整體衛浴的好處在於，考量到建築多樣性，再加上同層排水政策，整體衛浴較易施做與拆裝，現在許多教育設施閒置具有機能變更潛力，未來社宅是啟蒙的目標，不是永久的政策，因此可逆的精神有其必要性。目前社宅主要是給青年，假設使用同層排水、整體衛浴的運用化，未來更容易將隔間改成更符合無障礙規範設計，三十年一個階段，之後人口老化可以考慮做成無障礙，以利後續彈性調整。以與九典合作台南成功大學老人醫院為例，其整體衛浴選擇台灣廠商，主要是使用過去做過的模組，不再重新開發，藉由配合廠商的尺寸降低造價，老人醫院所需附加設施則可再後續加裝，例如防摔跤可在地平面做粗造化，增加牆面上的防摔安全扶手，使用輪椅者進入廁所的迴旋空間等。但即便如此老人醫院成本依然偏高，因上述改造</p>	

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	與其他特定用途物件的不可替代性所造成。	
金緯鋼構建築 (劉經理泰佑)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築需考慮:耐久性、完整的應用與模矩化。如果需要簡單的組合，模矩化是必然的條件，一是板材的模矩，二是螺絲的模矩，本公司正在發展只採用單一螺絲與工具就能進行組構的方式，此技術的關鍵點在於放棄預製，而改用板金來發展，透過板金製造不同規格尺寸來進行搭配，未來希望可以慢慢普及應用。 2. 先建立完整的結構及標準，有簡單的單元原則，但是可以隨不同情況做調整，我認為盡量將建築物減輕不失為優先的目標。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員說明。

附錄六 第二次專家諮詢會議

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
內政部國土管理署 (高組長文婷)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 空間機能的可變化、技術的可抽換及可回收再利用，三者為可逆的精神，最重要為可回收再利用。 2. 可逆式建築與一些名稱特質有交錯，像是預鑄式建築、裝配式建築、開放式建築及模組化建築，如果可逆式建築要殺出一條血路，形成另外一種論述，需要將關係做區別。簡報裡的Next21，支架體及填充體的概念，或許是可逆式的一種精神，將可逆式訂為新的名詞，為預鑄、裝配、開放與模組所集結成新名詞、整理舊文獻再彙整出新的方向。 3. 凡是從觀察入手，找出個體，思考為何建築物拆除時的廢棄物多為損壞或不合用，要減少廢棄物一定有它的條件，不如針對問題找出對策，如何讓材料不會損壞、50年後還能夠使用。不丟棄、進一步再利用的條件為何？從課題面來分析、教育著手較佳。 4. 8年前開始做能源轉型白皮書，辦了多場公聽會，多年後才成功推行。我認為可逆式建築是產業、建築界的大事，從觀念溝通開始，產業對話及白皮書的流程是可以考慮的方法之一，課題找出對策較容易推動，大家將如何讓材料不損壞、好用、耐用等方式集結出來，是對策後可以鼓勵的方 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員說明。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員提問與建議。 4. 感謝委員說明。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	式。	
<p>銘誼建築師事務所 (王建築師銘聰)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 當初做循環建築，第一為逆向思考，從拆除計畫及廢棄物思考，與過往設計房子不同，要先思考如何拆除且拆除率達到 80% 至 90%，遇到的問題為盤點台中能運用的廠商，如遇到不可拆、不可替換的材料就得利用再生材及循環材來製造。 2. 設計問題其一，拆除計畫、有哪些技術可以應用及要達到的目標，每一階段的設計都會影響到結果。其二，安全性及合法性，安全性可以從材料的組裝來說明，例如鋼構由螺栓做接頭，會衍生出安全及舒適性的問題，再者，鋼構在做循環時有出廠證明的問題。 3. 木構造在法規上之安全及合法性，木頭的榫接拆除後重新組裝是不可能的，參考日本案例多使用集成木(結構材)加上鋼接頭，鋼構處理結構計算，未來在混凝土、木頭等等材料上使用鋼做接頭是有潛力的。美國の木部構造系統，將模組尺寸分析出來再做結構計算，應推廣。 4. 鋼構塗了防火漆後無法再循環，木構防火是以耐燃時數，數十年後表皮開始損壞時要如何再認證防火時效？合法性、安全性及建管相關事項都需處 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員提出可行的方法與建議。 3. 感謝委員說明與建議。 4. 感謝委員說明。 5. 感謝委員說明。 6. 感謝委員建議，可逆建築未來可被應用範圍，需彈性政策等相關措施，被納入未來可能的推行方式。 7. 感謝委員建議。 8. 感謝委員建議，本研究將進一步探討相關議題。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>理。</p> <p>5. 在臺灣，低層樓住宅、學校適合發展木業，我們不適合發展混凝土及鋼，日本及美國表示原始林經過 40 年後必須再進化，可以釋出碳，臺灣在木業上有良好歷史及傳統產業產業鏈。我們試著在低樓層建築裡，一層樓使用 RC，二層樓以上全部使用木頭，可以解決地震、耐腐蝕等等問題，這是我認為木材容易回收再製的部分。</p> <p>6. 政策面及法規面，舉例來說，台中這幾年推動宜居建築，在業界裡會開始產生質變，逐漸變成一種風氣。所以我認為將可逆式納入為主導型、輔導性的政策，才有可能改變產業鏈，否則現階段要推動會因為報價等原因，難以推入民間，如果有些彈性政策再推動的可行性較高。</p> <p>7. 在整個可逆式建築裡，最重要的源頭是建材銀行，包括結構數據、建材數據等等，儲存與物流也是相當重要，龐大且複雜，是要儲存於雲端或是實質的建材銀行，如何去建立？沒有建材銀行等於沒有材料，無法設計及應用，需要看到建材銀行的建立以及雛形，否則整個業界難以配合。回歸到市場面，建材銀行和碳權交換做連結會更</p>	

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>有市場競爭力。</p> <p>8. 荷蘭推動循環經濟時，從都市計畫與國土計畫著手，蓋了一座全循環且無使用分區的社區，可以打破工業住宅及商用的界線，是全新的嘗試。現階段台灣的觀念好，但套用到既有的都市計畫、技術規則及建管裡是辛苦的。最後建議，假設有新的重劃區，定義為全循環社區，有一實驗場作執行與嘗試，否則新的概念進到舊有的框架裡是辛苦的。</p>	
<p>台灣區水泥製品工業同業公會 (苗勵青建築預鑄顧問)</p>	<p>1. 循環經濟裡包括構件，事先製造再搬到工地組合，符合預先製造，最早期從建築營造業工業化，目的為產業升級，一個建築構件是由多個元件組成，包含柱樑結構、裝修、水電及消防，使建築物具生命。</p> <p>2. 預鑄這個名稱常被誤認為是完全使用鋼筋混凝土，其實不必然，建築物裡之結構支撐至最終賦予生命。中國大陸使用的名稱為裝配式建築，較接近原始英文翻譯，所有物件全部於工廠製作再送至現場組裝，一半的工作在機械廠房底下生產，為建築工業化的解釋。如何自動化？AI、自動控制線、生產步驟及時間差等等足夠，便為自動化生產線，所以，工業化生產線先做建築構件，機械生產</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 感謝委員說明。</p> <p>3. 感謝委員說明。</p> <p>4. 感謝委員說明。</p> <p>5. 感謝委員建議。</p> <p>6. 感謝委員建議。</p>

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>相較於人工來得標準。建築物工業化，因為缺乏人與工，為了節省材料，減少浪費，如果是在被控制的環境下製造，廢料回收轉為原料，廢五金回收轉為合金，製成新的製品。未來混凝土方面，回收來的廢料可以再生，只是現在沒有價值，考量到再生的價格較買新的還貴。</p> <p>3. 假設未來全球水泥礦削減，或是於自然環境下不願意繼續開發，我認為可以將陶瓷製品轉為活性碳、水泥。曾經做過歐盟的設計，從蒐集磁磚、馬桶等等陶瓷製品經過回收後重新鍛燒成水泥，或是將部分玻璃、二氧化矽材料及碳材料，可以做出衍生製品。</p> <p>4. 回收木中間的骨架使用鋼骨，可焊、可黏、可鎖，混凝土在端部加入可焊、可接、可鎖的接頭時，變成複合式構件，不再是由鋼筋與樑柱接頭灌在一起，可能為特殊鐵件與預鑄混凝土構件組合在一起，這是 SRC 預鑄。</p> <p>5. 近期潤泰申請的鋼接頭設計，經過驗證便可使用，一旦接頭經過驗證，預鑄構件即可拆。舉例，哥倫比亞大學回收木料，27 層樓宿舍將來可以拆除並移動，鋼筋混凝土構件使用特殊接頭。曾經做過台南的案子，可拆之預鑄樓梯、樓板，帷幕外牆</p>	

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>拆除後局部修整，固定端為回灌混凝土，假設回灌特殊抗剪型砂漿便可拆，目的是循環經濟，建築物 60% 可以搬至另一棟建築物重組，破壞處用補強方式修補，原始木料只要沒有被腐蝕、蛀蝕，便可保留。</p> <p>6. 過去做循環經濟、智慧建築、綠建築等等都是因為法令要求，開發商不得不做。假設未來可逆式建築使用預鑄是有獎勵容積的，民間才有動力執行。現行階段各個企業都在做企業形象 ESG，產業如果要外銷至美國、歐盟，有 ESG 能夠有機會減免稅務。未來如果計入碳稅，拆下來的構件可再利用便沒有碳，就不需再花錢購買碳。</p> <p>7. 商業行為來看，我們現有買賣的房地產，賣出後是屬於私人擁有，不受法令上之壓迫，可逆用於公共建物政府較容易實踐，可以先做永久或半永久的示範性案例，針對上述國外做的一些案例，大家集合會長期使用的建築設施，加入概念，在蓋社會住宅區域內，可能需要一座大規模集會場所，利用可逆的方式找產業界合作，一但有了這些在國外已盛行的概念，便可引進台灣，未來台灣的預鑄場可轉型成為複合式構材廠。</p>	

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
張矩墉建築事務所 (張建築師矩墉)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可逆式建築物生命週期很長，我認為可逆為構成而非循環經濟，拆解後應快速整理、補強後便可以再使用，標準化及模矩化應需要處理，預鑄及預製不代表可逆，接頭上，實體的接合方式較有機會做可逆。 2. 標準化及模矩化牽涉到量要足夠，否則沒有人願意付擔價格，在台灣，基地面積小，構材尺寸拆解後難以提供給下一個案子使用，基地面積大的國家，模矩生產量大，相對價格就低。台灣的技術已成熟，但在應用上的程度未知是我們得面對的課題。 3. 剛提到的 Next21，為開放式建築的代表，我認為與可逆式不太一樣，它的結構體需要用很長的一段時間，所有構件為拼裝的，台灣曾經做過嘗試，但遷就 SI 工法時管線必須配合，需要在公共空間裡維修，不見得接受度高，在設計上是很大的挑戰，我認為講解案例時可以更表明清楚具有可逆元素的精神。 4. 房地產賣給住戶後為私人的，可逆式拆解後構件要歸為誰？舉例壽險公司辦公大樓為單一所有權，拆解後之歸屬相較單純，所以住宅是否要放入可逆式建築尚須考慮，也建議樓層 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員說明。 3. 感謝委員說明。 4. 感謝委員建議。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>降低，展示空間使用時間短較為合適，如果使用時間長之需求空間，使用了 50、60 年後，在設計時必須投注更多，到時拆解時可能面臨科技及材料更進步而不使用。建議先不要加入住宅以及不要拉高樓層數，高樓層拆解不易，且以簡易型用途做嘗試。</p>	
<p>金緯綠建材股份有限公司 (劉總經理泰佑)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 從輕鋼構至模組化過程辛苦，沒有結構技師願意有效性的去解決輕鋼構的問題，可逆等於可拆，台灣許多螺絲廠有能力做扣件，舉例螺絲拉帽，拉帽為預先放入板金，再鎖到一個磅數即可，可以重複利用，扣件解決可逆的問題必須從源頭找到方法。 2. 可逆式建築有結構、裝修、殼等等，我認為源頭在於結構，必須先解決避免衍生後續更多問題，結構本身有許多節點的問題，例如扣件，反覆至結構，再反覆至所有裝修、殼體及屋頂等等節點皆須被解決。 3. 一棟建物如何反覆利用，模矩非常重要，建築界要有標準，目前只有日本人敢做標準，但沒有通用性。如果我們將可逆式建築的模矩標準訂定出來，便是一項基礎的發展，先長出源頭再做模組化建築。 4. 美國的規範完整，我目前走的 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員說明。 2. 感謝委員說明。 3. 感謝委員建議。 4. 感謝委員建議。

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
	<p>是建造轉製造，以往在輕鋼構裡打轉，認為最厲害的高手在於民間工廠，舉例鐵工廠裡有雷射、焊接、機械手臂等等器具，就是在做可逆式建築，舉例開發一扣件，工廠能做到與設計圖相同且準確。台灣建築要升級，建議單位從公分改成公釐，最重要的在於建照轉製造。尋找可逆式建築之設計範疇，從民間最底層像是螺絲、五金加工、鋼骨構件等等開始，這是我目前幾個面向的建議。</p>	

參考書目

中文參考文獻

1. 台灣建築報導雜誌社 (2019)。綠建築 (58 期)。
2. 江哲銘 (2004)。永續建築導論 *Introduction to sustainable building*。建築情報季刊雜誌社。
3. 吳振華 (2018)。考察國際循環經濟週 Holland Circular Economy Week(HCEW) 活動，參訪荷蘭與德國設計相關單位。經濟部工業局出國報告書。
4. 呂良正、林玟慧、張芸翠 (2019)。建立新建築循環設計之策略。營建知訊，(441)，6-19。
5. 荷蘭貿易暨投資辦事處、財團法人臺灣營建研究院 (2019)。荷謂循環：從花博荷蘭館看臺灣營建業。
6. 黃育徵、陳惠琳 (2021)。循環台灣。天下雜誌股份有限公司。
7. 黃榮堯 (2017)。營建產業在國家循環經濟發展的角色與推動思維。混凝土科技，十一(四)。
8. 臺北市政府 (2020)。臺北市循環城市 2.0 白皮書。臺北市政府產業發展局。
9. 內政部建築研究所(2010) 無線射頻辨識 (RFIDRFID) 於 EAG House 之應用研究與推廣計畫專業服務案成果報告。
10. 台糖循環聚落(2021)。https://bioarchbaf.wixsite.com/circular-village-cn
11. 印度 Koodaaram 館 (2023)。https://www.archdaily.com/
12. 荷蘭 People Pavilion (2022)。https://www.archdaily.com/
13. 荷蘭 People Pavilion 館結構系統 (2022)。http://bureausla.nl/project/peoples-pavilion/
14. 荷蘭 Triodos Bank。2023 年，檢自：https://www.archdaily.com/
15. 日本大阪實驗住宅計畫 NEXT21 (2021)。
https://www.osakagas.co.jp/company/efforts/next21/index.html
16. 日本工業化住宅-Panasonic Homes (2021)。
https://www.panasonic.com/tw/company/homes.html
17. 中國裝配式建築 (2021)。
http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/
18. 李翰林 (2017)。你真的做到「循環經濟」了嗎？ https://www.cet-taiwan.org/publication/issue/content/2969
19. 荷蘭國家館：綠城阿梅爾網頁 (2021)。http://holland-pavilion.ntio.org.tw/
20. 經濟部循環經濟推動辦公室 (2021)。https://cepo.org.tw/
21. 緊急部署檢疫醫院原型設計 QurE (2021)。 https://qure.gs.ncku.edu.tw/
22. 臺灣搖籃到搖籃平台 C2CTW。【荷蘭】【建築。景觀規劃】搖籃到搖籃社區共同體 - Park 20|20 永續園區 (2021)。https://www.c2cplatform.tw/
23. Nikkei 日本經濟新聞 (2020)。三井不動產と竹中工務店、日本橋にて木造

賃貸オフィスビル計画検討に着手 (2021)。

英文參考文獻

1. BAMB(2019)Reversible-Building-Design-Strategies
2. BAMB(2018)Reversible Building Design
3. BAMB(2018)EXPLORATIONS FOR REVERSIBLE BUILDINGS
4. CEN (2011) EN 15978 Sustainability of constructionworks, Assessment of environmental performance of buildings- Calculation method. European Committee for Standardisation
5. CEN (2015) EN 16627 Sustainability of construction works, Assessment of economic performance of buildings- Calculation methods. European Committee for Standardisation.
6. Crowther P. (1999) Conference Proceedings on the 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, May 30-June 3 Volume 3, Vancouver, Canada
7. De Troyer F. and Sarja A. (1998) Open and Industrialised Building, A Review of Approaches and a Vision for the Future. E & FN Spon, London.
8. Debacker W. and Manshoven S. (2016) Synthesis of the state-of-the-art BAMB report: Key barriers and opportunities for Materials Passports and Reversible Building Design in the current system. VITO.
9. Denis F. et al. (2015) Building Information Modelling: Belgian guide for the construction Industry. Brussels: ADEB/VBA. Accessed March 2017 via adeb-vba.be/the-guide-to-bim.pdf.
10. Durmisevic E. (2016) Reversible Building Design Guideline, BAMB document, University of Twente. Durmisevic E. (2006) Transformable building structures: design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design and construction (doctoral thesis). TUDelft.
11. Durmisevic E. (2011), Green Design Manifest, University of Twente, Sarajevo Green Design Foundation, Sarajevo. EeB Guide (2012) Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative. Accessed March 2017 via www.eebguide.eu. EIB (2015). Investeren in Nederland. Economisch Instituut voor de Bouw, Amsterdam, The Netherlands. European Commission (EC) (2013), Annex II: Product Environmental Footprint (PEF) Guide to the Commission Recommendation (2013/179/EU) on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations.
12. Galle W. and Herthogs P. (2015) Veranderingsgericht bouwen: gemeenschappelijke taal. Mechelen: Openbare Vlaamse Afvalstoffen Maatschappij OVAM. Haslinghuis

- E. and Janse H. (1997) *Bouwkundige termen: verklarend woordenboek van de westerse architectuur-en bouwhistorie*. Primavera: Leiden.
13. ISO (2013) ISO 15686-11 Buildings and constructed assets, Service life planning- Part 11 Terminology. International Organisation for Standardisation.
 14. ISO (2013) ISO 16739 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. International Organisation for Standardisation.
 15. ISO (2006) ISO 14040-0 Environmental management, Life cycle assessment – Part 0 Principles and framework. International Organisation for Standardisation
 16. Lansink A. (1979) *Waste Hierarchy, Ladder of Lansink*, Dutch parliament, Den Haag.
 17. Oxford Advanced Learner’s Dictionary (2017) Accessed March 2017 via www.oxfordlearnersdictionaries.com. Oxford: Oxford University Press.
 18. PBL (2013) Report of Dutch National Environmental Assessment Agency, Planbureau Leefomgeving, Den Haag, The Netherlands.
 19. UK BIM Task Group (2013) *Building information modelling*. London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Accessed March 2017 via www.bimtaskgroup.org.
 20. VROM Waste Policy (2002) Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Dutch waste policy directive, Den Haag
 21. https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP540942_Z20C20A9000000/
 22. Amp capital office & logistics. Quay Quarter Sydney. Retrieved Oct 7 (2021) from <https://www.quayquartersydney.com.au/workplaces/quay-quarter-tower>
 23. Archello. Park 20 | 20: Buildings are only as good as the products you make them. Retrieved (2021) from <https://archello.com/project/park-2020-2>
 24. Architizer. City Hall Venlo // Kraaijvanger Architects. Retrieved (2021) from <https://architizer.com/blog/projects/stadskantoor-venlo/>
 25. Bureau SLA, People’s Pavilion. Retrieved (2021) from <https://www.bureausla.nl/project/peoples-pavilion/>
 26. C2Cvenlo. City Hall Venlo. Retrieved (2021) from <http://c2cvenlo.nl/en/home/>
 27. Circl. About circl. Retrieved (2021) from <https://circl.nl/>
 28. Cie. Circl : practical circular philosophy. Retrieved (2021) from <https://cie.nl/circl?lang=nl>
 29. De Ceuvel. What is De Ceuvel? Retrieved (2021) from <https://deceuvel.nl/nl/>
 30. GXN. Quay Quarter Tower: How do we humanize the high-rise?. Retrieved Oct 8, 2021, from <https://3xn.com/project/quay-quarter-tower-2>
 31. Kaden+Lager. SKAIO – das höchste Haus Deutschlands in Holzbauweise.

- Retrieved (2021) from <http://www.kadenundlager.de/projects/skaio/>
32. Lacaton & Vassal. Transformation de 530 logements, bâtiments G, H, I, quartier du Grand Parc - Lacaton & Vassal, Druot, Hutin Transformation of 530 dwellings, block G, H, I. Retrieved May 7 (2021) from <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>
 33. Lendager (2018, Sep 17) . UN17 village. Retrieved Apr 22, 2021, from <https://lendager.com/en/>
 34. Lucy Wang(2018, Apr 10). Sustainable ‘circular economy’ principles inform Amsterdam’s flexible Circl pavilion. Retrieved Jan 11, 2021, from <https://inhabitat.com/sustainable-circular-economy-principles-inform-amsterdams-flexible-circl-pavilion/>

可逆式建築設計與應用之調查研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王婉芝、黃榮堯、陳怡安、李力德

出版年月：112年12月

版次：第1版

ISBN：978-626-7344-44-6