



臺灣建築學會會刊雜誌

# ARCHITECTURAL INSTITUTE OF TAIWAN

Magazine

91

2018年7月出版

國內郵資已付

台北郵局第5437號

中華郵政台北雜字第1035號  
執照登記為雜誌交寄

ISSN 9994-6101 NO.55



9 771019 699004

## 循環經濟架構下的建築設計

Architectural Design under the Framework of  
Circular Economy



# 建構系統：從材料到原型

Building Systems: from Material to Prototype

費。

因此，我們可以從Park2020案例發現，循環營建的創新模式完全改變了現行產業的遊戲規則，從設計、發包、採購到施工的做法都得修正，也挑戰建築師、建商、建材供應商和營造商的既有觀念和工作習慣。更牽涉到改變銀行融資給建商的商業模式和法律規定，改變了合約和產品價值的定義。此外它更證明了循環營建的模式不但可行，而且比傳統模式創造了更多新價值。

當循環經濟引領歐洲各國踏上經濟發展與原物料消耗脫鉤的成長軌道，翻起新時代的檯桿也在台灣轉動。我們樂見新政府先將「循環經濟」納入5+2產業計劃(2)，環保署亦在今年提出了「推動循環經濟-廢棄物資源化」架構，透過物質生產、消費、廢棄及再生各階段，推動物料永續循環、廢棄物資源化的計劃(3)。正如有句非洲諺語所言：「如果想要走得快，或許可以一個人走。如果想要真正走得遠，一定要與夥伴一起走。」放眼二十年間將要面對的挑戰，再怎麼困難，一旦把時間拉長，只要有共識，只要決心投入，齊心協力眾志自然成城，沒有不能克服的困難。我們一定可以留給下一代一個零廢棄、零排放的台灣。

## 參考資料

- 黃育徵(2017)。循環經濟。台北：天下雜誌。
- 國家發展委員會，協調推動產業創新計畫，2018年6月20號，取自：  
[https://www.ndc.gov.tw/Content\\_List.aspx?n=9D024A4424DC36B9&upn=6E972F5C30BF198F](https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=9D024A4424DC36B9&upn=6E972F5C30BF198F)
- 行政院院會議案，推動循環經濟-廢棄物資源化，2018年6月20號，取自：  
<https://www.ey.gov.tw/Page/448DE008087A1971/e1c153bb-9275-4581-b1e9-493b63bb692e>

文／Jan Wurm

翻譯整理／

鍾逸·鍾柏賢·潘念萱·  
呂念臻·林明蓁

## 前言

很高興來到臺南演講，去年我有幸來參觀在成功大學舉辦的Design Expo，令我印象深刻。從中看到創新在各個領域發生，也看見產業對材料研究的重視，並且視循環經濟為創新的機會。從技術的觀點來看，往往都是從產品中找到新的可能性，但我認為對材料全面的理解是關鍵，也是邁向循環經濟的方法。

後面我將分享一些案例，其中也包含我領導的研究團隊所執行的案子。這之中我想在不同尺度上提出幾個對材料的觀點，從材料的層級到建築系統以及他們如何與整個都市的系統互動。

介紹案例之前我想先引用Renzo Piano對材料的看法，他的觀點及方法大致上是從對材料性質的全面了解，然後從中發展新的應用。他提到：「At the beginning there's the pleasure of building, an interest in concrete things : the passion and the sheer fun of constructing small or large buildings, piece by piece; the invention of prototypes, the trying out of new materials, learning about their potential and their limitations. When it comes down to it, transforming materials is the first step to transforming the world itself.」這段話指出這個世界的進展是和我們對材料的研究密切相關的。而正是透過對這些具體材料的研究，也許透過實作、透過實驗、透過Prototype的設計，在這個過程中你可以從不同材料的搭配與設計中改變這個世界，儘管材料是一個非常基本東西，但可以有很高層面的影響力。所以材料的研究對設計師與工程師變得很關鍵，更是無可避免的。甚至在建築的學習上都應該回到對材料的全盤了解。

以材料為核心，我們的設計企圖建立並連結各個尺度的系統，藉由打開材料系統與建築系統來連接更大尺度的都市系統，最終



Jan Wurm

Director of Research & Innovation Europe ARUP

甚至是全球尺度的系統這也意味著不斷擴大的邊界。透過連結各個層級的系統，從材料系統到建築系統到都市系統，雖然他們原來就彼此相關，但為了建立循環經濟，我們需要檢討各個層級的系統，從各個角度切入，並建立出一套各尺度各層級是緊密關聯的生態系統。

### Material Research

在我們的材料研究過程中有很多材料的樣品，每個樣品都帶著一個案子的故事。其中有失敗有成功，但每個樣品都記錄著我們的辛勞與經歷的挑戰。這些材料研發的過程是需要很大的溝通，例如在建築與工程規範上的矛盾，我們都希望從更本質的討論來解決問題。簡而言之，材料是我們對世界的一種詮釋，所以每個材料都帶著一個故事與觀點，而每個新材料更是帶給使用者新的故事與體驗。

材料故事的其中一個部分是這個材料的生命週期，材料從原料中提煉，提煉後加工，之後被設計成系統，被安裝被拆解，再被收集被回收，最終銷毀！這個材料的生命週期很多時候是一個線性的歷程，從原料的提取到製造產品是價值的提昇，然而最終卻變成廢棄物並失去價值。因此讓這些材料能長時間維持他的價值或者是讓他重新被提升價值將會是一個新的故事。

透過回收與優化，我認為台灣的公司MINIWIZ做得很成功。他們先敘述一個失去價值的材料然後再敘述這個材料如何被轉變成富有設計感的桌椅傢俱並且代表者某種生活風格，而這個產品的故事更強化了我們想要的生活方式，代表著我們的價值觀。

為了更容易瞭解材料要如何建立循環，(圖1左)為Ellen MacArthur Foundation 對於循環概念的架構。從這些概念中可以發現，其實每個概念彼此互相關聯，並且確實影響著材料的耐

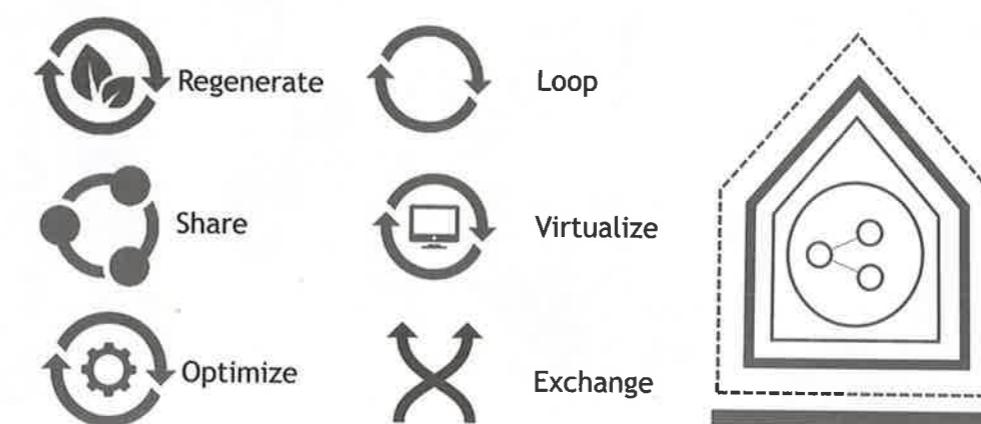
久性、生命週期還有如何用再生資源取代有限資源。後面我會開始說明幾個案例，每個案例對應著這些概念，並表現了這些概念如何與材料與建築系統相關。另外我們也可以從建築系統中的不同層次來理解材料的應用(圖1右)，從都市系統、皮層、結構等等，大致包含所有空間中的物件。這個觀點對材料的應用與設計上有大的幫助。

### Regenerate

我們開始嘗試保留與恢復生態系統，包括興建綠色基礎設施，我們都知道它們能將碳轉化為氧氣，形成具有重要功能的生物材料，我認為綠色生活材料的整合是一個我們正在努力的方向且未來在歐洲必定會再次興起，因為它們也可以顯示熱與時間的關係，並顯示出一些天氣影響。(圖2)這個項目集合了大約400棵樹與60種不同的樹種，依照樹種的特性並結合陰影、風力等條件來選擇樹種放置的位置。讓這座塔成為融入綠色技術和自然環境的一個複層的生態系統。Regenerate的另一個重要方面是可再生資源的轉移，並且取代傳統方式來創造能源，或在系統中尋找有機的動力的結構，而不是使用燃料替代。而在材料方面我認為我們仍然面臨著材料生命週期後期的挑戰，這還涉及新材料的開發，以幫助盡可能長時間地將這些材料保持在這個循環之中。

### Share

在循環經濟的共享上，首先它意味著像共同工作空間一樣的共享模式，我們看到在歐洲的每個城市都有共享空間的存在。共享模式的想法很簡單，我們不需要擁有一切，我們不需要二十四小時使用空間。所以不論我們使用一小時、兩小時或一天，在其他的閒置時間就可以被別人使



1.Circular Design Concep (圖片來源：Ellen MacArthur Foundation官方網站<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>)



2.Vertical-Forest, Stefano Boeri Architect (圖片來源：<https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/>)

System  
Site  
Skin  
Structure  
Services  
Space  
Stuff

3. The SHED Project (圖片來源：<http://studiodark.co.uk/projects/the-shed-project/>)4. Ricardo Bofill House, Barcelona Former Cement Factory (圖片來源：<http://www.ricardobofill.com/la-fabrika/read/>)

用。最顯而易見的是像辦公室或生活空間，我們不會長時間使用這些空間，所以共享工作和共同生活的空間正在出現，它在材料中意味著什麼？它對桌子或牆壁有什麼影響？它們需要讓空間是可以變動的、讓使用者能靈活使用的，於是空間開始調整改變。（圖3）是倫敦共同生活空間，我們都知道在住宅市場存在著龐大的壓力，生活所需的消費非常高。像倉庫這樣的閒置空間，開始讓學生能在這共同生活，還有一個大的開放空間可以分享所有的活動，使這種生活方式具有吸引力。所以通過將私人空間轉移到更多共享生活方式上，你可以藉由與其他人分享擁有更多的功能、特質，這就是為什麼您可以負擔得起這些空間，這是解決住房危機的有趣方法。從與其他人分享來增加自己的生活空間。

### Optimize

優化，首先是讓材料更耐用，讓它們存在更久，幾十年甚至更長時間。這種耐用材料最典型的例子就是混凝土，如（圖4）將這個水泥廠轉變為房子，我不認為他的碳足跡很小，但是將混凝土轉化為新用途並使這些混凝土成為另一種可能，因此而維持它的本質仍然是有價值的。為了彌補混凝土原先具有的生態足跡，我們需要提高它最大生命周期。

另外在與其他材料混搭使用上，如（圖5-1，5-2），增加木材使用並減少混凝土的用量，可以實現混凝土與木材的複合建築。讓大廳的設計達到既開放又機動性高，成為一個可以容納不同功能的閣樓空間。我們與合作夥伴一起研究開發，並研究創立了生命週期系統，從研究符合的潛在用戶，持有用戶到商業用戶等，進而讓這個系統成為建築原型，從不同功能的空間展現出豐富性和複雜性。一種非常直接的優化方式是新材料的使用，而（圖6）則是通過建構一個輕量級夾心板，由頂板和底板來承受大部分的拉壓力，而中間非常輕的蜂蜜錐體則是設計來承受剪力，而利用如同三明治般的方式來設計製作是一種非常輕量的解決方案。所有可再生的資源都是可以利用的，但是挑戰在於層與層之間的結合方式，使用粘合劑或利用不同的連接方式。在這裡我們也試著尋找新的方法來粘合相同的材料，使他們能夠被回收循環。另一種方法是以加法為概念例如3D打印技術（圖7），將材料放在需要的地方。因為在建築中最常用的技術是減法，經過加工、切割，會產生許多廢物，然而使用加法的方式基本上是無廢物的。最後一個面向就是整合，當你設計系統時，建築需要去考量材料以及材料連接的方式，以便拆卸它們並將其放回到循環之中。

（圖8）是我們幾年前在倫敦設計展中設計的



5-1. Life Cycle Tower, Angela Lamprecht (來源：ARUP)



5-2. Life Cycle Tower, Angela Lamprecht, (來源：ARUP)



6. 輕量級夾心板 (圖片來源：ARUP)

7. 3D printing (圖片來源：<https://iaac.net/>)



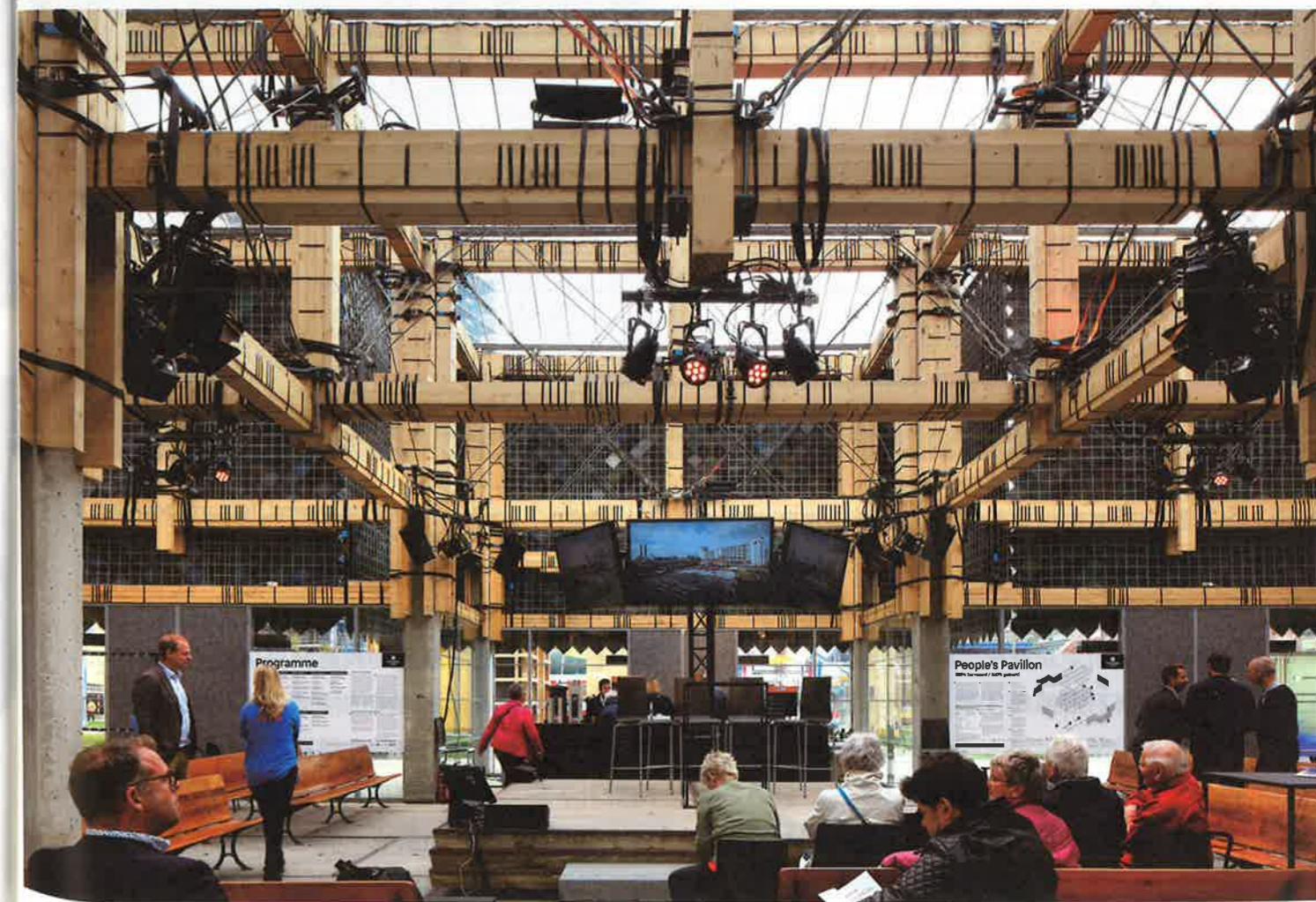
8. Circular House , Arup Daniel Imade (來源 : ARUP )

可循環式建築、結構與皮層，都是在現有的供應鏈下取得這些材料，幾週後隨著設計展的結束，建築要被拆除，所以產生了一個問題，甚麼地方可以使用這些已經使過的材料？其他建築與客戶通常不允許使用這些使用過的材料。這之中是否需要新的法規介入來使第二、三層的循環能夠真實的落實在案子之中。

### Loop

這個概念或許是大家最為熟悉的，這是對材料回收最傳統的看法。在（圖9下側）可以看到我們去年在荷蘭設計週設計的亭子。圖中可以看到這棟建築為木構，但木構件並非製成特定的幾何

形狀，而是互相疊合，透過互相交疊就可以不去切割他，並且透過金屬構件將木構件束在一起。如此一來可以應用在柱子上或者是樑上，其中的木元件有很多組斷面可以供選擇。而在過了一個建築的生命週期後可以將金屬束件解開，就可以將柱或樑分解並回到一塊一塊的木元件，然後再利用在別的案子上。而（圖9上側）的建築屋頂是借用溫室的玻璃屋頂，這是一個很大的元件而且是標準化的，這個屋頂之後也會再回到溫室上使用。還有建築的外皮則是用都市的回收寶特瓶做成的。總而言之，我們可以從很多方面來應用循環這個概念，最理想的情況應該是整個結構體材料的再利用，如前面提到的木元件與溫室玻璃屋



9. People's Pavilion\_Eindhoven , Photo Filip Dujardin (來源 : ARUP )



10. Villa-Welpeloo, Superuse-Studios

(圖片來源：<http://superuse-studios.com/index.php/2009/10/villa-welpeloo/>)

頂。（圖10）是荷蘭的一棟住宅，外牆的木板是用電纜木軸回收製成的。（圖11）則是由回收牛仔褲製成的隔熱材。

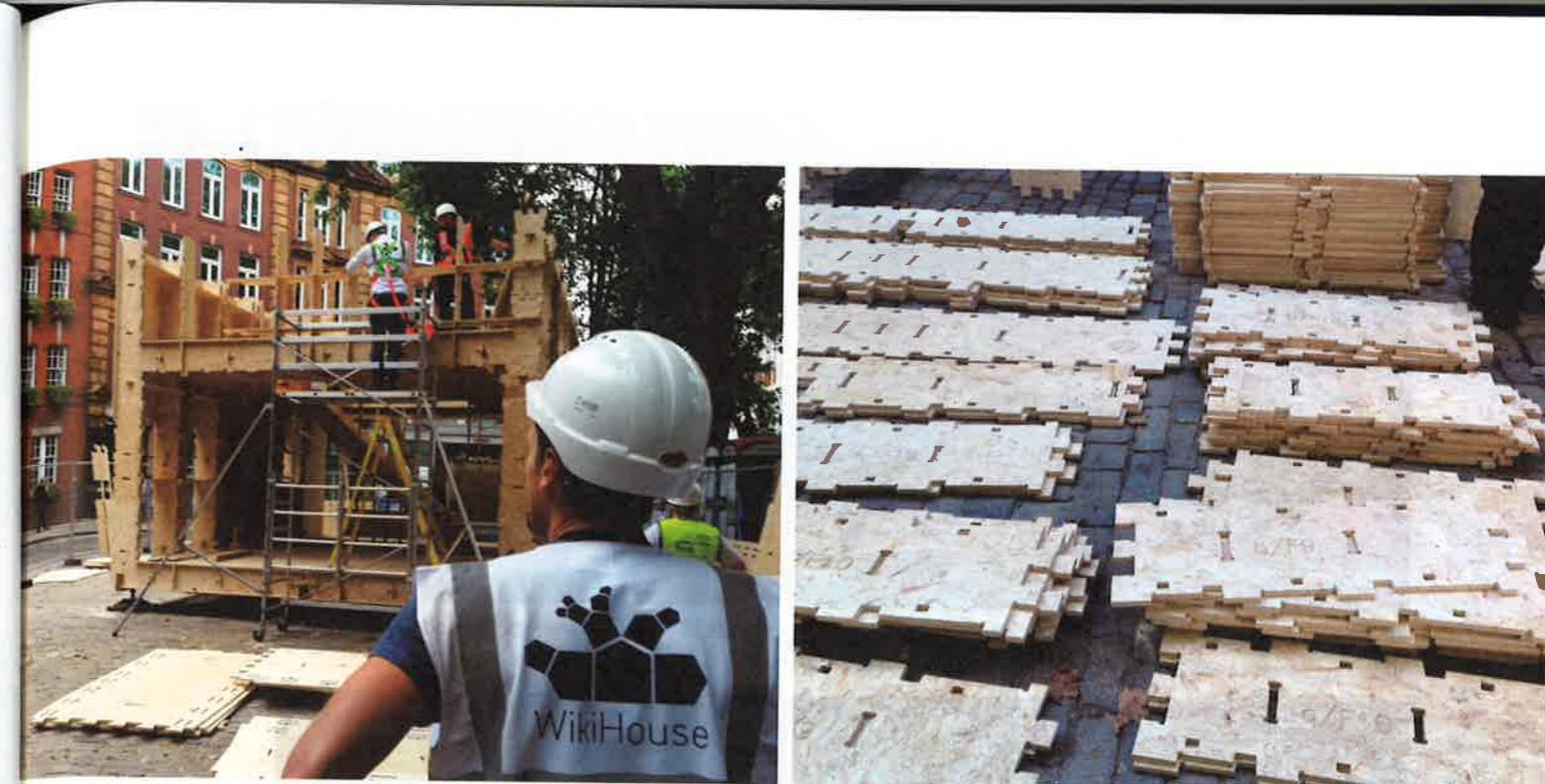
### **Virtualize**

虛擬化這一概念針對各個建築系統層面，每個層面檢視了我們正在進行的每個項目與其建築資料。透過虛擬模型能夠真正理解項目建造的過程，例如施工過程，安裝過程。從虛擬模型可以了解材料是如何相互作用的，不同的層之間是如何相互影響的，例如在施工方面可以確保現場沒有浪費。

對於大型項目在建造時，很多事情都非常複雜，現在透過這種方式可以解決所有建築中出現的問題，這些問題已經在完整3D模型的計劃階段中解決了。所以這些模型不僅可以讓你在規劃階段知道該材料必須做什麼，也可以讓你藉由模型對每個階段予以監控。進一步的利用可以將材料的生命週期數據納入模型，並了解哪些材料需要被更換，讓建築被拆除後可以持續追蹤材料的下落。所以我想所有的材料都需要歸納整合在一個系統之中，而不僅僅是一種產品。

11. Madewell "Blue Jeans Go Green" (圖片來源：[https://www.madewell.com/madewell\\_feature/dowell.jsp?sidecar=true](https://www.madewell.com/madewell_feature/dowell.jsp?sidecar=true))

（圖12）這是WikiHouse，現在正在倫敦安裝。WikiHouse造屋運動我認為是非常令人興奮的。因為WikiHouse屬於開放式設計，我們可以下載設計並尋找製造商來製造這些部件。這個自製的設計，你可以與幾個朋友，在幾天內建立一個房子，並在幾天內拆解它。有趣的是，你可以下載他們的設計並編輯，是一個數據庫設計。



12.WikiHouse 4.0\_London , Arup (來源：ARUP)

13. 3D prints six-story apartment & mansion buildings, winsun (圖片來源：<http://www.winsun3d.com/>)

### **Exchange**

交換是以更明智的方式交換資源及技術，用新的材料代替舊材料和舊技術。（圖13）這個案例在多年前就在媒體上傳播，當時中國公司聲稱他們為可以將營建廢棄物用於3D列印建築。他們嘗試很多種建築的Prototype和材料層面的組成，製造過程透過收集材料、混合材料來進行，最後再被重新應用。

我認為最具指標性的案例是取代現有產品的商業模式，透過循環商業模式來思考產品如何被銷售。（圖14）例如飛利浦提供了機場的照明服務，而不是提供照明設備，因為燈光長時間使用，機場不希望花費成本維護這些照明設備，於是飛利浦將燈具維護放入服務合約中。

飛利浦提供了照明的服務，他們可以重新調整和改裝這些照明燈具，降低能源的耗損，也同



14. Philips provides Light as a Service to Schiphol Airport (圖片來源：<https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/standard/news/press/2015/20150416-Philips-provides-Light-as-a-Service-to-Schiphol-Airport.html>)



15. Holz-Hybrid Hochhaus H7\_Mster, Arup (來源：ARUP)

時能將節能節源視為收益和商業利益，間接透過服務增加飛利浦的價值。

新的材料系統取代傳統的材料。（圖15）關於這種木質混凝土複合材料的概念，傳統建築通常為8米的垮度，以歐洲的規範要求混凝土的樓板厚度大約30公分，但如果以辦公室或住宅用途來看，結構上不需要30公分，若只考慮聲學或防火也只需要12公分厚的樓板，這意味著複合材料的價值大於傳統建築材料，木質混凝土樓板的荷重傳遞到張力區中的木樑，混凝土僅受表面的壓力，當兩種材料複合使用，表現性與強度都更好。

### System

總而言之我們在不同方面、不同領域了解系統之間的關係，了解不同的應用方式，而系統指的是項目的複雜性以及如何與環境互動，透過皮層、外牆、結構、軟硬體及工程方面到所有的對象。以傳統的建築來說，材料跟建築是分離的，就像我們看到的建材產品，如天花板、牆壁、板材。我認為這種方式很難被整合成一個系統，所以我們需要從這些材料系統的層級來思考如何被整合。這會是一個很長的整合過程，他們需要被歸類到不同的系統層級之中，根據材料重新被整合。

## 從單一材料到系統建構— 小智研發Miniwiz側寫

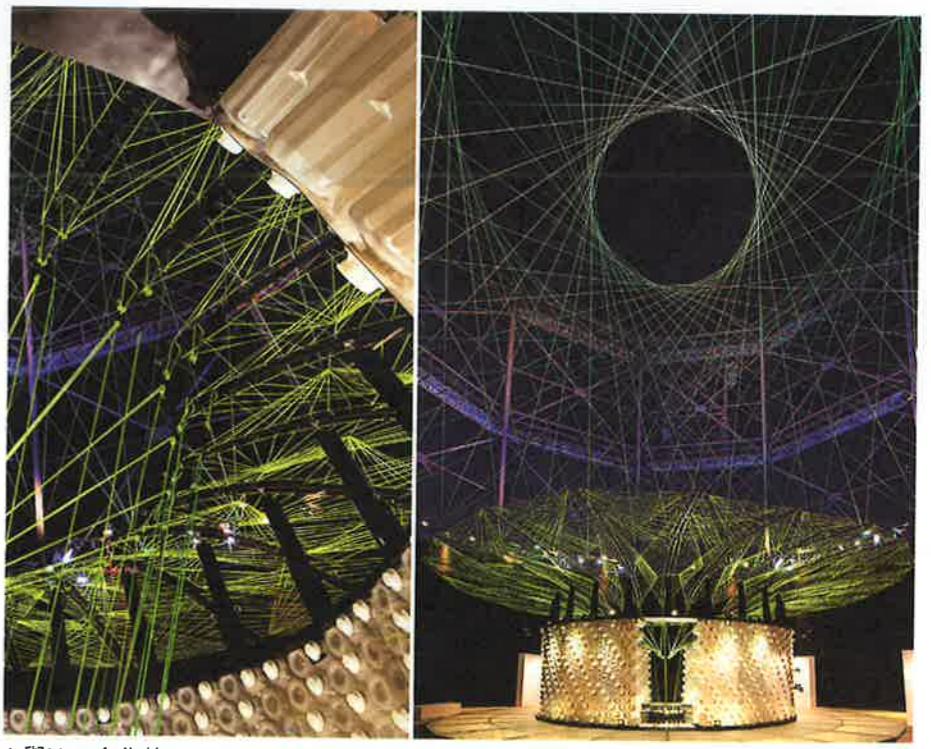
From Single Material to Building Systems -  
Miniwiz Profiling

受訪人／黃謙智  
採訪整理／LiLinLab

### 關於小智研發

位於臺北市光復南路上的小智研發是由黃謙智與他在東海大學建築系任教時的學生劉子煒於12年前共同創辦的。根據官方資料，小智研發是全世界唯一一間專門致力於從大量並且極具破壞性的塑料廢棄物中釋放其再循環潛力的垃圾實驗室（The Trash Lab）。

小智研發這10年來的重要事蹟包含2008年的環生方舟、2012年經濟學人的專題報導到2015年獲得科技創新先鋒獎，並且受邀加入世界經濟論壇，2016年開始與港星成龍、國際知名品牌Nike合作，並且在歐洲投資成立PENTATONIC，其商業模式也從原先企業對企業的交易關係（B to B）漸漸轉入企業對消費者的交易關係（B to C）。



黃謙智  
小智研發執行長