



永續循環經濟觀念

案例分享

發行人

潘文炎

財團法人中技社董事長

施顏祥

社團法人永續循環經濟發展協進會理事長

編輯小組

財團法人中技社

社團法人永續循環經濟發展協進會

財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心

財團法人中技社 出版

2017年12月

CTCI FOUNDATION

作者群

余騰耀

財團法人中技社 執行長

蕭代基

中央研究院經濟研究所 研究員

黃正忠

安侯永續發展顧問股份有限公司 總經理

鄒念濤

財團法人工業技術研究院產業經濟與趨勢研究中心
督導

王建彬

財團法人商業發展研究院 副院長

葛望平

歐萊德國際股份有限公司 董事長

曾一正

宏遠興業股份有限公司 資深經理

陳輝俊

元福實業股份有限公司 董事長

王家祥

RENATO LAB 創辦人

張詠竣

奇夢籽社計公司 總監

周育潤

周育潤設計工作室 總監

陳偉聖

國立成功大學 教授

張冠甫

財團法人工業技術研究院材料與化工研究所 室主任

徐樹剛 / 吳旻珊 / 李天三

財團法人工業技術研究院 研究員



財團
法人

中技社

永續循環經濟觀念

案例分享

發行人

潘文炎

財團法人中技社董事長

施顏祥

社團法人永續循環經濟發展協進會理事長

編輯小組

財團法人中技社

社團法人永續循環經濟發展協進會

財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心

財團法人中技社 出版

2017年12月

CTCI FOUNDATION

發行者序（一）

財團法人中技社 (CTCI Foundation) 於 1959 年 10 月 12 日創設，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力為宗旨」。初期著力於石化廠之設計與監建，1979 年轉投資成立中鼎工程，承續工程業務；本社則回歸公益法人機制，朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面轉型為智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、及座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；間接促成產業之升級，協助公共政策之規劃研擬，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

2017 年財團法人中技社選定「由綠色創新推升循環經濟價值」作為智庫研討議題之一，除以座談會方式探討推升循環經濟價值之關鍵議題，包括台灣動靜脈產業的協作及困難、台灣產品設計及製造的瓶頸與生產者延伸責任、消費者的認同及顧慮、科技發展對循環經濟的影響，並出版一本「推升循環經濟價值之關鍵議題」專題報告，另與永續循環經濟發展協進會合作，出版此專書，從循環經濟的觀念介紹、產業案例、創新設計到產業技術，共收錄十四篇文章，供產學研界參考。

財團法人中技社董事長

潘文炎

106年12月

發行者序（二）

涓滴成流邁向循環經濟社會

我們都知道地球資源寶貴，不能無限制的揮霍。

我們也都認識到目前的線性消耗型經濟不能持續，善用有限資源的循環再生體系必需導入。

但是，社會經濟與產業結構的建置是漫長過程，根本制度的改變需要很長時間的持續投入才能見效。

基於維護未來世代生存發展的權益，永續循環經濟發展協進會經過一年多籌組，於 2016 年 7 月正式成立。集合專業機構與專家能量，期望逐步推進循環經濟發展的世紀工程。

一年多來，協進會邀請專家舉講座，結合專業機構舉辦研討會，累積些許循環經濟實務案例，乃在財團法人中技社熱誠支持下，彙集成冊分享社會。

這是一個起步，卻是台灣推進循環經濟社會的一個里程碑。協進會將持續努力，促進循環經濟社會理想早日實現。

感謝所有共同努力的夥伴，我們再加油吧！

社團法人永續循環經濟發展協進會理事長

施顏祥

106年12月

目錄 *Content*

» 發行者序(一)..... 3

» 發行者序(二)..... 5

第一篇 觀念介紹11

» 循環經濟之發展趨勢與新思維

余騰耀執行長 財團法人中技社 13

» 永續發展與綠色經濟之方向與策略

蕭代基研究員 中央研究院經濟研究所 27

» 循環經濟中的創新與創造之真實價值

黃正忠總經理 安侯永續發展顧問股份有限公司 37

» 中小企業因應循環經濟趨勢的策略思維

鄒念濤督導 工業技術研究院產業經濟與趨勢研究中心 57

» 循環經濟創新商業模式探詢

王建彬副院長 財團法人商業發展研究院 71

第二篇 產業案例79

- » 歐萊德的綠色理念
葛望平 董事長 歐萊德國際股份有限公司81
- » 紡織產業轉型循環經濟之經驗分享
曾一正 資深經理 宏遠興業股份有限公司91
- » ESCO 產業服務模式與案例分析
陳輝俊董事長 元福實業股份有限公司 111

第三篇 創新設計 129

- » 設計新選擇再生材料
王家祥創辦人 / 執行長 RENATO LAB..... 131
- » 設計與碳足跡的關係
張詠竣總監 奇夢籽社計公司 145
- » 現代竹藝的永續發展
周育潤總監 周育潤設計工作室 173

目錄 *Content*

■ 第四篇 循環技術 187

» 城市採礦與循環經濟

陳偉聖教授 國立成功大學 189

» 科學園區資源循環與技術－科學園區污水處理廠水資源回收再利用

張冠甫室主任 財團法人工業技術研究院材料與化工研究所
..... 201

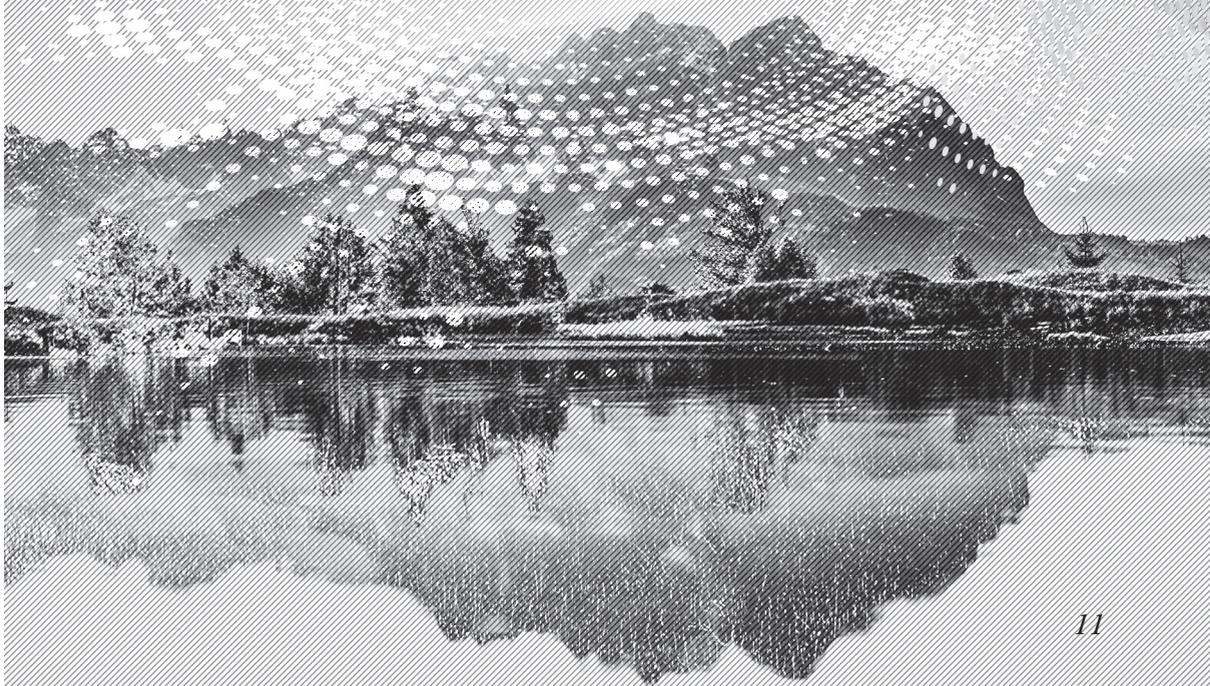
» 氨氮廢水回收與再利用技術介紹

徐樹剛、吳旻珊、李天三 財團法人工業技術研究院研究員
..... 211





第一篇 觀念介紹



循環經濟之發展趨勢與 新思維

余騰耀執行長
財團法人中技社

「循環經濟」一詞是美國經濟學家波爾丁（K.E. Boulding）1966年發表《The Economics of the Coming Spaceship Earth》中提到 – 「未來地球封閉式經濟 (closed economy) 可能類似「太空人 (spaceman)」經濟，地球如同一艘孤單的太空船，無論是開採或汙染，任何物質都沒有無限的儲藏庫，人必須在循環生態系統中找到自己的位置，進行物質再生產」。而首次提出「循環經濟 (circular economy)」概念的是皮爾斯和圖奈 (Pearce & Turner)，1990年《自然資源和環境經濟學》一書中第二章以“循環經濟”為標題，指出傳統的開放式經濟，是沒有內含回收，將環境視為廢棄物庫，嘗試依據永續發展原則建立資源管理規則，並建立物質流動模型，及建立「經濟和環境和諧的條件」。

長久以來，主流的經濟發展建立在「線性經濟」的模式上。所謂的線性經濟係指在工業生產與消費系統中，資源從開採、製造、使用、到廢棄，呈現從搖籃一路到墳墓的線性流動，導致許多資源，僅使用過一次，即流失其效用與價值。這可歸因於過去全球資源蘊藏遠大於需求量，資源供給非經濟發展的主要限制因子，因此經濟發展模式深深依賴於刺激生產與增加消費，而塑造了線性經濟。預估 2015-2050 年資源需求與供應間，將出現不平衡，且落差愈來愈大 (Accenture, 2014)，若持續發展線性經濟，勢必面臨巨大挑戰。對台灣而言，未來的經濟發展同樣將面臨進口原

物料成本上升及全球製造供應鏈強烈競爭之風險，如能及時在循環經濟的發展搶到市場先機，將有助於產業因應風險，並提升競爭力。

環境保護與經濟發展一直以來是互相衝突，推動循環經濟目前看來似乎是兼顧環境與經濟的一條出路，是否有機會創造新的經濟發展模式，帶動另一波經濟成長，首先需先瞭解循環經濟的理論、定義、核心及推動目標與目的，並掌握全球循環經濟之發展趨勢及新的思維，以借鏡國際經驗，面對挑戰。

一、何謂循環經濟

(一) 理論及定義

循環經濟理論的本質是生態經濟理論，要求遵循生態規律和經濟規律，合理利用自然資源與優化環境，在物質不斷循環利用的基礎上發展經濟，使生態經濟原則體現在不同層次的循環經濟形式上。其概念是透過區域系統性的合作，優化配置資源，儘可能地提高資源的利用效率，使生產過程中減少投入，減少排放，達成利潤的創造。

各國對循環經濟的定義大同小異，如歐盟之定義為「盡可能地維持產品、材料和資源的價值，並且使廢棄物的產生最小化」；英國 / 艾倫·麥克阿瑟基金會 (Ellen MacArthur Foundation) 之定義為「循環經濟具可恢復性及可再生性，並藉由設計將材料、組件及產品分別納入生物與工業循環中，旨在達到其最高效能及價值」；荷蘭之定義為「包含商品與原料的重複利用性，及自然資源的保護，並在其中追求創造價值之經濟系統」；與台灣鄰近的中國大陸，其對循環經濟的定義為「在生產、流通和消費等過程中進行的減量、再利用、資源化活動的總稱」。

(二) 核心元素

循環經濟與其他經濟體系最大之不同在於標的之不同，循環經濟為天然資源，而綠色經濟為社會及環境；藍色經濟為海洋資源；低碳經濟為溫室氣體；橘色經濟以人為本（包括健康、關懷、幸福）。

循環經濟的三大核心元素為天然資源、循環及經濟，缺一不可。

天然資源包括原物料、能源、水資源、土地（含土壤）、生物多樣性、自然界的吸收淨化功能（環境介質，如水、土壤、空氣）。資源之使用，將造成環境的變動，

良好的資源管理可降低危害環境之風險。循環，是在資源有限的情況下，同時滿足需求變化及減少資源的浪費，將資源使用由線性模式改變成循環模式。經濟則需考量符合市場經濟之運作，如何在市場機制中維持及提升競爭力、反映各種環境與資源成本、以及運用各種既有及創新的商業模式，來擴大經濟效益及資源價值。

(三) 推動目標及目的

循環經濟推動目標為資源效率極大化、環境衝擊極小化；推動之目的及希望發揮之功能，為減少資源消耗，邁向永續發展、降低環境衝擊，維持生態平衡、提升經濟價值及促進就業。循環經濟將有機會帶來經濟成長之改善，物質成本之節省，資源生產力之提升及就業機會之增加，也可驅動企業不斷創新研發，提升競爭力。

二、 各國循環經濟發展趨勢

循環經濟是對過去 Take-Make-Use 的線性經濟，做生產供應鏈系統的重新設計 (EC, 2014)，且連同消費型態也一同改變的一種轉型，並在更大的系統視野中，於效益層面產生大跳躍，不像過去只鎖定廢棄物的預防與減量，新的循環經濟還更能在跨產業鏈及新的循環體系上，產生更多的價值與新型態的效益，包括經濟效益、環境效益、以及資源供給安全效益，而這些價值是透過系統中各種多樣化的循環與效率提升模式來展現。

全球資源需求量的增加與價格波動，將刺激產業以發展循環經濟作為應變力與新競爭力，而新的科技商業趨勢（包括工業化 4.0）也有助於資源經濟一波新的革命。艾倫·麥克阿瑟基金會及其他機構估計，全面轉變循環經濟，每年可能節省約 1 兆美元的物質，並可在歐洲單獨創造 40 萬個新職位。許多國家或經濟體已發覺循環經濟的趨勢，並且投入力量來加速循環經濟的實現，包括英國、荷蘭、日本、中國大陸及歐盟，並且已在政府策略及產業創新出現許多新的動力。

各國推動循環經濟之動機及主導者不盡相同，英國注意到目前資源利用方式以傳統的線性、製造、利用、棄置為主，然而地球的資源是有限的，為避免資源不足之問題而推動循環經濟，主要由民間機構策劃，政府出資，企業及個人配合共同執行；荷蘭產業的發展仍仰賴高比例的進口原物料，因此特別關注物質使用的效率及全球資源的公平分配，政府主導多於民間主動；日本則是為解決資源短缺和廢棄物

處置等難題，政府主導多於民間主動；中國大陸同時希望解決資源經濟問題及環境問題，由政府主導；台灣則是解決環境問題多於資源經濟問題，政府及民間皆參與。以下分別針對這幾個主要國家 / 經濟體及台灣之循環經濟發展趨勢作概略性說明。

（一）英國

英國推動循環經濟的單位從政府、企業到民間團體都有，中央政府部門主要為環境、食物及鄉村事務部（Defra, Department for Environment, Food & Rural Affairs）及地方政府，像是蘇格蘭政府，推行減少廢棄物及增進回收的政策。民間團體有艾倫·麥克阿瑟基金會，在英國提倡循環經濟的概念，並提供循環經濟相關作法及集合各單位共同合作。WRAP（Waste & Resources Action Programme）亦為一非營利的民間組織，接受 Defra 的補助，執行減少廢棄物及增進資源使用效率的工作。Green Alliance 是為環境盡一份心力的獨立組織，推動 Circular Economy Task Force，幫助企業以永續的方式使用資源，並指出目前英國政府在促進循環經濟方面可以改進之處。

英國的商業、創新及技術部門發表促進英國生物經濟發展的報告（BIS, 2015），生物經濟為利用生物資源或生物過程製造產品所創造的經濟，內文提出至 2030 年的願景，包括發展再生料製成肥料的規模經濟；開發企業專注於發展科學及經濟的潛能，以面對環境及永續的挑戰，包括減少溫室氣體排放、減少化學製程及能源部門對化石燃料的依賴、減少有限資源的使用。這將有助於達成經濟成長與使用有限資源脫鉤的長期目標。

為英國商業帶來收益也是促進循環經濟的目標，Defra 估計英國企業每年可因資源更有效率的利用，減少成本，使獲益至多至 230 億英鎊。各單位為了達成邁向循環經濟的目標，對於循環經濟提出各項策略建議，包括從產品的生產端開始，更有效率的使用原物料、水、能源等資源，以減少全新物質的耗用，降低廢棄物產量；設立法規及經濟誘因機制，以營造適合發展的環境，將促使企業及個人自發地循環；改變商業模式，由既有的銷售商品轉型為提供服務，促使生產者更重視商品的品質及耐久性，延長商品在經濟體循環的時間長度；加強各單位的交流，促進國內外產官學研社之間的相互合作，如技術、資訊、資金及商品的交換；加強推廣循環經濟，鼓勵消費者選擇資源效率使用較佳之商品及服務，進而促使生產者從生產源

頭即開始循環。

英國跨越工業區內的產業共生體系，透過 NISP(National Industrial Security Program)，推動國家的產業共生系統，至今已創造 1 萬個就業機會，平均一年所減少的能源、用水、原物料成本有 2 億 4 仟 3 百萬英鎊，最近 5 年一期的 NISP 成效就節省高達 150 億英鎊的成本。

(二) 荷蘭

荷蘭雖有 83% 的高回收率(2015 年)，但仍有近一千萬噸的物質進入焚化爐或掩埋場，因此認為有推動循環經濟的必要性，其推動原則為源頭減量優先於掩埋焚化，以創造市場的概念，領導產學研界合作。除規劃於 2020 年讓荷蘭成為循環經濟的熱點，也設定在 2022 年將進入焚化或掩埋場的物質數量低於 500 萬噸的政策目標。推動包括減少離開循環的物質、增加家戶及商業用廢棄物的分類、增加商業的機會等解決策略。

為提升物質使用效率的目標，荷蘭「基礎建設及環境部」(Ministry of Infrastructure and the Environment)，於 2014 年提出「廢棄物到資源」(Waste to Resource) 計畫，計畫內容包括提升生產上游永續性、使消費模式更永續、加強廢棄物的分類收集與再利用、檢討現有的循環經濟政策、發展財政及市場的獎勵。

荷蘭應用科學研究機構(TNO, The Netherlands Organization for Applied Scientific Research)2013 年「循環經濟在荷蘭之機會」研究報告中指出，循環經濟將可為其增加 5 萬 4 千個就業機會，產生 730 億歐元的市場價值，除了經濟效益，荷蘭也對循環經濟可減少環境衝擊的效益估計如下，以作為其推動的依據(EC, 2014)：

1. 減少 17.15 百萬噸二氧化碳排放量
2. 減少全球 2,180 平方公里的土地資源開發破壞
3. 減少水資源的需求共 7 億立方公尺
4. 減少原料進口或開採，共 100.4 百萬噸

雖然循環經濟所提高的資源效率會減少環境衝擊，但也會產生反彈效應：因為資源效率提升，會導致商品與服務的價格的下降，而低價卻會助長消費者更多的消費需求，增加的消費需求會抵消一部分循環經濟所貢獻的環境效益，根據麥肯錫公司的估計，大約會使整體環境效益打折 5~20%，政府推動循環經濟時須將此效應納

人考量。

(三) 日本

日本比任何國家都還早發展循環經濟。循環、永續生產消費之概念早已深植日本社會文化中，包括環保、廢棄物處理、工業管理、商業 / 消費行為等相關面向之法規制度，均逐漸融入循環型社會之概念。1994 年通過《環境基本法》，2000 年提出了「健全的物質再生社會」(Sound Material-Cycle Society) 的政策，公布「循環型社會形成促進基本法」。管理的思惟上，亦由 1970 年代「廢棄物管理」之思維，逐步轉變為「汙染者付費」、邁向「循環型社會」(Sound Material-Cycle Society, SMS)。具體目標上，主要之量化指標為循環利用率 (循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源投入量))，目標為由 2000 年的 36%，提升至 2020 年之 45%。另外，在循環經濟的商業規模上，亦訂有循環型社會商業市場規模目標，於 2020 年達到 66 兆日圓之規模 (相當 16.6 兆新台幣)，相較 2000 年之規模，擴增一倍。

於 2003 年提出了第一期的「循環型社會基本計畫」，以每 5 年進行滾動式修正的模式，建立循環型社會之法律體系。

第二期 (2008 年) 計畫獲得顯著成效，包括金屬整體回收率達 98%，工業廢棄物僅 5% 需進入掩埋場，進入回收體系電子產品中 74~89% 的物質被再生為原料。

第三期 (2013 年) 計畫的重點推動策略可分為技術升級及國際合作等兩方面，前者著重於回收品質的提升，以強化回收產品的品質，後者則是持續以推動亞洲區域循環為目標，透過在海外設置廢棄物及資源回收處理產業，除協助提升區域資源循環，同時建構跨國間區域資源循環體系。

日本成功的關鍵在於循環經濟相關的措施完整細緻，並且政府與產業間有良好配合。政府發揮了很大的功能，分類制度完善，讓可循環資源盡量從廢棄物質中分離出來。制度中也要求產業負責回收費用，甚至讓產業負起自行回收循環的責任。使用回收物質做原料的製造業持續增加中，全國使用量也有明顯的成長，動脈產業 (製造業) 擁有許多資源回收設施與技術，變成日本循環經濟的特色 (RSA, Royal Society for the encouragement of Arts Manufactures and Commerce, 2013)，可以減少動脈及靜脈產業 (回收再生產業) 串聯整合的成本，並且企業有動機生產方便拆解與回收、再使用與再製造的產品。

除了生產體系的改變，第三期循環型社會推廣新的消費文化，強調減量與再使用優先於回收，鼓勵消費者使用持久耐用的產品，讓產品更容易維修升級，也容易回收。當生產體系與消費體系一同改變，循環經濟的價值與成長就會實現。

(四) 中國大陸

中國大陸自 2004 年起在循環經濟領域發展迅速，2005 年及 2007 年分別提出了第一及第二批的循環經濟試點計畫；2008 年通過《循環經濟促進法》，並於 2009 年 1 月 1 日施行；中國大陸「十二五」計畫（2010～2015），透過《循環經濟促進法》，落實「減量化、再利用、資源化」的原則，實現資源產出率提高 15% 的目標及資源循環利用產業總產值達到 1.8 兆人民幣等目標。

2013 年編制《循環經濟發展戰略及近期行動計畫》，對發展循環經濟作出戰略規劃，整合發改委、商務部、財政部、工信部及建設部等單位，將資源綜合利用、廢舊商品回收體系、城市礦產示範基地、再製造產業化、餐廚廢棄物資源化、產業園區循環改造及資源循環利用技術列為主軸。

2016 年 3 月推出《十三五規劃綱要》，第十篇「加快改善生態環境」是綠色發展中最重要的一篇，其中的第四十三章「推進資源節約集約利用」當中即以一小節「大力發展循環經濟」來簡要點出十三五時間的循環經濟發展要點：「實施循環發展引領計畫，推進生產和生活系統循環連結，加快廢棄物資源化利用。按照物質流和關聯度統籌產業佈局，推進園區循環化改造，建設工農複合型循環經濟示範區，促進企業間、園區內、產業間耦合共生。推進城市礦山開發利用，做好工業固廢等大宗廢棄物資源化利用，加快建設城市餐廚廢棄物、建築垃圾和廢舊紡織品等資源化利用和無害化處理系統，規範發展再製造。實行生產者責任延伸制度。健全再生資源回收利用網路，加強生活垃圾分類回收與再生資源回收的銜接。」

2016 年 8 月 9 日發改委公告循環發展引領計畫，設定出 14 項指標，將在 2020 年，讓主要資源產出率比 2015 年提高 15%；工業固體廢物綜合利用率達到 73%；農作物秸稈綜合利用率達到 85%；主要再生資源回收率提高 4%(達到 82%)；資源循環利用產業產值達到 3 兆人民幣等；並建構循環型產業體系、完善城市循環發展體系、壯大資源循環利用產業、強化制度供給、激發循環發展新動能、實施重大專項行動以及完善保障措施。

(五) 歐盟

歐盟近年來積極推動循環經濟，目標為建構封閉式循環的經濟運作模式，超越過去廢棄物管理概念，將傳統被視為廢棄物的物資，經由重複使用、維修、翻新及回收變成可使用的資源。

2014 年公布的通訊文件「Towards a circular economy : A zero waste programme for Europe」提到，歐盟為邁向循環經濟，提出新的綠色公共採購指令，並監督會員國達到綠色公共採購 50% 的目標。為了促進經濟社會環境的效益，推出更好的廢棄物管理政策，並提出下列目標，在 2030 年以前，提升都市廢棄物的重複再用率及回收率至少至 70%，提升包裝廢棄物的回收率至 80%；在 2025 年前，達成禁止掩埋可回收的廢棄物，包括塑膠、金屬、玻璃、紙張及紙板與可生物降解的物質。至 2030 年，歐盟會員國需要在實質上消除掩埋場。

2015 年推出新版的「Circular Economy Package 2.0」，提出推動循環經濟更需要專注的方向，包括：專注於商品的持久性及可回收性；由需求端的改變促進維修、再使用、回收；改善產品的設計；廢棄物管理的升級，創造更能夠預防廢棄物、重複再用、高品質回收的環境。

2015 年 12 月歐盟執委會再推出一個全新、更有企圖心的循環經濟策略，有效的符合就業市場及經濟成長目標。新的策略將包括達成廢棄物處理目標的新法案、納入先前的策略，並依不同國家為其設計在地性，其中的 Closing the Loop 行動計畫於 2030 年設定之目標為：1. 一般都市廢棄物回收率達 65%；2. 包裝材料回收率達 75%；3. 進去掩埋場的廢棄物減量 10%；4. 禁止應分類回收之廢棄物資進入掩埋場；5. 推動運用經濟策略工具減少掩埋；6. 簡化並改進回收率之計算方式；7. 建立具體措施推動再利用並發展工業共生；8. 提高經濟誘因讓產業的綠色產品能進入市場，並支持回收體系。

過去歐盟因為回收產業已增加了 50 萬個就業機會，Ellen MacArthur Foundation, SUN 及 McKinsey Centre(2015) 在 Growth Within : A Circular Economy Vision for a Competitive Europe 中提到，有潛力每年增加歐洲 3% 的資源生產力，相當於在 2030 年前初級資源需求每年節省 6 千億歐元，並創造 1.2 兆歐元的非資源性利益與環境外部效益。

(六) 台灣

從發展脈絡來看，台灣循環經濟的基礎，可追溯至過去推行的廢棄物減量以及資源回收再利用，是我國過去面臨廢棄物對環境的課題，所發展出的回收經濟。早先較侷限於廢棄物的去向管理，政策推向國內需要有足夠的最終處理設施，然而新掩埋場難以再取得，焚化爐運作也常遭民眾抗爭，所以透過廢棄物減量以及資源回收再利用，減少廢棄處理的負擔成為主要的手段。在這 20 年來，台灣的廢棄物量已經大幅減少，焚化廠有多餘的處理容量，加上，環保署與經濟部分別推廣所謂「3R」以及「清潔生產」，帶動了許多製造業的升級，也讓資源回收再利用業者數量逐年增加。

在這之後，焦點開始轉向產業重點資源之稀缺管理，先從所有產業發展都需要的能源及水資源的取得進行管理，接著，國際上陸續針對各產業的事業廢棄物問題提出新的資源管理策略，建構區域之間的資源整合，以「工業生態化」整合工業園區的資源，媒合企業與企業之間產出的廢氣、廢熱、廢水及其他廢棄物質，發展出新的再利用模式，促進產業共生。許多都會區進一步推動動脈與靜脈產業整合的「循環型社會」，台灣的資源回收四合一政策與台北市隨袋徵收政策帶動整個都會地區建立良好的資源分類體系。

2014 年開始，環保署開始推動永續物料管理，焦點逐漸著重原物料供應面的問題，也發展稀貴資源管理和都市礦山，進而關注永續消費及永續發展。2016 年政府提出的五加二創新產業政策中，鎖定推動循環經濟創造新價值，顯示政府越來越重視產業循環經濟的創新發展。

相較於各先進國家，我國的資源回收率名列前茅。以一般廢棄物回收再利用而言，由環保署執行回收處理之資源回收四合一計畫(1997 年 1 月起實施)，係透過公告應回收項目，由清潔隊、回收商等進行回收工作，2011 年環保署公告應回收項目計 13 類 33 項。至 2015 年，資源回收率已達 43.02%。工業資源循環比率則由 2002 年之 56% 成長至 2016 年 79.8%。健全的回收體系是我國發展循環經濟的立基，充分凸顯出台灣循環經濟的發展潛力與機會。

目前環保署正努力朝廢棄物清理法與資源回收再利用法兩法合一而努力。規劃以資源永續循環利用為願景，並以資源利用效率極大化與環境衝擊影響極小化為目

標，管理以資源（含廢棄物）為範疇。短期優先以已有統計數據的廢棄物、物質 / 產品為對象，長期考量納入自然資源，遵循的優先次序為：源頭減量（prevention）、促進再使用（preparing for reuse）、材質再利用（recycling）、能源再利用（other recovery）及最終處置（disposal）。其實施策略架構，包括：①永續資源管理、②綠色設計及生產、③綠色消費及貿易、④源頭減量及再利用及⑤資源終止認定處置等。但較少著墨資源循環可以促進循環經濟的思維，而是強調解決廢棄物的環境問題，而非資源安全與產業的永續競爭力。

三、 循環經濟新思維

循環經濟核心概念是強調資源消耗與經濟發展可以脫鉤，透過資源循環來減少資源耗用，同時創造經濟價值，並強化企業在此新的經濟模式中扮演關鍵角色，正視企業需要獲利來達成永續經營的目標。

艾倫·麥克阿瑟基金會所描繪的循環經濟，強調高價值、減量優先與資源效率，透過交換、共享、維修翻新、再製造、再設計、系統整合等方式，將可再創新循環體系新的變革，創造更多的永續商業機會，也能減少能資源的依賴。

推動循環經濟的原則有三 (EMF, 2015)，一是藉由控制有限的庫存及平衡可再生資源流以保護及增強自然資本；二是在生物與工業循環內全程所使用的材料、組件及產品，藉由循環使資源產量最大化；三是藉由揭示和設計出排除負面的外部性，來提高系統效率。

過去企業因應永續發展需採取的行動，大多將重心放在對於綠色產品製造、綠色供應鏈、製程等方向，亦是較常實踐應用於企業實務之中的手段方法，諸如生態化設計、清潔生產、污染防治等，而忽略了商業模式。循環經濟中特別強調商業模式的重新設計及創新，商業模式的創新能幫助企業帶來新成長，但卻常因為缺乏真正探究商業模式發展的運作動力和流程，並充分瞭解企業當前的商業模式背後所依據的前提、各環節間的相互依存關係，還有優勢和限制，而導致企業往往無從掌握關鍵時機，善用核心業務，讓商業模式再創新。

經濟學人智庫 (Economist Intelligence Unit) 調查超過 50% 的企業高階主管相信，商業模式創新才是企業經營成功的關鍵。EMF 曾提出四種資源使用手段以創造價值

的原則，包含：(一) 循環越小越有價值、(二) 循環越久越有價值、(三) 跨產業循環增加價值、及(四) 源頭越清潔越有價值，若能應用於創新循環商業模式，將能創造商業價值，幫助企業獲得採購價值、環境價值、顧客價值和資訊價值。

Accenture 顧問公司(2014) 歸納五種循環商業模式，並結合其他創新技術，使企業超越單純的提升效率，轉而透過以客戶為中心的商業來建立循環優勢。此五種循環商業模式為：

- (一) 循環供應：提供以再生能源、生物性可再生材料為基礎或完全可回收的物料，以取代一次性耗用的物料。
- (二) 強化靜脈產業：從廢棄產品或副產品中，透過逆物流將價值鏈串聯，回收有用的能資源。
- (三) 延長產品壽命：透過維修、升級和轉售，再利用產品和零組件的方式，延長使用生命週期。
- (四) 共享平台：透過資訊與交易平台，發展各種可能的共享式利用、使用、擁有方法，提高產品的利用率。
- (五) 產品即服務：企業提供產品的使用權，但保留所有權，從而使完整封閉之循環在生產企業內部建構起來，產生節省原料與服務收益。

EMF(2015) 則提出 ReSOLVE 的商業活動分類，包括 Regenerate 再生、Share 分享、Optimise 最佳化、Loop 迴圈、Virtualise 虛擬化、Exchange 替代(如下表)。

表、RESOLVE循環商業活動分類下的破壞性創新

架構	說明
REGENERATE 再生	<ul style="list-style-type: none"> 使用再生能源及再生資源做的材料，促進物質在經濟圈或生態中正常的循環
SHARE 分享	<ul style="list-style-type: none"> 耐久材的共享經濟模式，如車、家電、建築空間
OPTIMISE 最佳化	<ul style="list-style-type: none"> 運用大數據自動化，遠端感測，系統調校
LOOP 迴圈	<ul style="list-style-type: none"> 資源多種循環的新技術與商業模式，例如易拆解設計與模組化設計可促進再製造，從有機性物料廢棄物提取生化材料
VIRTUALISE 虛擬化	<ul style="list-style-type: none"> 直接去物質化，如電子書、線上音樂取代實體書與 CD 間接去物質化，如線上購物
EXCHANGCE 替代	<ul style="list-style-type: none"> 二手商品的商業平台 新技術取代舊生產技術，如 3D 列印 使用易循環的材料

資料來源：摘自EMF, 2015a

英國標準協會 (British Standard Institute, BSI) 作為全球規模最大且最具權威之專業驗證及訓練機構，已於 2017 年 6 月釋出 BSI 8001 企業組織實行循環經濟原則的框架指南，針對循環經濟原則以及各種循環商業模式的分析，闡述相對完整且更具操作性。大致將循環經濟商業模式分成接單生產、去物質化、延長產品生命週期 / 再使用、再製造及利用再生物料製造、產品即服務 / 產品服務系統六大類。

四、 台灣推動循環經濟之機會與挑戰

台灣的產業面對天然資源的挑戰及風險，高過其他國家，必須更加重視循環經濟之推動。而循環經濟並非單一策略可以達成，需要依據自己的自然資源條件、產業與技術、政治經濟局勢、消費文化、來設計合適的階段性策略，與完整配套措施，因此，循環經濟在各個國家發展出不同的策略和措施組合。

為了使台灣邁向高價值的循環經濟體系，循環經濟系統需要創新的變革，創造永續商業模式，並減少能資源的依賴，並需考量物質循環可以帶來的經濟效益、環境效益及資源安全。

推動循環經濟需要產官學研共同努力。產業界可以將循環經濟視為一個檢視與客戶需求導向、市場和自然資源之間關係的新方式。藉由邁向循環經濟，可以獲得顯著的效益，包括：增加成長、具備創新和競爭優勢、降低成本、減少能源消耗及二氧化碳排放量，以及增加供應鏈和資源安全 (wbcsd, 2016)。產業可先設定標的，再尋找適合自己的商業模式，創造價值極大化、消費市場產品服務效用最大化。並且增加研發創新的經費，研發新的技術減少對環境的負擔。透過生產者責任的延伸 (EPR)，以質量及功能思維貫穿設計、製造、使用、再利用各階段，減少環境的負擔，並且透過回收純化及再製造技術的提昇，提升資源循環效率，最後達成動靜脈產業一體，達到循環經濟的目標。

政府應訂定具體目標，以設計推動循環經濟的相關策略。循環經濟的推動涉及多個部會，而部會間的整合及協調仍是政策推動成功與否的關鍵，由國家發展委員會主導最合適，結合經濟部及環境保護署共同推動，以營造友善的循環經濟發展環境。另外，法規的競合問題應優先解決，一種是將目前環保署主管的廢棄物清理法及資源回收再利用法合併成為「資源循環利用法」，另一種則是訂定循環經濟專法。此外，推動生產者延伸責任，導引並鼓勵綠色設計、都市採礦，使資源能更容易的回到循環鏈中；推動金融創新，有助資金投入創新產業；以任務及目標導向方式推動產學合作機制，提升技術。

在學研方面，國內學研間長期參與環境保護及資源管理工作，培育眾多專業人才，國際交流經驗豐富，已累積可觀的支撐發展能量，可持續加強協助發展有助於循環經濟之工具 (如物質流分析 / 物質流成本會計、生命週期評估、資源管理、鏈結、成本 / 效益分析等)、技術 (如 IoT 等數位科技、模組設計等物理科技、生物能源等生物科技)、新物質 (奈米科技)、商業策略方向等的研究工作，建立可以共同整合不同創新技術平台，激發創新的整合性應用，並對世界上相關技術之發展保持一定敏感度，與世界趨勢接軌。



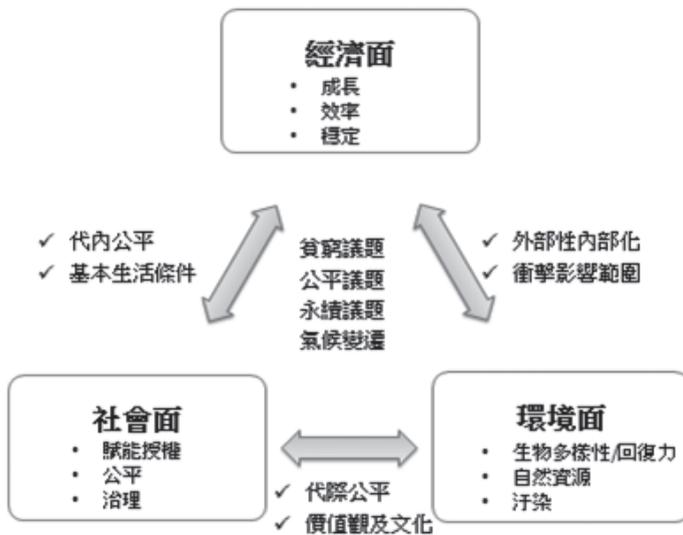
永續發展與綠色經濟之 方向與策略

蕭代基研究員
中央研究院經濟研究所

我們都知道 1970 年代被稱為環境十年 (environmental decade)，因為世界各國在聯合國之規劃與推動下，經過 1950 年代致力於提高經濟成長率，但造成所得分配不均，社會動盪不安的問題，因此於 1960 年代改為注重社會公平式的發展。但是在 1960 年代由於環境日益污染，引起許多先進國家大規模的環境保護運動，即為 1970 年代的環境十年。首先是 1969 年美國環境政策法 (National Environmental Policy Act of 1969)，創立環境影響評估制度，接著，日本於 1970 年 11 月召集被稱為公害國會的第 64 臨時國會，通過 14 個環境保護法律。其次，1972 年聯合國於瑞典斯德哥爾摩召開稱為人類環境會議 (UN Conference on Human Environment) 的第一次國際環境高峰會議；此會議通過了《聯合國人類環境會議宣言》，簡稱《人類環境宣言》或《斯德哥爾摩宣言》(Declaration of United Nations Conference on Human Environment)。此宣言認為科技給予人類改變環境、經濟發展的強大力量，同時也帶來許多前所未有的環境問題，但科技的力量除造成環境污染之外，亦擁有解決環境問題的能力。

至此，國際社會已經發展得到我們現在耳熟能詳的環境、社會與經濟是永續發展平行並重的三大支柱的概念 (圖 1)。但是一直到 1987 年聯合國環境與發展委員會 (World Commission on Environment and Development, WCED) 出版《Our Common

Future，我們共同的未來》(United Nations, 1987)，才提出永續發展 (sustainable development) 一詞及其定義為「滿足當代發展的需求，又不損害後代人的發展需求」，此定義之重點在於跨代公平正義與外部性 (intergenerational equity, justice, and externality)。接著，1992 年起迄今，每隔十年聯合國召開一次地球高峰會，通過若干國際永續發展與環境保護協定。



資料來源：Mohan Munasinghe、蕭代基 (1999)。

圖1 永續發展三大支柱

大家都很清楚以上這段歷史，但是我們首先要問的問題是：國際協同推動永續發展與環境保護四十餘年以來，情況是否有所改善？

在此引用兩個重要的全球風險評估報告來回答這個問題，一是長期風險評估，Rockström、Steffen 及其合著者於 2009 年及 2015 年提出「地球邊界」限制條件 (Planetary Boundaries) 的研究成果，指出人類已成為改變地球自然環境的最大趨動力，使地球已由為時萬年之久的全新紀 (Holocene)，進入一全新的地質紀元—人類紀 (Anthropocene)。該團隊基於韌度 (resilience) 理論，鑑別出關鍵的九項瀕危的

地球系統運程序（Earth System Process），並量化其涵容能力的上限，試圖描繪出未來人類文明的安全生存空間。該九項地球限制條件包括：氣候變遷、生物圈完整性、生物地理化學流、平流層臭氧破壞、海洋酸化、淡水耗用、土地系統變遷（其控制變數為森林覆蓋率）、大氣氣膠負載、新化學物質等（圖 2）。依據其分析，目前生物圈完整性之生物地理化學流兩者已遠遠超過其地球邊界限制條件，而氣候變遷與土地系統變遷亦已逼近地球邊界，而且自 19 世紀以來，此九項限制條件的情況都是愈加惡化，從未因國際永續發展與環境保護之推動有所改善。

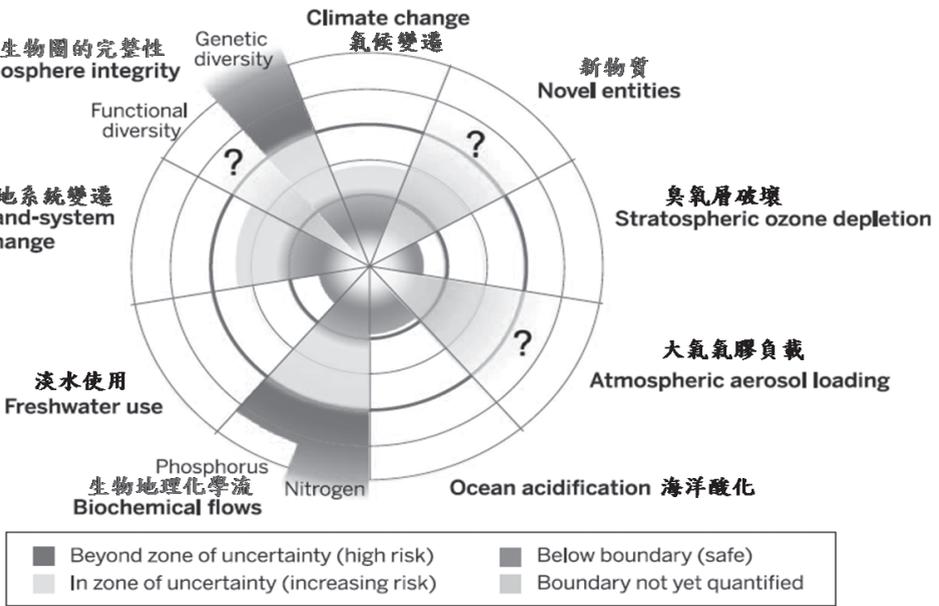


圖2 地球界限

另一報告是一年期風險評估報告，世界經濟論壇（World Economic Forum，WEF）與數個研究伙伴機構，包括賓州大學風險管理研究中心（Wharton Center for Risk Management, University of Pennsylvania）自 2004 年起，每年一月發布當年世界風險報告（Global Risk Report）。圖 3 為 2011-2017 年世界風險報告提出的前十大風險，由此圖可知環境資源有關的風險項目愈來愈多，包括氣候變遷、水資源、生物

多樣性崩壞、糧食危機、天然災害等。此外，社會與經濟系統的風險也很高，包括就業問題、所得不均與國家財政危機等。

因此，根據此二風險評估報告以及其他很多研究報告，我們可以說：國際推動永續發展四十餘年以來的結果是失敗的，因為情況更加惡化，未來世代人類生存風險愈來愈高。

	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1	氣候變遷	水資源供給危機	嚴重所得不均	極端天氣事件	國際衝突	非自願性移民	極端天氣事件
2	財政危機	長期財政失衡	長期財政失衡	失業或未充分就業	水資源危機	氣候變遷減緩與調適失敗	自然災害
3	國內或國際之貧富差距	糧食短缺危機	水資源供給危機	所得不均	氣候變遷減緩與調適失敗	水資源危機	非自願性移民
4	全球治理失靈	能源與能產品價格劇烈波動	溫室氣體排放持續增加	氣候變遷	失業或未充分就業	國際衝突	恐怖攻擊
5	暴風雨和颱風	嚴重所得不均	氣候變遷減緩與調適失敗	水資源危機	網路攻擊	極端天氣事件	網路攻擊
6	能源價格劇烈波動	溫室氣體排放量持續上升	能源及糧食價格劇烈波動	財政危機	極端天氣事件	失業或未充分就業	氣候變遷減緩與調適失敗
7	地緣政治衝突	恐怖攻擊	人口老化問題	網路攻擊	國家治理失靈	網路攻擊	國際衝突
8	貪污腐敗	氣候變遷調適失敗	全球治理失靈	資訊安全	財政危機	嚴重社會不穩定	人為環境災害
9	洪災	網路攻擊	主要金融機制/機構失靈	生物多樣性降低及生態系崩壞	資產泡沫	資產泡沫	水資源危機
10	水資源安全	土地與水道的錯誤管理	糧食短缺危機	嚴重天然災害	國家崩解	財政危機	失業或未充分就業

資料來源：WEF全球風險評估報告

● 經濟 ● 環境 ● 地緣政治 ● 社會 ● 科技

圖3 2011-2017年世界風險報告

接著，我們要問為什麼有此悲觀的結果？可以分為自然界的限制條件及人為的制度因素兩類根本原因。

首先，就自然界的限制條件而言，於 19 與 20 世紀，雖然全球人口高速成長，但是全球經濟高速成長，生活水準大幅提高，使得許多人脫貧，享受經濟成長的果實。但是進入 21 世紀後，情況改變了，世界能源、糧食、金屬等基本原料價格都維持高檔且變異甚大。全球環境資源危機包括氣候變遷、能源稀缺、農地地力衰退等等，都影響世界能源、糧食、金屬等基本原料的供給能力。此乃由於人類在 19、

20 世紀快速發展的過程中，已經將邊際效益高且邊際成本低的土地、天然資源、能源、水資源等生產要素，幾乎已經開發利用殆盡。Cowen (2011) 稱邊際效益高且邊際成本低的資源為低垂的水果 (low-hanging fruit)，是人們搶先享用的對象。雖然環境與自然資源等自然資本存量逐漸減少，且品質降低，然而自然資源價格提高產生的節約誘因，及自工業革命以來大幅度的科學技術進步，發展出替代與節約自然資源之技術，以及世界各國之環境保護與資源保育政策，使得環境與自然資源等自然資本存量的「馬爾薩斯限制」(the Malthusian constraint) 得以不斷地被突破，以致於全球人類長久以來享受價格維持低檔且充裕供應的基本原料與經濟成長的果實。然而愈來愈明顯，長久以來我們用以解決全球環境資源「馬爾薩斯限制」的主要對策—研究發展—亦不能免於邊際效益遞減、邊際成本遞增的定律，以致於我們可能難以再依賴科學與技術去突破全球環境資源的限制條件 (Cowen, 2011)。

綜合而言，21 世紀的全球社會經濟系統，將面臨更嚴峻的兩個「馬爾薩斯限制」限制條件：(1) 環境資源，包括可再生與不可再生天然資源、能源、土地、環境品質、全球氣候變遷等，(2) 研究發展的邊際效益遞減、邊際成本遞增。

其次是人為的制度因素。國際社會自 1970 年代以來就開始推動永續發展與環境保護的政策與制度，但是成效不佳，人類社會生存安全風險愈來愈高。此乃由於過去各國政府為了討好當代、當時的企業界與消費者，因此各國實際執行的永續發展政策與策略，多屬治標及短期救急策略，仍以提升 GDP 成長率為重，只在推動經濟成長之同時，加上提升能源效率、碳排放效率等策略。如：我國國家節能減碳總計畫、韓國綠色成長計畫，認為只要效率提升就可以達到經濟成長與污染排放脫鉤的雙贏效果。但是，沒有預想到的是，這種策略的結果雖有更大的經濟規模，但也有更多的污染排放量與能源消費量，因為每單位 GDP 的能源消費量降低，加上常見的節約能源與污染防制補貼措施，降低了單位能源與排污成本或價格，誘使消費者使用更多的能源與排放更多的污染物；這就是具有很清楚的經濟理論基礎與甚多實證研究的反彈效果 (rebound effect)。這種策略被稱為綠色成長策略，事實上只是比較綠色的策略 (greener approach)。

各國政府採行這種比較綠色的策略，其根本原因在於長久以來經濟學指出的市場失靈與治理失靈。就永續發展而言，主要的市場失靈是外部性，包括當代人間

的外部性，以及世代之間的外部性，尤其是世代之間外部性經常受到忽視，以致於世代間資本與資源配置不當，造成後代子孫生存危機。但由於後代子孫無發言權，當代人的政府與社會發展出來的各種經濟與社會制度，對於當時、當屆或當代的經濟成長率之重視，甚於未來世代的幸福，而將各種成本、環境債與國債外部化，留給後代子孫，這就是治理失靈與政治失靈。

另一個根本原因是，現代政治、經濟與社會制度，都深深依賴經濟成長，也就是被經濟成長所綁架了；若經濟成長趨緩或負成長，則各系統都將陷入危機，例如金融系統的利率與經濟成長率高度相關，社會安全系統高度依賴經濟成長，因此政府不得不持續推動經濟成長，不顧未來世代的生存。

展望未來，預期至 2050 年，全球人口將再增加 20 億人，達到 90 億人左右。在此情況下，如何管理與維持自然資本的存量與能力，以維持此大量人口的生存及其生活水準，將是一個非常重大的挑戰。若我們無法維持自然資本的存量與能力，則很可能會有嚴重的後果，也就是自工業革命以來的成長果實，以及未來世代尤其是窮人的生活水準，將可能無法維持。

根據以上分析所得，永續發展失敗的根本原因，以及 2012 年聯合國第三次地球高峰會議決議提倡的「綠色經濟」(green economy)之要旨，本研究團隊提出治本的綠色策略，以「真正綠色的方式」(green approach)綠化經濟體 (greening economies)，以取代「比較綠色的方式」(greener approach)，達到永續發展的目標。

我們定義綠色經濟如下：「在環境資源限制條件下，促進國際和國內各世代間之公平、正義，以及當代人民之均富，持續改進人類福祉與生活素質，達到幸福快樂的社會。」根據此定義，綠色經濟有下述四個核心概念：(1) 尊重環境資源限制條件，(2) 注重國際和國內各世代間之公平、正義與外部性，(3) 消弭貧窮，促進當代人民均富，(4) 持續改進人類福祉、生活素質，達到幸福快樂的社會。

根據此定義與核心概念，本研究團隊發展出台灣綠色經濟政策，提出台灣社會、經濟與政治各部門應該要調整的方向與策略，包含總體政策與部門政策兩部分。總體政策強化我國轉型至綠色經濟之制度、社會、自然、人力、人造等五項資本，做為指導部門政策的原則。部門政策包括農業、林業、海洋與漁業、水資源、能源、製造業、交通、環境保護、城市及建築、以及旅遊等十個部門，詳見蕭代基

等（2014）。以下為若干關鍵的綠色經濟政策：

1. 於行政與立法機關設置後代權益促進機構，負決策與整合之責

立法院及行政機關應建立「後代權益促進制度」，於行政與立法機關應設置後代權益促進機構，負責考量各法案與施政計畫對後代子孫福祉的影響，負決策與整合之責。

2. 平衡財政年度的收支，消弭累積的財政赤字，避免債留子孫，同時追求國際金融收支平衡與合宜的市場利率

為免政府支出失控，應約束不當支出，並強化地方自我負責意識，以健全財政，具體做法包括落實推動重要公共建設及重大施政計畫成本效益評估作業，並建立重大公共建設、科技發展及施政計畫之永續性評估與篩選機制，據評估結果分配預算之優先順序。

匯率應正常化，以國際收支平衡為原則，避免低估匯率，形成人力與環境資源的流血輸出。低利率政策表示不值得儲蓄，導致今日過多消費，大量開發利用天然資源，後代子孫就無法享用，也造成台灣房地產市場價格一直漲，土地大量被開發，農地變更為建地、或大量蓋農舍，也都不利永續發展。因此提高利率是必要的。

3. 規劃與推動綠色財政改革、落實外部成本與效益內部化

綠色稅制改革秉持財政中立原則、兼顧經濟效率之提升、社會公平之考量，包含外部效益及外部成本內部化，外部效益內部化包含生態系統服務付費（payment for ecosystem services, PES）之綠色給付制度，提升當地人民的生活福祉。外部成本內部化包含（1）充分反應社會成本的資源訂價、包括水、電、能源、土地，（2）針對不利於環境的活動課稅，（3）落實現行環境污染費與資源管理費的開徵，徵費標的與費率應適切反映資源利用之外部成本，（4）規劃與執行「對環境有害補貼修正調整方案」，取消和減少對環境有害之補貼。

4. 落實需求面之總量管制，綠化人造資本，整體規劃人造資本並強化維護管理

國內基礎建設已趨於飽和，在人造資本整體規劃上應優先進行需求面管理，並落實總量管制，諸如工業、農業與民生之水電設施之興建，應先落實需求面管理。既有設施需重視維護與效能提昇，其重要性更勝於新建設施。

5. 在環境影響評估制度中，加強累積性影響項目之評估

未來公部門之政府政策、公共設施及新市鎮開發計畫，及私部門之開發計畫應執行納入永續性評估（評估長期累積的環境污染物是否超越地球界線（planetary boundaries）），例如溫室氣體累積之涵容能力、特定物質長期累積對國民健康與安全、開發行為對珍稀動植物棲息生存之長期影響等。

6. 落實綠色生產與綠色消費

其具體做法包括：（1）培植綠色消費之觀念，以助綠色產品之推廣，進而促使綠色產品之發展，消費者應以品質以及環境和社會友善為考量，而非以「俗擱大碗」為第一考量。（2）建立產品與生產製程之法定綠色標準制度，建立產品與生產製程之法定綠色標準，以導引企業全面綠化生產、產品、提升產品使用年限、提高產品品質，以進入高品質、高價格、高利潤、優質工作機會之良性循環。（3）建立「向前延伸的延長生產者責任制度」（綠色供應鏈、永續供應鏈），生產者除須負責產品品質、產品最終妥善處置，亦應負責產品原料開採生產過程之環境與社會責任，違者受罰。若無原料之管理規範，廠商勢必優先考量成本支出，選擇最低價之原料，而忽略原料生產之外部性，如生產原料所造成之自然資源耗用、環境污染、勞工剝削及原料本身之健康風險。業者須負原料及中間財之開採生產過程之環境與社會責任，誠實申報與公開有關資訊，落實「由搖籃至搖籃」之管理。

7. 重新定位成功的企業，並將企業保護環境與勞工權益之社會責任入法，成為法定責任

依據公司法第一條，公司以營利為目的，然成功企業應追求企業、環境、社會三者利潤最大化，並創造大量優質工作，達成均富社會之目標，又結合《環境基本法》第四條昭示事業有保護環境之義務與責任，目前企業社會責任（corporate social responsibility, CSR）為廠商自願性作為，其 CSR 報告為自願性揭露對環境保護、員工照顧、社會公益等資訊，不能確保企業確實負起環境基本法規範的保護環境義務與責任，因此，建議將企業保護環境與勞工權益之社會責任明訂於公司法。

參考文獻

1. 蕭代基、李誠、林建甫、林國慶、丁育群、江益璋、吳克偉、洪志銘、馬鴻文、莊慶達、張瓊婷、脫宗華、馮正民、鄒倫、黃裕星、黃德秀、溫麗琪、楊致行、駱尚廉、顧洋，2014。國家發展委員會102年度「推動綠色經濟專案計畫」委託辦理案總結報告。
2. 蕭代基，2014。「全球綠色經濟之新思維：比較綠色v.綠色」，第三屆台港兩地人文、經濟與管理研討會：台港兩地綠色經濟發展之比較，中央大學香港研究中心與台灣經濟發展研究中心主辦，2014年9月26日，台灣桃園縣中壢市中央大學。
3. 蕭代基，2015。「永續發展與綠色經濟根本之道」。於幼華（主編），《環境與人——環境保護篇》，二版，第十二章作者心得。台北市：遠流出版公司。
4. 蕭代基、黃德秀，2015。「扭轉人類永續發展危機—淺談綠色經濟」，經濟前瞻，157，頁39-44。
5. Mohan Munasinghe、蕭代基，1999。環境經濟及政策之研討教材，行政院環保署。
6. Cowen, Tyler, 2012. *The Great Stagnation : How America ate all the low-hanging fruit of modern history, got sick, and will(eventually)feel better*. A Penguin Group.
7. Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A. and Folke, C., 2015. Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), p.1259855.
8. United Nations, 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development : Our Common Future*.
9. World Economic Forum, 2017. *Global Risk Report 2017*.



循環經濟中的創新與創造之真實價值

黃正忠總經理
安侯永續發展顧問股份有限公司

近年來循環經濟成為全球熱烈討論的議題，也成為我國政府的五加二國家發展政策之一，但是循環經濟到底定義是什麼？關鍵意涵是什麼？創新與可以帶來競爭優勢的焦點是什麼？所能夠展現的價值與為各界（企業 / 社會 / 國家）帶來的利益是什麼？本文即從循環經濟中的創新與創造之真實價值的角度，來尋求上述問題的解答。

一、 必須轉型的世界

自 20 世紀末以來，全球的經濟發展因為受到能源與資源短缺所限、因為全球暖化與氣候變遷而受碳限制、因為人口快速成長導致生產與消費激增而受汙染限制，於是國家與企業均必須朝經濟發展與環境衝擊要能脫鈎的方向前進。按照目前的商業與消費模式，如圖 1 所示 2050 年要讓世界預估 92 億人口吃得飽與穿得暖，必須要有 2.3 個地球的資源才夠用，問題是如何生出另外的 1.3 個地球？

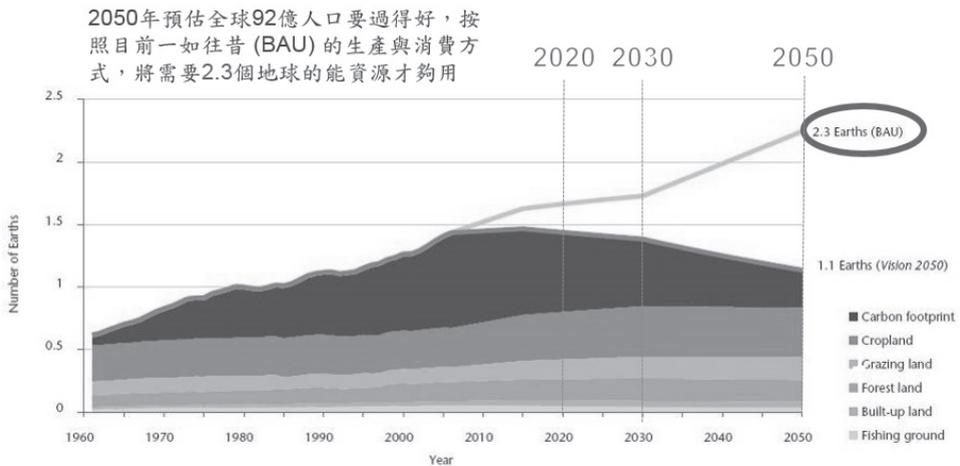


圖1、從目前到2050全球資源短缺的挑戰
(Global Footprint Network, WBCSD Vision 2050)

資源不足自然會導致原物料價格飆漲的情況，不僅會使社會不安，更會使企業經營的環境惡化。圖2顯示2000以來大宗物資商品高漲的價格早已超過20世紀百年來原物料價格下跌的幅度，邁入21世紀幾乎是轉折點，即使在2008年後的全球金融海嘯，都未能抵擋這個趨勢。更有甚者，包括金、銀、鋅、錫、鈾、錳等22種關鍵的一般與稀有金屬，都將在50年內從自然生態系耗盡。這樣嚴峻的態勢，肯定衝擊未來的工商業與人類科技文明的發展。

一般人以為全球風起雲湧地發展再生能源，是因為地球的石油與天然氣儲量快用完了，其實並不然。圖3顯示即使地球的化石能源儲量，仍可以支持人類所需的能源與材料達到總碳排放量2,795 Gt CO₂(27,950億噸二氧化碳當量)，但是按照聯合國氣候公約巴黎協定的決議，為了控制全球暖化在攝氏二度C以下，人類的經濟活動在2050年前只能再排放886 Gt CO₂(8,860億噸二氧化碳當量)，而在21世紀第一個十年人們就已經排放了282 Gt CO₂(2,820億噸二氧化碳當量)，所以2010-2050的四十年間，人類也只能再排放565 Gt CO₂(5,650億噸二氧化碳當量)。換言之，565 Gt CO₂就是世界在2010-2050四十年間的碳預算，為了活命攝氏二度C，人類只能再使用全球化石能源貯存量的20%。因此化石能源不可能被人類用完，人類必須進

行能源轉型與低碳發展，才有可能逃得過氣候極度異常帶來的災難，而且是刻不容緩，因為只剩下不到二十年，全球暖化將面臨攝氏二度 C 的嚴苛挑戰。

McKinsey Commodity Price Index(1999-2001=100)

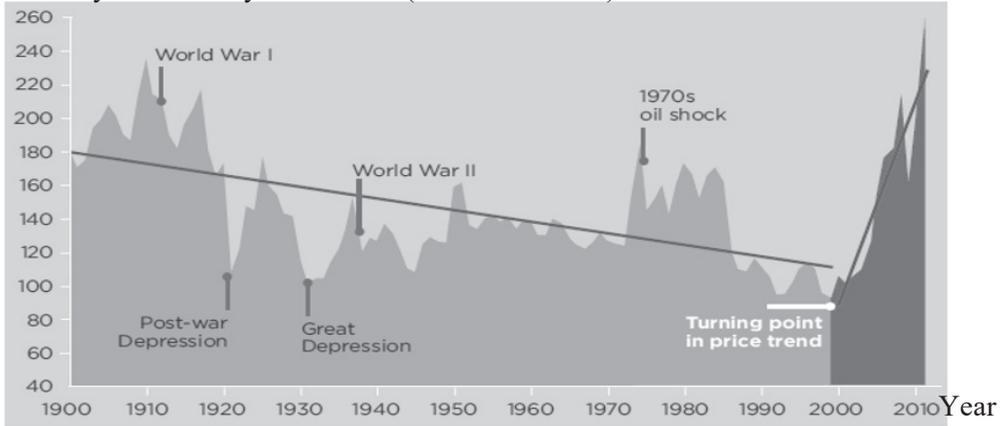


圖2、2000以來大宗物資商品高漲的價格早已超過20世紀百年來原物料價格下跌的幅度(Ellen MacArthur Foundation, 2013)

註：係根據糧食、非糧食農作物、金屬、及能源四種大宗物資商品指數2011前8個月均價

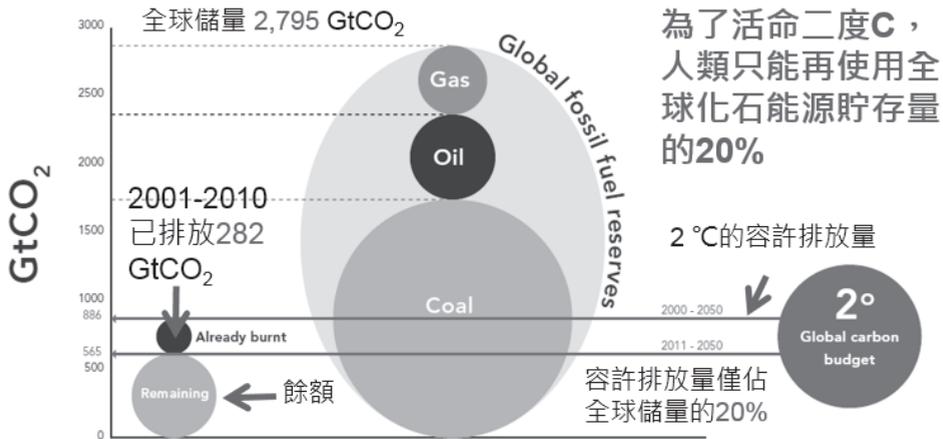


圖3、暖化二度C的碳排量與化石能源儲量的總排碳量比較(Unburnable Carbon, Carbon Tracker, July 2011)

世界經濟論壇於 2017 年元月下旬在瑞士達沃斯 (Davos) 發布了「2017 全球風險報告」(Global Risk 2017)。此報告連續 12 年檢視了未來十年全球潛在的風險，結果顯示 2017 年全球十大的風險排名如表 1 所示，很明顯地，環境風險在十大風險中，已超越了經濟風險，尤其是氣候變遷的相關議題。世界經濟的轉型，資源與能源的變革成為絕對必要的二根支柱。

表1 2017全球十大的風險排名(世界經濟論壇, 2017)

排名	發生可能性	衝擊大小
1	極端氣候	毀滅性武器
2	大規模非自主性遷徙	極端氣候
3	天災	水危機
4	恐怖攻擊	天災
5	數據詐騙或竊取	減緩與調適氣候變遷失敗
6	網路攻擊	大規模非自主性遷徙
7	非法貿易	糧食危機
8	人為環境災害	恐怖攻擊

排名	發生可能性	衝擊大小
9	國內衝突	國內衝突
10	國家治理失效	失業率或就業不足

在一個越來越小的世界，各地的經濟景氣、資源價格、社會穩定、氣候災變與健康風險等，都彼此互相牽動著區域性與全球性的發展。世界局勢變化之快，霸強間政經與環境永續議題聯動之密切，雖然讓人們眼花撩亂，但是地球永續的挑戰是鐵的事實，緩得了一時，避不了一世，我們終究必須面對當今的經濟發展乃受碳限制、受資源限制、受貧困限制的事實。若我們對石油經濟的限制沒有足夠宏觀的理解，恐無法窺見企業長程可持續發展策略規劃所需要的胸襟與視野。聯合國於 2015 年 9 月正式推出 2030 年的永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)，希望全球共同為 169 個永續發展目標攜手並進。

世界經濟發展至今，全球都必須正視從今爾後將會實質衝擊到所有企業的經營、商業與消費模式、科技 / 產品 / 服務創新的十大趨勢與挑戰，而這些事實與議題，也是迫使國家政策與企業發展必須向永續轉型的重大驅動力，包括：氣候變遷、能源與燃料、原物料資源匱乏、水資源短缺、人口成長、都市化、富有化、糧食供應安全、生態系退化、與森林濫砍等十大項。衝擊將反應在諸如資源價格高漲且漸難取得、有形資產及供應鏈受到全球暖化現象威脅、日趨複雜及嚴苛的法規與財政手段、兼顧滿足消費者金字塔底層人口的基本所需暨數十億新興中產階級提升生活品質的消費需求、利害關係人對於企業社會責任 (CSR) 的期待等。也因此，取代過去線性經濟的循環經濟概念因運而生，從國家、城市、社區到企業，尋求一個資源與能源可以生生不息的契機，使得可持續發展的目標可以有機會達成，永保世界的太平。

二、 循環經濟的定義與關鍵意涵

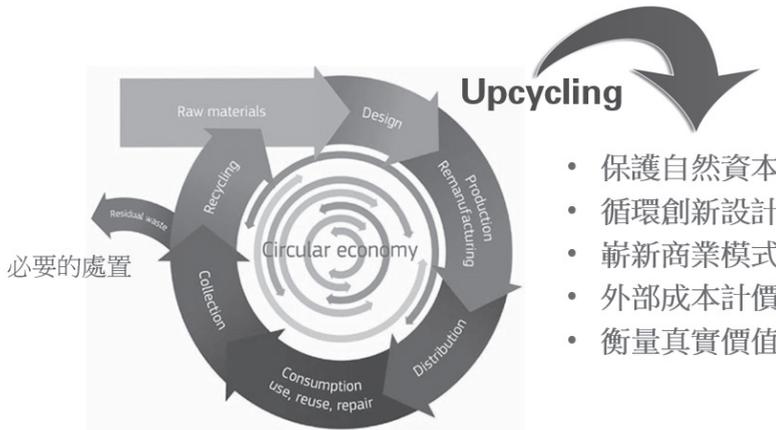
循環經濟的概念是要將世界發展帶往何方？從結果論的角度來看，不失為更宏觀地闡述其精義，也有別於僅從資源永續循環再利用的角度。筆者認為荷蘭的顧問公司 Metabolic 的創辦人及執行長 Eva Gladek 從結果論提出一個很好的定義：循環

經濟是一種嶄新的經濟模式，解決人類需求與公平分布資源，卻不破壞生物圈的功能，或跨越任何星球的邊界。**Metabolic** 據此提出了循環經濟的七根支柱，呼籲世人以此發展經濟規則及誘因架構，而科技及商業模式的發展也都要以達成這七根支柱為目標。**Metabolic** 也建言優先投入領域的基本原則：長程且不可逆的衝擊優先；破壞地球維持人類生存安全之能力者優先；產出對人類或環境有高度不確定性者優先。

這七根支柱為：

1. 材料以能具持續高價值回收的方式，納入經濟體系中
2. 所有能源均來自再生能源
3. 結構性地支持及提高物種多樣性
4. 保存人類社會及文化
5. 結構性地支持人類與其他物種的健康和福祉
6. 人類活動產生的價值不僅只用財務來評估
7. 經濟體系必須具備調適及韌性的固有能力的

過去的線性經濟為了資源能夠有效使用，因此在產品報廢棄置以後進行了回收再利用，很多人以為這就是所謂的循環經濟，然而從這樣上述 **Metabolic** 的定義看，真正的關鍵是在重新設計產品與服務，賦予上游回收 (**upcycling**) 的元素，如圖 4 所示使產品與服能夠達成保護自然資本、循環創新設計、嶄新商業模式、外部成本計價、衡量真實價值的內涵。從上游設計便賦予下游自體回收再製造的封閉迴路，使得製造商或品牌的生產者責任得以更具體的落實，也正是未來科技勢力重新洗牌及商業新模式大較勁的領域！



- 保護自然資本
- 循環創新設計
- 嶄新商業模式
- 外部成本計價
- 衡量真實價值

圖4、從線性經濟轉化為循環經濟的關鍵差異

(<http://www.acceleratio.eu/business-frontrunners-call-for-strengthened-circular-economy-package-with-economic-incentives/>)

循環經濟的基本設計就是能夠達成自體進料 (feed back into itself)，換言之，供應市場具有品質能夠維持夠長的产品、產程中的副產品能夠作其他再利用、報廢產品還可以竭盡所能地再使用。此外，循環經濟也能夠重建自然資本，提高貨品及服務的流動，並為製造商帶來近乎零廢棄物的目標。

循環經濟與線性經濟最大的差別，就在於材料的循環再利用，而且最高目標是自體回收的封閉迴路，因此必須兼顧下游回收 (downcycling) 及聚焦在設計創新的上游回收 (upcycling)。我們對以前啤酒瓶及可樂瓶的回收、清洗、再裝填的模式都不陌生，但是產量更大，原物料更便宜的時代，這樣的模式幾乎不敷成本，於是捨棄這個模式卻產生大量的浪費與廢棄物。今後面臨受資源限制的時代，企業無論是自願或被迫，在設計源頭就得融入後端回收再利用的元素，已成為科技發展的嶄新競技場。

三、從材料衍生新科技事關重大

根據世界經濟論壇、Ellen MacArthur 基金會及麥肯錫 2016 年「新塑膠經濟」報告 (The New Plastics Economy)，塑膠包材造成的負面外部成本每年就高達 400 億美元，甚至超過其所產生的利潤，此促成了 1980 年代末期至今已經 25 年的植物性塑

膠的開發(如：聚乳酸 Polylactic acid，簡稱 PLA)。2009 年飲料業的可口可樂及百事可樂，紛紛投入塑膠瓶添加來自甘蔗的植物塑膠之競爭，2015 年中可口可樂宣稱已在超過 40 個國家使用 350 億支以上的植物性飲料瓶，預計 2020 年會超過 430 億支。

新材料的開發當然也會衍生一些問題，如來自玉米的糧食型植物塑膠會衝擊糧產，非糧食型一般仍忽略其在生命週期間的健康與安全問題，不過正面的效益的確顯著，如以 PLA 來取代寶特瓶，減碳的效果就有 60%。

水泥也是一個在循環經濟上，受到高度關注的材料，全球整個水泥產業的總碳排放量比日本或加拿大還多，現在愈來愈多水泥廠使用再生料、飛灰、污泥等添加物到製程中，或使用替代化石能源的其他燃料(如：有機廢液、廢輪胎)等來生產環保水泥，全球水泥市場達 4000 億美元，環保水泥的創新極具開發的價值。而為了減少水泥的使用，更直接影響建築物的設計與興建，以荷蘭的 Park 20|20 為例，園區的循環建築之鋼骨是一節一節用螺栓鎖上的，而不是用焊接的；水泥也不是一體灌漿的，而是一塊一塊用預鑄再栓疊的。這樣興建的建築，未來均可以將材料一一拆卸再使用，直接運用在另外一棟新建築的興建，因此整棟建築基本上就是一棟材料銀行(Bank of materials)。

目前全球五分之一的原油用來生產高級材料、特用化學品及其他非燃料用途的產品，如何循環再利用可謂極具開發潛力。美國的地毯製造商 Interface 在 2016 年推動一個名字「Net-Works」的計畫，在沿海地區回收會破壞珊瑚及紅樹林沼澤的廢棄漁網，再製成供應鏈中使用的原料，目前已推廣至菲律賓及喀麥隆，回收了近 100 噸廢棄漁網，再製成地毯的尼龍纖維，也創造避免海洋生態破壞、廢棄漁網焚化排放的 CO₂、及製造新尼龍所需開採原油及煉製的成本之多重效益。

為了降低電動車的重量，減輕電池的大小，未來勢必有很多利用原油甚或回收塑料製成的高強度碳纖維被陸續研發出來，依目前電動車全球市場快速成長的趨勢，這些新材料的潛力驚人，石化業及回收材料業成為低碳解方的新星，可以說是柳暗花明又一村，危機就是轉機的最佳詮釋。

循環經濟的實踐要能發揮更大效益及創造市場規模，就得仰賴跨單一產業價值鏈的管理與策略性協作，不僅要檢視特定企業的商业模式，為了使商業解方的應用

規模可以放大，也得發展必要的合作伙伴策略。

營業額 187 億美元的日本辦公室、工業及消費性產品供應品牌 Ricoh，分析了其商業模式對原生材料的依賴度，評估發現 2050 年其辦公室設備、相機及其他產品所需的許多原生材料，將會有明顯供應不足且價格上漲的情況，成為公司發展及商機的限制性甚或破壞性因素。故 Ricoh 以生命週期分析重新檢視其商業模式，作為決策依據並訂定了系列的產品設計與製造、再利用、收集、保養及材料回收的「資源智慧解方」(Resource Smart Solutions)。Ricoh 的營收有 60% 係自其自有的資產，故其可提高與客戶的議合，強化其原有的保養服務，而使得提高了產品翻修、回收及新設計的商機，來帶動服務模式的營收成長，且相對應降低客戶的能耗、碳足跡、原生材料使用及其他永續挑戰等。Ricoh 以 2007 年為基線，訂定了原生材料的減量目標，2020 年減 25%，2050 年減 87.5%。這麼具有雄心的目標意謂 Ricoh 將啟動的是商業模式的徹底翻新，包括逆物流及回收材料所有再使用的每個環節。

寶鹼公司 (P&G) 的世界第一品牌 Head & Shoulders(H&S) 於 2017 年 1 月宣布，將生產世界第一支由含高達 25% 海灘塑膠所製成的可回收洗髮精塑膠瓶。這項創舉 P&G 與回收專業廠商 TerraCycle 及 SUEZ 合作，並於 2017 年暑假在法國家樂福推出 H&S 限量版產品，是世上首次大量從海灘塑膠生產可回收瓶，也結合了 NGO 無數志工的淨灘行動。P&G 也宣布到了 2018 年底，其在歐洲每年超過五億支的塑膠瓶將會由含 25% 回收塑料所製成，佔其所有護髮產品的九成 (包括潘婷及 H&S 等品牌)。這個計畫每年 2600 噸回收塑膠，相當於 8 台滿載的波音 747 噴射機。根據 Ellen MacArthur Foundation 的研究估算，每年價值高達 800 億到 1200 億美元的塑膠包材，有 95% 流失在社會與生態系，按目前增量速度來算，到了 2050 年，海裡所有的魚之總重量，會到了比塑膠還少的窘境。

四、 量化循環性及真實價值

因為未來是受資源限制的時代，基於資源枯竭、資源價格甚或高漲、環境污染及氣候變遷外部環境與社會成本等，都可能加速成為企業發展的限制，因此具有下列特色的循環經濟，便如火如荼地開展開來：

1. 從過去發展的多元觀念，邁入更整合，系統性結構化的做法，結合早期的回

收、汙染預防、清潔生產、生命週期分析、生態效益、物質流分析及環保化設計等概念與做法，來轉化商業與營運策略

2. 產品必須設計成更具耐久性，以及消費品的供應者必須重新設計產品，使得產品中的材料能夠更廣泛地回收與再利用

3. 發展新的商業模式，如產品出租業務的發展、供應鏈中更密切的合作等

然而如何評估所有創新的循環效果？基本上到目前為止尚無一絕對的方法學供各界使用，表 2 為二個可供參考之評估循環性 (circularity) 量化指標系統。

表2 評估循環性(circularity)量化指標系統

發展之組織	名稱	對象	內容
Ellen MacArthur Foundation (Granta Design 協助)	Material Circularity Indicators(MCI) · MCI 方法學 + 軟體工具 · 0 到 1 計分	產品	<ul style="list-style-type: none"> · 生產投入：回收料百分比 · 公用性或使用密集度：是否透過分享、產品服務化或再使用，而使得產品使用率提高？ · 使用後的去處：產品設計是否能回收高比例的材料或另作他途？ · 回收效率：是否設計成容易拆解及回收？
UL EHS Sustainability 與 Accenture	應用 Accenture 的五個循環商業模式框架	系統	<ul style="list-style-type: none"> · 循環供應鏈：採購成本及原料盤點的節省 · Recovery & Recycling · 延長產品壽命：客戶忠誠度；材料、交通、能源及配銷上的節省 · 分享平台 · 產品服務化：多久須維修或升級

要能夠邁向「願景 2050」的未來道路，世界企業永續發展協會 (WBCSD) 歸納出為實現此願景而必須採取行動的九個關鍵領域：價值觀和行為、人類發展、經濟、農業、林業、能源和電力、建築、運輸、材料。而其中的經濟，指的就是講求真實價值、真實成本、與真實獲利的新經濟。

如果全球能夠真的致力於邁向「願景 2050」，經濟成長不會再帶給生態系統的破壞與物質的消耗，而是將永續的經濟發展和社會福利重新連結起來。社會將重新定義甚或是繁榮與成功的生活方式；定義損益、進步和價值創造的基礎，將納入長期

的考慮因素，如：環境影響、個人和社會福利。各國將開發並維持低碳、零廢棄物城市、改善交通、發展基礎設施、改善和管理生態承載力、生態系統、生活方式和生計，新的商業環境也將可望形成。新的解決方案將以具備「真實的價值與成本」的全球和在地市場為基礎，而所謂「真實的」意義是以地球可承載的限度作為依據的，在這個限度內能夠善用讓每個人生活過得好所需要的資源。

創造共享的價值 (Created Shared Value, 簡稱 CSV) 這個商業概念，首度出現是在「哈佛商業評論 (Harvard Business Review)」，2011 年世界競爭力大師麥克波特進而在「哈佛商業評論」完整闡述了 CSV 的理念，重新定義資本主義與企業在社會中的角色，麥克波特在此篇文章呈現了罕見的省思，主張企業的競爭力與社會健康與否相互依存。

企業可以下列三種方式創造共享的價值：

1. 重新構想產品與市場

透過創新來滿足社會需求的同時，又可為既有市場提供更好的服務，開發新市場並降低成本。

2. 重新定義價值鏈中的生產力

在負責任使用自然資源及推動經濟與社會發展的同時，企業能改善投入與配銷的品質、量、成本與可靠度。

3. 提升在地群聚發展的能力

企業的成功營運與在地良好的環境支援息息相關，無論是可靠的在地供應商，健全的基礎建設、人才、與明確的治體系。

循環經濟的內涵，與 WBCSD 邁向「願景 2050」的九大途徑及創造共享的價值，都是息息相關。Metabolic 的循環經濟七大支柱中，有一支柱係「人類活動產生的價值不僅只用財務來評估」，意謂著無形資產及環境和社會的外部成本均應考量進去。根據 KPMG 2012 年的研究報告 *Expect the Unexpected*，涵蓋 11 個主流產業（食品業、電力業、油氣業、採礦業、工業金屬業、海運業、航空業、飲料業、電信業、汽車業、化學業）盈餘與外部環境成本的數據分析顯示，11 個產業稅前每賺一美元中，平均有 41% 為外部環境成本 (2010)，換言之，一旦外部環境成本必須內部化，公司的獲利預估與企業評價，肯定會產生巨大的變化，而且每 14 年企業營運的外部

環境成本就會增加一倍。因此倘若外部環境成本未來必須內部化，勢必衝擊企業的獲利能力與價值評估。

人類賴以維生的大自然生態系統（土地與水），每年創造了價值 72 兆美元來維持世界經濟得以順利運作所需的資源與服務。儘管要估算自然界生態系的財務價值並非不可能，但這些利益通常並未涵蓋在市場的交易與銷售中，故其價值極不易在企業或政府的財務聲明中計價。根據成立於 2012 年的自然資本聯盟 (Nature Capital Coalition, 簡稱 NCC) 在 2013 年公布的研究報告，農漁林業、礦業、油氣與採採業、公用事業等生產事業，以及包括水泥、鋼鐵、漿紙業及石化業等主要製造業，總共的外部環境成本就高達 7.3 兆美元，相當於 2009 年全球經濟產出的 13%。主要的外部環境成本，依序來自溫室氣體（38%）、用水（25%）、土地利用（24%）、空氣污染（7%）、土地和水污染（5%）、和廢棄物（1%）。以東亞及北美的燃煤電廠為例，根據 NCC 的風險研究結果顯示，其造成的溫室氣體排放、健康衝擊、空污造成的危害等，分占環境外部性衝擊的排名第一及第三，條估計分別高達每年 4530 億美元及 3170 億美元。農業造成的環境外部性衝擊也極高，主要在缺水及用來放牧耕種的土地利用，南美的畜牧與南亞的小麥、稻米種植產生的衝擊，則分占第二及第四、第五位。

此外，碳有價化在 2015 年 12 月通過的巴黎氣候協議後，趨勢將更為明確。目前提出自主減碳目標的國家，有超過一半的國家強調應用碳價格來抑制碳排放，是一個可以考慮的選項。碳的價格會反應在稅、費或碳管制所衍生的交易價格。全球目前有 39 國及 23 個地區實施碳管制及交易體系，占世界排碳 12% 的區域。法國政府在 2014 年 4 月 1 日啟動二氧化碳稅，先針對天然氣，重油、媒炭用戶為主，2015 年以後將逐步擴及交通用油及暖氣用油，法定的二氧化碳稅從 2014 年每噸 7 歐元（新台幣 245 元）2015 年漲一倍到 14.5 歐元（新台幣 510 元），2016 年為 22 歐元（新台幣 770 元），2017 年為 30.5 歐元（新台幣 1100 元），根據此制度，法國人民每戶在 2015 年增加支出約 90 歐元（新台幣 3150 元，其中交通占 1/3，暖氣占 2/3）。法國的碳稅目標為 2020 年提高到每噸二氧化碳 56 歐元（新台幣 2000 元），2030 年為 100 歐元（新台幣 3500 元）。2017 年 3 月新加坡也公布將自 2019 年開始徵收碳稅，每噸二氧化碳將課徵 10 到 20 元新幣。

根據國際貨幣基金 (IMF) 的估算，巴黎協議通過後，依據各國減碳方案與目標，可促成一噸二氧化碳的平均最低價格是 30 美元（新台幣近 900 元），美國官方的估算價格，則接近一噸二氧化碳 36 美元。一旦碳有價化，企業價值的衡量勢必要考量碳價對於公司損益的效應。二氧化碳的排放只要進行管制，對於化石燃料的補貼就會面臨嚴苛的挑戰，無論是降低或去除補貼，都勢必會造成油水電價的調漲，氣候變遷會衝擊到水資源，因此碳價很快就會連動到水價的變化，直接與間接影響企業價值的這些項目，都會逐一浮上檯面。

循環經濟的各種創新，勢必須能同時滿足提升生態效益（資源生產力）及降低環境與社會的外部性。要達成與量化生態效益，得仰賴許多管理工具，環境會計就是其中一項。圖 5 所示為導源於環境會計系統的企業價值衡量工具演變，而真實價值 (True Value) 的估算因為結合了經濟、環境與社會的損益，更具有量化三重盈餘的本質，故非常適合用來評估循環經濟創新所帶來的價值。

KPMG 真實價值評價的方法學由三個主要步驟組成：評估企業真實營收、瞭解未來將承受風險的營收，及創造企業和社會價值。透過這三個步驟，企業能先審視真實現況，再評估未來可能受影響的部分，最後再就這些結果探討是否具有可創造價值或降低風險的契機 - 整體來說，真實價值的評估能提升企業風險因應及掌握增值契機的能力。圖 6 所示即為企業整合經濟損益、社會損益與環淨損益後的真實獲利評價釋例。環境會計系統可以協助辨識及量化內外部環境損益的項目及金額，使真實價值評價方法的可行性增高。

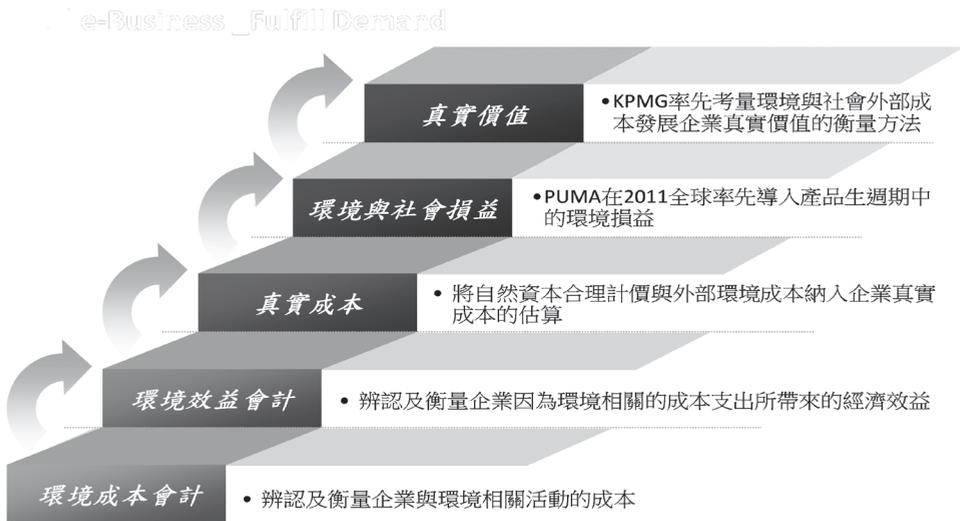


圖5、導源於環境會計系統的企業價值衡量工具演變

在評估企業真實營收階段，企業可辨識及量化其經濟、環境和社會面的外部性。在量化外部成本和效益時，企業應僅納入具重大性的部分，量化所需的數據則可參考許多現有的資料庫及研究。在瞭解未來風險的部分，則建議企業分析先前討論過的外部性內化的驅策力，辨識企業有哪些外部成本未來可能受這些驅策力影響而內化，並加以量化之。這些資訊能有效指引企業擬訂降低風險的策略。KPMG True Value 方法學的最後一步為創造企業和社會價值，企業能透過看見更全面的投資利益及風險，更準確地計算出投資的淨現值 (Net Present Value)，引導企業做出能同時創造企業及社會利益的投資決定。另外透過相關的圖表分析，如邊際真實價值曲線 (Marginal True Value Curve) 等能更一目了然投資的實際價值。



圖6、企業整合經濟損益、社會損益與環境淨損益後的真實獲利評價釋例

真實價值的性質：ESG衝擊評估工具——一種將經濟、社會、環境等外部成本和外部效益內化的驅策力

真實價值之目的：外部成本內部化——辨識公司重大的外部成本及效益，利用內部數據資料搭配外部的標準數據，將這些外部成本及效益量化及貨幣化

真實價值之效益：看見更全面的投資利益及風險，提升企業風險因應及掌握增值契機的能力；提升自然資本與社會資本的應用價值，引導企業做出能同時創造企業及社會利益的投資決定

我們用了 True Value 的方法，衡量了許多循環經濟創新的案例，結果證實均能對於決策提供極為良好的判斷訊息。

<釋例一>世界首例電梯租賃的True Value分析：

- 地點：荷蘭 Park 20|20，鄰近阿姆斯特丹Schiphol airport
- 公司：Mitsubishi Elevator Europe
- 安裝二部旗艦型電梯於Park 20|20中的NOW building，開發商為荷蘭的Delta Development Group

- KPMG應用True Value方法，分析了電梯租賃在此案例中於環境與社會績效所產生的財務效益
 - (1) 租與買的比較基準：六層樓電梯，應用第四類(Usage category 4)，在荷蘭使用30年期間
 - (2) 目的：辨識電梯買與租的財務差異，及辨識三菱電梯租比售所產生的社會、經濟與環境效益
 - (3) 方法論：真實的使用總成本(True Total Cost of Usage, TrueTCU)，經過重大性分析後，決定社會-經濟、環境指標
 - (4) 選擇的環境衝擊指標包括：來自能源使用/運輸/保養所產生碳排放與空污排放、原物料使用、毒性(化學品)
 - (5) 選擇的社會-經濟指標包括：故障及造成的人員在大樓內運輸的拖延、製造時的職業安全衛生意外、噪音與震動

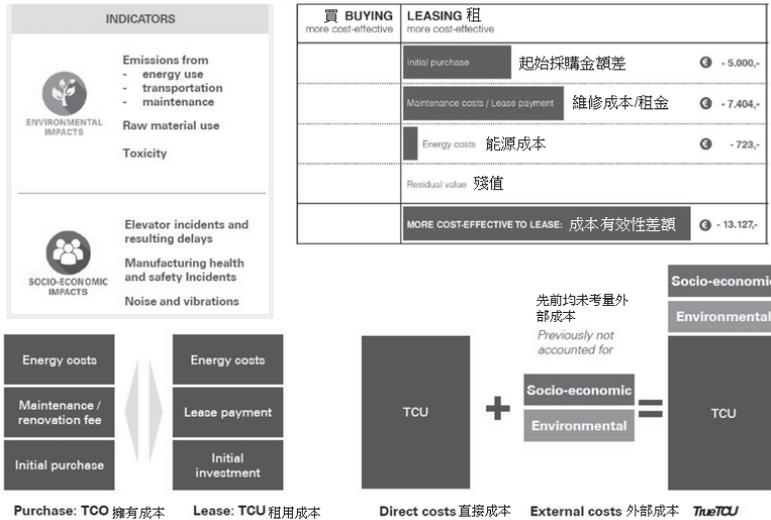


圖7、運用真實價值來分析大樓電梯買與租效益差異之釋例

COMPETITOR better for society	MITSUBISHI better for society	
	Energy impact 能源衝擊	€ - 217,-
	Raw material impact 耗材的衝擊	€ + 968,-
	Transportation impact 運輸的成本	€ + 288,-
	Assembly and maintenance emission impact 組裝與保養產生的排放衝擊	€ + 23,-
	Manufacturing incident cost 製造時意外的成本	€ + 208,-
	Incident cost 意外的成本	€ - 3.201,-
	Noise and vibrations* 噪音與震動	
	LESS COST-EFFECTIVE TO LEASE 租賃所減少的成本	€ - 1.931,-

Environmental 環境面 Socio-economic 社會-經濟面

圖8、三菱電梯租賃與同業電梯在環境與社會-經濟面向差異之釋例

根據圖 7 與圖 8 的比較，如果將此結果應用到荷蘭所有大樓電梯都改為租賃三菱電梯，那麼總體可為荷蘭社會創造每年節省 11.3 百萬歐元的成本，每年可以省下大樓內人員運輸 19 萬個小時的拖延，而三菱租賃電梯每台較產業平均的效益每年會超過 1.5 萬歐元。

<釋例二>瑞典電動巴士採購的True Value分析

- 地點：瑞典Gothenburg市的ElectriCity專案, Gothenburg市是Volvo集團所在地
- 公司：Volvo集團
- 目的：一條巴士路線要更換成再生能源充電的電動巴士，計算與一般柴油巴士相比較在環境與社會-經濟績效所產生的財務效益
- 方法論：KPMG應用True Value分析方法，經過重大性分析後，決定社會-經濟-環境指標，將柴油巴士及電動巴士進行比較
- 全球電動巴士預期2014-2020會成長28%，預計2020年前每年銷售量可達35,000台

- 選擇的環境衝擊指標包括：溫室效應氣體排放、資源使用、能源使用(非再生能源)
- 選擇的社會-經濟指標包括：在地汙染、衝突礦產、噪音、安全、交通時間、稅賦誘因

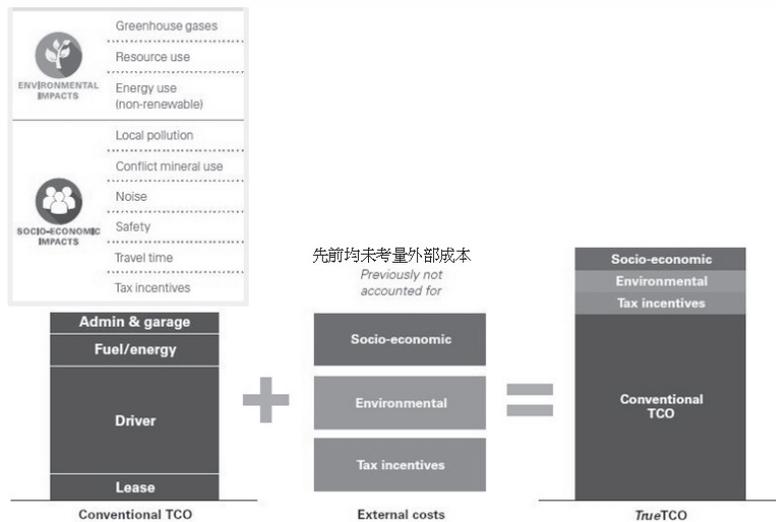


圖9、運用真實價值來分析電動巴士與柴油巴士效益差異之釋例

根據圖 9 及各項指標的差異化及貨幣化分析，如果光看傳統的起初採購總成本，電動車一定會高出許多，但是考量了環境成本與社會 - 經濟衝擊後，電動車的真實總成本則較柴油車低了許多。倘瑞典的市公車都更換為電動巴士，則可以根據真實價值的分析，創造下列的成果：

1. 每年可為瑞典社會省下2.25億美元，其中公共健康的成本就可省下0.45億美元
2. 每年乘客可以省下的等車時間相當於1400萬小時的搭乘時間
3. 瑞典每年可以減碳84,000公噸（相當於15,000位瑞典公民的排碳量）

很明顯地，循環經濟的各種創新，從商業模式的改變、技術的創新、製程與管理的變革、材料的循環再利用等等，都可以運用 True Value 的方法來計算循環經濟創造的價值，成效的展現與溝通的方式，終於有舉世皆可通的共同語言及方法學了。

五、 結語

循環經濟是人類 250 年來最大的經濟革命，全球光材料節省的價值就高達 7000 億美元，而且橫跨所有產業。當蘋果電腦也因為稀有與貴重金屬而投入大量研發，回收與拆解自家的 iPhone 手機，將金屬回收的創新及研發成果視為與新產品等同重要，且在 2017 年 4 月對外宣示蘋果將投入新產品來自百分百回收材料的研發，就可以知道循環經濟會驅動顛覆性創新的時機已經來臨。

循環經濟從下游的資源回收 *downcycling*，改看上游以材料自體回收創新設計的 *upcycling*，從根本性的善用材料循環的產品創新設計、材料逆物流與產品再製的製程創新設計、商業模式與產業服務化的創新設計，到考量外部成本的真實價值評價，還是聚焦在經濟價值的最大化，只是環境保護與社會正義，均成了絕對不可或缺的元素。

台灣地狹人稠及資源極為有限，為了能源與材料的供應安全，我們推動循環經濟不能看熱鬧而必須看門道，清潔技術 (*cleantech*) 的世界版塊新布局，台灣必須為自己搶下一個具有優勢的座標，我們深切期盼各界要用真實價值來為台灣的技術創新把脈，並據此行銷與展現我們的實力。

參考文獻

1. A New Vision of Value : Connecting corporate and societal value creation, KPMG(2014).
2. Expect the Unexpected, KPMG(2012).
3. Towards the Circular Economy, Ellen MacArthur Foundation(2013).
4. Unburnable Carbon, Carbon Tracker(2011).
5. Vision 2050, WBCSD(2010).
6. World Economic Forum, The Global Risks Report, 12th Edition(2017).



中小企業因應循環經濟趨勢的策略思維

鄒念濤督導

工業技術研究院產業經濟與趨勢研究中心

一、前言

循環經濟（Circular Economy）乃是一個生生不息的經濟系統，經由設計更耐用的產品、維護／翻修再製延長產品使用期限、以租賃服務取代擁有產品、回收無法再用產品的資源，再次投入新產品生產等不同商業模式 [1, p. 12] 組成的經濟活動所構成。目的是促進更好的資源使用效率、消除廢棄物及避免污染自然環境 [2]。其中又可分為產品最後可被生物分解，回到自然環境中提供養分的生物循環（biological nutrients），以及將產品設計成更容易回收、再製，最後可維持同品質回收，甚或升級製成更高價值的新產品的工業循環（technical nutrients）。

二、循環經濟的發展案例

（一）以1/13土地支撐3口之家的食物與居住需求的農業烏托邦

距荷蘭阿姆斯特丹 20 分鐘車程的阿密爾市，正在整合既有技術加以創新，定於 2018 年完成一座自給自足的循環農業社區 RenGen Village，作為全球面對氣候變遷、食物安全與永續發展的典範。

藉設計過的住家屋頂收集雨水作為社區主要的水資源，輔以沼氣發電設施回收

的水以滿足社區所需水資源。



圖1 自給自足的循環社區Regen Village[3]

社區將種植水果、蔬菜、豆科植物，也養魚、雞及小型經濟動物來供應有機安全的食物。除平面花園外還輔以垂直農場生產蔬果，每個家庭都可生產全年所需的蔬果，預估單位面積可產出 10 倍於傳統農法的農產卻只用 10% 的水。

家庭廚餘收集後餵養禽畜和行軍蠅（Soldier Flies），行軍蠅則用來養魚，再用魚的排泄物作為蔬果肥料，小型漁菜共生系統則將水資源循環於養魚與蔬果生產，禽畜排泄物既可提供沼氣發電也供應園圃植物的肥料。

沼氣發電加上屋頂的太陽能電池將提供超過家庭所需的電能，透過連結的智能電網可將餘裕電力回饋到電網。超出家庭所需的食物或電力都可以出售，形成一個在地的共享自給生態系統。[3]

（二）改建廢棄工廠成為魚菜共生系統還兼營沼氣發電

餵飽一千個家庭每年需要 45 噸的番茄、茄子、萵苣等蔬菜與 19 噸的魚，這可能讓你聯想到鄉間的田園和魚池，但是荷蘭海牙市卻透過重整一座廢棄的電子工廠所構成的 1,500 平方公尺溫室和 400 平方公尺室內魚塢，創建出 UF002 De Schilde 這

個歐洲最大的魚菜共生系統達成了這項任務。[4]

50年代位於海牙市的一座飛利浦電話與電視產品工廠遷出後，原有廠房形同廢棄。市政府邀請了70多家業者提出活化舊廠房的都市農業發展規劃，最後由瑞士Urban Farms公司爭取到開發權。自有投資加上海牙市政府住宅開發基金的挹注，並且找來Space&matter公司進行空間的設計與改造，於2016年5月啟用的UF002 De Schilde具備橘色外牆與大面積玻璃帷幕，但是屋頂的溫室標示了差異也是構築魚菜共生基地的一環。

建築內部既養魚又種菜，養魚用水中的魚類排泄物藉細菌分解成硝酸鹽和亞硝酸鹽，正好是蔬菜生長所需的養份。蔬菜生長過程中吸收了這些養份也同時淨化了水，可以再次用來養魚，就近供應魚類、蔬果給在地消費者更免除了運輸的耗能。



圖2 美國芝加哥的The Plant藉重整廢棄的肉品工廠形成地產地消生活農場[5]

美國芝加哥的The Plant則是由Bubbly Dynamics公司重整廢棄的肉品工廠後形成的地產地消生活農場。除了魚菜共生農場外，還引進了十幾家烘焙坊、啤酒釀酒廠、製茶工坊等精緻手工食品業者進駐，將釀酒產生的穀麥類酒糟作為養魚的飼料，養殖魚的糞便經過發酵成為蔬菜的肥料，而蔬菜生長過程產出的氧氣則與製茶

發酵工序中產生的二氧化碳進行循環。The Plant 還設置了厭氧處理設備，將各廠家產出的有機廢棄物轉化為沼氣，進而用於發電和提供熱源，讓約 90% 的廢棄物都被投入能源循環中再利用。[6]

(三) Apple 2017 將推動自家供應鏈達到 100% 回收再用的目標

Apple 在 2017 年發布的環境責任報告中提出：未來希望以太陽能、風力和水力為該公司全球營運電力的來源，並將只利用回收的原物料來製造新的產品。目前 Apple 資料中心所用的所有電力、全球所有工廠與辦公室建築的 96% 電力，都來自於太陽能、水力與風力發電等再生能源。Apple 並希望未來所有供應鏈的廠商也都完全使用再生能源。[7, p. 4,9]

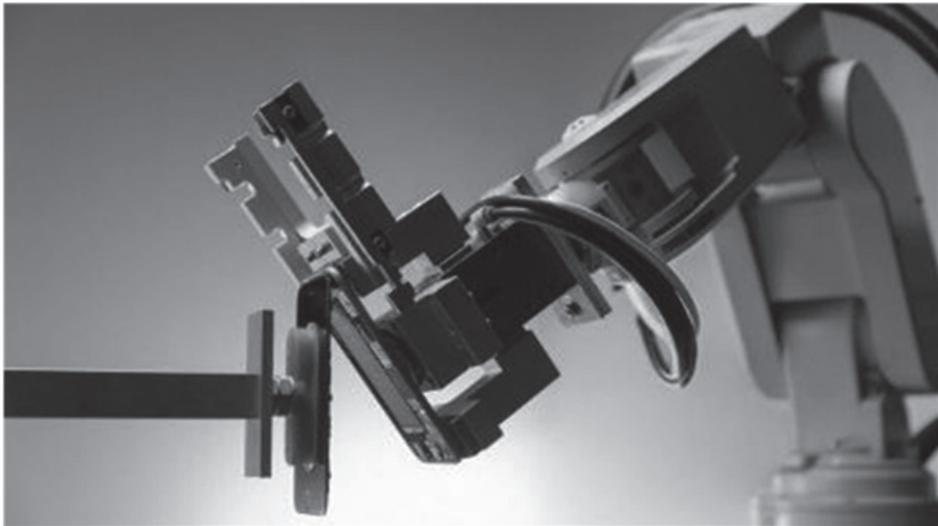


圖3 Apple的Liam機器人配備了29個機械手臂用來拆解iPhone 6的零件[8]

Apple還開發了裝有29個機械手臂的Liam機器人用來有效拆解iPhone 6的各類零件，諸如SIM卡、螺絲、電池、相機鏡頭等，以便回收利用。每11秒Liam就可拆解一部iPhone 6，將玻璃、塑膠、銅等不同材料的零組件確實分開，再轉售給相關的回收廠商[9, p. 4]。每拆解一萬台iPhone，可以回收190公斤的鋁、80公斤的銅、0.13公斤的金、0.04公斤的鉑、0.07公斤的銀、5.5公斤的錫及2.4公斤的稀土。[7, p. 18]

Apple 的 Liam 計畫雖然仍處研發階段，要能達到「只利用回收的原物料來製造新產品」的環保承諾，Apple 將會動員整個供應鏈，引進更多新的設計思維、採用更符合循環利用的材料與製程，以達成目標。

(四) 共享經濟趨勢下的洗衣機租賃模式

當我們習慣擁有家電時，可曾想過租賃帶來的好處？荷蘭的 Marcel Peters 發現使用傳統的洗衣機會帶來諸多的浪費，包括用水、電力、清潔劑等等，最重要的是你未必能達到有效清潔衣物的目的。因此他在 2014 年創立了 Bundles 公司，結合物聯網提供 pay-per-use 的付費洗衣服務 [10]。但這家公司絕非特例，如果在網路上輸入”renting washing machines”，將可以找到相當數量的洗衣機租賃服務公司。

EMF 的個案研究顯示 [11]，一般家庭每年洗衣約 250 次，多數使用者傾向購買低價機種，這些機種的使用年限多半少於 10 年，推估每次的洗衣成本約 0.27 美元。相對的高階機種價格雖然較高但性能較佳、使用年限可達 20 年，每次洗衣的成本僅約 0.12 美元。進一步分析對環境的影響，以 1 部可以使用 10,000 次的高階洗衣機取代 5 部僅能洗衣 2,000 次的低階機種，將可節省 180 公斤的鋼鐵、降低 2.5 噸以上的二氧化碳排放。對於租賃洗衣機的消費者來說，依據租期長短將可節省 26%-38% 的費用，洗衣機製造商還可增加約 35% 的利潤。

三、 快速消耗的資源，年輕世代還有多少可用？

這些個案例並非偶然，EU PLAN-C 的研究顯示，如果持續以目前的成長速度開採，許多關鍵的能資源都將在 50 年內耗盡。以鈾為例，它可以用來製造低熔點合金、半導體、整流器、熱敏電阻等，這樣的描述對於一般消費者有點遙遠。如果告訴你舉凡手機、家中的電視機都需要鈾的加持，但是持續按照現在的成長率開採，大約 10 年以後將會枯竭，而有效的替代品仍處於技術發展階段，感覺想必大不相同。看看圖 4，想想看 2010 年以後出生的這些年輕世代，我們得要好好思考如何有效運用資源。

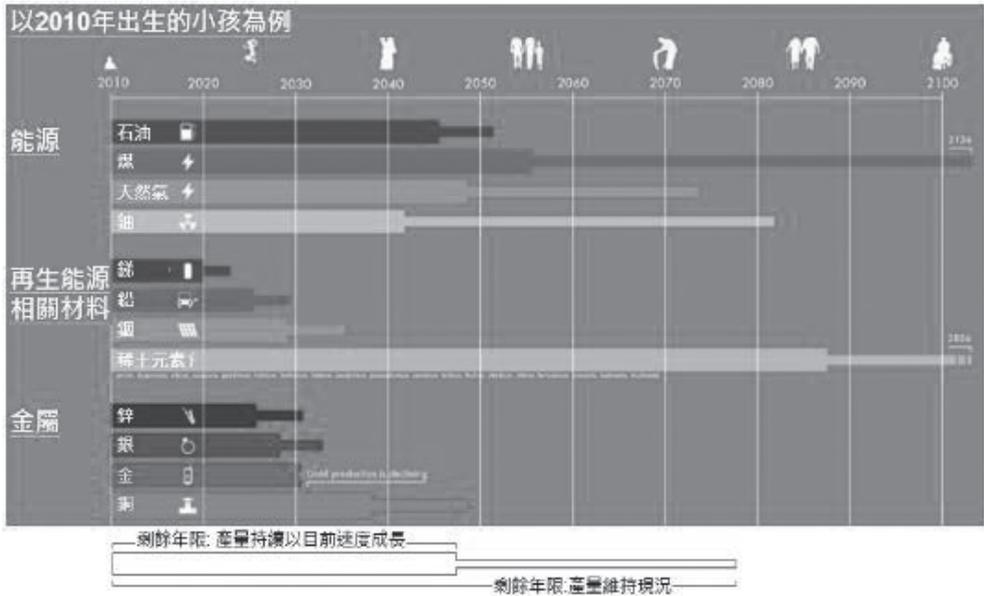


圖4 2010年出生的孩子們還有多少可用的資源[12]

四、 全球產業未來面臨的經營困境

(一) 大宗資源價格已因可能出現的匱乏開始上揚

20世紀當中，大宗物資價格下跌近半，但是2000年-2013年上升的幅度已經抵銷了過去100年的降幅，趨勢上仍呈現持續上升，顯示未來全球經濟的成長將會由過去藉由大量資源投入以促成成長的模式，發生根本上的轉變。

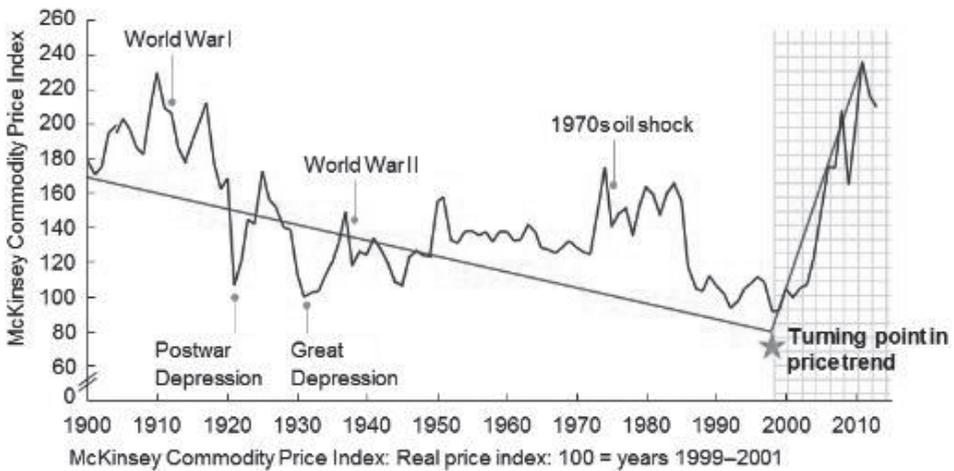


圖5 2000年-2010年大宗資源的價格指數大幅上升[13, p. 6]

(二) 消費的定時炸彈

Ellen MacArthur 基金會的研究顯示，由於全球人口的快速增加，特別是其中的中產階級消費者人數於 2025 年將增加 18 億人而達到 30 億的規模，為了餵飽這些消費者，食物消費將增加 57%，包裝需求大增，相關包裝材料將增加 47%，更有多達 41% 的資源在使用後被棄置。

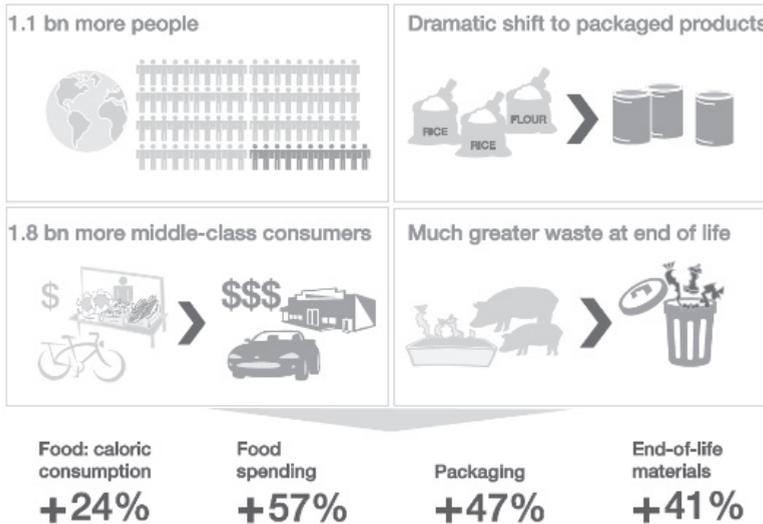


圖6 2025年時伴隨跨速增加的中產階級消費者將產生更多的資源浪費[14, p. 22]

五、發展循環經濟有賴改變商業模式來擷取機會

這些變化都證明經濟的方展正面對新一波的挑戰，必須改變思考方式來加以因應。發展技術之外，商業模式的創新將是重要的關鍵。

Accenture 分析過 120 餘個經由創新有效提昇資源運用效率的公司個案後歸納出以下五種主要的循環經濟商業模式。[15, p. 12]

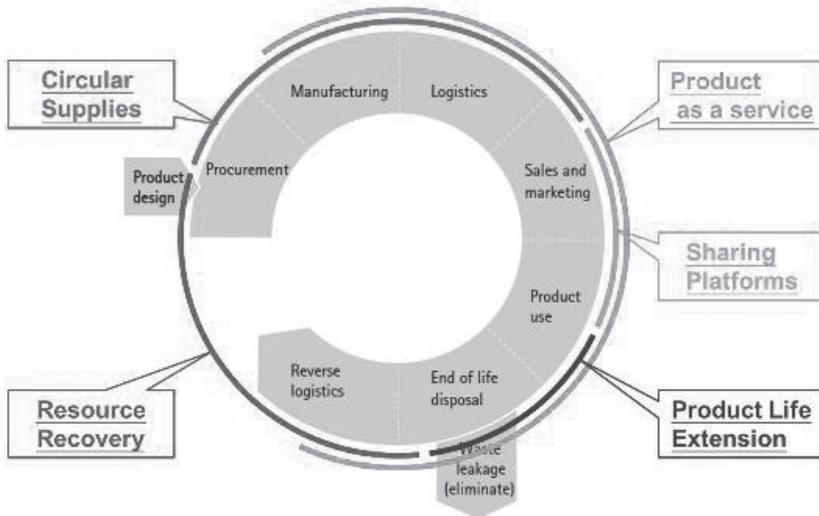


圖7 Accenture歸納出五種循環經濟的商業模式

(一) 供應可循環的資源(Circular Supplies)：提供再生能源、可生物分解或可完全回收的原物料，以取代經一次使用後即予廢棄的原物料投入形態。

美國的 NaturalWorks 為典型的代表廠商，該公司將適當的植物經處理、發酵後產生乳酸，再經兩次反應聚合出 Ingeo，一種生質源的塑膠顆粒，供應全球各類廠商用來生產由咖啡膠囊、優酪乳容器到嬰兒拭巾的產品。供應的 3D 列印用耗材提供各式設計、打樣使用，並均可生物分解，避免環境污染問題。

(二) 資源回收再造(Resources recovery)：由原本將被廢棄的產品或是副產品中回收可用的資源、能源。

荷蘭 Eindhoven 有個較為特別的醫療設備生產線，是飛利浦全球四個醫療設備翻新再造中心之一，也就是飛利浦二手醫療設備買賣事業的後台。斷層掃瞄、核磁共振造影等大型醫療設備的結構複雜，且內含大量昂貴的零組件，但一般使用壽命大約為 9 到 11 年。當醫療機構汰換舊機器時，飛利浦就向他們買回舊設備進行拆解，清理保留堪用零件、更換老化零件並安裝新軟體，再以較新機為低的價格銷售給新客戶。二手醫療設備的翻新買賣，讓飛利浦可以善用這些設備中的原材料持續創造更多經濟價值。如此一來這些設備零組件就在飛利浦自己的產業鏈內不斷循環，不

但減少原材料消耗和廢棄物產生，選用同一批原材料創造出兩倍以上的價值。

大阪有另個值得臺灣效法的案例，天然氣船運前必須先經過低溫高壓的液化程序，運抵目的地後將液化天然氣氣化的過程會產生大量的冷源，過往均使用海水來氣化並直接廢棄。日本的大阪氣體瓦斯便與朝日啤酒公司合作，將液態天然氣的氣化過程產生的冷源提供朝日啤酒冷凍各類水果果肉，藉以有效的將果肉研磨成微粒後加入果汁或啤酒中，讓消費者喝到果香卻喝不出顆粒感。因此 Asahi 將工廠設置在大阪氣體瓦斯旁，就近運用此項冷源。其他如將中鋼煉鋼過程中的熱源導入其他工廠作為熱源的應用，也都是很好的能源回收案例。

(三) 延長產品的使用期限(Product Life Extension)：透過維修、升級和轉售，以延長產品或零組件的使用期限。

幾曾何時，維修的概念似乎已經由許多電子產品領域消失，特別是快速進步的電子資訊產品，一部手機往往使用兩年後即被棄置，家電、家具也多有此例。透過線上二手貨的交易可以延長可用產品的使用期限，適當的設計以便於維修更可促動消費者透過維修延續使用產品的意願。

(四) 共享平台(Sharing platforms)：推動以平台分享產品的使用/存取/共有，以提高產品生命週期中的使用率。

Uber 的車輛共享平台無疑是典型的案例，Airbnb 則提供了由旅館到家中一個房間的分租共享服務。軒先 (Nokisaki) 原本指的是屋頂前緣，或是指家門口前面。日本的新創公司 Nokisaki Parking 則透過手機軟體讓人們分享自家的停車位，使用者可以在去目的地之前先查好附近的有空的停車位，事先預約。

(五) 商品即服務(Product as a service)：提供消費者使用權，但保留產品的所有權，以促成資源循環的效能。

如果廠商必須透過商品的販售獲取利潤時，產品的品質差異將反應在價格等限制上，但是消費者或許需要的是服務而非產品本身，前面提及的洗衣機租賃就是個好例子。美國喬治亞州 Regents 醫學中心面對龐大醫療設備管理時採用了不同的方法。經過與飛利浦的磋商，雙方於 2013 年簽訂了長達 15 年、總價 3 億美元的合約，由飛利浦提供所有硬體的保養維修等全套服務。院方只需支付每月的服務費用，簽約後短短一年半就為這家醫院省下了七百萬美元的設備採購費用。

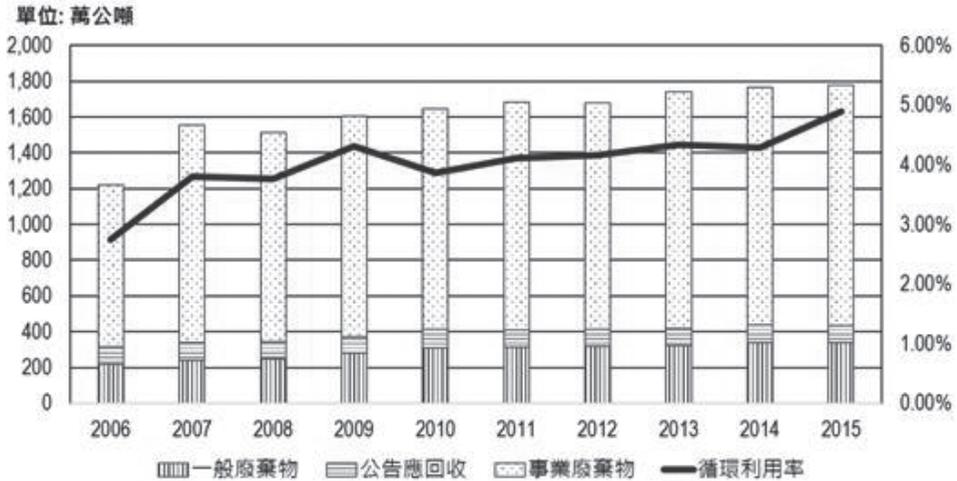
飛利浦也在 2011 年推出”按照明時數計價 /Pay per Lux” 的創新服務，已經應用在荷蘭史基浦機場。雙方簽了一份 15 年的照明服務合約，由飛利浦依照機場需求，設計了 3,700 個 LED 燈具和照明設備。飛利浦保留照明設備所有權，合約期間包辦所有管理和保養維修，機場只需每月支付固定服務費。

透過聯網裝置，飛利浦可以監控照明設備的運作與用電狀況，提供及時維修以維持最佳能源效率狀態，機場電力消耗降低了一半，既省電費又減少碳排放。

飛利浦在推出此一服務後也重新設計了 LED 燈泡，將較易故障的驅動器移到燈泡外側，只要更換壞掉了的驅動器，而不用把整個燈泡丟掉，同一個照明設備重複使用愈多次愈好，因此回收再用已成為增加獲利的新方法。

六、 臺灣的循環經濟發展成果與未來發展方向

雖然早期並未喊出循環經濟的口號，臺灣對循環經濟的投入算得上早，目前對於有價的資源回收已有相當成效。眾所周知的慈濟團體投入寶特瓶的回收，不單減少了大量的環境汙染，透過大愛感恩科技的持續研發創新，這些回收的 PET 還轉換成各種紡織品、毯子，透過慈濟志工的全球賑災義行，讓臺灣名揚世界。如果檢視圖 8，可以發現，即令有著前述外顯的諸多成效，臺灣的資源循環利用仍然大有可為。



資料來源：環保署, 工研院IEK整理(2017/8)

圖8 臺灣的資源循環利用率

七、對中小企業的策略思維建議

一項針對歐盟國家中小企業的研究顯示使用再生能源、重新規劃水資源的應用、減少廢棄物、精簡原物料的使用等循環經濟發展決策都將有助於改善中小企業的營運 [16, p. 12]。

黃育徵先生在其循環經濟一書中，提出可以立刻落實循環經濟的四項行動方案：[17, p. 204]

- 第一、診斷現有投入產出各種資源的循環系統。
- 第二、打造「再生資源技術和交易平台」。
- 第三、研發和投資廢棄物資源化、商品化、產業化。
- 第四、促進產業區升級、規劃新材料循環園區。

IEKTopics 2017 建永續專刊中亦提出：藉「4P 公私密合夥機制」跨界整合運作，擴大全民參與，鼓勵民眾和企業針對在地的問題提出命題與解決方案。[18]

臺灣的中小企業為數眾多，更是臺灣產業發展的關鍵元素之一，循環經濟的推

動無疑是一項草根運動，需要眾多中小企業的主動參與共創。

歸納諸多發展趨勢與案例後，對中小企業的策略思維建議是：持續深化技術與研發，找尋互補夥伴，共創利基商業模式！從找出所處產業邁向 closed-loop 供應鏈的挑戰與機會開始，在以下幾個面向找出切入的機會：

1. 來源材料的適切性。
2. 專注需求、持續深化技術。
3. 效率、成本與效能 (Effectiveness) 並重。
4. 找尋互補夥伴。
5. 創新商業模式。
6. 共構生態系統。

參考資料

- [1] Accenture, “Circular Advantage-Innovative business models and technologies that create value,” 2014. [Online]. Available : <https://www.accenture.com/tw-en/insight-circular-advantage-innovative-business-models-value-growth>. [Accessed : 04-Sep-2017].
- [2] “Circular economy,” Wikipedia. 01-01-2017.
- [3] “RegenVillages,” 01-01-2017. [Online]. Available : <http://www.regenvillages.com/>. [Accessed : 07-01-2017].
- [4] “UF002 De Schilde,” UrbanFarmers. [Online]. Available : <https://www.urbanfarmers.nl/en/fresh-revolution/>. [Accessed : 07-Aug-2017].
- [5] “Open House Chicago - Behind the City’s Architecture.” [Online]. Available : <https://holeinthedonut.com/2015/02/21/open-house-chicago-the-plant/>. [Accessed : 07-Dec-2017].
- [6] 1400 W. 46th St, Chicago, and Il 60609, “plantchicago,” Plant Chicago. [Online]. Available : <http://plantchicago.org/>. [Accessed : 07-Aug-2017].
- [7] Apple, “Apple 2017 Environmental Responsibility Report.” Apr-2017.

- [8] K. Leswing, “Apple just revealed how its iPhone-recycling robot ‘Liam’ works,” Business Insider. [Online]. Available : [http : //www.businessinsider.com/apple-liam-iphone-recycling-robot-photos-video-2017-4](http://www.businessinsider.com/apple-liam-iphone-recycling-robot-photos-video-2017-4). [Accessed : 09-^oC t-2017].
- [9] Apple, “Liam white paper.” Sep-2016.
- [10] “Rent washing machine from Bundles,” Rent washing machine from Bundles. .
- [11] EMF, “CE Case - Washing Machines,” In-depth - Washing Machines. [Online]. Available : [https : //www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram/in-depth-washing-machines](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram/in-depth-washing-machines). [Accessed : 07-Dec-2017].
- [12] “How much is left,” 2010. [Online]. Available : [http : //www.plan-c.eu](http://www.plan-c.eu). [Accessed : 04-Aug-2017].
- [13] MGI, “MGI Resource Revolution : Tracking global commodity markets.” Sep-2013.
- [14] “WEF_ENV_Towards Circular Economy.” World Economy Forum, Jan-2014.
- [15] Accenture, “Circular Advantage Business Models and Technologies.” .
- [16] A.-M. Zamfir, C. M^oanu, and A. Grigorescu, “Circular Economy and Decision Models among European SMEs,” Sustainability, vol. 9, no. 9, p. 1507, Aug. 2017.
- [17] 黃育徵, 循環經濟. 臺灣 : 天下雜誌, 2017.
- [18] 許瓊華 and 陳冠瑜, “2017 IEKTopics 推動循環經濟 展現台灣大格局新思維,” IEKTopics | 建永續 循環再生 創新經濟, Sep-2017. [Online]. Available : [http : //ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt_detail.aspx?indu_idno=1&domain=0&rpt_idno=380470383](http://ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt_detail.aspx?indu_idno=1&domain=0&rpt_idno=380470383). [Accessed : 11-Dec-2017].

循環經濟創新商業模式 探詢

王建彬副院長
財團法人商業發展研究院

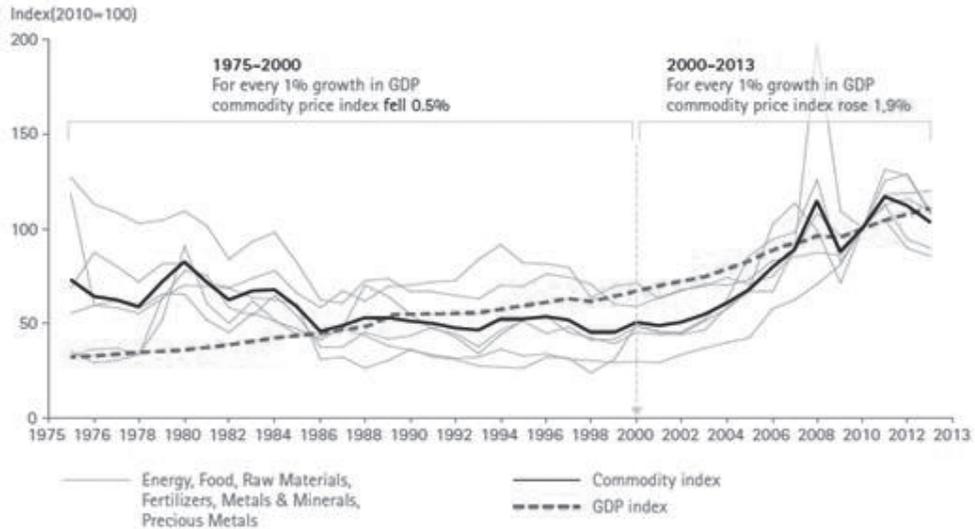
2014年瑞士達沃斯世界經濟論壇發布「邁向循環經濟 (Toward the Circular Economy)」報告，宣告全球轉型成為循環經濟的世代已然來到。報告中提出，循環經濟在全球化供應鏈中將逐步扮演重要角色，成為未來全球經濟成長及長期就業機會的創造來源。

「循環經濟」其實並非新的名詞，其泛指傳統以資源循環為概念的商業模式皆可稱之。然而，為促成循環式社會體系的建立，則必須從原料取得、生產製造到消費流程，將循環概念融入其中。尤其我國在極度缺乏天然資源的條件下，更應透過循環經濟的創新商業模式，降低外部資源需求並提升資源使用效率，全力朝向永續發展型經濟轉型，乃我國產業邁向新世代的關鍵策略。

為何全球關注循環經濟創新商業模式？

全球多數先進國家，過去大多以消耗原物料引導大量消費的方式推升經濟成長，此模式幾乎亦已成為目前開發中國家的經濟發展公式。然而，隨著2000年後來自於亞洲、中南美洲等龐大人口的新興市場人均所得攀升，急速膨脹的中產階級需求推升大宗商品 (commodity) 價格飛升，過去全球經濟發展的單向高度消耗模式正快速走向盡頭。

Commodity price & GDP index 1975-2013



資料來源：Accenture；商發院整理

圖1 大宗商品價格及GDP指數

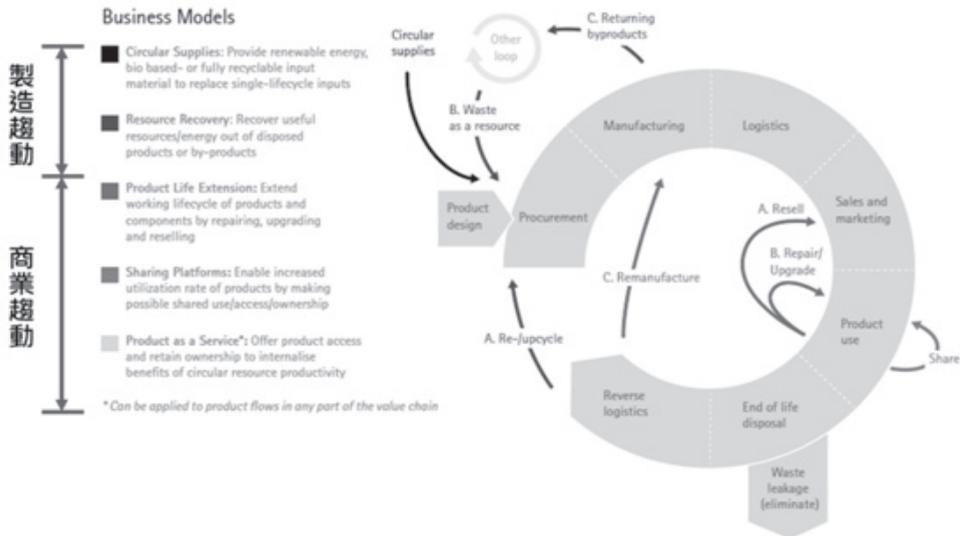
為了經濟永續發展，先進國家近年正苦思將經濟成長動能從原物料消耗脫鉤的可行之道。加上環境保育及永續發展意識抬頭，亦促使全球企業由過去資源單向式消耗的模式，加速邁向循環經濟式創新。如德國《循環經濟和廢棄物處置法》、日本《促進循環型社會基本法》、中國大陸《中華人民共和國循環經濟促進法》，已有越來越多國家在其法令中納入了循環經濟概念。然而，實質驅動經濟轉型的關鍵所在，仍在於可持續性商業模式的創新發展。

循環經濟五種創新商業模式

國際知名諮詢顧問公司 Accenture 將循環經濟歸納為五種商業模式，分別對既有價值鏈的不同環節帶來變革力量。五種商業模式以影響供應鏈上至下游為順序簡要介紹如下：

1. 「循環資源供應」模式：此模式提供可再生能源、生物基礎或可完全回收式的原物料投入供應鏈中，以取代過去單一生命週期式的原物料投入形態。

2. 「資源回收再造」模式：此模式從被處置的產品或副產品中，回收可利用資源及能源。
3. 「商品生命延伸」模式：此模式藉由修復、升級和重複銷售，延長產品及組件的生命週期。
4. 「共享平台」模式：此模式藉由分享使用權及所有權等方式，提高產品在生命週期中的使用率。
5. 「商品即服務」模式：此模式藉由提供產品使用權但保留所有權的方式，提升循環資源的生產效益。



資料來源：Accenture；商發院整理

圖2 Accenture循環經濟五種商業模式

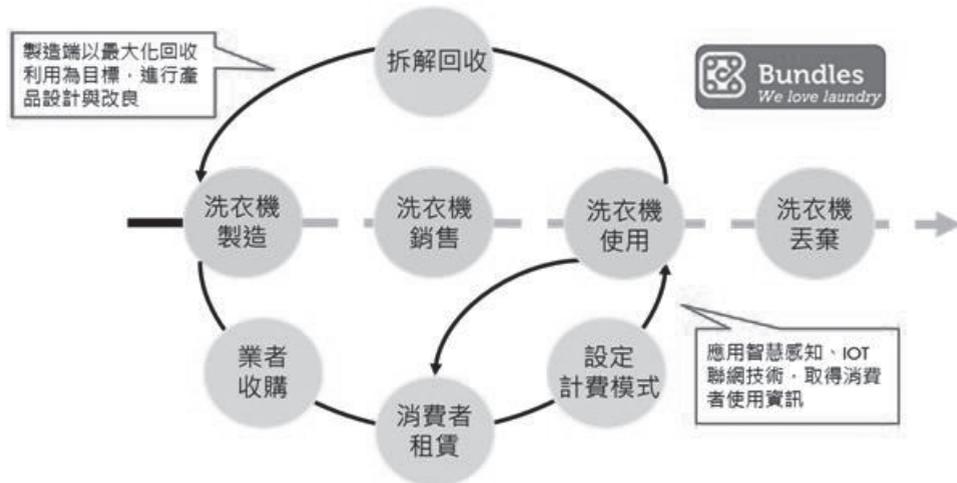
其中我們認為「循環資源供應」與「資源回收再造」模式，主要由製造端領導趨動，創新點多在於新材料開發、商品設計方面；而「商品生命延伸」、「共享平台」、「商品即服務」模式，則主要由商業端領導驅動，創新點多在於商業模式、服務流程改造方面。我國在原物料及能源資源上高度仰賴進口，缺乏國際資源生產及分配掌握能力，但卻在全球科技製造供應鏈上扮演著重要角色。因此我們認為我國

更應著重於商業端領導趨勢的模式研究與推動，再進一步協助科技製造端領導趨勢的模式發展。以下列舉三個由商業端領導驅動的循環經濟創新案例以為參考。

(一) 商業趨勢：荷蘭Bundles洗衣月租服務

家庭洗衣機使用率低、生命週期單一，且回收再製的比例低落，為循環商業模式的優先導入對象。荷蘭新創公司 Bundles 提出「附上洗衣機的洗衣月租服務」，免費提供洗衣機到府安裝，再根據智慧連網技術，以智慧插座監測消費者使用次數及洗衣機狀況，做為收費基礎及維修更新規劃。並專人處理洗衣機報廢及維修，讓洗衣機從大型廢棄物回到循環資源的應用中。

此模式打破過去資源單向式消耗模式，不但提升了洗衣機生命週期、降低閒置成本，更由商業模式趨勢，影響上游洗衣機製造商願意與業者合作，改良機械設計、提升回收比例。此模式可擴散至其他高支出的個人動產項目上，如大型家電、汽車等，近年掀起全球共享經濟熱潮的 Uber 叫車服務，亦可稱為此類共享平台式的循環經濟創新模式。

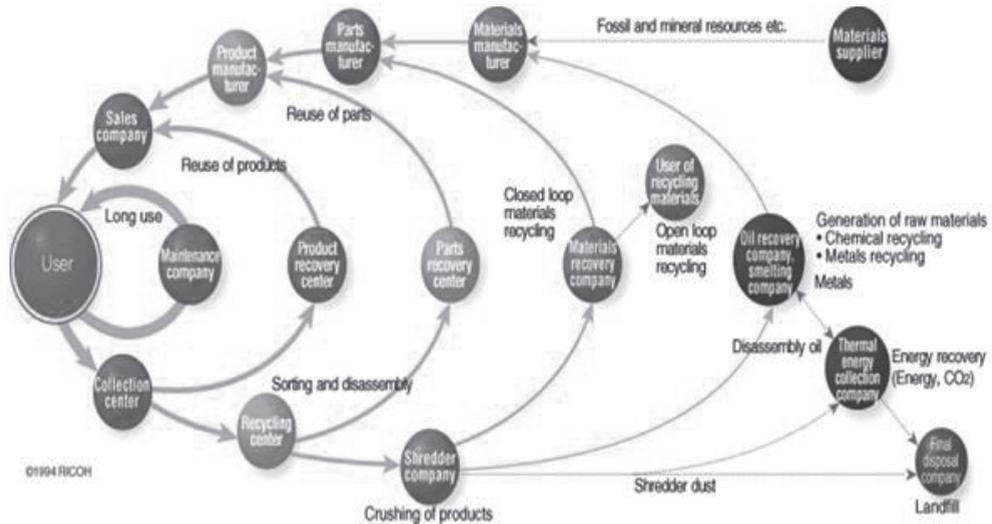


資料來源：Bundles；商發院

圖3 Bundles「附上洗衣機的洗衣月租服務」商業模式

(二) 商業趨動：日本Ricoh影印機租賃服務

日本影印機大廠 Ricoh 推動租賃取代販售的模式，現已幾乎成為業界準則。Ricoh 是一家全球辦公機器知名製造商，但以製造端出發，導入創新商業模式，以不同類別的服務及循環為基礎，提出「彗星圈」的循環經濟模式。



資料來源：Ricoh；Towards Circular Economy Report 2014

圖4 Ricoh「彗星圈」商業模式

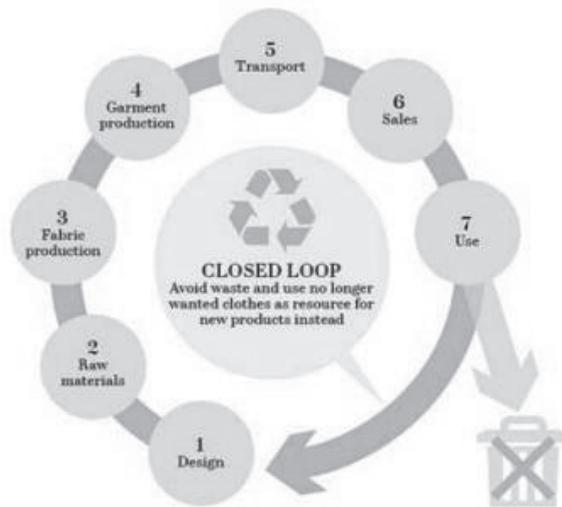
在生產製造部分，Ricoh 的產品設計著眼於部件在公司內部生產體系中的再利用或再迴圈，力求將產品和組件再利用最大化、原材料使用最小化，大量減少了生產中新材料的應用，創建了一個緊密的內部使用迴圈。在維修升級部分，Ricoh 根據租賃合約退還後，積極進行驗收、拆裝、替換部件、升級軟體等複雜的整修流程，再重新售回市場。而在資源回收部分，Ricoh 將收回其組件並在海外當地工廠再迴圈利用，Ricoh 在分析了新材料和回收材料（如聚丙烯等）的價格差異及運輸成本後、推算以當地回收方式將可減少 30% 再製成本。

以創新循環經濟模式為發展核心，Ricoh 以 2007 年新資源使用量為基礎，目標於 2020 年減少 25% 的新資源投入，2050 年減少 87.5% 的新資源投入，成為製造業轉入循環經濟式服務的經典案例。

(三) 商業趨勢：H&M及英國Wear2舊衣回收模式

隨著龐大人口的新興國家消費力道提升，大量快消服飾消費風潮也造成大量丟棄，服飾產業亦成為應積極導入循環經濟的重點領域。

其中國際快消服飾企業 H&M 已於全球 49 個國家發起了「全球舊衣回收計劃」，不同於其他快消服飾企業也曾推出的自家舊衣回收活動，H&M 則不論品牌、衣物類型和新舊程度，於門市店面提供回收服務，並回饋予舊衣提供者購物優惠券。各門市會定期將回收的衣物匯集到指定的回收點，然後由國際知名的紡織品回收機構 I : Collect 統一運往瑞士總部進行專業的分揀處理。I : Collect 是全球規模最大的服飾回收公司，主要承擔舊衣的物流、分揀、分析、循環利用等工作。I : Collect 建立精細化的舊衣物評估標準，根據 400 多項的標準將衣物處理結果分為重新穿著、重新利用、循環使用及生產能源等四大類型，並進行不同程度的再製與回收利用工程。



資料來源：H&M Garment Collecting

圖5 H&M「全球舊衣回收計劃」商業模式

H&M 的「全球舊衣回收計劃」被認為是全球快消服飾產業走向循環經濟的標竿案例，由 H&M 以商業驅動負責產業鏈上游的舊衣回收，I : Collect 則以製造驅動負

責產業鏈下游的再製處理及回售。改變了過去快消服飾產業大量生產、大量消費、大量丟棄的單向式消耗型模式。

此外，除了快消服飾，工作服及制服等商業服飾亦為龐大的隱形市場。英國新創公司 Wear2 提出了「工作服回收再利用」的模式，以模組化獨特設計及特殊材料製作工作服提供予企業使用，後可經低成本而簡化的再製程序，提供給其他企業繼續使用。此模式同樣結合纖維紡織科技及創新商業模式，打破過去大量單向消耗的企業制服市場模式，建構起低成本的二手衣再製循環經濟。



資料來源：WEAR-2；Towards Circular Economy Report 2014

圖6 WEAR-2「工作服回收再利用」商業模式

循環經濟在台灣的機會

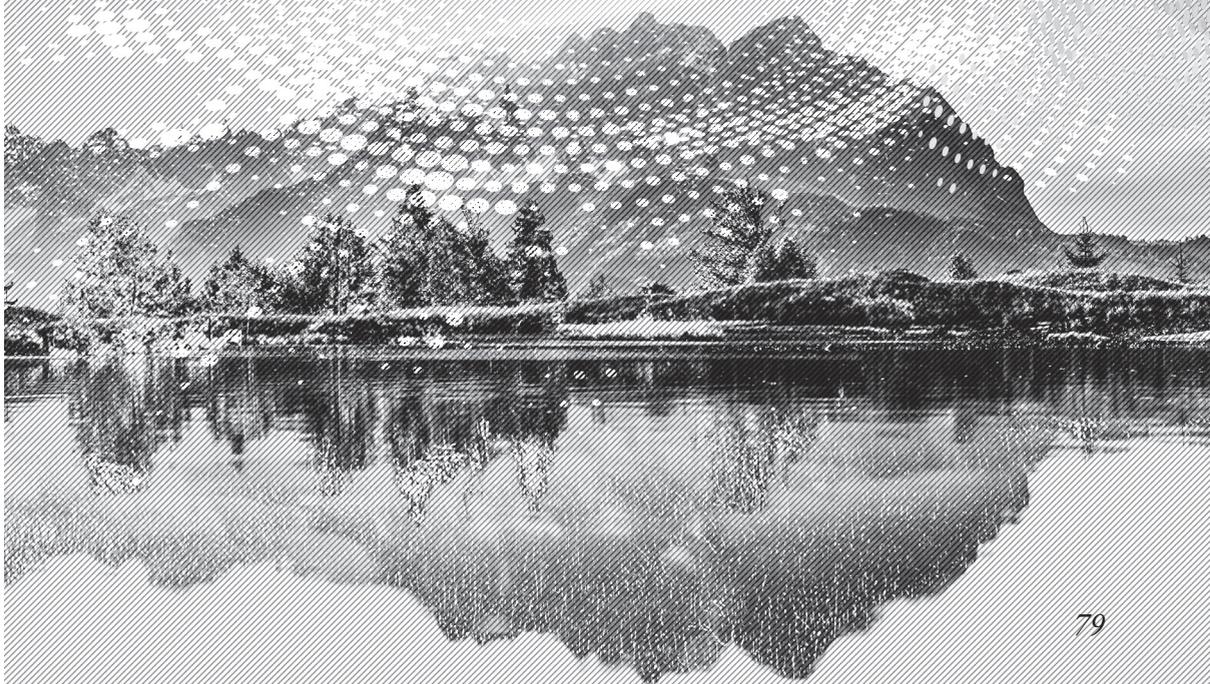
在商業驅動及製造驅動並行下，循環經濟正逐漸成為新一波工業革命與價值創新的經濟驅動力，但同時也為現有供應鏈及商業模式帶來風險與挑戰。可以預期的是，在產品設計、資源取得、供應鏈重要節點角色的重新定義、策略聯盟的需求，以及消費者行為的改變，都將對現存產業及業者造成衝擊。

我國以科技製造業立國，過去在循環經濟議題上多著墨於製造業資源有效利用與廢棄物回收處理方面，部分產業已有顯著成效，如中鼎集團旗下的廢棄物資源回

收企業崑鼎、中鋼旗下處理鋼鐵業廢棄物的中聯資源、焚化及廢水處理的中宇工程、醫療廢棄物處理企業可寧衛及日友等，其技術及經營表現皆備受肯定，但我國在創新商業模式及供應鏈變革等更具整體產業突破性影響的層次上，卻無積極表現。以 IBM 由製造出發走向創新服務為例，IBM 全球資產續用服務部已在全球有 20 多個再製造中心，推動 IBM 資產續用業務的發展。事實上，我國科技製造業在個人電腦、行動電話、光學組件、精密機械、太陽光電、LED、車用電子等多個全球供應鏈中扮演關鍵角色，從組件設計到產品回收，都能成為帶動全球科技製造業循環經濟的重要推手。

此外，近年我國內需市場在食安風暴等議題上，也催生了消費者對供應鏈掌握、有效回收、永續發展意識的提升，對我國發展循環經濟亦為一大助力。因此，未來我國應從製造驅動的層面，向商業驅動邁進，突破傳統停留在資源回收、廢棄物管理的作業生態，透過新興技術及服務模式，整合跨領域、跨業種的合作機制，協助我國產業於新世代的循環經濟生態體系中，繼續扮演重要關鍵角色。

第二篇 產業案例





歐萊德的綠色理念

葛望平 董事長
歐萊德國際股份有限公司

2002年歐萊德公司創建時為一進口髮妝品代理商，因為創辦人本身是極敏感體質並常為過敏病症所苦，及其父母相繼因腎臟病及癌症於同年過世，決定要幫助人們遠離有毒重金屬與化學物質危害，立志改變被化學成分圍繞的生活和環境。2006年9月確定O'right的綠色品牌發展方向，秉持為健康把關與友善對待地球環境的使命，並以「It's O'right」為品牌願景，品牌Logo掛著一顆大大的「O」，象徵理想中美麗的地球，並取其讀音「All right」代表堅持為地球做美好的事情。歐萊德相信「改變大環境從小事做起」！堅持企業的作為必須對人健康、對社會健康、亦對環境健康，以此來實踐「自然、純淨、環保」綠色理念，希望能為環境播下綠色種子，為我們的下一代永續美好生活。

歐萊德於2006年開始進行一系列綠色永續創新計畫，以積極的行動來傳承並落實綠色理念，致力提升為社會企業，專注創造綠色永續價值。歐萊德是全球第一個達成國際「碳中和」的化妝品品牌，也是台灣少數具備綠化研發、環保設計、綠色製程及創意行銷的髮妝公司。我們將經濟循環的理念落實到產品的包裝當中，瓶中樹洗髮精的包裝以廢棄蔬果與植物中萃取出澱粉製造出可自然分解的環保塑膠PLA(Polylactic Acid；聚乳酸)而成，並於瓶底置入種子、空瓶埋入土壤可長成一棵樹，是生物循環的實踐，在2016年推出第一瓶以100%家用容器回收再生製成的塑膠瓶為包裝的洗髮精，不讓環境有新的塑料產生，歐萊德以綠色、永續、創新價值做為公司的策略發展方向，並將綠色理念深化到產品原料的開發、製程及外包裝

等，全方位落實綠色理念。

全方位綠色永續的落實與實踐

綠色無毒內料配方研發

O'right 歐萊德自 2006 年確立綠色方向起，第一步即朝髮妝產品最重要的「內料」進行革命性的改變，我們相信歐萊德多年來從事美髮產業的經驗，我們知道消費者頭髮要的是什麼樣的洗髮精，但是大多數時候，沒有人想過我們的河流期待的又會是一瓶什麼樣的洗髮精，因此，如何創造出一瓶既能保護消費者的健康與美麗，同時又能維繫我們河川的安全永續是最重要的第一個工作！O'right 歐萊德期望排除所有對人體與環境有危害的高風險物質，因此致力於研發綠色無毒配方，用更天然環保的成分取代傳統化學物質，對於複合型產品的品質穩定度改善成果顯著，且成功於 2008 年獨步全球，創造出「8 FREE」天然環保的洗髮精產業綠色新標準，且為了製造更健康、環保的產品，我們創新使用頂級胺基酸系、葡萄糖苷系有機起泡成分，取代傳統對人體健康風險較高的界面活性劑，綠化配方對人體更健康。

堅持不添加有害物質建立「8 FREE」超高標準

O'right 歐萊德的綠色產品標準堅持無添加環境荷爾蒙、對經基苯甲酸酯類防腐劑、甲醛、染色劑、塑化劑、硫酸鹽類界面活性劑、DEA 類增稠劑、環氧乙烷衍生物等八種有害物質，讓消費者洗髮後的廢水排放到河川，經過 28 天可自然分解，不汙染河川及環境，對地球更友善。

無環境賀爾蒙 Environ. Hormones(NP FREE)

某些化學物質具有類似體內荷爾蒙功能，因此被稱為環境荷爾蒙 (Environmental hormones)，此類物質會抑制體內荷爾蒙作用，進而影響免疫、神經、內分泌系統的運作，導致內分泌失調、發育不完全、免疫功能問題，甚至增加罹患癌症風險，不僅危害人體健康，也影響野生動物安全。O'right 歐萊德堅持不添加環境賀爾蒙，為消費者安全把關，也為自然生態保育盡一份心力。

無PARABEN類防腐劑 Parabens FREE

PARABEN 是食品、化妝品常用之防腐劑，其成分具溶解皮脂膜的特性，研究指出長期使用易導致皮膚過敏，又因其結構與雌激素相似，且 PARABEN 無法被人

體完全分解及代謝，經皮膚吸收至體內可能導致內分泌系統混亂、罹患乳癌風險增加，危害消費者健康。

無甲醛 Formaldehyde FREE

俗稱「福馬林」的甲醛是無色化學物質，常見於清潔用品中的防腐原料、或從 PVC 材質瓶身中釋出，容易導致嗅覺刺激或過敏現象，嚴重會引發吐瀉及氣喘；O'right 歐萊德嚴格把關產品品質，拒絕價格低廉的原料，對於洗髮精的瓶身也採用安全性較佳的材料，讓大家可以免於甲醛的化學干擾。

無染色劑 Colourants FREE

化學染色劑的添加讓產品看起來更美，豐富了視覺，卻忽視了人體健康，色素其實是引起皮膚過敏的主因之一，化學染色劑濃度過高會破壞皮膚角質層，讓皮膚失去對抗外界病菌的屏障，皮膚變得敏感不適。O'right 歐萊德不添加化學染色劑，提供消費者最天然、純淨的呵護，也留給河川與大自然最美麗的面貌。

無塑化劑 Phthalates FREE

塑化劑是常見的定香配方，但對人體生殖力及胎兒智力發展會產生影響，甚至會造成性早熟等現象。歐萊德堅持給消費者最天然、最健康的選擇，對於供應商的遴選與評估更要求符合健康安全與生態保護，全產品不含行政院衛生署公告 9 項塑化劑成分，符合歐盟 REACH 與 RoHS 規範。

無硫酸鹽類界面活性劑 Sulfate Surfactants FREE

界面活性劑又稱「起泡劑」，市面常見的硫酸鹽類界面活性劑會滲透至細胞裡導致細胞弱化，高濃度的起泡成分更會導致角質層破壞，會讓皮膚容易讓細菌、病毒入侵，O'right 歐萊德採用歐盟有機組織天然驗證之胺基酸系、葡萄糖苷系起泡成分，泡沫柔軟細緻、易沖洗不殘留。

無DEA類增稠劑 Thickeners, DEA(Diethanolamine)FREE

DEA 是在化妝品中常見的成分，它的用途廣泛可作為潤濕劑、增稠劑、起泡劑。添加在洗髮精中可調節產品的黏稠度，然而 DEA 易與其他成分產生化學作用，形成致癌物質「亞硝基二乙醇胺 (NDEA)」，該致癌物容易被皮膚吸收，導致對健康產生不良影響。O'right 歐萊德全系列洗髮精一律不添加 DEA 類增稠劑，讓消費者購買得安心也使用得健康。

無EO環氧乙烷衍生物 EO(Ethylene Oxide)Derivatives FREE

環氧乙烷(Ethylene oxide, EO)為人造的化學物質，可用來製造清潔劑、增稠劑、溶劑等物質，是已存在家庭及個人護理類產品中多年的添加劑，但它卻存在著致癌的風險，人體在高濃度或長期接觸環氧乙烷衍生物後，對於呼吸道、腎和神經系統都可能會造成傷害，因此 O'right 歐萊德堅持不添加環氧乙烷衍生物，為消費者打造健康美好的使用感受。

帶動業界訂立產業新標準增加農民收益促進有機農業發展

為了提升綠色配方，且善盡珍惜地球資源的理念，O'right 歐萊德針對植物活性成分萃取研究，並以台灣在地農產品以及傳統農作廢棄物為研究素材，其中包括有機茶葉、竹葉、枸杞根及咖啡渣、咖啡殼、鳳梨皮等，希望可以透過重新定義農業廢棄物，以創新科技實踐循環經濟的精神，並藉由碳足跡盤點，我們發現原料取得是目前碳耗量占比相對高的部分，因此開始省思是否有更好的方式降低碳足跡，最終我們決定與桃園市當地有機農場擴大合作購買在地原料，除了能支持桃園市有機農業發展，並可減少對進口原料的依賴，進而減少原料在運送過程所產生的碳排放。

O'right歐萊德有機植萃中心通過TAF專業認證防腐測試

O'right 歐萊德持續投入綠色產品的研發，其中最重要的便是充實獨立研發能力，因此不僅在人才培養上建立長遠計劃，更耗費鉅資成立三間獨立研發實驗室，2016年率先通過以國際標準嚴格檢驗的財團法人全國認證基金會(TAF)認證，成為全台第一個以ISO 11930方法通過防腐效能測試的髮妝品公司，證明歐萊德的實驗室效能已達國際標準。針對植物活性成分萃取研究，歐萊德投資高費用採購符合環保的超臨界流體萃取機(Supercritical Fluid Extraction, SFE)，藉此提升植物萃取技術，專研在地農產品的有效成份研究。2014年10月，植萃有機研發中心同仁與我針對枸杞根萃取在皮膚護理或皮膚醫學上的研究，首次發表於英國知名期刊《BMC 補充與替代醫學, BMC Complementary and Alternative Medicine》並受到國際學術界的關注。2016年在咖啡渣研究出對肌膚的保濕功效獲得eCAM醫學期刊肯定 O'right Recoffee Oil 同時收錄於國際化妝品成分命名委員會《國際化妝品成分辭典及手冊》。

卓越的研究成果紛紛受到國際肯定。

以潔淨綠色低碳製程為最高標準的綠色工廠製造出真正綠色產品

除了產品原料的綠色研發，歐萊德更認為只有在真正的綠色工廠製造出來的商品，才能稱作為真正的綠色商品！2010年我們以超高標準投資約新台幣兩億元，歷時二年終於建成歐萊德綠建築總部，其中的歐萊德綠能製造中心是全亞洲第一座綠建築 GMP 化妝品廠。歐萊德綠建築總部依原地形地貌建造，一樓 3/4 位於地層下，使潔淨室不受外在環境影響，將耗能降至最低。使用永續能源，太陽能及風力發電製造商品，並創新使用「PCW 製程降溫節能系統」、「外氣熱交換節能設置」、「半成品快速降溫節能設備」來有效節能省電；公司使用八道程序製成的「超純水」來製造產品，並全程於潔淨度達 10000 級，且落菌數 100 cfu 的綠建築總部無塵無菌室中生產，製程更節能、更低碳、更環保。

歐萊德綠建築總部於 2012 年榮獲台灣「EEWH 綠建築」黃金級認證，是相同面積中的最高等級，通過「綠建築 7 大指標」，包含綠化量指標（大於基準值 3 倍多）、基地保水指標（大於基準值 10 倍多）、日常節能指標、CO₂ 減量指標、室內環境指標、水資源指標、汗水垃圾改善指標。目前廠區已取得「ISO 9001」認證、「ISO 22716 國際化妝品優良製造規範指引」認證、「ISO 50001 能源管理系統」認證、「國家 GMP 自願性化妝品優良製造規範」認證、「ISO 14001」認證、「OHSAS 18001」、「ISO 11930」、「ISO14064」、「ISO 14067」等多項認證，同時更成為化妝品業界第一家取得經濟部「綠色工廠」認證的公司，廠區更獲得「鑽石級建築碳足跡」的肯定。

除了考量到產品製造的安全與永續考量，我們同時重視身在綠建築中生產綠色商品的員工健康，為提供無塵區員工健康，特別設置節能空氣交換系統（Makeup Air Unit，簡稱 MAU），空氣先經過紫外線殺菌後，再透過風管加壓將空氣送至潔淨區，完成潔淨空氣循環。綠能生產區的創新種種把關杜絕任何可能的污染，也因此，相較於一般化妝品多使用高劑量化學防腐劑來保存產品，歐萊德還是能做到只添加最低量防腐劑，保護消費者健康。同時，全面回收的雨水，可運用於噴灌系統、景觀瀑布，有效降低建築物溫度，回收雨水亦可供環境生態池種植水生植物及養殖魚群使用，全面性的考量到包括產品、環境與身處其中人們的健康與安全，以及這片

土地的永續生命。

歐萊德永續創新包裝實踐C2C概念（2002~2017）

2002年~2006年為公司初創期，以代理沙龍及進口專業髮品為主。

2006年確定 O'right 的綠色品牌發展方向，我們啟動「8 FREE」標準的設立與落實，堅持無添加環境荷爾蒙、對羥基苯甲酸酯類防腐劑、甲醛、染色劑、塑化劑、硫酸鹽類界面活性劑、DEA 類增稠劑、環氧乙烷衍生物等八種有害物質，洗髮後的廢水經過 28 天可自然分解，不汙染河川及環境，對地球更友善，並陸續完成產品的環保認證，建立洗髮精產業 8 Free 綠色新標準。

O'right 歐萊德自 2009 年導入 PAS 2050：2008 產品型溫室氣體盤查管理，共完成 400ml 綠茶洗髮精、1000ml 綠茶洗髮精、白茶專業護髮包等三項產品之碳足跡盤查作業，並交由台灣檢驗科技股份有限公司 SGS 完成碳足跡查證，透過碳足跡盤查結果之揭露，掌握產品生命週期碳排放量，在綠色企業使命驅動之下，持續進行溫室氣體排放減量措施，更進而決定參與行政院環保署 2010 年碳中和試行計畫，並於 2011 年達成產品之碳中和檢驗。成為全球第一瓶成功達到碳中和的洗髮精。同年，O'right 歐萊德全產品包材，拒絕使用不易回收且經燃燒會產生戴奧辛的 PVC，我們更不斷致力於環保素材的研發，朝著零廢棄物之路前進，我們更進一步簽署自願性產品減量包裝承諾，成為全台第一批為環境考量而承諾改善產品包裝的企業之一。

2011 年歐萊德以廢棄蔬果與植物中萃取出澱粉經過發酵、去水及聚合等流程，製造出可自然分解的環保塑膠 PLA(Polylactic Acid；聚乳酸)，並於瓶底置入台灣原生種相思樹的種子，瓶中樹的空瓶在使用完畢埋入土壤經脆化、分解可長成一棵相思樹，是全球第一瓶能長出樹的洗髮精，實現搖籃到搖籃 (C2C) 循環概念。創新的理念獲得「德國紐倫堡發明金牌獎」、「美國匹茲堡發明金牌獎」、「瑞士日內瓦發明金牌獎」等三大發明獎，及「德國 iF 設計獎」、「德國紅點設計獎 Best of the Best」等國際知名設計大獎的肯定。

傳統的塑膠瓶蓋無法分解，常被鳥類誤食造成大量海鳥死亡，歐萊德 2012 年以台灣原生的孟宗竹為原料，經由老師傅以傳統的工藝製造出兼具環保及美觀的「天然孟宗竹蓋」取代塑膠蓋，不僅對環境不會造成汙染，而且竹林釋氧量比森林多

35%，是全世界生長速度最快的植物，適度的伐竹可活化林地，維持林地吸碳能力，一公頃竹林年吸碳量為 35-50 公噸。

2013 年 O'right 歐萊德以廢棄咖啡渣為原料，經嚴密的處理程序精萃出咖啡油製成洗髮精內料，剩下的咖啡渣尚再利用，混合 PLA 製成 100% 可生物分解的瓶器，推出 Recoffee 咖啡瓶中樹洗髮精，其瓶色不經染色，自然呈現深淺不一的咖啡色與天然香氛，瓶底特別置入台灣咖啡種子，埋入土中可長出一棵咖啡樹，歐萊德咖啡瓶中樹洗髮精，不論是內料或瓶身都實踐綠色循環，成功扭轉人們對於廢棄物的想法，也讓廣大的消費者重新思考環境永續價值，榮獲「美國匹茲堡發明金牌獎及特別獎」及「德國紅點設計大獎包裝設計及 CSR 大獎」等肯定。

同年，透過經濟部工業局推動水足跡盤查，歐萊德也通過水足跡認證，藉由直接與間接用水的計算，達到水資源永續，為了提升綠色配方，歐萊德機植萃中心於 2013 年成立，針對植物活性成分萃取研究，並以台灣農產品以及傳統農作廢棄物為研究素材，其中包括有機茶葉、竹葉、枸杞根及咖啡渣等，希望可以透過重新定義廢棄物，透過創新科技實踐循環經濟的精神。

2014 年歐萊德首次著手企業社會責任報告書，並選擇依循全球報告倡議組織（Global Reporting Initiative™, GRI）最新的 G4 版指引之核心選項撰寫報告書，除了企圖涵蓋所有利害關係人關心的議題，也希望以更全面的角度，思考將來如何以既有的基礎，進一步善盡企業的社會責任。

同年，歐萊德與大豐環保科技公司以工業循環概念，著手研發更環保的再生塑膠瓶，經過不斷的實驗與改進，終於在 2016 年推出第一瓶以 100% 可溯源再生塑膠瓶為包裝的洗髮精，100% 塑膠瓶的原料為家用品回收後，經清洗、脫水包裝、滅菌處理等流程製成，並經第三方公正單位測試，顯示瓶器不含任何重金屬，一切皆經過安全衛生的把關。並由 SGS 以英國標準協會所發展之 PAS 2050：2011 標準，進行碳足跡盤查認證資料顯示，使用再生料較新料減少約 75% 的碳排放量，藉由 100% 再生塑膠瓶重塑資源新生命，為台灣髮妝業的新革命。O'right 歐萊德更計畫於 2017 年底洗沐產品全面使用此再生塑膠瓶，從此在歐萊德的洗沐品生產鏈中將不再有新的塑料產生，領先全球知名大廠，成為全球第一個洗沐品項全面使用 100% 可溯源再生包裝的髮妝業者。

除了瓶身，O'right 歐萊德更將綠色創意包裝，發揮到瓶蓋以及外包裝。O'right 歐萊德嚴選「FSC 森林管理委員會」認證之紙材製作包裝盒，不使用熱帶雨林或原始林製造的紙材，只使用計劃性種植下有限度的林木資源，同時採用「植物環保油墨」印刷，以減少汙染、降低對自然的破壞。「花草盒」系列產品內更進一步附手工種子紙，其紙張由台灣南投手工紙廠製成，採用茭白筍殼與甘蔗渣農作剩餘物製成，並置入當季花卉種子，埋入土中，便可長出美麗的花朵。

在終端銷售上，歐萊德實踐一貫的環保永續考量，提供美觀且易分解的「芬恩環保提袋」給顧客，使用光降解的材質，在陽光直接照射下，大約三個月可完全分解，不受陽光直射，便可以一直重複使用。一年共減少 150,000 個紙袋使用，相當於種植 1,350 棵 20 年生樹木。在包裝出貨部分，採用可回收的空氣緩衝氣泡袋（材質為 LDPE 4 號回收材質），在標籤材質亦通過 SGS 檢驗，符合歐盟 RoHS 環保認證。出貨用的棧板為 7000 個回收保特瓶蓋所製成，避免瓶蓋因缺乏回收而流入海洋，造成海洋生物誤食而殞命，同時更建立良善的物流制度，規範最低出貨標準，以減少產品運送的碳足跡。O'right 歐萊德確確實實的從上到下、由裡而外，以「自然純淨環保」理念，落實在綠色永續生產、包裝及出貨流程上。

關注綠色永續價值 CSR 活動提升能見度發揮綠色影響力

O'right 歐萊德不僅在產品、服務上堅持綠色永續，同時更關注社會企業與環境永續，以達真正成為一個綠色企業的目標，我們不斷致力於減碳的落實與呼籲，達到社會關懷與環境永續意識的喚醒，更以年度三大 CSR 活動，包括年度淨灘活動、一起種樹及響應世界自然基金會 WWF 發起的「全球關燈」(Earth Hour)60+ 活動的台灣主辦單位，每一個 CSR 參與皆由董事長帶領員工，以企業的影響力發揮環保理念，影響到更多的人。

響應國際淨灘日舉辦員工淨灘活動，推廣環境永續

歐萊德 2008 年開始舉辦員工淨灘活動，藉由響應淨灘、協助推動淨灘以及實際的參與淨灘來永續美好的生活環境，積極鼓勵同仁邀請家屬一起攜手參與，去年起更擴大邀請我們的綠色供應商與沙龍老師一起加入，除了還給大海一個乾淨美麗的海岸線、防止海中生物誤食垃圾，也希望透過身體力行維護自然生態，為守護地球環境盡一份心力，以實踐身為綠色企業的社會責任。

「一起種樹去」，推廣減碳重要性與造林保育

O'right 歐萊德為持續推廣造林保育和降低地球排碳量，三度與「台大實驗林」合作。2011年與1,569家美髮沙龍共同投入「20年期」計劃，種下528棵樹苗；2013年繼續與1,067家美髮沙龍共同投入「6年期」計劃，種下322棵樹苗，2016年投入「6年期」計劃，種下1500棵樹苗，歐萊德推動種樹活動累積至今已認養種植2,660棵樹，每年並持續認養達3.561公頃（相當於每年減少29,260kg碳排放量，為台灣再造綠海家園。

關燈六十台灣主辦連續七年發揮綠色影響力

2011年O'right歐萊德首度拋磚引玉，在台灣發起美髮業「Earth Hour 關燈1小時」，宣導關閉店內主要電源和招牌燈，全國共有3,864家美髮沙龍業者共同響應，為地球降溫。2012年開始擴大規模與台灣荒野保護協會合辦，邀請國內外客戶共同響應關燈1小時，每年平均帶動全國近5,000家美髮沙龍業及將近10,000個設計師響應環保公益，一起節能減碳。2013年首度發起名人倒數來協助宣傳Earth Hour，許多知名藝人和各界重要人士都紛紛加入響應行列。

統計顯示至2016年台灣區Earth Hour活動節電已累積超過45萬度，相當於減少近24萬公斤的二氧化碳排放量，等同於為地球種植21,559棵大樹。我們的國際經銷商也因為歐萊德強烈的號召力而陸續加入響應，包含馬來西亞、新加坡、菲律賓、丹麥、英國、白俄羅斯、波蘭、奧地利、荷蘭、義大利，每年參與響應之國外沙龍達數百間，影響層面不只是成功帶動海內外美髮沙龍業者齊聲響應，綠色影響力更讓許多人承諾願意在生活中力行隨手關燈，以具體的行動為地球降溫。

不只是綠色的創新、實踐者

更期許在永續教育上發揮淺移默化綠色影響力

O'right 歐萊德以「綠色永續創新」為重要品牌價值，並以各種細節溝通綠色理念，包括綠色研發的構思、綠色原料的採用、綠色包裝的設計、綠色工廠的根基、綠色生產與物流服務的落實、綠色驗證的肯定及綠色行銷的發展等，以提供綠色產品、綠色服務、同時輔以實際CSR作為同步關心社會利益與環境利益，達到一個真正的「綠色企業」。

我們堅信綠色創新將是企業永續發展必須且無可替代的康莊大道，透過最高標準的自我要求之外，讓每一個創新服務都和綠色環境教育建立起關係，如公司總部的綠建築參訪，將綠色影響力潛移默化上千個企業、學校、政府機關等團體，或者是國內外大大小小的座談會及演講，我們將持續發揮自身的影響力，引領更多的企業與我們的下一代一起投入「綠色創新」，減少資源消耗，降低污染，創造環境、社會與經濟的綠色永續價值，讓更多人加入永續地球環境的美麗，共創一個更美好未來的目標。

紡織產業轉型循環經濟 之經驗分享

曾一正 資深經理
宏遠興業股份有限公司

宏遠於 1988 年開創紡織事業，致力於開發對人類與生態無害的紡織品。從紗、平織、針織、染整、後加工，乃至成衣廠，產線垂直整合，是台灣最具規模的一貫化專業紡織廠。

宏遠為全球運動品牌 Nike、Decathlon、The North Face、lululemon、Columbia 等之主要供應商。於生產面，宏遠透過多元性之技術、優異機能性之表現，因應市場趨勢變化；於產品面，宏遠並致力開發對人類及生態無害的紡織品，創造「衣的安全」。將流行 Fashion 結合功能 Function，人文與科學的融合創新，成為國際知名運動品牌顧客的重要合作夥伴。

宏遠的價值主張是「與利害關係者創造共享價值」，打造為員工、顧客、供應商、股東、社會與環境「六方皆贏」的自覺企業。宏遠的理念是生產生態友善的布料來減少對人與環境的衝擊，同時維護員工權益，打造永續、健康的幸福職場，透過落實價值主張的做為，獲得經濟、社會、環境三重盈餘。宏遠多年來推動永續發展模式，在不斷的修正改進下，形成了一套「荷包蛋哲學」，此乃經濟、環境和社會三面向融合在一起、互為依存，期望企業本身要獲取「三重盈餘」，而非獲取某一面向的盈餘，卻犧牲了其他面向，此需藉由企業的能量，將永續的理念更徹底的執行，同時要跳脫單一企業的觀點，以產業和社會的觀點來創新創業，扮演社會的永

續領頭羊，帶領整體產業及社會朝向更加永續。



圖1 宏遠創新永續的「荷包蛋」模型與哲學

推動循環經濟可視為邁向永續發展的重要路徑，歐盟環境總署並將循環經濟與綠色經濟的概念相提並論，認為循環經濟關注的面向是朝向綠色經濟的重要起點，在其 2016 年所發表「歐洲循環經濟：發展知識庫」報告中談到，循環經濟關注的焦點於廢棄物處理、廢棄物預防與資源使用效率，當循環經濟關注的範疇延伸至生態系統，強調建構韌性的生態系統並開創人類福祉，此則為綠色經濟的精神。宏遠推動循環經濟是依循歐盟的循環經濟模式，做為循環經濟的藍圖。

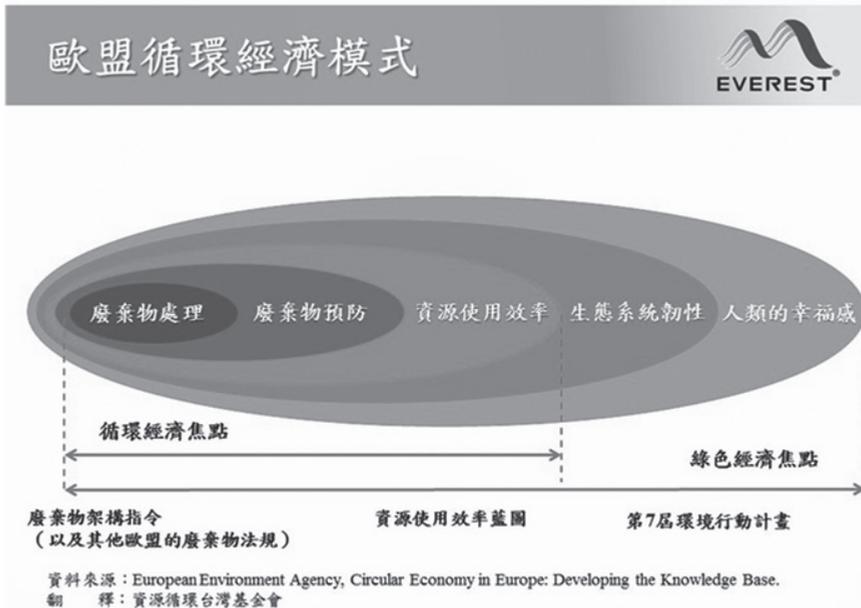


圖2 循環經濟與綠色經濟關注的焦點與範疇

宏遠從2007年啟動「ESM永續發展模式」(Everest Sustainability Model, ESM)，以7R原則及「荷包蛋哲學」，把經濟、環境和社會，融合在一起，推動「三重盈餘」的循環經濟。

一、 ESM推動三部曲：

在低垂的果實、科技的方法與模式的改變等三個面向持續有不同的成果展現。低垂的果實是由企業內部已實施的環保措施著手改善，因為奠基於先前之良好基礎，因而短期可以看出成效，其成果包括利用自然通風採光改善工作環境、浮力通風、織布廠織布水回收85%、織布廠由不鏽鋼綜絲改為塑膠綜絲，以及染整廠鹼水中和燃煤鍋爐排氣為硫酸自用等。

科技的方法主要是運用進一步的技術與科技方法，將現有製程中的設施與節能減碳之技術升級，並著手於工廠環境之園區改造與產品之創新，藉以得到跳躍性的生態效益，包括全廠使用水簾，停開冷氣、建置生態工業園區、宏遠的生態創新產

品、染整廠退漿機節能設備、染整廠更換節能染色機、空壓設備節能，以及建置DMF回收再利用系統等。

模式的改變則是重新思考，改變既有的經營模式，提升資源整合效益，成為生態型企業，已完成的成果包括事業廢棄物變綠建材：ESM環保磚通過綠建材認證、通過瑞士 bluesign® 認證、成為台灣第一家紡織業 SA8000 認證、成立幸福台灣 EverSmile 社會型營利事業、自辦展凝聚產業群聚 - 投資台灣永續經營，以及 CSR 報告書 - 與利害關係人溝通共創多贏。

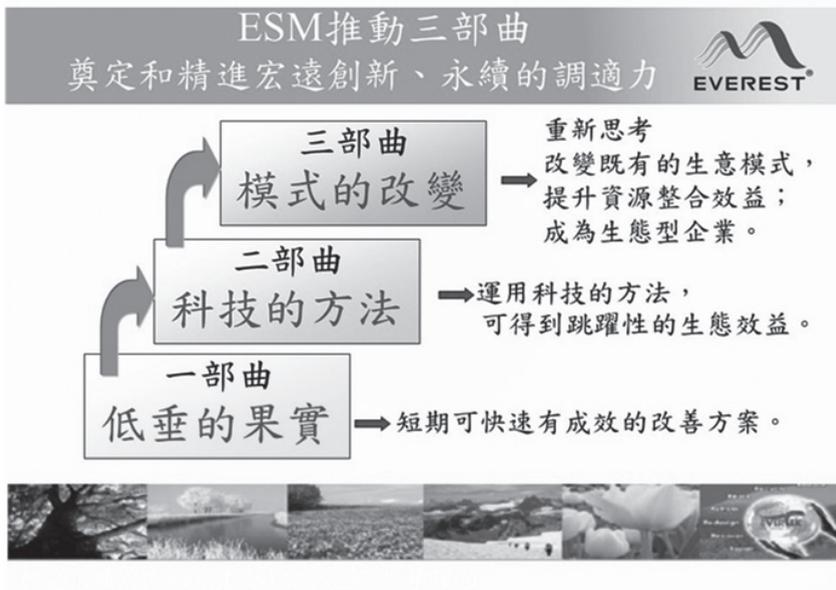


圖3 ESM推動三部曲

以下針對各面向的現況與成果加以案例說明：

(一) 低垂的果實：

1. 利用自然通風採光改善工作環境/浮力通風

宏遠永續發展模式以生態設計節能減耗，利用自然通風採光改善工作環境。宏遠善用浮力通風原理，讓熱空氣上升，透過上方太子樓，導出室內的熱空氣。宏遠向大自然學習，善用綠建築原理，打造會呼吸的廠區。



圖4 生態設計之自然通風採光的工作環境

2. 織布廠織布水回收85%

在水資源管理的實踐上，最亮眼的成果為織布廠的織布用水回收再利用，宏遠的綠色廢水處理系統是以生物處理概念為基礎，處理廢水並提升污染處理能力，降低環境負荷，希望達到化學零加藥的目標。針對較低濃度的織布廢水(190cm 與 230cm 幅寬) 進行水資源處理回收再利用，處理方法分為化學加藥(PAC, 多元氯化鋁) 處理法與好氧生物活性污泥法。織布廠中處理織布端所產生之油蠟廢水，主要採用生物活性污泥法處理，經沉澱後再以砂濾塔處理進行回收再利用。織布廠進行的廢水回收系統中，化學法的水回收可以達到 900 公噸，回收率 75%；生物法的水回收 950 公噸，回收率 86%，整體而言，織布用水再回收量每日可達 1,850 噸，回收率約 85%。

3. PVA/液鹼回收再用

在退漿廢水處理方面，以經處理後之聚乙烯醇(PVA) 廢水排入，與高濃度壓克力退漿廢液兩股混合為主。先以化學浮除後，再引入生物污泥系統處理後經沉澱池

固液分離並進行放流。處理過程並進行液鹼回收再利用，節省藥劑並減少污染。

4. 染色機用水回收再利用

染色機用水回收再利用包括：1. 將 Nylon 排液熱水洗及皂洗水回收，運用於染 PET 黑色及丈青色布種。2. 將中淺色系 RC 及水洗排液回收，運用於漂缸、剝色、RC 重修及水洗。透過全自動控制系統控制用水及污水排放，並減少廢水處理。評估此效益包括每日回收再利用水量可達約 160 噸，年節省水量約 4.8 萬噸，年減少碳排放量約 29.3 公噸 CO₂。

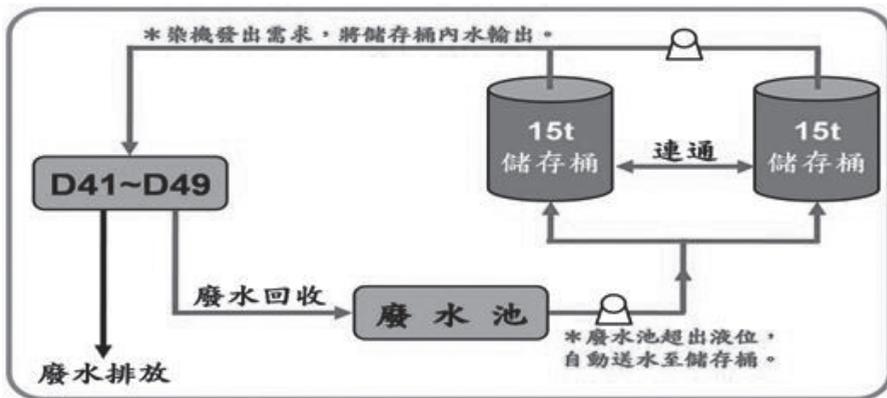
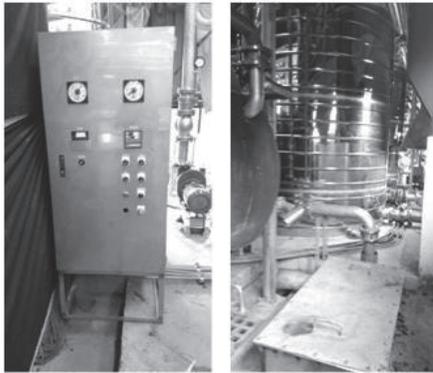


圖5 染色機用水回收再利用改善流程圖

5. 織布廠由不鏽鋼綜絲改為塑膠綜絲

近年來隨著人力成本與、油電價格之上漲，企業開始思考引進節電節能設備與

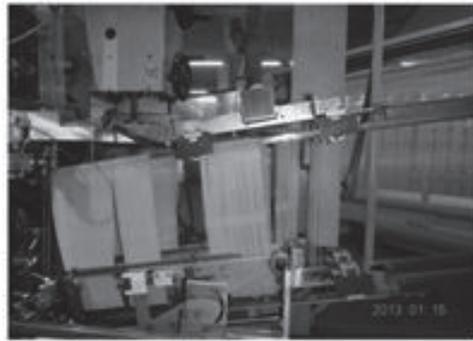
高效能設備來提升人工生產力，將織布廠噴水織機不鏽鋼綜絲更改為塑膠綜絲，有效降低廠內之能耗與電費成本。

更換塑膠綜絲節省之費用說明

更換項目	不鏽鋼綜絲 2.8元/支	塑膠綜絲 0.5元/支	價格差異	每年替換量 100萬支
成本節省	280 萬元 / 年	50 萬元 / 年	2.3 元 / 支	230 萬元 / 年
電費節省	2,689 萬元 / 年	2,606 萬元 / 年	重量輕 1/5	83 萬元 / 年



改善前-不鏽鋼綜絲



改善後-塑膠綜絲

圖6 織布廠由不鏽鋼綜絲更改為塑膠綜絲

(二) 科技的方法：

1. 全廠使用水簾，停開冷氣

自 2008 年起，宏遠全球三廠關掉冷氣空調。以織布廠為例，全廠關閉冷凍主機，廠房四周種植爬藤，矮樹形成綠色窗簾，阻隔熱空氣進入車間，在牆壁裝置水簾牆，利用負壓原理，安裝排風扇將車間熱空氣排出，同時加裝噴霧系統降低溫度，提高相對濕度，保持生產現場的溫度在 28-30 度之間。具體作法包括：

- (1) 關閉冷凍主機
- (2) 關閉送風機(一台耗能489kWh，計35台)、迴風機(一台耗能478kWh，計30

台)、噴霧器(一台耗能306kWh,計17台)及冷卻風扇(一台耗能108kWh,計8台)

- (3) 以水簾配合抽風扇引入冷空氣達到自然降溫的效果,透過織布廠使用水簾後,評估其效益包括一年可節省6,000萬元之電費,減少之碳排放量為4,810公噸CO₂/年。



圖7 織布廠使用水簾系統圖示

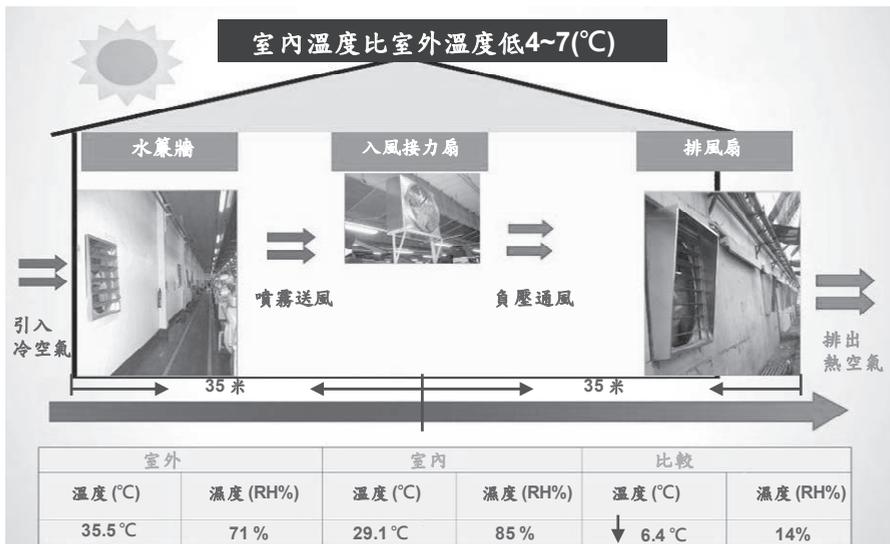


圖8 織布廠的自然降溫系統圖示說明

近年來持續向外學習，結合綠色建築的概念，改造廠內外環境，保持工作場所的舒適感，停開冷氣空調，將織布廠打造成節能通風鑽石級的綠建築。

2. 建置生態工業園區、鑽石級綠建築與宏遠自然蔬果教育農莊

宏遠逐步改造全廠成為生態工業園。第一階段主要以『節能減碳』為主軸，宏遠公司每年進行溫室氣體盤查，持續追蹤溫室氣體排放量及來源，依據盤查結果，進行評估溫室氣體減量優先順序，主要產生來源的鍋爐，已使用潔淨燃煤技術的設備，增加鍋爐效率及減少燃料使用量。宏遠積極打造綠色生態工業園區，廠區內廣植原生植物，設置透水鋪面，提供生物多樣性的空間，並進行碳吸收以利 CO₂ 減量及減少廠區熱島效應。在廠內的辦公區域，採用綠色節能的自然風空調，減少冷氣空調能源耗用。整體園區在溫室氣體排放減量上呈現相當良好的成績。透過廠區環境的整體改造，宏遠於 2012 年取得綠色工廠的標章，加工紗廠和織布廠也獲得鑽石級綠建築認證。2013 年通過生態社區銀級認證，成為台灣第一家通過生態社區認證的紡織企業。

宏遠運用「秀明自然農法」種植蔬果，並建置「宏遠自然蔬果教育農莊」作為永續農業的教育園區，拓展在地的幸福經濟。「宏遠自然蔬果教育農莊」所生產的蔬果，因不用農藥也不用有機肥料，雖比不上慣行農法產量大、賣相好，但因生長週期長，相較於一般蔬果具有天然礦物質味道，且因實踐自家採種，無基因改造問題。



圖9 宏遠紡織生態工業園



圖10 宏遠自然蔬菓教育農莊

3. 寶特瓶環保聚酯纖維 (Bottle to Fiber)

使用「回收的寶特瓶」再生為酯粒，100% 回收寶特瓶片抽絲成再生紗，製成假撚所需的原料，再利用各種加工技術，製成各種環保加工紗。寶特瓶的原料與衣著用的聚酯纖維，都是裂解石油的衍生產品，廢棄的寶特瓶經回收清洗後，製成瓶片，再經物理法或化學法再生製成酯粒，最後抽製成紗，製作各種與生活息息相關的綠色紡織製品，而其特性與一般聚酯僅有些微的不同，可以取代使用。

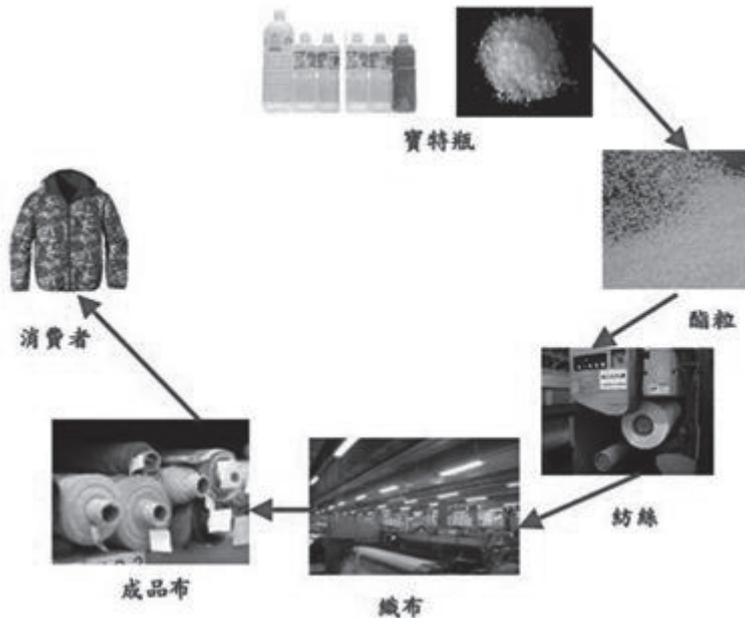


圖11 寶特瓶再生聚酯纖維創造綠色紡織製品

4. 環保尼龍纖維 (Recycle Nylon)

「回收尼龍纖維廢棄物」再抽成紗線來利用。宏遠在衣著布料上，早已針對兩項用量最大的合成纖維原料—聚酯與尼龍 6 (Nylon 6)，回收紡織製程中的廢棄物並再度利用。其中，Nylon6 棄邊紗或廢紗，也與協力廠商合作再製成纖維，經過加工織造成布。其特色有三點：(一) 纖維特性與一般尼龍 6 纖維相同，並且符合環保訴求；(二) 回收屬物理性回收技術，能有效運用資源及降低二氧化碳排放；(三) 加入色母粒，節省染整時間，及廢水、能源、化學品的耗用。

5. 空壓設備節能-使用變頻空壓機，降低瓶頸壓損、超音波防漏檢測

空壓設備節能包括假撚廠與染整廠，假撚廠採取措施為空壓機壓力系統高低壓分離，降低瓶頸壓損，並進行超音波防漏檢測；染整廠的空壓設備節能措施為定型機烘箱馬達加裝變頻控制，以及空壓機加裝變頻設備節能。定型機烘箱循環馬達加裝變頻器控制馬達轉速，可依需要調節適當風量，估計其效益約年省 40.6 萬元，另外，排氣馬達加裝變頻控制使熱值減少排放，馬達轉速降低，節省用電，估計其效

益約年省 9.6 萬元，並減少碳排放量約 699 公噸 CO₂。空壓機加裝變頻設備節能則是以更改為變頻控制來驅動空壓馬達，以達到降低馬達在低負載或壓力下降過程中所造成的浪費，降壓是將空壓壓力由 6kg/cm² 降為 5.2kg/cm²，同時採取全場環狀及空壓統一調度，並以電表監測用電，估計其效益約年省 42 萬元，並減少碳排放量約 32 公噸 CO₂。

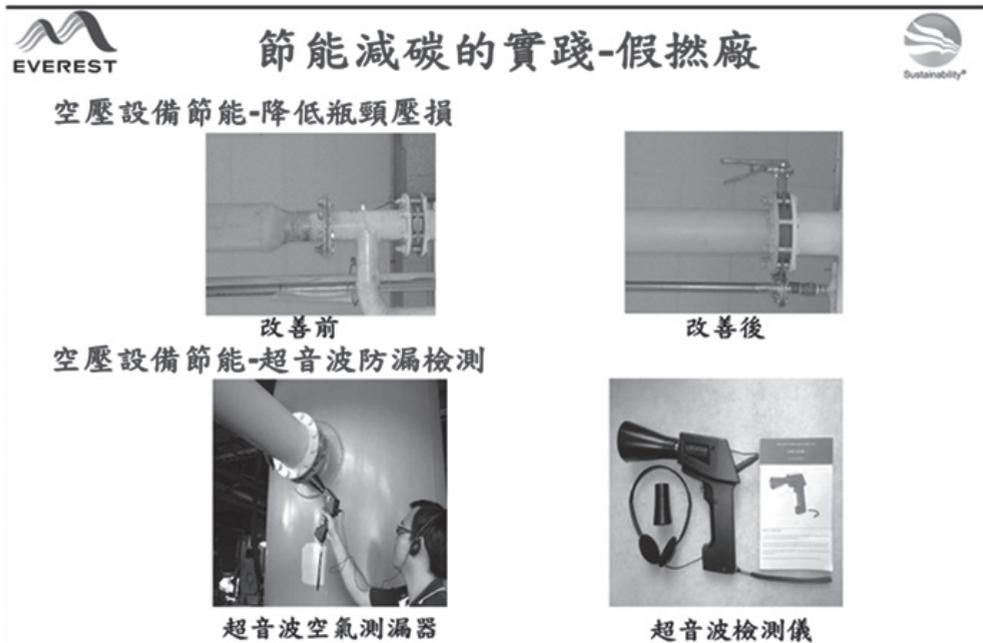


圖12 超音波檢測

6. 建置DMF回收再利用系統

基於化學藥品源頭管理和減量，宏遠投資二甲基甲醯胺 (DMF) 精餾回收系統，共計投資 110 萬美元，DMF 的回收效益達到 90% 以上。透過塗佈貼合製程的廢氣集中於水洗塔處理後，收集 DMF 廢液加以回收再生，不僅節省 DMF 廢液處理成本、降低購置原料成本，同時也減少製程中之 DMF 對作業員工產生的健康危害風險。

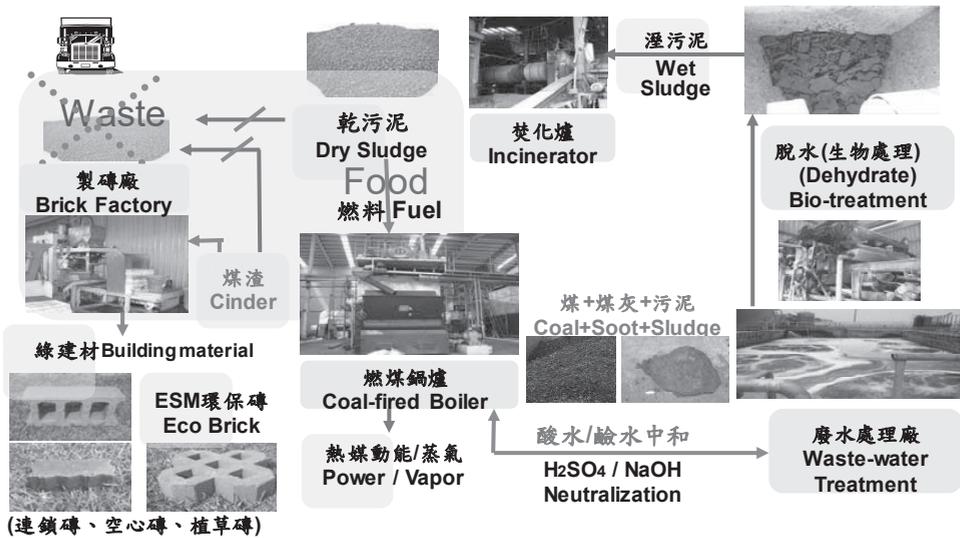


圖13 DMF回收系統

(三) 模式的改變

1. 事業廢棄物變綠建材：ESM環保磚通過綠建材認證

2008年落實環境永續的理念設立環保磚廠，用從搖籃到搖籃（廢棄物=食物）的觀念，將廢水處理後的高熱質之生物污泥，經焚化爐烘乾並混合煤炭充分攪拌後作為燃煤鍋爐的燃料，此可節省10%的燃煤用量。燃煤鍋爐每日運作約會產生10噸的煤渣，由於煤渣特性無毒、無害，且適合製成水泥製品，因此宏遠透過「特製精密高壓成型製程」，將原先需耗費高額清運費用的廢棄物-煤渣，製作成植草磚、連鎖磚和空心磚，2011年陸續申請並獲得內政部綠建材標章及低碳建材標章雙認證，所謂綠建材標章是指利用再生材料（燃煤鍋爐的煤灰）製成無毒、無害的水泥製品，同時符合國家標準A級品。所謂低碳建材標章乃是與相同功能之一般基準建材相比之下，在相同生命週期中明顯排放較少溫室氣體之一種建材，在原料及製程上更能節能減碳。宏遠環保磚的銷售獲得國內多項工程採用，並成功外銷美國關島做為房屋綠能建材的使用。2016年宏遠接續設置廢環保磚回收設備，將環保磚製程所產生的廢棄物回收製成混凝土粒料，全部再利用。宏遠落實廢棄物資源化，不僅可拿來自用，代替柏油鋪設成透水鋪面，更對外販售，兼顧經濟、環保的企業社會責任。



2. 瑞士bluesign®認證

bluesign® 製程標準是國際知名嚴格環保標準，為全球許多紡織供應鏈廠商所採用，其對紡織產業的環境、健康與安全的全面性管理，獲得 Huntsman TextileEffects 及 Clariant International Ltd. 等化學產業龍頭及眾多知名成衣品牌商支持，bluesign® 驗證五大原則包括：

(1) 資源生產力

謹慎使用最少之能源與資源，以對環境最低衝擊之方式，來生產高品質和高附加價值之紡織品，達到生態和經濟目標。

(2) 消費者安全

強制性要求對健康無害之高品質紡織品，並且確保生產過程遵照永續原則，為人類和環境負責。

(3) 廢氣排放

藉由能源使用最佳化來降低二氧化碳排放，並且要求整個生產鏈嚴格遵守廢氣排放標準，以減少空氣污染，讓氣候更好。

(4) 廢水排放

藉由對生態無害之物料、最佳化生產和廢水處理方式，來保護整個水循環。目標是將淨化的廢水進入自然循環，盡量減少對河川及海洋的污染。

(5) 職場健康與安全

遵照嚴格規範以保護紡織從業人員的健康與安全，並檢測現場的弱點，依據所使用之化學物質的潛在風險，實施強制性職業安全措施。宏遠於 2007 年正式獲得驗證，成為 bluesign® 系統合作夥伴，顯示宏遠具備產業競爭的優質潛力，和有效管理節能減廢的能力。



圖15 瑞士bluesign®認證標準

3. 台灣第一家紡織業SA8000認證

SA8000 是國際最具公信力的 CSR 認證，依據國際勞工組織公約、世界人權宣言及聯合國兒童權益公約，經由社會責任國際組織 (Social Accountability International, SAI) 所訂定，其宗旨是確保生產商及供應商所提供的產品皆符合社會責任的要求，宏遠為台灣紡織業第一家通過 SA8000 社會責任國際標準系統的紡織公司。宏遠遵循 SA8000 宗旨「確保生產商及供應商所提供的產品，皆符合社會責任的要求」以成就永續經營承諾，宏遠同時秉持「以人為本」的原則，於 2010 年成為全台灣第一家通過 SA8000 社會責任管理系統驗證之紡織企業，顯示宏遠對員工權益的關懷與重視。

4. 成立幸福台灣EverSmile社會型營利事業

「幸福台灣 EverSmile」是宏遠永續發展策略中，為了社會永續而特別成立的社會型營利事業。每個月將 1% 的營業額回饋給台灣弱勢及環保團體，創造台灣在地幸福經濟。「幸福台灣 EverSmile」係採用宏遠供應全球知名運動、戶外休閒和流行時尚品牌的高科技環保布料而自創的服飾品牌，並定位為「無毒環保低碳機能服飾專家」，宏遠「幸福台灣」為創造台灣在地就業機會，並因應大部分成衣廠外移，而成立成衣廠，提供在地居民就業機會，且活絡台灣成衣產業鏈與市場，以培育成衣技術人才、強化精實生產。透過員工培訓及專業訓練，培養多元化製衣技能。

5. 自辦展凝聚產業群聚-投資台灣永續經營

宏遠自辦展及紡織價值鏈研討會是透過宏遠同仁秉持「誠信、團隊、堅持、創新」的態度下，自 2013 年起舉辦第一屆自辦展，一屆一屆順利地進行，並獲得良好的迴響。宏遠藉由自辦展讓內部同仁與外界有更緊密的互動，也讓利害相關人進一步了解宏遠的努力與成果，朝向凝聚產業群聚以及獲得經濟、社會、環境三重盈餘的目標邁進。自辦展參與人數歷年來都逐年上升，代表外界對於宏遠自辦展的肯定，透過自辦展，宏遠彰顯企業「與利害關係者創造共享價值」的價值主張，並期許自我打造成為員工、顧客、供應商、股東、社會與環境「六方皆贏」的自覺企業 (sustainable conscious enterprise)。葉清來總經理認為透過自辦展可以將善的種子傳播出去，與各種利害關係人「利他」精神交織成網，擴大漣漪效應，進而貢獻社會、改變世界。

6. CSR報告書-與利害關係人溝通共創多贏

宏遠自 2010 年起，遵循 GRI 指標，發行宏遠永續經營報告書(2015 年依金管會與證期會規範，更名並發行 2014 年企業社會責任報告書)，透過永續經營報告書呈現宏遠的價值、策略與願景，在「超越極限、挑戰自我」的核心價值下，宏遠期許朝向數位化的目標邁進，轉型為一個智慧紡織企業。宏遠在報告書中彰顯宏遠自 2014 年底啟動宏遠 4.0 計畫。2015 年並從台灣廠開始，完成自動化染料和助劑秤料與輸送系統，以及染機、定型機的中控系統，織布廠和加工紗廠也完成可監測和控制的中控系統，以此提高品質和生產力。而在工廠面的下一步，即是往最佳化和自主性的大數據分析與人工智慧學習，以充分發揮智慧化的優勢，也將因為大數據、智慧化、雲端化與行動化等新科技系統的級數成長與演進，宏遠也自我期許加速建構宏遠智慧營運與整合產業價值鏈的能力，並促進台灣紡織業的轉型升級。宏遠永續經營之道，在於與利害關係者創造共享價值，獲取經濟、社會、環境三重盈餘，打造成為員工、顧客、供應商、股東、社會、環境六方皆贏的永續自覺企業。不因為只顧一方的盈餘，而讓其他方受損。宏遠是社會公共財，除了賺錢，期許創造更多的社會效用，致力成為社會價值企業。

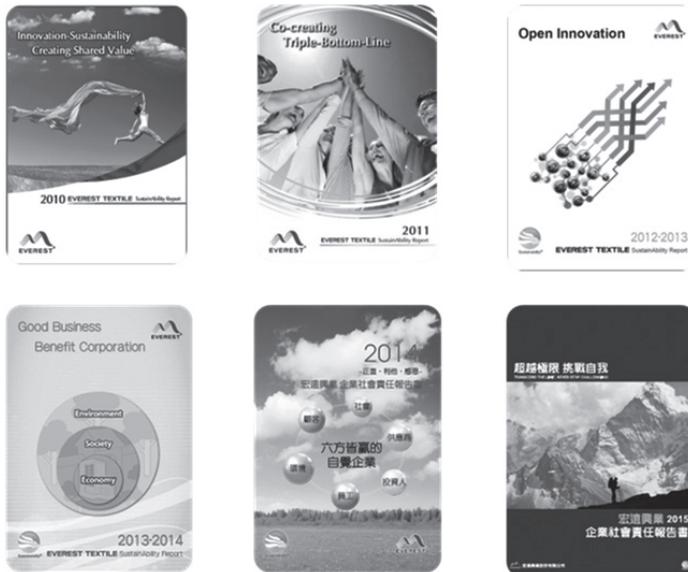


圖 16 宏遠歷年企業社會責任報告書(2014年之前定名為永續經營報告書)

二、 結語

宏遠自 2007 年開始推動「宏遠永續發展模式 (ESM)」，透過重新思考 (Rethink)、重新設計 (Redesign)、減量 (Reduce)、重複使用 (Reuse)、修復 (Repair)、回收 (Recycle) 及再利用 (Recovery) 等 7R 原則落實在製程運作、產品、廠區環境、產業供應鏈、組織文化與社區環境中，逐步朝向永續企業的目標前進。回顧近十年的努力，宏遠在製程、機台設備改造、減廢、廢棄物資源化等項目，力求節能減碳、源頭管理，並透過師法自然，改造舊廠區成為綠建築，營造生物多樣性的紡織廠環境，致力建構系統性的生態園區。第一個永續十年的結束，宏遠在「廢棄物＝食物」源頭管理的實踐中，藉由系統性地重新設計創造出極獲外界好評的「環保磚」，2011 年並獲得內政部綠建材標章及低碳建材標章之認證，宏遠接續並朝向 2020 年零排放 (Zero Emission) 的目標邁進。

面對第二個永續十年的起頭，宏遠期許將循環經濟、里山資本主義等新思維的經濟型態納入企業運作的思考及實務的範疇。宏遠要深根台灣、放眼全球，與利害關係者創造共享價值，獲得經濟、社會、環境三重盈餘，善盡企業社會責任。一切從善和利他出發，以創新、永續、智慧、精實，貢獻社會、改造世界，讓世界更美好。



ESCO 產業服務模式與 案例分析

陳輝俊董事長
元福實業股份有限公司

摘要

本文主要介紹 ESCO 產業於能源管理的服務模式，並以實際案例分析說明能源用戶透過能源管理的方法降低年度電力費用，同時導入國際節能績效量測與驗證機制，使能源用戶及 ESCO 業者達到雙贏的局面。ESCO 產業服務模式從過去傳統的節能績效指標，經導入國際節能績效量測與驗證協定 (IPMVP) 及能源管理系統 (ISO 50001)，進而協助能源用戶將能源管理的模式與國際接軌，而近年來因資通訊技術發展快速，各國關注的重點已聚焦於雲端大數據 (Big Data) 的分析，將能源管理進一步的推動至動態可視化的能源管理，透過即時全方位的數據決策，可協助用戶找出創新的商業模式，進而朝向永續經營循環經濟的發展。根據案例分析結果顯示，某工廠導入雲端能源管理系統後，可減少一台 100HP 空壓機的開啟，進而降低年度電費逾 182 萬元 / 年；另一案例則協助某真空成型包裝工廠，於製程最大耗能處，透過雲端能源管理系統的導入調整其能源使用行為，其節能效益為 76 萬度 / 年，以每度 2.17 元計，則每年節省能源費用為 164.92 萬元 / 年。由案例分析結果可知，大數據分析是透過動態數據分析進行決策，唯有以數據的決策方式才能達到真正的最佳化及精準度。

關鍵字：ESCO、節能績效指標、量測與驗證 (M&V)、雲端能源管理

一、前言

自工業革命以來，化石燃料大量被使用，導致二氧化碳、氮氧化物等溫室氣體急速增加，造成全球溫度上升與氣候變遷加劇，對於自然生態及人類健康造成負面衝擊。近年來國際能源價格大幅飆漲，石油和天然瓦斯短缺對台灣之發電成本造成極大衝擊，於2016年，台灣的進口能源比例已達97.95%^[1]，為了避免溫室氣體之衝擊與能源缺乏之窘境，需藉由開發潔淨綠色能源與節約能源兩方面著手。但開發一單位潔淨能源的成本遠比節省一單位能源的成本還要昂貴，因此透過節約能源的技術降低發電成本以及溫室氣體的排放量，對台灣能源供應市場而言更是勢在必行。

我國於2008年6月5日通過「永續能源政策綱領」^[2]，政策目標分別為提高能源效率、發展潔淨能源及確保能源供應穩定。在提高能源效率部分，未來8年每年提高能源效率2%以上，能源密集度則於2015年較2005年下降20%以上；在發展潔淨能源部分，二氧化碳排放量，於2016至2020年間回到2008年排放量水準、2025年回到2000年排放量水準，長期預計於2050年回到2000年排放量50%水準，2025年發電系統低碳能源比由40%提升至50%；在確保能源供應穩定的部分，則訂定需建立滿足未來3年經濟成長率6%的能源安全供應系統。永續能源政策綱領的通過，代表台灣已做出國際承諾，也代表台灣在節能減碳的目標上已與世界趨勢接軌。

在節能的執行方法中，主要有三種途徑，分別為設備節能、操作/控制節能及管理節能等(如圖1)，其中設備節能大部分是針對公用系統如空調、空壓、照明等，但目前現況有如擰毛巾一般，已經到了某個瓶頸，需有新的材料或新的技術才有可能再有進一步突破；另一方面，對於操作/控制節能部分，目前也著重於公用設備的操作控制佳化，這主要的原因是因為製程設備或系統的控制往往與生產連結，要是稍有落差，對於生產的損失，較無法承擔所致，且控制節能的效益較無法顯現，同時操作控制節能需有深入的經驗累積才可獲得相關的效益；管理節能是目前各企業及用戶可以執行的方向之一，最主要的原因是用戶可透過能源管理的方法，找出相關的耗能因子，進而協助能源用戶進行改善調整，同時獲得能源成本的降低及系統運轉的最適化等效果，對於用戶來說也許僅需進行微調就可以獲得可觀的效益，因此各企業值得投入相關的資源，以有效的能源管理獲得較佳的效益。

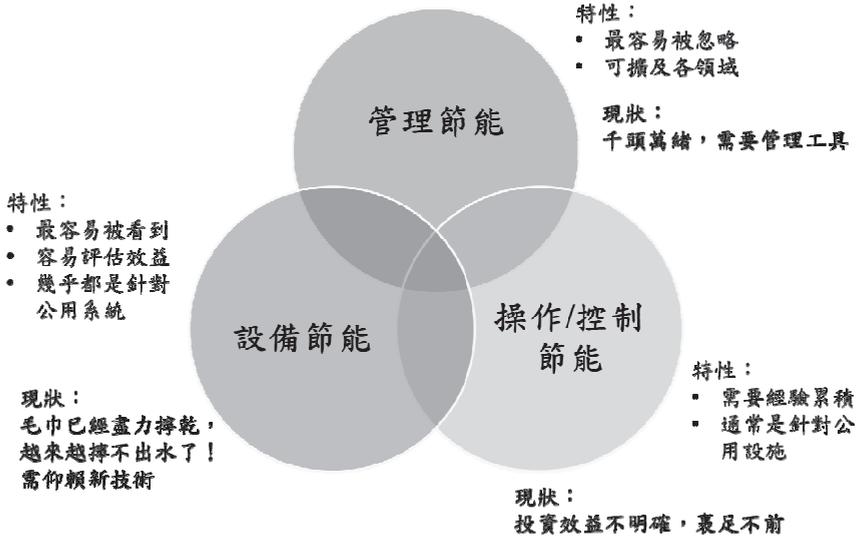


圖1、節能的途徑

我國為達成相關的節能減碳目標，除了節能技術的發展與推動外，已透過導入能源管理的模式，協助能源用戶以自主節能與持續改善的方法，促使企業可達到永續發展、經濟循環之目的。以下本文首先將介紹能源管理模式的變革，並透過實際的雲端能源管理系統導入節能效益分析，使讀者進一步的了解大數據分析的成效，進而使各用戶、企業皆可仿效，並邁向永續循環經濟的發展。

二、 ESCO產業服務模式介紹

我國 ESCO 產業服務模式的變革如圖 2 所示，過去為了有效的執行能源管理的工作，我國訂定了各項耗能設備的節能績效指標，如冰水主機能效標準或服務業 EUI 指標等，然而節能績效指標是訂定一平均的標準值，而各能源用戶的條件皆不一致也不盡相同，若透過節能績效指標的能源管理，僅能進行初步的能源消耗比對，了解自身能源耗用的情況，對於更深入的節能改善，甚至是維持節能績效，則需藉由導入國際節能績效量測與驗證 (International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP) 及能源管理系統 (ISO 50001, Energy Management

System)，讓能源用戶透過與國際接軌的能源管理系統模式，將能源管理的方法進一步的落實於相同條件下能源消耗的比較，使節能量可實際的被量測與驗證，達成「訂定目標，持續改善」之目的。

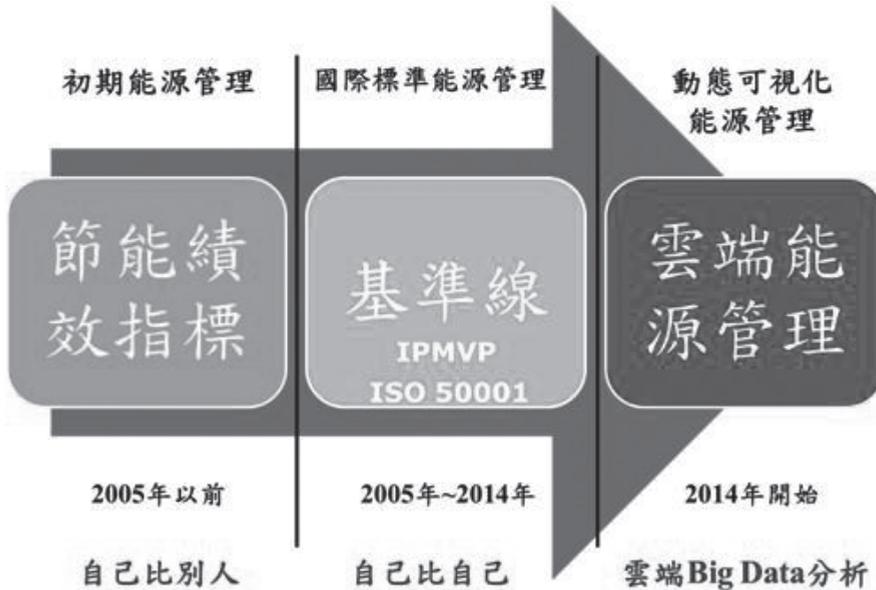
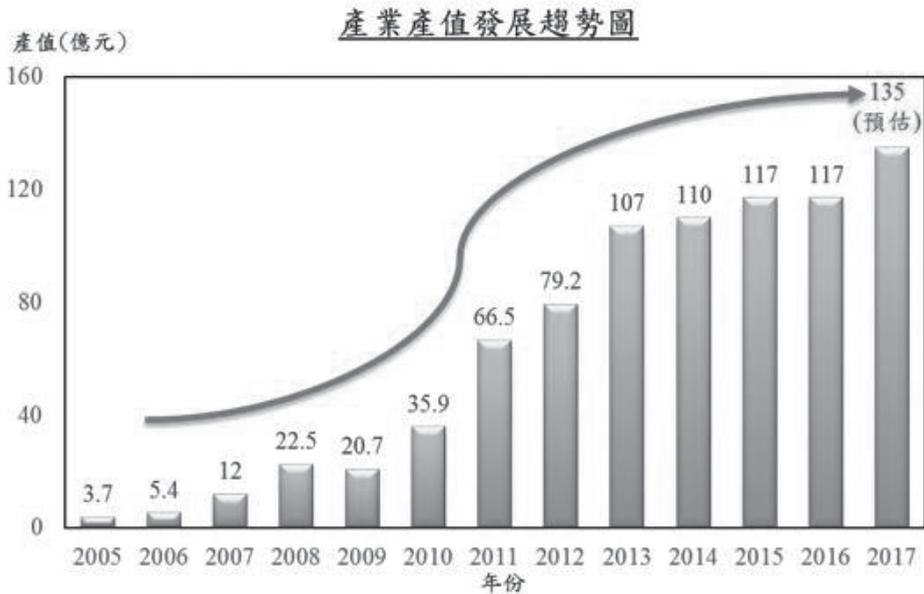


圖2、ESCO產業服務模式的變革

在政府大力推廣與支持下，我國 ESCO 產業的產值逐年遞增，2016 年已達到 115 億元，如圖 3[3]。然而，目前 ESCO 的服務模式，還是有許多待解決的問題，例如 ESCO 廠商的收費模式，主要以節能績效量測與驗證的成效做為收款的依據，當執行年限及承案量增加時，也使 ESCO 廠商資金缺口擴大，進而成為 ESCO 業者的壓力所在；另一方面，節能績效量測與驗證改善前的基準線，因改善後實際的設備已不存在，若無法有效的建立出完整的基準線，將造成節能績效量測與驗證專案執行的困難；第三則是因為節能績效保證專案結束後，能源用戶對於耗能設備的維護保養並不重視，使得節能績效無法維持，進而減少節能的效益；第四則是當 ESCO 業者提出改善建議時，往往需要大筆的資金，雖可採用 ESCO 模式逐年攤還，然而對於能源用戶來說，無法立即決定是否投入節能專案，常有延誤執行的困難，其主

要原因是能源用戶及 ESCO 業者彼此間的信任度還不足夠，且無法得知較有節能潛力的設備或系統。



資料來源：ESCO公會，2017年

圖3、ESCO產業產值

由於科技技術的進步，已有許多採用資通訊技術來進行能源管理的案例，涉及層面包含一般住家、商家、工業，為現今能源管理的重要的課題。目前能源資通訊技術大致分為「智慧化耗能感測」與「智慧化耗能控制」兩方面技術，前者為系統做即時耗能監測，從一般的電錶到智慧型電錶、智慧感測器（溼度計、光感測計等）等裝置，而這些測量裝置量測到數據資料後，將資料傳送到中央系統來進行分析、判讀及繪圖等作業，以利使用者得知整體設備（或系統）的耗能，並依據各種耗能數據，進而提出正確或較佳的策略來進行能源管理。後者則為進階的控制系統，將感測裝置量測到的數據，傳至中央監控系統進行判讀，再由系統發送控制命令，傳達至各控制點執行控制命令。然而，上述的智慧型能源管理系統，除各種感測的 Sensor 外，必須建置中央監控主機及相關的通訊介面，進而增加了初始建置成本，

且能源用戶只能透過中央監控主機了解能源消耗狀況。

目前已成熟的能源資通訊技術，主要是利用雲端能源管理技術，以系統化、智慧化的方式收集耗能數據，將各項耗能設備以及環境的量測數據，透過網路傳輸至雲端網站，而能源用戶可透過 Web 化的方式，輕鬆得知現場實際用電情況及即時的环境條件，進而調整節能的策略與措施。後續在收集各項設備耗能參數後，再透過分析數據的特徵值，並依照特徵值的特性做決策，並發展出決策系統，進而創造新的商業模式 (如圖 4)，使企業可永續發展，以低碳高效率的方式提升自身的競爭力。

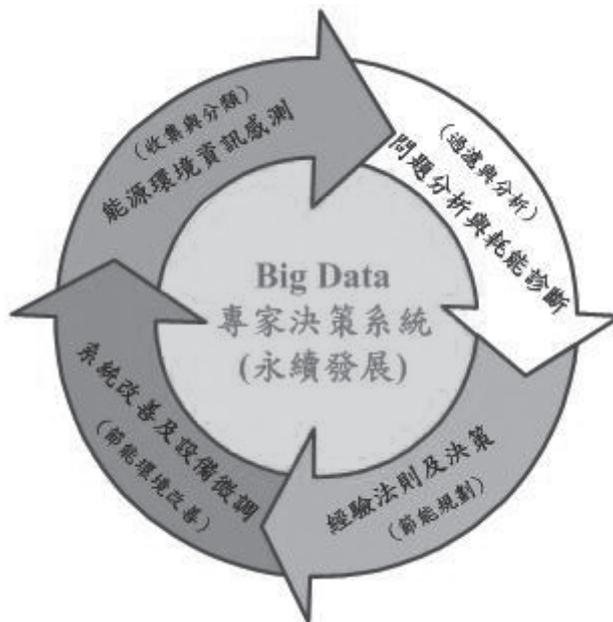


圖4、Big Data專家決策系統

由於 ESCO 產業的服務模式，係經過初步的節能績效指標以及導入與國際接軌的國際節能績效量測與驗證協定及能源管理系統等，最終發展出雲端能源管理模式，進而以創新的服務模式，協助能源用戶提升能源使用效率，同時降低能源成本，使用戶可達成永續經營之目標。ESCO 創新的服務模式是結合雲端智慧能源管理技術以及 ESCO 的模式，發展出創新的 ESCO 三階段商業服務模式 (如圖 5)，分別為先節費、再節能、後保全等三個階段。

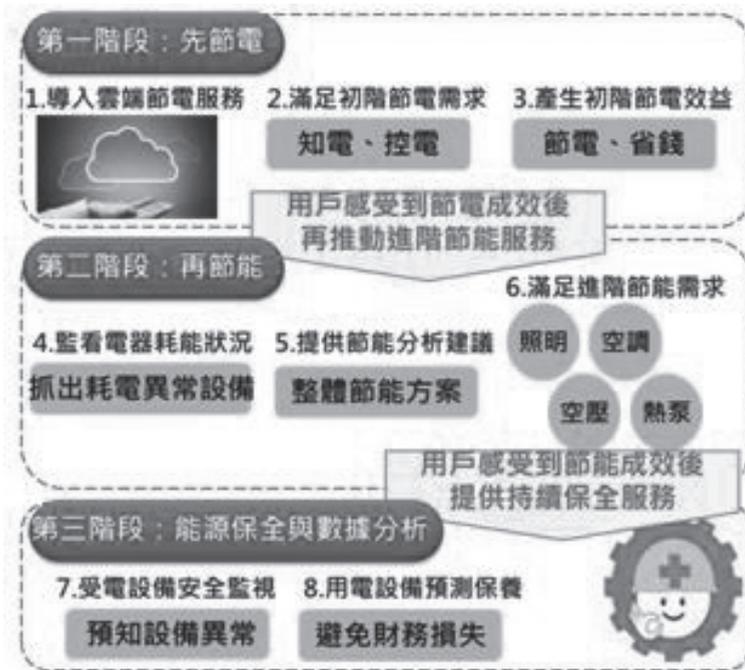


圖5、ESCO雲端能源技術服務創新商業模式

第一階段(先節費)主要是協助能源用戶建置導入雲端能源管理服務，並在相同的用電度數下，經過使用行為的調整，進而降低電費單價，使能源用戶在第一階段感受到有感的服务。雲端能源管理服務，架構如圖6所示，即時收集能源用戶現場的用電資訊及環境因子，基本上用電資訊涵蓋製程用電、空調用電、空壓用電、照明用電等主要電力流向，並透過雲端技術，將收集的用電資訊傳輸至網路。接著再以Web化方式，提供能源用戶可隨時查閱並下載各項即時與歷史用電資訊，包含電流、電壓、頻率、功率因數、實功功率、視在功率及累積電量等。並透過雲端能源看管中心提供能源用戶用電分析看管的服務，並於看管完成後提出一份完整的看管服務報告，報告內容包含月最大需量值、月最大需量發生的時間、月最大需量發生時各分盤的分布狀況、各電力分盤月總、尖、離峰用電度數、用電行為改善建議等，協助能源用戶藉由雲端能源管理服務的導入，進而達到用電節省目的。此外，第一階段的全盤性的能源流向分析，可得知較高耗能或立即需汰換的用能設備，此

時再進入第二階段將可有效且精準的進行節能改善。

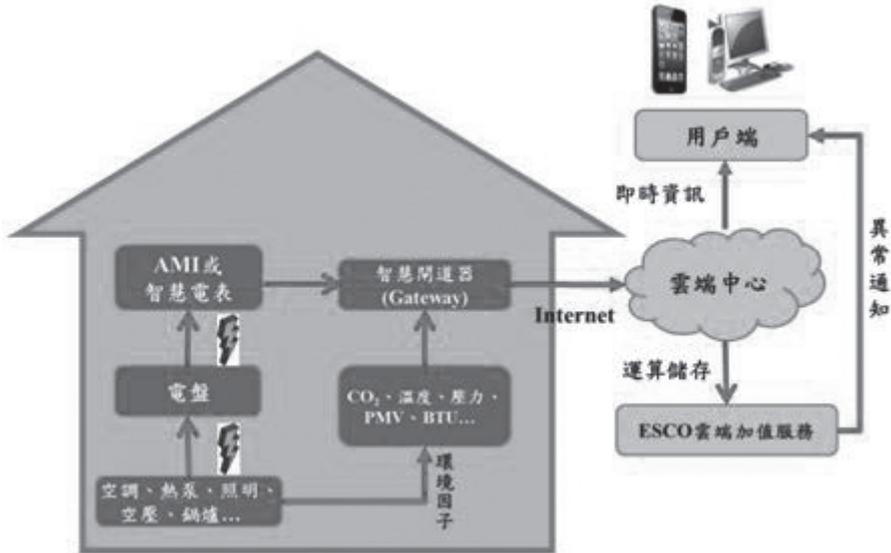


圖6、雲端能源管理服務架構

第二階段(再節能)主要是利用第一階段的用電節費成效，進一步的擴大投資較有效益的節能改善，並導入 ESCO 節能技術，如圖 7，例如經由雲端能源管理系統的監測與分析，得知空調系統、空壓系統或熱水系統等為較大的耗能處且效率偏低，此時則可依照實際的分析結果，按照優先順序逐步汰換較耗能的設備，對於能源用戶來說，可執行精準且有效的投資以及獲得實質的節能效益。



鍋爐系統

空壓系統

空調系統

照明系統

電力系統



圖7、ESCO節能核心技術

第三階段（後保全）則可分為二個部分，第一部分主要是針對用電安全，過去有許多的案例顯示，電線的過熱造成火災的發生，這是因為能源用戶不重視維護保養，且無法得知電盤的溫度（如圖 8）等，導致耗能設備已發出早期的信號，然而能源用戶因資訊不足的情況下，無法立即的解決相關問題，最終需支付高額的維修費用。在 ESCO 服務模式下，當設備或系統發出早期訊號（如圖 9），例如溫度、電壓、電流及相關參數等數值異常，就立即的通知能源用戶應注意檢查及排定維修保養時間，可在發生早期及具有規劃的情況下著手，使得能源用戶可避免因突發的狀況導致生產製程或業務上的損失，同時也協助能源用戶進一步的追蹤各項用電設備的安全問題。後保全的第二部分則是較高層次的能源安全預測，主要是根據能源用戶設備使用狀況，透過統計方法學分析耗能設備重要零組件的損壞率，在可能發生的時間點前，進行維護保養及例行性的更換，以減少因為重要零組件的損壞，而造成更大的損失。因此透過第三階段的服務，可減少用能危害的發生，並使能源用戶在高節能效益的環境下安全用能。

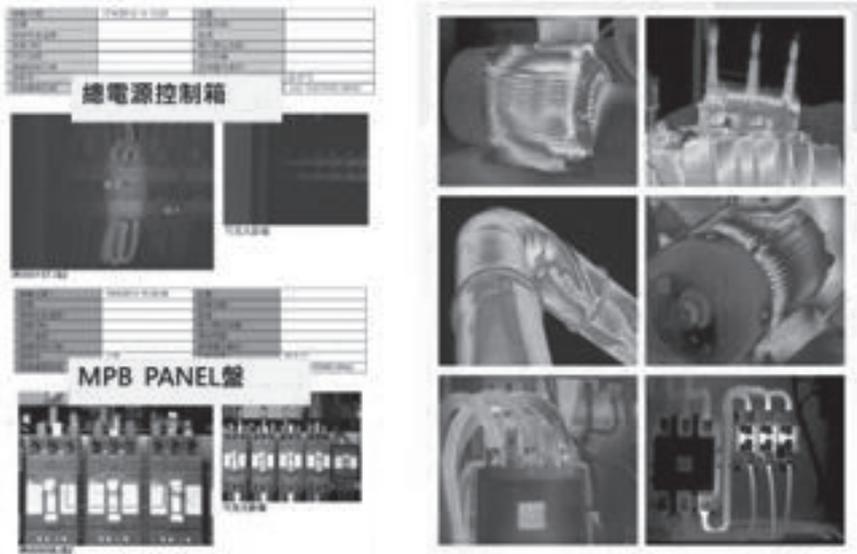


圖8、用電設備溫度分析

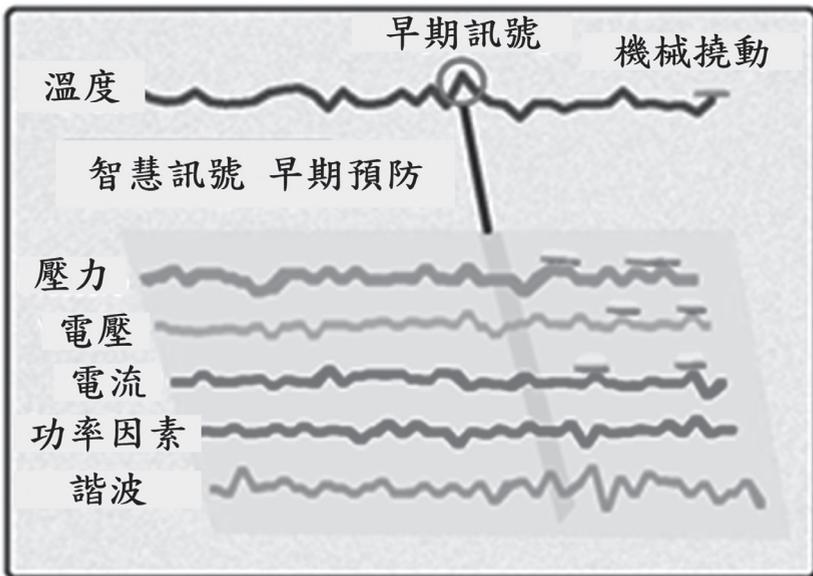
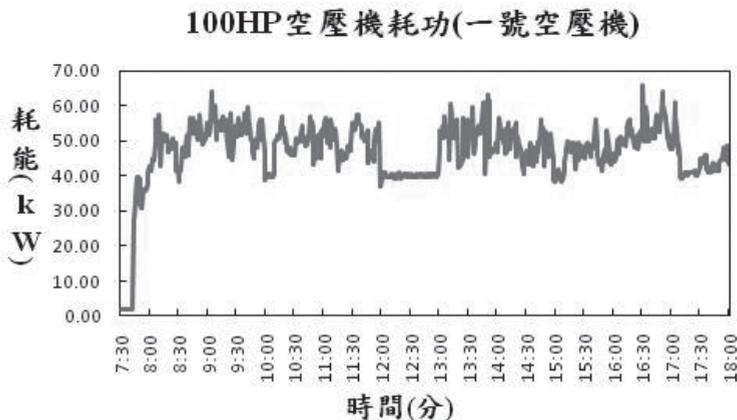


圖9、早期訊號示意圖

三、 案例分析

本文利用二個案例分析說明 ESCO 服務模式在導入雲端能源管理系統後之節能效益。案例 1 主要針對某工廠的空壓設備運轉情形進行初步的分析，進而提出開機策略；案例 2 則是針對某包裝成型工廠的製程，利用雲端能源資通訊技術，找出其耗能浪費之處，並透過製程參數操作模式的改變，進而獲得實際的節能效益，同時使製程穩定亦獲得較低的能源成本，最終提升競爭力，永續循環的發展。

案例 1、某工廠共有 3 台空壓機設備，其規格分別為 100HP(一號空壓機)、50HP(二號空壓機)及 100HP(三號空壓機)，在尚未導入雲端管理服務前，並沒有任何的開機策略，僅依照製程需求進行開關機的動作，能源用戶並不了解實際的耗能狀況與操作的情形。經導入雲端能源管理服務後，分析三台空壓機的逐時運轉情況，發現三台空壓機的運轉情形如下，一號空壓機從開機後，即有啟停頻繁(空重車)的問題，另一方面，三號空壓機則呈現開機後就空車運轉，二號空壓機則是一直都是重車運轉。由此可知，目前空壓機的開啟策略需進行調整，以獲得較低的能源消耗。經分析比較後並與能源用戶討論了解現場實際的用氣情況，建議將三號空壓機關機，減少耗能的情況發生，如圖 10 所示。經評估診斷後，三號空壓機變更為備機及改善管路送氣不平衡等問題，平均減少 73.2kW 的用電率(實際運轉的耗電功率平均值)，因該工廠為 24 小時製程，根據能源用戶提供實際運轉時數為 6750 小時/年，且能源單價(依約定值為 3.7 元/度)的情況下，節能效益為逾 182 萬元/年。



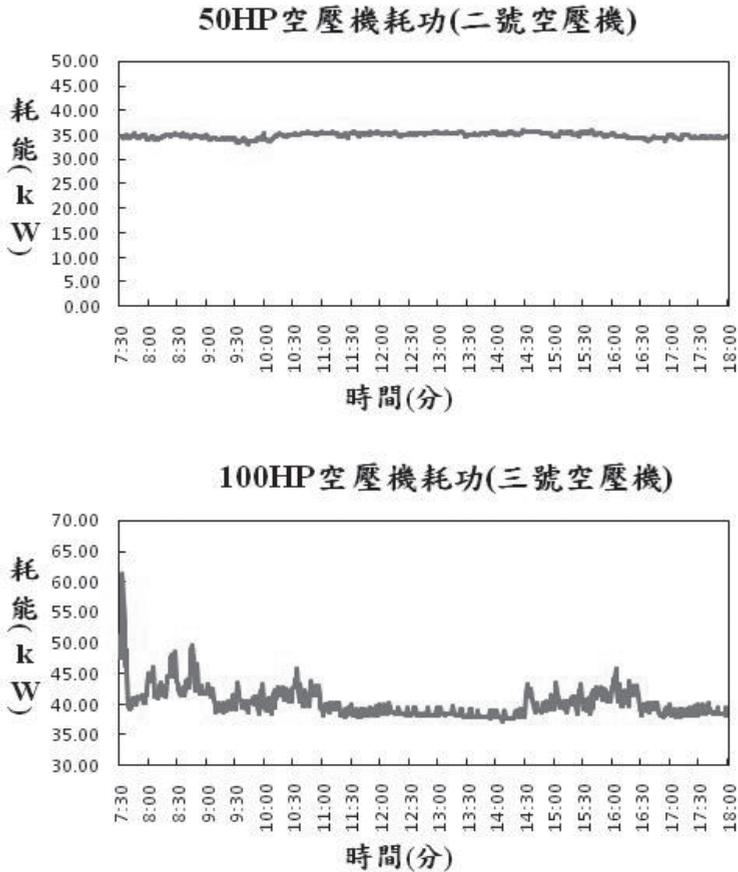


圖10、某工廠空壓機逐時運轉情形

案例 2、某真空成型包裝工廠，其製程流程如圖 11 所示，由其製程流程可知，目前前三名耗能製程為押出機、成型機及紅外線結晶機等三個製程項目，而每項製程約有 11 條產線，故其整年度的耗能量非常可觀，在與能源用戶討論後，首先針對重大耗能設備即押出機進行節能改善分析，在押出製程中，主要的耗能設備分別有押出機、冰水主機、及空壓機等三項，然而押出機及空壓機因牽涉項目過多，故列為後續改善項目。

押出製程之冰水供應，是由冰水主機製成冰水後，送至儲水桶與押出機製程冷

卻回水混合，再將混合後的冰水送至模溫機，以進行押出機機台冷卻降溫，如圖 12。由圖 12 可知，目前供應押出製程冰水需求的冰水主機共有 4 台，分別為 120RT 三台 (CH-5~CH-7) 及 240RT 一台 (CH8)。由於用戶對於冰水主機操作，僅是依照現場冰水需求開啟主機，並沒有任何的開機策略，同時現場使用的溫度也無任何的管理，導致能源浪費的情形嚴重。再者，分析模溫機的操作情形 (如圖 13) 可知，現場為冷卻押出機主要需維持模溫約為 35°C，供應之油溫僅需維持 33°C 至押出製程即可，然而現場目前是使用 7°C 的冰水進行熱交換，這顯然有很大的溫差，故建議能源用戶可視製程現況調整冰水溫度，進而提升冰水主機的節能效益。

由過去的文獻可知，每調高 1°C 冰水溫度，約有 3% 的節能效益，能源用戶因考慮調整冰水溫度將影響製程，故第一階段先將冰水水溫由 7°C 調整至 9°C，改善前、後之逐時耗電功率 (如圖 14)。由圖 14 可知，CH-8 冰水主機的功率由原先的 175kW 降低至平均約 125kW。而觀察圖 14 還可發現，改善後冰水主機啟停頻繁的現象已減少，持續觀察一個星期後，冰水溫度仍有空間可調整，如圖 15。第二次調整水溫，是從 9°C 直接調整至 15°C，後續無法再繼續調升水溫，這是由於製程特性導致，由於水溫上升可能會導致冰水無法即時的將熱油溫度降低，使得製程出的塑膠膠片有顆粒氣泡的產生，亦即製程無法保持正常操作狀態，故後續僅將冰水溫度設定至 15°C。

經過二次冰水水溫的調整，可使冰水主機耗電從 175kW 降至約 80kW，節能效益非常明顯，若以整年度 8000 小時計算，約可節省 76 萬度 / 年，若以每度 2.17 元的能源成本計算，則真空成型包裝工廠的節能效益為 164.92 萬元 / 年。

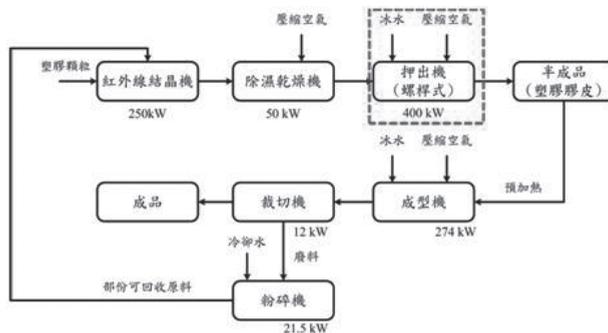


圖 11、某真空成型包裝工廠製程流程圖

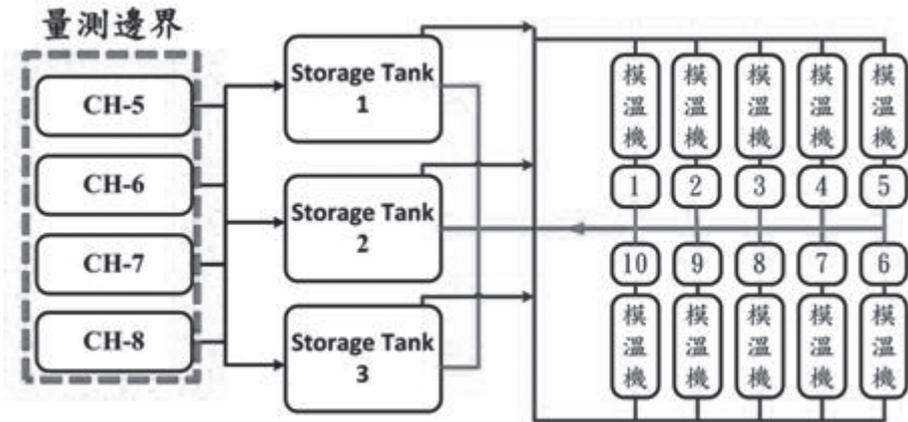


圖12、押出機製程冷卻流程圖

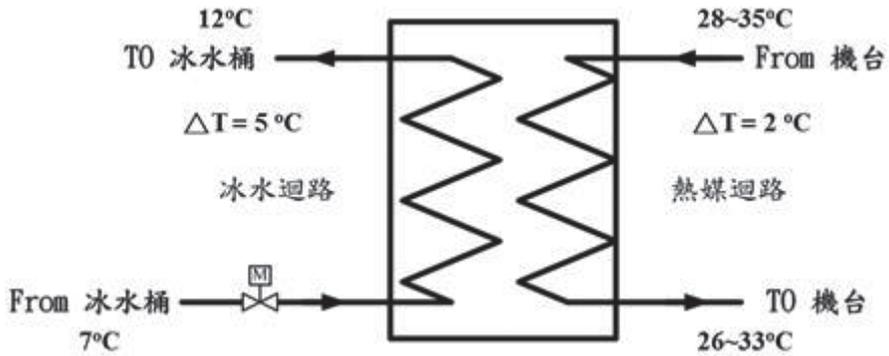
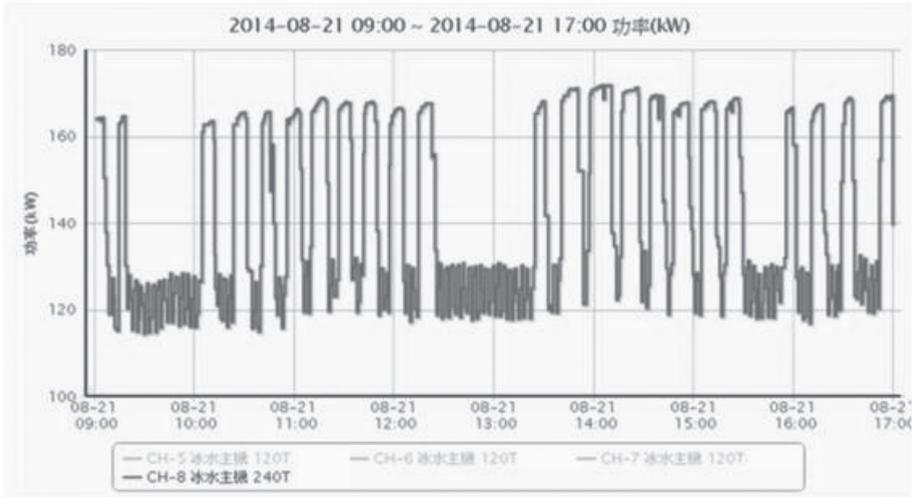
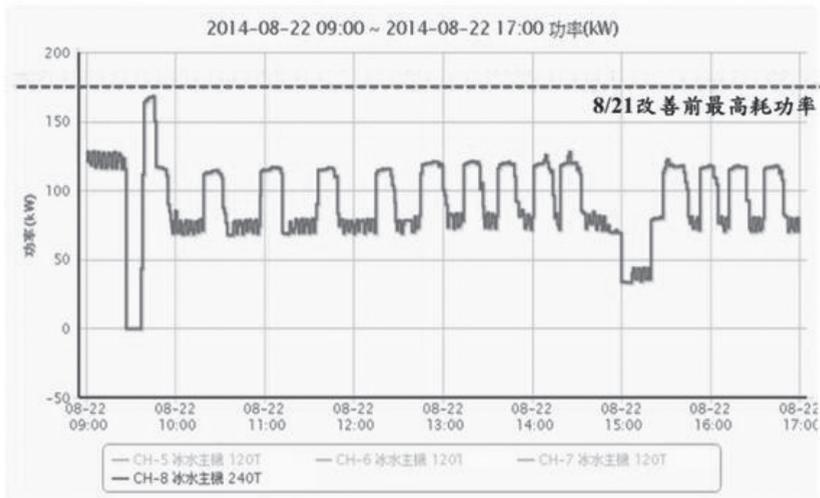


圖13、模溫機操作示意圖

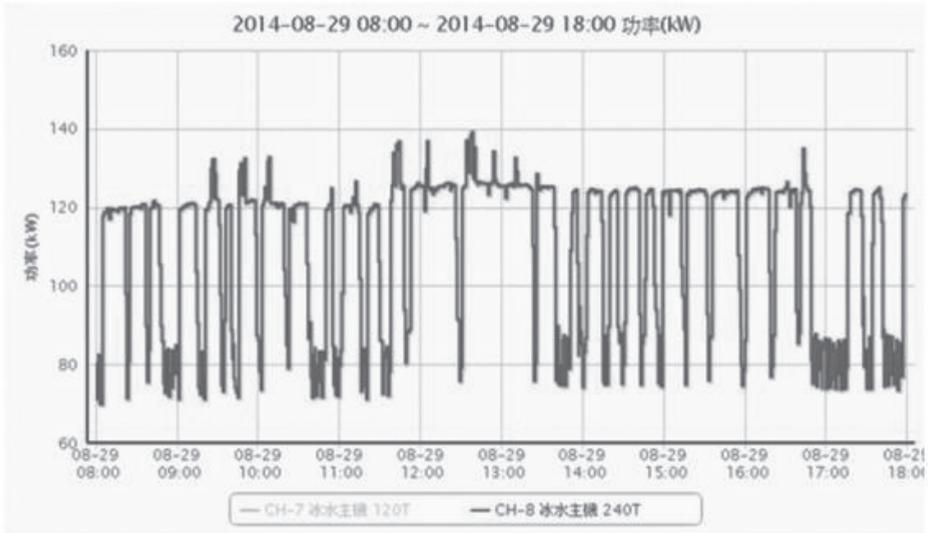


(a) 第一次冰水溫度改善前(冰水溫度7°C)

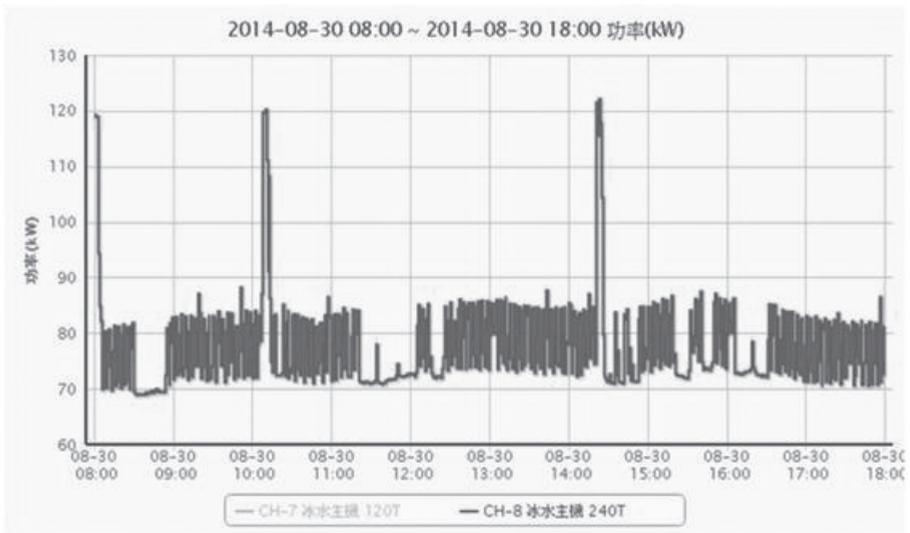


(b) 第一次冰水溫度改善後(冰水溫度9°C)

圖 14、CH-8冰水主機水溫調整改善前、後逐時運轉情形



(a) 第二次冰水溫度改善前(冰水溫度9°C)



(b) 第二次冰水溫度改善前(冰水溫度15°C)

圖15、CH-8冰水主機水溫第二次調整改善前、後逐時運轉情形

四、 結論

本文首先說明 ESCO 產業的發展歷程，從過去傳統節能績效指標的訂定，到導入與國際接軌之國際節能績效量測與驗證協定及能源管理系統 (ISO 50001)，乃至結合資通訊技術發展出 ESCO 雲端能源管理服務模式，同時創造 ESCO 雲端能源管理創新三階段服務商業模式，以三階段先節費、再節能、後保全的服務模式協助能源用戶了解自身的耗能處，進而針對較耗能的系統或設備進行改善投資，最終獲得可觀的節能效益，因能源是看不到摸不到的東西，所以需藉由可視化的工具來協助能源用戶了解能源的流向，進而提出因應的改善策略。以往能源用戶大多採用中央監控系統來控管能源的使用情形，不但建置費用高且人力資源較為浪費，本文以 ESCO 結合雲端能源資通訊技術，透過雲端能源管理服務，初期藉由調整能源用戶的用電行為，降低其用電費用 (或單價)，提供能源用戶有感服務。接著，再以雲端能源管理系統的數據收集方式，協助能源用戶進行改善前、後的連續數據收集，並依照國際節能績效量測與驗證方法建立基準線及計算實際節能量，使能源用戶及 ESCO 業者間可減少認定上的爭議，亦可採用每季收款的方式降低 ESCO 業者的資金壓力，對於 ESCO 產業及節能減碳的角度上都是非常成功的商業模式。後續應結合 ESCO 雲端能源管理系統及大數據分析，從動態可視化及數據分析決策的角度，協助用戶找出各系統或設備的特徵值，透過特徵值的分析找出較佳的操作模式，從行為操作模式的方面著手，可在較低的投入成本下獲得可觀的節能效益，進一步再由大數據分析，發掘特徵找出製程中具有相當效益的設備改善的創新商業模式，如此便可將能源用戶推向永續發展循環經濟的模式，進而提升產業競爭力，同時也為政府國際節能減碳的承諾，盡一份心力。

參考文獻

- [1] 經濟部能源局，中華民國 105 年能源統計手冊，2016。
- [2] 行政院，永續能源政策綱領，2008 年。
- [3] 中華民國能源技術服務商業同業公會，ESCO 產業產值調查，2016 年。



第三篇 創新設計





設計新選擇再生材料

王家祥創辦人 / 執行長
RENATO LAB

一、 近年來大眾關注的環境議題

環境議題今年來成為各國關注的焦點，最近大家常聽到的詞彙包括了溫室效應、聯合國永續指標及循環經濟，這些名詞主要內容是有關聯性的。

(一) 溫室效應

因為大家都不能忽視溫室效應所帶來的天氣變化，近 100 年來氣溫上升的狀況並未減緩，由聯合國氣候變化框架公約第 21 次締約方會議（COP21）其中三點結論中，我們不難了解到各國的政府代表以及專家，都認同全球暖化已是不可逆轉的趨勢。

1. 全球平均升溫控制在 2°C 之內，並以 1.5°C 為目標
2. 提高適應氣候變遷能力
3. 使資金流動符合低排放和氣候適應的發展



圖1 全球平均氣溫上升趨勢

而在台灣的碳排放盤查結果中，不難發現各產業及服務最大的排放來源是工業製造，其中原料的取得占了 88% 以上，選擇及取得適合的材料就數據看來是減少碳排放的關鍵。

原料決定了台灣43.2%的碳排放量

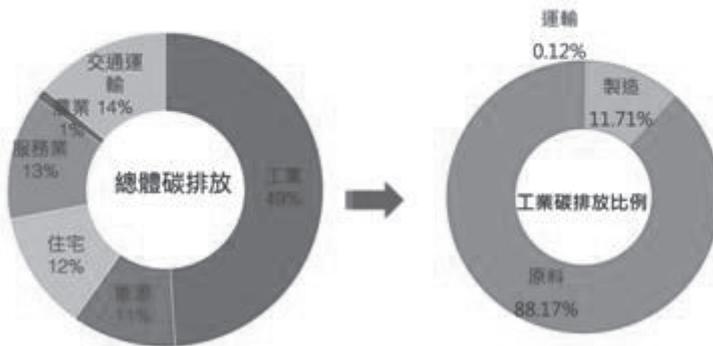


圖2 台灣碳排放盤查結果

（二）聯合國永續指標

城市規模擴大、高樓林立、道路蜿蜒至山區，人類的足跡已蔓延至世界的每個角落。有群人能坐在空調良好、裝潢良好的餐廳，享受著來自遠方食材製作的佳餚，但是世界的彼端卻有另一群人面臨貧窮、飢餓與疾病的威脅。他們居住在無法承受氣候的簡陋的居所中，也沒有好的就業機會，只能在充斥毒性物質或危險的場所中工作，並以極長的工作時間換取極低的薪資。

為了最求一個更美好、永續的環境，聯合國在 2000 年，由 189 個國家的領袖們，於聯合國高峰會共同發布的「千禧年發展目標」(The Millennium Development Goals, MDGs)，希望透過 15 年的努力，落實消滅貧窮飢餓、普及基礎教育、促進兩性平等、降低兒童死亡率、提升產婦保健、對抗病毒、確保環境永續與全球夥伴關係等 8 項目標

15 年過去了，雖然千禧年發展計畫有不錯的進展，但面對「永續發展」的議題，聯合國發展計畫署認為，世界還有更多進步與改善的空間，因此，2015 年 9 月 25 日舉行的「聯合國發展高峰會」，規劃出 17 項永續發展目標及 169 項追蹤指標，作為 2030 年以前，跨國合作的指導原則，同時兼顧「經濟成長」、「社會進步」與「環境保護」等三大面向，其中工業化、創新及基礎建設與負責任的生產消費兼顧了經濟成長與環境保護面向。



圖 3 聯合國永續指標SDGs

(三) 循環經濟

全球資源的論述持續演進到今日，普遍達成的共識是：無論科技如何發達，資源都有被用完的一天，只是時間長短的差異。比利時推行循環經濟組織的 Plan C 發布的研究數據顯示，按照現今資源耗用的速度，以一個 2010 年出生的人來說，當他 20 歲時，銻 (Antimony)、鉛 (Lead)、鋅 (Zinc)、銀 (Silver)、金 (Gold) 將面臨短缺；40 歲時，石油 (Oil) 及銅 (Copper) 也將耗盡；60、70 歲時，天然氣 (Natural Gas)、鈾 (Uranium) 將陸續用罄。即使最常見的煤 (Coal)，也會在下個世紀初用完。

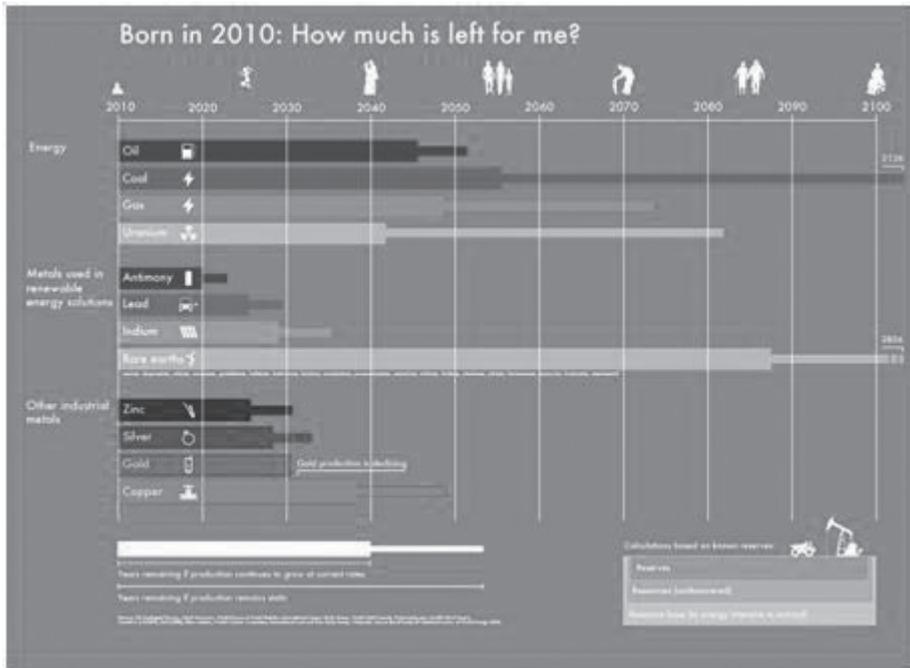
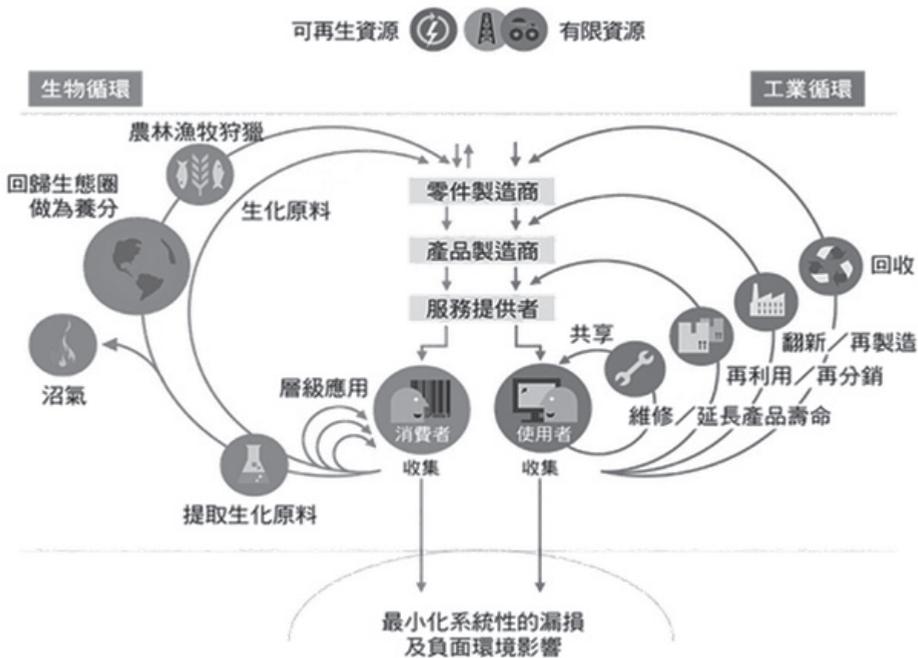


圖4 Plan C的圖表顯示大多現今使用的能源與金屬都會在本世紀耗盡

有別於現今社會「開採資源、製作產品、消費使用、丟棄浪費」的線性經濟模式，循環經濟是「可恢復且可再生的產業體系」，講求資源有效利用、零廢棄物的概念，並將此概念普及於社會上每一個產品與服務，分為兩大循環：生物循環及工業循環。



來源：艾倫·麥克阿瑟基金會
翻譯：資源循環台灣基金會

圖5 循環經濟分為生物循環(左)與工業循環(右)兩大方向

上述議題的關鍵在於，所有的國家及企業都希望兼顧環境與經濟發展，而且原料及產品的循環都是問題解決方案之一，而循環經濟一詞並不應被定義是環境議題，其真諦是利用經濟去推動環境的循環。

二、 台灣於再循環中所做的努力

台灣從民國 87 年起開始實施各項資源回收政策，至今已有 19 年的時間。依據環保署規範及完整的回收計畫，結合收集管道和流程、回收物、執行方式、環境教育和再利用模式。

目前的回收管道與流程把一般廢棄物分為三類：資源回收、廚餘、一般廢棄物。光是回收就多達十幾種，而回收方式是遵循固定時程表，在特定時間、地點回

收一般廢棄物、可回收物與應回收廢棄物，市民須依照時程表進行回收。除此之外，政府更是推行環境教育，大多由環保局主導，像是台北內湖的再生家具展示中心與二手書店等。

中央的政策在地方被實際落實，以台北市為例，自 1996 年的「環境不落地」政策開始，政府陸續實施了如 2000 年的「隨袋徵收」與 2005 年的「垃圾分類」政策，成功地教育民眾垃圾分類並大幅增加了回收率，使回收率從 2000 年的 2.4% 提升至 2014 年的 56%，回收量更高達 470,000 噸；台北的回收率除了居全台之冠，也是歐盟的兩倍以上，並優於美國的 34%。因為成功的政策與民間的配合，早年被稱作「垃圾島」的台灣，成為現今國際媒體所著稱的垃圾處理天才。所達成就已超過全球大部分已開發國家，回收率名列前茅。

因為政策成功與民間配合，2016 年 5 月華爾街日報以「台灣，廢棄物處理天才」為題做了報導，國際社群媒體甚至為台灣獨有的回收車機制製作了短片，引起網路上熱烈迴響。

The image shows a screenshot of a Wall Street Journal article. At the top, the newspaper's name "THE WALL STREET JOURNAL" is prominently displayed. Below it, there are navigation links for Home, World, U.S., Politics, Economy, Business, Tech, Markets, Opinion, Arts, Life, and Real Estate. A search bar is also visible. The main headline of the article is "Taiwan: The World's Geniuses of Garbage Disposal" under the "LIFE" category. The sub-headline reads: "How the island, with landfills not far from capacity, became one of the world-wide leaders in recycling." The main image shows a man in a white uniform and cap standing next to a recycling truck. To the right of the main image, there is a "Recommended Videos" section with five video thumbnails and titles. Below that is a "Most Popular Articles" section with two article thumbnails and titles. The article's author is listed as "By KATHY CHEN" and the date is "May 17, 2016 5:05 p.m. ET". There are also "4 COMMENTS" indicated.

圖6 華爾街日報稱臺灣是回收界的天才

在回收的環節中我們做的很好，但是所收集到的東西如何被正確及充分的使用，是更難得問題，因為解決之道不僅是環境層面，而包括工業產品設計、產品製造、行銷推廣及服務，需要跨領域的整合。

三、 材料的選擇及應用

所有進行產品永續設計的單位，都有一個共同的疑問，到底什麼是最環保的材料，但我想這個問題並沒有標準的解答，人們嘗試以可自然分解作為評估材料的環保與否的指標，只是凡事都有一體兩面，水能載舟亦能覆舟啊，部分可自然分解的材料有使用年限短及後續掩埋處理的問題。

材料的選擇就如同人世間所有的選擇題一般，應該選擇最合適所設計與製造的產品的材料，一把單一塑膠製造模組化的椅子，其使用年限及後續回收都會較天然材料來的好。

	材質	原料取得	加工難度	回收	再利用
	木頭	成長期長 (20年)	較複雜	材質無標示 但可清楚辨識	僅能回收能 源
	生物可分解 塑膠	成長期短 (7個月)	容易	易與其他石 化塑膠混淆	僅能回收能 源
	PP塑膠	快速	容易	材質標示清 楚易回收	可重複再利 用

圖7 座椅使用材料於產品各階段的比較

在台灣因為有高回收率，家戶垃圾大量被回收，我國的塑膠及玻璃容器回收率皆超過 90% 以上，絕大部分都進入了回收管道，而且以及美國國家海洋暨大氣總署的調查數據，還有比塑膠更難分解的材料，但是這些材料確鮮少成為被撻伐的標的，因為使用量大以及有些國家沒有做好回收工作，就要將責任歸責於材料本身，

是否有一竿子打翻一船人的問題。

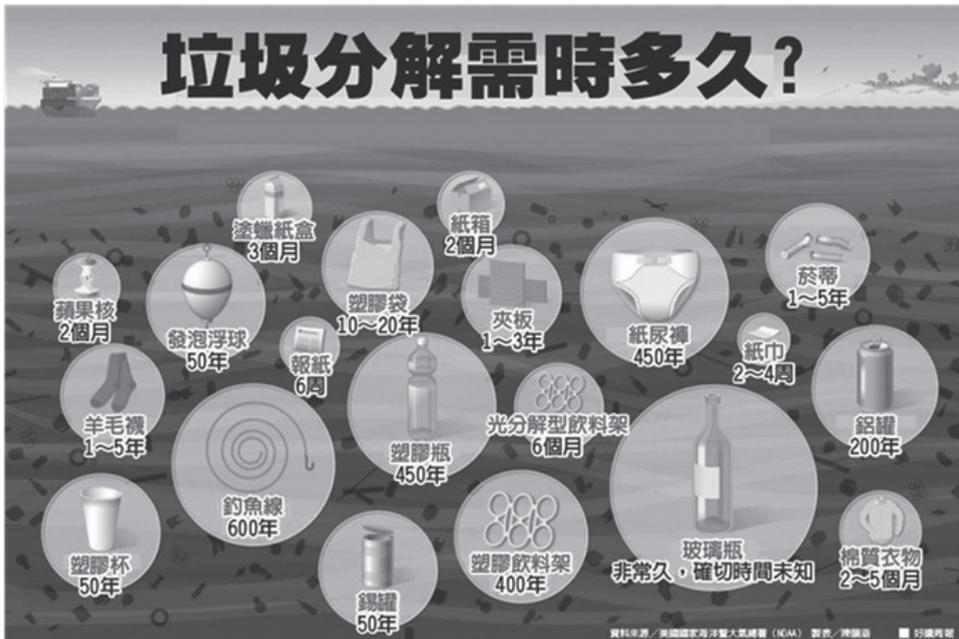


圖8 美國國家海洋暨大氣總署調查海洋垃圾分解時間

重要的建構一個完整的循環模式，但是打造「循環」需要系統性的思考，然而這並不容易。2017年，知名設計公司 IDEO 與國際循環經濟推廣組織艾倫·麥克阿瑟基金會（Ellen MacArthur Foundation, EMF）共同推出循環設計指南（Circular Design Guide），以設計思考（Design Thinking）切入循環經濟。

其中把循環設計方法則歸納為四類：

- 理解（Understand）：在開始前所需的基礎概念
- 定義（Define）：該項設計的挑戰、機會、團隊、構造、商業模式及承諾
- 製造（Make）：設計過程會用到的工具，包括使用者中心思考、腦力激盪、建立回饋機制、選擇聰明材料、制定優先順序、快速原型測試
- 釋出（Release）：「設計」後的接續動作，包括產品旅行地圖、發布和學習、新夥伴、說故事、重整組織以及持續演進

每一類中都有相對應得內容，將其歸納為下表：

表1 循環設計方法

大類	內容
1. 理解 (Understand)	1-1 認識循環物質流 (Understand Circular Flows) 1-2 再生性思考 (Regenerative Thinking) 1-3 產品服務化 (Service Flip) 1-4 認識內部結構 (Insides Out) 1-5 從數據系統中找靈感 (Inspiration:Digital Systems) 1-6 向大自然學習 (Learn from Nature)
2. 定義 (Define)	2-1 定義你的挑戰 (Define Your Challenge) 2-2 尋找循環化機會 (Find Circular Opportunities) 2-3 團隊建立 (Building Teams) 2-4 循環採納 (Circular Buy-In) 2-5 循環商業模式 (Circular Business Model) 2-6 創造品牌承諾 (Create Brand Promise)
3. 製造 (Make)	3-1 使用者中心研究 (User-Centred Research) 3-2 循環腦力激盪 (Circular Brainstorming) 3-3 建立反饋機制 (Embed Feedback Mechanisms) 3-4 聰明材質選擇 (Smart Material Choices) 3-5 概念選擇 (Concept Selection) 3-6 快速原型測試 (Rapid Prototyping)
4. 釋出 (Release)	4-1 產品旅程地圖 (Product Journey Mapping) 4-2 從發表中學習 (Launch to Learn) 4-3 尋找新的夥伴 (Imagine New Partnerships) 4-4 創造你的故事 (Create Your Narrative) 4-5 重整組織 (Align Your Organisation) 4-6 持續學習循環 (Continuous Learning Loops)

近期有許多符合循環經濟的案例，我將它分為創新服務模式以及資源再循環設計兩個面向進行簡短說明：

(一) 創新服務模式

在荷蘭有許多以服務取代製造業的案例，如飛利浦 philips 公司從過往製造燈具改為提供照明服務，以企業所需要的照明時間及亮度計價，牛仔褲租賃服務 Mud Jeans，提供讓人不必一直購買也能有不同的褲子可以選擇及搭配服務，且回收的褲子還能拆解、抽絲，再製成新的牛仔褲。家電產品洗衣機租賃商 Bundles 提供以洗衣次數計價的服務，此種商業模式讓更多人有機會以實惠低廉的價格使用到高效能的洗衣機（效果佳、節能、環保）洗衣機。

台灣也還有許多符合循環經濟概念的實例，譬如台北市民暱稱的「小小黃」YouBike，便是創新服務模式的貼切案例。



圖9 只租不賣的牛仔褲Mud Jeans單車共乘系統YouBike

（二）資源再循環設計

許多新銳設計師與團隊著手展開小型的材質實驗，技術成熟度、能否規模化或許不是當前重點（下階段），背後實驗、嘗試態度及反思可能是新世代的共識。如 Oog design studio 使用蛋殼為原料，在磨成粉後加上矽膠後成型；設計師 Kairi Eguchi 利用廚餘造紙，所使用的廚餘包括綠茶葉、橘皮等，在利用回收材料的同時也對抗食物浪費議題；美國家具品牌 Emeco 今年發表了「1 Inch Collection」，其桌、椅皆出自英國設計師 Jasper Morrison 之手。1 Inch Collection 包含了一張椅子、一張扶手椅、三種高度的凳子與咖啡/酒桌。Emeco 繼續使用回收相關類型的物料來製作產品，這系列的框架是由回收鋁製成，而椅墊則是使用了回收塑膠與木頭。

而台灣嘗試使用廢棄電子產品剩餘的電路板粉進行產品設計與創作，利用每年產生 4 百萬台含有液晶螢幕的電子廢棄物，思考材質的特性後，利用沒有殘餘價值的主機板及液晶面板材料，設計一系列燈具產品。



圖10 Emeco利用回收塑膠加上回收鋁製的椅具



圖11 回收廢筆記型電腦（主機板及螢幕面板）再製燈具

對於循環以及永續的實踐，世界各國都有不同作法與的進程，雖然目前許多服務及材質應用都還在試驗階段，但在台灣，因為我們長期推動回收，並且精於代工製造，許多再生材質已經被使用於產品製造中，部分企業也以此作為其商業模式，但是參考 CE Design Guide，使用循環材料並不足夠，為了達成真正的循環，這是需

要再繼續設計與執行的。

循環設計應是個持續性的行動，沒有停止的一刻，目的就是要在現今線性的設計氛圍下找到能夠循環利用資源的方式。這是需要跨領域合作才能達成的目標，也會是未來經濟發展的主軸，因資源有限與環境議題逐漸成為世界趨勢，不得不將環境與經濟結合，來延續人類的生存與發展。



設計與碳足跡的關係

張詠竣總監
奇夢籽社計公司

一、前言

試看以下幾張圖，你覺得哪個東西會比較「環保」？如果是自己平常購物，又會做出什麼選擇？



玉米杯（由玉米製成）vs. 塑膠杯



VS



木製椅vs.塑膠椅



VS



寶特瓶球衣 (NTD\$5000) vs.一般材質球衣 (NTD\$2000)



VS



名牌包vs.一般包



VS



紙袋vs.塑膠袋

在「玉米杯」與「塑膠杯」的選項中，相信許多人都會理所當然地認為「玉米」做的杯子，材質比較「天然」，所以一定比較「環保」，更何況，許多知名品牌，都不斷透過廣告媒體，推廣玉米材質的使用呢！然而，大家可能沒有料想到，目前這

類以玉米作為材料的產品，也就是一般所稱的「PLA¹」或「綠色塑膠」的產品，可能會造成在後端「回收」程序上的一些「問題」。怎麼說呢？事實上，因為玉米杯與傳統塑膠杯的表面材質、軟硬度都十分相似，民眾普遍較不易從產品外表直接分辨「玉米製品」與「塑膠製品」的差異，而很可能在使用過後將玉米杯歸類至「塑膠類」進行回收；如果後端回收業者或環保局工作人員也無法有效辨識兩者材質差異、或未多加注意，很可能造成「玉米杯混入塑膠」的回收狀況，進而降低再生塑料的品質。又加上台灣現有回收法規無法配合創新材料的發展，在廠商生產出琳瑯滿目的「複合性材質產品」後，使得「天然材料與傳統塑膠混雜」的問題層出不窮，這樣，我們選擇「玉米製品」究竟環不環保？

在「塑膠椅」與「木製椅」的選項中，或許很多人會選擇木製椅，因為天然的「木頭」看起來比人造的「塑膠」還要「環保」。但是，真的是這樣嗎？讓我們假設，在生產木製椅的時候，原木的取得需要由他國森林裡請人砍樹、且得從國外「運輸」來台再加工製作；反觀塑膠椅的製造過程，若都能夠當地取得原料當地生產製造。這樣從耗費能源的角度來看，我們是否還能夠篤定地說「塑膠椅就是比較不環保？」

紅極一時的「台灣之光」寶特瓶足球衣，一件要價台幣 5000 元，價格是一般球衣的 2～3 倍，這時，你會怎麼選擇？對於因環保訴求而帶來的高價產品，你是否願意買單？或是你認為對於環保生活的追求，相對地，產品價格應該也要更經濟實惠？

接著，繼續看到「名牌包」與「非名牌包」的選項，你又會怎麼選擇？受到媒體報導的影響，或許有許多人會為「時尚產業²」貼上「環境殺手」的標籤，而認為「非名牌包」比較環保。然而，假設購買一個名牌包，我們能夠使用四、五年以上，購買一個非名牌包，可能由於品質等因素只能使用 4、5 個月，在包包壞了之後，我們又必須再添購新包包。這樣，「名牌包」是不是就一定比「非名牌包」還不環保呢？

在外購物時，若有店員問你需要「牛皮紙袋」還是「塑膠袋」的時候，你會怎麼選擇？本著一種直覺，許多人會選擇牛皮紙袋，因為它「看起來」比較「環保」；

1 PLA 的分子組成，和傳統塑膠的石化原料完全不同，它們由玉米澱粉、或是乳酸等生質材料、聚合而成，又稱為「綠色塑膠」。

2 此處的時尚產業特別指產品價位較高的品牌。

對材質屬性有些瞭解的人可能會說，那是因為紙類的「生物可分解性」對環境所造成的危害比較小。但是，真的是如此嗎？

根據綠藤生機所發表的《環保袋，跟你想的不一樣：為什麼「塑膠袋」比紙袋、棉布袋更環保？》³一文，文中引用了《塑膠袋與紙袋的環境衝擊比較》的期刊論文：「紙袋（漂白牛皮紙袋或綜合紙袋）雖然在廢棄階段產生的環境衝擊較小，但在生產階段所消耗的能源，卻比塑膠袋來得更大，包括：廢紙再生處理過程會產生的廢水問題；造紙原料來自樹林，樹林大量砍伐後，也破壞了水土保持之能力。因此，以整體角度來看，『紙袋』對環境的衝擊並不一定比『塑膠袋』更輕、或比想像中更為環保。」⁴另外，該文也援引了英國環境局的研究⁴，這項2006年的研究分析了消費者能從超級市場取得的7種袋子，各自對環境造成的影響。而研究報告得出的結論，或許會大大顛覆你我的想像：「一個『棉製環保袋』需要被使用131次後，才能與『一次性塑膠袋』一樣『環保』。」

Table 1.1 Carrier bag types used in UK supermarkets included in this study.

Bag type	Picture example	Weight* [g]	Volume capacity* [litres]
Conventional HDPE bag 高密度聚乙烯 (HDPE) 塑膠袋		7.5 – 12.6	17.9 – 21.8
HDPE with prodegradant additive 高密度聚乙烯 (HDPE) 塑膠袋 (添加降解助劑)		5.9 – 8.2	16 – 19.6
Heavy duty LDPE bag ('bag for life') 高耐受性低密度聚乙烯 (LDPE) 塑膠袋		27.5 – 42.5	19.1 – 23.9
Non-woven PP bag 不織布聚丙烯 (PP) 纖維袋		107.6 - 124.1	17.7 – 21.8
Paper bag 紙袋		55.2	20.1
Biopolymer bag 聚乳酸袋 (可生物分解)		15.8	18.3
Cotton bag 棉質袋		78.7 – 229.1	17 – 33.4

* Some supermarkets have supplied data, others are based on measurements by the authors (see annex B).

▲圖片來源：綠藤生機

3 文章網址：<http://health.businessweekly.com.tw/AArticle.aspx?ID=ARTL000072466&p=1>。

4 The Environment Agency, Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006.

Table 8.1 The amount of primary use required to take reusable bags below the global warming potential of HDPE bags with and without secondary reuse.

	HDPE bag (No secondary reuse)	HDPE bag (40.3% reused as bin liners)	HDPE bag (100% reused as bin liners)	HDPE bag (Used 3 times)
Paper bag	3	4	7	9
LDPE bag	4	5	9	12
Non-woven PP bag	11	14	26	33
Cotton bag	131	173	327	393

▲圖片來源：Life cycle assessment of supermarket carrier bags : a review of the bags available in 2006

所以我們所認知的「環保」，會不會只是我們對於環保的一種「想像」呢？永續設計的先驅 Leyla Acaroglu 在 TEDTalks 的一場演講 “Paper beats plastic? How to rethink environmental folklore” 中提到：「作為一個永續設計者，我經常聽到其他設計師這麼說：『喔，我只是想找到一種環保的材質來進行設計。』但何謂『環保』的材質？人們在做決策時，往往會依賴一種『直覺』，我喜歡稱它為『環境的信仰』（Environmental Folklore），例如我們傾向選擇紙袋或是油耗較少的車輛，來符合心中的環保定義。但我們怎麼知道這些行為是真正對環境友善呢？於是，如果我們以「生命週期」的思考方式完整還原一件產品開發的過程：檢視從產品從設計、製造之初開始，經過包裝、使用、運輸，直到產品壽命終結的脈絡，我們便會發現，所謂的「環保」，可能根本不是我們想像的那個樣子！

人們常以「環保與否」去描述一項產品或一個行為，但「環保」究竟是什麼呢？在看待環保問題上，我們必須先有一項能夠具體評斷的指標，才能以共同的基礎來討論事物是否環保，而這正是「碳足跡」（Carbon Footprints）。一旦瞭解碳足跡，才有可能正確地看待「環保」，而不再以自己的「直覺」去定義環保，且能更有效地分辨環保的相關資訊。以「紙袋」與「塑膠袋」的選項為例，社會大眾普遍會對「塑膠」存有負面印象，若是以「碳足跡」作為評斷基準，我們便可以發現，所謂的「環保」不僅與材質選用有關，更好的評估方式，應該是將無到有的流程的所有環節納入考

量，檢視每個過程所釋出的碳排放量。這麼一來，便能破除「紙袋絕對比塑膠袋環保」的迷思。

那麼，「環保」與「設計師」又有什麼關係呢？以一位設計師的角度來看，「判斷產品環不環保」會影響設計師「如何認定環保產品」，而認定環保產品的「標準」，則又會進一步影響設計師「如何設計環保產品」。簡單地說，所謂的「環保設計」其實便是緊扣在「何謂環保？」這個問題上的。本篇文章一開始所設計的幾個選項，說明了一般設計師在日常生活中選擇環保產品時，普遍會關注的幾個面向，包括：價格、材質、品牌以及製造方式。藉由張詠竣創立的 Vitality Design™ (生命力設計) 理念以及過去所從事的綠色設計經驗，他觀察到了一般設計師對於「環保設計」認知上存在的盲點，其實主要是由於對「碳足跡」的認識不足所致，而這也正是為什麼設計師都必須了解「碳足跡」的原因。

設計師對於「環保設計」的想像與真實生活選擇的差異		
選擇依據	說明	文中範例
價格	反映價格與環保設計的關係	寶特瓶衣 vs. 一般衣
材質	反映人造或天然材質與環保設計的關係	塑膠椅 vs. 木製椅
製造方式	反映製造與環保設計的關係	牛皮紙袋 vs. 塑膠袋
品牌	反映品牌與環保設計的關係	名牌包 vs. 非名牌包

因此，本文將以「碳足跡」作為基礎進行討論，針對設計同業與設計師合作的潛在客戶群，淺談「環保設計」，並分享過去幾年張詠竣在環保理念上的相關執行經驗，探討實際個案。需要特別提醒的是，這篇文章並非以「環保人士」或「環工專業」的立場看待環保，而是以「設計師」的身份來討論「環保」。一般認為，必須「使用」材質、「製造」產品的設計師，乍看之下，似乎與環保 3R⁵ 中提倡減量「Reduce」的理念相左。然而，看似處於「對立」狀態的兩個議題——「設計」與「環保」，其結合如何成為可能，正是這篇文章的重點。

「做環保，很不酷、又很窮啊！」這是張詠竣從事設計業以來，自許多同業那聽到的一句話。因為從事環保設計需耗費的成本相對高，許多設計師都不免認為「環

5 環保 3R，簡稱 3R，是解決環境問題的主要原則，分別是：Reduce(減少使用)、Reuse(物盡其用)、Recycle(循環再造)。

保設計」就是「高成本」的代名詞。但是，「環保設計」或許可以不是你想像的那回事，張詠竣認為，做環保設計一樣可以很酷、也可以不用「吃土」！更明確地說，張詠竣試圖在體制內尋找「環保」與「經濟」兩者得以達成「共存且共榮」的解方，在「產業成長」的前提下，使得產品設計與開發過程中對環境所造成的「危害」達到最小化。

在此，期待透過這篇文章的淺見與經驗分享，以「環保使命」作為前提，與設計相關人士互動，建立有效的溝通橋樑。

那麼，現在就開始吧！

二、 認識「碳」的真實面貌

有些人可能會好奇，環保議題的範圍、面向那麼廣，為什麼這篇文章偏要選擇「碳足跡」？為什麼不是環境污染？為什麼不是污水排放問題？又或者，為什麼不是海洋垃圾呢？

首先，本篇文章會選擇「碳足跡」作為討論主題，主要是基於《2052：下一個40年的全球生態、經濟與人類生活總預測》⁶（2052：A Global Forecast for the Next Forty Years）中所提到的人類未來勢必會面臨的三大問題：

1. 水和土壤的問題
2. 當暖化已成事實，人類應如何應對暖化後的生活方式
3. 如何減少碳排放量

針對以上三大議題，這篇文章以設計觀點出發，進行了相對應的取捨：問題一「水和土壤」是人類環境資源的根本議題，設計師的專業在此領域貢獻相對有限，甚至可以說「設計」不是解決之道；問題二、三是自2015年《巴黎協議》⁷簽訂以來，全球各締約國都在思考並設法解決的重點，換句話說，這已成為人類社會刻不容緩的任務與挑戰。張詠竣堅信在「碳足跡」的問題上，可以透過設計方法，提供不同面向的解決方案。

什麼是「碳足跡」？這裡想引述 Mike Berners-Lee 的說法，廣義而言，碳足跡是

6 莊勝雄（譯）（民102）。2052：下一個40年的全球生態、經濟與人類生活總預測（原作者：Jorgen Randers）。臺北市：商周出版。（原著出版年：2012）

7 巴黎協議（法語：Accord de Paris，英語：Paris Agreement）是由聯合國195個成員國（包括觀察員巴勒斯坦國及聖座）於2015年12月12日在2015年聯合國氣候峰會中通過的氣候協議；取代京都議定書，冀望能共同遏阻全球暖化趨勢。

「人類造成環境影響的最佳預估值」，其中「碳」代表了各種全球暖化溫室氣體的簡稱，「足跡」則是依事件造成影響總合的譬喻，所以「碳足跡」就是溫室氣體造成全球暖化總影響的簡稱；狹義的說法，則可參考行政院環保署 2017 年所公布的定義，碳足跡為與一項活動（Activity）或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的「溫室氣體排放量」。相較於一般大家瞭解的溫室氣體排放量，碳足跡的差異之處在於從消費者端出發，破除所謂「有煙囪才有污染」的觀念。企業及產業溫室氣體的排放，一般是指製造部分相關的排放，但產品碳足跡排放還須包含產品原物料的開採與製造、組裝、運輸，一直到使用及廢棄處理或回收時所產生的溫室氣體排放量。

■ 產品碳足跡 (Carbon Footprint):

服務或商品在整個生命週期過程所直接與間接產生的溫室氣體排放量。

能源與資源耗用越多，溫室氣體排放量越多，碳足跡越大。

產品碳足跡



■ 產品碳足跡標籤 (Carbon Labeling):

透過嚴謹的審核程序，傳達產品碳足跡訊息給消費者。



▲圖片來源：行政院環保署台灣產品碳足跡資訊網

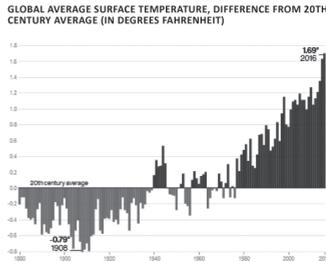
說到這裡，也許有些人會想：「那麼，碳足跡跟暖化又有什麼關係？」近年來，由於各界對於「全球暖化」的關注，自 2015 年的《巴黎協議》以來，締約國致力追求「全球升溫不超過攝氏 1.5 度」的目標，世界各國也正積極推動再生能源的減碳計畫，英國今年更宣佈將於 25 年內禁止柴油車的生產⁸！另外，根據國家地理雜誌 2017 年 4 月號《氣候變遷：你必須知道的七件事》（Climate Change：7 things you need to know）一文中所提到全球暖化人類必要知道的七件事，我們可以知道：

事實一、全球正在暖化

2016 年的高溫打破了 2015 年的歷史紀錄，而 2015 年也曾經打破 2014 年的紀

8 新聞來源：<https://news.pts.org.tw/article/366045>。

錄。來自數千個氣象站、浮標以及船隻的溫度測量結果顯示，去年的全球平均地表溫度與 20 世紀的平均值相較之下高了攝氏 0.94 度。追蹤大氣層變化的衛星也已經記錄到明顯的暖化趨勢。



0,94 攝氏

SOURCES: NATIONALGEOGRAPHIC.COM

事實二、我們難辭其咎

聖嬰現象造成太平洋短暫釋放熱能，加劇了去年的高溫紀錄。但是沒有任何天然因素能解釋這半個世紀以來的暖化趨勢。太陽發出的熱能以 11 年為週期增減；火山噴發有時能讓地球降溫。與此同時，人類排放的溫室氣體卻形成日漸增厚的阻隔層，把熱能留在地球表面。

事實三、我們非常確定

九成以上的氣候科學家同意：碳排放會導致全球暖化。我們從 1800 年代開始就知道有溫室效應。瑞典物理學家斯凡特·阿瑞尼士甚至在 1896 年就預測，燃燒煤炭產生的二氧化碳會讓全球變暖。他當時認為這是件好事——而未來暖化的情況會多嚴重也有討論空間。但全球暖化是真的，而且很危險。

事實四、冰正在快速融化

北極海的海面每年冬天都會結冰，但這些海冰有愈來愈多會在夏天再次融化。到了 9 月仍為海冰覆蓋的區域已經大幅縮減。

事實五、天氣愈來愈劇烈

綜觀全球，地震等地質災難的發生次數維持穩定；然而，受到氣候變遷影響的地區卻愈來愈常發生天災。

事實六、野生動物已經受到傷害

2016 年的一項研究針對 976 個物種進行調查，其中 47% 已從活動範圍內較溫暖的邊緣地帶消失。許多棲地都發生了這種現象，表示它們未能適應氣候變化；動物發生「局部地區滅絕」的比例略比植物高。

氣溫如果上升超過攝氏 4 度，每六個物種就有一種會面臨全球性滅絕的危機。2015 年的一項研究指出，我們若不減少排放溫室氣體，全球均溫可能在 2100 年就會上升 4 度。生物多樣性豐富的地區如南美洲與紐西蘭受到的打擊會最大，因為自然地物（如山谷）會阻礙物種透過遷徙以適應氣候變遷。

事實七、我們能有所行動

乾淨能源，物美價廉。隨著太陽能板銷售量暴增，成本下降的速度比專家預期的還快，而這都歸功於科技進步和規模經濟。

從上述真相，我們可以知道全球氣候生態都因為人類活動而急遽改變。假設你我都接受 90% 科學家的說法，同意「碳排放會導致全球暖化」的論點，現在，就先讓我們檢驗自己對「碳排放」的認識程度吧！

當我們談論到「碳足跡」對氣候變遷帶來的影響，許多人連「開車」或是「搭飛機」所產生的碳排放量都不清楚了，對於日常生活行為的碳排放量，可能更是所知甚少。像是，「買一杯拿鐵」的碳足跡是多少？吃一個漢堡？發一封「LINE 簡訊」呢？事實上，正是因為我們不容易得知自己對暖化的「貢獻」，才更難關注「自己」每天所產出的碳排放量，究竟對氣候帶來什麼程度的變化。



(日常生活的碳足跡)

針對這個問題，2011年出版的《究竟香蕉有多糟？⁹》（直譯自原文書名：How Bad Are Bananas?）這本書，便以深入淺出的方式介紹了人們日常生活中從事的每件行為所代表的碳足跡，並且透過量化方法，有趣地說明日常行為對暖化所帶來的影響：

平均一個人一年的碳排放？→ 台灣人約平均 12 噸，美國人約 16 噸，全球平均最高是卡達人約 40 噸，最低是奈及利亞人不到 1 噸。

一根香蕉的碳排放？→ 約 80 克碳排放量。

一臺車子的碳排放？→ 約 6~35 噸，從一般轎車到越野型轎車。

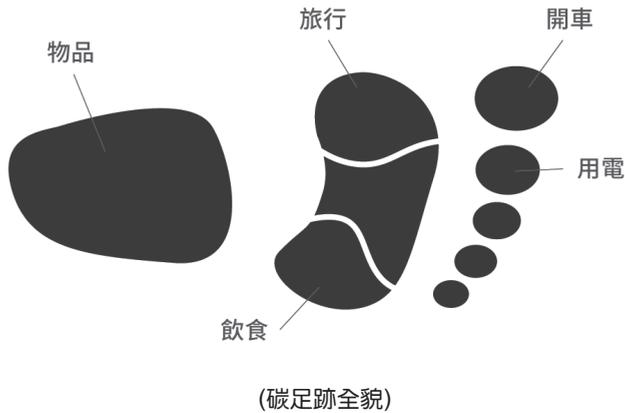
一個房子的碳排放？→ 約 80 噸。

接著，從「一個人」放大到「一個國家」的碳足跡，透過美國能源部二氧化碳信息分析中心（CDIAC）為聯合國收集的 2015 年數據¹⁰，我們可以得知，全世界碳排放量排行第一名為中國、第二名為美國、第三名為歐盟，而前十名國家占了世界排放總量的 67.07%。那麼，台灣呢？依據國際能源總署 IEA/OECD 於 2016 年出版之能源使用二氧化碳（CO₂）排放量統計資料顯示，台灣在 2014 年的二氧化碳排放量達到 249.66 百萬公噸，占全球比例接近 1%，全球排名第 21 位；人均排放量也名列第 19。可見台灣在全球氣候變遷中扮演「舉足輕重」的角色。

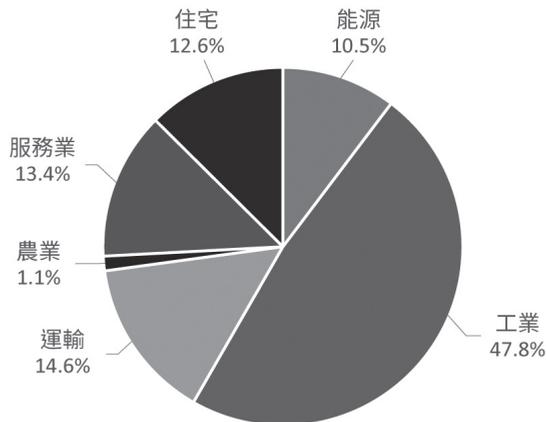
然而，碳足跡的計算卻非易事。現今，網路上有許多免費的碳排放計算方式，例如：碳排放計算器會根據你的家庭能源、個人旅行習慣等，計算出碳排放量，實則忽略了購買的所有商品以及服務背後的碳排放量。若以一個雜誌出版社為例，就如同只看員工的辦公過程，而忽略了印刷出雜誌本身的碳排放量。如同 Mike Berners-Lee 書中所說，這樣的計算方式比較像是碳「足指頭」跡，而不是碳「足」跡的全貌。

9 Mike Berners-Lee(2010). How bad are bananas?. London, England : Profile Books Ltd.

10 各國家碳排放量清單，參考來源：<http://www.wikiwand.com/zh-mo/%E5%90%84%E5%9B%BD%E4%BA%8C%E6%B0%A7%E5%8C%96%E7%A2%B3%E6%8E%92%E6%94%BE%E9%87%8F%E5%88%97%E8%A1%A8>。



人類活動產出的「碳足跡」是比「碳足指頭跡」大很多的，我們應更進一步地觀察一個國家碳「足」跡的來源以及占比。以台灣的碳足跡而言，工業能源消耗占比高，台灣工業所產生的二氧化碳幾乎占了各部門碳排放量的一半。從 2015 年各部門排放碳占比來看：工業約占總排放的 47.84%、能源占 10.46%，運輸占 14.60%，服務業占 13.36%，住宅占 12.61%，農業占據 1.14%¹¹。



(2015年台灣各部門碳排放占比。擷自：行政院環保署)

這些訊息告訴我們：(1) 全球暖化由人類行為的碳排放造成；(2) 碳排放的足跡是一整個活動的全貌，生活每件事物都可以計算碳足跡；(3) 台灣總體碳足跡來

11 資料出處：<https://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=10052&ctNode=31352&mp=epa>。

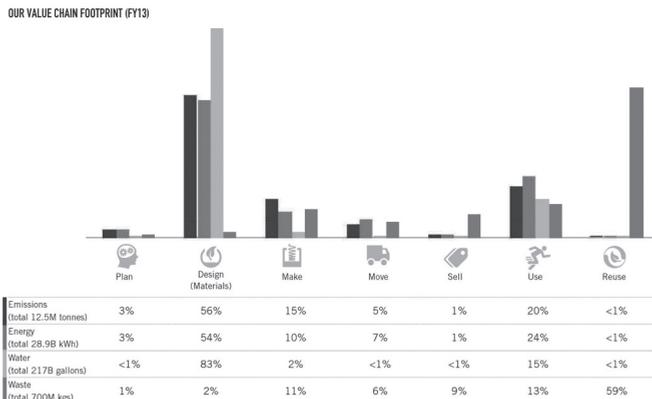
說，工業活動是造成暖化的最大關鍵。

設計師與工業之間有著密不可分的關係，若設計師要為全球減碳付出貢獻，必須要進一步瞭解，商業背後的工業活動與運作，到底如何影響了企業的碳排放，這將是設計師以及所有在減碳議題發展上的基礎。

三、 設計師該懂的碳足跡——我們都想要的環保設計

我們的日常生活被許多很棒的「設計」所影響：每天起床第一件事拿起 iPhone 看看股票及新聞、出門前穿上 Nike 高科技製作的衣服與鞋子、騎著以電池驅動的 Gogoro 上班……等，「設計」提供了人類許多不同的生活體驗。而「設計師」在這樣的日常體驗中，正扮演了決定性的角色。這邊，就先讓我們來看看幾家全世界最創新、最被設計師所愛戴的品牌，在他們的企業永續報告中，「碳足跡」是如何影響企業文化？

在 Nike 公布的永續計畫報告書（2013）裡¹²，我們可以看到，在企業總體碳足跡分析中，「設計」與「製造」（Design+Make）的環節就已佔過半（56+15=71%），其次則是消費者使用（20%）與運輸（5%）。Nike 在「設計」的過程中，即已排放了過半的二氧化碳，反映出「設計」正是影響 Nike 總體碳足跡的重要關鍵。



（NIKE年度永續報告之價值鏈足跡。擷自：NIKE 2013官網）

另外，近十年來對人類生活影響甚鉅的創新產品公司——Apple（蘋果），在

12 資料出處：Nike 官方網站（NIKE.com）。

Apple 的永續計畫報告書（2016）¹³ 中，我們發現「製造（Manufacturing）」的環節就高達了企業總體碳足跡的 77%，其次則是消費者使用（17%）、運輸（4%）以及回收（1%）。

Our comprehensive 2016 carbon footprint

29,500,000

metric tons of greenhouse gas emissions

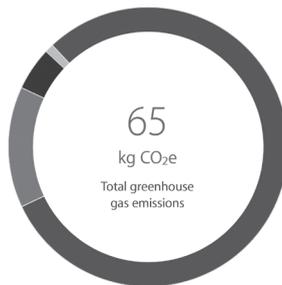


（APPLE年度永續報告之碳足跡。擷自：APPLE 2016官網）

Greenhouse Gas Emissions for iPhone 5s



Date introduced
September 10, 2013

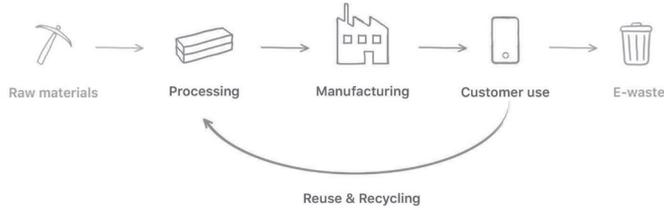


就單項產品本身的碳足跡報告來看，以 Apple 於 2013 年推出 iPhone 5s 為例，我們可以發現在「生產製造（Production）」的環節，就占了整體 80% 的碳排放量，而消費者使用僅占 14%，由此也反映出「生產製造」正是企業總體碳足跡的關鍵。

而 Apple 為了徹底解決這個問題，也提出了「封閉生產鏈」的概念，將消費者使用的舊手機，直接進行循環再利用，形成「材料處理、製造與消費者使用」三端的封閉循環系統，並期許在 2020 年達成「零電子垃圾」的目標。

13 資料出處：Apple 官方網站（APPLE.com）。

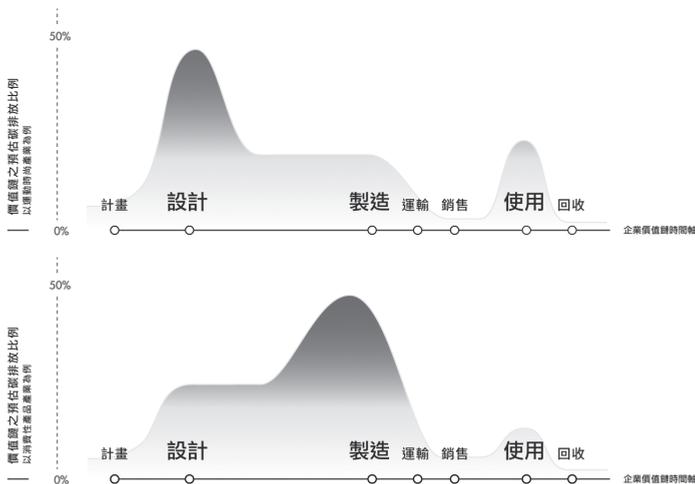
Closing the loop in our supply chain



(Apple年度永續報告一封閉循環目標)

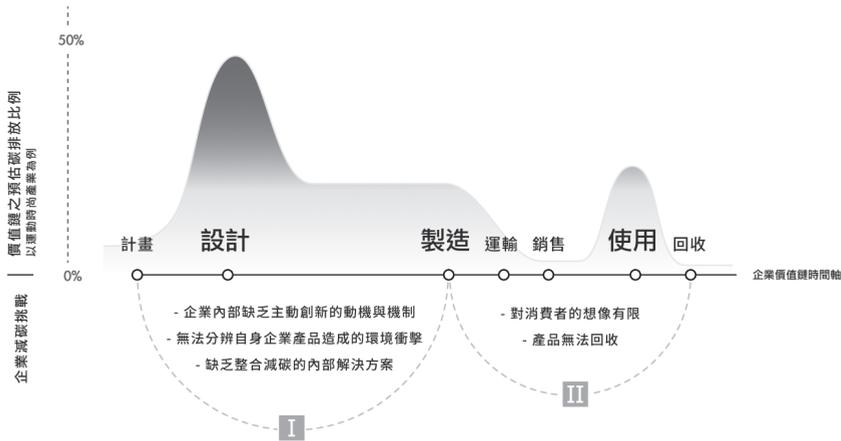
看到這裡，讀者應可漸漸理解「設計」在企業碳足跡上的重要性。藉上述資料，我們可以看見，最初「設計」到「製造」的過程中所釋出的碳排放量是最多的，也就是，上述產品在設計與開發階段所產生的碳足跡，遠遠大於了後續的「運輸」、「消費者使用」與「回收」的環節。在此，我們簡單總結：

1. 以生活產品與消費電子品牌為例，企業永續經營管理中，針對「設計」與「生產」的減碳計畫是影響全球暖化最重要的部分。
2. 設計師所從事的活動，對企業總體碳足跡有著重要的影響力。
3. 除碳足跡外，水足跡、能源使用、資源使用等，也對整體環境造成影響。
4. 不同的企業生產的不同產品，將會有不同的碳足跡結構（如下圖）。



四、 我們提出的解決方案

我們發現，企業在面臨市場的變化、政府法令限制等條件下，並不容易主動在現有經營模式中找到解決方案，若將企業開發產品的過程分成兩個部分，我們可以看到不同產業可能的減碳挑戰如下（以運動時尚產業為例）：



挑戰範圍 [I]：計畫 - 設計 - 生產 (From Plan to Design and Make) 階段所碰到的挑戰，也是碳足跡主要分布的部分：

1. 企業內部缺乏主動創新的動機與機制。
2. 無法分辨企業使用之產品造成的環境衝擊。
3. 缺乏整合減碳的內部設計與生產解決方案。

挑戰範圍 [II]：運輸 - 銷售 - 使用 - 回收 (From Move to Sell, Use, and Recycle) 階段所碰到的挑戰，主要為消費者使用的部分。能夠減少「消費者使用」的碳排放量將是這個部分的重點。

1. 對消費者的想像有限，缺乏挖掘消費者需求的能力進而改善消費者使用方式。
2. 產品無法回收，只能燒掉或掩埋，無從改善消費者對產品使用消費過後之回收狀況。

張詠竣相信，若設計師能透過更全面的方案，提供企業在面臨減碳及環境衝擊問題上更多的可能性，將會是環境、企業、設計師三贏的局面。他更提出創新減碳的設計合作方案：Vitality Design™（生命力設計），其重點有以下四個面向：



（張詠竣的Vitality Design四向方針）

A. 共同創作(Co-creating New Product Development–CCNPD)

- 共同創新設計解決方案。
- 教育客戶使用更減碳之解決方案的重要與可行性。

B. 極減足跡(Minimizing Footprintof Making–MFM)

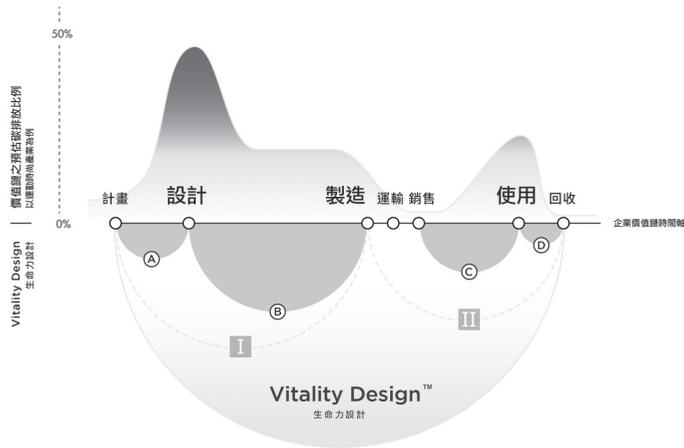
- 使用環保且低環境衝擊的材質（包含但不限於回收再製塑料、低衝擊棉質及橡膠材、認證過的皮革等。）
- 使用更好或更少的化學物質來處理材質。
- 再生能源的合作方案。

C. 重複利用(Reusability)

- 延長產品使用壽命、增加重複利用的可能性。

D. 循環回收(Recyclability)

- 從設計開端就改善產品材質使用與組成方式，達到未來百分之百可循環回收。



接下來，讓我們來分享目前的四個面向的成功個案：

(一) 個案 A：共同設計(CCNPD)x聯合利華 (Unilever)

2016永續生活計劃基金The Unilever Sustainable Living Plan



「賣場上琳瑯滿目商品，到期時應該該如何處理？」一直是讓各家生活消費產品企業傷腦筋的問題。張詠竣在創辦公司後，便設立了 Your-Trash-Can 計畫，透過「聯合利華」永續生活計畫（The Unilever Sustainable Living Plan）的專案贊助，試圖與企業共同為「廢棄物的循環經濟」議題，找出可能解決之道，同時也希望達到寓教於樂之效。該專案攜手對該議題有興趣的全國大學生一同思考廢棄物再利用的方法，試圖延伸再生循環的可能性。另一方面，也希望與聯合利華共同發展出符合商業成長、同時達到環境永續的創新模式。



在這項專案中，張詠竣指導台灣大學、成功大學與荷蘭國際學校（Netherlands-Asia Honours summer school）的學生們一起打造全台第一座來自荷蘭創客 Dave Hakkens 的塑料循環設備，讓小朋友親身體驗「用丟棄的瓶子製作出玩具」的創意過程。



除了打造塑料循環設備之外，該專案更進一步使用再生藝術工坊的場地，將1500個塑膠瓶打造成遊樂場，帶領大學生們從「繪本故事」的架構著手，並帶入塑膠再生利用的概念，引導從未接觸過展場設計的學生們，規劃出為期一個月的動、靜態展覽，讓父母能帶著孩子一同體驗「塑膠」的不同可能性，甚至讓大愛電視台製作一集「小主播看天下」的塑膠再製體驗節目。



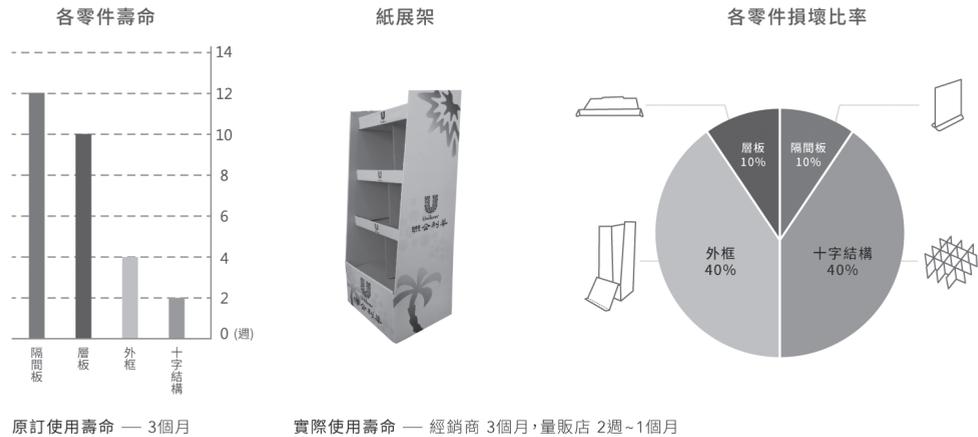
(二) 個案B：極簡足跡(MFM)

HUEMON環保減碳通路展架開發

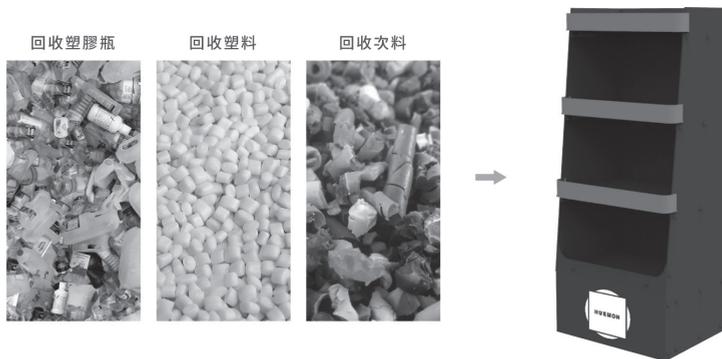


目前市面上生活消費品通路在販售產品時，除了有商場長期使用的陳列架之外，由於「輕便」、「移動性高」、「便於組裝」、「造型多樣」等有利因素，商家也習慣使用「紙展架」做為促銷活動的商品擺設。近年來，由於紙價上漲，造成紙材的供需失衡問題逐漸嚴重。另外，紙展架製造過程中所使用的全新紙纖維材料具「高碳排量」，不僅如此，紙材的製成，是使用「膠水黏合」的方式，若內部零件損壞即無法更換，導致產品汰換率高，平均使用壽命不超過三個月，而紙架淘汰後，也只能夠降級回收。

紙展架分析



透過紙展架的優缺點分析，我們發現紙展架非常符合用以實行極減碳足跡的 **Vitality Design™** 概念。於是，我們研發了採用回收塑膠等再生材料製作而成的「環保展架」，使用專利可拆解結構達成重複利用的特性，未來廢材再生後也可重新回到消費鏈，進入到循環經濟的模式。既可極減碳足跡，實踐綠色設計及生產，也可達到資源循環零廢棄之環保願景與目標。



此專案成功爭取到聯合利華永續生活計畫的贊助與台北市產發獎勵研發補助，未來將進入市場應用，協助產業使用創新產品，並達到以下極減足跡的理想：

1. 以永續產品開發之概念，重覆再利用塑膠材料研發新產品，減少石油等資源的耗竭。
2. 回收塑膠再製商品，讓資源永續利用，可減少垃圾處理過程中對環境的汙染，將垃圾變黃金。
3. 塑膠再生環保展架取代傳統紙展架，可減少製造過程中的碳足跡，不但降低二氧化碳的排放量，也可以減低樹木的砍伐樹量。以一家台灣生活消費性品牌使用紙展量來看，淘汰紙展架就能減少100噸碳排放量、少砍625棵樹。

(三) 個案C：重複利用(Reusability)x台北W飯店 (W Hotel)

台灣果真好中秋月餅禮盒



(60個寶特瓶製成的台灣果真好月餅禮盒)

張詠竣曾代表小智研發與台北 W 飯店 (W Hotel Taipei) 合作，推出台灣在地特色名產「台灣果真好中秋月餅禮盒」，當時台北 W 飯店在找尋創新商品方案、同時

也想表達對環保的重視，透過與張詠竣的合作，以飯店房間固定用的寶特瓶材質作為命題，製作成裝月餅的盒子，融合 W 一貫的時尚品牌形象，想帶給消費者「環保」且「突破傳統」的驚喜。

不過除了中秋月餅送禮的目的外，這個設計背後更想挑戰的是如何重複利用餅盒，以避免一次性使用的浪費。由第一章英國針對環保袋的報告，我們可以得知「重複利用」將是影響碳足跡的重要關鍵。因此，在最早的產品提案中，張詠竣除了考量消費者使用之外，更建議 W Hotel 多重使用此設計，將包裝使用在飯店內部的裝飾上（如：餐廳的桌上擺設、甜點餐具、室內燈具等），放大重複利用的可能性！另一方面，消費者吃完月餅後，月餅盒也可以變成桌上的糖果罐、廚房桌上的調味盤等，有效避免一次性浪費。



(四) 個案D：循環回收(Recyclability)x金色三麥 (SUNMAI) 蝶式輕手把-兩公升量販啤酒包裝



金色三麥的環保蝶式輕手把，也是循環回收設計理念的成功產品開發案例。當時金色三麥在商業營運上有重要的策略，希望替換掉原本的保冷包裝（如右圖），因製作成本過高，又加上銷售策略導致產出過多的包裝，讓消費者在使用保冷過後卻不能進行資源回收，製造出更多的垃圾。這樣的情況，使得金色三麥希望一方面可以將整體產品成本降低，同時也期望能製作出創新、環保的包裝解決方案。



後來金色三麥與張詠竣共同開發，成功製作出一款使用單一塑料製程、可承受產品兩倍的重量的輕手把，並且因為它的可量產性而大幅降低了製造成本。而消費者使用完的包材，也可以百分之百循環資源回收，是 **Validity Design™** 循環資源理念在商業合作上極成功的範例。



(張詠竣 設計流程提案)

以上四個實踐 **Validity Design™** 的方案，是因為張詠竣堅信「環保得與商業的成功共存，才能驅動產業的進步，否則設計師在市場生存過程中時常以商業為先而無法兼顧環保理念」。因此，張詠竣一步步建立起設計與環保的關係，培養環保議題的正確認知與使命感，企圖找出設計與碳足跡的關係如同《產品永續設計：綠色設計理論與實務》¹⁴一書中寫道：「環境保護與生態平衡是全世界各國共同重視的問題，綠色文明已然成為世界發展的趨勢」。當企業在開發新產品與選擇生產技術時，必須做出有利於環境保護和生態平衡的技術選擇，在全球化與全面化的環境保護意識下，設計師必須要注意哪些環境問題？設計師又應該扮演何種角色？Paul Burall (1991)¹⁵認為「設計師應當積極了解與學習綠色技術與其發展趨勢，並於設計第一線就將環境保護的理念投入到設計規範與限制中，如此便能確保設計師所設計出來的產品是符合環境保護條件。」

14 杜瑞澤(民91)。《產品永續設計：綠色設計理論與實務》。臺北市：亞太圖書。

15 Paul Burall(1991)。Green Design

讓我們試想一下暖化後的生活狀況：若台北的夏天溫度達到 45 度，你還想騎 Gogoro 出門嗎？

當大太陽天氣熱到柏油路高燒，Nike 鞋子塑膠燒出臭味，我們應該穿什麼？

保護我們的環境，讓生命的活力能夠持續下去，是張詠竣堅信作為一名「設計師」責無旁貸的使命。

現代竹藝的永續發展

周育潤總監
周育潤設計工作室

前言

自 2007年，位於南投草屯的國立台灣工藝發展中心開始了 Yii 計劃，將台灣傳統的工藝賦予創新的精神與設計，竹工藝開始擺脫了傳統的面貌，透過設計師新的想法，發展出一系列在世界頂尖的設計家居展會上大放光彩的傢俱，家飾品。

通過展演與媒體的報導，也讓原本在竹山默默工作的工藝師，站上國際的舞台。之後的幾年來，更讓許多人注意到台灣的竹工藝，開啟了竹工藝新的一頁篇章。這樣的發展，並不是短暫的巧合，而是對於現在大量生產製造的反思，更是與世界環保意識抬頭接軌的事實。透過這樣的趨勢，我們可以看到竹材在現代社會的重要性，也可以在未來性可能脈絡中，找到台灣竹的發展可能。

第一章 竹材的特性

竹材的特性與木材有很大的不同，自古以來就有非常高的利用價值，竹筍的部分可以食用，竹根的部分可以作為雕刻藝術裝置；竹莖桿的部分因為其空心的特質則是能產出最大的利用，運用它的強度，可以做成建材或鷹架甚至橋樑，輕盈的特性，則做成掃把或是曬衣桿，中空的部分不但可以做成裝盛食物的容器，竹筏等交通工具，更發展成樂器演奏。竹肉因為強度與質感沒有靠表皮部分來的好，最適合拿來作為如竹筷竹籤等一次性使用的免洗餐具。表皮的部分則因兼具有彈性與柔軟

性，適合剖成細的竹篾，做各式各樣的編織，例如竹籃與斗笠。細枝的部分則適合做為掃把的掃帚部分或是農地裡的稻草人，竹葉的部分能成為包裹食物的材料。可見竹材在農業時期的廣泛應用。近年來竹子也發展成竹炭，加入纖維製成衣物可以更清涼透氣之外，也可以加入水中淨化水質。一些新的製造技術加入後，竹材也可以經過堆疊加壓與黏合，製成有如木板的竹積成材，製作出竹地板或是有如木頭般的竹製傢俱。由此看來，竹材本身利用價值是非常高的。從生長的角度來看，首先竹材為縱向纖維，生長快速，部分竹種在生長期時，最快甚至一天能長到 120 公分高，一般來說，只要 3 至 4 年就可以達到成熟的高度，古人更有除三去四莫留七的說法，3-4 年為最好的採收期，到了 7 年以後，竹材纖維老化，材料本身的使用性變差，就最好砍掉重新種植。相較於樹木，這樣的生長特性是無可取代的，它的碳吸收能力更是相當良好，而現在我們越來越重視地球暖化的問題時，竹材又重新逐漸被重視，成為永續發展的一個重要材質。

台灣屬於亞熱帶氣候，非常適合竹子的生長，在平地或山區，不同海拔的高度上，都可以看見竹子的蹤跡，在生長快速的季節，有的竹種甚至一天可以長到 120 公分。再加上海島型氣候，跟大陸型氣候的叢生竹相比，多為散生竹，竹材的彈性與質地特別優良，適合做成各式產品。

第二章 傳統竹藝產業的發展與沒落

早在工業革命所形成的大量生產製造之前，人工為生產產品的唯一方式。在所謂現代材料例如塑膠和金屬加工生成之前，這些用品為當地取材，以當地的天然資源去生產出我們生活的用品。當這些對於各種材料手工技術開始形成自有的特殊製造方式，加上不同的創意應用，這就是工藝的起源。工藝聚落的形成也就是根據材料的取得，而有絕對性的地緣關係。例如陶瓷產業的興盛會聚落於當地的泥土適合作為燒製之用，例如現在的鶯歌或是苗栗。竹產業也因為各地竹種特性不一樣，適合做成不同的產品，而產生了不同的聚落。例如竹山多為桂竹，質地較細緻彈性好，適合做成竹編製品，例如竹籃或是竹席。而南投盛產孟宗竹，直徑較粗且堅韌，適合做成竹傢俱與建材。像是台南關廟多為刺竹，質地較差，就朝向竹掃把或農具等消耗性較高的產品發展。

工業革命之後產品開始大量生產的模式，透過塑膠等材料進行塑形，快速的生產出均一性高的產品。手工製造開始逐漸蕭條，工廠也遍地而生不再依靠天然資源的屬地主義，這些傳統的工藝聚落漸漸式微，留下一批技藝較為精湛的工藝師們，將製造與技藝精緻化與藝術化，成為具觀賞價值高的藝術產品，工藝品。

早期在民國三、四十年代後就開始發展竹產業，聚落的形成主要圍繞在南投竹山一帶。竹材的種植與採集方便，造就了當地成為竹產品的製造小鎮，幾乎家家戶戶都與竹產業相關，包含竹材種植、處理，與各式加工。各類竹製品外銷，小到編織大到傢俱，訓練出許多竹藝人才，在當時成為台灣製造出口的大宗。直到民國六十年代，產業開始外移到中國大陸與東南亞，竹製品這種依賴大量手工的產品也開始出走台灣，尋找勞力成本更便宜的國家設廠。自此以後，國內的竹產業環境就開始衰退，在地的廠商越來越少，加工人才也開始出現斷層，原本竹山高工設有竹工科，也因缺乏就業機會而最後走到裁撤的結果。竹山工業區裡大大小小的竹加工廠現在已經找不到了，僅剩下少數的幾家還有在從事與竹相關的工作，例如製造日本劍道比賽用的竹劍，還有燈籠的觀光工廠。在人才方面。早期國寶級的竹藝家現多已退休，幾位還有在從事教育工作。而在推廣方面，從早期到現在則由位於草屯的工藝研究發展中心，持續保持竹藝的知識累積，與人才教育的培育，讓新生代有機會學習到傳統的竹藝，也讓文化知識的累積得以延續。目前產業界較有活動能量的中生代竹藝師，多為在竹山土生土長，自小受到家裡與環境的薰陶，而保有專業的技能，還能依然從事竹藝的工作。

而時代環境的改變，竹製品已經在日常生活中已經越來越少被使用，也導致竹產業萎縮，因其大量製造需要許多的人力成本，無法降低單價與市場上其他塑膠製產品競爭。

第三章 現代設計的趨勢與應用

2007年，位於草屯的國立工藝研究發展中心開啟一項新的計劃，目標將台灣工藝結合創新設計走向國際舞台。竹工藝即為其中一項，有三位中堅世代的竹工藝師參與。三位工藝師都出生於竹山，從小受到薰陶建立起自己的工藝技術，卻同時也願意接受創新的想法，而成為這計畫的候選人。我的第一項計劃是將傳統竹工藝結

合生活的實用價值，並且與竹材質能產生關聯性對話的產品，例如竹林的聲音與竹帶來的清涼感，所以提出了竹電風扇的概念。設計部分利用竹管空心的特色，將其剖開並烤彎，形成一體成型的流線漏斗型，加上傳統的竹編技術加以結合與固定，再結合扇葉與竹管中置入馬達開關，成為一小型的桌扇。與傳統電扇不同的部分，是利用竹材可以一體成型，減少不同材質與零件的消耗，兼具美觀同時達到節省材料成本。



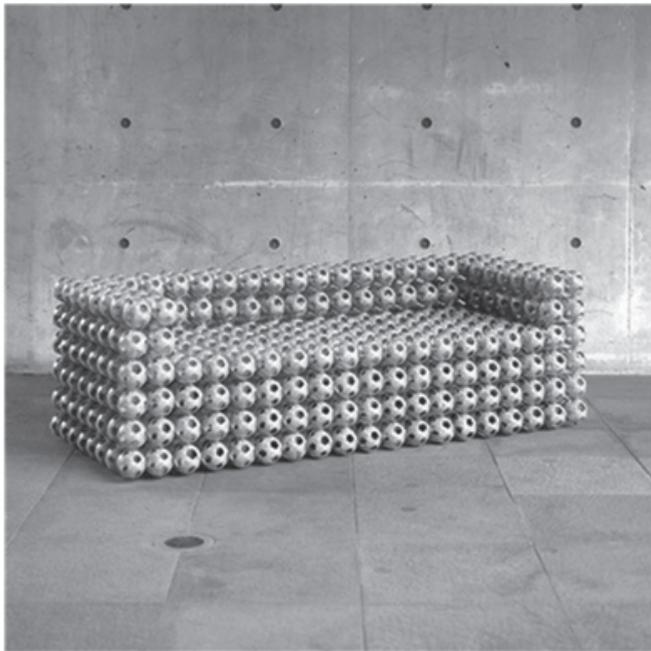
第二項合作案是家具，在過去有幾個用竹子家具的好例子，像是台灣工藝之父顏水龍老師，就用竹管空心的原理，創造包管的技法，巧妙地運用材料創造出使用堅固的桌椅，成為經典。但在之後竹材並沒有被好好的運用在家具製造上，取而代之的是木質家具的大量流行。如何利用竹材的特性，創造出唯有竹材才能達到的家具樣式，或許就是在展現東方現代家具的最好方式。在這竹凳的概念中，竹材的特性充分被展現，堅韌的特性展現在三支竹管所形成的椅腳，向上展開後交接成一個由自由編織法編織的曲面，最後延伸到坐面，展現了竹的柔軟特性，也將竹子既堅強又富韌性特色表現在一張座椅上。竹材輕量的特質，也讓這一體成型的椅子，無法用其他的材質做取代。兼具材質創新與美感的特性，也讓這個設計在 2008 年法國巴黎家飾展中，從一萬多件作品被評選為美的令人心碎，並得到 2009 年德國紅點設計大獎。從原本價值感低的竹材，變身為國際獎項肯定的作品，都說明了只要能好好利用材料的特性，竹材也能成為登上大雅之堂並創造銷售可能的好材料。



在得到國際獎項與媒體的宣傳之後，竹凳椅得到不少訂單，但當時的策略限制，可是最大的問題是國內產業斷層，無法大量生產出貨，生產的上中下游無法連貫，也導致成本無法達到預期的需求。所以並不是創新或是工藝技術的問題，是這個產業的環境已不在，導致沒辦法創造出產值。這樣的問題，讓我了解到縱使再好的設計，沒有產業的支持是不可能商業化的。而設計的思考因不再只是美學創意，而應該以更高的高度為土地環境、產業提出一個創新的解決方法。在這樣的想法下，開始考慮降低工藝的難度，透過更多人可以參與的方式，來彌補我們已經流失的產業人材。我注意到了竹編球，這是一項極簡單的編織技法，許多參與竹編體驗的人，都可以順利地完成，但其實他又是一個老祖先的智慧，透過五角孔的編法，卻可以將六片輕薄的竹篾，變成一個有強度的正圓球，我與蘇素任老師很快地嘗試將這些球接了起來，竹片的強度可以達到重量的支撐，有了這樣的成果，我們就可以將這些球如同樂高積木一樣，組合成不同尺寸的家具。更重要的是，對竹工藝有興趣的人，可以藉由這樣的步驟，一步一步的進階，漸漸的往更高的工藝技術邁進，還有甚至是監獄的受刑人，也可以經由這樣的學習得到技能的訓練，或許就是改變我們現有產業結構的一個方法。在第一次打樣參加米蘭國際家具展的準備當中，我們必須在接下來的一箇月中完成 732 顆球，剛好一個對竹編有興趣的年輕人，希望可以學習竹編，蘇老師剛好利用這個機會，讓他從認識竹材，處理竹材，到編織成球，

做了一個最好的入門課程。同時老師也在教會，認識了一位生活需要幫忙的外籍新娘，同時教導這位外籍新娘，讓她可以幫忙製作球，也得到了所需的一些收入。結果不但讓我們順利完成作品到米蘭展出，也在過程中對於土地與產業有所回饋，也讓我更相信永續不只是包含材料與環境的關懷，人與文化的延續也是其中一個很重要的部分。

竹球椅在米蘭得到了很多的國際報導，也開始接到了一些訂單，開始出貨。在同一時間我們又培育了更多的人才，也讓弱勢的朋友可以加入，讓原本沒有人注意的竹產業，找到一個新的價值與可能的方向。



竹的聲音裝置。竹材除了外觀上的表現與探索之外，在過去也是製作樂器的材料之一。2009年宜蘭的蘭陽博物館開幕展，邀請台灣設計師結合宜蘭的在地社區工藝，合作創作出屬於蘭陽平原的生活美學。我有幸與宜蘭當地相當有名的鑒湖堂文化基金會合作，運用他們製作竹樂器的技術，進行設計發想。鑒湖堂有著名的當代

樂團，把竹材變成敲擊樂，發行 CD 之外，並到各地演奏推廣竹樂器。我第一次聽就被竹樂器清脆並有特色的敲擊聲所吸引，那時提出的概念希望在博物館內可以做出一個跟觀眾互動的裝置，讓每個人都可以聽到竹的音樂。所以設計了一個直徑約 3 米大小的吊燈，不是懸吊水晶，取而代之的是一支支可以敲出不同音階的竹管，運用中間的馬達裝置，敲出一首完整的宜蘭名謠『丟丟銅』。當我帶我母親去看這個展覽後，這項作品給予她最深的感動。我想，也就是能讓一般人都產生共鳴，才能有辦法接下去敘述竹材永續環保的概念吧。



竹製飛船。認識竹山的工藝師後，才了解從小接觸一項材質後，會有多大的影響。接觸到許多歐洲國家的公共設施後，也發覺使用天然的材料對於創造力的發展與環境視覺有多大的不同。2013 年在一項計劃中，我們要改造孩童的遊樂設施，讓小朋友有創新的體驗。我想到的就是自己小孩在一兩歲時都會喜歡坐的搖搖馬（投 10 元會有放歌，乘坐在上面會搖動的那種遊樂器材）。在台灣，這類的遊戲搖搖馬都是玻璃纖維製造、模仿動物或是交通工具的外形，再噴塗上色彩繽紛的顏色。雖然是給小朋友玩的，但為什麼不能兼具環保與吸引力與想像力呢？我決定用竹材來改造，選了一台能放出造飛機的舊機器，將上面的玻璃纖維外殼都拆除掉後，用竹材來製作一台具有未來感的太空飛船，讓小朋友在成長的過程中，就能學習到天然與

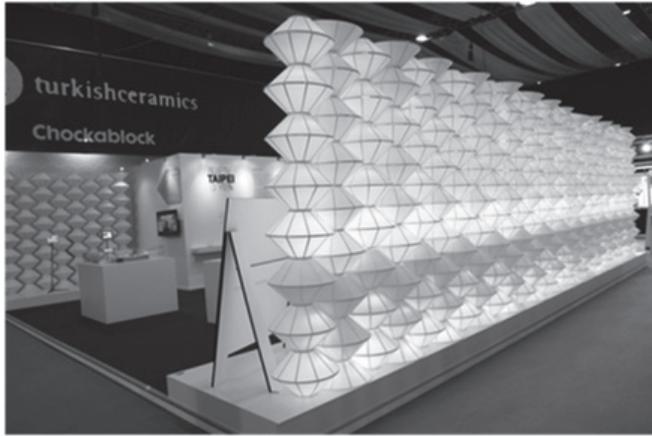
永續概念，起碼透過材質的接觸去感受。

兒童飛機



第四章 應用竹材的展覽教育

認識竹材的好處之後，除了產品開發的專案，在一些國際策展跟國內的展覽活動中，我也試圖導入竹材的應用。跟家具相比，展覽的週期最多兩個禮拜，壽命相對的短，但為求最好的展示效果，卻造成許多材料的浪費，無法回收有效利用。我開始思考，希望導入竹材的使用加上可再被利用，來降低只是為了展覽所造成的資源浪費。2013年，當時台北要申辦設計之都，我負責在倫敦百分百設計節台北館策展工作，除了挑選台灣的好設計到倫敦展出之外，更需要設計出一個可以吸睛的台北館展場，你的想法除了需要考慮飄洋過海的便利性之外，更希望能結合傳統元素與現代風格，傳達出來我們兼具科技與文化的特色。所以設計了利用傳統竹燈籠結合LED科技，做成一面長10米，可以產生燈光文字互動的燈籠牆，竹製的燈籠不但達到了最小的材積運送，輕量且好搬運，在展覽結束以後更回到台灣重新組裝，配合燈節的展出，相較於一般展場一次性的消耗，這次的結合達到了最好的回收示範。



接下來在溪頭的竹文化節裡，協助規劃展示工藝中心的竹藝作品，如何分割空間讓作品有獨立的展示效果是最大的挑戰，我利用了竹蓆可以無限延長，又兼具穿透性的效果，設計出有如波浪般線條的分格空間，在最少資源的消耗下，創造出獨特的展示效果。

2015 南投中興新村農業博覽會的工藝中心展示館，為一個戶外的展館空間，在約莫 100 平方米的空地上，必須提出可以展示陶藝與竹藝作品的展館空間，而竹材就是一個最有效的材料應用，在搭配帝王帳篷的天頂支撐，我們迅速的以竹管，架成 5 米高的牆面，成了一個可以透光又可通風的穿透展館，不但兼具了吸引參觀人潮的目光，材料的再回收利用，更是有效的傳達了永續的理念。

戶外展館



2017 中台灣燈會在豐原舉辦，三位設計師被邀請做雞年的燈會創作，我想了安雞樂業這個主題，想蓋一個雞舍，讓人們可以走進花燈參觀，在最快並且可以回收的方式之下我們用竹子蓋了一座 8 米高的房子，並固定上燈飾。同時間我用不同大小的竹節，組合成一隻隻會發光的小雞，分布在雞舍中，讓人們可以與燈具互動拍照留念。所以竹材的使用不在於材料的限制，是在於創意的想像，還有對於珍惜環境的永續概念。透過展覽的形式，更可以把這份想法傳遞出去，在創造驚喜的同時，也傳遞出環境教育的理念，讓永續不是口號，而是實踐。

燈會主燈 - 安通樂業



第五章 竹材應用的全球觀察

在接觸台灣竹工藝的這幾年裡，開始會特別去注意竹材使用的世界趨勢。最明顯的觀察，全世界最大的家具製造商 **Ikea**，在他們的產品線從幾年前開始有竹製品的出現，到現在已經有二三十件的竹製產品在販售，而且每年不斷地增加。你一定會覺得很驚訝，因為生於北歐的瑞典並沒有竹子，那為何他們會使用竹材來設計？結果是因為身為全球最大的家具製造商，同時也消耗了最多的木料，基於地球環境保護的原因，選擇以竹材來當作替代性的材料，由此可知，使用竹材不但是世界的趨勢，也是國際企業在嘗試的一個方向。而現今 **Ikea** 的竹製品多來自大陸浙江安吉，早期台商去投資的地方。現在卻成為世界組織品代工的最大基地，在大量生產加工與國際品牌的品質要求之下，竹材製品的製造能力與規模，早已超越台灣的竹產業。當我們還認為竹材是傳統產業的同時，卻已經失去了與未來接軌的一個產業方向。

另外一個例子是看到韓國的企圖心。韓國在 2015 年舉辦了世界竹博覽會。竹博覽會是由世界竹會組織發起，世界竹會成立於美國，擁有來自全世界各地的會員，從生態、建築、設計、農業等不同角度面向來推廣竹材的運用。在沒有跟台灣相比

的竹產業資源之下，韓國卻積極的爭取世界的目光，將更多竹葉的資源拉進韓國，從綠能與休閒觀光的角度切入，和世界接軌，並努力在世界竹產業的舞台上，爭取到一席之地。我們代表台灣在國際館展出，展現出相當精彩的竹工藝能量，也讓我們開始思考反省，為什麼不是我們來主辦，來讓世界看到我們的永續想法，真的很可惜。也藉機提醒自己，當世界都在努力發展永續的竹產業的同時，曾經有厚實基礎的台灣，我們能做些什麼努力，才不會錯過這個永續發展的重要方向。

2016年初，我參與外交部與國合會的計劃，協助到中南美洲我們的邦交國，多明尼加去進行竹子的設計輔導。早在10多年以前，台灣就輔導多明尼加如何種植竹子，再教導他們如何製作簡單的竹製家具，從農業發展成簡單的製造工業，而如今是協助他們以設計來轉型，讓產品有更多的市場機會。中南美洲的氣候非常適合種植竹材，竹材種類雖然不像台灣那麼適合製作成精緻的手工藝品，但種植面積與運輸，卻可以供應未來國際對於竹材的需求。早在幾年前，我們已經看到有遠見的商人，開始在中美洲大量的種植竹材，並建立起便利的輸送管道，讓材料可以銷往世界各地。反觀台灣，產業外移以後，許多人漸漸的改種價值較高的檳榔樹，不但浪費了我們優秀的種植地理條件，最後也造成了水土保持不佳的問題。就如同產業的精緻化，若我們現在要復原這些竹子的產地，也要從一個管理的角度去進行，如產銷履歷的方式，讓種植出來的竹材，有更高的經濟價值與工藝運用，能創造出一個兼具環境永續與產業價值的共同目標。

結語

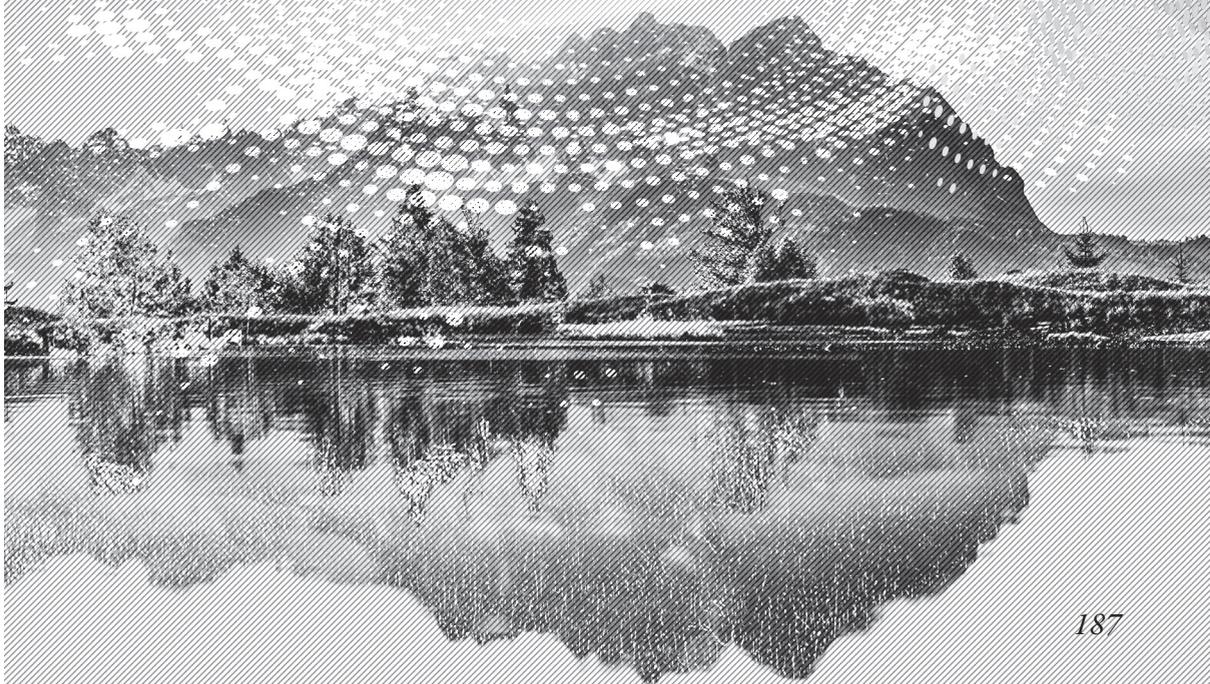
台灣有很好的竹資源，應好好拿來重新檢視再利用。我們也看到世界發展的趨勢，如何利用自己的優勢，與世界接軌，將竹材視為一個具有經濟價值的永續資源，會是邁向下一個世紀的重要課題與努力方向。

永續的概念是一種意識，而這種意識不是建立在現在鼓勵消費的文明發展中，如何讓產品在開發的過程當中，導入永續的做法，在消費與被使用的過程裡，慢慢教育消費者永續的概念，才能真正實現。倘若沒辦法發現竹材的創新價值，強迫消費者去接受是不可能的。所以站在產品的立場，好的永續概念構想與設計絕對是必要性，也是我們這一代的設計師最重要的使命。

從亞洲，到美洲，到歐洲。從家具，到建材，甚至到汽車工業。全世界都把竹材視為一項重要的材料。台灣有絕佳的地理氣候條件，有好的知識與技術，更有好的設計研發能力，唯獨缺乏了永續經營的想法，與貫徹保護地球環境的決心。永續材料的使用絕對不會是來自於獲利的多寡，而是身為地球公民責任。而唯有從自身做起，才能去影響他人，才能形成多數的力量，去改變地球的環境。雖然竹材是一個生長快速的資源，過多的消耗也會有殆盡的一天，所以竹材的使用，真正的涵義是要讓人了解，就算是隨手可得的平價資源，都要能好好的珍惜不能浪費，這是愛竹的人，與世上每一個人都應該了解的永續真諦。



第四篇 循環技術





城市採礦與循環經濟

陳偉聖教授
國立成功大學

一、前言

地球誕生至今 45 億年，人類在地球上已經存活 450 萬年，在最近短短地三十年來，產生酸雨、溫室效應、臭氧層破壞、熱帶雨林減少、生物物種減少、沙漠化、海洋污染、戴奧辛、人口問題、南北貧富差距等地球環境問題與社會問題，嚴重威脅人類生存與永續發展。瞭解過去人類發展文明、追求經濟發展與生活享受的過程，所建立的大量生產、大量消費、大量廢棄的社會體系，所帶來的社會變遷。要如何在降低當代人的物質享受與文明發展，也不損及下一代人的權益下，找到解決良策。

早期人類是以狩獵遊牧的方式生活，利用石器、銅器、鐵器等工具與大自然搏鬥，以贏得生存的空間。礦產資源之利用是人類維持生存與發展文明之重要物質。隨著人類生活方式的演進，逐漸聚集形成族群發展出農耕社會的生活型態，以耕種、圈養牲畜等滿足生活上所需的糧食。確立人類主宰地球的地位，也是人類破壞自然環境的開始。二百多年前的工業革命，人類領悟煤炭所具的化學能轉變成機械能的資源與功能之轉換原理，用機械力替代獸力，掌握了巨大的生產力，製造出大量產品，促進消費追求經濟成長，形成近代之工商社會，建立人力勝天的觀念。

廿世紀後半葉，科技急速進步，生產設備大型化，產能增加，成本降低，促進消費市場的繁榮，確立大量生產、大量消費的現代社會模式。社會經濟繁榮，人口

急速增加，對各種資源的需求也遽增，帶來兩次世界能源危機與各地區公害紛爭，同時也發現資源枯竭與環境污染，已嚴重威脅著人類的永續發展。

在講求效率的時代，不論是產業活動或社會消費型態，向來並未兼顧環境保護，在經濟性、有效性、便利性與一次性使用的考量下，各種廢棄物及污染物的排放量日益增加，而其性質亦趨複雜化而且多具危害性與毒性。會造成這種困境的最大原因，是因為工業時代後，倚賴資源驅動成長的線性經濟模式快速發展，成為全球近代史的發展主軸。各國在追求國力增長的思維模式下，甚至產生「競爭力」這種無形的競賽模式。線性經濟鼓勵政府與企業完美的實踐錯誤的事情，一步步造成今天的困境。在有限的自然資源日漸消耗，而無限的廢棄物大量增加的雙重壓力下，為了維持現代生活，以及解決人類資源與能源日益短缺的問題，資源循環與城市採礦漸漸成為人類社會永續發展的重要課題。城市採礦是在人類生活聚集的城市中，從生產與生活的廢棄物中，將廢棄資源物質回收、再生與再利用，使再生資源與能源在人類社會中可以重複被運用與循環，以減少原生物料或燃料的開採與消耗，是建構循環型社會的重要工作。

而採行資源循環與城市採礦的新思維模式，亦即是提倡循環經濟的思維模式，循環經濟是一套師法大自然資源使用的循環生態思維，經過設計以確保資源可持續回覆、循環再生，重新組織社會和經濟的新思維與新發展模式。而核心思維強調：循環經濟是一個資源可回復、可再生的經濟和產業系統。相較於線性下，產品的資源價值逐漸被降低，最終只能被丟棄或焚化的概念；循環經濟使用再生能源、拒絕使用無法再利用的有毒化學物質，藉由重新設計材料、產品、製程及商業模式，避免廢棄物的產生，確保資源的價值在任何時刻皆能最大化，因此資源能夠循環再生、不斷被運用。

二、有限的資源

資源可廣泛地解釋為「可供利用的自然物質或人力等非自然物質」或可解釋為「可提供為生產活動有用的物質、水力、勞動力等之總稱」。如習慣所稱的礦產資源、水資源、森林資源、生物資源、海洋資源、環境資源、人力資源、觀光資源、宇宙資源、生化資源等多種多樣。狹義的資源大多是指「存在於自然界，對人類生活息

息相關的物質，經製程或規劃或處理後，可供為人類在物質上或精神上獲得滿足的物質」。如礦產、水、森林等天然資源。礦產資源與石化資源是長期支持人類文明進步，對人類而言為最重要的物質，所以資源常以礦產、石化資源等地下礦產物為代表。礦產資源是屬於一種潛在性，具有侷限性與枯竭性的資源。

資源開發行為對礦場所在的地表、地層與周圍環境造成破壞與污染，影響環境生態。有些國家或地區以環境生態保護之理由，禁止在國家公園內採礦、對某些地區之探勘與開發行為也列為禁止，甚至於命令開發中的礦山關閉。集中於礦床的枯竭性資源經由開採、製造、消費的過程，轉移到人類社會環境裡，分散成為廢棄物，並非在地球上消失。若能將存在於人類社會中的這些廢棄物視為二次資源，加以再生、再利用，資源仍然可永續、不虞匱乏。

油田的生產特性，新油田開始生產，產量會逐漸提昇，到所剩蘊藏量的一半之後就逐漸下降，依此模式將全世界所有油田視為一個油田，全世界預計在達高峰之後的油產量會逐漸減少，有可能表示便宜的油價時代即將結束。石油是屬於能源資源的一種，其消耗過程是產生化學變化取得能源，排放 CO₂ 擴散於大氣，製造溫室效應，屬於消失型消費，與金屬礦物資源消費後仍然留存在人類社會的擴散型之情形不同。

但是人類社會常用的金屬資源，如金、銀、銅、鐵、錫、鋁、鉛與鋅等，其蘊藏量及可開採量都在三到五十年內耗盡，如果不積極從人類的生產與生活中，開發出人類的新資源，也就是城市礦產，讓這些新的礦產資源在人類社會中循環使用，否則這些資源將不夠人類社會永續發展。

已開發國家占全世界人口的 16%，占用 80% 的資源，人口數占 84% 的開發中國家，卻僅能分配剩下的 20%，形成南北懸殊的貧富差距。已開發國家內部經濟不景氣或失業等貧富的社會問題與南北貧富差距不同，這只是富裕中奢侈的貧困。開發中國家循著已開發國家的腳步來開發是無可厚非的，如此會使地球有限的資源枯竭更為加速以及環境污染更為嚴重。已開發國家應採用循環經濟思維，創造所謂的資源循環型社會，給予開發中國家在進行開發與發展經濟的過程中獲得啟示，共同維持地球的永續發展。

三、無限的廢棄物

工業革命之後不久，英國倫敦紡織產業蓬勃發展，大量燃燒煤炭產生動力，使整個倫敦籠罩在烏煙瘴氣中，泰晤士河的水質變污濁。日本古河的足尾銅礦山礦毒水事件等有名的公害案。第二次世界大戰後，各先進國家大量增產、引起各式各樣的公害，產生環境污染問題。公害是屬地區性的問題，產生原因明確，受害者與加害者之間的關係具有限制對象的特徵。可藉由公害解決對策，訂定法律加以規範，而獲得部分改善。

1972 年歐洲的大氣受到燃煤廢氣污染形成酸雨，使得各地森林枯萎，湖泊魚類死亡、土壤酸化、農作物歉收等嚴重環境污染，與上述的公害性質不同，對自然環境的污染是全面性，受害者與加害者之間的關係不特定，又是使人類的生存受到威脅的環境問題。最近全球性氣候異常，冷暖無常、雨量分布不均，乃歸因於溫室效應，由於過去與現代大量燃燒石化燃料，使得大氣中的 CO₂ 含量增加，在產業革命之前 CO₂ 含量為 280ppm，最近卻達到 360ppm。溫室效應、酸雨、臭氧層的破壞、熱帶雨林的減少、沙漠化、海洋污染、有害廢棄物越界移動、開發中國家公害等問題，都隨著工業化的發展所衍生的負面效果。

我國每年垃圾量約有 700 萬公噸左右，事業廢棄物每年申報量為 1,900 萬公噸。日本每年垃圾量約 5,236 萬公噸，產業廢棄物約 4 億公噸。德國每年垃圾量約 5,300 萬公噸，事業廢棄物約 3 億 3 千萬公噸。美國每年產生之家庭垃圾量為 2 億 3 千萬公噸。這麼龐大的廢棄物數量等待焚化與掩埋處理。如果將這些廢棄物視為城市礦產來開採，則可補充原始一次資源開採量。

有關廢棄物的處理處置，世界各國的公民都很關心，由於過去受害的恐懼經驗，對最終處置場、中間處理設施的妥善處理程度持懷疑態度，對焚化廠排放戴奧辛也多有疑慮，採取抗爭的手段紛爭不斷，使得廢棄物處理設施的建設難以執行，成為各國政府施政上的一大難題。廢棄物的處理本身所需的處理費用，對環境造成的污染以及紛爭所帶來的社會問題等，對廢棄物處理所投入的成本效益非常低，因此對廢棄物的問題，考慮採取從發生源減容減量措施。同時也發現廢棄物中所含的鐵罐、鋁罐等等，都是投入大量能源的資源物質。廢棄物的處理重點轉向其中的資源性物質回收再利用與資源循環為主要訴求。

四、城市採礦

台灣地狹人稠、天然資源不足，能資源高度依賴進口，經濟又是高度開發，自然環境負荷也較為沈重，因此在發展循環經濟，是勢在必行。台灣近年於推動資源回收上成績不錯，替發展循環經濟建立穩固之基礎，其中尤以廢棄物之資源回收管理制度最受國際認同。故將臺灣廢棄物之處理與城市採礦進行結合，不僅能從中回收貴金屬金、銀、鈮與鉑，同時亦可回收金屬資源銅、鋁、鉛與鋅，另外也可再生稀有金屬資源鈷、鉬、鈳、鎳，降低廢棄物所造成之環境衝擊，並使金屬資源能永續循環利用。

一般礦產開採工作通常從礦床探勘開始，城市採礦就省了這道程序。從礦床採掘出礦石對城市採礦來說，就是資源回收工作。採到的礦石當然要經過幾道分選、提煉最後才能得到金屬產品。日本人所謂的都市礦山，是指使用過的電子產品，包括電腦、家電、手機等。據統計分析 1 噸廢電子產品，桌上型電腦含 14 克黃金、筆記型電腦可得 92 克黃金，而大規模金礦所採礦石品位約在 1 克 / 噸左右，低者甚至於在 0.3 克 / 噸，富礦也只有 4~5 克 / 噸。1 支手機含金量 0.03 克，以 1 萬支 1 噸計算，約有 300 克 / 噸。由消費後的電子資訊產品等提煉黃金以及各種有用金屬而言，城市採礦所處理的電子廢棄物，相當於一般金屬礦山的富礦等級。

面板產業在台灣是很重要的產業，製程中關鍵材料使用稀貴金屬很多，而製程所產生之電子廢料可說是城市採礦的寶藏。就液晶面板透明導電材料所用的銻錫氧化物，製程內的殘留物、蝕刻廢液等，都是含銻廢棄物。

太陽電池的材料種類非常多，有單晶矽、非晶矽、多晶矽、 CdTe 、 $\text{CuInxGa}_{(1-x)}\text{Se}_2$ 等半導體、或三五族、二六族的元素鏈結半導體材料。其中多晶矽與單晶矽的電池晶元切割廠，製程所衍生的矽泥廢棄物，往往在回收有機乙二醇後，蓄意違法貯存與任意棄置，造成環境污染問題，但矽泥中除了乙二醇可回收再利用為冷卻劑與燃料外，固體部分含有矽與碳化矽等，為煉鋼程序所需的矽成份來源，取代鋼鐵業本來煉鋼就有使用的碳化矽或是矽鐵，不但可以解決太陽能產業的廢料污染環境問題，更可以提供鋼鐵業較便宜的煉鋼輔料。另外頗受矚目的 CIGS(Copper Indium Gallium DiSelenide, $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$) 薄膜太陽電池，有不用矽、基板較薄、成本低、耐用性長久等特徵，轉換效率已能趕過現行矽晶太陽電池，預料將在市場會占

一席之地。可回收其中的銅、鎳、鎂、硒等稀有金屬，勢必成為城市採礦的一大標的。

城市採礦的重要工作是在選別與煉製，國內外資源再生廠都同樣地進行廢棄二次資源物質的分選，如前處理、粗碎、細磨、分級、富集等工作。較具規模的就做到提煉成品，較一般地做成精礦等級後賣給國內外冶煉廠，經提煉冶金程序，得到金屬產品或是金屬化合物產品。台灣也有幾家環保署認可的甲級處理廠就做到貴金屬的提煉。

日本也有不少城市採礦廠，規模大小不一，提取項目、設備、技術各有不同。以下簡介其中頗具代表性的日本同和礦業與日礦公司，二家都是頗有歷史的金屬礦產公司，數十年前就開始礦山廢水、廢棄物的處理，後來延伸到一般產業廢棄物處理與資源化。日本同和礦業有 120 多年金屬礦開採、選礦、冶煉經驗，它們應用其多年選煉技術，從金屬屑、電路板、手機等提取金、銀、銅、鉛、鋅、鎂等金屬，又從汽車觸媒提取鉑族（鈀、鉑、銻）貴金屬等元素。

五、循環經濟

循環經濟講求的是再生恢復，使用可再生能源，並藉由重新設計材料、產品、商業模式，讓資源生生不息的循環。在循環經濟的系統裡，資源的價值在任何時刻皆能確保最大化，能夠循環再生、不斷被運用。手機的製造，從材料、零組件、組裝到成品，價值被層層加上，使用後應該也要盡力維持產品的最高價值。還能使用的手機可以繼續給另外一位使用者，若是不能使用的手機才走到回收的途徑。產品的功能價值越能保存越好，循環過程要投入的資源也越少越好，因此最短的內循環是循環經濟中最重要的觀念，也是蘊藏最大商機的地方。

現行的產品設計大多沒有系統化的考慮資源重複使用的必然性，也因此即便落實回收，材料卻無法有效地被復原，往往會被思考成為降級再利用的型式或是成為廢棄物。線性經濟的思考模式，製造者是以消費者的心態去設計產品，往往是一次性使用產品中的資源物質，這樣是最有競爭與生產效率的作法與思維，消費者也會高興使用全新的產品與物料。因此，過去很少有生產者在資源循環的促進下，設計出可循環使用物料與延長產品使用年限的產品，反而是生產消費者最愛買單的產

品，即使是很不環保的材質或是商業模式。因此要改變有的困境，最有效的方式便是從源頭改善，重新設計產品價用年限與材質。

依產品狀況不同，藉維修、再使用、翻新、再製造等過程有效率地運用資源，可以讓產品與資源的價值最大化，創造製造商與消費者的雙贏。現行台灣回收機制在實行初期，有很好回收率的成長，如今回收率的成長也有瓶頸。若能妥善規劃新的循環經濟的商業模式，使資源回收工作及再利用產業，可創造更龐大的商業利益。在循環經濟的系統中處處有創造價值的空間，但這些價值需要透過產品與商業模式的創新、重新設計，才能跨越門檻，確實地被完整發揮，並與市面上高效率、低成本，線性製造的商品競爭。

生質材料或廢棄物皆含可觀的價值，可透過生物精煉製程，提煉產品或化學品等高價值材料。作為食品及飼料之餘，使用厭氧消化及堆肥取代掩埋或焚燒，可取得較高經濟效益又可讓養分回歸大地，營造永續的農業環境。

產業共生是指一個產業的廢棄物正是另一個產業的必要能、資源，若能鏈結起這樣的能資源整合網絡，除了可避免環境的污染，亦可大幅節省廢棄物處理成本。所以過去的產業聚落，是以產業的上下游供應鏈為主的產業園區，未來的產業園區是以產業的動脈與靜脈產業整合在同一個工業園區，而形成所謂的產業共生的園區，在未來的園區內能資源的整合是在設廠與建立產業園區前已規劃完成。產業園區內的很多資源物質與能源都能有很好的串接，使真正廢棄物的產生與園區外的處理最小化。

拜資訊科技的發展和興起的網路社群所賜，以分享、交換、租用等更有效率運用地球有限資源的生活、營運方式變得更容易，也顛覆了許多既有的商業模式。過去的影印機與照相機也都曾經發展出不錯的租用模式，傳統照相機在電子照相功能的普及後已式微，但是影印機及印表機的租借已成功經營至今，所有的零組件、耗材、維修與回收，都由產品生產公司負責，消費者只付服務的費用，等於是付租金給廠商，所有的產品零組件都是再使用的零件，而且公司本身對零組件的設計及模組化思考，不斷重複使用這些零件與資源物質，大大地減少電子廢棄物的產生。現代在共享的腳踏車、機車、汽車、旅館等新的共享經濟模式的成功，未來對於更多的商品更應考慮其新的商業模式，只要租用共享即可，或是只要購買其服務，而不

實際擁有該項產品。像國外荷蘭的菲利普公司，過去賣燈泡及電燈賣了上百年，現在只賣照明服務，循環經濟的思維與商業模式大大改變。

台灣比世界上任何國家更迫切需要推行循環經濟的發展思維，台灣 90% 以上的能源、肥料、飼料，以及 60% 以上的食物仰賴進口。持續倚賴進口大量能源、原物料，再加工生產外銷，而製造過程的廢棄物則隨意棄置，任由環境被污染。這樣刺激成長的工業化競技模式，在資源供需與價格大幅度波動之際，難以持續創造就業，並兼顧環境生態。這些問題都是線性經濟的商業模式所導致，線性經濟的特色是浪費資源與能源，同時忽略社會與環境的外部成本的破壞性商業機制。

六、資源循環的作法

台灣資源回收最早規範於廢棄物清理法 (1974.07.26)，其後又另訂了資源回收再利用法 (2002.07.03)。廢清法制訂的目的為有效清理廢棄物，以減少病媒的滋生，確保環境衛生。資再法的目的是提升至節約自然資源使用，減少廢棄物產生，促進物質回收再利用。觀念上是將原效用減失之物質由廢棄物，改以可再生利用之資源視之。對具經濟及回收再利用技術可行性，優先再使用或再生利用。

資源循環作法主要分為下列三項系統的作法：

(一) 生產系統的作法

過去推行清潔生產，廢棄物減量的新製程，未來是朝向廢棄物零排放的目標。所以製程系統內的循環再生變得很重要。將生產過程中所發生之廢棄物或副產物，依特性可直接或經過處理後，再導入原生產製程當原料再利用。如煉鋼廠所有製程產生之含鐵廢棄物質，經脫除有害成份後再進入熔爐內冶煉的實例。此回收方式之技術開發較簡單，而且在同一生產事業單位內，再循環利用不會受到阻力，為資源再生最容易施行之部分。廢棄物或副產物經處理後提供給另外製程當成原料再利用。如二次煉鋁的殘渣經處理後，可提供為煉鋼的脫硫劑、脫氧劑與保溫劑等再利用。是屬於製程系統外的循環再生利用。

(二) 產品消費後的作法

一般廢棄物係指人類社會活動，在消費過程中所產生不具經濟價值、無用處且要丟棄 (放棄所有權) 的物品，也就是無用不要的東西。再利用是促進一般廢棄物減

量最有效的資源化方法之一。生產者有設計開發與製造可長期使用、可重復使用與可容易再生之物品的責任與義務。消費者要能讓生產者朝環經濟的模式努力。原物再利用是最佳的資源循環，但生活方式要大大改變回到過去的年代，如啤酒瓶可重復使用；中古物品再利用；家電製品或汽車等，經零件交換或修理再使用。降級再利用的模式，如汽電共生廠的高熱蒸汽發電，再供給化學廠的反應熱之用，而後供為溫室熱源。再生利用或是原物直接再使用，如立可拍或影印機的再使用。資源再生，如廢家電、廢電子資訊物品、廢汽車等，經拆解分類為各類再生資源，此項目也可以歸納於後續之處理系再資源化。

1. 處理系統的資源化

物質的再生利用需經由物質轉化作用才能達成者。亦即將廢棄物轉用為新的用途，如爐渣當道路鋪設材料或建材使用，生活垃圾中的廚餘當有機堆肥再利用等。廢棄物以資源化處理技術，將其中有價物回收，此回收再生方法之處理技術最複雜，為目前資源再生之研究開發重點之一。

2. 能源化

將廢棄物所含之能源（熱值）予以回收，如廢塑膠，生活垃圾等之焚化熱回收利用。其中有關生活垃圾（一般廢棄物）回收方式牽涉到都市礦物之收集，輸送與選別方法，問題較為複雜。

再利用的起點，如何自分散的各消費點集中回收再利用物品，目前社會上雖已建立所謂的各種回收管道，但所回收的物品種類繁雜、有如一堆垃圾，分類徹底又經濟的有效回收系統有待建立。訂定回收物的再生物品市場目標，其需求量應可容納再利用物品的產量以上。回收物如何以最少的能量投入、最低的環境負荷，使再利用物品達到新品同樣品質。以上這些都是廢棄物再生利用要成功的諸多要素。

七、循環經濟的他山之石

國際上在循環經濟的推動國家很多，而且各國也有很多成功的典範案例，特別是日本及歐洲國家，與台灣一樣土地資源並不充足的國家，資源與能源也都仰賴國外進口。茲特別列舉日本及歐洲荷蘭的案例作說明。

（一）日本川崎生態城市：

川崎位於京濱東北工業帶的核心地區，鑒於川崎在近百年過度工業化及環境汙染問題，政府提出了「川崎市生態城市計畫」。川崎生態城市計畫的主要目標是創造一個資源回收利用的社會，以及振興海岸地區，透過減低工業活動對環境影響的方式。

生態城市的特色為運用循環經濟的模式，將排出物及副產物作為原料有效運用。另外，充分利用臨海地區的鋼鐵、化學、石油化工、水泥等各種產業集中的優勢，通過生態城地區內各設施之間和大公司及中小企業之間的合作，促進在該地區的資源和能源的高度有效循環利用。主要將塑料、家電、難回收廢紙的重新循環再利用。

川崎生態城內的企業，致力將原本線性經濟模式轉型為資源循環型態，將工業廢棄物及副產品轉化為原料有效循環利用。另外，充分利用區內鋼鐵、化學、石化、水泥等各種產業群聚的特點，企業間溝通整合各項設施及排放，形成產業共生，促進資源和能源的循環利用。川崎市的產業在轉型過程中，並未因為降低污染支出而喪失成本競爭力，而是邁向零排放、零污染的產業共生，最後走向綠色創新及優勢技術的輸出。

以日本的經驗可以給臺灣很多刺激，像川崎這樣的生態城市共有二十六個，多為政府主導的計劃案。利用這樣的方式可以刺激在地經濟成長，並創造一個自然和諧共生的生態與環境系統，最後發展出資源保育與再利用的文化，讓市民均熟悉循環經濟的模式。

(二) 荷蘭—阿姆斯特丹：

荷蘭應用科學研究組織估計，轉型循環經濟可以幫助荷蘭減少十萬噸原物料消耗，減少二五％進口原物料和近兩萬噸碳排放。同時，可為荷蘭經濟新增七十三億歐元產出和五萬四千個就業機會。

而荷蘭打造循環經濟矚目，將由首都阿姆斯特丹打頭陣。去年初，阿姆斯特丹市議會通過「阿姆斯特丹永續發展計劃」，循環經濟將是計劃的中心思想。這個中心思想，分成七大原則。阿姆斯特丹市政府第一步先委託研究機構，根據這七大原則，進行「城市掃描」，也就是全面分析循環經濟可為阿姆斯特丹帶來什麼好處、要排除什麼障礙，以及政府可如何加速實踐循環經濟。

阿姆斯特丹市政府挑選了史基浦機場、阿姆斯特丹港、花卉（鬱金香）拍賣市場（Royal Flora Holland）和網路交換中心（Amsterdam Internet Exchange）作為循環經濟的四大實驗場。因為這四處都是能資源消耗大、廢棄物產生多、溫室氣體排放量大的機構。在這些地方，荷蘭企業可以測試它們開發的循環經濟產品、服務和商業模式，然後將經驗複製到其他地點，逐漸擴大循環經濟的覆蓋範圍。

荷蘭第一大企業飛利浦，就在史基浦機場首次大規模應用「不賣燈泡、賣照明服務」的新商業模式。阿姆斯特丹港北岸，已嚴重污染的荒廢重工業區布克斯羅特漢（Buiksloterham），則被規劃為「循環社區」，提供新創企業發揮各種創意的空間，就像是個循環經濟的育成中心。

八、結語與展望

大量生產、大量消費、大量廢棄的經濟社會體系已造成地球資源耗損及嚴重環境劣化，積極推動循環經濟的制度創新、研發再生利用技術、健全資源回收產業，提高資源使用效率，建構資源循環型社會，應為當前國際環保要務。地球永續發展係 21 世紀人類共同的願景，廢棄物雖是人類日常生活及產業活動無法避免的產物，為建構資源循環型社會，人們價值觀亦有調整的必要，即「廢棄物是被錯置的資源」；「循環資源」或「廢棄物」，其宿命繫於你我一念之間。

循環經濟的資源循環作法，生產系統之循環再生，以生產製程之零廢棄，再配合製程系統內或製程系統外之再生程序，使資源及能源之消耗最少、環境污染最輕微。產品消費後之再利用須導入綠色產品、綠色生產及產品生命週期的嶄新理念，以利廢棄物直接再利用、降級再利用、更生再利用。處理系統之再資源化，以物質轉化及資源再生為主，再輔以能量回收之手段，達成零廢棄的目標，建立循環型社會，達成人類社會永續發展之目標。

資源循環技術可使廢棄物中有用的資源再回到人類社會中循環使用，減少資源浪費、能量消耗及環境污染，是未來國際發展趨勢的主流，也是人類想獲得更豐富生活物質與更完善生活環境所必須建立的科技。

台灣是個出口導向的國家，外銷對象的歐美等國都在注視台灣是否關切「永續型資源循環社會」。蘋果供應鏈廠商，近年來也在蘋果公司要求下，未來固定比例的

二次資源回收料使用於供應鏈，如此可促進電子廢料的資源化與資源循環的新契機。

其實台灣近十年來隨著產業發展，環保相關法規已相當完善，資源回收處理廠（城市採礦）紛紛進駐全台四處環保科技園區，處理技術、能力均足以應付各種廢棄物的資源化，可說軟、硬體兼備。唯獨可惜的是如此好不容易建立的設施，經常因國際價格的浮動，一些不肖廠商鑽巴塞爾公約 (Basel Convention) 漏洞，在台灣搶料源出口，致使合法處理廠缺料問題嚴重。其實一般產業要盡到其社會責任，就應該追蹤到妥善處理為止。

城市採礦當然要配合適當的選礦與冶煉程序，一般說來，摻雜在一起是垃圾，分開來就是資源，所以資源再生過程中的關鍵技術是分選（或分離）技術。由於分選來料複雜而多樣、過程亦繁複，很少有整套標準設備或方法能自動化操作。

綜觀台灣城市採礦的資源化產業，除一部分廠家做到最終產品直接提供產業回生產線外，大部分只作簡單的分類（初步分選）或初步處理加工成中間產品後，低價運交國外冶煉大廠，產業界再以高價購買材料。如此一來一往的花費實在有點可惜，其實台灣本身具備有這種技術與能力，冀望有關機構、專家們一起來研討台灣南北各一處大型一貫處理廠的經濟可行性。

科學園區資源循環與 技術－科學園區污水處 理廠水資源回收再利用

張冠甫室主任
財團法人工業技術研究院材料與化工研究所

一、我國水資源概況

陽光、空氣、水為孕育生命的三大要素，缺一不可。由於全球人口增長以及近年來氣候變遷因素，使得淡水的供應已對全球構成巨大的壓力。根據聯合國的統計，在 2012 年至 2030 年之間人類的淡水需求將增加 30% 以上，約每年 600 億噸之成長速度。由歷史演進觀之，淡水生產的效率已跟不上人口激增的步伐，而受氣候變遷的影響顯得更加嚴重，因此預估未來水資源將成各國積極努力與爭取之基礎需求。

以全球角度來看，地球表面約 70% 由水所覆蓋，共約 13.86 億立方公里，其中約 97.5% 為海水而淡水僅占 2.5%；上述的淡水中，約 2/3 封存於南北極永凍層、冰河、雪中是無法供給人類使用的。一般來說，淡水的來源主要透過地球上的「水循環」進行，太陽的熱量將水由海洋與陸地蒸發後以水蒸氣的型態散發到空氣之中；在大氣中的水蒸氣則透過凝結方式變成水滴或雪再次回歸到陸地與海洋；雨水降至陸地上後，則形成河流、湖泊等同時滲入地下形成地下水，成為主要人類使用之淡

水來源（水資源地圖 The Atlas of Water，瑪姬·布拉克 / 珍奈特·金，聯經，2012 初版）。

台灣四面環海，四季有雨，平均年雨量高達約 2,515 公厘，是世界平均值 973 公厘的 2.6 倍。但若以每人每年能分配到的降雨量作比較，台灣因地狹人稠，大約只有 4,113 立方公尺，不到世界平均值的七分之一，比平均降雨量最少的大陸澳洲還少，所以說台灣是水資源貧乏區。造成我國水資源貧乏之主要原因包含：

（一）天然環境地形

台灣面積狹小，高山林立，山勢陡峭，以致於每條河流都是又短又陡，雨水下到山區後，很快就奔流入海。因此，大部分的水資源皆是以水庫儲存後，再慢慢釋出供給全國使用，包含農業、工業與民生等用途。

（二）降雨量時間分配不均

水庫中水的主要來源為雨水，從我國降雨之時間分布來看，每年五月到十月由梅雨及颱風的降雨成為台灣的豐水期；而十一月到隔年四月則為枯水期，南部地區尤為明顯，豐枯比例可高達 9 比 1。

（三）水庫淤積

我國最重要的水庫因水土保持問題皆有淤積之狀況發生，根據水利署統計，目前全國水庫的淤積量已達原先設計儲水量之 30% 左右，導致儲水量下降。

綜合上述，雖然台灣年降雨量高達約 950 億噸，但其中約 200 億噸（21%）為蒸發損失、約 50 億噸滲入地下水（5%），其餘 700 億噸為河川逕流（74%），因此理論上可用的水資源總量每年約 750 億噸。然而因為天然環境地形的影響，約 550 億噸之河川逕流直接排入海洋，使得可直接利用之水資源僅剩約 181 億噸。以水資源每年供給 181 億噸總量來看，約 80% 即 150 億噸主要來自河川引水量及水庫供水量，再整合降雨時間分配不均及水庫淤積等影響，導致近幾年常反覆發生之豐水期通常一個颱風即造成水庫洩洪，而枯水期因無降雨導致缺水問題。（圖 1，資料來源：水利署網站）

再由水資源需求端來看，我國之水資源需求量約每年 200 億噸，其中農業用水佔 71%、生活用水次之佔 20%，工業用水約 9%。依據上述數據顯示，目前我國之水資源供需狀況係屬於需求（200 億噸）大於供給（181 億噸）之狀況。雖然在我國

加入 WTO 之後，農業用水逐年減少，然工業用水將相對地提高，特別是迅速發展的高科技產業，對供水的穩定性以及用水量的需求愈來愈大，台灣要發展高科技產業，水是缺不得的資源。因此，如何有效進行水回收，為補足未來用水缺口之重要技術發展方向。

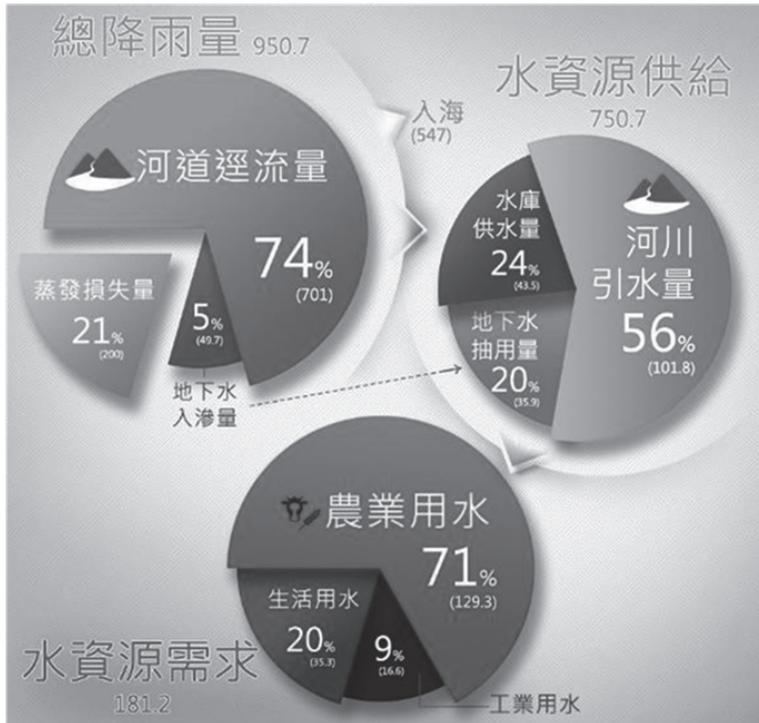


圖1 我國水資源分配狀況（資料來源：水利署網站）

二、科學園區污水處理廠水回收技術挑戰

台灣地區受限於氣候及地形因素，水資源蓄存不易，加以全球氣候變遷及用水需求持續成長，傳統水源供水穩定度備受挑戰，尋求替代水源有其必要性。台灣經濟發展與水資源盈涸息息相關，石化業（產值新台幣 1.82 兆元）與電子業（產值新台幣 4.84 兆元）等高耗水產業占我國 GDP(13.61 兆元) 比重 1/2 以上，耗水量也接近總工業用水量 50%，持續提供穩定與低成本的水源，可以確保優質投資環境及強化我

國製造業競爭力。為解決台灣水資源問題，降低再生水、海水淡化處理成本與推動國內水科技產業發展，104年12月「再生水資源發展條例」通過立法院三讀，並於104年12月30日總統令制定公布施行，未來工業用水資源，短期目標是使用自來水零成長，長期則是工業用水全部取自於再生水，不再使用自來水。為配合行政院「再生水資源發展條例」政策推動及貫徹水資源永續發展理念，經濟部提出「建構智慧管理之水資源政策」，將著手推動廢污水回收再利用及海水淡化等新興水源技術開發，預定於民國120年將開發再生水達每日132萬噸，投資開發台中、高雄及中壢等都市污水再生廠，以及開發桃園、新竹、台南、彰濱及離島等海淡廠，總產水量約50萬噸/天的新興水源。

然而上述的再生水廠與海淡廠相對於國內主要科學園區包含竹科、中科與南科等皆有一定距離，其再生水管線之佈設相對耗費較高之人力物力與成本。因此，若可以有效針對各科學工業園區之污水處理廠進行水回收的工作，且水質也可符合高科技產業用水標準時，對於管線佈設需求相對成本較低，不失為另一可行方向。

（一）科學園區污水處理廠廢水特性

科學園區之污水處理廠設置之目的，主要針對區內各廠商所排出之廢水進行最終處理，符合國家放流水標準後排入承受水體。以目前我國科學園區之管理面上來說，各高科技廠在將廢水排入園區污水處理廠前，需先進行相關前處理以符合園區之納管標準。同時，因高科技廠屬於高耗水量之產業，因此另需達到廠區內水回收率至少達70%以上之規範。以國內龍頭台積電為例，其各大晶圓廠一滴水可以重複使用約3.5次，主要來自節省用水與廠內水回收兩大作法，廢水回收率高達85%以上，每年可以省下約2座寶山水庫之儲水量（聯合報報導）。

由上述說明可以了解，園區污水處理廠所承接之納管廢水，皆經過相當比例之使用，且回收率越高表示水的濃縮比例越高，導致承受的廢水導電度也偏高。另外，各高科技產業所排放之廢水，其中的微量污染物成分皆屬於不能出現於其製程水中的污染物質。因此，若要利用園區污水處理廠之廢水作為再生水使用時，其技術難度相較於生活污水高出許多。

（二）高科技產業用水標準嚴格

由於高科技產業之用水多為超純水等級，避免清洗過程中對於相關產品造成污

染影響良率。因此，若要使用再生水作為水源時，必須達到下表 1 之相關標準。下述 21 項重點微量物質中，較受關注的項目包含氨氮 (<0.5 mg/L)、硼 (<0.1 mg/L) 以及尿素 (<0.005 mg/L) 等三項。國家放流水管制標準中，上述三項物質之管制濃度為氨氮 30 mg/L、硼 1.0 mg/L，尿素部分則無相關管制。比對放流水標準以及高科技產業要求水質，此三項物質之去除效率皆需達到相當的程度，也造成再生水廠之技術選擇上需審慎考量與評估，以維持良好之再生水水質。

表1 半導體廠再生水用水預期水質需求（自行整理非國家標準）

編號	項目	單位	水質標準（範圍）
1	溫度	°C	15-35
2	pH 值	--	6.0-8.5
3	導電度	mS/cm	<250
4	懸浮固體物 (SS)	mg/L	<1.0
5	濁度	NTU	<0.3
6	化學需氧量 (COD)	mg/L	<4.0
7	總有機碳 (TOC)	mg/L	<1.0
8	氨氮 (NH ₄₊ -N)	mg/L	<0.5
9	亞硝酸氮 (NO ₂ -N)	mg/L	<0.1
10	硝酸氮 (NO ₃ -N)	mg/L	<10
11	硼	mg/L	<0.1
12	正磷酸鹽 (PO ₄ ³⁻)	mg/L	<0.5
13	氯離子 (Cl ⁻)	mg/L	<15
14	總溶解固體物 (TDS)	mg/L	<150
15	硫酸根離子 (SO ₄ ²⁻)	mg/L	<45
16	砷	mg/L	<0.05
17	鎘	mg/L	<0.005
18	鉻	mg/L	<0.05
19	尿素	mg/L	<0.005
20	鹼度	mg/L	<30
21	硬度 (as CaCO ₃)	mg/L	<50

綜合來說，若以科學園區污水處理廠的排放水進行高科技廠再生水水源時，技術上面臨的挑戰主要為高導電度、同時各項微量物質如氨氮、硼與尿素的去除效率需達到相當水準。未來規劃上，需考量上述因子整合相關技術，以維持再生水之穩定水質。

三、科學園區污水處理廠水回收技術

目前國際上水回收技術以薄膜技術為主，薄膜過濾主要物理原理為，使單一進流液體分成兩道流出液體，一道液體中特定物質經半滲透性薄膜集中濃縮後濃度明顯高於另一道液流。透過薄膜之「分離」特性，將水中的固型物質（有機固體如微生物等以及無機固體如沙粒等）以及離子性物質（溶解性固體物主要導電度貢獻來源，如鈉、氯、鈣、硫酸等鹽類物質）與水分離後，產出高品質回收水以利後續再利用。

(一) 雙膜法

目前常用的水回收技術主要以雙膜法進行，透過兩道薄膜之運用達到去除水中懸浮性固體物質與溶解性固體物質，而達到降低導電度之目的。圖 2 為目前薄膜技術常用之薄膜種類，以雙膜法來說，所使用之薄膜通常為超濾膜（ultra-filtration, UF）以及逆滲透膜（reverse osmosis, RO）。

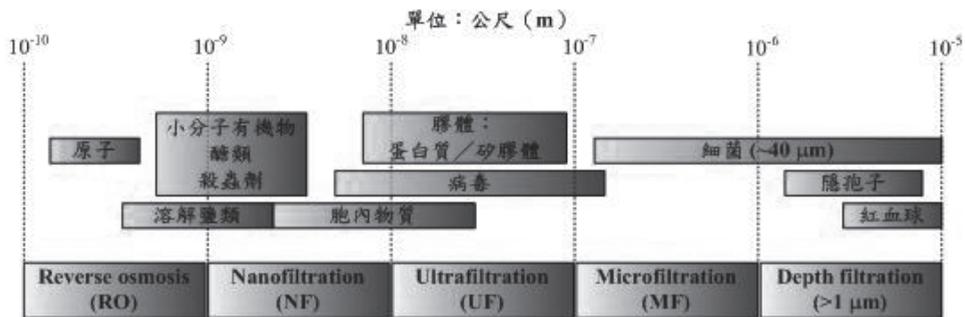


圖 2 目前常用薄膜種類與可以分離之標的物

1. UF技術

超過濾是 RO 前處理的一種理想方法，其薄膜孔洞約為 0.01-0.1 mm，它能有效

去除懸浮固體、膠體類物質、細菌與大部分之病毒，但對於溶解性固體物質並無去除效率。因此，常用於 RO 膜之前以保護 RO 膜免受顆粒、生物污染，降低逆 RO 膜的清洗頻率，延長 RO 膜壽命，並且使系統維持高透水速率，減小系統的占地面積等。採用超過濾處理廢水，出水水質非常穩定，受原水水質變化的影響較傳統的前處理（如砂濾等）小的多。一般來說，經過 UF 過濾後之出水水質通常需達到兩個指標，包含濁度需 < 1.0 NTU 以及污泥淤積指數（slit density index, SDI） < 5.0 （最佳為 < 3.0 ）。

2. RO技術

RO 技術為利用一大於水溶液滲透壓之壓力，使得水分子通過半透膜（一般來說，半透膜如 RO 膜等僅容許水分子通過），而產出近乎純水水質的再生水以及另一高導電度之滷水。由於絕大部分之溶解性固體物質均無法通過 RO 薄膜，因此，透過 RO 薄膜產水，其導電度均可維持一定品質。一般來說，以脫鹽率作為 RO 效能之重要指標。雖然目前 RO 技術屬於水再生領域或脫鹽領域成熟技術，但由於其操作成本較高且操作面上易受阻塞因素導致需常進行維護。因此，各大研究單位與製造商等均致力於降低操作成本。

（二）前處理或後處理技術

理論上透過上述 UF/RO 雙膜法技術，可以有效將大部分微量污染物質分離，產出高於或等同於自來水水質的再生水。但是高科技廠所重視的微量物質包含氨氮、硼與尿素等有一定處理上的極限，簡述如下：

1. 氨氮與尿素

根據統計資料顯示，目前國內各大科學園區污水處理廠放流水之氨氮濃度約 20mg/L 左右。由於一般脫鹽程序如 RO 等對於氨氮之阻絕率約 90-95%，若無適當前處理，再生水之氨氮濃度約為 1-2mg/L，並無法符合表 1 之氨氮濃度 < 0.5 mg/L 的標準。因此，需要除雙膜法外之處理程序，將氨氮濃度降低。

一般來說，尿素來源主要為人體排泄或廢水處理之營養鹽類添加等，以國內科學園區放流水中尿素濃度僅約 0.1mg/L；雖然濃度不高，但因高科技產業再生水的管制標準相當嚴格需小於 0.005mg/L，因此若無適當前處理或後處理，尿素可能超過此管制標準。

氨氮與尿素皆為氮系分子，通常可以透過生物處理方式，將其轉換為硝酸氮（工程上稱之為生物硝化作用），或更進一步轉化為氮氣自水相移除至空氣中（工程上稱之為生物脫硝作用）。所以，對科學園區放流水之再生水廠建議可以包含一高級生物處理單元，透過硝化菌群，包含氨氮氧化菌（ammonia oxidation bacteria, AOB）與亞硝酸氧化菌（nitrite oxidation bacteria, NOB）等有效將氨氮與尿素降解，並轉化為硝酸氮或更進一步轉化為氮氣達到去除目的。

目前常用高級生物處理程序，通常為生物膜處理法，如工研院之 BioNET 技術及國際大廠之 MBBR 技術等。根據工研院技術資料，BioNET 技術於南科污水廠放流水測試中，氨氮之去除率達 90% 以上同時尿素去除率也高達 95% 以上。因此，透過相關高級生物處理程序進行前處理時，確實可以達到降低氨氮與尿素之目的。

2. 硼

根據統計資料顯示，目前國內各大科學園區污水處理廠放流水中硼濃度約 0.5-0.8mg/L 左右。由於一般脫鹽程序如 RO 等對於氨氮的阻絕率約 70-80%，因此若無適當前處理或後處理的再生水之硼離子濃度約 0.1-0.15mg/L，並無法符合表 1 之硼 <0.1mg/L 的標準。因此，需要除雙膜法外之處理程序，將硼濃度降低。

一般除硼方式可以化學混凝、吸附或離子交換方式進行，但以相對低濃度硼之處理上，建議可以吸附或離子交換方式進行。以確保再生水水質中硼離子之濃度可小於 0.5mg/L。

四、未來與展望

目前若要針對科學園區污水處理廠排放水進行水回收工作，技術上應該可以達到高科技廠用水標準。但經過初步計算，單位造水成本約 35-45 元/噸，高出現行自來水價格甚多，未來規劃上應考量造水成本與使用端付費比例，始可達到社會公平原則。

達到水資源永續再利用需考量開源與節流兩大重點，水利署已在桃園、新竹、彰濱、台南與高雄等區域規劃設置海水淡水廠，生活污水回收部分也已規劃 6 座再生水廠，另外透過水庫整治與清淤等工作進行更新活化水庫，期能達到開源之重點工作。在節流部分，除了推動各大產業水回收再利用提升用水率外，也要透過教育

方式呼籲民眾節約用水。透過開源與節流方式，可以達到水資源永續再利用之目標。



氨氮廢水回收與再利用 技術介紹

徐樹剛¹、吳旻珊¹、李天三¹

¹財團法人工業技術研究院研究員

摘要

隨著環保法規愈趨嚴格，廢水中氨氮濃度亦受到管制，雖然現今已有一些傳統技術可有效處理氨氮廢水，但如何將廢水中的可用資源回收再利用，更是目前政府與國人關切的議題。本文將介紹有關氨氮廢水的處理技術與回收方法，並提供幾個氨水回收案例，供業界做為參考。

一、前言

我國液氨主要由臺灣肥料股份有限公司進口後轉售，每年進口量約在 600 千噸，圖 1(a) 為我國每年液氨進口量變化，其售價受國際價格影響略有波動，每公斤液氨牌價約 20-25 元，圖 1(b) 為 100% 液氨每公斤牌價變化。液氨主要做為農業肥料產品（如硫酸銨、複合肥料與有機複肥），部分運用於工業界（如冷媒、產品清潔、化工製程與環保）。

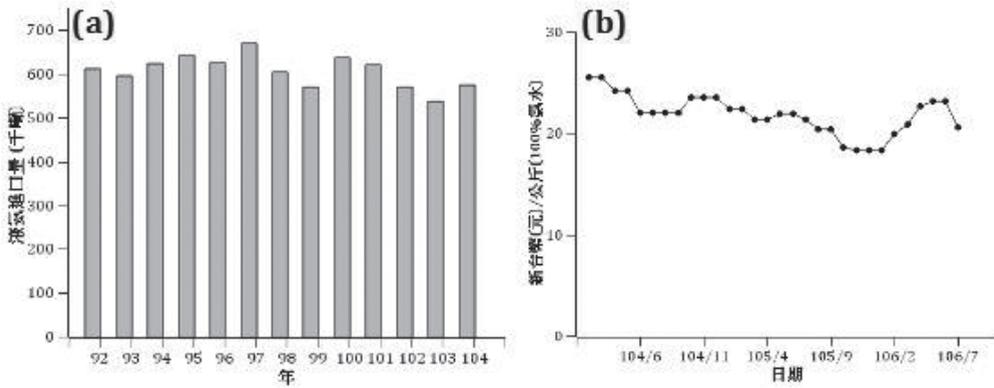


圖1、(a)我國每年液氨進口量變化(單位：千噸，資料來源：財政部關務署統計資料庫查詢系統)，(b)不同時期100%液氨每公斤牌價變化(資料來源：台肥公司)

使用於工業界之氨若未參與反應成為產品一部分，多會隨製程廢水或廢氣排放。而我國早期環保法規對氨相關管制較為寬鬆，多數工廠對含氨廢氣或氨氮廢水僅採用酸鹼中和方式，並未進一步轉成其他型態(如硝酸根、氨氣等)，最終則隨廢水放流排放至環境中。再者，液氨取得成本低，自廢氣或廢液中回收氨經濟誘因不足，僅少部分高濃度氨廢液被轉用於次級製程。

近年來，我國環保署針對工業廢水中對環境影響較大的污染物積極修法管制。氨氮由於會消耗水中溶氧、造成水體優養化，也為此一波加強管制項目。雖然以符合環保法規的角度，傳統的氨氮廢水已有一定的處理方法，包括離子交換法、化學沉澱法、氣提法、折點加氯法、電化學處理法與觸媒焚化法等。然以資源化角度，回收廢水中可利用資源，已為現今廢水處理發展趨勢，而氨氮可回收成氨與銨鹽等有用資源，將其回收再利用實為一契合永續發展精神的作法。本文將針對目前氨氮廢水回收技術發展與案例作一簡單介紹，提供業界參考，圖2為不同氨氮濃度廢水與相對應適用處理或回收技術成熟度之示意。

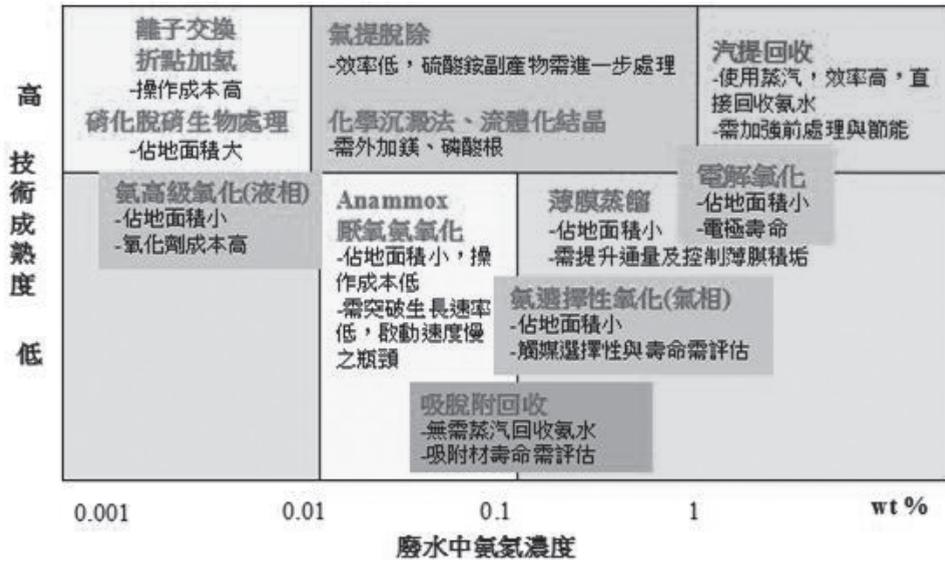


圖2、不同氨氮濃度廢水與相對應適用處理或回收技術成熟度之示意

二、氨氮廢水回收技術

針對不同濃度的氨氮廢水，採用的資源化技術也有差異〔1〕。對於低濃度的氨氮廢水 (<100mg/L)，可採用離子交換吸附法進行提濃，或者鳥糞石沉澱法與廢水分離，獲得另一種型態的化合物；對於中濃度的氨氮廢水 (100-1,000mg/L) 可用氣提法，先將廢水中氨分子與廢水分離，再用酸液吸收得高濃度液態銨鹽；而含高濃度的氨氮廢水 (>1,000mg/L)，一般建議採用蒸汽汽提法，以獲得應用範圍較廣的高濃度氨水，圖3為不同氨氮廢水處理或回收技術所得之最終產物型態，以下將針對各種氨回收技術進行簡要介紹。

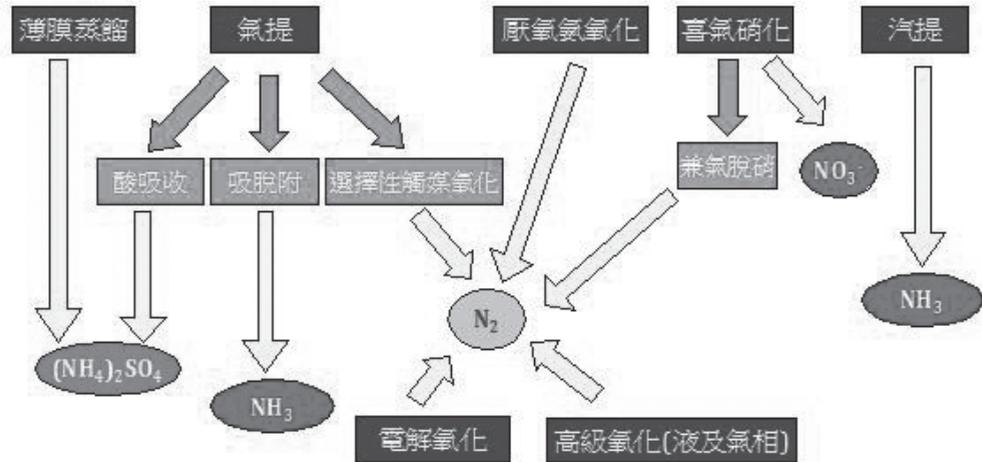
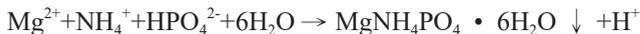


圖3、不同氨氮廢水處理或回收技術所得之最終產物型態

2.1 化學沉澱法(鳥糞石結晶)

鳥糞石 (struvite, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) 是一種外型白色晶體，水中溶解度低，含有氮、磷兩種營養元素，為一良好的緩釋型肥料。其處理原理是藉由添加一定比例之鎂鹽與磷酸鹽至廢水中，在一定 pH 值範圍下可與水中銨離子反應生成固體物析出，其反應式如下：



鳥糞石結晶法具有施作簡單（採用混凝沉澱或流體化結晶程序）、初設成本低等特色。但因需外添加藥劑（鎂鹽、磷酸鹽），有操作成本偏高問題，且我國法令至今尚未允許工業產出之鳥糞石轉為農業肥料再利用，最終去化通路因此受限，影響此技術被業界採用之意願。

2.2 空氣氣提法

將廢水中氨分子以空氣吹脫分離，為工程容易施作之方法，適用於中低濃度氨氮廢水處理。而為避免所吹出含氨廢氣對環境造成污染，一般會以酸液洗滌塔將脫出氨分子再吸收成高濃度銨鹽溶液。由於氨分子於不同 pH 值與溫度條件下，其水中氨分子 / 銨離子比例及氨分子水中溶解度不同，如圖 4(a) 及圖 4(b) 所示，對整體回收效果有所影響，故此法操作時，須注意廢水與吸收液之 pH 值與溫度控制，如廢水

吹脫氨分子時 pH 值須調整至 11 以上，並於吸收段控制酸吸收液於 pH 值 5 以下。

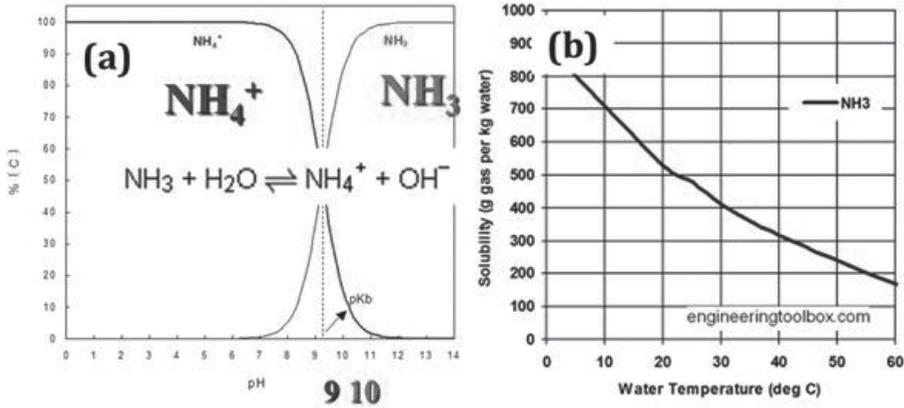


圖4、(a)不同pH值條件下之水中氨分子與銨離子比例；(b)不同溫度下氨分子水中溶解度

另外氣提塔與吸收塔器的選擇，亦為影響整體回收成效重要因素，表 1 為各類分離塔器整理。若氨氮廢水含固體懸浮物或高濃度硬度離子，採用填料塔易有填料孔隙受堵塞或表面產生結晶問題，影響氨分子脫除或吸收效果。旋轉填充床為一藉由旋轉填充達到高重力場之裝置，可降低氣液接觸之單位質傳高度，適合場地空間受限之工廠使用。

表1、各類分離塔器整理

鼓泡塔	板式塔	填料塔	旋轉填充床

2.3 蒸汽氣提法

蒸汽氣提法使用蒸汽為載流氣體，可供熱於廢水使其溫度提高，促進廢水所含氨分子脫離液相。由於蒸汽脫除可搭配蒸餾系統獲得高濃度回收氨水，此回收產物再利用場域與去化管道較銨鹽型態為廣。然因蒸汽氣提法需消耗大量蒸汽，影響處理後氨氮廢水排放量（一般蒸汽氣提法每噸廢水約增加 0.2 公噸〔2〕），加以初設成本較高（需供熱裝置與熱交換器等周邊設備）與回收氨水之存放安全與洩漏考量等問題，故本技術雖屬成熟化工技術，國內廠商接受度仍有待提升。

2.4 薄膜蒸餾

本技術使用具微孔洞之疏水性薄膜，將待處理氨氮廢水流經薄膜一側，此時廢水中分子態氨因分壓差，可經由膜上孔洞擴散傳輸至另一側（液態廢水則因薄膜疏水特性，並不會隨之傳至另一側）。薄膜蒸餾之氨分子傳輸效率，與另一側收集方式有關〔3,4〕。以兩側溫度差異造成之氨分壓差（廢水端為熱側、收集端為冷側），雖可收集到液態氨水，然需原廢水含有高濃度氨氮 (>20,000mg-N/L) 且薄膜兩側具一定溫差 ($\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$)，始能獲得具有回收效益之氨水。若於收集端使用酸性溶液（如硫酸），藉由酸鹼中和吸收氨分子成銨鹽，使該側氨分壓維持於近零狀態，可有效導引廢水側氨分子至收集側，圖 5 為薄膜蒸餾於收集端使用硫酸溶液移除氨氮廢水所含氨分子之示意。以此方式雖可有效降低氨氮廢水濃度，然收集端僅能得高濃度銨鹽廢液，如前所述，應用範圍與去化管道較為受限。

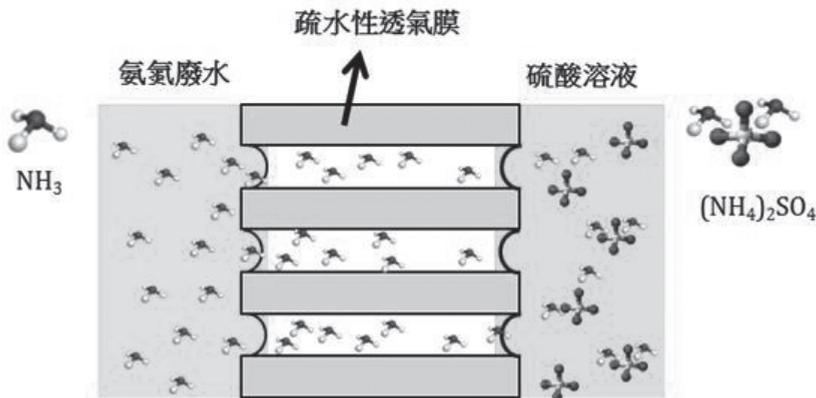


圖5、薄膜蒸餾於收集端使用硫酸溶液移除氨氮廢水所含氨分子之示意

三、案例介紹

3.1 特用化學品工廠之高濃度氨氮廢水

某特用化學品製造工廠於染料製造過程，使用大量氨水進行反應控制，依生產排程不定期、批次排放高濃度氨氮廢水，表 2 為特用化學品工廠之高濃度氨氮廢水歷次採樣水質分析結果。由廢水分析結果可知，染料製程所排放廢水屬高濃度（數千 mg/L）氨氮廢水，此外廢水中另含有大量有機物與鹽分。

表2、特用化學品工廠之高濃度氨氮廢水歷次採樣水質分析結果

pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	COD(mg/L)	無機組成(wt%)	NH ₃ -N (mg/L)
7.53	5.15(x100)	17,000	28.4	5,270
5.60	5.98(x100)	10,000	33.2	6,230
6.63	6.11(x100)	8,900	35.5	9,040
10.02	4.24(x100)	23,328	4.6	2,848

為降低廢水處理廠氨氮處理負荷，與氨氮廢水處理成本，該公司與工研院合作，藉由實驗室小型分餾測試與 Aspen plus 化工模擬軟體模擬，評估此類廢水回收氨水之可行性，與所需消耗及塔器規格。圖 6 為染料製程廢水實驗室分餾前後照片，由測試後照片可觀察得，廢水所含高濃度鹽分可能於分餾後濃度過飽和析出，故須注意蒸氣添加比例與回收氨水濃度。圖 7 為實驗室分餾染料製程廢水所得之回收氨水照片，不同染料製程廢水所回收之氨水雖有色度上差異，然經廠方品管驗證，其均可經由適當摻配調整回用於特定種類染料製程。

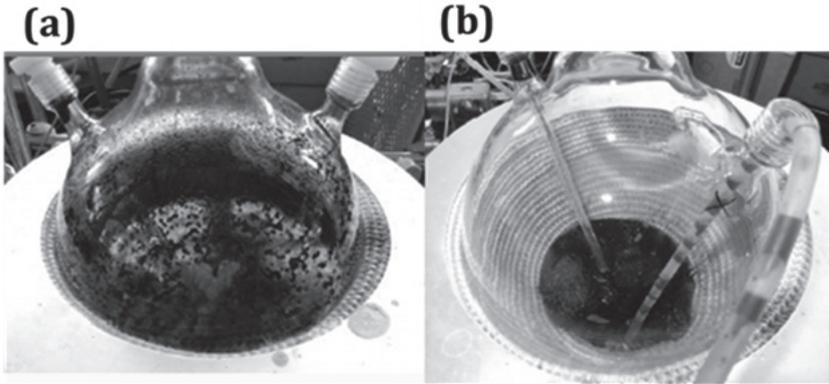


圖6、染料製程廢水實驗室分餾測試：(a)測試前，(b)測試後



圖7、實驗室分餾染料製程廢水所得之回收氨水

前述實驗室分餾測試結果顯示，染料製程廢水具回收氨水再利用之可行性，工研院利用 Aspen plus 化工模擬軟體，建構如圖 8 之染料製程廢水之氨水回收模擬系統架構，以電解質模式模擬出回收氨水所需能耗與塔器規格。模擬結果顯示，每噸廢水約需 500 公斤蒸氣、77 公斤 45% 液鹼，可回收得 10-15wt% 濃度氨水，換算回收每公斤氨氮操作成本接近新台幣 100 元，雖高於外購氨水成本，但以減少氨氮廢水處理費用（生物處理每公斤氨氮成本約 50-70 元）與資源再利用角度，仍屬一具環

境友善之作法。

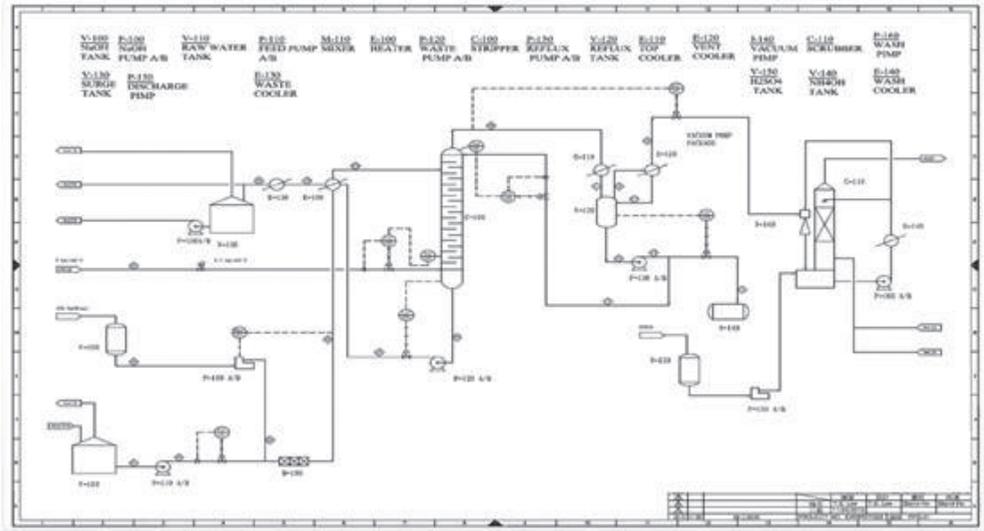


圖8、染料製程廢水之氨水回收模擬系統架構

3.2 CIGS太陽能電池之化學水浴沉積製程廢液

CIGS 太陽能電池於緩衝層之製造通常採用化學水浴沉積 (Chemical Bath Deposition, CBD) 法，其需使用大量氨水，以調控硫酸鎘及硫脲之化學反應速度，使其能於基板上形成均勻緩衝層。然為確保品質穩定，前述藥品多採過量添加方式，致使反應後的 CBD 製程廢液殘留有高濃度氨氮、硫脲與鎘離子，如表 3 所示。為降低 CBD 廢液對環境之影響，並回收有價資源，工研院於經濟部專案支持下，進行 CBD 廢液之回收氨水再利用研究。

表3、CBD製程廢液水質分析資料

項目	pH	Cond. (µs/cm)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	硫脲 (mg/L)	鎘 (mg/L)	氨氮 (mg/L)
數值	11.7	2,470	9,600	1,330	9,240	11.9	13,700

因為 CBD 製程廢液具高度結垢潛勢，易於氨水回收過程使氣液分離塔器內部填料表面結垢現象，影響其氨水回收效率及增加設備運轉維護頻率。是故，先移除製程廢水所含具有結垢潛勢物質，再選用對結垢與固體物堵塞具有較高忍受力之塔器，為此股廢水是否能順利回收氨水之關鍵。工研院採用流體化結晶與高溫薄膜過濾技術，先將 CBD 製程廢水殘留之鎘離子移除，再使用耐結垢之旋轉填充床進行氨水分離與回收，圖 9 為旋轉填充床設備照片，圖 10 為 CBD 製程廢液經鎘離子移除後所回收氨水照片。



圖9、旋轉填充床設備照片

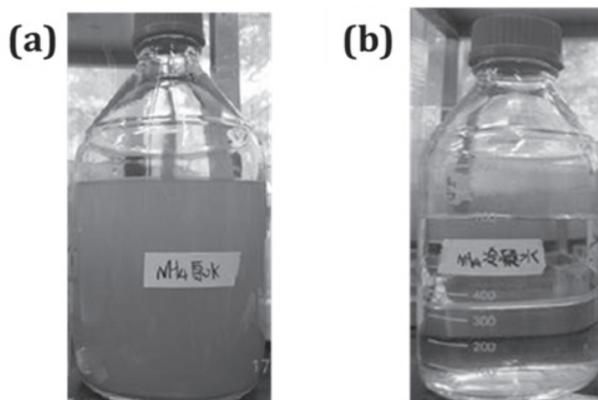


圖10、(a)CBD製程廢液(b)回收氨水

分析顯示，回收氨水濃度可達 15%，硫脲及總鎘濃度分別低於 1mg/L 及 0.03mg/L。將此一回收氨水回到製程再利用，其所製成 CIGS 太陽能電池產品光電轉換效率，與市售電子級氨水所得幾無軒輊，如表 4 所示，驗證回收氨水品質可回用於 CBD 製程繼續使用。此一流程從 CBD 製程廢水回收每公斤氨水所需成本約新臺幣 30 元，若考量氨氮廢水處理成本，其環境效益十分顯著。

表4、市售氨水與回收氨水之光電轉換效率比較表

樣品編號	光電轉換效率(%)	
	市售氨水	回收氨水
樣品一	9.208	9.000
樣品二	10.071	10.609
樣品三	9.764	9.733
樣品四	9.369	9.344
樣品五	9.900	10.075
樣品六	9.801	8.968
平均值 (%)	9.686	9.622
標準差 (%)	0.329	0.646

四、結論與建議

氨氮廢水以往因液氨取得成本低與國內環保法令寬鬆等原因，將其回收之經濟誘因略顯不足。然隨著環保單位強化氨氮管制，與回收廢水中有用資源為現今水處理發展趨勢。回收廢水所含氨氮成氨或銨鹽予以再利用，為一契合永續發展精神的做法。

本文介紹了目前可回收廢水中氨氮之相關技術，以銨鹽為回收產物型態之技術成本較低，然因受限於國內法令尚不允許來自工業銨鹽轉為農業肥料使用，去化通路仍未暢通；而回收成氨水雖因能源消耗與成本較高，然於工業上再利用之管道較為暢通。未來若能於各方合作下，建立適當之氨氮回收產物去化管道，相信能提高工廠將氨氮廢水從處理轉為回收之意願，使此一資源獲得更有效的循環運用。

參考文獻

1. 宗剛、楊凱，資源化回收廢水中氨氮的研究進展，應用化工Applied Chemical Industry，第45卷，第12期，2016年12月。
2. 林憲喜、祝仰勇，導熱油加熱技術在蒸氨系統中的應用，燃料與化工，3期，2004年。
3. 林伯勳、洪仁陽、徐淑芳，薄膜蒸餾技術分離煉焦廢水氨氮之可行性研究，水利產業研討會，2014年10月。
4. 傅正貴、李玫、許哲彰、王俊元，創新氨氮廢水資源化，工業工程年會，2016年。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

永續循環經濟觀念案例分享/余騰耀等作.--初版.--臺北市：中技社，
民106.12

224面； 17×23公分 (能環智庫；5)

ISBN 978-986-94322-9-0 (平裝)

1.綠色經濟 2.永續發展 3.個案研究 4.文集

550.16367

106025283

永續循環經濟觀念案例分享

作者：余騰耀、蕭代基、黃正忠、鄒念濤、王建彬、葛望平、
曾一正、陳輝俊、王家祥、張詠竣、周育潤、陳偉聖、
張冠甫、徐樹剛、吳旻珊、李天三

編輯小組：財團法人中技社
社團法人永續循環經濟發展協進會
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心

發行人：潘文炎、施顏祥

出版者：財團法人中技社
地址 / 106 台北市敦化南路二段 97 號 8 樓
電話 / 886-2-2704-9805
傳真 / 886-2-2705-5044
網址 / www.ctci.org.tw

印刷製版：信可印刷有限公司

出版日期：中華民國 106 年 12 月初版

ISBN：978-986-94322-9-0 (平裝)

第一篇 觀念介紹

循環經濟之發展趨勢與新思維	余騰耀
永續發展與綠色經濟之方向與策略	蕭代基
循環經濟中的創新與創造之真實價值	黃正忠
中小企業因應循環經濟趨勢的策略思維	鄒念濤
循環經濟創新商業模式探詢	王建彬

第二篇 產業案例

歐萊德的綠色理念	葛望平
紡織產業轉型循環經濟之經驗分享	曾一正
ESCO 產業服務模式與案例分析	陳輝俊

第三篇 創新設計

設計新選擇再生材料	王家祥
設計與碳足跡的關係	張詠竣 / 宋鬱涵
現代竹藝的永續發展	周育潤

第四篇 循環技術

城市採礦與循環經濟	陳偉聖
科學園區資源循環與技術	張冠甫
氮氫廢水回收與再利用技術介紹	徐樹剛 / 吳旻珊 / 李天三



財團
法人

中技社

CTCI FOUNDATION

台北市敦化南路二段97號8樓
8F, No. 97, Sec. 2, Tun Hwa South Road, Taipei, Taiwan, R.O.C.
TEL : 886-2-27049805
FAX : 886-2-27059184
<http://www.ctci.org.tw>



ISBN 978-986-94322-9-0



9 789869 432290