

未來工業區的形貌初探

—各國生態工業區的案例研究

溫肇東

國立政治大學科技管理研究所教授

摘要

「工業代謝」及「產業生態系統」強調必須以生態體系的概念來操作產業，藉著將廢棄物不斷地再製與再利用來達到「以更少的量來達到更多的產出」，地球才能達到永續經營的境界。本文希望針對現今世界各國進行生態工業區以及實施生態工業區的要害與落實方法進行個案研究，以提供產官學研在生態工業區方面的觀念做參考。

壹、前言

傳統的經濟學，在「生產→消費」的線性思考中，為了能以更低的價格來滿足消費者，「規模經濟」成爲廠商的主要考量。大量生產的產品固然能讓消費者以更低的價格得到滿足，卻也造成了很大的問題，其中對人類影響最深遠的，即是事業廢棄物增加的速度與規模已遠超過自然環境的負荷量。

以「生態系統(Ecosystem)」的思維來檢視，我們將會發現目前的「生產→消費」系統與自然界相較少了二個很重要的步驟「清道夫(scavenger)與分解者(decomposer)」(Raymond Cote, 1996)，也因此廠商的思考點，僅止於將產品交至消費者手上，對於後續的處理動作，如回收(recycle)，再製(remanufacturing)，再使用(reuse)的考量，便顯得相當的不足。但若仔細地觀察，將會發現完整的生態體系至少包含二點原則：第一，所有的產出(outputs)必是被自身或是另一物種使用或再利用(recycle)；第二，此體系的穩定性是由體系間的物種(species)的多樣性與互動來維持。過去亦有學者以生態系統的概念來思考工業，如「工業代謝(Industrial Metabolism)」及「產業生態系統(Industrial Ecosystem)」，都是強調必須以生態體系的概念來操作產業，藉著將廢棄物不斷地再製與再利用來達到「以更少的量來達到更多的產出(To produce more with less)」，地球才能達到永續經營的境界。

若以此觀點來看台灣產業，將會發現現今多數廠商所面對的多爲零星而此起彼落的環保議題，而不是通盤且具有結構性的思考，導致廠商大多是以片段的方法，如只強調廢棄物的處理，而不注重減少及再利用。因此，所得到的效益相當的有限，在不久的將來，將對本國的廠商競爭力造成相當大的影響。

「生態工業區」(EIP)的概念，其意念內涵與「生態工業發展」(EID)、生態化產業網路、虛擬生態工業區、產業共生、產業集羣(Industrial Cluster)及零排放系統等所陳述的意念大致是相同的。本文希望針對現今世界各國進行生態工業區以及實施生態工業區的要害與落實方法進行個案研究，以提供產官學研在生態工業區方面的觀念做參考。

貳、丹麥 Kalundborg 的產業共生(Symbiosis)

一、成立背景

丹麥 Kalundborg，位於哥本哈根以西 100 公里，這個五萬人小鎮，所發展出來的共生體系，不但引起了世界各國的注意，並獲得了多項的環保獎項。

Kalundborg 產業共生體系的成立，基本上是基於資源不足而發展出來的解決模式。六〇年代，由於 Kalundborg 地區的地下水不足，因此企業必須充分利用地表水。當時鎮上的主要企業，諸如石油公司、

電力公司等，都需要使用大量的水，附近雖然有一天然湖泊 Tisso Lake 可以供應，但由於使用量太大，水資源相對不足。因此，如何妥善利用當地水資源，成為發展該產業共生體系的重要課題。

Kalundborg 產業共生體系的雛型，始於 1960 年代。從 ASNAES 發電廠將生產過程中所產生的廢熱，以水蒸氣的方式運送到附近的 Statoil 煉油廠使用開始，ASNAES 逐漸發現利用電汽共生的特性，亦可將水蒸氣再賣到附近的製藥工廠、農藝溫室、以及養魚場裡去。

二、共生體系的演進

在七〇及八〇年代，Kalundborg 產業共生體系已經默默地運行了一段時間，但直到 1990 年，此一體系才開始為外面的人所知，並將之命名為「產業共生」(Industrial Symbiosis)。

其實此一產業共生體系在七〇年代最早建立之時，並非基於環保的考量，而是企業間彼此單純的交易行為，只不過交易的標的是公司的廢棄物罷了。在整個發展的過程中基本上並不是由整體規劃而來，也可以說是「意外」促成的。

產業共生體系的概念乃是希望利用從一公司而來的廢棄物，能夠成為另一家公司的資源投入，因此而建立一種網路的關係。此一產業共生體系，在歷經多年的發展後，終於逐漸達到多家公司的廢棄物交互為多家公司投入資源的目的。

三、服務與基礎建設

自然形成的 Kalundborg 生態工業區實際上並沒有一個明顯的圍牆界線，不像台灣的工業區一般，是由政府作完整的規劃，做好各項基礎建設，諸如道路、廢水處理場、垃圾處理場所、電信、醫療服務、公共福利、倉儲服務等，而後設立管理中心（一般稱之園區管理局），來做為管理單位。

Kalundborg 產業共生體系的形成，可以說是自然形成的，並非由特定的單位做好完整的規劃，而後有廠商的進駐。企業的加入此共生體系，完全是基於商業契約上的關係，只要彼此的合作關係可以互利，便可能有廠商加入。企業彼此的溝通協調，也是在契約簽訂的過程中完成。政府在這之中所扮演的角色，只有地方政府提供地區所需的水、電、熱等能源。

由於產業共生體系已經吸引了來自世界各地的注意力，為了滿足其對於資訊的需求，以及為了使共生的理念能夠持續下去，乃有此資訊中心（information center）的成立。Institute 的成立乃是由 Kalundborg 地區地方的產業發展會議（The Industrial Development Council）的一個專案所支助成立的，目前只有一名人員負責其事，1997 年的經費預算則是 400,000 丹麥克朗（約 67,000 美金）。

Institute 所負責的工作範圍，則包含有：

- 蒐集關於產業共生的相關資料
- 溝通共生體系專案所帶來的經驗
- 協調關於產業共生體系的研究
- 安排參觀訪問事宜

參、加拿大 Burnside Industrial Park

位於加拿大 Nova Scotia 省的 Burnside Industrial Park，是目前世界上推生態化工業園區最為成功的地方之一。此區約在 25 年前開始著手開發，目前已有 2/3 開發完成，其基本資料如下：

- 佔地約 1200 公頃，有三分之二已開發完成
- 區內有 1300 家企業
- 公司規模的分佈在 2 至 250 人，有 90% 是小公司(雇員在 2 至 50 人之間)
- 區內總人數約 17000 人
- 是加拿大前五大園區之一
- 區內事業部多樣性程度高(大約為製造業 10%，營造與建築 11%，組裝業 8%，行銷與服務 48%，零售業 8%，其它金融與專業的商業服務 14%)

若以生態體系來看 Burnside 園區的組成分子，其中約有 15% 的廠商是從事如食物鏈末端的食腐者 (scavenger) 或說是分解者 (decomposer) 的角色。這樣子的組成也讓 Burnside 生態工業區更為完整。加拿大的經濟情勢與台灣類似，都是以小形企業為主，一般而言這些小企業較不易受到來自政府環保推行單位的注意，政府所推的與永續經營相關的計劃都沒有將這些小企業採入，也因此這些小型企業從來沒有接觸

過完整的節省能源與資源的規劃。且這些小型企業既沒有錢也沒有環保方面相關的專業知識，在公司規模又小的情況下，所謂的永續經營對他們來說根本來遠不可及的夢想，公司擁有者操作企業的態度也就是能營運一天算一天，在這樣的情況下小企業是很難從事任何與環保相關的行動的。

在很多的城市，這一類的小企業會被集中成爲園區以方便管理，這樣一來小企業原本被忽略的環境衝擊也將顯現出來。在加拿大有超過 1000 個的工業園區。將廠商集中化會使得再使用(Reuse)、再製造(Remufacture)與循環(Recycle)變得比較簡單。廠商集中的另二個好處是，第一，由於一些公共建設的共同使用，可減少資本的支出，第二，集中管理可減少對環境的衝擊。

一、來自廠商方面的困難

根據一份對區內 278 家公司所做的調查，對於污染防治主要有下面的障礙與困難：

- 廢棄物減量的相關資訊：由於小廠商在技術及資金方面相當缺乏，對於事業廢棄物的處理無法有革命性的改變。
- 資訊共享機制的建立：中、小企業間並無良的的資訊交流機制，以致於錯失許多機會。
- 關於再製品及循環使用的產品、材料的市場與行銷：若再製品及循環材料的品質不及市面上相類似產品，或是一般民眾及廠商的接受意願不足等，這都須再推廣。
- 對可回收品有效率的回收系統建立
- 有更多的途徑能取得可回收的材料
- 過度的包裝，將使得回收更爲困難
- 缺乏在減廢方面的教育計劃
- 缺乏小量的廢棄物交換
- 缺乏可使合作更爲便利的機制
- 需要能使計劃永續推行的法令

二、中間機制的建立-Eco-Efficiency Centre

由於以上的種種不足，以及 1992 在里約所舉行的地球高峰會所指導原則，乃有 Eco-Efficiency Centre 的成立。此中心是在 1992 年由 Dalhousie University 的資源及環境研究學院(SRES)及 NSPI(Nova Scotia Power Incorporated)所共同創立的非獲利機構，主要扮演資訊提供及專業資訊的角色。

以 Dalhousie University 的角度來看，此中心可扮演如何將研究計劃落實到社區及教育廠商的角色。以 Nova Scotia Power 的角度來看，共同創立這一機構不但可嘉惠區內廠商及居民，且也是對環境回饋的承諾。

Eco-Efficiency Centre 的資金除了來自前所提到的二個機構外，並且接受來自省及市的資金。因此其得以運作，且可以扮演省、市及廠商之間對環境改善策略的協調機制，使研究機構、政府單位及廠商三方面能更有效率的運作。

此中心除了提供資訊外，並設定標準來檢定廠商在廢棄物相關作業方面的表現，且將達成成效的廠商在年度表揚大會上表揚，並且提供其作法讓其它廠商參考。透過此中心的運作不但使得政策及研究能落實，且也使得廠商的運作更有效率。

肆、美國德州 Applied Sustainability 的 By-Product Synergy

一、成立背景

By-Product Synergy 是促進產業將其副產品轉換爲資源的計畫，其首次出現在 1990 年代中期，位於美國的德州，當時由於 Chaparral 鋼鐵公司與 Texas Industries 發現有機會整合鋼鐵與水泥產品之生產，並發現利用鋼鐵煉爐渣來生產水泥，可使兩個公司都能明顯的減少能源的消耗，不但可以多生產 10% 的水泥，還可減少一氧化氮、二氧化氮與會引起溫室效應的氣體（如二氧化碳、甲烷等）的排放。

BPS 的出現實際上是產業間共同追求利益極大之結果，在參與 BPS 的過程中，使參與的公司瞭解到對『廢料』的新看法，就是將副產品與廢料轉換成爲資源的方法，導致新的收益及節省大量的成本，此時 BPS 即成爲各公司積極要達成的目標。

當其他的對於 BPS 的理念感到高度興趣的表現時，四個 BCSD(企業永續發展協會)的會員-包括 Grupo IMSA、TXI、Hatch Associates 與 Conoco，於 1998 年組成 Applied Sustainability，其目標在於將 BPS 的理念行銷到全世界。Applied Sustainability 至今在美國、加拿大以及智利三個國家開發了六個專案，而於 2001 年已計畫了超過 10 個專案。此外 Applied Sustainability LLC 還擁有技術夥伴 Hatch Associates 與 CH2M Hill 的支援。

二、體系的運作

BPS 的運作是由 Applied Sustainability LLC 選擇位址，並招募 15~25 個公司參加，當參與者確定後，Applied Sustainability 需經由一連串的會面、實地勘查、收集並分析各參與公司的原料與副產品之資訊的過程，期望經由此過程發現 50~60 種可能的副產品之綜效。而這麼多種可能會再被刪減至最有希望的 6~10 種，這些副產品將在 BPS 計畫中被轉換為資源。

BPS 的計畫初期，參與公司的工程師門以及營運人員需瞭解、接觸鄰近企業的產品之生產過程，原料之需求以及廢料的產生。經由 Applied Sustainability 所促進之廣泛的合作與協調，這些參與的公司會發現整合並減少污染與原料成本，以及增進內部程序與帳本營虧結算線的方法。

當專案開始實施時，Applied Sustainability 關於可行的綜效之知識及適當的技術增加時，BPS 成爲一個漸增的綜效之豐富經驗的搜尋引擎以及一個適當技術的提供者。

在這樣的綜效下，可能會出現新的創業機會，更進一步促進企業在區域間的整合。爲了經由這些專案的綜效來達成在全球市場上取得競爭優勢，公司可能決定於同一地點創業，這個綜效計畫將扮演跨國的技術轉移之開端。

三、經濟與社會效益

Applied Sustainability 於過去兩年中，在美國(紐約北部、北德州、休斯頓-德州工業城)、墨西哥(Tampico、Monterrey)、加拿大(Alberta、蒙特婁)等地開發了 BPS 計畫，而其中有超過 75 個公司參加，發現超過 150 個可產生綜效的構想。

BPS 會使參與的工業減少其污染量、節省資源以及節省成本。讓參與 BPS 計畫的企業向理想中的零廢料產出的企業邁進。其被視爲一個朝向達成工業零廢料產生的最終目標之基本的步驟。在一個理想的世界中，工業將實踐一個最好的工業生態學之形式，模仿世界性的生物學系統。在這樣的世界中，沒有什麼東西是廢料，當所有的副產品都會被再利用成爲其他流程中的組成元素。但目前的工業流程離這樣的理想還有很長的一段距離。

伍、日本北九州的 Eco-Town

北九州市方圓 480 平方公里，人口 100 萬，是日本第 11 大城。在海運盛行的年代，這裡幾乎是所有進出口商船的必經之地，同時又是本州到九州的陸運交通起點，在經濟發展上居九州之冠。此外，北九州附近盛產鐵礦，又因港口良好，適合大宗物質的進出，北九州市自 1901 年建立了日本最早的國營八幡製鐵所，逐漸成爲以化學及重工業爲中心的工業城市，積累了很多優異的工業技術經驗，成爲日本四大工業地區之一，爲日本經濟的飛躍發展做出了很大的貢獻。此外，明治維新之後，因交通及工業關係，一直是軍隊駐守的重地，二次世界大戰前夕，這裡更成爲日軍兵器製造的大本營。也因此，北九州小倉市曾被美軍列入投下原子彈的黑名單中。

但是好景不常，自從福岡發展爲航空轉運站之後，北九州的氣勢就漸漸式微了。作爲日本“繁榮象徵”的北九州市，嚴重的環境污染到了六 0 年代即成爲當地最頭痛的問題。七 0 年代以來，由市民、企業、市政結成一體，致力於解決深刻的環保問題，使人們重見美麗的天空和清澈的大海，於 1990 年的地球環境日獲得聯合國的表揚。更值得一提的是，對同樣有嚴重環境污染問題的發展中國家，北九州市利用其解決環境污染過程中所積累各種經驗和技術，積極協助世界各國，提供技術指導，推動國際環保工作。

在這些政策背景下，北九州市希望將自己定位爲 100 年的生產「技術城」，同時也是環境技術及人才聚集的城市，也就是融合生產（動脈）與資源再生（靜脈）的一個城市。領先日本甚至全球完成建構資源循環型社會的任務，確實達到環保政策及產業振興政策並行不悖的統合。整個北九州 ECO Town 的發展戰略如表一：

I 教育及基礎研究 環境政策理念的確立 基礎研究的據點 人才的培育	II 技術及研究實驗 本地企業的培育 實驗設施的支援	III 商業化 各類再生利用技術的商業化 中小及研發性企業的支援
---------------------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------------------

學術、研究城構想 •北九州大學國際環工系(2001年4月開學) •大學及研究機關 國立九州工業大學研究所 英國 Cranfield 大學 德國國立情報處理研究所 早稻田大學理工研究中心 •其他相關機構 地球環境戰略研究機關北九州辦事處 福岡縣再生利用技術綜合研究中心	實驗區 •福岡大學資源循環、環境控制系統研究所花正孝教授 •各類的研究實驗 掩埋場 底灰 廚餘類 廢塑料 •ECO Town 研究中心	綜合環境產業工業區 •資源回收場得集聚 保特瓶 • OA 機器 汽車 • 家電製品 日光燈 • 醫療器具 HIBIKI 中小企業工業區 •本地中小及研發性企業 •提高汽車解體、中古零件的技術
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表一、北九州市環境產業的發展戰略

(上村銳治,2000)

經過詳細的規劃，法令的配合，以及產官學研的通力合作，北九州市的 ECO Town 達成目前的成果。由北九州 ECO Town 的經驗，我們可以看出要建立起一個永續的生態圈，在周邊需要許多方面的支援，包括：

- 一、 要對區域內的居民進行啓蒙的環境教育；
- 二、 區域內要有先進的環境技術開發與研究單位，如大學或科研機構；
- 三、 在法律與管制方面，該有彈性的鬆綁，該嚴格執行的必須強化；
- 四、 地方政府應提供財政或稅制上的優惠與補助給工業區的經營者及進駐的廠商；
- 五、 盡量發揮市場的機制，透過環境外成本的內生化，使廠商能以生命週期的方式來處理其產品的設計、製造、使用、到廢棄；
- 六、 政府也應設法提供相關的基礎建設，如共同的管溝，及以生態工法處理相關工程；
- 七、 透過媒體爭取社區居民的支持，這是化腐朽為神奇，解決廢棄物問題，同時創造經濟成果的雙贏機會；
- 八、 事前事後必須進行嚴密的環境負荷評估，確保生態效益的績效。

從九州 ECO Town 的案例我們可以明瞭，要形塑一個成功的生態工業區需要有相當多條件的配合，首先該區域內的廢棄物必須有適當的分類習慣與收集系統，使此一工業區的資源供給呈穩定的狀態。其次，要有足夠、健全的再生利用處理事業，最好能集中起來有共同的管理，可收許多動脈與靜脈物流的綜效，接著需要有蓬勃的再生品市場的需求，這可利用政府的綠色採購或綠色公共工程之建設，達到市場推廣的目的。

陸、結論

一、 生態園區的經營模式與績效衡量不盡相同

- (一) 目前各國的生態園區成立的環境、生態背景，主要推動的單位經營者，各園區的經營模式、營利或非營利都不一樣。
- (二) 產生多少生態效率與經濟效益的計算有無也不盡相同。
- (三) 瞭解各產業間的新陳代謝、生產流程與廢棄物的內涵、品質與數量的機制也不完全相同，但都必須提供足夠資訊來推動生態工業區之廢料與副產品之再利用與回收。

二、 生態園區相關的政策法規及基礎建設的條件十分重要

政府所扮演的角色應為訂立法規政策，並規劃及投入完善基礎建設，例如：

- (一) 訂立獎勵產業進行減廢、副產品回收與再利用之法規。
- (二) 嚴格訂立產業廢料排放標準。

- (三) 提供完整基礎建設之生態工業區位址。
- (四) 限制產業的能源使用量，或提高產業之能源使用價格，讓廠商有動機節約能源的使用，或想辦法利用廢熱、廢棄、廢熱水等。

三、生態工業區內產業間互動之啓動組織及管理是基本運作項目

- (一) 區域內之產業的產品、生產過程、廢料與副產品之資訊交流。
- (二) 每個公司對鄰近企業應有相當程度之瞭解。
- (三) 企業間的網絡系統需要建立。
- (四) 企業間長期的信賴關係需要培養。

四、學術及研究機構協助相關研究也屬必要

- (一) 減廢、廢棄物處理回收之技術的研發與轉移。
- (二) 透過產學研相關研究，對區內相關制度提出建議。
- (三) 提出生態工業區之生態效益的評估指標。

參考文獻

(一) 中文部分

上村銳治（2000），北九州 ECO Town 計畫—邁向資源循環型經濟社會之道，2000 台灣工業區生態永續化研習營。

溫肇東（1999），企業的環境管理，台北：遠流出版社。

(二) 英文部分

Côté, Raymond P., Kelly, Terry, MacDonnell, Jacalyn, Mermer, Thad, Murray, Robert, Smolenaars, Theresa (1996), "The Industrial Park as An Ecosystem: Sectoral Case", p1-31, School for Resource and Environmental Studies, Faculty of Management, Dalhousie University.

Edited by Côté, Raymond P., Hall, Jeremy (1994), "The Industrial Ecology Reader", School for Resource & Environmental Studies Faculty of Management, Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, Canada.

Mangan, Andrew T. (2000), "By-Product Synergy Presentation".