

高科技產業的循環經濟

文/陳偉聖

前言

隨著人類地球誕生至今45億年，人類在地球上已經存活650萬年，最近短短三十年來，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、空氣污染物、戴奧辛、人口問題、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。

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，贏得生存的空間。生活於石器時代之人類祖先，選用堅硬之岩石作為自衛與狩獵工具，足以代表人類智慧與文化高於一切。人類最先認識的金屬有可能是自然金，而首先用作工具的金屬有可能是自然銅，由於金屬銅遠較岩石堅韌，爾後又發現更堅硬強韌的合金銅，而使時代邁進青銅器文化，此時人類已知使用“火”來熔煉青銅。由於鐵礦資源豐富，取得容易遂成為替代銅而進入鐵器時代。由此可知，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，聚集形成族群發展出農耕社會的生活型態，以耕種、圈養牲畜等方式滿足生活上糧食所需。農耕時代所依賴的勞動力除人力之外，借用牛、馬等家畜的勞動力以及自然的水力與風力能源，用薪材或木炭當熱源熔煉與加工金屬，製造生產工具與武器。發展出人類文明，確立主宰地球的地位。

在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。要如何在不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。二百多年前的工業革命，人類瞭解資源與能量之轉換，掌握了巨大

的生產動力，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，二十世紀後半葉，科技急速進步，經濟繁榮，人口數也急遽增加，對資源的需求量遽增，帶來兩次世界能源危機，發現資源枯竭與環境污染，嚴重威脅著人類的永續發展。

1972年，羅馬俱樂部提出「成長的極限」指出2000年以後，大量開採資源換取豐富的糧食，資源蘊藏量急速減少，也產生大量污染環境的廢棄物。在豐衣足食的情況下人口數遽增，預估在2030年時，資源利用過程所產生的廢棄物污染會達最高峰，屆時糧食生產受到污染而每人所能攝取的量劇降，而轉入飢餓與貧困的生活，因此人口數將在2050年以後大量減少。使地球環境與人類生存陷入無以為續危機。工業革命以前，人類文化以農業為核心，製造業、服務業只是生活專業化的配角，人類並未特別體認到資源循環再生的重要。但其實天地萬物自有循環、生生不息的運行規律，經濟活動若能達成天人共生、物資循環的模式，人類的生產模式、生活型態、生態維護就能三位一體、持續互動、和諧共生。其實人類的農業時代就是循環經濟的雛形。

在工業時代後，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。線性經濟鼓勵整府與企業完美的實踐錯誤的事情，一步步造成今天的困境。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。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。相較於線性經濟下，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，藉由重新數計材料、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。



高科技產業的廢棄資源

目前臺灣高科技電子產業中，主要以下列三大項為發展目標，分別是：電子零組件產品、IC產業、資訊硬體產業等，且主要分布範圍為北中南三大科學園區內。電子零組件產品：體積電路、液晶顯示面板、發光二極體、印刷電路板等。IC產業：IC設計、IC代工、IC封裝等。資訊硬體產業：電腦、主機板等。

若以臺灣最著名之電子產業-半導體業來做參考，2017年產值為新台幣2.46兆元，更占有台灣GDP 15%，如台灣的經濟支柱。台灣半導體產業於世界排名(如表1所示)，台灣總IC產值全球第3，台灣IC設計產值全球第2，台灣IDM產值全球第5，台灣晶圓代工產值全球第1，台灣IC封測代工產值全球第1。

表1 台灣半導體產業的世界排名

2017年	台灣產值 (億美元)	全球產值 (億美元)	台灣 佔有率	台灣 排名	台灣 大廠	國際 大廠
IC產業	810	5,026	16.1%	3	台積電	Intel (美) · Samsung (韓)
IC設計	203	976	20.8%	2	聯發科	Qualcomm (美)
IDM(含記憶體)	53	3,227	1.6%	5	南亞科	Samsung (韓) · Micron (美)
晶圓代工	397	547	72.5%	1	台積電	GlobalFoundries (美)
IC封測代工	157	281	55.9%	1	日月光	Amkor (美)

臺灣高科技產業歷經從原本的蓬勃發展，到面臨國內外環境變化而做出改變後，現已呈現欣欣向榮的面貌。但即使電子產業不停的進步，資源循環的過程也多有進展，但在回收再利用流程上仍有許多改善空間，例如：仍有許多種廢棄物無法好好回收，或是現已回收之物質用途較為狹隘，並無法帶來較多經濟價值。以下為臺灣電子產業較常遇見之問題。

1. 廢棄物種類雜多且數量龐大：循環經濟的觀念傾向減少廢棄物的產生，並重新再利用，以降低廢棄

物的排放。但由於電子產業產生的廢棄物量龐大，很難有足夠多的下游產業可以應付，造成大量廢棄物仍沒有被妥善處理。

2. 部分廢棄物具有汙染:由於高科技產業在生產產品的過程中可能會添加酸、鹼或是有機溶劑等，因此產生之部分廢棄物也會具有污染源。例如:半導體產業所產生的氟化鈣汙泥，就會有氟汙染的疑慮。而現今廢棄物大多沒有完整的檢測系統，因此為了防止汙染進入下游廠商的系統內，選擇的方法大多為拒絕使用該廢棄物，使廢棄物的使用比率始終無法有效提升。

3. 產業群聚:現今高科技產業大多以科學園區的方式群聚，因此產生的廢棄物總量相當龐大，而且沒有辦法即時的將廢棄物運送至需要的下游廠商內(因為下游廠商大多不位於園區內)。除了會造成運送上的成本增加外，還會有廢棄物在運送過程中對環境產生污染的疑慮。

根據新竹科學園區的統計資料，高科技產業屬於高耗能產業，且會產生大量廢棄物(如表2所示)，以新竹科學園區(106年)為例，高科技產業所產生廢棄物占主要包含廢塑料、廢酸液、廢溶劑、無機汙泥與金屬廢液等，因此將做為未來廢棄資源物回收的標的(如表3所示)。

表2 各高科技產業廢棄資源產生量

行業別	申報產生量(公噸)
積體電路	155,464.26
光電產業	45,716.12
電腦及週邊	1,189.82
通訊	341.34
精密機械	1,135.62
生物科技	771.17

在台灣高科技產業所產生的廢棄物中，最常再利用之物質為無機性汙泥、金屬以及各式非有害溶劑。而使用之產業大多為水泥業、煉鋼業、化工業、金屬加工業等，主要作為原物料或燃料的替代。


表3 新竹科技園區高科技產業廢棄物種類與產生量

廢棄物代碼	廢棄物名稱	公噸
D-1504	非有害有機廢液或廢溶劑	6,283.03
D-1599	非有害性混合廢液	24,956.63
C-0202	廢液pH值小(等)於2.0	39,186.12
D-0902	無機性汙泥	5,175.11
C-0301	廢液閃火點小於60°C	4,070.30
C-0110	銅及其化合物	8,313.12
D-0299	廢塑膠混合物	571.08
D-1704	廢切削油(液)	488.60

高科技產業的資源循環新思維

以現今環保角度來看，臺灣電子產業在蓬勃發展的同時，也需擔負環境保護、資源循環的責任。但現今技術及思維仍不周全，許多再利用方式往往需要耗費較多成本、能耗才能達成。而且電子產業商品眾多，技術更是日新月異，因此需要有更新的思維引入，才能應付往後更加龐大的廢棄物來源以及產業需求。而現今創造出的新思維則是利用循環經濟搭配工業的發展，使工業上的廢棄物能在低能耗、低成本、低汙染的方式下再生，成為工業上或是生活上能使用的資源。

工業革命以前，人類文化以農業為核心，製造業、服務業只是生活專業化的配角，人類並未特別體認到資源循環再生的重要。但其實天地萬物自有循環、生生不息的運行規律，經濟活動若能達成天人共生、物資循環的模式，人類的生產模式、生活



型態、生態維護就能三位一體、持續互動、和諧共生。農業時代就是循環經濟的雛形。

在工業時代後，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。

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復、循環再生，重新組織社會和經濟的新思維與新發展模式。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。相較於線性經濟下，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，藉由重新數計材料、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。

高科技產業的資源循環創新作法

由於電子產業生產過程的廢棄物種類較多數量也相當龐大，因此以循環經濟的觀點來看，各大企業應該先行做好廢棄物的分類及使用範疇，並進一步通知下游廠商，並可讓下游廠商依照自己的規模來進行登記。這樣的方法除了可以知道何種廢棄物會被大量使用，使電子產業做好準備，也可以減少下游廠商負擔過大的情況出現。

在循環經濟的思維中，若是遇到具有汙染之廢棄物，則傾向建立檢測標準於產出方與收受方。產出方在排放出廢棄物後應立即檢驗廢棄物中是否含有有害成分，並清楚定量其成分。若是在標準以內則可以提供給收受方作為使用，若是超出標準則須先進行處理再排放或是重新提供給收受方。而收受方需在得

到資源物質後自行測量以確保可以進入自己的工業系統內。若是超出可接受範圍，則有權要求產出方再進行處理。

由於現今科學園區的設置採用產業供應鏈群聚的方式，因此大多為相同或類似產業被設置在同一處，雖然具有降低生產成本之優點，但卻也造成廢棄物處理上的困難。由於需要資源物質之下游廠商大多不在科學園區內，因此廢棄物需要較長的運送路途，造成相當多的不便，也造成運送時的環境污染風險增加。因此，未來可以推動循環經濟園區，代表上游產業生產廢棄物的同時，需要之下游廠商就在附近，不僅可以使資源直接被利用，還可以減少運輸及處理上的困難，並降低運輸及處理時的環境污染風險。

成亞科技公司的業務就是推動高科技產業(太陽能上游切晶產業)廢料(含矽廢棄資源物質)，經分選、加工與造粒，再提供給鋼鐵業作為耐火材料、脫氧劑與增溫劑等煉鋼輔料再利用，實現循環經濟中，上游高科技廠商(太陽能切晶產業)的無機廢棄資源再生為下游產業(鋼鐵業)的原料。

結語

相較於線性經濟下，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，藉由重新數計材料、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。

高科技產業不僅僅只與電子產業有關，除了內部可以達成良好的循環經濟外，也可以藉由彙整其他產業的力量，達到重新利用、降階使用、回收還原等目標。未來電子產業的廢棄物生產所代表的不再是汙染、難以處理的標籤，而是代表將進入下個循環，並被完美的重新利用，達到工業上的生生不息。

成亞科技公司成功連結太陽能產業廢棄資源物質，成為鋼鐵業的原物料，勘稱台灣矽資源循環經濟的典範。未來該公司將朝向高科技產業中的其他廢棄資源物質，利用創新資源化技術轉化為其他產業的原料。

