

液晶顯示器產品環境化設計之研析

林敬智
工研院環境與安全衛生技術發展中心
副研究員

摘要

平面顯示器產業為我國「兩兆雙星」計畫之核心產業，近年來該產業之產值已突破百億美元，但審視國際環保趨勢之脈動，其相關政策或指令均逐漸擺脫管末處理的思維，直接延伸到產品的設計前端，一方面要求生產者削減鉛、鎘、鉻、汞…等環境有害物質的使用量，另一方面以提升產品回收率之概念，增加資源再利用之比率，以降低其對環境的負面衝擊。因此，本文彙整國際環保標準與相關法規政策，研擬出液晶顯示器產品環境化設計之策略，將「省能」、「低毒性」及「可回收」設計之理念於本文中進行粗略之探討，以期本產業能及早引進環境化設計之概念，使產品符合各種國際規範之規定，藉以消弭貿易障礙之疑慮，提升企業的競爭力，達到產業永續發展之願景。

關鍵詞

環境化設計(Design for Environment)、液晶顯示器(Liquid Crystal Display)

前言

隨著人類科技文明的發展，時代潮流的脈動，各式新穎的電子產品也紛紛大量產生，便捷了人們的生活。

但由於該類產品快速汰換之特性，也衍生出為數龐大的電子廢棄物，而國際間均已紛紛訂出相關規範，遏止該類廢棄物的持續成長；而其中又以歐盟地區最為積極，該地區早於1992年

提出「整合性產品政策」(Integrated Product Policy, IPP)，以產品生命週期之觀點，提昇產品環境績效，藉以發展更加綠色之產品。爾後歐盟地區所推行的包裝材指令(Packaging and Packaging Waste, 1994)、廢棄車輛指令(ELV, 2000)、有害物質限用指令(RoHS, 2003)、廢電機電子設備指令(WEEE, 2003)、使用能源產品生態化設計指令草案(EUP, 2003)…等，均將產品環境化設計之概念融入其中。因此，綠色產品的發展趨勢也深受上述指令之影響，朝向「省能」、「低毒性」、「可回收」等方向多元化地發展。

但在綠色產品的開發上，我國均較歐、美、日等先進國家起步得晚，更令人憂心的是：比對國際間所採行的環保政策，其中所隱藏的各種貿易壁壘，大多數均指向電子、電機及資訊產品。由於我國係屬於一海島型國家，出口貿易為我國經貿之命脈，而近年電子、電機及資訊產業的外銷出口值均高達500億美元⁽¹⁾之經濟規模。其中平面顯示器產業更列為我國「兩兆雙星」計畫之核心產業，在政府投入大量經費與人力支持下，其整體產值已突破百億美元大關，儼然架構出台灣平面顯示器王國的藍圖；然而，本產業在其生產製造過程與最後處置上，對環境仍然存在一定程度之衝擊。由於過去我國以犧牲生態環境求得經濟之發展，但以今日之情勢，若

再不重視環保議題，則將失去經濟發展之優勢。因此，如何符合國際環保規範，達成產品回收率的標準、有害物質的限用、乃至未來產品Eco-Profile的建置…等，其相關技術之研發或管理策略之應用，均應積極關切，以防範因環保議題而影響競爭力。由於LCD相關產品之產值約佔整體平面顯示器產業總產值之90%⁽²⁾，因此，本文擬以LCD產業為主要之探討對象，將國際環保規範對本產業所造成之衝擊作一剖析，並提供產品環境化設計之相關策略，以期LCD產業能及早引進環境化設計之概念，克服國際環保情勢之嚴峻挑戰。

LCD 產品相關之國際環保規範

國際間與LCD產品「環境化設計」之相關規範，由其管制之內容大致可區分成「省能」、「低毒性」、「可回收」3個面向探討：

一、省能規範

國際環保規範針對LCD產品之省能設計，主要係以美國能源之星(Energy Star)計畫與部分環保標章之節能規範為管制主軸。其主要管制LCD產品於待機狀態與關機狀態下之耗能，由於其管制之標準大致相同，本文以德國藍天使標章⁽³⁾針對顯示器產品耗能標準說明其管制內容，（如表一

表一 藍天使標章針對顯示器產品省能的環保規範

產品型態	操作模式	最大耗能值	操作模式的活性
CRT	待機狀態 1 — 低耗能狀態(Low Power) — 休眠狀態(Sleep)	≤10 Watts	視機種而定
	待機狀態 2 — 暫停狀態(Suspend) — 深度休眠狀態(Deep Sleep)	≤5 Watts	視機種而定
	— 關機狀態(Off)	≤1 Watts	切換裝置
	待機狀態 — 低耗能狀態(Low Power) — 休眠狀態(Sleep)	≤3 Watts	視機種而定
	關機狀態(Off)	≤2 Watts	切換裝置

所示)，由表一中可發現對於LCD顯示器耗能值之標準比傳統CRT螢幕之標準要來得嚴格，規範其耗能值必須於待機狀態低於3Watt，關機狀態低於2Watt之標準，以達到產品節能之目的。

二、低毒性規範

限制產品中含有毒性化學物質之措施，一直為國際環保規範之管制重點，唯於2003年初歐盟公告RoHS指令，明訂限制重金屬鉛、鎘、汞、六價鉻及二種溴化耐燃劑(PBBs, PBDEs)的使用，才將產品中限制毒性化學物質之概念，正式烙印於產品製造商上，而其影響之範疇如表二所示。因此，不論由上游元件到下游系統組裝

於各種不同製程中，均有可能使用到這些限用物質。而在平面顯示器產業受到較大的衝擊，在於相關產品使用到的各類印刷電路板、背光燈管、外殼塑膠組件、塗、漆料…等，由於這些板件在沒有替代相關環保製程之前，大多含有鉛或溴化耐燃劑，而其相關組件也都含有汞、六價鉻、鎘…等管制物質。

國際間除了RoHS指令針對毒性化學物質進行管制之外，其實早於1990年代已存有多項正式指令或規範管制產品中化學物質之含量，本文將與LCD產品相關之管制規範彙整如表三所示，由此可知產品除了符合RoHS指令之管制要求之外，還必須視銷售地區之產品環保規範，以符合各地區規範之要求。

表二 RoHS指令可能影響之產品組件

管制物質	可能含有的組件或用料
鉛	鉛管、油料添加劑、包裝件、塑膠件、橡膠件、安定劑、染料、顏料、塗料、墨水、CRT或電視之陰極射線管、電子組件、鍍料、玻璃件、電池、燈管…等
鎘	包裝件、塑膠件、橡膠件、安定劑、染料、顏料、塗料、墨水、鍍料、電子組件、保險絲、玻璃件、表面處理…等
六價鉻	包裝件、染料、顏料、塗料、墨水、電鍍處理、表面處理…等
汞	電池、包裝件、溫度計、電子組件…等
(溴化耐燃劑) PBDEs與PBBs	主要用在印刷電路板、元件(如連接器)、塑膠件與電線的耐燃劑…等

表三 LCD 相關產品可能遭遇的環境管制法規

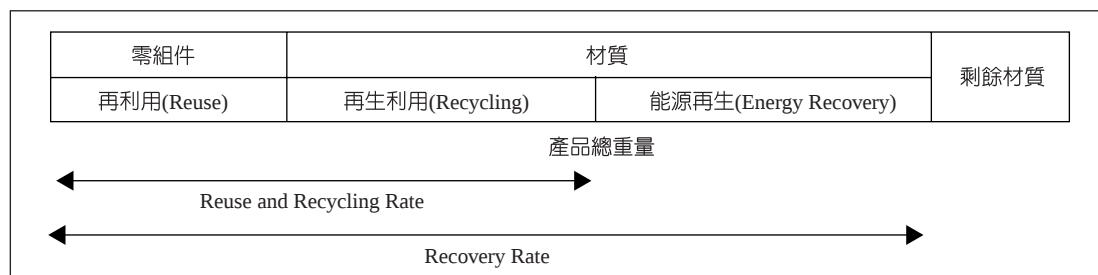
管制法規/規範	管制內容	影響組件	備註
EU 91/157/EEC	電池組件重金屬含量： Pb <4,000 ppm Cd <250 ppm Hg <5 ppm	電池組件	
EU 91/338/EEC	塑膠組件重金屬含量： Cd <100 ppm	塑膠件中使用的塗料、顏料、穩定劑…等	參照EU 76/769/EEC修正
EU 94/62/EC	包裝組件重金屬含量： Pb+Cd+Cr ⁶⁺ +Hg <100ppm	包裝材	
EU 98/101/EC	鈕鈷電池組件重金屬含量： Hg <2% (20,000ppm)	電池組件	參照EU 91/157/EEC修正將鈕鈷電池視為排除(exempted)條款
EU 2002/95/EC RoHS	Pb < 1,000 ppm Hg <1,000 ppm Cr ⁶⁺ <1,000 ppm Cd <100 ppm PBBs, PBDEs <1,000ppm	電子組件、塑膠件、塗料、顏料、鍍錫…等	
US California Proposition 65	PVC電線外層(surface contact layer)部份 Pb<300 ppm 並進行標示說明WARNING — Wash hands after handling	含PVC成分之電纜線、電線、相關排線	
Montreal Protocol	破壞臭氧層之物質	製程清洗、填充…等階段	

三、可回收規範

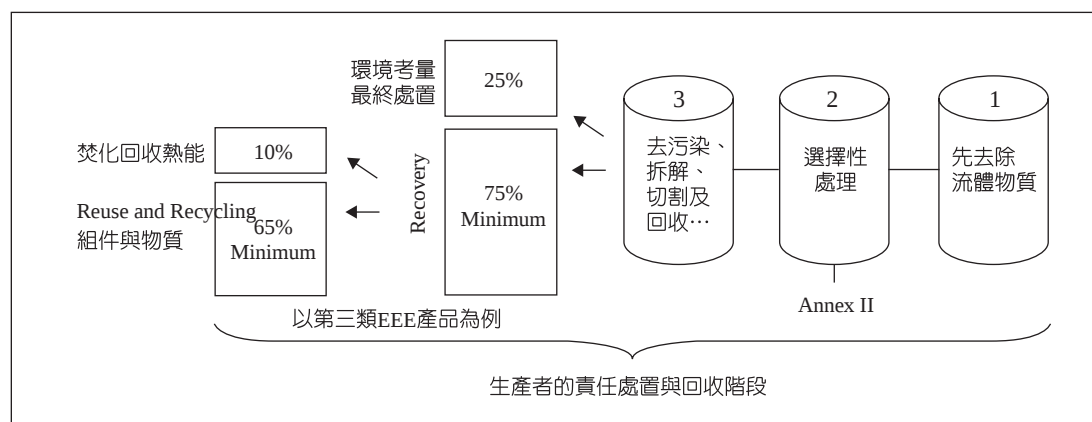
歐盟自從IPP政策確定後，陸續公告ELV，RoHS，WEEE及EUP…等指令，這些指令均涉及產品可回收設計之策略建議或明確的回收率管制，而其中又以WEEE指令針對電機電子產品可回收設計所造成的影響最大，由於WEEE指令已於條文中明文規定各項電機電子產品於廢棄時的再使用與循環率(Reuse and Recycling Rate)需達到50%~75%及回收率(Recovery Rate)70%~80%之目標，並於第3條款(Article 3)中針對 Reuse Rate、Recycling Rate及Recovery Rate作出明確的定義，而Reuse係指零組件用於其原先設計用途的任何作業；Recycling係指將零組件應用於部分製程中再加工，但不包括能源的再生利用；Recovery係遵照EU 75/442/EC中針對各項回收作業的定義，因此，粗略地將Reuse、Recycling及Recovery之關係，繪製如圖一所示，即可說明Recovery Rate包含了Reuse and Recycling Rate及能源回收之部分。

該指令也於附錄中說明產品回收處理時之程序，必須先去除產品內流體物質，針對可能有害於環境之組件進行選擇性處理，之後再進行去污染、拆解、切割及回收等作業，如圖二所示⁽⁴⁾。若以資訊產品為例，該產品零組件的再利用、再生利用加起來需佔總產品重量的65%；而整體回收率則需佔75%，而兩者間多出來的10%即採用焚化方式，以熱能回收之定義將產品進行回收再利用。

除了歐盟WEEE指令有明訂產品回收率之外，日本「家用電器回收利用法」(Electric Household Application Recycling Laws, EHARL)自2001年推行後，也公告該國四機（冰箱、冷氣機、電視機、洗衣機）必須有50%~60%的商品再製率，由於上述四種產品也屬於歐盟WEEE指令管制產品的範疇之中，由表四可發現，似乎日本針對四機產品的回收率要求較低；但有部分學者指出^(5,6)，日本針對四機產品所訂定的回收率，係嚴格要求回收商品的再製率，其定義與歐盟WEEE指令的回收率不盡相同；而文



▲圖一 相關回收名詞的關係圖



▲圖二 WEEE處置與回收流程

獻中也針對「真實」回收率(Real Recycling Rate)之定義作一描述，如下所示：

真實回收率 = 收集重量 / 總體廢棄物量
 (收集率) × 回收重量 /
 收集重量 (回收率)

對於產品回收而言，真正重要之課題係產品實際上可回收之部分佔實際廢棄物量之比率，此即為產品「真實」回收率之定義。由於日本國內針對四機產品的收集率較歐盟地區要來得高，若將日本EHARL所定義之商品再

製率與WEEE之回收率均換算成「真實」回收率比較，則實際上日本法規所規範的未必比歐盟來得寬鬆，這也是歐盟地區為何積極促成WEEE指令，要求各會員國須達到每人每年4kg的回收目標，亦即強調架構出完整的回收體系與通路，藉以提昇產品的真實回收率。

LCD產品環境化設計之策略

根據上述眾多國際間所採行的「省能」、「低毒性」、「可回收」相關規範，將其彙整出LCD產品環境化設

表四 日本EHARL與歐盟WEEE回收率之比較

項目	EHARL	WEEE	
	商品再製率	再使用+再循環率	回收率
洗衣機、冰箱	50%	75%	85%
冷氣	60%	75%	85%
電視	55%	65%	75%

計之策略如圖三所示，茲將其簡述如下：

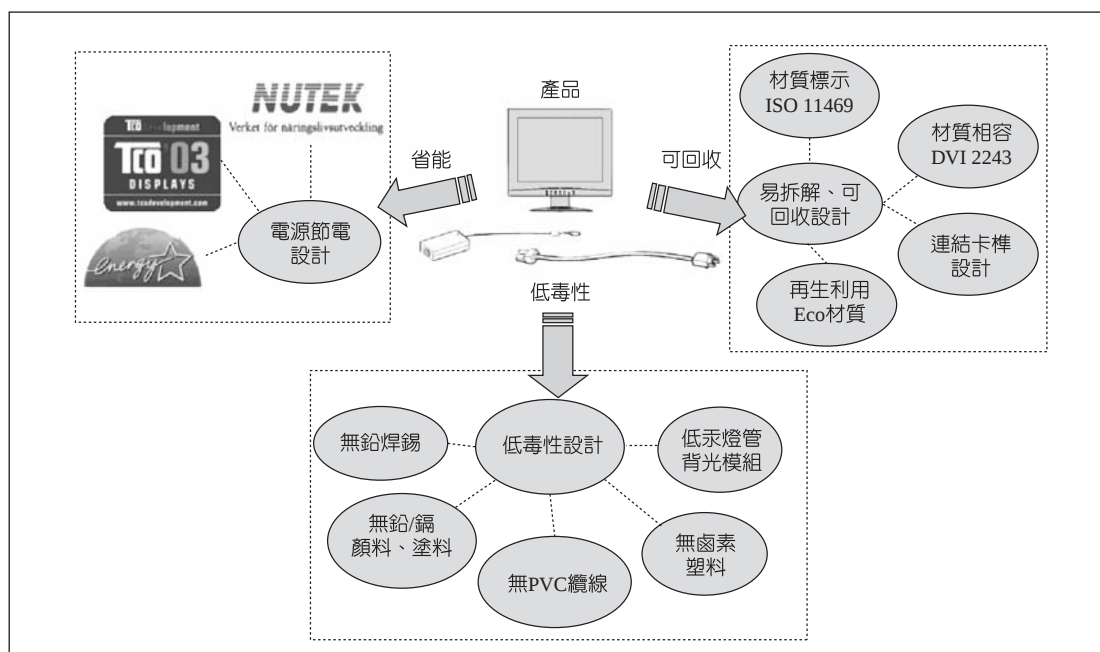
一、省能設計策略

產品省能設計大多於產品IC上進行節電裝置之設計，或利用相關電源管理軟體達到產品省能之目的。因此，該階段之環境化設計策略大多於產品研發規劃時即底定；若以符合目前業界常見之省能規範，例如美國能源之星、瑞典TCO 03' 標章、歐盟EU-Flower標章、德國藍天使標章對LCD產品於待機狀態與關機狀態下之耗能，則大部分之產品均可達到上述規範之要求，並未對產業造成太多技術上之困擾。

二、低毒性設計策略

審視LCD產品由上游組件提供到下游系統組裝之流程，為了方便瞭解整體LCD製作之主要材料與製程，將其分成五段主要製程進行解析，以釐清其中是否有使用到RoHS所限制之化學物質，如表五所示，可發現於製程當中可能含有鉻、鉛、汞及溴化耐燃劑…等成分。

而除了表五說明LCD製程段會使用到這些管制物質之外，在LCD面板製作完成後交給下游組裝廠，生產LCD螢幕、電視…等相關產品時，由於有不同功能之需求，因此，還會衍生SMT製程、印刷電路板裝入、殼件美化噴漆或電鍍…等製程，而這些製



▲圖三 LCD 產品環境化設計之策略

表五 LCD製程使用到限用化學物質之分析

製程名稱	主要材料	化學物質限制
玻璃基板製程	- 進料段：矽砂、石灰石、硼酸、碳酸鎂、亞砷酸、金屬（鋁、鋇、鋇） - 洗淨段：DI Water（含HF/NH₄OH/H₂O₂/H₂O等化學品）	該製程當中，除了原始礦物可能含有鉛與鎘之疑慮外，並無在該製程當中刻意使用到限用化學物質。
陣列基板電路圖製作 (Array)	- 薄膜成型段：ITO（氧化銦錫）、鋁、MoW、Mo、AlNd等金屬及SiO_x、SiN_x、A-Si等 - 光阻塗佈段：光阻劑，含丙二醇甲醚乙酸酯(溶劑)、苯酚甲醛樹脂（感光劑）等 - 顯影：顯影液，氫氧化四甲基銨(TMAH)或氫氧化四乙基銨(TEAH) - 蝕刻段：蝕刻液，主要硝酸、氫氟酸(HF)及醋酸、磷酸及其緩衝液	此階段製程中並無使用RoHS限制之物質
顏料分散法製作彩色濾光片	- 洗淨段：DI Water - 黑色矩陣(Black Matrix, BM)形成工程段：Cr或樹脂BM（壓克力樹脂+顏料+感光劑）、光阻劑 - 彩色光阻塗佈段：彩色光阻（壓克力樹脂+顏料+感光劑） - 保護膜形成工程段：環氧樹脂(Epoxy)系或聚醯亞胺系等高分子 - 透明電極形成工程段：DI Water、ITO靶材	彩色濾光片中的黑色矩陣中含有Cr金屬，雖是在真空中濺鍍形成Cr與三價鉻，但有違反RoHS之疑慮，目前已逐步改為樹脂BM。
LCD面板組裝 (Cell)	- 配向膜形成段：配向膜(Polyimide)、框膠 - 散佈間隔物段：間隔物（玻璃、Silica） - 液晶注入/封合段：液晶 - 偏光板貼合工程段：偏光板（TAC、PVA、碘離子）	此階段製程中並無使用RoHS限制之物質
LCD模組組裝流程	- 驅動積體電路裝著段：Driver IC (TCP/COG/COF) - 印刷電路板接線段：印刷電路板、異方性導電膠(ACF) - 背光模組安裝段：背光模組(CCFL)	此階段使用之背光模組中的CCFL含有少量之汞，目前屬於排外條款中，但印刷電路板之部分，則可能有含鉛量過高之疑慮

程中極可能使用到RoHS指令管制之物質。因此，審視LCD產品進行低毒性設計之策略，係將上述管制之化學物質進行替代，目前業界常用之替代方式彙整如表六所示。

三、可回收設計策略

產品進行可回收設計之主要目的係為了符合國際環保規範針對產品回收率之要求，藉由材質標示、組件單

表六 替代材料發展彙整表

管制物質	用途別	可能含有的組件/製程	替代技術	技術原理	目前瓶頸
Cd	顏料咬合劑	顏料、染料、漆料、墨水… etc.	Cd-free的顏料	---	成本高、上色咬合度較差
	安定劑	塑膠件、橡膠件、電子組件、玻璃件… etc.	Cd free的安定劑	---	成本高、安定程度較差
Cr	裝飾鉻	鍍鉻把手、水箱罩、鍍鉻框、電腦、手機殼件、冰箱外殼… etc.	- 電漿 - 電鍍 (Ni系替代Cr⁶⁺) - 無電鍍(Electroless) - 複合電鍍(Composite Coating)	不使用鉻酸系電鍍液	電漿作業空間限制 硬度、耐磨性、耐蝕性均比Cr ⁶⁺ 差
	工業鉻 (硬鉻)	五金零件、面板矩陣製程、螺絲、工具、汽缸… etc.			
Hg	組件元素	電池、包裝材、顏料… etc.	Ni-H、太陽能…電池	其他重金屬替代	成本高
	照明電極	燈管	LED	發光二極體	大尺寸面板會有色散現象
Pb	PCB噴錫 (提升鉛錫性)	印刷電路板	- 化學浸金 ENIG (Electroless Nickel and Immersion Gold) - 化學銀 /化學錫	還原或置換 (Replacement)反應	化學錫藥水與初設設備成本過高
	鉛錫	印刷電路板、電阻、電容… etc.	- Sn-Ag系：Sn-Ag-Cu, Sn-Ag-Cu-In… etc. - Sn-Zn系：Sn-Zn-Al, Sn-Zn-Bi, Sn-Zn-Cu-In… etc.	無鉛鉛錫、合金技術	- Sn-Ag系：成本高、熔點溫度高約38°C (與傳統Sn-Pb相比較) - Sn-Zn系：抗氧化性差、接點可靠度較低
	顏料咬合劑	顏料、染料、漆料、墨水… etc.	Pb-free的顏料	---	成本高、上色咬合度較差
	安定劑	塑膠件、橡膠件、電子組件、玻璃件… etc.	Pb-free的安定劑	---	成本高、安定程度較差
	其他	CRT或電視之陰極射線管、電子組件、玻璃件… etc	---	---	---
PBBs, PBDEs	耐燃劑	印刷電路板、塑膠件、連結器… etc.	- 有機系：N系、P系 - 無機系：三氧化二銻、氫氧化鋁、Si系… etc. - 其他：還氧基、乙稀基… etc.	非溴系耐燃劑	機械強度與耐溫程度不足

純化、易拆解設計等策略，均可有效提升產品的回收效益。

1. 材質標示

LCD 產品或其他資訊產品均會採用大量的塑膠材料，針對大於 25g 的塑膠組件，均需進行材質之標示，而材質標示之範例如圖四所示，由於 LCD 產品外殼大多採用 PC+ABS 塑材，在沒有制式的回收標號情況下，仍必須於產品組件中打上回收標示。

2. 組件的單純化設計

- 減少組件的材料種類：產品外殼不使用超過 2 種以上的材料；
- 減少塑膠組件的印刷（雷射印刷則不在管制內）
- 塑膠組件不可含重金屬、PBB、PBDE 及含氯鏈狀烴類化合物或其他可能妨害回收作業之添加劑；
- 次組件應互相相容，可參考德國 VDI 2243 標準或澳洲 RMIT 所建立

之材質相容表；

- 提高可回收材質的使用比率；

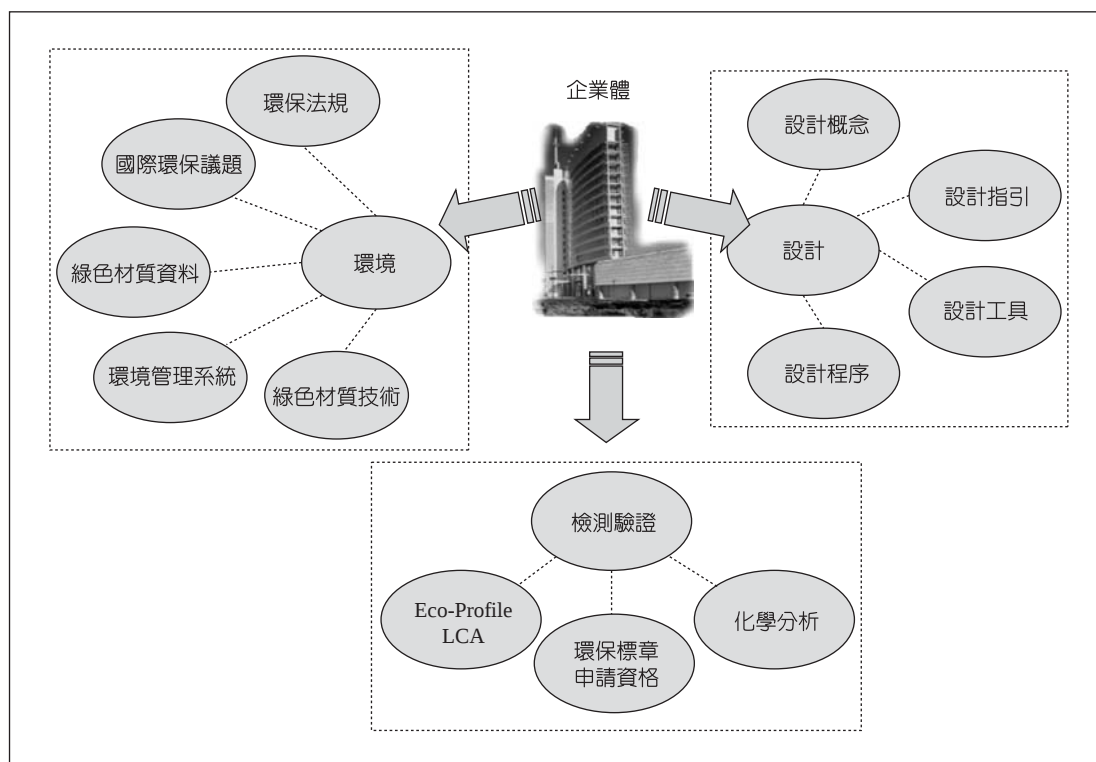
3. 易拆解設計

- 破壞拆解區的設計；
- 可以清楚地發現組件的連接處 (Combination)
- 可用一般的工具拆解，而一般工具係指在市面上普遍可購買到的工具；
- 減少黏合/膠合方式（黏死、焊接），除非連結之零組件材質相容；
- 減少連結處、扣件數量；
- 拆解工具的工作空間；
- 以手的軸向即可接觸到各個組件；
- 相同規格的螺絲（標準的連結方式）；
- 可否於同一面向或同一階層進行拆解；
- 電子組件必須被固定於主板上，不可固定於外殼上，以方便分離；

圖樣	化學名	簡稱代號	中譯名稱
	Polyethylene Terephthalate	(PET)	聚對苯二甲酸乙酯
	High Density Polyethylene	(HDPE)	高密度聚乙烯
	Polyvinyl Chloride	(PVC)	聚氯乙烯
	Low density Polyethylene	(LDPE)	低密度聚乙烯
	Polypropylene	(PP)	聚丙烯
	Polystyrene	(PS)	聚苯乙烯
 OTHER	其他，泛指上述六項以外的塑膠材質代號		

HDPE.....塑膠材質

▲圖四 塑料回收標示



▲圖五 企業體架構完整的环境資訊平台

- 模組化的設計：當要進行產品升級時，不需將產品整個汰換；

因此，產品開發只要遵循著「省能」、「低毒性」及「可回收」三個面向思考，運用不同的環境化設計策略，即可發展出符合國際環保規範之綠色產品。

結論

在全球環境意識高漲的局勢下，解決環境衝擊所形成之環境議題，也由「觀念萌芽」轉進到「技術研發」，再轉納入「管理模式」之中。如同歐盟、北美及日本等先進國家陸續提及

的各項環保指令，均已將環境化設計之精神延展至各跨國企業之產品開發上。而對於國內廠商而言，如何面臨此一波環保革命之衝擊，符合國際環保規範與各國際大廠採購規範之要求，將環境化設計之思維納入公司的營運管理模式之中。建議國內廠商架構完整的环境資訊平台⁽⁷⁾，如圖五所示，將環境、設計、檢測驗證等三個面向於企業體中進行整合：

- (1) 環境方面：企業必須針對國際法規、環保議題、綠色材質相關技術發展、現有的環境管理系統…等環境面之資訊，達到熟稔之程度，才

有研判未來國際趨勢之能力。

(2) 設計方面：企業應將綠色產品設計之概念、指引、工具及相關程序建置成一系統，使企業體內的研發人員，利用該完整的設計系統輔助研發綠色產品。

(3) 檢測驗證方面：企業針對其產品之化學檢測分析、環保標章之申請及相關環境資訊之揭示，均須有一管理制度規範著產品開發，方能確保發展出具有實質價值的綠色產品。

由於上述工作均須跨部門之協調與配合，國內企業更應及早架構產品環境化設計之相關系統，並與全球環境化

設計之脈動接軌，提升綠色產品之研發能量，達到產業永續發展之目標。

參考文獻

1. 經濟部國貿局，<http://www.trade.gov.tw/>
2. 工研院經資中心，「2003平面顯示器年鑑」，2003。
3. 德國藍天使環保標章網站：<http://www.blauer-engel.de>
4. Allen & Overy, "Rising Environmental Stakes in the European Union", 2003.
5. Mitsutsune Yamaguchi, "Extended Producer Responsibility in Japan - Introduction of "EPR" into Japanese Waste Policy and some Controversy," JEMAI, ECP Newsletter, No.19, 2002.
6. Ken Morishita, "Return, Reuse and Recycling of IT Products: The Japanese Approach", 2002.
7. 經濟部工業局，「歐盟各國及跨國企業之綠色採購規範資訊彙編」，2004。

市場瞭望台

從混合塑膠中回收高純度聚丙烯的新技術

三菱電機公司成功開發了將廢舊家電塑膠重新用於家電產品的回收再利用技術，可以從廢舊家電經粉碎處理後的“混合塑膠”中，回收純度高達99.8%的聚丙烯(Polypropylene)。由於混合塑膠不易回收，所以以前普遍採用焚燒及填埋等方法處理。該公司計劃在2005年度前興建一每年可從混合塑膠中回收1000噸聚丙烯的工廠。

為了從混合塑膠中回收高純度聚丙烯，三菱電機公司開發的回收程序大體分為三步驟：

程序(1)是將10mm~80mm大小不等的混合塑膠均勻粉碎成大小約8mm。在利用高磁力篩選設備去除金屬的同時，利用獨家開發的粉碎機粉碎成均勻大小。

程序(2)是利用風力篩選及利用水的比重篩選，從多種塑膠中篩選出聚丙烯。混合塑膠中，除主要含有聚丙烯外，還含有聚苯乙烯(Polystyrene)及ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene，丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物)。在3種材料中，水的比重為1時，聚丙烯的比重大約為0.9，而聚苯乙烯和ABS則為1~1.1，因此可利用這種區別進行篩選。不過，其中還含有極少量與聚苯乙烯比重相同的異物。不過，這些異物可以利用該公司獨家開發的異物清除裝置予以去除。

程序(3)是將程序(2)篩選出來的聚丙烯加工成圓柱狀粒子（即小球）。在該程序中以添加抗氧化劑等改質劑，使其特性達到與新材料相同的水準。

三菱電機公司表示，今後還將開發用於高純度回收混合塑膠中含有的聚苯乙烯及ABS的技術，希望到2008年包括聚丙烯在內，每年可從混合塑膠中回收4000噸塑膠。不過，聚苯乙烯與ABS的比重大致相同，還需要開發與此次回收技術不同的製程。（資料來源：日經BP社 2004/12/10）