

東 海 大 學

工業設計學系碩士班

碩 士 論 文

應用綠色設計於廢棄手機之碳足跡研究

The Study of Carbon Footprint in Discarded Mobile Phone for Green Design

研 究 生：蔡銘原

指 導 教 授：王中行

中 華 民 國 一 〇 二 年 六 月

摘要

隨著綠色環保意識的抬頭與永續發展的概念，使得各國紛紛開始制定產品的環保指令法規，藉以規範產品在生命週期結束(Product End-of-Life)時，降低對於環境所造成的危害，其中又以歐盟所主導的 WEEE、RoHS 以及 ErP 等法規最為完備，明確的訂定特定電子產品的再使用與回收率、產品中有毒物質含量以及產品之能源消耗率；故綠色導向之產品開發，已成為當今不可缺少的研發指標，其中碳足跡的計算評估，將可以做為後續綠色設計的評比重要依據。

本研究以手機作為研究案例，藉由綠色設計的回收效益為探討初步構想，並以設計結構矩陣(Design Structure Matrix, DSM) 法則，進行模組分群，達成模組最佳化之效益；並搭配拆解設計分析，計算其零組件的碳足跡排放量，加強零組件模組化，期望降低拆解成本，減少不必要的細部分解，進而達到最少之拆解動作。藉以輔助產品製造的前端設計，降低碳足跡的排放，達成永續產品的設計開發之綠色效益為目標。

關鍵字：綠色設計、模組化、設計結構矩陣、拆解設計、碳足跡。

ABSTRACT

With the rising awareness of green and sustainable concept, many countries have begun to develop product environmental laws and regulations, which standardize products to reduce the harm to the environment when products come to Product End-of-Life period. WEEE, RoHS, and ErP which are led by EU are more complete. It explicitly set a specific stander rate of reuse, recycle, toxic substances, and energy consumption of electronic products. Therefore green-oriented product development has become an indispensable research indicator. Carbon footprint calculation would be a criterion to develop green design.

Research has two main goals: (1.) Reduce costs (2.) Reduce unnecessary detail decomposition to decrease dismantling actions. Therefore it can assist manufacturing front-end design and reducing carbon footprint emissions which would achieve sustainable product design and development green benefits as well.

In this study, cell phone is a case study sample. To explore the effectiveness of the recovery rate of green design is the preliminary research ideas. The study uses Design Structure Matrix (DSM) rules to cluster modules to reach optimal effective module. Also use dismantling design analysis to calculate emissions carbon footprint of components, strengthen modular components.

Keywords : Green Design, Modular Design, Design Structure Matrix, Design for Disassembly, Carbon Footprint.

誌 謝

在這三年的研究生活裡，隨著論文即將完成時，首先要感謝的是 王中行 教授給予學生的指導，多虧老師指點迷津，使學生可以義無反顧的往前邁進，然而在研究的過程中，難免會遇到撞牆期，老師總能在此時給予解惑與建議，讓學生茅塞頓開，受益良多，謹此致上最誠摯的敬意。當在論文口試時，很感謝 蕭世文 教授、張祥唐 教授、杜瑞澤 教授、李傳房 教授與恩師 王中行 教授，費心審閱並惠賜許多寶貴意見，讓學生得到許多知識及經驗，讓本論文的缺失，得以補正，使之更臻完善，在此向教授們致上學生最崇高的敬意與謝意。

在研究所求學的日子中，回首當初研究時，曾經憧憬偉大的貢獻，卻因而迷失了方向，但多虧了學長姐、學弟妹的支持與鼓勵以及同屆的夥伴們，大家互相加油勉勵，一同熬過了論文的黑暗期；真的很開心可以在這裡，認識到許多志同道合的朋友們，讓自己的研究生活，不是單打獨鬥的鬱悶生活，而這些酸甜苦辣的過程，將深深烙印在心中，然而在求學的過程中，讓我學習到的不只是知識的增長，而是更多人事物的寶貴經驗。

最後要感謝的是我最愛的家人，尤其是爸爸和媽媽無怨無悔的付出與栽培，全心全意的支持，讓我能夠毫無顧慮的完成研究所的求學階段，我想能堅持走到這一步，真的要感謝我的家人不斷的支持與鼓勵，謝謝。

蔡銘原 謹誌於

東海大學 工業設計研究所

中華民國一百〇二年六月

目 錄

封面內頁	
簽名頁	
摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1-1 研究背景.....	2
1-2 研究動機.....	3
1-3 研究目的.....	4
1-4 研究方法與流程圖.....	5
1-5 全文架構.....	7
第二章 文獻探討.....	8
2-1 電子廢棄物.....	8
2-1.1 手機廢棄物的汙染.....	10
2-1.2 廢電機電子指令與相關法規.....	11
2-2 綠色設計 (Green Design)	14
2-2.1 產品綠色設計的目的.....	16
2-2.2 產品生命週期.....	17
2-3 拆解設計 (Design for Disassembly, DfD)	19
2-3.1 產品回收設計.....	21
2-3.2 拆解與回收規劃分析.....	23
2-4 碳足跡 (Carbon Footprint)	28
2-4.1 碳足跡應用.....	28
2-4.2 碳標籤.....	30
2-4.3 碳標籤的建立.....	33
2-5 模組化設計.....	33
2-6 設計結構矩陣 (Design Structure Matrix, DSM)	35
2-7 文獻小結.....	36
第三章 研究理論與方法架構.....	37
3-1 設計結構矩陣法則.....	37
3-1.1 設計結構矩陣之運作.....	37

3-1.2 設計結構矩陣之分割.....	40
3-2 碳足跡的架構說明與限定.....	47
3-2.1 產品碳足跡評估方法.....	47
3-2.2 數據蒐集.....	48
3-2.3 全球暖化潛勢(GWP) 與二氧化碳當量(CO ₂ e).....	50
3-2.4 分配與計算.....	51
3-2.5 碳足跡評估計算公式.....	53
3-2.6 資料數據建構規則.....	54
3-2.7 舉例驗證與說明.....	54
3-3 小結.....	56
第四章 實例驗證.....	57
4-1 模組化設計結構矩陣應用.....	57
4-2 案例之所有零件與規格確認.....	58
4-2.1 應用綠色法規於零件分類.....	60
4-3 拆解設計.....	61
4-4 設計結構矩陣之分群.....	64
4-4.1 設計結構矩陣之群組分析.....	66
4-4.2 DSM 程式架構.....	73
4-5 碳足跡檢測.....	76
4-5.1 碳足跡程式數據資料庫.....	76
4-5.2 碳足跡檢測與分析.....	79
4-5.3 碳足跡之排放量.....	80
4-5.4 碳足跡對於模組化的影響.....	84
4-6 小結.....	87
第五章 結論與建議.....	88
5-1 結論.....	88
5-2 後續研究與建議.....	89
參考文獻.....	90

圖目錄

圖 1-1 電子廢棄物規範指令.....	4
圖 1-2 電子廢棄物研究方法.....	6
圖 1-3 論文架構.....	7
圖 2-1 電子廢棄物（本研究整理）.....	8
圖 2-2 電子廢棄物的製造量（本研究整理）.....	9
圖 2-3 電子廢棄物的浪潮（本研究整理）.....	9
圖 2-4 電子廢棄物數量（本研究整理）.....	10
圖 2-5 電子產業面對之（歐盟）環保訴求.....	11
圖 2-6 綠色設計鏈.....	14
圖 2-7 綠色生命週期階段.....	18
圖 2-8 產品生命週期架構.....	19
圖 2-9 生產者的責任 處置與回收階段.....	22
圖 2-10 拆解回收程序.....	24
圖 3-1 設計結構相依矩陣.....	40
圖 3-2 元件關連圖.....	41
圖 3-3 DSM-分割圖之 1.....	41
圖 3-4 DSM-分割圖之 2.....	42
圖 3-5 DSM-分割圖之 3.....	43
圖 3-6 DSM-分割圖之 4.....	43
圖 3-7 DSM-分割圖之 5.....	44
圖 3-8 DSM-兩兩比較分割圖.....	44
圖 3-9 DSM-兩兩比較分割之完成圖.....	45
圖 3-10 DSM-迴圈分析分割圖.....	45
圖 3-11 DSM-迴圈分析之分割完成圖.....	46
圖 4-1 手機零件規格之 BOM 圖.....	58
圖 4-2 手機零件分類與法規.....	60
圖 4-3 手機之零組件供應鏈.....	61
圖 4-4 拆解過程.....	62
圖 4-5 手機關連性確認圖.....	65
圖 4-6 手機兩兩比較分析.....	67
圖 4-7 手機迴圈分析之分群關係.....	68
圖 4-8 迴圈分群-1.....	69
圖 4-9 迴圈分群-2.....	69
圖 4-10 迴圈分群-3.....	69
圖 4-11 迴圈分群-4.....	69

圖 4-12 迴圈分群-5.....	70
圖 4-13 迴圈分群-6.....	70
圖 4-14 迴圈分群-7.....	70
圖 4-15 迴圈分群-8.....	70
圖 4-16 迴圈分群-9.....	71
圖 4-17 拆解設計.....	72
圖 4-18 MATLAB 系統運用之架構說明圖	73
圖 4-19 MATLAB 系統運用主畫面圖	74
圖 4-20 輸入初始 DSM EXCEL 檔.....	74
圖 4-21 選擇兩兩比較分析或迴圈分析的分群方式.....	74
圖 4-22 OFFICE EXCEL 重新排序的 DSM 圖.....	75
圖 4-23 碳排放量系統運用之架構說明圖.....	77
圖 4-24 碳排放量系統運用主畫面圖.....	77
圖 4-25 輸入廢棄物材料的重量.....	78
圖 4-26 執行計算.....	78
圖 4-27 重新計算時使用.....	79
圖 4-28 手機拆解回收架構圖.....	80
圖 4-29 原單位計算.....	82
圖 4-30 CFP 計算方法.....	82
圖 4-31 碳足跡總和計算.....	82
圖 4-32 計算結果.....	84
圖 4-33 碳足跡與模組化.....	86

表目錄

表 2-1 各國對於電子廢棄物的配套方法.....	12
表 2-2 綠色設計定義表.....	15
表 2-3 電子產品回收與拆解過程.....	27
表 2-4 各國碳標籤發展理念.....	31
表 3-1 設計結構矩陣圖.....	38
表 3-2 數據來源.....	49
表 3-3 全球暖化潛勢.....	52
表 3-4 CO ₂ 排放係數表（固定源 CO ₂ 排放係數）.....	54
表 3-5（IPCC 2007）溫室氣體全球暖化潛勢.....	55
表 4-1 手機零件基本資料.....	59
表 4-2 零件材料分配.....	63
表 4-3 廢棄手機重量成分與比例.....	81
表 4-4 廢棄手機重量數據資料.....	81
表 4-5 GHG 排出量[KG-CO ₂ E/單位] 數據值.....	83



第一章 緒論

由於電子科技的進步與市場的激烈競爭之下，各類 3C 產品不斷的推陳出新，改變了我們的生活習慣，更提高了生活水準，但也因為市場的激烈競爭、產品的多樣性，導致產品的生命週期變短，伴隨而來的廢棄物也因此急遽增加。

2006 年 11 月 27 日，肯亞的奈若比 (Nairobi) 召開「巴塞爾公約」(正式名稱爲《控制危險廢料越境轉移及其處置巴塞爾公約》(Basel Convention on the Control of Trans Boundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal)) 第八屆締約國會議，主要是有鑑於大量的電子產品更新週期越來越短，導致電子廢棄物 (Electronic Waste, E-Waste) 每年多達五千萬噸，伴隨而來的是有毒氣體與廢棄物的產生，對於生活環境將造成不容小覷的影響，更嚴重破壞生態環境，故對抗電子廢棄物漸升的口號已油然而生，藉由提升電子廢棄物的處理技術，並重視電子電器產品的生命週期分析，推廣低污染技術和綠色設計以及減少電子產品的有害物質含量 (UNEP, 2006)。

在全球綠色環境意識高漲的情況下，目前對於電子垃圾的規範分別為 2003 年歐盟所公告之電子電機設備中危害物質禁用指令 (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substance in Electrical and Electronic Equipment, RoHS, 2003)，及 2003 年公告電子電器廢棄物回收指令 (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE, 2003)，對於後續廢棄物當中的汙染、拆解以及再次循環利用的價值，藉此達到資源永續利用及符合經濟效益之目的，已逐漸成為這世代的潮流趨勢。因此使用者、產品與綠色環境三者之間的平衡關係，將是值得探究的重要議題。

1-1 研究背景

隨著科技技術的進步與發展的情狀之下，使得電子產品的汰舊換新率逐漸攀升，導致電子廢料的產生如雨後春筍般，而這將成為當今社會的一項難題，根據聯合國環境署(United Nations Environment Programme, UNEP)一份名為《循環 - 從電子垃圾到資源》(Recycling - from E-Waste to Resources)的報告顯示，未來電子垃圾可能會以 500% 的速率增長，尤其是在一些發展中的國家，主要原因是由於經濟的成長帶動國內市場消費行為，但是欠缺處理這些電子廢棄物的能力，導致隨之而來的是成千上萬噸的電子廢棄物。美國是世界上製造電子垃圾的一個罪魁禍首，每年拋棄大約 300 萬噸的電子垃圾。另一份在 2010 年的報告中，在發展中的中國已成為主要的電子垃圾廢棄場，並估計已經製造了大約 230 萬噸的電子垃圾，僅次於美國。這份報告中指出了未來幾年，中國將成為電子垃圾的生產大國。

在全球環保意識的高漲與有限資源的利用情況之下，資源回收的口號，勢必將成為人們所關注的重要議題，假使對於電子廢棄物採取不合理的處理、處置這將對於環境造成極大的污染與傷害。行政院環境保護署依據國際數據資訊(International Data Corporation, IDC)的統計，台灣每年售出新手機約七百萬支，主要是大部分民眾追隨流行或新增功能等配備，進而淘汰仍堪用的手機，根據調查顯示，約 44% 民眾將舊手機留置家中，36% 會變賣二手機或轉贈親友，其餘則交給清潔隊或經銷商回收(行政院環境保護署廢管處，2010)。

隨著電子廢棄物的數量不斷增長，勢必得尋求一個妥善的解決方案，倘若未經處理而被棄置，內含的鉛、鋇、硼、鈷重金屬等，對於人體的健康將造成危害。「一年全球的電子廢棄物高達五千萬噸」、「全球有八成的電子廢棄物輸往亞洲處理」、「中國廣東省貴嶼鎮當地工人毛髮內的戴奧辛濃度達 25.6 pg TEQ/g，土壤更達 32600 pg TEQ/g 的濃度值」、「中國廣東省貴嶼鎮當地河川底泥的銅含量達 528mg/kg」(Leung et al, 2006)。

由於電子產品所使用的各類金屬資源種類繁多，具有回收的價值，在 [BBC Research](#) 於 2005 年的市場調查報告中，就指出全球電子廢棄物 (E-waste) 的市場產值將逐年增加，根據 [行政院環保署](#) 指出，在廢棄的行動電話與配件中，裡頭含有許多可以回收再利用的資源，包括：金、銀、銅、鎳、鋁等金屬。依據 [日本電子通信事業者協會](#) 的估計，3 萬支手機可以回收 1 公斤的金，1 萬支手機可以回收 1 公斤的銀。另外，美國環保署手機回收網頁的資料顯示，回收 1 萬支手機所節約的能源可供應美國 19.4 個家庭 1 年的用電量，將有助於倡導節能減碳的重要性。

1-2 研究動機

近年來由於環保意識的提升，資源回收再利用的觀念也逐漸受到重視，對於造成大量污染的電子電機產品，其環保相關法規也積極制訂。2003 年歐盟公佈之電子電機設備中危害物質禁用指令 (RoHS, 2003)、2002 年公佈之電子電器廢棄物回收指令 (WEEE, 2002)、2005 年 8 月公佈之能源使用產品生態化指令 (Energy-using Products, EuP, 2005)，並於 2009 年 10 月 21 日發布了 2009/125/EC 耗能產品生態化設計指令以取代舊版的 2005/32/EC，將產品範圍擴大至所有耗能相關產品 (Energy-related Products, ErP, 2009)。指令規定之相關內容為：

- RoHS (限制電子電氣設備中使用有害物質指令)：要求電機電子產品不得含有鉛 (Pb)，鎘 (Cd)，汞 (Hg)，六價鉻 (Cr+6)，溴化耐燃劑 (PBB, PBDE) 等六大有毒物質，是為造成環保重大傷害的要點之一。
- WEEE (廢電子電氣設備指令)：針對 10 類電子電機產品要求建立收集、回收、處理體系及使用者資訊並達成法定一定之回收率 (55-75%)。
- ErP (所有耗能產品指令)：針對所有使用能源的產品，涵蓋範圍為產品整個生命週期，設計、生產、包裝運輸、使用、廢棄階段等環節，以降低環境衝擊，並且提出環境化設計說明書，期望透過完整的產品檢視以降低資源消耗與污染排放。

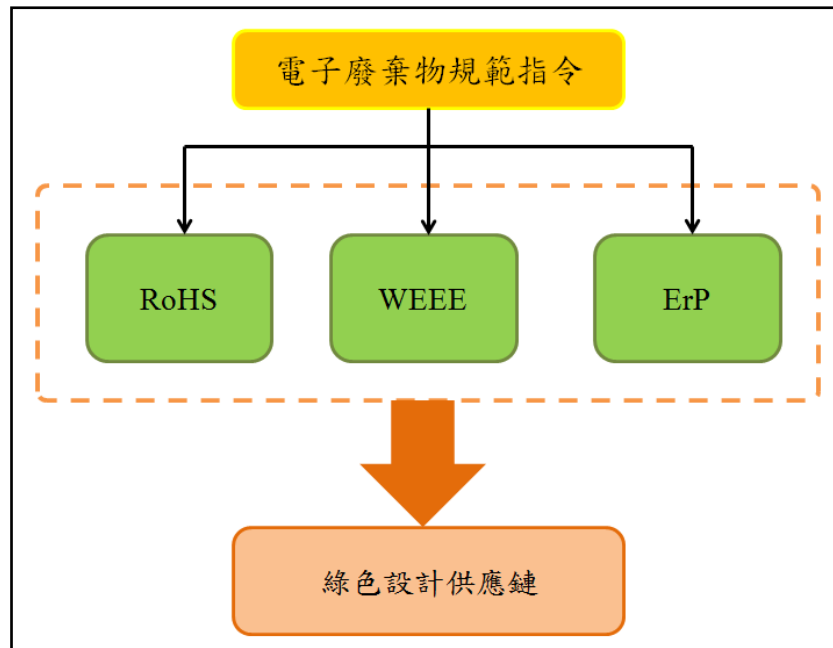


圖 1-1 電子廢棄物規範指令

此三項指令促使相關產業面臨沈重的壓力，連帶影響整個供應鏈，轉而為綠色導向之產品開發，已經成為後續研發不可或缺的一項指標，圖 1-1 所示。並進一步從產品設計、製造、使用、維護、能源、汙染、材料、回收、拆解、組裝…等，藉由拆解設計的分析與產品生命週期結束(Product End-of-Life)之關鍵，減少產品的拆解成本與加強零組件模組化，兼顧人為判斷不足所造成的時間與金錢的損失，進而考慮到資源的再生利用以及產品對生態環境汙染的影響。這指令將可使未來的電子及電器設備更容易被回收，更有利於後續的處理工作被落實執行。

1-3 研究目的

由於當前電子資訊產品，包含精密的機構設計、繁雜的材質與新興材料等應用，往往造成後續回收處理的困難度，電子產品通常包含可回收塑料、貴重或可重複使用的零組件，甚至是有毒害物質。隨著環保的概念逐漸受到重視，在回收以及重製產品的過程中，所產生的核心問題將是拆解程序。為了使有限的資源更能有效的被利用，減少耗損與汙染，若能考慮產品的生命週期(Life Cycle)，從資源與環境保護的觀念出發，促使產品的零組件能減量、回收進而再次利用，並找

出一個完整的環保體系，藉以達成綠色設計的目標。對日益嚴重的環保問題將有極大的助益。在資源回收時，最重要就是產品的拆解分類，由於良好的拆解有益於產品後期的維護、零件材料回收、再生的重要性，進而達到節省成本、減少污染、保護環境的目的。

本研究目的，為了讓回收後的產品能易於拆解，進而降低碳排放量，利用設計結構矩陣法(Design Structure Matrix, DSM)，針對產品的模組化設計為主，藉由設計結構矩陣法的分析，找出產品其 Parallel (獨立性)、Sequential (相依性)、Coupled (交互作用性)，結合現今的各項環保法規，並搭配拆解設計的分析，計算各廢棄零組件的碳足跡排放量，加強零組件模組化，期望降低拆解成本，減少不必要的細部分解，進而達到最少之拆解動作的產品，對於日後的回收利用將會有很大的助益，以達成永續產品的理念。

碳足跡的範圍包含了整個生命週期，當產品進入生命週期末端，後續的回收與拆解到廢棄時，對於環境的能源耗費所產生的溫室氣體排放，也是不小的危害，藉由產品的碳足跡，可以達到提醒企業對於產品的開發，不可忽視當產品進入末期時，對於環境的影響。藉此做為未來控制產品減少碳排放的依據，讓企業、消費者、後續處理者都可以為環境盡一分心力。

1-4 研究方法與流程圖

在研究方法上，主要應用設計結構矩陣分析，藉以判斷零組件彼此的關係，找出其相關聯性，以進行後續拆卸評估，找出其最佳組裝拆解模式，並尋找出零組件的模組化可能性，藉由模組化、省能源的設計、並搭配創新的思維、製造程序及具有回收價值等作業方式，後續應用碳足跡的評估檢測，評估產品本身將產生多少碳足跡，以達到後續對於產品設計的思考與發展，將產品綠色設計鏈融入產品設計當中，將可提昇未來產品的價值。

在眾多綠色環保指令中，不乏有許多要求，如分類收集、處理、鼓勵提升電子電機設備之再生材質的使用、禁用有害物質、有害物質之識別資訊等。在一般大眾所熟知 3R：Reduce (減量)、Reuse (重複利用)、Recycle (循環再造)，也不斷提升到 4R：Replace (替代使用)甚至到目前已出現 6R：Repair(重修修復)、Recovery (再利用)，其目的都是希望藉由這些口號能喚醒大眾對於環保的重視，並期許能建立一套新的「綠色設計鏈 (Green Design Chain, GDC)」，以降低電子電機產品對環境所造成的衝擊，尤其是新增的 Repair(重修修復)、Recovery (再利用)，在過程中藉由回收的動作，進行拆解評估以找回再次使用意義，以符合當局所訂定之法規與期望，圖 1-2 為電子廢棄物研究方法。

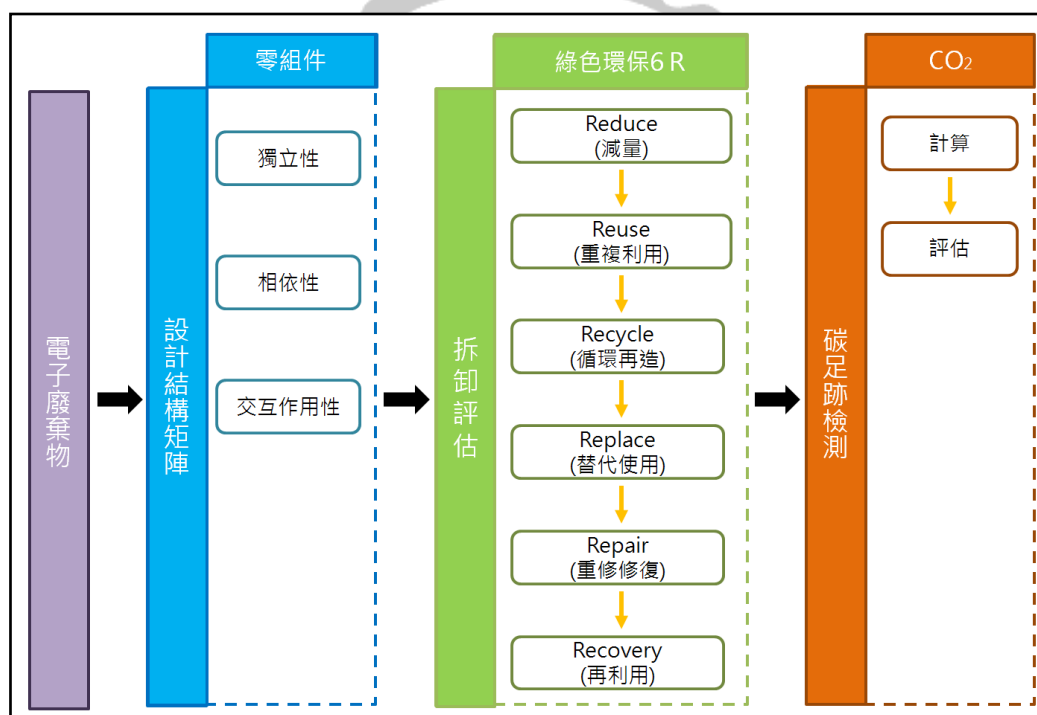


圖 1-2 電子廢棄物研究方法

1-5 全文架構

在論文的研究架構，共分成五部份，分別是緒論、文獻探討與研究理論與方法架構、實例驗證、結論與建議，架構如圖 1-3 所示。

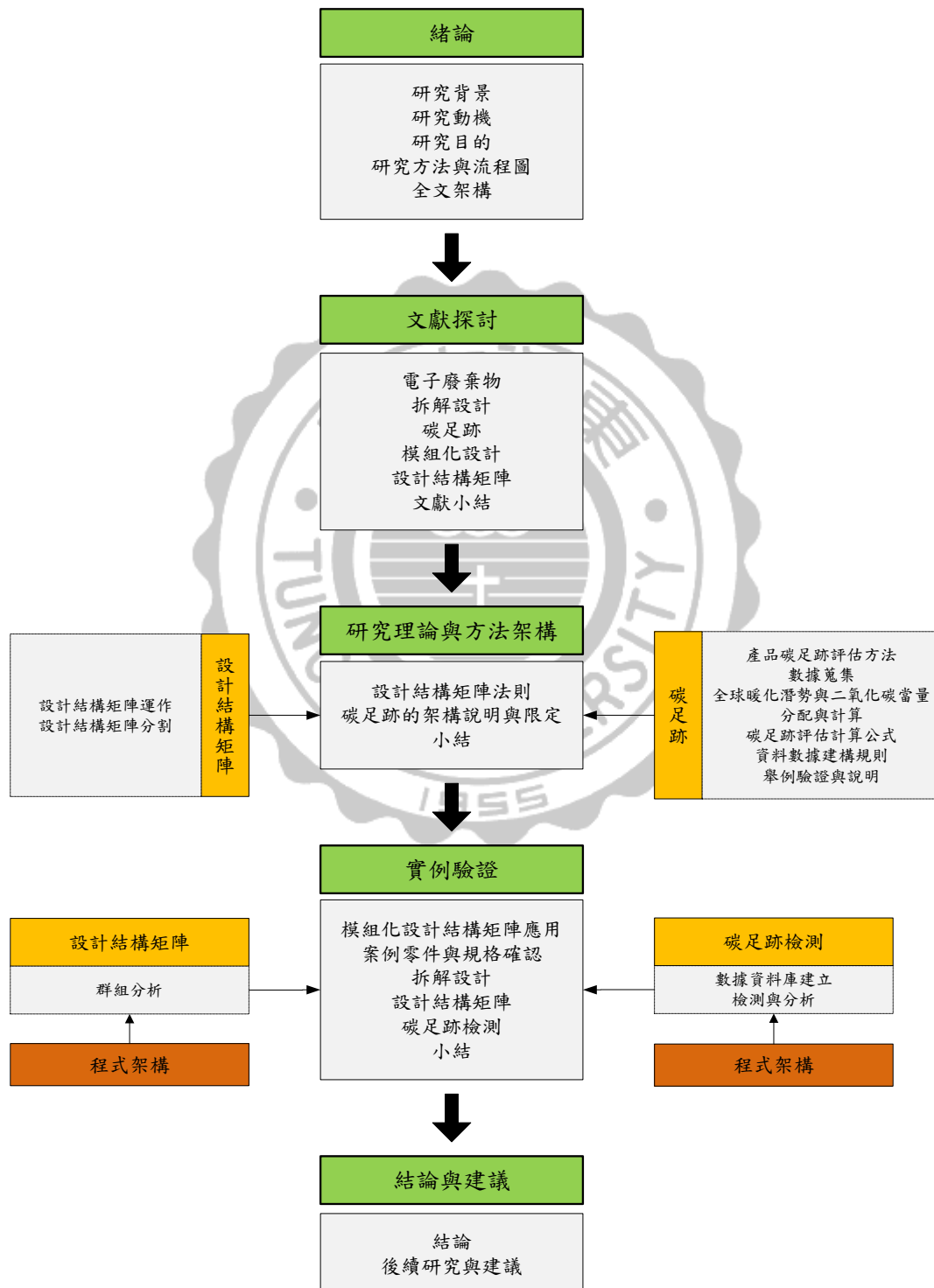


圖 1-3 論文架構

第二章 文獻探討

本論文探討如何在綠色設計的角度，關懷電子產業發展之廢棄物，所造成的環境危害；藉由模組化的角度與碳足跡的檢測，強化設計產品的回收、再利用，對於社會環境的影響。藉由相關文獻的探討，了解過去研究人員對於綠色設計此方面所做過之研究方法，以電子廢棄物做為案例研究，將利用設計結構矩陣來檢驗拆解設計的流程，期望找出其群組達成後續模組化的參考價值，進而提出一套綠色設計的評估，藉由模組化與拆解回收的方式，並透過後續的碳足跡檢測方法，計算出產品後期進行拆解分類時將產生多少危害環境的污染數值，並結合相關法規指令做為後續參考佐證，這將有助於產品達到綠色設計的永續利用。

本章節將藉由電子廢棄物、綠色設計、拆解設計、碳足跡、模組化設計、設計結構矩陣，進行文獻的蒐集與探討。

2-1 電子廢棄物

電子廢棄物一般指各類消費型電子電機產品如電腦、手機、相機，電視等(圖 2-1)，當產品使用年限告終時，應妥善回收處理，主要是內含眾多有害的重金屬及塑膠製品等，若無妥善處理，恐增加污染潛勢，導致資源的耗費。

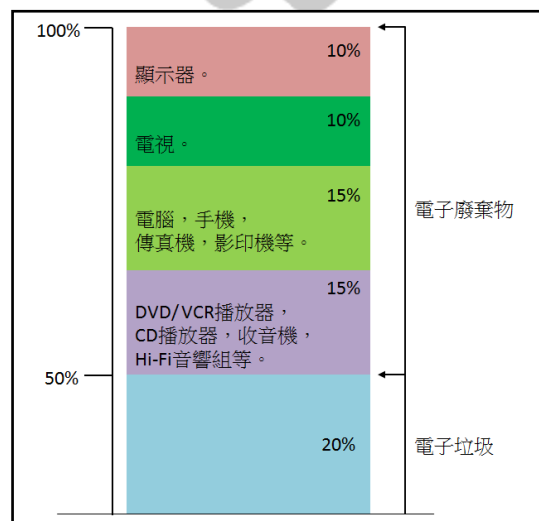


圖 2-1 電子廢棄物

在 2012 年全球一年的電子廢棄物高達五千萬噸，如圖 2-2 所示，在未來幾年數量將會有增無減，造成電子廢棄物增加速度的原因，隨著電子產品不斷推陳出新，加快其汰舊換新的速度，但又無法有效率的資源回收，進而造成電子廢棄物只能持續增加。

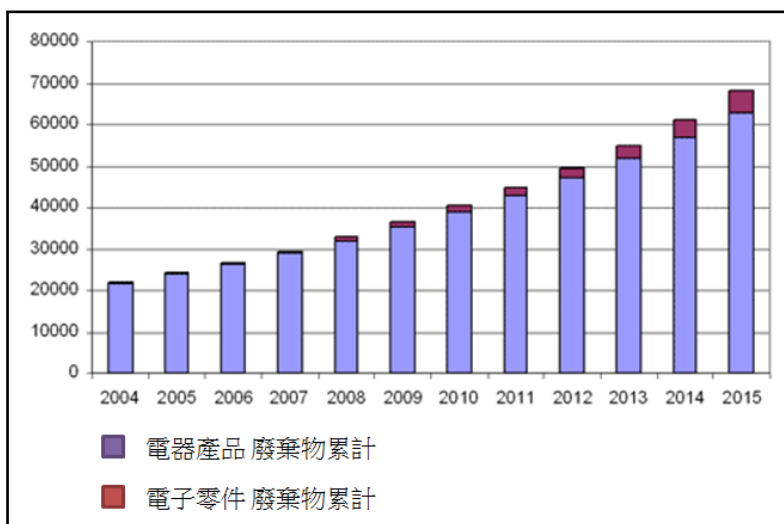


圖 2-2 電子廢棄物的製造量

在處理電子相關產業環境及健康問題時，美國的民間團體組織 Silicon Valley Toxics Coalition 的報告書中提到，如圖 2-3 所示，依成長趨勢預估 2006 年到 2015 年，將可能來到高達 2.8 億噸的電子廢棄物高潮，雖然大部份的電子廢棄物持保管態度，而進行資源回收的部份佔其少數，故可以見得的是如果消費者再繼續漠視這棘手的問題，美國將會被電子廢棄物的浪潮所侵襲（劉羽雯，2005）。

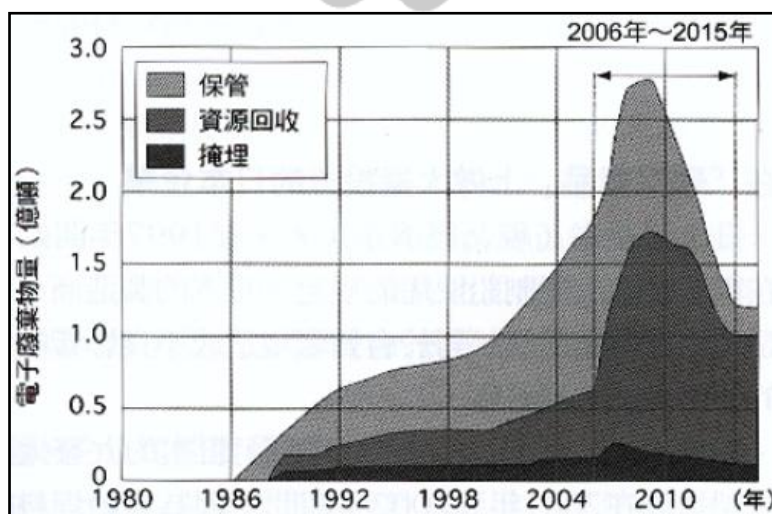


圖 2-3 電子廢棄物的浪潮

目前許多業界為了因應電子廢棄物所帶來的危機，大多已進行相關的規定，許多的問題源都來自於使用的原料關係，所以在歐洲使用的物質限制及回收就成為一種不可推卸的義務了。

2-1.1 手機廢棄物的汙染

美國環境保護署(US Environmental Protection Agency, EPA)在發表中指出，廢棄的手機和其他無線通信設備越來越多，如果以入土掩埋或送入焚燒爐，必將對環境造成污染，重新設計產品和回收利用才是可行的解決途徑。

儘管有研究指出電子產品回收的觀念，在美國較為普遍，但是在手機等行動通訊的電子產品上，其回收率也僅8%，相較於其他回收觀念尚不普及的國家中，將產生多少有害環境的有毒物質。如圖 2-4 所示，在 2007 年電子廢棄物數量不斷攀升的原因，主要在於科技不斷的進步，加速產品的製造與創新，以及消費者對於產品的喜新厭舊，但反觀回收的觀念尚未深植人心，導致廢棄物的生成一年比一年還要高，而無法達成製造與回收成正比。

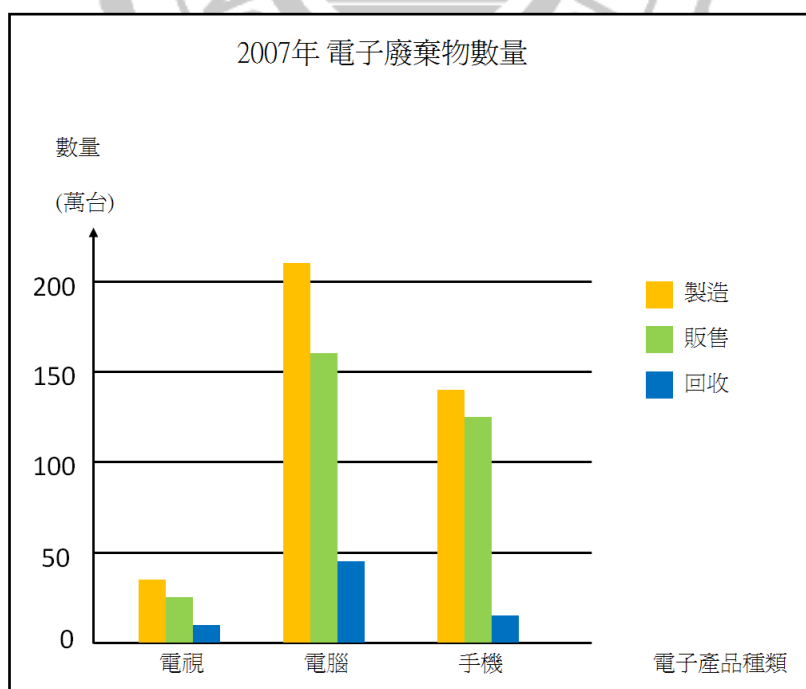


圖 2-4 電子廢棄物數量

2-1.2 廢電機電子指令與相關法規

由於電機電子等設備產品其功能日新月異，產品生命週期漸漸的短暫，造成其汰換率高於一般產品，但也因電機電子產業對於環境的影響很深遠，根據圖 2-5，主要其產業對於環境的負荷較之一般產業大，倘若這些廢棄物沒有經過適當的處理程序，直接進入焚化或掩埋處理，其中大量之有害物質勢必會對於環境的造成很深遠的破壞，也無形中對於資源產生不必要的浪費，若能適當的回收與處理，將能減輕環境的負荷。故將研究縮小範圍至電機電子產業，並將環境所必須探討的 WEEE、RoHS、ErP 等三大範疇指令納入，以做為電子產業之趨勢及環保訴求之研究探討。

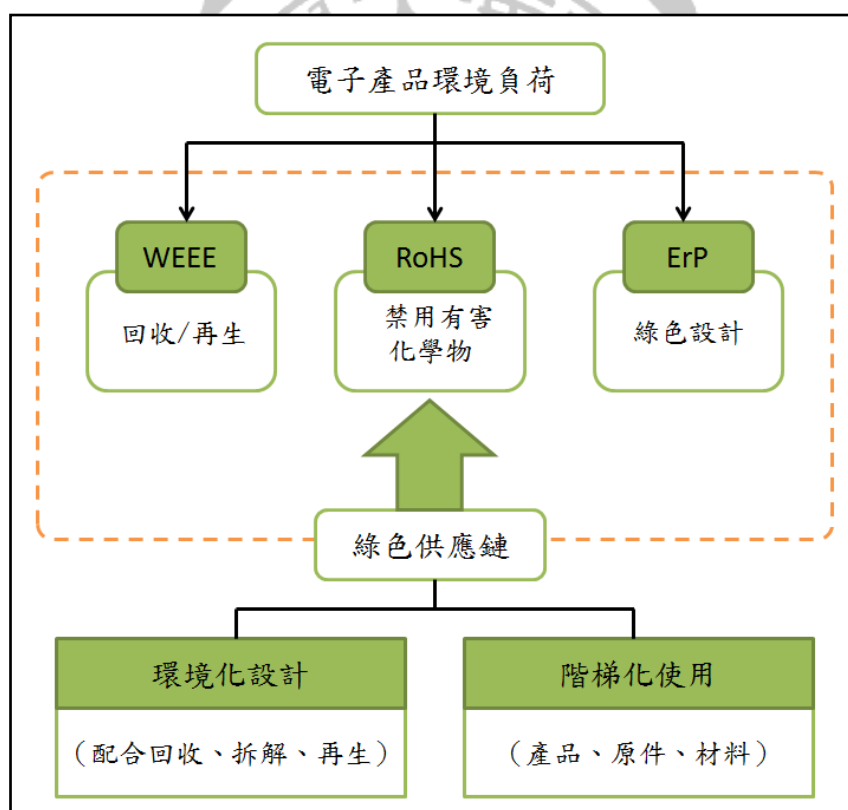


圖 2-5 電子產業面對之（歐盟）環保訴求

面對日益嚴重的廢棄電子產品污染環境問題，迫使各國紛紛擬定法規以解決這燙手山芋的議題，如表 2-1 所示：

表 2-1 各國對於電子廢棄物的配套方法

<p>歐 盟</p>	<p>在 2003 年 7 月初，正式頒布處理廢棄電子產品指導法令(Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment ; WEEE)，法令明確要求歐盟所有成員國，必須在 2004 年 8 月 13 日以前，將此指導法令納入其正式法律條文中。並在其《官方公報》上公佈了《報廢電子電氣設備指令》和《關於在電子電氣設備中禁止使用某些有害物質指令》。更建議各成員國考慮“整機回收”，把筆記型電腦和手機列為首要目標。法令規定最低標準以每台產品重量來衡量，整機可重複使用比率至少要達到原機器的 75%，各種零組件和材質可再生使用比率則至少要達 65%，否則將限制銷售。更要求成員國確保從 2006 年 7 月 1 日起，投放於市場的新電子和電氣設備不包含鉛、汞、鎘、六價鉻、聚溴二苯醚和聚溴聯苯等六種有害物質。</p>
<p>日 本</p>	<p>由於掩埋場地空間有限，但隨著廢物量不斷增加，政府必須為廢棄電子產品的回收立法。要求供應商建立回收規劃，在開發產品時應考慮環境問題。並發佈了綠色預防指導，該文件列出了旨在環境有益和成本有效的生命週期結束產品的處理的設計原理，並詳細說明如何去除相關物質組合與成分等，也規定所有筆記型電腦廠商每銷售 1 台筆記本必須承擔 3000 日元回收保證費用。</p>
<p>美 國</p>	<p>許多州也開始探討引入電子產品回收動議的可能性，例如，加利福尼亞，麻薩諸塞和南卡來羅那。市政當局已經開始了循環利用電子產品的中試工程。美國聯邦政府正積極研究歐洲為生產者責任起草的 WEEE 的行動。</p>
<p>台 灣</p>	<p>環保署為了使民眾可以更便利的回收電子廢棄物產品，促進資源循環利用，為了全面提昇廢手機回收率，並與 15 家行動通訊業者簽署「廢行動通訊產品回收合作備忘錄」，於門市或維修中心設置回收點、通訊行與大賣場等，設置廢手機回收桶(箱)供民眾免費回收廢手機和配件，並送交合格的處理業者再生處理。</p>

就目前電子電機產品與綠色環境來說。對於企業衝擊最大的規範莫過於 2003 年歐盟所公告之電子電機設備中危害物質禁用指令 (RoHS, 2003), 及 2003 年公告電子電器廢棄物回收指令 (WEEE, 2003), 2009 年 10 月 21 日公告所有耗能相關產品指令 (ErP, 2009)。

在 2003 年所公布的 RoHS (危害物質禁用指令) 與 WEEE (廢電機電子指令), 主要是對於電子產品的要求不含有毒化學物質、注重廢棄產品的回收與處理, 但 2009 年公布的 ErP (所有耗能產品指令), 期望更進一步融入綠色概念, 並思考從產品製造初期, 至末端回收時, 都能考量到對於環境的衝擊, 以生命週期的思維模式, 思考產品對於環境的影響性。



2-2 綠色設計 (Green Design)

「綠色設計 (Green Design)」這個名詞的本身涵義就是指由環境來決定產品設計的方向，換句話說環境的考量在產品設計開發中是和產品利益同等重要地位。綠色設計主要是在產品設計時，需要將產品整個生命週期所有可能對環境的衝擊因素加以考慮，避免造成環境的潛在危害及增加社會成本，並生產可以達到低污染、低耗能與低毒性之產品，並形成一個綠色設計鏈，如圖 2-6 所示。

綠色設計的概念最早提出的是在二十世紀的 60 年代，由美國設計理論家巴巴納克 (Victor Papanek) 出版的《為真實世界而設計》(Design for the real world) 一書中，設計應該認真思考有限的地球資源的使用，為保護地球的環境而服務；然而經過時代的演變，尤其是科技技術的進步，各界學者也對其綠色設計提出解釋，其內容請參閱如下表 2-2。

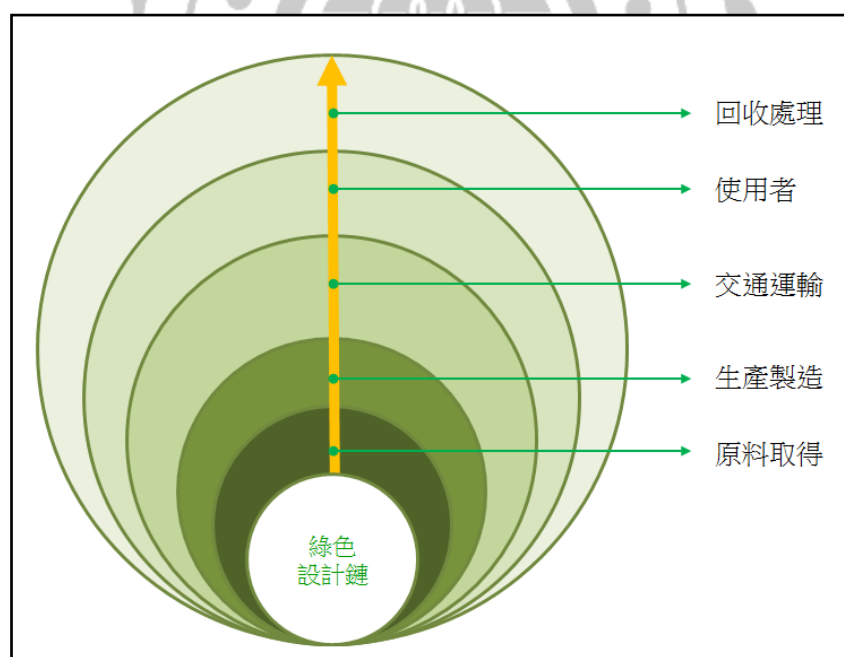


圖 2-6 綠色設計鏈

表 2-2 綠色設計定義表

研究者 / 單位	定義
Elkington (1986)	「可回收、低汙染、省能源」的設計。
DesignWorld (1992)	充分考慮產品回收、廢物減量、增加產品耐久性、產品的易於分解及組裝、材料的適切性、選擇最少汙染的材料與製程、節省能源等，都是產品生態設計考量的最高準則。
鄭源錦等人 (1995)	是從產品企劃開始，包括材料選擇、產品結構、功能、製造過程、包裝與運輸方式、產品的使用乃至產品廢棄後的處理，並考慮對環境的衝擊。
中華民國工業減廢白皮書 (1996)	「為環境而設計」，是指在產品的設計過程中充分考慮到預防廢棄物產生及最佳的材料管理。
李保寧 (1999)	從構思階段強調降低能源與資源消耗、易於組裝拆解，使產品或材料能再生使用，以減緩對自然環境及生態平衡的破壞。
杜瑞澤 (2002)	減量設計、再生設計、省能源設計、有機化設計等。

資料來源：(陳鴻志，2008)

從 1960 年至今，國際間環境保護的各項觀念已趨向普及與成熟，因應對策也從消極善後，轉為積極的預防與管理，甚至是全面性的研究與檢討；在同一時間，產品設計的原則也由複雜、多功能轉為單純、簡化的形式，而兩者的背後接來自一個相同的原因，那就是「綠色概念」的崛起 (李康文，1997)。

Boks & Stevels (2007) 說明了環保設計 Design for the Environment (DfE) ，應該從知識與經驗當中學習並理解，藉此找出對於產品的解決方案，並從三個原則去思考與討論，分別為：

- (1) 藉由各種不同的角度去理解環保的意義與價值。
- (2) 從產品生命週期的角度去思考與判斷方向。
- (3) 需考慮到環境和經濟這兩方面帶來的影響。

2-2.1 產品綠色設計的目的

主要目的是使產品符合環保性的要求以減少對環境的衝擊。因此，綠色設計在維持產品應有的功能性、品質與使用壽命等前提下，在產品的整個生命週期中，著重於符合環保性的要求，選定與環境衝擊相關的因素做為產品設計時的依據。

以下為可達至減低衝擊環境的方法如下：

- 環境化設計 (Design for Environment)
- 減量設計 (Design for Reduce)
- 再使用設計 (Design for Reuse)
- 循環再用設計 (Design for Recycle)
- 拆解設計 (Design for Disassembly)

杜瑞澤 (2002)『產品永續設計』一書提到，綠色設計發展主要技術有六項：

1. 永續設計(Sustainable Design): 產品設計開發考慮產品適當的使用環境，選擇最合適的原料材料，要求產品的堅固耐用與造型美觀不退流行，並以最簡單的功能方式來減少故障。進而延長產品的使用壽命，達成良性循環延長產品生命週期。
2. 模組化設計: 增加零件互換性，使產品維修與替換容易，故障排除快速，進而產品之市場佔有率將更為提高，更達成延長產品的使用年限。
3. 易維修之設計: 主要在於簡化拆解工作，使不同的材料得以快速地分門別類，在考量過每一組件設計原則後，整個產品應檢視每一項要求是否有達到標準。

4. 多功能設計：整合同類型機能產品，配合運用統一的造型設計，將功能作完美整合，增加消費者購買慾更比傳統市場具備更長的产品壽命。
5. 材料使用單一化設計：有利於產品分解與回收，節省回收的成本與能源的花費，而多樣的材料增加善後難度。
6. 回收再生設計：產品回收處理過後，零組件即可再被使用，按其回收之特性加以利用，透過創新設計方法使產品重現再生價值。

2-2.2 產品生命週期

生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)是一項重要的指標方法，美國環境毒物及化學協會將其定義（廖志偉，2000）為一個衡量產品生產或人類活動所伴隨之環境負荷的工具，不僅需要瞭解整個生產過程的能量、原料需求量及環保排放量，還要將這些能量、原料及排放量所造成的影響予以評估，並提出改善的機會與方法。

行政院環保署指出，生命週期評估(LCA)屬於系統分析方法之一，其為「對產品系統自原物料的取得到最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估。」(ISO14040, 2006)在這所謂「產品系統」，不僅包括實體產品，亦包括服務系統。而需考量之環境衝擊通常包括資源使用、人體健康及生態影響等。

產品在整個生命週期內，需考慮到產品在製造、銷售、使用及報廢後對環境的各種影響，和其環境屬性（可拆解性，可回收性、可維護性、可重複利用性等）並將其作為設計目標，避免造成環境危害及增加社會成本，使零件或材料在產品達到生命週期時，以最高的附加值回收並重複利用（杜瑞澤，2002）。

郭財吉(2001)提出綠色設計的中心思想為「綠色生命週期設計」，設計重點不在於如何回收既有之廢棄物，更重要的是使設計師在概念形成之前便先考慮到產品對於環境可能帶來的衝擊，進而以減少環境衝擊的角度去設計產品，以求減少對生態環境的傷害。並提出如圖 2-7 所示之綠色設計整合系統。其中在產品的材料選用端賴於對原料來源之處理，處理程序中可能消耗能源、或排放出污染物質。基本上，材料之選用可參考「減量使用」、「採用回收材料」及「考量原料之適配性」三項原則，再配合下列設計要點：

1. 避免使用有毒、有害成分或不易分解之材料。
2. 避免使用稀有、不易取得之材料。
3. 使用單一材料或使用相容性高的材料。
4. 使用低成本的材料。
5. 使用具有可被生物分解、可再回收或再生之材料。
6. 使用低處理資源之材料。

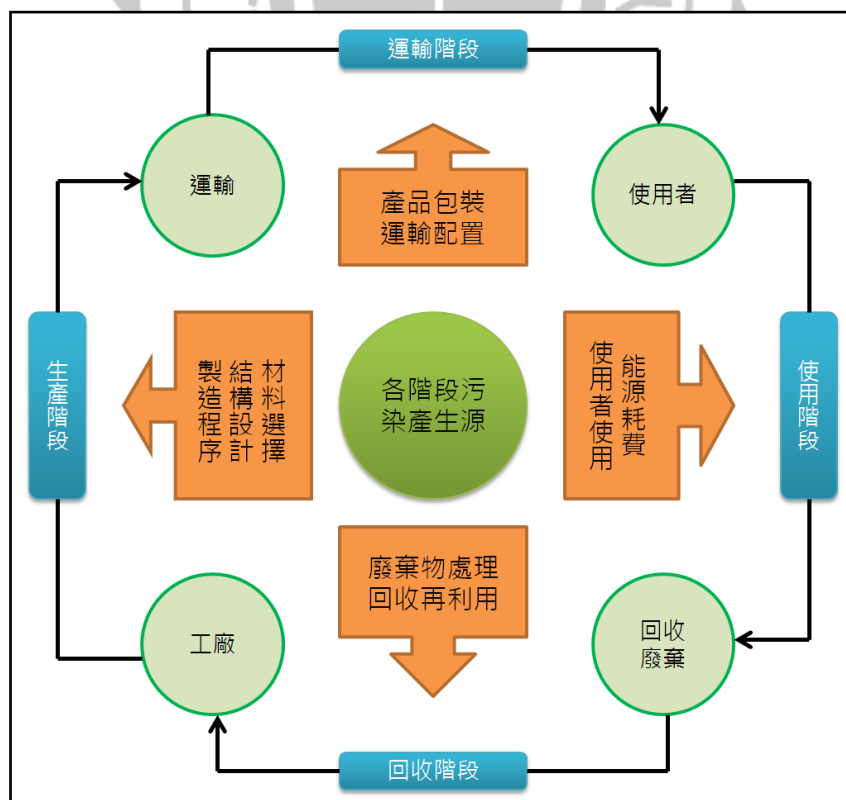


圖 2-7 綠色生命週期階段

產品的生命週期如圖 2-8，指產品從、原料、製造、運送、使用到棄置，其中包括：材料、能源、需求、價值、回收或廢棄、對環境衝擊等因素，並以較寬廣的觀念來實施生產、使用、維護、再使用和棄置，以這樣的方式會使環境的衝擊和天然資源的消耗減至最小。

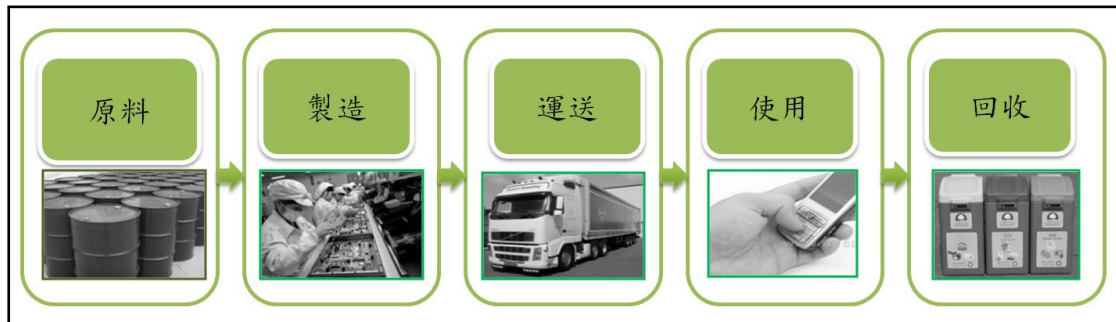


圖 2-8 產品生命週期架構

2-3 拆解設計 (Design for Disassembly, DfD)

Lambert(1999)認為，若要實踐回收及再製活動，讓產品更環境友善化，拆解設計(Design for disassembly)是一個很重要的因素。Kuo(1997)提出，過去因為修理跟維護等活動之要求，為拆解而設計已應用多年。但現今，為提高產品的回收率，設計者被要求需針對其組件和材料做易拆解設計。

在產品拆解階段，Dong & Arndt(2003)認為拆解可以被定義為：利用有系統的方法，將產品分離成組成產品的零件 (Parts)、組件 (Component)、次組裝 (Subassemblies) 或其他群組 (Groupings)。Lambert (1999)提出有效的拆解設計為非破壞的，可逆的，可回收的，並把較複雜產品簡化為較不複雜之次組件或單一零件，其中包含有：

1. 維護維修。
2. 探討次組件維修部份或新產品裝配上的可利用性。
3. 拆除不要的零件並留下好的零件。
4. 可在利用的元件以原料重複利用(Reuse)為目的。
5. 增加材料的純潔度並除去污染物。

6. 符合材料或物質排除的環境安全規章。
7. 減少有害廢棄物的數量。

產品亦可依拆解的順序來設計並分離有毒物質，避免重金屬所造成的環境污染，減少產品設計的複雜性，盡量簡化結構而能達到功能。如為模組化設計、模組應能直接聯結且具有層次化結構、藉由功能整合減少零件數量，尤其是螺絲使用數量與種類。拆解設計的重要性可以概略分為三類(張禹晰，2004)：

1. 回收產品的材料與零件，減少環境衝擊。
2. 拆解，為再製造流程中的關鍵步驟，藉由拆解需要的零件，可以使成本下降。
3. 為了維修與維持組件的正常功能，拆解順序也是要研究。

拆解設計與分離設計方面，其中包括設計出最少的拆解步驟、減少使用焊接與黏著，減少大量與多樣化的黏接（螺絲、扣件），使用最少的拆解工具、讓元件易於移除再利用。陳明熙(1993)提出模組化產品的組裝與拆解設計在產品初期即應考慮裝配線上的操作需求，進而將所遇之裝配上的問題予以解決。將裝配上的問題提前在產品設計階段就予以考慮，除了增加產品設計的完整性之外，更能避免將來類似的裝配問題再重複出現。

為了減少拆解時間與複雜度，以達到標準化設計結構，黃裕哲(2001)提出拆解設計原則如下：

1. 零組件拆解順序設定：零組件不要零散無秩序地結合，而要儘可能有層次化設計結構(如同樹狀的結構有主幹、分枝、扣枝、樹葉上)，如此，在拆解零件時，不需要將大量的產品組件或零件拆除。
2. 相同功能的零組件標準化：為了使拆解容易與減少拆解時間故組件相同功能的零組件應在造形上、設計結構上、與原料上予以標準化。
3. 拆解軸操作方向一致性：聯結組件應容易觸及與操作，使能在主要的拆解軸向上進行拆解工作。

4. 預先設定分離區域：為了使拆解過程較順利，應使用一些聯結，技巧與聯結元件，在產品使用壽命結束之後容易打開、必要時聯結元件應容易破壞，但不損壞周遭相連容件。
5. 手工拆解可能性：組件應設計成讓零件容易手工拆解，"同時應避免銳角，割傷作業員。
6. 非破壞性拆解：組件的拆解應減少拆解工具數量，為了後續組件的再製造，應以非破壞性拆解來進行。

拆解設計需要一個完整拆解設計規劃系統，在產品設計時事先考量，因此 Jirang (2003) 提出拆解處理規劃系統，其拆解步驟和軟體工具所形成拆解策略和配置拆解系統，以下階段為開發拆解過程計劃：

1. 輸入和輸出產品分析：在這個階段，可再用 (Reusable)、貴重物、危害組分和材料的定義。在初步成本分析以後，優選最佳拆解方式。
2. 不確定分析：拆解不確定性來自缺陷部分或接合連接的產品，產品在消費者使用期間升級/降低等級，和拆解所造成的損傷。
3. 廢除的策略決心：在最後的階段，它被決定是否使用非破壞性或破壞性的拆解。

2-3.1 產品回收設計

廢電子電器及資訊物品之主要成份為金屬類 (金、銅、鐵與鋁等)、有機類 (塑與橡膠等) 以及無機類混合物 (螢幕玻璃等) 廢棄物，各類廢棄物應採用其合適之處理原則，回收有價物資，並在資源化成為有價商品。

在 WEEE 指令中主要是針對電子電氣產品進入市場後成為廢棄物時的處理規定，應要考量易於拆解及回收，減少電機電子設備廢棄物的產量，以避免過多的電機電子設備廢棄物進入掩埋場，以提高電子電氣產品廢棄物的再使用 (Reuse)、再生利用 (Recycle) 和回收再利用 (Recovery) 率，以降低產品對環境之衝擊。特別是其零件與材料之在使用及回收再利用的重要性。

1. 再使用 (Reuse)：指將廢電子電機設備或零組件用於其原先設計用途的任何作業，包括回流至回收點、經銷商、回收商或製造商之設備或零組件的延續使用。
2. 再生利用 (Recycle)：使用可燃性廢棄物無論有無混合其他廢棄物直接燃燒而產生能源，伴隨熱之回收，可以減少垃圾製造以及原料的消耗。
3. 回收再利用 (Recovery)：指未來送至處理的報廢電子電氣設備，生產者需提高報廢電子電氣設備、元件、材料或物質，平均回收再使用率。

Basdere (2003)進一步以 WEEE 規定的回收率為基準，探討拆解廠對於廢電子電器產品的資源與材料回收，以生命週期為概念，從產品生命各階段獲取資料，將有助於實行回收、拆解及再組裝作業。

林敬智、鍾美華 (2005) 於該指令說明了產品回收處理之程序，必須先針對可能有害於環境之組件進行選擇性處理，在進行去污染、拆解、切割回收作業如圖 2-9 所示若以資訊產品為例，該產品零組件的再生利用，加起來需佔總產品重量的 65%，而整體回收率則佔 75%，兩者間多出來的 10% 及採焚化方式，以熱能回收之定義將產品進行回收再利用。

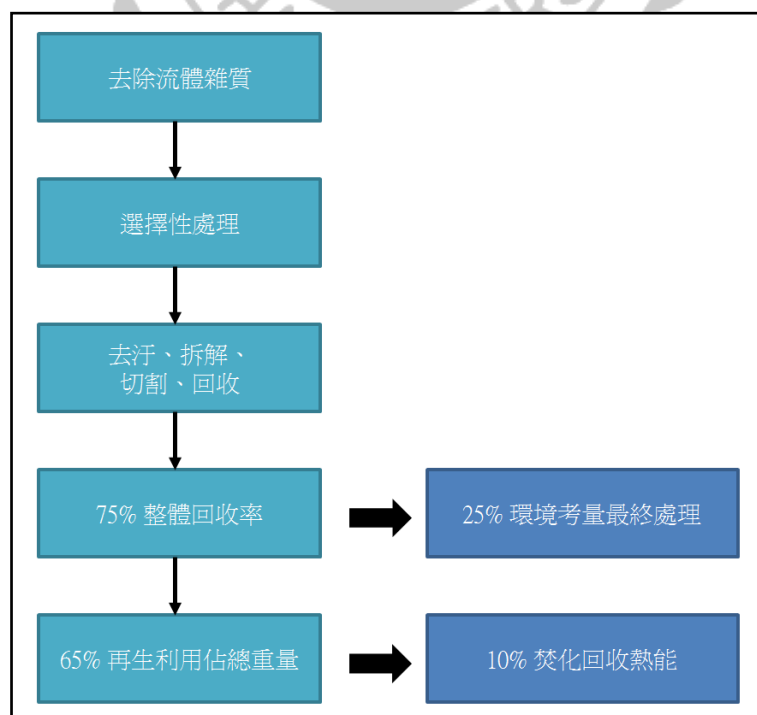


圖 2-9 生產者的責任 處置與回收階段

李佩華(2004)針對回收之四項經濟價值觀點，其中包括「對產品及材質皆有其附加價值」、「每一個處理程序拆解成本皆達到成本效益利潤」、「對於危險材質的處罰值只加在個別零件上並非全部產品」、「使用特定的回收程序得到較高的投資利潤」成本效益分析法，以探討產品於拆解方式，分別為：服務性拆解 (Serviceability)、非破壞性拆解 (Disassembly)、破壞性拆解 (Dismantling)、回收性 (Recycling)、廢棄 (Dumping) 處理程序。

Kuo (1997)在拆解產品時，主要是基於經濟成本效益及環境生態保護等因子，產品進行拆解處理程序可依其特性分為以下幾種類型：

1. 再使用：即可立即應用在其他部分。
2. 再製造：將被再使用於較小維修或翻修製造，在相似或特別應用。
3. 高等級回收：將被再處理，使之能使用在另一個高價值的產品。
4. 低等級回收：將被再處理，使之能使用在另一個低價值的產品。
5. 化學分解回收：使用化學分解方法，再處理零件物料之元素或單體。
6. 焚化回收：物料的焚化產生熱能或電能。
7. 處理棄置掩埋：不能再處理只能棄置掩埋，這選擇是減少拆解成本但對環境衝擊是最大的。

2-3.2 拆解與回收規劃分析

在執行綠色拆解設計上的目的不僅要減少有害物質之使用、資源消耗與廢棄物排放，更要使產品零件附件易於拆解、回收，而再生或再利用。在針對使塑膠部分易於再生，也提出了限制使用塑膠的種類、塑膠依種類標示、避免使用無法回收的複合材料及塗料、避免不能相容的塗料、避免使用溴化耐燃劑、減少使用有害物質、促進金屬回收、塑膠模型的顏色與加工部使用噴漆、避免黏著(標籤)、將產品相同材質的部分給予標示，以及避免金屬嵌入塑膠部件等設計建議。拆解與回收設計的規劃流程需考量組裝、製造、拆解、維護、回收、安全處置，甚至擴及環境與生態的設計程序。並於產品具有較高設計自由度的研發階段時，模擬

產品於生命週期中所可能發生的問題，及早訂定改善之道，進而降低產品對環境的衝擊。

Ragn-Sells (2000)在瑞典典型的廢電子回收的操作如圖 2-10 所示，廢電子產品進行拆解過程時，依序為再使用(Re-use)、進一步處理(Further Treatment)、精鍊 (Refining)、能源恢復(Energy Recovery)、特別處理(Special Treatment)、掩埋 (Special Land filling)、粉碎(Destruction)，透過此步驟與順序移除危害的零件、再使用可回收零件或貴重的元件和原料。

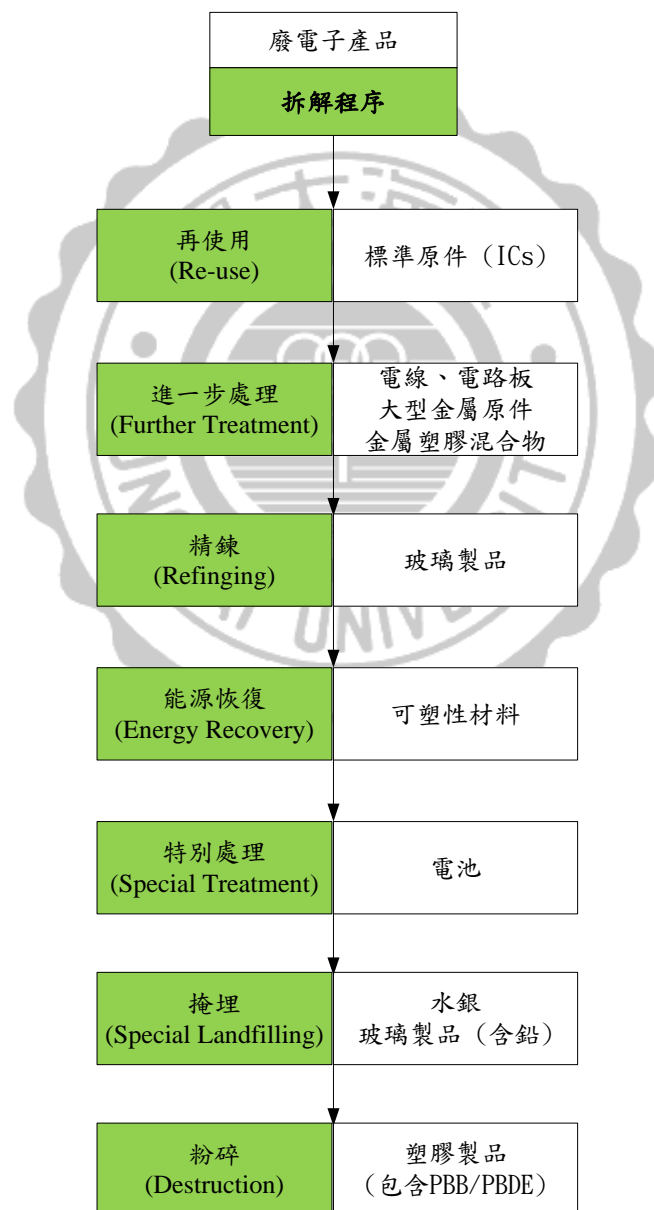


圖 2-10 拆解回收程序

設計時對材料的選用要有通盤的計畫，必須注意零組件間的適配性，以利往後之拆解，達到原料之再使用。Ruud (2005)拆解是把一種產品細分為零組件的系統，當我們在拆解產品時須確認產品是可以重複使用的。拆解和重複利用可以分成三個步驟：

1. 確定全部可能的拆解順序和過程。
2. 確定全部可能再回收處理與重新製造的選擇和每次拆解的相關利潤。
3. 確定最佳的拆解和回收再利用的策略。

當產品生命週期終了時，為了環保問題，需將產品解體，如何使用簡易工具或人工即可分解或破壞，對於材料之分類將可節省拆解之能源，為了使拆解與分解程序順利，組件相同功能的零組件應在造形上、設計結構上、與原料上予以標準化。Feldmann 等學者 (2001) 指出，拆解產品原本可能產生的廢棄成本可以減少，或是可能轉變成獲益，但是拆解技術的使用也會造成成本增加，因此建議可以在「不拆解」與「完全拆解」之間，以經濟考量的角度取最佳的平衡點。

在拆解的過程當中，對於綠色設計來說占有其重要的一環，為再使用設計 (Design for Reuse)，它是產品回收和重用的必要步驟。產品如果無法拆解的話，既談不上有效回收，更談不上重新利用，這將如何保持社會對於各種消費品的不斷需求，又如何能節省資源和能源，因此產品能夠有效地拆解回收變得更重要。拆解設計不僅可使產品生命終結達到最佳化處理的目的，更可以生產易於維護與修理且對使用者更加有用的產品。

假使產品設計者能和資源回收再利用者互相交流與合作，彌補在理論上的拆解設計原則與實際上執行拆解過程當中，並找出這兩者間的問題所在，建立必須的設計規格，對連接系統、拆解技術和產品結構的考量。唯有在這些基礎標準之下，回收業者才方能夠執行被視為廢棄物產品的最終拆解，並且能確認拆解的相關活動，使其具有時效性，且可獲得高品質、可再利用的零件，從中更可降低成本，避免更多廢棄物的棄置與處理，將可避免可再利用的資源被浪費。

綠色產品開發者對於綠色產品的考慮往往只停留在設計與製造階段，未能妥善顧及市場及消費上的實際需求，導致綠色產品不能適應快速的消費性市場，而在市場上迅速消失，隨即產生更大的環境衝擊。在邁向持久發展的目標之前，綠色產品設計者所需關注的不應該只是針對單一產品設計或製造層面的問題，而應廣泛考慮所有產品相關環境及消費體系，以及產品流通動向的問題。因此，要達至持久發展之路的關鍵在於綠色產品是否符合消費者需求而廣泛被接受。

電子產品回收與拆解過程中，主要分為四大類別如表 2-3，分別是電子零件(印刷電路板)類、金屬類、塑膠類，並探討各類別所對應的環保指令與法規，藉此了解每個零組件都有其使用的規範，以避免業者違法使用的有害環境的材料；對於未來廢棄回收時，能將其零件重新回收與再次利用，不僅可以降低環境資源的耗費，也可以減少有害廢棄物的產生以及對於環境的影響。



表 2-3 電子產品回收與拆解過程

<p>金屬類</p>	<p>RoHS 及歐盟指令條文：</p> <p>歐盟 EU 2002/95/EC 會員國應確保電機及電子設備在投入市場者不可包含鉛、鎘、六價鉻、汞、多溴聯苯(PBB)或多溴化二苯乙醚(PBDE)。在 RoHS 注意事項中，用於塑膠件、染料、顏料、塗料、墨水...等，可允許有 100ppm 的緩衝值，若用於包裝材中則可參考 EU 94/62/EC 包裝材的管制標，$Pb+Cd+Cr6++Hg < 100 \text{ ppm}$。部分合金件中：鋼材 0.35 wt %、鋁合金 0.4 wt %、銅合金 4 wt %、錳錫 1,000 ppm (等同 0.1 %)。在沒有特殊說明的情況之下，依據歐盟 EU 2002/95/EC 的修改徵詢條文中，可窺究出對重金屬鉛的建議管制濃度值為 1,000 ppm。電子陶瓷組件、光學玻璃、映像管玻璃件...等，不受濃度的管制，但也建議逐年降低該物質的使用量並積極尋找可替代之材料。</p>
<p>塑膠類</p>	<p>塑膠廢料處理製程：</p>
<p>電子零件(印刷電路板)類</p>	<p>我國依廢棄物清理法，訂定廢電子電器暨廢資訊物品回收貯存清除處理方法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 一、 回收：指將廢電子電器、廢資訊物品收集、分類之行為。 二、 貯存：指廢電子電器、廢資訊物品於回收、清除、處理前，放置於特定地點或貯存容器、設施內之行為。 三、 清除：指廢電子電器、廢資訊物品收集、運輸之行為。 四、 處理：指廢電子電器、廢資訊物品以物理、化學或其他處理方法，改變其物理、化學特性，達到純化、精煉、分離、無害化及資源化之行為。 五、 資源回收再利用比例：指廢電子電器、廢資訊物品經處理後再生料之總和重量占其總處理量之比例。

2-4 碳足跡 (Carbon Footprint)

碳足跡此概念出自 Wackernagel (1996)所提出之生態足跡所提出之生態足跡 (Ecological Footprint) 。根據行政院環境保護署指出，碳足跡(Carbon Footprint) 可定義為與一項活動(Activity)或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的二氧化碳排放量。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其是從消費者端出發，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，碳足跡的排放包含產品原物料的開採與製造、產品本身的製造與組裝，一直到產品使用時產生的排放、產品廢棄或回收時所產生的排放量。故上述之範圍是整個產品的生命週期。現今已將其是為達成減緩全球暖化目標之行動方案。Lynas (2007) 對碳足跡的定義為衡量個體在全球暖化方面總計所產生的溫室氣體的貢獻即為衡量個體的單位二氧化碳當量。碳足跡對標籤、行銷、財務和管理是越來越流行的理念 (Eric, 2008)。

因此，產品碳足跡已廣泛成為各為政府及企業界達成目標之工具，也成為一種新溝通的媒介。從溫室氣體涵蓋範圍來看，溫室氣體盤查可分為三個範疇：

1. 國家或地區的能源燃燒排放統計。
2. 針對企業或組織自身與相關的溫室氣體排放。
3. 針對個別產品生命週期的溫室氣體排放，是對各產品生命週期溫室氣體的排放作盤查，即所謂的「碳足跡」。

2-4.1 碳足跡應用

根據財團法人塑膠工業技術發展中心指出，在計算碳足跡應用時，大致可區分為三大部分，以作為釐清計算的限制範圍。其足跡部分分別為個人、產品與企業、國家/城市碳足跡，以下為各部分的定義與說明(楊育昇，2012)。

1. 個人碳足跡：主要是以自身每天日常生活作息中的食、衣、住、行及育樂行為中，直接或間接所產生的碳排放量。

2. 產品與企業碳足跡：是指產品的生命週期，從原物料供給、生產製造、配置運送、消費者使用及最後回收廢棄等各階段，所排放的溫室氣體，透過合理的分配及計算後，進而得出該產品之碳排放。藉由產品碳足跡後，企業可以規劃控管措施，透過減碳方案的執行，進而降低企業生產時的成本支出，達成企業與環保雙贏的目標。在計算碳足跡的同時，可發掘出生產流程內較不具效率的環節，進而可以加以改善。
3. 國家/城市碳足跡：主要是針對整個國家或城市的碳足跡探討，並從已開發的消費型大國為訴求，以永續消費作為減碳規劃之核心。

在這三個部分中，本研究以產品與企業碳足跡的部分，作為探討的方向，由於碳足跡其範圍涉及到整個生命週期，當產品進入生命週期末端，其後續的回收與拆解甚至廢棄時，對於環境的能源耗費所產生的溫室氣體排放，也是不小的危害，這些因素也應列入碳足跡的範圍中，並藉由產品的碳足跡，提醒企業對於產品的開發，不可忽視當產品進入末期時所對於環境的影響。藉以做為未來控制產品減少碳排放的依據，讓企業、消費者、後續處理者都可以為環境盡一分心力。

「產品碳足跡」為產品從原物料、製造、配送、消費者使用及廢棄等階段，各個生命週期階段的生產活動中，所排放之溫室氣體，透過合理的分配及計算後，進而得出該產品之碳排放數額。

根據BSI英國標準協會於2008年10月所制訂的PAS2050的標準中來看，「產品碳足跡」的計算模式可分為B to B (Business to Business) 及 B to C (Business to Customer) 二種，差別在於進行產品全部生命週期排放量盤查時，B to B 僅盤查到配送階段，而 B to C 則是進行完整的盤查至產品廢棄階段。

在了解到產品碳足跡後，企業可以開始規劃幾個控管措施，來完成所需的「減碳」工作，更透過減碳方案的執行，預期也可獲得到蠻大的「節能」空間，進而降低企業生產時的成本支出，達成企業與環保雙贏的目標。

在節能減碳的風潮下，全球愈來愈多的知名品牌，投入碳足跡的計算工作。在計算碳足跡的同時，可發掘出生產流程內較不具效率的環節，進而可以加以改善，這也值得其他企業效法。

在碳足跡探討中，都佐證已開發的消費型大國，應以『永續消費』作為減碳規劃之核心。如英國雖於 1992 年至 2004 年間，境內的溫室氣體排放量下降了 5%，但實際上，若將其因消費所導致的間接溫室氣體排放量納入時，則其碳足跡反而是上升了 18%。

2-4.2 碳標籤








碳標籤(Carbon Label)也就是碳足跡標籤(Carbon Footprint Label)，或稱碳排放標籤(Carbon Emission Label)，用以顯示公司、生產製程、產品(含服務)及個人碳排放量之標示方式，指產品從原料取得，經過工廠製造、配送銷售、消費者使用到最後廢棄回收等生命週期各階段所產生的溫室氣體，經過換算成二氧化碳當量的總和。

英國政府於 2001 年所成立的 Carbon Trust，於 2006 年所推出之碳減量標籤(Carbon Reduction Label)是全球最早推出的碳標籤，透過碳標籤制度的施行，能使產品各階段的碳排放來源透明化，可以使消費者得知生產該產品至廢棄該產品會排放多少當量的二氧化碳，促使企業調整其產品碳排放量較大的製程，也能促使消費者正確地使用產品，以達到減低產品碳排放量的最大效益。

目前包括英國、美國、加拿大、日本、韓國、泰國、澳洲等國家正如火如荼地展開碳足跡相關政策與工作的建置，從已實施產品碳標籤的經驗可見，許多國家正朝著低碳社會的道路邁進，並且也為企業帶來碳排放減量的機會與強化公司品牌的聲譽。台灣於 2009 年開始研議台灣碳標籤的機制，期望以碳標籤政策，強化低碳產品的市場競爭力，並提升消費者對於碳標籤產品的購買意識，達成低碳經濟的永續消費與生產模式。表 2-4 為各國碳標籤各國發展理念。

表 2-4 各國碳標籤發展理念

國別	碳標籤名稱	碳標籤圖示	碳標籤圖示說明
英國	Carbon Trust Carbon Reduction Label		此標章主要意涵為企業宣告碳排放減量，並承諾未來減量；標章上方表示為 Carbon Trust 認證，中間的數字為碳足跡的計算數據。
英國	Quality Assurance Scheme		此標章意涵為宣告碳抵銷認證，表示此抵銷活動已符合規範要求、並由 AEA 認證機構評估通過。
美國	Carbon Label for California		標章意涵為宣告產品碳足跡低於同類型產品的全國平均值，標籤類型可分為低碳標誌、碳分數及碳等級三種。
美國	CarbonFree Label		此標章主要為宣告產品已經過專業第三方認證為碳中和(碳抵減)產品；Carbon Fund 機構並會於網站上成立該產品專屬之零碳網頁。
美國	Carbon Labels		此標章意涵為宣告碳排放量；標章右上角的數字為碳排放量數據，下方標示此標章是由 Carbon Labels 組織核發。
加拿大	CarbonCounted		此標章意涵為宣告該產品或服務之碳排放量，右上角為碳排放數據，下方顯示提供評估的 Carbon Counted 機構名稱。
瑞士	Climatop		此標章傳達該產品已經由 climatop 機構認證，並已有效減少碳排放量 20%。

德國	Product Carbon Footprint		<p>此標章意涵為宣告該產品已經通過 Product Carbon Footprint 機構評估產品生命週期結果為合格之產品，標章上無標明碳排放量。</p>
日本	Carbon footprint		<p>標章主要意涵為產品已達到 CO₂e 減量，標章上方數字為減量數據。</p>
歐盟	Carbon Labels		<p>此碳標章宣告使用生質燃料及潤滑油可有效減低碳排放量 60%。</p>
韓國	CooL (CO ₂ Low) Label		<p>碳標籤分為兩類，一類標示碳排放量，另一類標示碳排放減量；右上方的數字為排放或減量數據，左方文字表示企業對氣候變遷的回應或標明此產品為益於環境的低碳產品。</p>
泰國	Carbon Label		<p>此標章為宣告碳排放減量百分比，以不同顏色分別表示減量百分比，由左至右為 10%至 50%的減量標章。</p>
澳洲	Greenhouse Friendly Label		<p>此標章表示企業已對產品進行碳排放量之生命週期分析，並從已註冊之減量專案中抵銷排放量。</p>
台灣	台灣碳足跡		<p>此標章是由綠色心形及綠葉組成腳印，並搭配「CO₂」化學符號及愛心中的數字揭露產品「碳足跡」，整體圖示意涵用愛大自然的心，減碳愛地球及落實綠色消費，以邁向低碳社會。</p>

資料來源:台灣產品碳足跡資訊網

2-4.3 碳標籤的建立

人類活動是導致溫室氣體產生的主要原因，而消費型態則是人類活動中最重要的一個環節，如果不能提昇永續生產與消費的方式，那全球環境就會持續的惡化下去。

產品碳標籤的建立，就是從永續生產與消費的觀點出發，鼓勵廠商核算產品的碳足跡，並以碳標籤標示產品所排放的二氧化碳當量，俾供民眾選購參考。碳標籤所標示的數字，雖然不能和其他同類型的商品進行比較，但可以讓民眾知道，計算該產品的企業有心為了改善環境而盡一份心力；因此，選購標示碳標籤產品的民眾，除了是認同企業對環境所盡的責任之外，也是間接鼓勵企業對其產品進行二氧化碳減量活動，透過政府政策的規劃與實施，可以逐步來影響民眾的消費行為並改善氣候變遷問題。

2-5 模組化設計

模組化的定義在於利用共通的零組件，以創造產品變異性的一項策略（徐仁雄，2003），產品通常依功能、結構等之考量可以模組化來設計，以延長主要的壽命，若主要零件能較長壽，則其他零組件就可以依其平均壽命來加以模組化設計規劃，使其每一模組之零組件壽命相當，替換時能物盡其用且易於修護，修護簡單，使產品的生命週期得以延長，同時模組化設計也可以與其他能相容之模組相結合藉以擴充產品功能，使其將不至於過時與不符實際所需，同時也可以相輔相成。

模組化對於生產性來說，應是減少庫存，方便組裝，將組裝的作業流程減化到最低。而綠色模組化組裝的設計，除了考慮以上的方便性外，亦可透過一些組裝性需求的評估過程，使產品在設計初期階段，便能夠考慮到裝配線上的操作需求，進而將可能發生的問題予以解決，除了避免重復設計錯誤外，亦可增強產品設計的完整性，縮短設計時間即可節省多方的能源。

為延長產品生命週期，模組化設計除可以延長其組件之壽命以外，為了要使其每一模組之同組件其壽命相當，替換時能物盡其用，並且在部分零組件損壞後，能夠順利的更換與維修，達到每項零件都實用到最後的較優勢設計，所以許多方的文獻研究除了針對危害綠色設計相關性產品零件外，也探討相關組與組之間的平均壽命，達到減少資源浪費並節省成本之消耗。(林漢川，1995)

模組化設計的主要策略目的可分為以下幾點：(曾柏偉、謝文和，2000)

1. 可降低零件數目：採用整體規劃的觀點來做設計，可刪除多餘零件。
2. 增加產品可靠度：可在設計階段即考慮到潛在可能發生的問題，並予以解決，因此產品的可靠度比以往增加。
3. 降低製造成本：因有較少的零件數、較高的可靠度、較低的重新製作率、較少的材料處理設備，再再都可降低製造成本。
4. 降低開發成本：在研發時程上的縮短使得開發成本可降低。
5. 縮短產品的發展週期：不同部門的工作同時進行，可使部門之間的回饋降至最低，因而節省了整個設計發展的時程。
6. 增加競爭力：因產品的發展週期短，可比競爭對手早一步進入市場，因成本較低，也比競爭者有利。
7. 降低重施工率：各部門工作同時進行，一發現有問題發生及時進行修正，避免錯誤的工作進行很多次。
8. 降低工程上的設計變更：與降低重新製作率一樣，因各部門工作的同時進行，一發現設計錯誤，大家便評估實施的可能性，不行的話便及時進行設計變更修正，避免作太多錯誤而需重新來過。
9. 降低供應商的數目：因設計模組化及零件的減少，可使所需供應商數目減少。
10. 降低直接人工數：可使設計儘可能自動化、精簡化、模組化降低所需之直接人工數。

2-6 設計結構矩陣 (Design Structure Matrix, DSM)

設計結構矩陣 (Design Structure Matrix, DSM)，又稱為關聯結構矩陣 (Dependency Structure Matrix) 為 Steward (1965) 所提出，用以解決複雜的專案任務、規劃工作程序的有效方法。藉此標示出各零組件之關聯性與作業訊息關係，可清楚地觀察各零組件的關係與流通傳遞方式。此方式為將複雜之問題依分類原則切割為較小單位，並藉由矩陣方法來解析單位間的交互關係，以增進問題求解效率。

設計結構矩陣的重點在於分群 (Cluster Analysis)，而分群之主要目的是為了將已建構好之各個作業，透過此動作而使所有作業形成數個族群，有助於管理並提升效率。

Steward (1965) 並提出下述四種分類原則，提供各類型專案依其專案特性選擇及進行單元解析，以求適切表達專案內容。

1. 依產品或結構或要件分類。
2. 依作業組織或團隊分類。
3. 依作業項目或程序分類。
4. 依設計參數分類。

吳建南 (2007) 由 DSM 所標示出各作業項目或零組件之關聯性與作業訊息關係，可以清楚地觀察各作業項目或各零組件之組裝順序與訊息間流通方式。鑒於傳統企業在工作順序排程工具，都以甘特圖 (Gantt Chart)、直條圖、流程圖、組織圖或訊息流程圖表示時間與工作順序，雖然簡單容易溝通使用。其缺點在設計開發若面臨複雜且作業流程繁複時，管理者難以直覺去判斷相關性與對整個系統的影響，故此類圖表較適用不複雜的時間與作業項目順序。

蕭翠蓮 (2007) 指出不同於一般作業流程管理，設計結構矩陣是處理複雜的任務 (或群組) 關係規劃，達成為任務 (或群組) 被創造出一個新的並較為明智的順序 (或歸類群組)。

郭奉宜 (2004) 透過建立、分割 DSM，能夠清楚的辨識作業與作業間之關聯性以及作業間初步之順序。

Sule 等 (2006) 將相關參數，導入設計結構矩陣法，解釋從屬性關係結構矩陣，將一般建築較為的複雜的大樓設計規劃方案，利用設計結構矩陣的參數設計順序決定的根據，得以找到設計較簡易的前端策劃，過程中得到幾個結論，能確實改進在具有競爭性市場之效率上，於其設計上建議適當的順序，利用從屬性的結構關係，及設計專業人士的經驗成為很重要的關鍵點，在發展過程中設計結構矩陣需要相當完善的經驗，利用這些經驗的假設參數知識，方能造就比較完善的設計結構矩陣。

Dunbing (2000) 利用設計結構矩陣探討設計流程再造 (Re-engineering) 於同步工程 (Concurrent Engineering)。將設計任務相互依賴關係 (Interdependency) 分為非連結 (Uncoupled)，連結 (Coupled) 及減低連結 (Decoupled)，並且藉有可達矩陣 (Accessibility Matrix) 轉置關係圖，繪製出彼此相互依賴關係 (Interdependency) 的設計結構矩陣，藉此演算有助於釐清設計流程上工作順序層級。

2-7 文獻小結

由於設計結構矩陣，提供了一個良善的系統流程規劃及評估解決方法。後續研究將利用設計結構矩陣，針對產品零件進行分類排序，以利找出各個組裝件上彼此的相互關聯性，有助於將零組件模組化，藉此減少零件數目，降低製造成本，又可助於後續進行回收拆解的便利，藉由碳足跡檢測評估，提供了一個量化溫室氣體的製造排放量，可使人了解廢棄產品，若不妥善回收處理將對於環境所造成的為害與影響。

第三章 研究理論與方法架構

本文主要針對零件與產品本身的組合概念，期許運用更有效率的方式，整合後端產品進行拆解程序的策略，將產品區分為許多次組裝或模組，可以讓後續的回收拆解過程中擁有很大的彈性，達到提昇回收與分類的效率，使產品達到綠色設計為目標。

設計結構矩陣是在產品開發工程過程中，為了處理這個問題，所發展的應變方式，其運作方式，是將複雜的產品在製造分析過程中運用結構矩陣方法，以輔助產品的設計和發展，從完全不同的數百個構件，互相合作配合，使複雜的人和任務之間的關係，建立規範或整合，方能產生完整的產品。

由於碳足跡其範圍涉及到整個生命週期，當產品進入生命週期末端，其後續的回收與拆解甚至廢棄時，藉由產品的碳足跡，了解當產品進入末期時所對於環境的影響。

3-1 設計結構矩陣法則

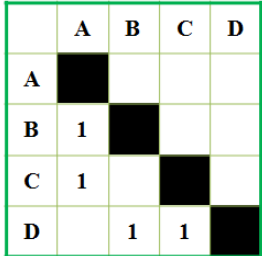
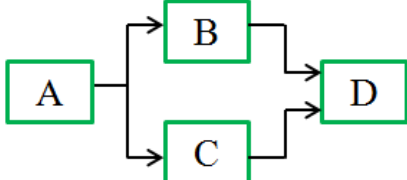
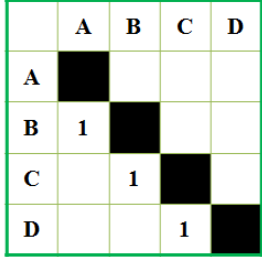
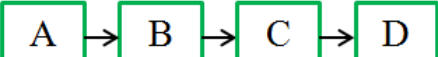
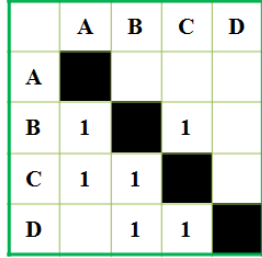
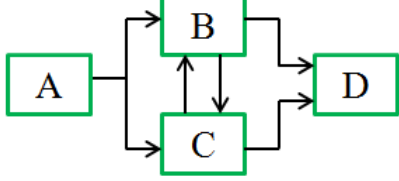
藉由拆解設計將物件進行拆解出各零組件，後續利用設計結構矩陣將進行各零組件之評估，並找出其關聯性與作業訊息之關係，將可以清楚地觀察各零組件之組裝順序與訊息間的流通方式。由於 DSM 方法是處理複雜的任務(或群組)關係的規劃，達成為任務(或群組)被創造出一個新的並較為明智的順序(或歸類群組)。

3-1.1 設計結構矩陣之運作

由於設計結構矩陣提供了一個良善的系統流程規劃及評估解決方法。在產品方面組件上利用圖解的方式，將彼此的關係，用圖形加以描繪，以便設計人員或管理人員進行全面分析的技術，可表達在構成要素中其交互的影響，如表 3-1

(Sule, 2006)，描述系統元件間有三種基本組成的關係：平行的關係(獨立性)，順序的關係(相依性)和連接的關係(交互作用性)。

表 3-1 設計結構矩陣圖

三種元件關係說明 (Three Configurations that Characterize a System)																											
關係 (Relationship)	圖形表示 (Graph Representation)	DSM 表示 (DSM Representation)																									
獨立性 (Parallel)	 <table border="1" data-bbox="555 936 817 1191"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>1</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>1</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <th>D</th> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	A	■				B	1	■			C	1		■		D		1	1	■	 <pre> graph LR A[A] --> B[B] A --> C[C] B --> D[D] C --> D </pre>
	A	B	C	D																							
A	■																										
B	1	■																									
C	1		■																								
D		1	1	■																							
相依性 (Sequential)	 <table border="1" data-bbox="555 1227 817 1482"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>1</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td>1</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <th>D</th> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	A	■				B	1	■			C		1	■		D			1	■	 <pre> graph LR A[A] --> B[B] B --> C[C] C --> D[D] </pre>
	A	B	C	D																							
A	■																										
B	1	■																									
C		1	■																								
D			1	■																							
交互作用性 (Coupled)	 <table border="1" data-bbox="555 1518 817 1774"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>1</td> <td>■</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <th>D</th> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	A	■				B	1	■	1		C	1	1	■		D		1	1	■	 <pre> graph LR A[A] --> B[B] A --> C[C] B --> D[D] C --> D B <--> C </pre>
	A	B	C	D																							
A	■																										
B	1	■	1																								
C	1	1	■																								
D		1	1	■																							

1. 獨立性 (Parallel):

兩者作業間沒有訊息相互交流，是完全獨立的作用方式，其動態特徵表現為 B 與 C 作業可以同時進行。由於兩工作並無任何交流作業，其產出又同為下個工作前置工作時，此情形又稱為平行關係。

2. 相依性 (Sequential):

兩者的作業方式，只存在於一種單向依賴的關係，其動態特徵表現為 A、B、C 與 D 作業的串列。後者工作仰賴前者的產出，但後續工作只要有部分前置工作的產出就可以開始進行，但後續工作的完工必須等前置工作完成方能完成。

3. 交互作用性 (Couple):

兩個作業間存在著訊息交流的關聯，且 B 與 C 的訊息關係是雙向的，即 B 作業需要 C 作業的訊息，同時 B 作業也需要 C 作業的訊息。其動態特徵表現為 B 與 C 之間須透過多次反覆及交流，才能完成開發任務，其動態關聯的作業的數量亦可超過兩個以上。

設計結構矩陣，主要是使用方型矩陣，來表現專案中各個作業間，相互資訊依賴的關係與如何相互牽制，圖 3-1 所示為 Steward 提出的設計結構矩陣表示方法，首先，依專案作業數量 n ，建構一組 $(n \times n)$ 的方型矩陣，將預設之作業程序依序填寫於矩陣的 (行) 與 (列)，其中，矩陣之 (行) 代表接收資訊之作業，矩陣之 (列) 則代表提供資訊的作業，再以記號 (1) 或填入數值 (權重) 之方式，於矩陣內部標記作業間資訊依賴之關係。如圖矩陣中 (5,3) 位置之標記讀為「X3 作業需提供資訊予 X5」，作業 (2,9) 位置之標記，讀為「X9 作業需提供資訊予 X2 作業」，其餘標記內容均以此類推 (Steward, 1965)。

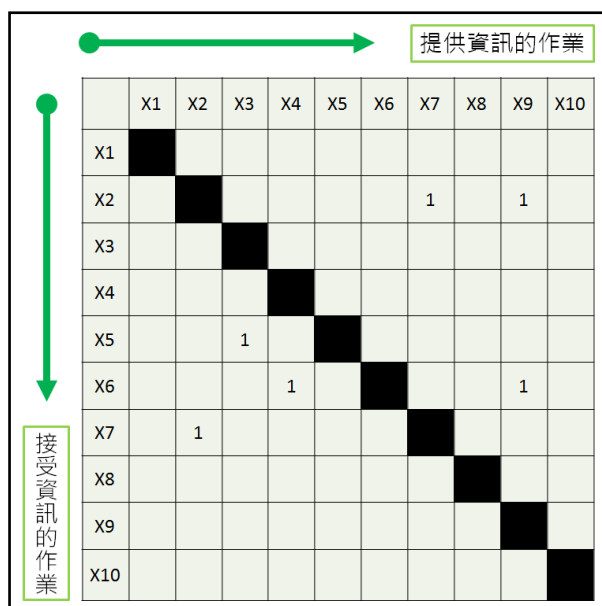


圖 3-1 設計結構相依矩陣

3-1.2 設計結構矩陣之分割

在一個複雜的工作中，包含了大量的作業活動，其關聯性可能為以上所分析的獨立性、相依性以及交互作用性作業，利用矩陣來表示作業與作業之間的關係，既清晰又明瞭，為了能夠辨別出各項作業是屬於何種關聯性及順序，就必須將矩陣有效地重新排列。藉由 Steward(1965)提出的分割法則(Partitioning Algorithm)，以分割簡化並重新排列矩陣，使其依作業順序與不同關聯屬性排序，予以分割簡化並重新排列矩陣，使其依作業順序與不同關聯屬性排序，以獲得分割與重新排列的設計結構矩陣。

由於圖 3-2 元件關連圖所示，無法輕易看出其關連性，而透過重新排列矩陣圖 3-3 所示，將使各作業項目或零組件之關聯性易於確認，以便後續分群組，其分割法則包含下列各步驟，並以此圖為例說明，在此案例中含有 7 種元件，其關連性確認分別為 (2,1)、(6,2)、(7,2)、(5,3)、(7,3)、(2,5)、(3,5)、(4,5)、(7,5)、(7,6)、(3,7)、(5,7)，於表格中填入 1 做為標記。

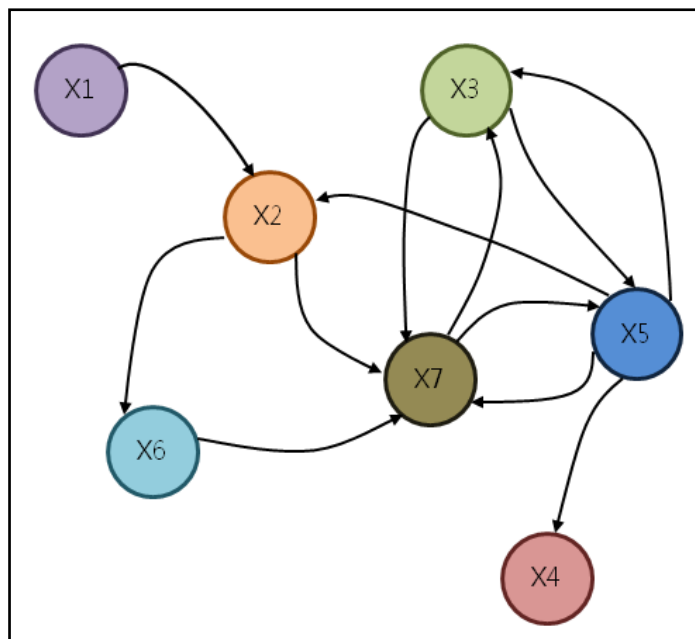


圖 3-2 元件關連圖

Task	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1							
X2	1				1		
X3					1		1
X4					1		
X5			1				1
X6		1					
X7		1	1		1	1	

圖 3-3 DSM-分割圖之 1

進行交互作用前的共同作業方式，首先排列獨立與相依性工作，確認矩陣中的任一（列）Row 是否為空白，如果是，將此列作業放到矩陣最上方亦為最左上方，並在（行）Column 中找出相同作業，將該行作業移到矩陣最左上方，當矩陣重新排列後，將此步驟所確認之作業由矩陣中暫時移除；此步驟代表這個作業並無前置作業無關聯性，既無被關連也無關連，故可以移除，所以將該作業移到最前面次序。

1. 首先檢視「橫列」，矩陣中 X1 的（列）為空白，將 X1 的（列）作業放到矩陣最上方，並將 X1 的（行）作業移到矩陣最左側，當矩陣重新排列後，將 X1 的作業由矩陣中暫時移除（如圖 3-4）。

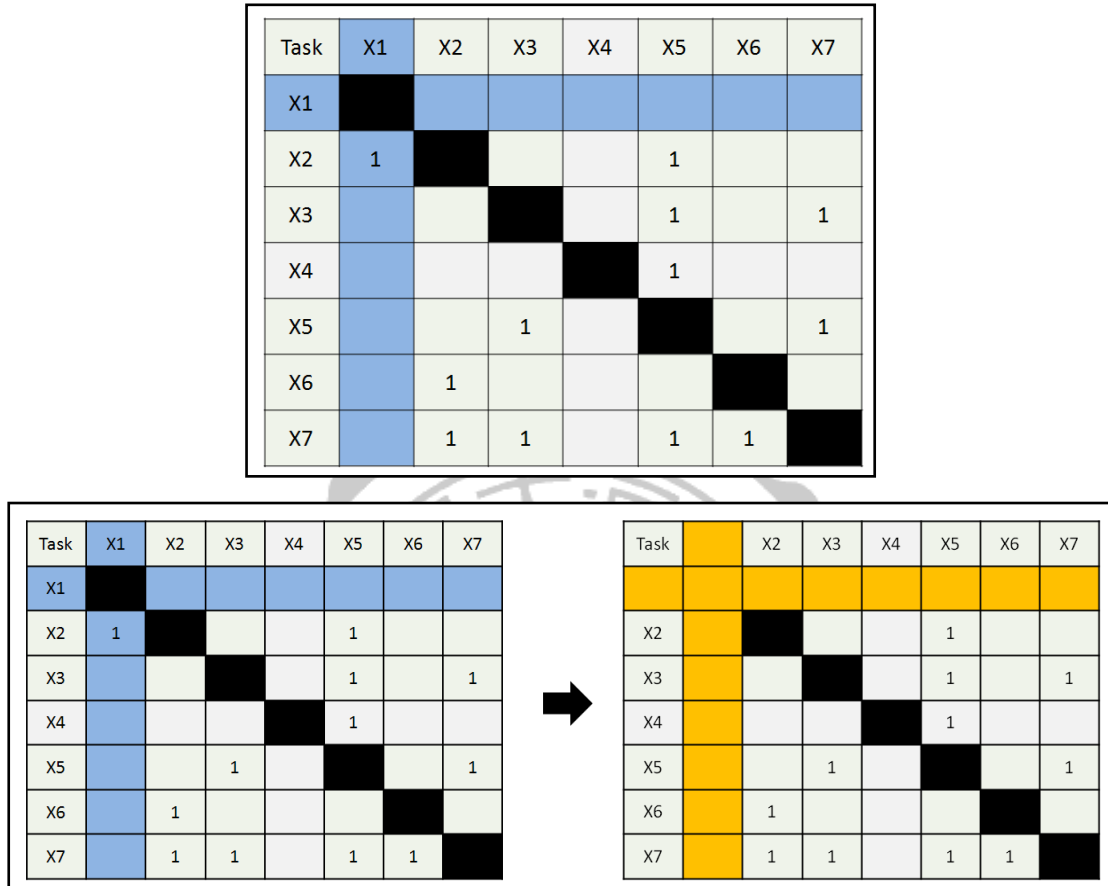


圖 3-4 DSM-分割圖之 2

2. 依序將（列）為空白的作業由矩陣中暫時移除，再次檢查「橫列」的部份是否都已將空白處都取出，後續則進行（行）的部份（如圖 3-5）。

Task	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1							
X2	1				1		
X3					1		1
X4					1		
X5			1				1
X6		1					
X7		1	1		1	1	

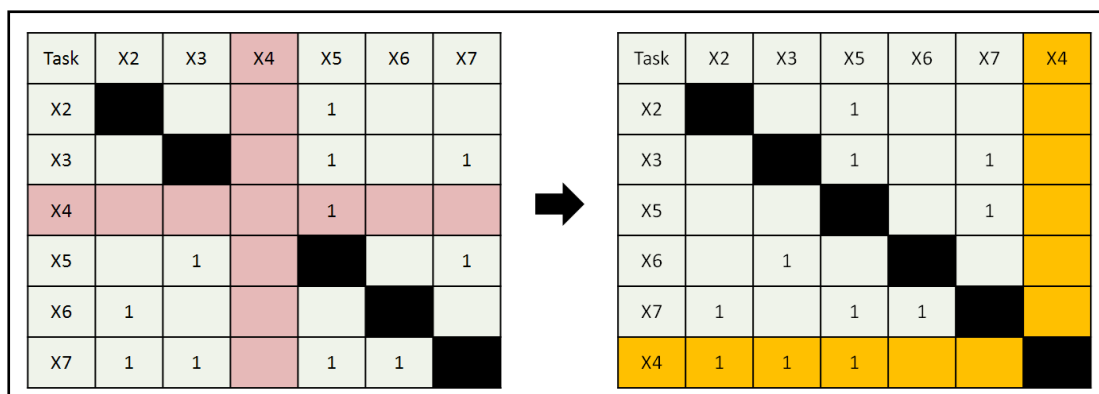


圖 3-5 DSM-分割圖之 3

3. 確認矩陣中的任一（行）是否為空白，如果為是，將此（行）作業放置於矩陣最右側，並在（列）中找出相同作業，將該（列）作業移到矩陣最下方，當矩陣重新排列後，將此步驟所確認之作業由矩陣中暫時移除；此步驟代表這個作業並無後置作業，所以將該作業移到最後面次序。
4. 再檢視「直行」，矩陣中 X4 的（行）為空白，將 X4 的（行）作業放到矩陣最右側，並將 X4 的（列）作業移到矩陣最下方，當矩陣重新排列後，將 X4 的作業由矩陣中移除（如圖 3-6）。

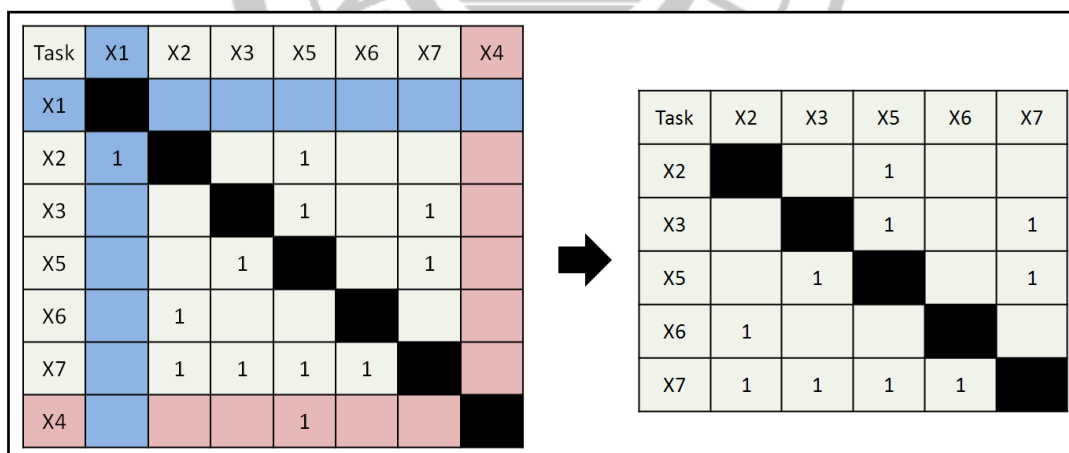


圖 3-6 DSM-分割圖之 4

5. 依序將（行）為空白的作業皆由矩陣中暫時移除，檢查「直行」的部份是否都已將空白處都取出。矩陣經過（行）將空白處取出分割後，此時需回到（列），檢視是否因（行）取完後，又出現了（列）的空白處，直到（行）與（列）皆無空白處。

6. 重複前步驟，直到矩陣中沒有空白（行）與空白（列）存在，所剩下的 X2、X3、X5、X6、X7 之（行）與（列）則皆無空白處，如圖 3-7 所示，此時經過分割後，所剩作業即為交互作用性 (Coupled) 作業。

Task	X2	X3	X5	X6	X7
X2	█		1		
X3		█	1		1
X5		1	█		1
X6	1			█	
X7	1	1	1	1	█

圖 3-7 DSM-分割圖之 5

交互作用性作業可分為兩種，分別為兩兩比較分割方式、迴圈分析方式（蕭翠蓮，2007）。

1. 兩兩比較分割：

確認交互作用的作業，目的在使其成為一個群組。選擇任一個步驟一所剩下之作業，利用「行」與「行」訊息由後往前判定，進行資訊向前回饋或向後傳遞搜尋，搜尋到初始作業為止，將所有搜尋過的作業視為一個群組，再將每一個這樣的群組視為一個單一作業。重複前面步驟，直到所有的工作都被排序。如圖 3-8 所示，由後往前兩兩相比較，將工作較為複雜者往後移動，各列依序排列為 X6、X2、X3、X7、X5。

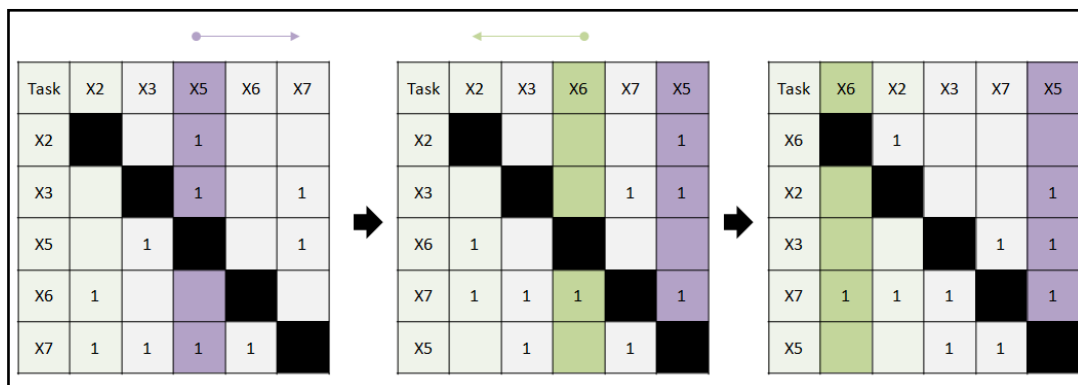


圖 3-8 DSM-兩兩比較分割圖

圖 3-9，為兩兩比較分割後之結果，由表 3-1 元件關係的三個種類所做的分析，我們可以從中輕易的由圖中看出，X1 與 X4 作業分別為獨立性作業，X6、X2 作業則為相依性作業，而 X3、X7、X5 為交互作用性作業。

Task	X1	X6	X2	X3	X7	X5	X4
X1	■						
X6		■	1				
X2	1		■			1	
X3			1	■	1	1	
X7		1	1	1	■	1	
X5				1	1	■	
X4							■

圖中黃色框圈出 X1 和 X4 為獨立性作業；X6 和 X2 為相依性作業；X3、X7、X5 為交互作用性作業。

圖 3-9 DSM-兩兩比較分割之完成圖

2. 迴圈分析法則：

圖 3-10 為分割後交互作用性作業結果，若以迴圈分析的方式進行如下，任意選擇 X3 作業為初始作業，而 X3 之前置作業為 X5，X5 之前置作業為 X3，所以我們得到一個迴圈作業 (X3、X5)，將 X3、X5 作業視為一個群組，再將 X3、X5 視為一個單一作業。

Task	X2	X3	X5	X6	X7
X2	■		1		
X3		■	1		1
X5		1	■		1
X6	1			■	
X7	1	1	1	1	■

圖 3-10 DSM-迴圈分析分割圖

而其他若無迴圈，則分別依順序往下一步驟，亦可得知 X2、X6、X7 作業無法與其中作業成就一個迴圈，故其為此迴圈之獨立作業，可依其工作重要性完成其獨立的作業方式。以此法完成的迴圈分割之結果，同樣由表 3-1 元件關係的三個種類所做分析，亦可從其中看出得到如圖 3-11 所示的結果，X1 與 X4 作業分別為獨立性作業，X5、X3 則為交互作用性作業，而 X2、X6、X7 作業為相依性作業。

Task	X1	X5	X3	X2	X6	X7	X4
X1	■						
X5		■	1			1	
X3		1	■			1	
X2	1	1		■	■	■	
X6				1	■	■	
X7		1	1	1	1	■	
X4		1					■

圖 3-11 展示了 DSM-迴圈分析之分割完成圖。圖中表格的單元格顏色和內容如下：

- X1: 獨立性作業 (黑色)
- X5: 交互作用性作業 (黑色, 1)
- X3: 交互作用性作業 (1, 黑色)
- X2: 相依性作業 (1, 1, 黑色, 黑色, 黑色)
- X6: 相依性作業 (1, 黑色, 黑色)
- X7: 相依性作業 (1, 1, 1, 1, 黑色)
- X4: 獨立性作業 (1, 黑色)

圖 3-11 DSM-迴圈分析之分割完成圖

透過建立、分割 DSM，我們可以清楚的辨識作業間之關聯性及作業間初步之順序；透過分割 DSM，我們可以找出交互作用性作業之最先作業及作業間的順序，所以可以依此關聯性之基礎，做為發展分組與規劃圖之用。

根據（圖 3-9 DSM-兩兩比較分割圖）與（圖 3-11 DSM-迴圈分析之分割完成圖），兩者間透過交互作用性作業完成不同的排列組合，在此案例中可以看出兩兩比較分割圖，其交互作用性作業較為明顯，對於後續的規劃處理較有顯著的幫助。

3-2 碳足跡的架構說明與限定

自英國標準協會(BSI)於 2008 年底公佈了《PAS 2050:2008 規範》，行政院環境保護署參考了以上的規範與《ISO/WD.2 14067-1》及《CNS 14044:2006》，於 2010 年 2 月公告了「產品與服務碳足跡計算指引」，並積極推動產品碳足跡評估及碳標籤的推動，而陸續公告了「碳標籤證書先導期作業規範」、「推動產品碳足跡標示作業要點」及「碳足跡產品類別規則訂定指引」，提供產業評估產品碳足跡的依據標準。

根據行政院環境保護署，所制定的「產品與服務碳足跡計算指引」的內容，並配合其相關制定的計算方法與流程，使未來其研究成果能實際應用於國內產品開發中。

3-2.1 產品碳足跡評估方法

在進行產品碳足跡評估時，應包含生命週期評估的四個步驟，目的與範疇界定、盤查分析、衝擊評估與結果之闡釋。以產品的生命週期作為產品系統之模型，再細分成組單元程序，此組單元程序反映出生命週期的不同階段，包含了原物料取得、製造、使用以及最終處理。在後續量化程序之前，須確認產品類別規則（例如，在系統邊界、模組化、分配、數據品質等）適合進行，則應予以使用。其目的是為了量化產品所造成之溫室氣體排放，包含了個別評估、同一組織內之比較性評估、商業交易的型態、隨時間進行之減量評估，以及為一群預期使用者所準備。在界定評估的範疇時，應考量並明確陳述下列項目，並清楚界定，且應與預期之應用一致：

1. 產品系統：

產品的碳足跡評估為向消費者溝通，此產品碳足跡的量化應包含生命週期的所有階段。

2. 功能單位：

在產品碳足跡評估的範疇，應確認該產品系統的功能。功能單位應與評估的目的範疇一致，主要目的是提供參考，使投入與產品依數學知識予以正規化。因此，功能單位應清楚地界定，且為可量測的。

3. 系統邊界：

系統邊界決定產品碳足跡評估應包括哪些單元過程。凡存在於產品相關且依據 CNS 14025（環境標誌與宣告—第 3 類環境宣告—原則與程序）所發展的產品類別規則，而該產品類別規則（Product Category Rules, PCRs）的系統邊界與本條款建立之系統邊界不互相衝突，該 PCRs 所詳述之系統狀況應構成此產品的系統邊界。

4. 數據與數據品質要求：

與產品相關所記錄之數據，應包含該產品系統邊界內所有溫室氣體排放。數據品質要求應考量，需認定為一級活動數據、二級數據做為溫室氣體排放評估之用途。

3-2.2 數據蒐集

（行政院環保署-產品與服務碳足跡計算指引，2010）指出，與產品相關所記錄之數據，應包含該產品系統邊界內所有溫室氣體排放。當在認定一級活動數據與二級數據做為溫室氣體排放評估之用途時，應考量下列要求：

1. 與時間相關之涵蓋範圍：時間的年份以及最低蒐集時間長度，應盡可能取得對於評估中產品有時間特定性之數據。
2. 地理特性：數據蒐集的地理範圍（例如區、國別、地域）等，應盡可能取得具有該產品地理特殊性的數據。
3. 技術涵蓋範圍：數據是否與特定技術或混合技術相關，應盡可能取得與該評估中產品特定技術相關之數據。

4. 資訊的正確性（例如數據、模型以及假設等），應盡可能取得更精確之數據。
5. 精準性：針對每一項數據衡量數據值的變異性（例如：變異數），應盡可能取得更精準之數據（亦即擁有較低統計變異數）。
6. 完整性：數據測量之百分比，以及數據代表母體之程度（樣本大小是否足夠，周期性測量是否足夠等等）。
7. 一致性：質性評估，此分析中不同組成部分的數據選擇方式是否一致。
8. 重現性：質性評估，方法與數據的訊息允許另一獨立從業者，重製此份評估報告之結論的程度。
9. 數據來源：關於此數據的一級或二級數據性質。如表 3-2。

表 3-2 數據來源

一級活動數據	二級數據
一級活動數據應針對個別製程或製程發生所在之廠址進行蒐集，並應具該製程之代表性。應自施行本指引之組織所擁有、營運或控制之製程蒐集，但一級活動數據要求不適用於下游排放源。	二級數據來源之選擇，以經查證符合之刊物，以及來自其他同等資格來源之數據（例如：國家政府、聯合國正式刊物，以及聯合國贊助組織之刊物）。當投入不要求一級活動數據時，可使用二級數據。

資料來源：本研究整理

3-2.3 全球暖化潛勢(GWP) 與二氧化碳當量(CO₂e)

由於溫室氣體種類繁多，京都議定書所涵蓋之下列六種氣體：CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs 以及 SF₆。在計算時可使用政府間氣候變化專門委員會 (IPCC, Inter Governmental Panel on Climate Change) 所公布的全球暖化潛勢係數，做為計算依據。

全球暖化潛勢 (Global Warming Potential, GWP) 是將不同溫室氣體的影響程度轉換成相同當量的二氧化碳係數，也就是特定時間內(通常指一百年)每種氣體相對於 CO₂ 所造成的暖化影響力，亦作全球升溫潛能值，是衡量溫室氣體對全球暖化的影響。是將特定氣體和相同質量二氧化碳比較之下，造成全球暖化的相對能力。根據標準資料甲烷(CH₄)的暖化潛勢是 25(代表一公噸的甲烷所造成的暖化效應是同量 CO₂ 的 25 倍)，氧化亞氮的暖化潛勢是 298，以及其他含氟氣體暖化潛勢甚至超過 10,000。

因為有些氣體停留在大氣的時間遠比其他種類來得久遠。舉例來說：一公噸的 CO₂ 的暖化效應雖然較輕微，但是卻會持續影響好幾世紀。相反的，一公噸的甲烷的暖化效應較嚴重，但是影響的時間相對短暫。

二氧化碳當量(CO₂e, Carbon Dioxide Equivalent)是測量碳足跡(Carbon Footprints)的標準單位，是將不同的溫室氣體對於暖化的影響程度用同一種單位來表示。例如，2009 年英國排放了 4.74 億公噸 CO₂；但是如果將甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)和含氟氣體算進來，則是排放了 0.92 億公噸二氧化碳當量(CO₂e)，英國總共排放了 5.66 億公噸二氧化碳當量。

3-2.4 分配與計算

在分配程序作業上，需與其他產品系統共用的過程做鑑別，並依據程序加以處理。但某些產出可能是部份聯產品與部分廢棄物，在此情形下，由於該等投入與產出應只分配於聯產品的部分，故有必要鑑別聯產品與廢棄物間之比例。在所考量系統中，分配程序應一致地應用於類似之投入與產出。盤查係基於投入與產出間之物質平衡，分配程序因此須儘可能的接近基本的投入-產出關係及特性。

在評估溫室氣體排放時，應包含產品生命週期中製造過程、投入與產出所造成之溫室氣體排放。根據行政院環保署產品與服務碳足跡計算指引中，功能單位的溫室氣體排放計算方式：

1. 一級活動數據以及二級數據應以該活動的排放係數，乘上活動數據，轉換成溫室氣體排放。此部分應記錄為產品每功能單位之溫室氣體排放。
 2. 溫室氣體排放數據應將相對之全球暖化潛勢(GWP)表 3-3，乘上個別溫室氣體排放數據，轉換成二氧化碳當量排放。
 3. 加總其結果，獲得二氧化碳當量表示之每功能單位的溫室氣體排放。
- 當計算結果時，結果有兩種為「企業對消費者」、「企業對企業」。

- (1) 企業對消費者：該產品引起的產品完全生命週期溫室氣體排放（包含使用階段），以及產品使用階段單獨之溫室氣體排放。
- (2) 企業對企業：直到投入抵達一新組織時，以及包括抵達當下的溫室氣體排放，此包含所有上游排放。

表 3-3 全球暖化潛勢

工業名稱或一般名稱	化學符號	GWP 100 年期水平
二氧化碳 (Carbon dioxide)	CO ₂	1
甲烷 (Methane)	CH ₄	25
一氧化二氮 (Nitrous oxide)	N ₂ O	298
蒙特婁議定書所管制之物質		
CFC-11	CCl ₃ F	4,750
CFC-12	CCl ₂ F ₂	10,900
CFC-13	CCIF ₃	14,400
CFC-113	CCl ₂ FCF ₂	6,130
CFC-114	CCIF ₂ CCIF ₂	10,000
CFC-115	CCIF ₂ CF ₃	7,370
Halon-1301	CBrF ₃	7,140
Halon-1211	CBrClF ₂	1,890
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	1,640
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1,400
Methyl bromide	CH ₃ Br	5
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	146
HCFC-22	CHClF ₂	1,810
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	77
HCFC-124	CHClFCF ₃	609
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	725
HCFC-142b	CH ₃ CCIF ₂	2,310
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	122
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CCIF ₂	595
氫氟碳化物 (Hydrofluorocarbons)		
HFC-23	CHF ₃	14,800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3,500
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,430
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4,470
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	124
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	3,220

資料來源：行政院環保署-產品與服務碳足跡計算指引，2010

3-2.5 碳足跡評估計算公式

1. 溫室氣體排放量數據，是以一級或二級活動數據，乘上該活動所造成的排放係數。

$$GHG_{Emission} = Data_{Activity} \times Factor_{Emission} \text{----- (公式 1)}$$

$GHG_{Emission}$: 溫室氣體排放量數據 (單位 Kg)

$Data_{Activity}$: 一級或二級數據 (單位 Kg、Kwh、Km)

$Factor_{Emission}$: 排放係數 (單位 Kg/(Kg、Kwh、Km))

2. 二氧化碳當量，是將上式溫室氣體排放量數據，乘以相對應的全球暖化潛勢。

$$CO_{2e} = GHG_{Emission} \times GWP \text{----- (公式 2)}$$

CO_{2e} : 二氧化碳當量 (單位 Kg)

$GHG_{Emission}$: 溫室氣體排放量數據 (單位 Kg)

GWP : 全球暖化潛勢

計算碳足跡時應涵蓋所有 IPCC 所公布之溫室氣體，且其溫室氣體全球暖化潛勢係數值應依照表 3-3 (IPCC 2007)。

3. 產品碳足跡總量，為該活動的所有二氧化碳當量進行加總，可得知。

$$CFP_{Product} = \sum CO_{2e} \text{----- (公式 3)}$$

$CFP_{Product}$: 產品的總碳足跡排放量

3-2.6 資料數據建構規則

本研究主要以造成地球溫室效應的最大殺手，二氧化碳為主要考量因素。就產品面臨生命週期的末端時，產品在最終的處理時，造成溫室氣體排放（例如：廢棄物藉由回收、報廢掩埋、焚化、廢水處理等方式處理），其所產生的二氧化碳排放量也是不容小覷的，故將其納入該產品生命週期溫室氣體排放評估。在計算方面，以欲處理的廢棄物其本身各零組件的重量，乘上所選擇的處理方式所造成的二氧化碳當量排放數據與對應的全球化潛能，即可得到廢棄物進行廢氣處理時所造成的碳足跡值。

$$CFP_{Waste} = W_{Part} \times CO_{2e} \text{ ----- (公式 4)}$$

CFP_{Waste} ：廢棄物碳足跡（單位 Kg）

W_{Part} ：零組件重量（單位 Kg）

CO_{2e} ：二氧化碳當量（單位 Kg）

3-2.7 舉例驗證與說明

以燃料煤 1000 公斤，會產生多少碳足跡？並根據上述的算式驗證。

步驟一：

根據行政院環境保護署於國家登錄平台網站上所提供的溫室氣體排放係數為參考標準表 3-4，與燃料煤的總重相乘，即可得知其溫室氣體二氧化碳的排放量。

表 3-4 CO₂ 排放係數表（固定源 CO₂ 排放係數）

燃料別	排放係數 Kg C / GJ	單位
燃料煤	2.53	KgCO ₂ / Kg

$$GHG_{Emission} = Data_{Activity} \times Factor_{Emission}$$

$$\begin{aligned} GHG_{Emission} &= 1000 \times 2.53 \\ &= 2530 \text{ (溫室氣體二氧化碳的排放量)} \end{aligned}$$

步驟二：

根據 (IPCC 2007) 溫室氣體全球暖化潛勢 (GWP) 係數值 (表 3-5 所示)，得知二氧化碳的全球暖化潛勢為 1，利用步驟一所得的溫室氣體二氧化碳的排放量讀數值，將其相乘即可得知二氧化碳當量。

表 3-5 (IPCC 2007) 溫室氣體全球暖化潛勢

工業名稱或一般名稱	化學方程式	GWP 100 年期水平
二氧化碳 (Carbon dioxide)	CO ₂	1

$$CO_{2e} = GHG_{Emission} \times GWP$$

$$CO_{2e} = 2530 \times 1$$

$$= 2530 \text{ (二氧化碳當量)}$$

步驟三：

由於為單一的燃料煤，本身並無其他成分的碳排係數，因此根據上述步驟二所得的二氧化碳當量，為其最終的總碳足跡量。

$$CFP_{Product} = \sum CO_{2e}$$

$$CFP_{Product} = 2530 \text{ (燃料煤總碳足跡量)}$$

3-3 小結

在現今科技至上的影響之下，導致電子廢棄物的產量逐年攀升，為了降低電子廢棄物的產生，促使各廠在滿足消費者時，也能在產品開發階段，加入綠色設計的概念，透過模組化設計的考量與設計結構矩陣的分析與評估，將使得後續回收拆解更加順利與安全，透過碳足跡的告知，讓消費者一目了然該項產品回收的重要性，為地球盡一份心力。



第四章 實例驗證

為了使前述提出的方法與模式得到期望的成效，故在選擇可行的案例中，以零件較為明顯的產品做為評估對象，由於目前相關法規普遍在於規範電子產品，故選擇電子產品與綠色設計做一結合討論，為了達成綠色環保的概念，在多種案例的評估當中，挑選了廢棄手機作為案例研究對象，後續並提出結論與建議。

4-1 模組化設計結構矩陣應用

利用設計結構矩陣探討產品結構或要件分類，利用所收集的文獻以零件之材料檢核分析，在設計結構矩陣上，不符合綠色設計原則者做變更材料設計，或運用使環境減到最低傷害的零構件找出分類，變更材料設計的方式，則在設計結構矩陣之前就優先考慮其材料相關綠色設計的準則，由回收再利用的分解過程中，得到優先的變更。在本方法實驗之中也不斷的在其獨立性、相依性、交互作用中找出其關係範圍，是為了分析出最佳的模組化群組，故本研究所提出之矩陣，可以稱之為綠色設計結構矩陣。

首先將取得本案例之所有零件細項之 BOM 表，並熟知其零件及加工方式，得知其材料零件加工方式後，針對環境的思考模式，與此專案之管理階層人員做進一步的深入訪談，分析研究及替換工程，以對環境傷害減至最低，達成綠色設計結構矩陣的首要目標。本研究將由 Steward 所提出的設計結構矩陣為工具，前端的矩陣方式相同，而後端以不同分組方式逐一相較。

研究上以 MATLAB 軟體為工具，完成開發程式，建立連結所有零件的建構，以綠色 DSM 產品為開發資料庫，並分析元件的關聯性及簡化組裝工作；運用設計結構矩陣下的結果比較分析，完成產品之模組化設計。

4-2 案例之所有零件與規格確認

本文的研究案例為一般傳統型的手機，首先在進行探討時，必須確認手機產品所有的零組件與重量，圖 4-1 為零件的爆炸圖，其中手機相關零件中，包含了 31 個零件和其總重為 117 公克，如表 4-1 所示，並說明其使用數量及材料，由爆炸圖中可看出其組裝位置及其零件的樣式。

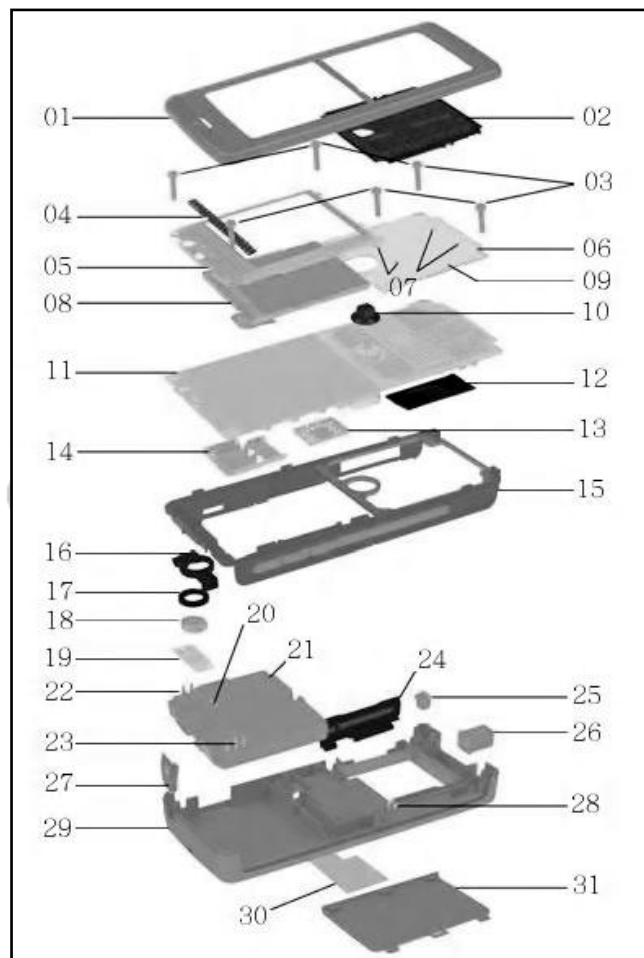


圖 4-1 手機零件規格之 BOM 圖

表 4-1 手機零件基本資料

零件規格清單				
NO	PART NAME	DESCRIPTION	MEMO	QUANTITIES
01	A-COVER ASSY	A 蓋總成(組合作)	塑料	1
02	KEYMAT T9	鍵墊	塑料	1
03	6X SCREW 1.8X8 T6	螺絲	金屬	6
04	GROUNDING FOAM	接地泡棉	塑料	1
05	LCD SHIELD	液晶顯示器屏蔽	金屬	1
06	1KE UI PWB	1KE 使用介面印刷電路板	印刷電路板	1
07	LED	發光二極管	印刷電路板	4
08	LCD	液晶顯示器	電子	1
09	DOMESHEET	圓頂片	印刷電路板	1
10	JOYSTICK BUTTON	控制桿	塑料	1
11	1JQ ENGINE MODULE	引擎模塊	印刷電路板	1
12	MMC READER LABEL	記憶卡槽讀卡器標籤	塑料	1
13	BLUETOOTH SHIELD LID	藍牙屏蔽蓋	金屬	1
14	LCD CONNECTOR SHIELD	液晶顯示器連接器屏蔽	金屬	1
15	C-COVER	C 蓋	塑料	1
16	EARPIECE COVER	聽筒蓋	塑料	1
17	EARPIECE GASKET	耳機墊圈	塑料	1
18	EARPIECE	聽筒	電子	1
19	EARPIECE CONTACT PWB	聽筒接觸印刷電路板	印刷電路板	1
20	IHF SPEAKER	IHF 喇叭	電子	1
21	ANTEANNA FRAME	天線架	電子	1
22	ANTEANNA RADIATOR (WCDMA PART)	天線散熱器 (寬頻分碼多工)	電子	1
23	ANTEANNA RADIATOR (GSM PART)	天線散熱器 (全球行動通訊系統)	電子	1
24	MMC DOOR	記憶卡槽	塑料	1
25	MICROPHONE	麥克風	電子	1
26	DC JACK	DC 插孔	電子	1
27	POWER KEY	電源鍵	塑料	1
28	BLUETOOTH ANTEANNA	藍牙天線	金屬	1
29	B-COVER	B 蓋	塑料	1
30	TYPE LABEL (LEVEL 3&4 ONLY)	類型標籤	塑料	1
31	BATTERY COVER	電池蓋	塑料	1

4-2.1 應用綠色法規於零件分類

研究針對案例之綠色設計的生命週期末端，其廢棄階段做為研究的範圍，此階段最主要就是再生利用的重要性，手機在執行拆解的過程中，就材料的回收分類項目中，大致可分為金屬類、有害物質、塑膠類、電子類、其他類的材料，手機的使用材料以塑膠類為主，由於此材料對於地球的危害是眾所周知的，主要在於無法自然分解，故回收與再利用成為很重要的課題，藉由現今的法令 RoHS(危害物質禁用指令)、WEEE(廢電機電子指令)、ErP(所有耗能產品指令)等指令與法規，將對於未來手機的設計與概念，能有所影響與轉變，如圖 4-2 所示。

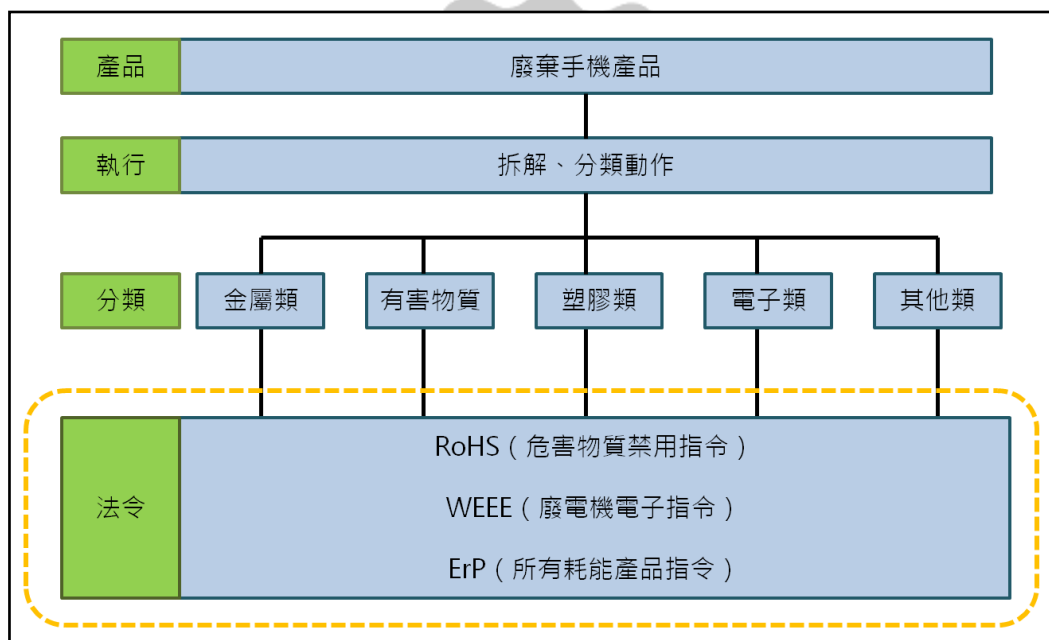


圖 4-2 手機零件分類與法規

4-3 拆解設計

手機基本上是由 LCD、上下蓋、按鍵、電池蓋、耳機孔、天線等零組件所組成供應鏈，如圖 4-3 所示。

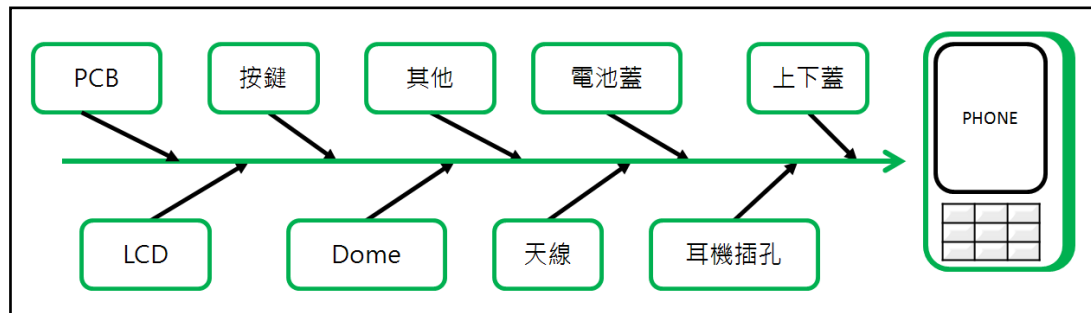


圖 4-3 手機之零組件供應鏈

當真正面臨廢棄手機，進行拆解動作時，在這過程當中，零組件大多是細而繁雜，故將其大致分為外、內、細部的拆解，處理過程如圖 4-4 所示，由於在拆解的過程當中，對於彼此零組件的關聯性並不明確，常面臨了拆解方式出現了問題、錯誤，導致後續拆解造成破壞甚至是受傷，而這可能會影響了回收人員進行拆解與回收的效率與動力。假使能使各零組件有其分群的組合，未來更可以應用其模組化，將可以使後續得拆解回收能更有效率，使回收業者更能提升回收意願，進而減少環境污染的產生。

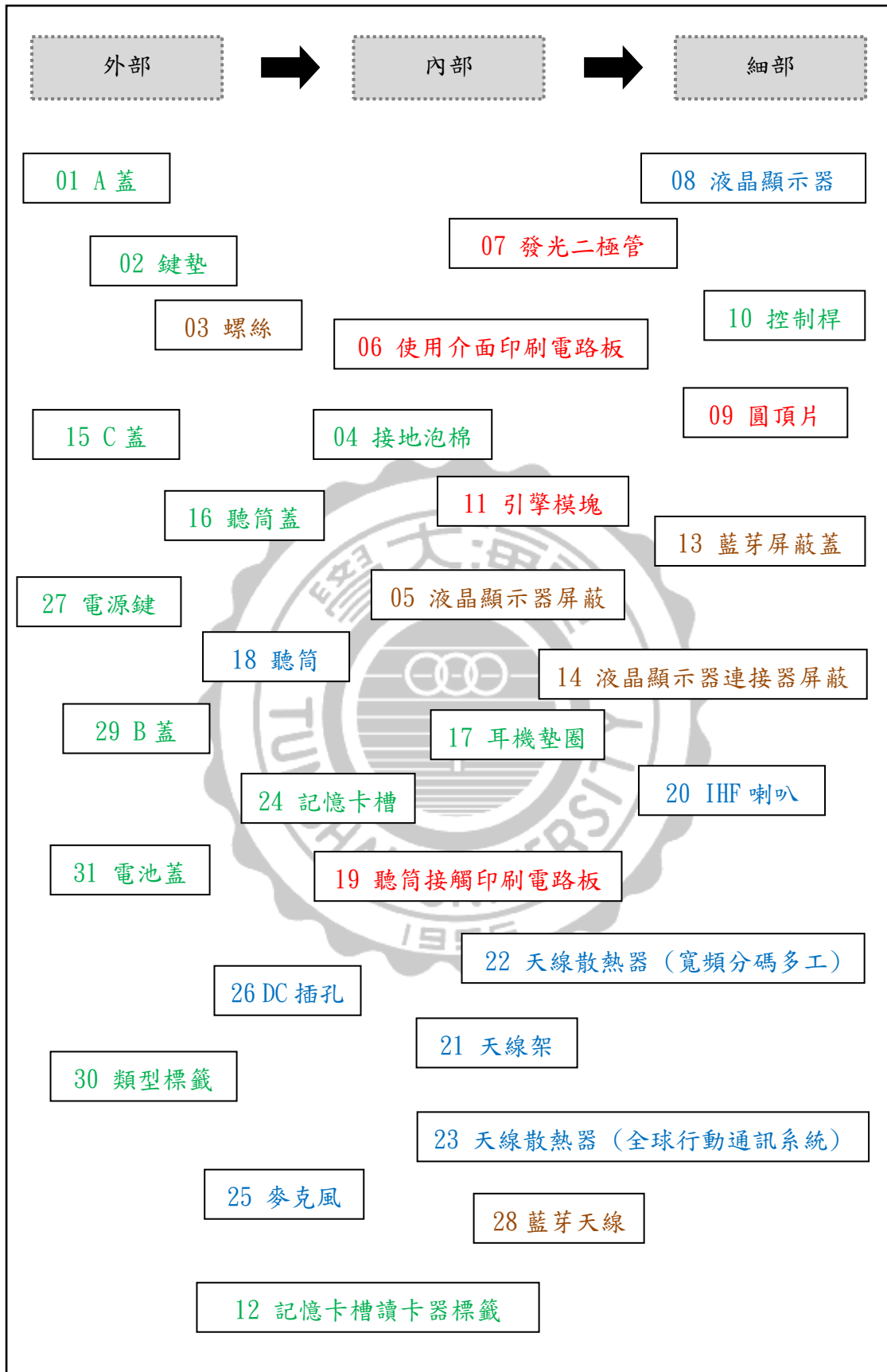


圖 4-4 拆解過程

依照廢電子回收處理方式，進行手機的材料分配回收，可分為四大類，分別為電子零件類、金屬類、塑膠類、電路板類，如表 4-2。

表 4-2 零件材料分配

電子零件類	LCD	液晶顯示器
	ANTEANNA FRAME	天線架
	ANTEANNA RADIATOR (GSM PART)	天線散熱器 (全球行動通訊系統)
	ANTEANNA RADIATOR (WCDMA PART)	天線散熱器 (寬頻分碼多工)
	IHF SPEAKER	喇叭
	EARPIECE	聽筒
	DC JACK	DC 插孔
	MICROPHONE	麥克風
金屬類	6X SCREW 1.8X8 T6	螺絲
	LCD SHIELD	液晶顯示器屏蔽
	BLUETOOTH SHIELD LID	藍牙屏蔽蓋
	LCD CONNECTOR SHIELD	液晶顯示器連接器屏蔽
	BLUETOOTH ANTEANNA	藍牙天線
塑膠類	A-COVER ASSY	A 蓋總成(組套件)
	KEYMAT T9	鍵墊
	JOYSTICK BUTTON	控制桿
	GROUNDING FOAM	接地泡棉
	C-COVER	C 蓋
	EARPIECE GASKET	耳機墊圈
	EARPIECE COVER	聽筒蓋
	B-COVER	B 蓋
	MMC DOOR	記憶卡槽
	TYPE LABEL (LEVEL 3&4 ONLY)	類型標籤
	MMC READER LABEL	記憶卡槽讀卡器標籤
	BATTERY COVER	電池蓋
POWER KEY	電源鍵	
電路板類	1KE UI PWB	使用介面印刷電路板
	DOMESHEET	圓頂片
	LED	發光二極管
	1JQ ENGINE MODULE (NOT SUPPLIED)	引擎模塊
	EARPIECE CONTACT PWB	聽筒接觸印刷電路板

4-4 設計結構矩陣之分群

在進行拆解的過程中(圖 4-4),藉此了解拆解的步驟與方法,但自行拆解的後果,就是對於各零組件彼此間的關連性並不明確與清楚,往往造成拆解的困難與時間的耗費,故藉由研發相關人員的協助與幫忙,以確定零件與零件間是否有關連,待確認有其關連性的關係後,則以 1 註記的方式,配合零件 BOM 表(表 4-1)和零件 BOM 圖(圖 4-1)進行,例如:項目 1 的 A 蓋與項目 2 的鍵墊之交叉矩陣,以研發人員認定其為有相關性的,故作記一個 1 為記號如圖 4-5 所示。

本節之重點為藉由設計結構矩陣的評比過程中,以利做為後續達成其分類/群組為主要的目的,並找出其零件的群組、分群相關性,以利後續拆解順序效率,更可以做為後續彼此間零組件模組化的方向。



	V蓋	鍵盤	螺絲	接地泡棉	液晶顯示器屏蔽	IC使用介面印刷電路板	發光二極管	液晶顯示器	圓頂片	控制桿	引擎模塊	記憶卡槽讀卡器標籤	藍牙屏蔽蓋	液晶顯示器連接器屏蔽	C蓋	聽筒蓋	耳機墊圈	聽筒	聽筒接觸印刷電路板	III喇叭	天線架	天線散熱器(寬頻分碼多工)	天線散熱器(全球行動通訊系統)	記憶卡槽	麥克風	DC插孔	電源鍵	藍牙天線	B蓋	類型標籤	電池蓋	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
01	1														1																	
02	1	1				1	1																				1					
03	1		1		1	1			1																							
04	1			1	1																											
05		1		1	1			1			1																					
06		1	1			1			1	1	1																					
07		1				1		1																								
08					1			1			1																					
09		1				1	1		1		1																					
10						1	1		1	1	1																					
11			1			1		1	1	1	1	1	1	1														1				
12											1	1	1	1																		
13												1	1	1																		
14													1	1																		
15	1		1											1									1	1			1	1		1		
16															1		1						1									
17															1	1	1															
18															1	1	1	1														
19															1		1	1					1									
20															1							1										
21															1						1	1	1							1		
22															1						1	1	1									
23															1						1		1									
24																								1							1	
25																									1						1	
26																									1						1	
27																						1									1	
28																															1	
29	1														1						1			1	1	1	1	1	1	1	1	1
30																														1	1	1
31																														1	1	1

圖 4-5 手機關連性確認圖

4-4.1 設計結構矩陣之群組分析

由於兩兩比較(圖 4-6)的方式所得到的順序性,對於後續進行分群研究時,無法輕易看出其結果,故選擇以迴圈分析(圖 4-7)的設計方式,較能夠明確的分析出手機各個群組。

1. 獨立性工作確立:

- (1) 橫列分割移至矩陣最左上側:未出現,均有所關連性。
- (2) 直行分割移至矩陣最右下測:未出現,均有所關連性。

2. 交互作用分群工作確立:

(1) 兩兩比較工作確立:總共分為一組。

- 獨立性:(X4、X12、X13、X14、X20、X25、X28、X8、X10、X17、X18、X19、X23、X24、X26、X30、X31、X3、X5、X7、X15、X22、X9、X21、X27、X1、X2、X6、X16、X11、X29)。

(2) 迴圈分析工作確立:總共分為十組。

- 迴圈獨立性:(X7、X9、X10、X12、X13、X14、X20、X23、X25、X26、X27、X28)。
- 迴圈性:(X1、X2);(X5、X4);(X3、X6);(X8、X11);(X16、X17);(X19、X18);(X21、X22);(X15、X24、X29);(X30、X31)。

	接地泡棉	記憶卡槽讀卡器標籤	藍牙屏蔽蓋	液晶顯示器連接器屏蔽	III 喇叭	麥克風	藍牙天線	液晶顯示器	控制桿	耳機墊圈	聽筒	聽筒接觸印刷電路板	天線散熱器(全球行動通訊系統)	記憶卡槽	DC 插孔	類型標籤	電池蓋	螺絲	液晶顯示器屏蔽	發光二極管	C 蓋	天線散熱器(寬頻分碼多工)	圓頂片	天線架	電源鍵	V 蓋	鍵墊	IME 使用介面印刷電路板	聽筒蓋	引擎模塊	B 蓋		
	04	12	13	14	20	25	28	08	10	17	18	19	23	24	26	30	31	03	05	07	15	22	09	21	27	01	02	06	16	11	29		
04	1																	1								1							
12		1																												1			
13			1																											1			
14				1																										1			
20					1																								1				
25						1																									1		
28							1																								1		
08								1											1												1		
10									1											1								1		1			
17										1																				1			
18											1		1																	1			
19												1											1						1		1		
23													1											1					1		1		
24														1																		1	
26															1																	1	
30																1																1	
31																	1															1	
03																		1					1				1		1				
05	1							1											1									1			1		
07																				1								1					
15													1	1	1				1							1	1				1	1	
22													1											1						1			
09																				1				1				1	1				
21													1									1			1					1		1	
27																								1		1						1	
01																					1				1		1						
02																				1						1		1		1			
06									1									1						1				1		1		1	
16										1													1										
11		1	1	1				1	1									1			1		1		1			1					
29						1	1							1	1	1	1				1			1	1	1							

圖 4-6 手機兩兩比較分析

	V蓋	鍵盤	液晶顯示器屏蔽	接地泡棉	螺絲	IC使用介面印刷電路板	液晶顯示器	引擎模塊	聽筒蓋	耳機墊圈	聽筒接觸印刷電路板	聽筒	天線架	天線散熱器(寬頻分碼多工)	C蓋	記憶卡槽	B蓋	聽筒	電池蓋	發光二極管	圓頂片	記憶卡槽讀卡器標籤	記憶卡槽讀卡器標籤	記憶卡槽	液晶顯示器連接器屏蔽	三喇叭	天線散熱器(全球行動通訊系統)	麥克風	D插孔	電源鍵	藍牙天線			
	01	02	05	04	03	06	08	11	16	17	19	18	21	22	15	24	29	30	31	07	09	10	12	13	14	20	23	25	26	27	28			
01	1													1																1				
02	1	1				1														1														
05		1	1				1	1																										
04	1		1	1																														
03	1		1		1																													
06		1			1			1														1	1											
08			1					1																										
11					1	1	1	1							1							1	1	1	1	1					1			
16									1					1																				
17								1			1																							
19								1			1			1																				
18								1	1	1																								
21								1					1			1										1	1							
22								1		1			1																					
15	1				1			1								1	1											1		1	1			
24																	1																	
29	1												1		1	1		1	1											1	1	1	1	
30																	1		1															
31																	1	1																
07		1																			1													
09		1				1															1	1												
10						1		1													1	1												
12								1																										
13								1																										
14								1																										
20									1																									
23								1					1																					
25																		1																
26																		1																
27													1					1																
28																		1																

圖 4-7 手機迴圈分析之分群關係

由設計結構矩陣中的迴圈分析得知，在分析結果中得到了十組的群組組合，其結果如下：

第一組為交互作用的群組，由【零件 1-A 蓋總成(組套件)】、【零件 2-鍵墊】，如圖 4-8，它們之間是將 A 蓋總成(組套件)與鍵墊相互密合，以完成手機操作的外觀，以至能產生按鍵的作用。



圖 4-8 迴圈分群-1

第二組為交互作用的群組，由【零件 5- 液晶顯示器屏蔽】、【零件 4- 接地泡棉】，如圖 4-9，它們之間是將接地泡棉貼附於液晶顯示器屏蔽。

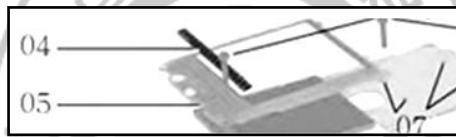


圖 4-9 迴圈分群-2

第三組為交互作用的群組，由【零件 3- 螺絲】、【零件 6- 1KE 使用介面印刷電路板】，如圖 4-10，它們之間是利用螺絲將電路板固定。



圖 4-10 迴圈分群-3

第四組為交互作用的群組，由【零件 8 - 液晶顯示器】、【零件 11 - 引擎模塊】，如圖 4-11，使液晶顯示器與引擎模塊相互貼附以完成後續工作。



圖 4-11 迴圈分群-4

第五組為交互作用的群組，由【零件 16 - 聽筒蓋】、【零件 17 - 耳機墊圈】，如圖 4-12，聽筒蓋與耳機墊圈相互貼合，以進行後續工作。



圖 4-12 迴圈分群-5

第六組為交互作用的群組，由【零件 19 - 聽筒接觸印刷電路板】、【零件 18 - 聽筒】，如圖 4-13，聽筒與聽筒接觸印刷電路板相互作用，以完成耳機的作用。

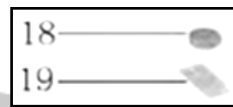


圖 4-13 迴圈分群-6

第七組為交互作用的群組，由【零件 21 - 天線架】、【零件 22 - 天線散熱器 (寬頻分碼多工)】，如圖 4-14，由於它們相互作用，以完成手機天線的作用。

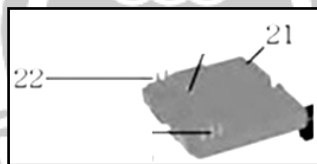


圖 4-14 迴圈分群-7

第八組為交互作用的群組，由【零件 15 - C 蓋】、【零件 24 - 記憶卡槽】、【零件 29 - B 蓋】，如圖 4-15，它們彼此相互結合，使其完成記憶卡槽的外觀。

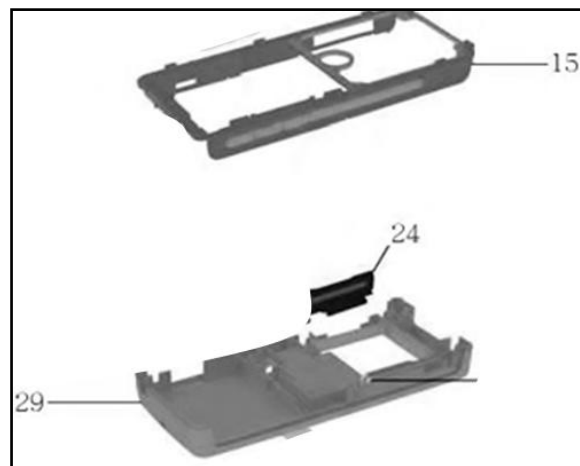


圖 4-15 迴圈分群-8

第九組為交互作用的群組，由【零件 30 - 類型標籤】、【零件 31 - 電池蓋】，如圖 4-16，它們之間交互作用以完成後續工作步驟。

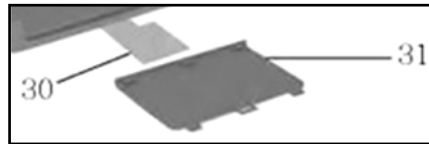


圖 4-16 迴圈分群-9

第十組為獨立的群組，由【零件 7 - 發光二極管】、【零件 9 - 圓頂片】、【零件 10 - 控制桿】、【零件 12 - 記憶卡槽讀卡器標籤】、【零件 13 - 藍牙屏蔽蓋】、【零件 14 - 液晶顯示器連接器屏蔽】、【零件 20 - IHF 喇叭】、【零件 23 - 天線散熱器 (全球行動通訊系統)】、【零件 25 - 麥克風】、【零件 26 - DC 插孔】、【零件 27 - 電源鍵】、【零件 28 - 藍牙天線】，為獨立作用並各司所職，以完成手機的完整作用。

透過設計結構矩陣的群組分析結果，可以將個別零組件，藉由群組的分組部分，重新進行拆解設計規劃，如圖 4-17，在進行拆解過程中，其順序為：

1. 首先進行外部的大結構拆解。
2. 再從內部的各群組部分依序拆解。
3. 最後則是細部拆解，最後方可得到完整的零組件，將有利於後續零組件進行分類回收處理。

由於群組的分析，可以在拆解的過程當中，得到較有系統與邏輯的處理方式，進而避免莽撞的處理，導致後續處理的麻煩與困難度，才不至於回收的美意，卻因此而本末倒置了。

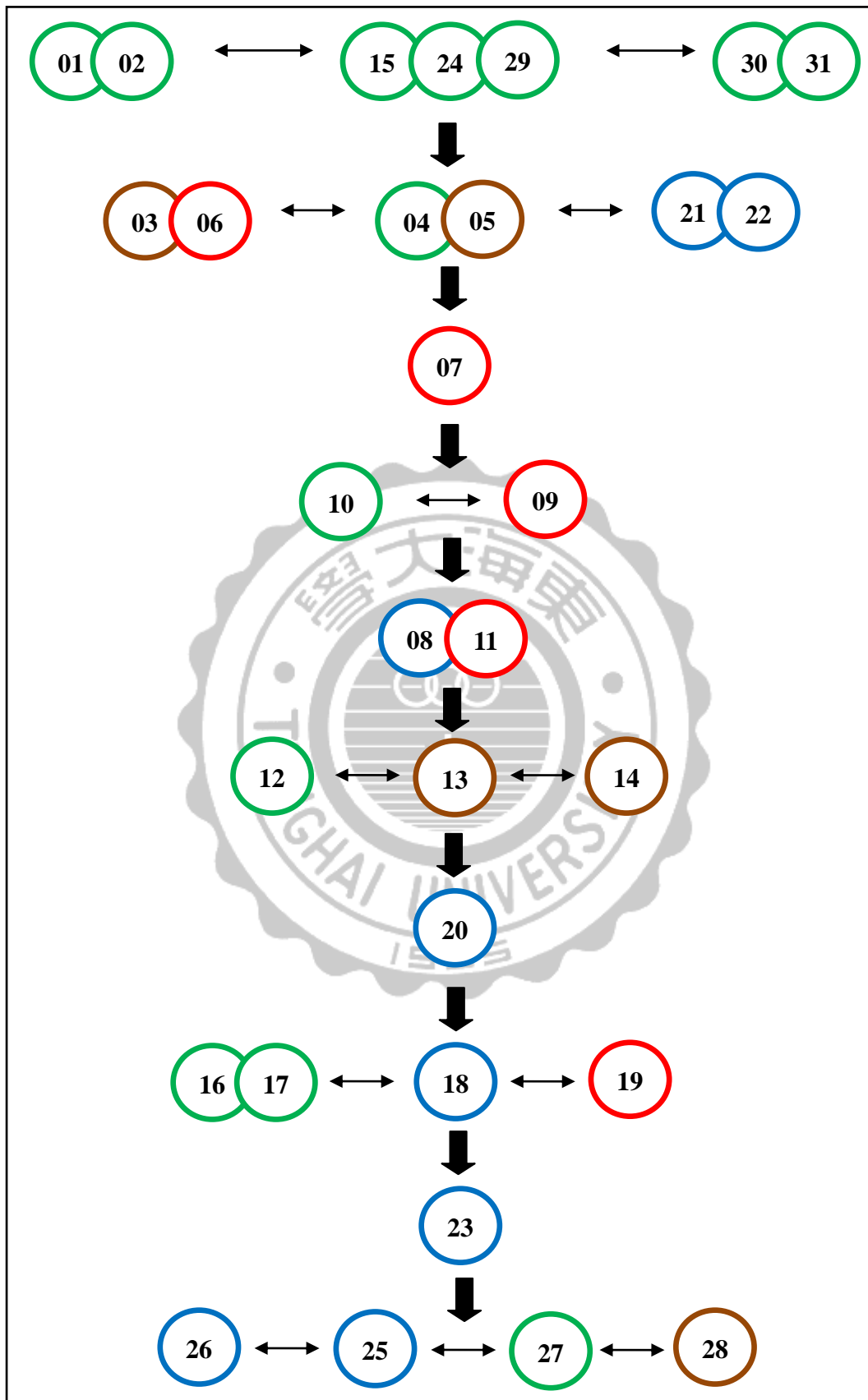


圖 4-17 拆解設計

4-4.2 DSM 程式架構

本部份由本研究室人員所開發設計的 MATLAB 程式，建構設計結構矩陣之簡單操作界面；將原本繁瑣複雜之設計結構矩陣，建構方式與流程，簡化成簡單操作界面。有助於設計師與管理者方便使用，以節省於獨立與相依性工作之手動分割，與交互作用分群中的兩兩比較、迴圈分析工作之運算與排序工作；藉由電腦之邏輯運算與重新排序，能快速且可避免因人為因素所產生之錯誤。首先以系統界面的操作方式，說明本研究建構的 DSM 使用架構與流程，如圖 4-18 所示，藉由輸入各項工作任務或零組件，確認其關聯性，利用 Excel 建立初始的設計結構矩陣，進行判斷行或列是否為零，若為零，其設定行為奇數、列為偶數，其奇數排於矩陣的最前面、偶數排於矩陣最後；若判斷行或列不為零時，則進行交互作用分群，利用迴圈分析、兩兩比較，進行路徑搜尋法，以找出其最佳解。

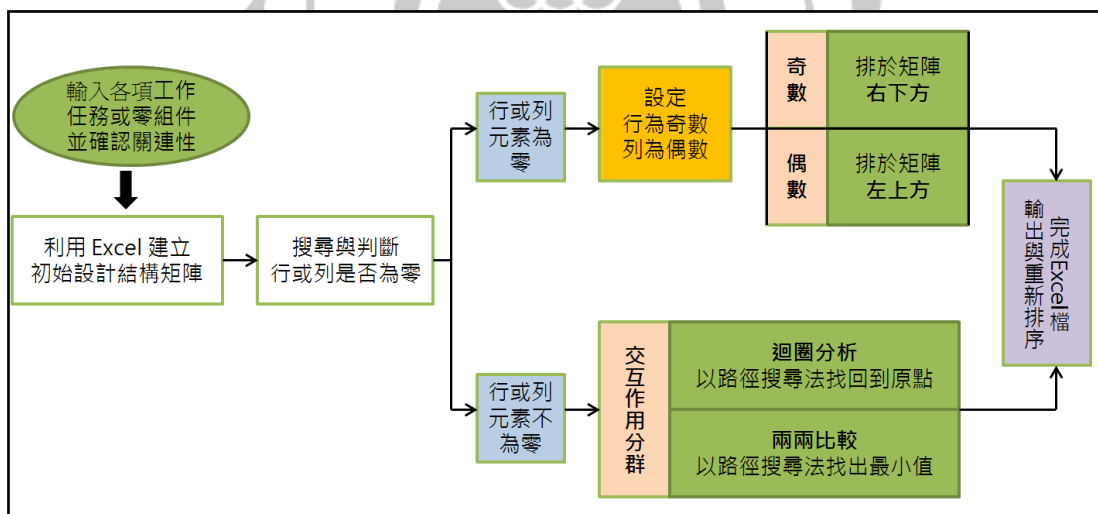


圖 4-18 MATLAB 系統運用之架構說明圖

在系統操作流程圖中，包括以下功能：輸入以 Excel 檔建立的初始 DSM 的各項工作任務，並確認工作任務關聯，列出初始 DSM 圖、分別執行邏輯運算與排序的兩種方式，包括交互作用方式的兩兩比較與迴圈分析的分群方式、而後輸出以 Excel 檔，並列出重新排序的 DSM。依序如圖 4-19、圖 4-20、圖 4-21、圖 4-22 所示，為本研究以 MATLAB 系統程式下，所運用之圖示介面。



圖 4-19 MATLAB 系統運用主畫面圖



圖 4-20 輸入初始 DSM Excel 檔

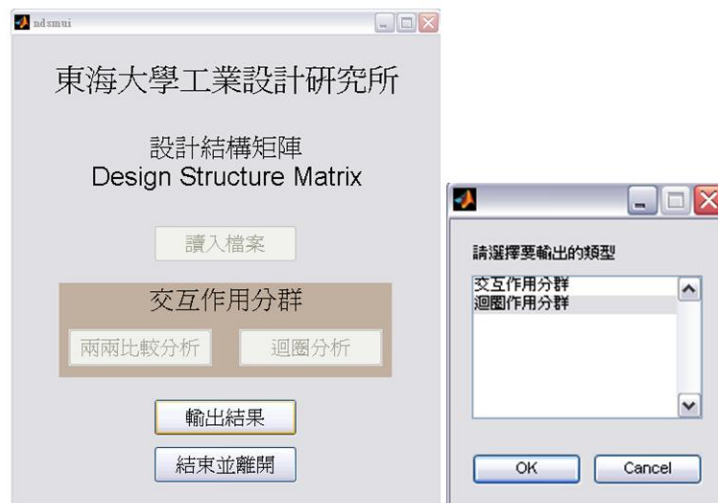


圖 4-21 選擇兩兩比較分析或迴圈分析的分群方式

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
2	X1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	X2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	X3	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
5	X4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	X5	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	X6	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	X7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	X8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
10	X9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
11	X10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
12	X11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
13	X12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
14	X13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
15	X14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
16	X15	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	X16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	X17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
19	X18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	X19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	X20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	X21	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	X22	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
24	X23	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
25	X24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
26	X25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
27	X26	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
28	X27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
29	X28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	X29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	X30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
32	X31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33																
34																
35																
36	交互作用分群-迴圈	X1	X2													
37		X5	X4													
38		X3	X6													
39		X8	X11													
40		X16	X17													
41		X19	X18													
42		X21	X22													
43		X15	X24	X29												
44		X30	X31													
45	交互作用分群-獨立	X7	X9	X10	X12	X13	X14	X20	X23	X25	X26	X27	X28			

圖 4-22 Office Excel 重新排序的 DSM 圖

DSM 交互分析的部份,透過本研究的兩種方式展開,得到不同的兩個結果,在兩個結果的分別模組中,評估運用此兩項其中一種較為適當的運作方式,運用在產品製程中的組裝階段。

經由 MATLAB 程式所分析的設計結構矩陣得知,當細部分組越仔細時,對於後續組裝也會受到不同的影響,而不是最佳的分群方式,仍要實際應用於產品開發過程中,才能得到反推的應證答案。迴圈分析工作時,除了共通獨立性分群之外,還有自成的十個群組。將其細部分群組後,有助於分工合作的效果,達到共同的配合度,除了使之更能夠快速組裝,可於日後進行更換零件時,將能加快產品的拆解或拆解速度,使其部份零件達到快速更換,節省大量時間與人力的耗費,而毋須牽一髮而動全身。

產品在開發階段可以利用此方法做初步的分析,設計開發案若零件複雜或作業流程繁多時,即難以直覺的方式去判斷其間的相關性,而對整體開發案造成影響。由程式的計算把眾多的工作或零件分解成較小且相關性較高的工作群組,並將其予以工作合併與分派,將可節省許多不必要的資源浪費。

4-5 碳足跡檢測

由於電子產品本身在組合與裝配上，大多為背膠、黏著、螺絲、熱熔、焊接及卡榫等方式，與傳統機械類產品較為不同。因此，對於電子產品進行拆解回收時，往往有著截然不同的回收方式。在歐盟 WEEE 及各國重視產品延長責任的法令相繼推出時，除了將有害廢棄物及較值錢的零件快速取出以符合環保法規，剩餘的零件大多以粉碎後材料回收的方式，在這過程中產生的廢棄物其造成的溫室氣體是不容輕視的，本文研究開發一套評估方法，用以研判產品回收後其廢棄物對於環境的衝擊，以作為電子廢棄產品的碳足跡評估指標。

4-5.1 碳足跡程式數據資料庫

本研究計算碳足跡的數據，其數據值彙整了台灣所公布的溫室氣體排放係數管理表、IPCC 公布的溫室氣體與溫室氣體全球暖化潛勢(GWP)係數對照表、日本經濟產業省所頒布的溫室氣體排放量數據(GHG)，並將數據資料建構於研究室所開發的 MATLAB 程式設計資料庫，並可應用此程式計算與分析，得出產品廢棄物進行後續拆解時，其零組件將產生的碳足跡值與總和，首先由系統介面操作方式，將以說明加以說明本研究所建構的碳足跡排放使用架構與流程。如圖 4-23 所示，為本研究以碳排放量系統運用之架構說明圖。

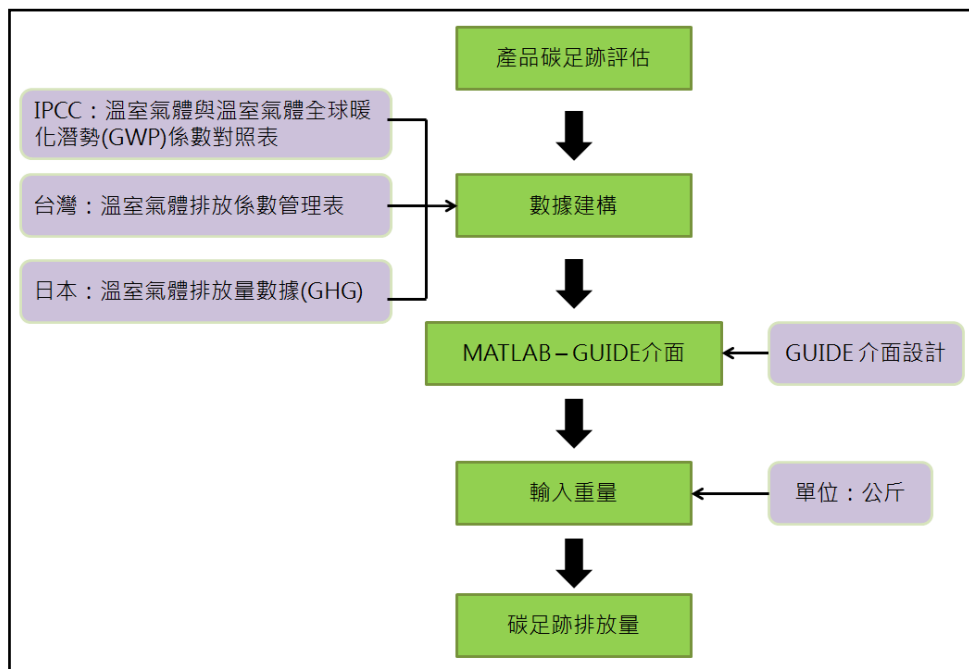


圖 4-23 碳排放量系統運用之架構說明圖

在系統的操作流程圖中，包括以下功能：首先須確認測量產品廢棄物的材料重量，當開啟計算機應用程式畫面時，依照指示輸入各單位重量，僅需輸入數據，即可以按下執行鍵，在運算的過程中，將會出現各別的碳排放量與總碳排量的數據值，讓人可一目了然該物件，若是不進行回收，而是任意丟棄時，將造成多少溫室氣體的產生。依序如圖4-24、圖4-25、圖4-26、圖4-27所示，為本研究以MATLAB系統程式下所運用之圖示介面。



圖 4-24 碳排放量系統運用主畫面圖

將量測出的廢棄物材料，依其材料與重量，各別輸入置空白處，以待後續的計算與分析處理，如圖 4-25。

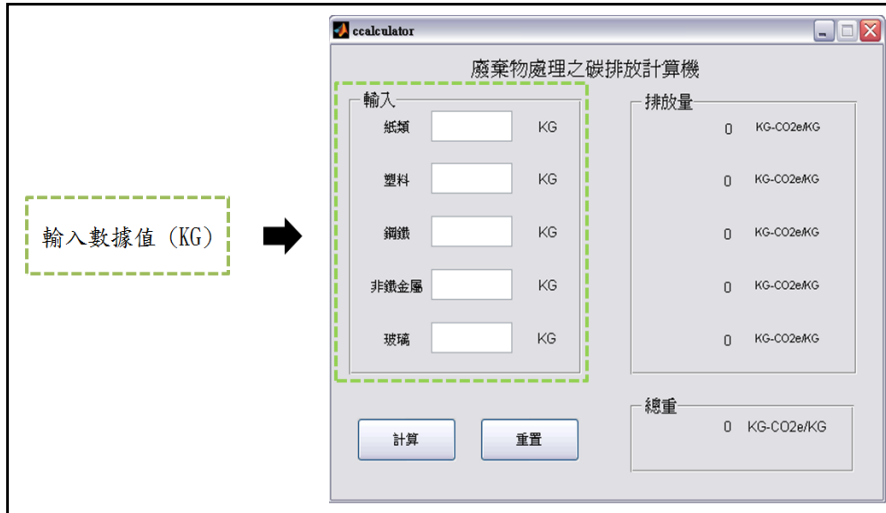


圖 4-25 輸入廢棄物材料的重量

執行計算鍵，各單位排放量，與總重會出現其計算的數值，圖 4-26。

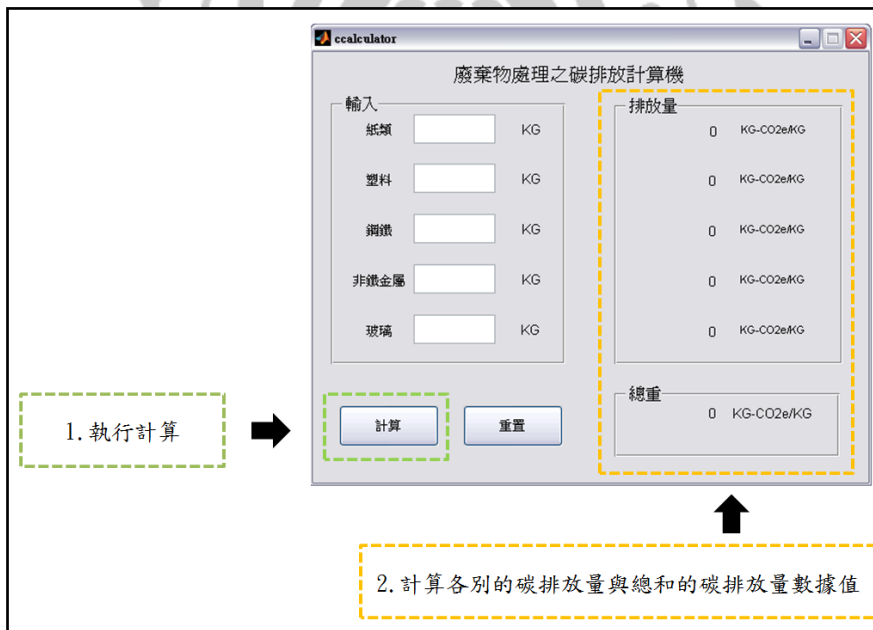


圖 4-26 執行計算

當計算結束後，如欲計算另一項廢棄物的碳足跡時，可執行重置鍵，即可將畫面所有數值清空，並可重複以上步驟進行計算，如圖 4-27。

圖 4-27 重新計算時使用

4-5.2 碳足跡檢測與分析

為了使電子產品在生命週期後期處理時，經過層層回收與拆解過程中，將造成多少廢棄物的生成，而這些廢棄物甚至是有害的廢棄物將產生多少溫室氣體，而這些溫室氣體排放將造成多少碳足跡的產生，有助於後續對於電子產品處理方式與產品開發的改善與建議。

以重量為 117 公克的廢棄手機為研究案例，以進行驗證與分析，檢測拆解回收時，將會產生多少碳足跡的排放量。由於一般手機進行拆解分類的過程中如圖 4-28，在回收的過程中，可分成幾大類項目，其分別為金屬類、有害物質類、塑膠類、玻璃類、其他類項目，而可以再回收利用的比率分別為 98%、0%、80%、98%、80% (李珣琮, 2006)，根據這些數據來說，可以得知若是能夠注重電子行動通訊的回收觀念，不僅可以減少環境的污染，藉由回收過程中，提煉出再生利用的資源，將可以降低原物料的耗費與不必要的成本支出。

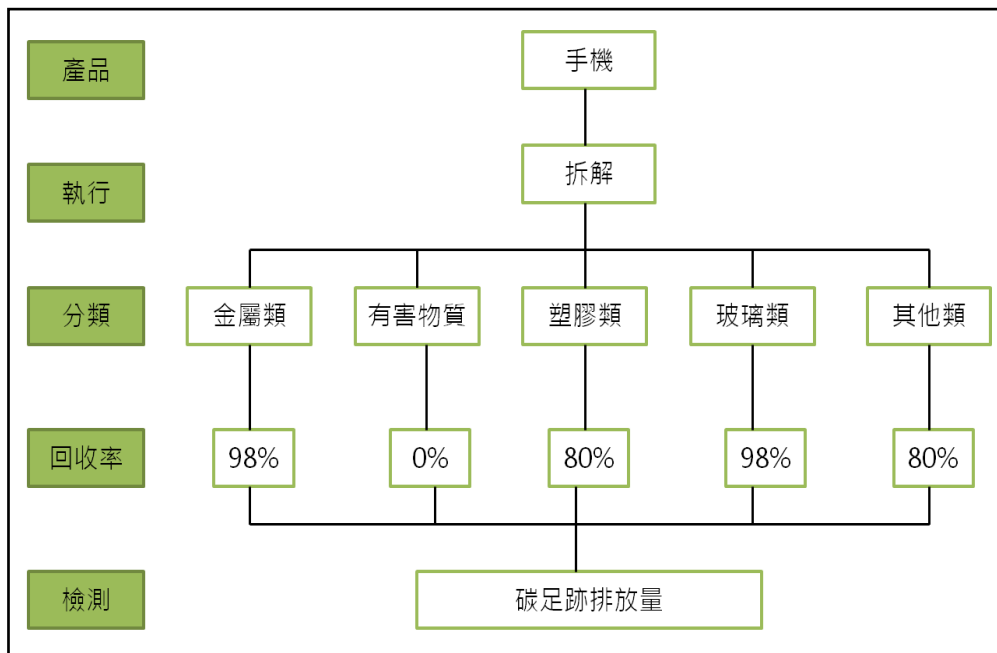


圖 4-28 手機拆解回收架構圖

碳足跡的檢測，可經由計算與分析，使其數據化，藉由量化的方式，可以更直接的呼籲人們對於環境保護的重要性，了解平常隨意丟棄產品的舉動，而這些不良的行為，將可能將造成地球環境的影響其嚴重性。

4-5.3 碳足跡之排放量

藉由量測的方法，得出手機其重量為0.117公斤，其中塑料重量為0.054 Kg、金屬重量為0.011 Kg、非金屬重量為0.006 Kg、印刷電路版重量為0.046 Kg，所佔的比例塑料為46%、金屬為9%、非金屬為5%、印刷電路版為39%，得到表4-3的檢測資料，將做為後續計算碳足跡排放量的數據值。

$$\text{塑料} : 0.054 \div 0.117 = 0.461$$

$$\text{金屬} : 0.011 \div 0.117 = 0.094$$

$$\text{非金屬} : 0.006 \div 0.117 = 0.051$$

$$\text{印刷電路版} : 0.046 \div 0.117 = 0.393$$

表 4-3 廢棄手機重量成分與比例

手機	重量	比例
塑料	0.054 Kg	46%
金屬	0.011 Kg	9%
非金屬	0.006 Kg	5%
印刷電路版	0.046 Kg	39%

由於計算廢棄物回收時，每種材料都會產生不同的碳排放量，藉由數據庫的整理與分析，找出最符合的數據做為檢測依據，並將檢測碳足跡的指標系統分成五大項目，分別為紙類、塑料類、鋼鐵類、非鐵金屬類、玻璃類，做為後續檢測廢棄物在進行分類回收時，將產生多少碳足跡排放量的個別計算項目。

在表4-3中，由於印刷電路板包含了許多塑膠與金屬等材料，因此根據現場研發與設計人員進行討論與判斷量測，得出最終的數據資料庫，如表4-4所示，並將以表做為後續碳足跡的計算數據值。

表 4-4 廢棄手機重量數據資料

量測物	重量
塑料	0.074 Kg
金屬	0.019 Kg
非金屬	0.024 Kg

藉由JEMAI (Japan Environmental Management Association for Industry) 所公布的碳足跡檢測量表，做為計算碳足跡排放量依據，並說明其計算步驟，藉由圖4-29原單位計算，可以了解溫室氣體排放量是透過層層的工作過程，產生的溫室氣體排放量。

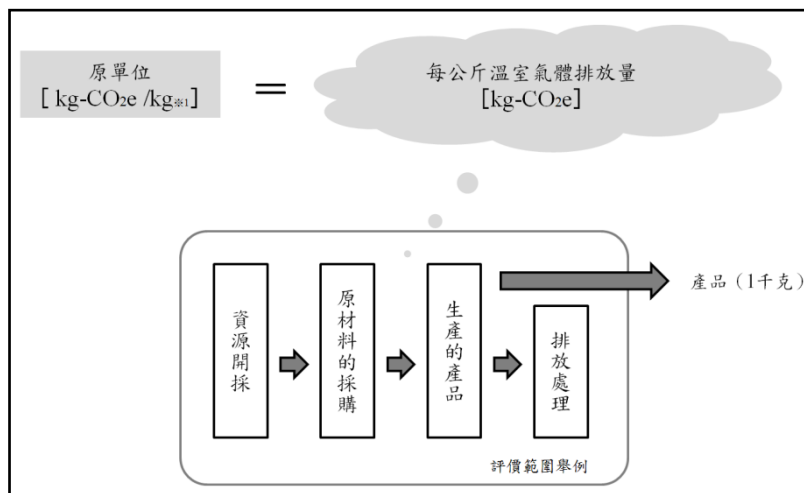


圖 4-29 原單位計算

根據第三章的碳足跡評估計算公式，可藉由（公式1）、（公式2）計算出溫室氣體排放量數據，以利後續進行碳足跡計算，如圖4-30 CFP計算方法，利用其原件的重量乘以數據資料庫的數據，將可以得出該原件的溫氣氣體排放量，即為碳足跡量。

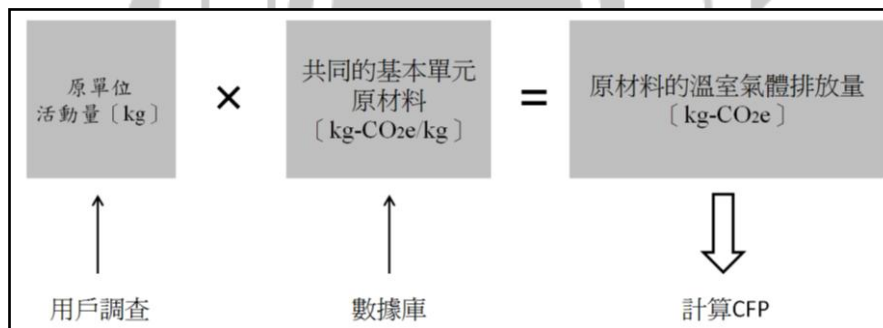


圖 4-30 CFP 計算方法

當需計算產品的總碳排放量時，需進行加總各原件的碳排放量，如圖4-31，並可藉由（公式3）計算出該產品的總和的碳排放量。

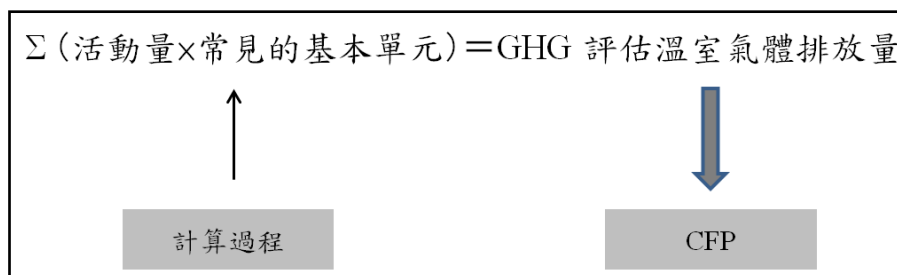


圖 4-31 碳足跡總和計算

藉由從國外數據資料庫中，都是經過以上程序計算所得到的數據值，分別得知代表材料的GHG排放量[kg-CO₂e/單位]，如表4-5所示，並將其數據值應用於計算機中，以進行後續評估工作。

表 4-5 GHG 排出量[kg-CO₂e/單位] 數據值

種類	名稱	GHG 排出量[kg-CO ₂ e/單位]	單位
廢物處理	紙類回收處理	0.00995	kg
廢物處理	塑料回收處理	0.161	kg
廢物處理	鋼鐵回收處理	0.0358	kg
廢物處理	非鐵金屬回收處理	0.0324	kg
廢物處理	玻璃回收處理	0.00526	kg

資料來源：JEMAI CFP Program

執行計算時，並利用（公式4）進行計算，配合碳足跡程式數據資料據，進行評估與分析，如圖4-32所示，將各類別所測得的數據值，依序輸入至空白欄當中，並進行運算，方可得到待測物材料的各別碳排放量、總碳排放量的總和，此為廢棄手機的數據依序分別為：

塑料的碳排放量：0.011914 KG-CO₂e/KG

鋼鐵金屬的碳排放量：0.0006802 KG-CO₂e/KG

非鐵金屬的碳排放量：0.0007776 KG-CO₂e/KG

總和碳排放量：0.0133718 KG-CO₂e/KG。

輸入	排放量
紙類 0 KG	0 KG-CO ₂ e/KG
塑料 0.074 KG	0.011914 KG-CO ₂ e/KG
鋼鐵 0.019 KG	0.0006802 KG-CO ₂ e/KG
非鐵金屬 0.024 KG	0.0007776 KG-CO ₂ e/KG
玻璃 0 KG	0 KG-CO ₂ e/KG
總重	0.0133718 KG-CO₂e/KG

圖4-32 計算結果

藉由碳足跡的評估計算與分析後，可以得知廢棄手機，若不進行資源回收而是被當成一般廢棄物，隨地丟棄，產生的總碳排量為0.0133718 KG-CO₂e/KG。

根據所得到的數據值，並沒有讓人足以感到震驚與害怕，但應該意識到的是這微不足道的小型電子廢棄物，就能產生令人看不見的碳排放量，現今每年全球所丟棄的電子廢棄物品不斷攀升，這將產生的碳排放量將不是幾個小數點就可以帶過，其產生碳排放量將會是如此驚人，是人們所不能忽視的另一面向，而其中又包含了許多有毒物質的產生，這些都將襲捲人們所居住的環境品質，而回收分類與再利用的觀念，更應該深植人心。

4-5.4 碳足跡對於模組化的影響

透過建立、分割設計結構矩陣，可以清楚辨識作業之間的關聯性以及作業間初步的順序；透過分割設計結構矩陣，我們可以找出交互作用性作業的最先作業和作業間順序，所以依此關聯性之基礎，可以做為發展分組與規劃圖之用。

由於在設計結構矩陣的分群交互作用中，得到較有系統與邏輯的處理方式，並藉由群組的分群部分，重新進行拆解設計如（圖 4-17）所示，將其部分的零組件分群模組化與合併，將可有效的減少零組件的產生，不僅可以節省零件的體積與組裝的步驟，又可藉由零組件規格化之後，有效的減少零組件，進而節省成本的考量，在製造的時間上可達成組裝的便利性。

依圖 4-33 所示，藉由其相依性與規格化的考量之下，將（圖 4-17）的拆解流程圖中，使其群組部分的零組件圈選出來，並思考後續若能使其達成材料的統一，甚至於模組化的可能性，將可以使其在後續進行大量生產時，不僅可以縮短生產的時間，還可以減少原物料的浪費，更可以省下不少的時間與成本得耗費，在材料的選擇上，若可以避免選用有毒的物質材料，以符合國際法規的指令，更能減少對於環境的污染與傷害。

當產品面臨生命週期末端時，對於後續進行回收分類與拆解過程中，可以獲得解決與改善，對於未來將是一大福音，不僅可以使回收處理人員的作業安全與時間耗費得到改善，更可以大大減少碳排放量的產生並達成綠色設計產品。

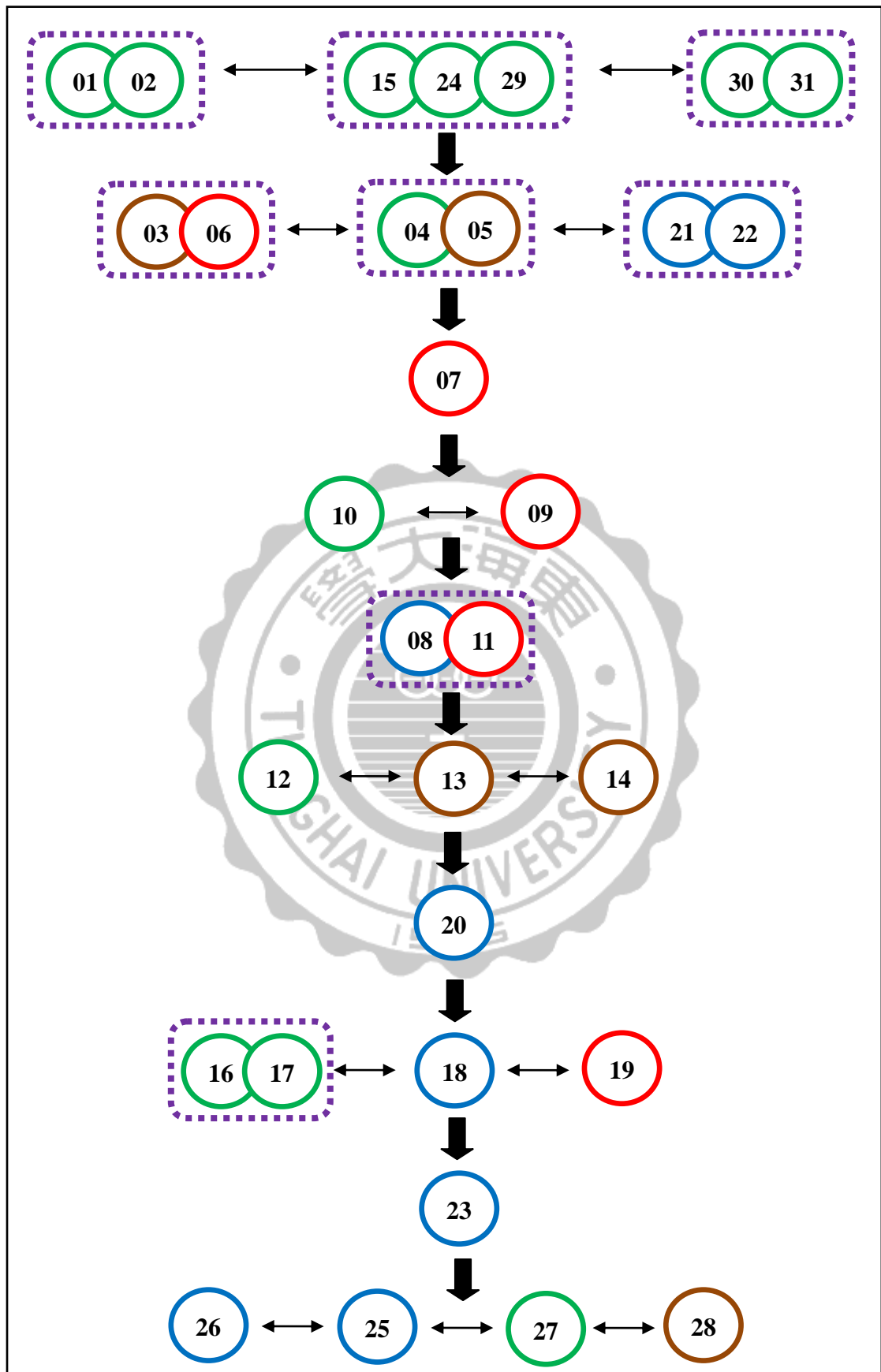


圖 4-33 碳足跡與模組化

4-6 小結

透過實例案例的操作與驗證，藉由設計結構矩陣的分群與分組，對於後續的拆解設計將有很大的助益，不僅節省了時間更確保回收分類的準確度，搭配碳足跡的檢測與評估，可以透過拆解完後的材料組件進行測量，以了解整個產品本身將產生多少碳排放量，若可藉由材料的改變與增減，更重要的可以避免使用有毒物質，不僅符合國際法規，又可以有效降低碳的排放量；未來若能結合其方法，將可以為綠色設計盡一點貢獻與幫助。



第五章 結論與建議

本章節在於探討研究中所達成之成果，未來可供後續研究的方向與建議。

5-1 結論

本研究結論列述如下：

1. 利用綠色設計做為審視產品面臨生命週期末端時，考慮到後續人員進行其拆解、分類、回收甚至廢棄等各階段，分別能將其轉換為可利用的產品屬性以利於歸類。
2. 利用設計結構矩陣法的分析與分類，可以簡化製程中繁複的程序，進而達成有效模組的分群方式，並以綠色模組化導向為設計原則，可使產品初期時易於生產、裝配，將可以節省產品開發時的成本，又可以解決產品在後續面臨拆解與分類的困擾。
3. 結合設計結構矩陣中的群組分類，以利找出最易拆解設計的步驟，藉由找出其零組件的相互關聯性，將可提供未來設計時，將其考慮進去，以利後續進行拆解回收時，將可省去不必要的麻煩與傷害。
4. 藉由碳足跡的計算與分析，可了解日常中使用的各式電子產品，當形成所謂的廢棄物時，將可製造多少二氧化碳排放量，這警訊將是提醒著使用者對於產品回收的必要性、環境保護的重要性，而產品的永續發展，則是考驗著生產者與製造者對於環境生態的態度。
5. 當科技越來越進步，手機的普及率越來越高，市面上不斷的推出創新與新穎的款式，大量吸引消費者的目光與荷包，但應該注意到其光鮮亮麗的背後，將是更多難以估算的電子廢棄物產生，若能將綠色設計的概念融入科技中，將可以大量降低電子毒物的汙染。

6. 藉由產品生命週期的思維，使產品本身具有較高的能源效率、可再回收利用，應避免選擇有毒物質的材料，以符合國際法規的指令，進而降低對於環境所帶來的衝擊與傷害，並鼓勵大眾對於綠色設計的認識與接納，藉由綠色產品開發與綠色消費之模式，一方面要求降低毒性化學物質的使用量，另一方面不斷提升產品的回收率與能源效率概念，可使未來的產品更具有環保特性。

5-2 後續研究與建議

在本研究中尚有許多考慮不充足之處，故於此方面可於後續繼續將細節部份加以改善。

1. 在分析設計結構矩陣結果中，可由兩種分組方式得知，對於細部分組越仔細，後續的組裝也會受到不同的影響，至於是不是最佳的分群方式，仍要實際套用於產品開發過程才能得到反推的應證答案，相關實際應用於研發此部份，將不在此做另一方的佐證。
2. 在評估碳足跡排放量的工具中，由於國內的數據資料庫建構尚未成熟與不足，而需要借助國外資料來輔助，期許未來能有更多屬於本國的數據資料來源，將更符合國內進行產品評估工作上，能有更大的幫助與改善。
3. 倘若產品能搭配綠色設計為主，並結合模組化的量產，將更有利於日後進行拆解設計的方法將更能達到分類回收與再次循環使用，並藉由設計結構矩陣針對其零件之設計，找出其模組間較為正確的順序評估標準，並計算其各零組件的碳足跡排放量，將可使產品真正達到綠色設計。

參考文獻

1. 何佩芬 (2005)。科技產品的綠色革命，經濟部能源局，能源報導-能源觀點。
2. 吳建南 (2007)。TRIZ 與模組化之設計結構矩陣在產品開發之研究，東海大學，工業設計研究所碩士論文。
3. 李佩華 (2003)。應用裴氏網路建置產品拆解設計模式，明新科技大學，工程管理研究所碩士論文。
4. 李珣琮 (2006)。LCD 類產品回收之最佳化程序研究。國立成功大學，資源工程研究所碩士論文。
5. 李康文 (1997)。環境化設計之研究: 生命周期分析技術之應用。國科會計畫。
6. 杜瑞澤 (2002)。產品永續設計-綠色設計理論與實務，亞太出版。
7. 林敬智，鍾美華 (2005)。平面顯示器產品的環境化設計。永續性產品與產業管理研討會，頁173-178。
8. 林漢川 (1995)。模組化結構概念設計之研究，國立臺灣大學，機械工程研究所碩士論文。
9. 徐仁雄 (2003)。模組化設計之組裝界面幾何研究，東海大學，工業設計研究所碩士論文。
10. 張禹晰 (2004)。電子電器產品再生策略選定與成本效益評估及智慧型決策支援系統之開發，國立成功大學，資源工程研究所碩士論文。
11. 郭奉宜 (2004)。統包工程之進度規劃模式。國立交通大學，土木工程研究所碩士論文。
12. 陳明熙 (1993)。整合設計與裝配輔助程序於產品設計專家系統之發展，國立成功大學，工業設計研究所碩士論文。

13. 郭財吉(2002)。綠色產品設計-綠色品質機能展開,永續產業發展,第2期,頁45-52。
14. 陳鴻志(2008)。以明喻作為綠色設計的設計手法。國立雲林科技大學,工業設計研究所碩士論文。
15. 陳璽(2010)。模糊計畫評核技術在組裝程序之研究-以自行車避震器組裝為例。東海大學,工業設計研究所碩士論文。
16. 黃裕哲(2001)。綠色模組化設計之評估架構研究-以電動自行車組裝與拆解為例。大葉大學,設計研究所碩士論文。
17. 楊育昇(2012)。即時碳足跡評估於電腦輔助產品設計。國立高雄第一科技大學,工業設計研究所碩士論文。
18. 廖志偉(2000)。綠色產品概念設計階段簡化生命週期評估方法之研究。國立成功大學,機械工程研究所碩士論文。
19. 劉羽雯(2005)。RoHS 綠色指令:全球環境規範&無鉛焊接技術,龍環文化事業股份有限公司。
20. 蕭翠蓮(2007)。綠色品質機能展開與模組化設計結構矩陣於產品開發之研究。東海大學,工業設計研究所碩士論文。
21. Basdere, B. & Seliger, G. (2003). "Disassembly factories for electrical and electronic products to recover resources in product and material cycles". *Environmental Science & Technology*, 37(23), pp. 5354-5362.
22. Boks, C. & Stevels, A. (2007). "Essential perspectives for design for environment. Experiences from the electronics industry". *International Journal of Production Research*, 45(18), pp. 4021-4039.
23. Chou Jyh-Rong & Hsiao Shih-Wen. (2004). "Product design and prototype making for an electric scooter". *Materials and Design*, 26, pp. 439-449.

24. Cui Jirang & Forssberg Eric. (2003). "Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review". *Journal of Hazardous Materials*, pp. 243-263.
25. Dong, J. and Arndt, G. (2003). "A review of current research on disassembly sequence generation and computer aided design for disassembly". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 217, pp. 299-312.
26. Ehud Kroll & Thomas A. Hanft. (1998). "Quantitative evaluation of product disassembly for recycling". *Research in Engineering Design*, 10, pp. 1-14.
27. Ehud Kroll, Brad S. Carver. (1999). "Disassembly analysis through time estimation and other metric". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 15, pp. 191-200.
28. Eric J. (2008). "Disagreement over carbon footprints: A comparison of electric and LPG forklifts". *Energy Policy*, 36, pp. 1569-1573.
29. Feldmann K, Trautner S, Lohrmann H & Melzer K. (2001). "Computer-based product structure analysis for technical goods regarding optimal end-of-life strategies". *Engineering Manufacture*, 215, pp. 684-693.
30. Johansson G, Greif A & Fleischer G. (2007). "Managing the design/environment interface: studies of integration mechanisms". *International Journal of Production Research*, 45(18), pp. 4041-4055.
31. Kim Brent & Neff Roni. (2009). "Measurement and communication of greenhouse gas emissions from U.S. food consumption via carbon calculators". *Ecological Economics*, 9, pp. 186-196.
32. Kuo T. C. (1997). "A disassembly model for End-of-Life product recycling". *Texas Tech University in PHD, Dissertation proposal*.
33. Lambert A .J. D. (1999). "Linear programming in disassembly/clustering sequencegeneration". *Computers & Industrial Engineering*, pp. 723-738.

34. Lee Ki-Hoon (2011). "Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry". *Journal of Cleaner Production* 19, pp. 1216-1223.
35. Leung A, Cai ZW, Wong MH. (2006). "Environmental contamination from electronic-waste recycling at Guiyu, Southeast China". *J Mater Cycles Waste Manag*, 8 , pp. 21-33.
36. Lynas, M. (2007). "Carbon counter (eBook): calculate your carbon footprint".
37. Ragn-Sells. (2000). Elektronikatervinning AB, Elektronikatervinning, Report, Stockholm, Sweden.
38. Ruud H. Teunter. (1998). "Determining optimal disassembly and recovery strategies". *International Journal of Production Research*, 36(1), pp. 111-39.
39. Samir Elhedhli, Ryan Merrick. (2012). "Green supply chain network design to reduce carbon emissions". *Transportation Research Part D* 17, pp. 370-379.
40. Simon Perry, Jir'ı' Klemes', Igor Bulatov. (2008). "Integrating waste and renewable energy to reduce the carbon footprint of locally integrated energy sectors". *Journal of Energy*, 33, pp. 1489-1497.
41. Singh, S., Goodyer, J. and Popplewell, K. (2007). "Integrated environmental process planning for the design and manufacture of automotive components". *International Journal of Production Research*, 45(18), pp. 4189-420.
42. Steward, D.V. (1965). "Partitioning and tearing systems of equations". *SIAM Journal of Numerical Analysis*, 2(2), pp. 345-365.
43. Sule, T.P. & Pultar, M. (2006). "Modelling detailed information flows in building design with the parameter-based design structure matrix". *Faculty of Art, Design and Architecture, Bilkent University*, 06800 Bilkent, Ankara, Turkey.

44. Tan Dunbing. (2000). "Re-engineering of the design process for concurrent engineering". *Computers & Industrial Engineering*, 38, pp. 479-491.
45. Tsai C. Kuo. (2000). "Disassembly sequence and cost analysis for electromechanical products". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 16, pp. 43-54.
46. UNEP, (2006). "Nairobi ministerial declaration on the environmentally sound management of electronic and electrical waste".
47. Wackernagel, M. & Rees, W.E. (1996). "Our ecological footprint - reducing human impact on the earth". *New Society Publishers Gabriola Island, B.C., Canada. Environment And Urbanization*, 8(2), pp. 216-216.
48. Yong Wang, Lingyan Kang, Xiaoqing Wu, Yang Xiao. (2013). "Estimating the environmental kuznets curve for ecological footprint at the global level: A spatial econometric approach". *Journal of Ecological Indicators* 34, pp. 15-21.

【網址1】：國家溫室氣體登錄台平台

<http://ghgregistry.epa.gov.tw/index.aspx>

【網址2】：JEMAI CFP Program

<http://www.cfp-japan.jp>

【網址3】：行政院環境保護署：台灣產品碳足跡資訊網

<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLFootProduct/PCRGuide.aspx>

【網址4】：台灣環境資訊協會

<http://e-info.org.tw>

【網址5】：經濟部 台灣企業社會責任

<http://csr.moea.gov.tw>