

廢棄個人電腦回收系統之模擬研究

A Simulation Study of the Collection and Recycling Network for Personal computers in Taiwan

余銘忠

國立高雄應用科技大學 企業管理研究所 助理教授

yminchun@cc.kuas.edu.tw

林志鑫

國立高雄應用科技大學 企業管理研究所研究生

1097335110@cc.kuas.edu.tw

摘要

近年來台灣地區由於高度資訊化之結果，造成電子資訊產品消耗量俱增，而這些電子電器與資訊物品於使用壽命結束後，進入了廢棄回收階段（end of life），能否妥善進行回收處理將會對環境有所影響。本研究主要探討廢棄個人電腦之主機從消費者端至回收處理廠之作業活動，研究其在不同條件對於回收系統之影響；而本研究欲透過系統模擬方法提出一個架構來探討台灣廢棄個人電腦主機回收政策與回收商之分類決策對廢棄物回收系統之影響程度。同時在不同的績效指標下，評估各變數之影響。回收政策可分為定量回收、定時回收，回收商之分類決策為分類與不分類，所採用的績效指標包括：單位時間處理量、系統時間、回收點與回收商之平均存貨水準。研究結果顯示在不同的回收政策下對績效指標有顯著差異，而回收商採不同的分類決策對於部分績效有顯著差異，二變數間存在交互作用對部分之績效指標會產生顯著影響。

關鍵詞：逆物流、系統模擬、廢棄資訊物品

Key Words：Reverse Logistics; Simulation; End-of-life electronics

壹、緒論

近年來隨著科技快速的發展，資訊類之商品其功能日新月異、不斷推陳出新，也造成其相關之產品生命週期變短汰換與廢棄之速度較高於一般產品，造成電子資訊產品消耗量俱增，而這些電子電器與資訊產品於使用壽命結束或是損壞無法修復後，進入了報廢回收階段（end of life），其是否能妥善回收處理將會對環境有所影響；若這些廢棄物未能確實進入回收處理體系進行適當的處理直接進行焚化或任意丟棄，其中大量之有害物質可能會對環境造成污染及影響。

根據歐盟之估計，每人每年產生之電機電子產品廢棄物，以資訊產品為例，其廢棄量的增加速度為都市廢棄物的3倍，而其產生量每年以3-5%的速率成長，若未妥善處理將會造成嚴重的環境問題（邱文琳，2006）。

有鑑於此，歐盟於西元1998年提出廢電機電子設備(Waste Electrical and Electronic Equipment：WEEE) 指令草案，此案於西元2003年1月正式通過，並於西元2005年8月13日正式施行。此指令要求會員國必須設立回收體系，生產者須設立相關設備之回收及處理系統，以負起回收處理之責任。

而我國政府與環保團體也開始重視此議題，因此我國政府訂定了「廢棄物清理法」，依據「廢棄物清理法」之法規，將廢棄資訊物品被列為一般廢棄物應回收項目中。因此廢棄物必須進行資源垃圾分類回收、再利用、不得併入其他廢棄物清除、處理。在法令的規範，環保意識覺醒下，我國各類廢棄物回收量有逐年提升的趨勢，廢資訊物品的回收也越來越受重視。

Gungor and Gupta (1999)認為地球環境的持續惡化，廢棄物資源管理和不可再生資源的消耗問題越來越受重視。而隨著廢棄物數量提高及其回收處理流程以及建立完善的回收體系更顯得重要。而這種廢棄產品從消費者端經由各種回收管道至處理廠回收處理等一連串的程序稱為逆物流(Reverse Logistics)。

Ginter and Sterling(1978)指出逆物流越來越受到重視，乃是因為環境和經濟的因素。Prahinski and Kocabasoglu (2005)認為近年來逆物流越來越重要的理由包括：(1)需回收產品數量龐大(2)廢棄產品所帶來的利益增加(3)法律明文規定(4)消費者的力量擴大(5)傳統垃圾掩埋方法被規定以回收再製取代。

在關過去逆物流相關研究中如 Van der Laan and Salomon (1997)探討逆物流中再製商存貨管理問題，Mahadevan et al. (2003)則是在探討逆物流中再製造前置時間的影響。其大多所探討的皆是逆物流網路中之單獨成員，即回收商、處理廠、製造商等。較少見探討逆物流成員或整體網絡之間關係等問題。綜觀國內外廢棄物之處理問題，其原因在於廢棄物日益增加，以台灣而言，目前法令上僅針對其製造商、進口商收取清除處理費用以補貼其回收處理業者，不論在資源取用、製造、銷售流通甚至於廢棄回收皆未有完善之管理，在回收過程中之回收成員間亦無完善之管理機制。

本研究主要探討之對象為廢棄個人電腦之主機，報廢之主機可經由回收點回收再交由回收商作分類儲存的動作。回收成員對於回收點的廢棄主機，可透過不同的回收政策進行回收作業。回收政策主要用來決定廢棄主機後送的時機，實務上大都以回收數量或回收時間來決定回收時機，另外由於法令規定處理廠需對送達之廢棄主機進行分類並做稽核認證，其分類原則係依廢主機內所擁有之元件進行分類，而回收商可選擇分類儲存到達一定標準之時量後進行後送；或者不進行分類僅儲存到達一定標準之時量就後送，但由於各類別之主機回收量不一，若將各類別之主機進行分類儲存至達到一定儲量之標準，可能會造成某些回收較少的主機類別可能長時間堆置於儲存場而增加其倉儲及管理成本，對於整體回收系統之績效亦可能產生影響。因此回收政策與分類決策可能對回收系統之績效產生影響，而回收政策與回收商之分類決策亦為本研究欲探討之重點。

而在過去的針對逆物流之文獻中(如 Bloemhof-Ruwaard et al.1994；Barros et al., 1994；Jayaraman et al., 1999；Kibum, 2006；Grunow and Gobbi, 2009 等)大都是假設某些限定的條件，利用最佳化的數學模式以求得最佳之模式設計。在現今快速變化與高度不確定之環境下，要設計一套逆物流之系統需考慮到很多因素，而許多動態問題是難以透過單純的數學模型求出最佳解。Biehl and Prater (2007)與 Kara et al.(2007)為了減少風險與提升效率則利用系統模擬的方法來規劃一個逆物流系統。利用系統模擬技術可解決較複雜且困難的問題，經由投入不同的參數或動態情況，預測可能發生的結果。本研究考量逆物流系統之不確定性與複雜性，故採用系統模擬的方法，探討各項變數對廢棄主機回收績效之關係。

綜上所述，本研究主要目的在探討台灣廢主機回收成員之間，在廢主機回收與處理流程上的問題。針對廢棄物的回收政策與分類決策二變數之間對於廢棄物處理廠的單位時間處理量、系統時間與回收成員間平均存貨水準之間相互關係的影響，以期設計出較佳之逆物流回收系統。本研究之次要目的包括：

1. 探討回收成員在不同的回收政策下對於系統時間、單位時間處理量及回收成員間平均存貨之影響。
2. 探討回收商之分類決策對於系統時間、單位時間處理量及回收商之平均存貨之影響。
3. 探討回收政策與回收商之分類決策這二變數間對於處理廠單位時間處理量、系統時間與回收成員間平均存貨間互相之影響。

貳、文獻探討

一、廢棄物回收與相關法令

依照台灣所公告的「廢棄物管理法」之明文規定，廢棄物分為下列二種：

1. 一般廢棄物，其包括垃圾、糞尿、動物屍體或其他非事業機構所產生的足以汙染環境衛生之固體或液體廢棄物。
2. 事業廢棄物，又分為二種：
 - (1) 有害事業廢棄物，是指由事業機構所產生具有毒性、危險性、其濃度或數量足以影響人體健康或汙染環境之廢棄物。

(2) 一般事業廢棄物：由事業機構所產生有害事業廢棄物之外之廢棄物。

而其中廢棄資訊回收物品被歸類為一般廢棄物，需獨自作回收與處理，依環保署公告之可回收項目為下列八項：

1. 筆記型電腦
2. 監視器(包含CRT與LCD)
3. 主機板
4. 硬碟
5. 電源供應器
6. 機殼
7. 印表機
8. 鍵盤

在實務上消費者將個人電腦進行報廢大多以主機為主體，而主機係由上述環保署公告可回收項目其中四項(主機板、硬碟、電源器、機殼)組合而成，而本研究亦以廢棄主機為研究探討之主體。

而針對本研究欲探討廢棄主機回收分類部分，依據「廢棄物清理法」第18條第2項規定，訂定「應回收廢棄物稽核認證作業辦法」，辦理應回收廢棄物之回收處理量稽核認證；行政院環境保護署資源回收管理基金管理委員會始依「應回收廢棄物回收清除處理補貼申請審核管理辦法」相關規定支付受補貼機構(即處理廠)補貼費；因此對於廢棄主機之報廢，在前述之法令規定下，處理廠所收到之廢棄主機皆需進行分類稽核認證，根據環保署之稽核認證作業手冊需將廢主機內擁有之元件進行分類，其分類方式詳如下表1：

表 1 廢主機分類標準

廢主機	允收標準
A類	機殼、主機板、電源器、硬式磁碟機
B類	機殼、主機板、電源器
C類	機殼、主機板、硬式磁碟機
D類	機殼、主機板

資料來源：環保署應廢棄物回收稽核認證手冊

二、逆向物流

全球運籌管理中包含了正向與逆向物流，從過去重視採購、生產、配銷一連串正向物流的活動，近年來才開始逐漸重視具有環保回收與售後維修服務等活動的逆向物流。美國物流管理協會(Council of Logistics Management)的研究報告中逆物流的定義：「指透過來源減量(source reduction)、再生(recycling)、代替、再利用、和清理(disposal)等方式，在物流中扮演產品退回、維修和再製造、產品再處理、產品再生、廢棄物清理(waste disposal)及有害物質(hazardous materials)管理的角色。」

Guide(1997)指出「逆物流在一般企業主要運作的模式有三種：再利用(Recycle)：這樣的形式主要為一些金屬材料將其回復為可用的原始材料然後再回收再利用。再製造(Remanufacture)：對回收的產品做拆解，將可用的元件回收再和其它新元件結合成新產品。修理(Repair)：針對回收的產品作局部的修理。Bayles (2001)則認為逆物流是產品從最終消費者到最後適當的處理或是為了獲得產品最終價值的回收過程。

美國逆物流協會(Reverse Logistics Executive Council, RLEC)將逆物流定義為：「逆物流是一種產品移動的過程中，從最終目的地移動至其他地方，主要是為了獲得在其他方面無法獲得的價值，或是為了對產品做出適當的處理。」並提出逆向物流的活動應包括下列(Roger, 2004)：

1. 產品退回的處理，例如：損壞的物品、週期性的(seasonal)退貨、重新補貨(restock)、廢物利用(salvage)、產品召回(recall)或是過量存貨。
2. 回收包裝材料及減少包裝容器。
3. 產品維修(reconditioning)、再製造及再翻新(refurbishing)。
4. 廢棄設備處置。
5. 有害物質的規劃。
6. 資產復原(asset recovery)。

三、系統模擬

Shanon(1975)認為模擬是了解系統的行為或評估該系統在不同策略下的運作情形所進行的模式設計與利用模式進行實驗的過程。模擬為一種數量化分析工具，決策者可使用模擬方法與工具對不同方案試行、推演，以支援決策的制定。

Kelton and Sadowski (2002) 認為，模擬是用來仿效真實系統的行為，而電腦模擬是利用數值評估以研究一個真實系統之各種模型的方法。將模擬模型依特質區分為三種，如下所示：

1. 靜態與動態：靜態模型代表某個時間點的系統行為；而動態模型所代表之行為，是在時間不斷地進行下而產生。
2. 連續與離散：連續模型亦即在一段時間內系統之狀態是連續改變的；而離散模型表示系統的狀態改變發生在不連續且分開的時間點上。
3. 確定性與隨機性：確定性模型表示輸入模型之變數為固定不具隨機性；而隨機性模型意味著變數是以隨機方式輸入模型，此將導致模型輸出結果亦具隨機性。

Persson and Olhager(2002)認為供應鏈系統之離散事件模擬可控制供應鏈中可能的行為、等待情況與操作之不確定現象，建構三種供應鏈設計，舊型、現型與未來之供應鏈架構，並用手機通訊產業為案例，評估不同供應鏈設計對其品質、前置時間、成本等關鍵績效指標之影響。

Biehl and Prater(2007)使用全因數實驗設計模擬地毯逆物流系統發展的不確定性與績效評估，透過系統模擬的研究，顯示使用模擬之全因數實驗設計來探討不同決策變數對於不同的績效衡量指標比使用數學模式求解有更好的表現。Kara et al. (2007)利用模擬軟體Arena建置一個在雪梨都市的冰箱、洗衣機可回收產品之逆物流模擬系統，以回收特性作為因素分析，包括回收型態、回收地點數量、收集點、物流特性及產品特性。評估具產品生命週期產品其可預測方法的收集成本。且可模擬估計丟棄成本，提供未來再回收與丟棄重要性之分析。

參、研究方法

一、系統模擬

系統模擬為管理科學之一種數量方法，屬於不確定性決策模式的一種方法。林則孟(2001)認為模擬它是建立在三種基本理論上：(1)機率與統計；(2)資訊技術；(3)系統理論。由於其隨機性質，模擬的輸入資料與輸出結果，必須以機率與統計之觀念來處理與解釋。使用系統模擬可藉由虛擬系統來了解與測試真實系統在某些條件下的績效與結果。藉由電腦模式來進行測試，不會破壞到真實的系統，該特性使得此方法在各領或中被廣為應用。而針對模擬之類型，林則孟(2001)指出傳統上可將模擬區分為三類如下：

1. 蒙地卡羅式：即僅利用隨機亂數的模擬，而不考慮時間因素，而此類亦稱為統計式模擬。
2. 連續式：此模式中的相依變數會隨著時間而產生連續性的變化，此類模擬大多使用微分方程式來進行分析。
3. 離散事件：模式中的相依變數是隨時間間斷式的變化，而這些間斷或離散的時間點則稱為事件點。

而本研究所欲探討之回收系統，在實務上報廢的產生與結束均是在離散的時間點上，由此可知是屬於離散事件之模擬，再考量模擬工具之特性與研究本質，本研究以 ARENA 10.0 作為模擬工具，ARENA 是以 SIMAN V 和 CINEMA V 為基礎發展而成的。CINEMA V 可配合 SIMAN V 模擬語言來進行動畫模擬，可方便的在螢幕上觀察出模擬的進行，以利進程式除錯。ARENA 提供使用者視窗介面整合圖形化的環境建構模型(Model)。ARENA 結合了高階模擬軟體的易用性與模擬語言的靈活性，甚至可配合 Microsoft Visual Basic 或 C 語言，來設計模擬系統。

而本研究在進行模擬研究參照 Shannon (1975)，Gordon (1978)，Law and Kelton (1991)等多位學者推薦的五個步驟進行模擬研究：

1. 定義模擬問題、目標與限制範圍

2. 系統資料數據之收集、分析與效用
3. 建立正確有用的模型
4. 引導模擬實驗
5. 資料文件化與模擬結果之報告

二、廢棄主機回收流程

本文研究對象為台灣廢棄主機之回收系統，在台灣的廢主機的回收流程中，回收點一般為環保署簽核准之廠商、地方清潔隊。在回收點中，亦有許多廠商的母公司為回收商，而另一種類型的回收商為較大型的舊物回收站。而在本研究的回收流程中，回收成員包含下列：

1. 回收點：指一般家庭、企業、各縣市清潔隊、各機關學校及設有回收點 的零售商、維修服務商店等等，均視為回收點，在此流程中，僅具收集功能。
2. 回收商：回收商到各回收點收集廢棄物或回收點將廢棄物送往回收商後，作分類及儲存，再送往處理廠。回收商在此流程中扮演著回收點與處理廠二者間緩衝的角色。
3. 處理廠：將廢棄物進一步分解、粉碎，以篩選出有用的再生原料及無用的廢料。

在整個流程中，包含多個回收點、多個回收商、多個處理廠。其回收流程由民眾所產生的廢棄物作為起始點，再由回收點作初步收集，待達到後送標準後再交由回收商，而回收商可選擇作進一步的分類與儲存或者不進行分類統一儲存再送往處理廠，最後經由處理廠進行稽核認證後將廢棄物進行拆解、粉碎、分選、精鍊或最終處理。其中拆解為將電腦主機經拆解後，將所產出的再生原料送回市場，而含無害物質之廢料送往掩埋廠丟棄，其完整回收流程如下圖 2 所示：

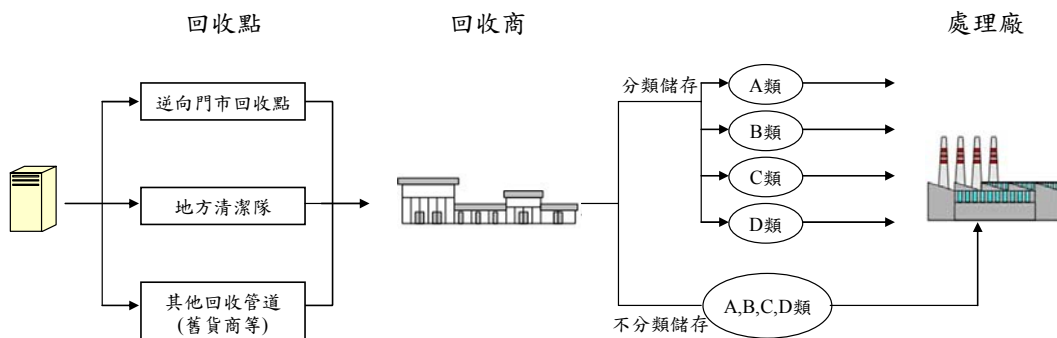


圖 2 廢棄主機回收流程圖

資料來源：本研究整理

三、模型建構

本研究主要針對台灣的廢主機回收環境作為主要研究的背景，以廢棄主機之回收政策與回收商分類決二變數之間對於廢棄物處理廠的單位時間處理量、系統時間與回收成員間平均存貨水準之相互關係的影響，以期設計出較佳之逆物流回收系統。在明確定義問題與目標後，建立模擬模型所需之決策變數與績效衡量指標，並且使用邏輯流程圖，說明系統的邏輯觀念。如下圖 3 所示：

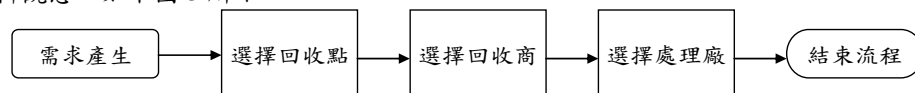


圖 3 邏輯流程圖

而研究將全台分為北、中、南、東，共四區，北區包含台北縣市基隆市、宜蘭縣、桃園縣與新竹縣市。中區包含苗栗縣、台中縣市、南投縣、彰化縣與雲林縣，南區包含了嘉義縣市、台南縣市、高雄縣市屏東縣。東區包含了花蓮縣、台東縣。分區原則是依據台灣大學地理學系多媒體研究室所提供之台灣區域畫分圖為主要參考。

以台灣各區產生的變異量程度去模擬各區廢主機產生的間隔時間，產生廢主機後，依照主機所在區域選擇回收點，將主機送至回收點並做完儲存後，依據回收政策的標準判斷是否有達到將廢主機後送到回收商的標準，若沒達

到繼續儲存，若有達到標準則後送至回收商。達到後送標準後送往回收商，回收商收到廢主機後，進行分類或不分類儲存後計算回收數量，並依據回收政策的標準判斷是否有達到將廢主機後送到處理廠的標準，若沒達到繼續儲存，若有達到標準則後送至處理廠，送至處理廠處理完後即結束本模組流程。

四、模擬變數

(一)回收政策

回收成員的回收政策共可分為二種包括：(1)定量回收：當回收站收集到一定的主機數量時，回收站即作分類儲存的動作。模組中依照五種運輸工具的承載量，做為回收量的標準規格，分別為 3.5 噸、6.5 噸、10.5 噸、32 噸、42 噸共五種。在定量回收裡，使用 3.5 噸和 35 噸這二種為主要的交通工具，分別為回收點與回收商回收數量的標準。(2)定時回收：固定一個期間前往回收站回收廢主機，不論數量多寡

(二)回收商之分類決策

回收商之分類決策可分為二種包括：(1)分類：當回收商收到回收點之廢棄主機後依據處理廠之分類準則進行分類並各別儲存，待各類主機累積達後送標準即進行後送。(2)不分類：當回收商收到回收點之廢棄主機後將不進行分類並統一儲存，當所有廢主機達後送標準進行統一後送。

綜合前面所述，變數水準之設定可整理如表 2 所示，本研究使用全因子實驗設計(Full Factorial Experiment)，此種實驗方法探討所有因素水準的組合，從實驗中了解所有因素的主效應(Main Effect)及所有交互作用(Interaction)的影響。由於本文中只有二個決策變數，即二個因子，其中，回收政策有二個水準(定量回收、定時回收)，分類決策有二個水準(分類、不分類)，本研究之模擬組合共有 4 組(2×2)的模擬實驗組合。茲將本研究之模擬組合整理如表 3 所示。

表 2 模擬變數之水準

變數名稱	水準
回收政策	1.定量不定期
	2.定期不定量
回收商分類決策	1.分類
	2.不分類

表 3 模擬組合

		變數水準			
		定量回收	定時回收	分類	不分類
模擬組合	M1	◎		◎	
	M2		◎	◎	
	M3	◎			◎
	M4		◎		◎

五、績效衡量指標

(一)單位時間處理量(Throughput, TP)

指單位時間內處理廠對於回收點和回收商所有的回收廢棄主機的總量，亦即單位時間所能處理的負荷量。

(二)系統時間(System Time, ST)

廢主機從交由回收點回收後，後送至回收商，經分類與儲存累積至一定的數量時送往處理廠處理，整個從被回收至被處理過程中所花費之時間為系統時間。

(三)平均存貨水準(Average WIP, AWIP)

回收點與回收商分別將所回收之廢主機分類並儲存，回收成員之平均存貨水準，可分成回收點的平均存貨水準(Point Average WIP, PAWIP)與回收商的平均存貨水準(Store Average WIP, SAWIP)。

六、系統參數

(一)、回收品產生間隔時間

回收品產生間隔時間是依據環保署統計資料庫所提供九十四年至九十八年台灣各區廢棄電腦平均總回收數量的數據推算出模擬系統廢棄物產生之間隔時間。結果如表 4 所示。

表 4 各區廢棄主機產生間隔時間

區域	產生間隔時間	備註
北區	0.967min	平均每 0.967 分鐘產生一台廢棄主機。
中區	3.061min	平均每 3.061 分鐘產生一台廢棄主機。
南區	2.624min	平均每 2.624 分鐘產生一台廢棄主機。
東區	13.78min	平均每 13.78 分鐘產生一台廢棄主機。

(二)、各工作站作業時間

模組中完整流程共包含三個工作站，分別為回收點、回收商、處理廠，而三個工作站的作業時間皆採用指數分配(EXPO)方式，其中假設平均數分別為 10sec、20sec、30sec 如下表 5 所示。

表 5 各工作站之作業時間

系統參數	設定值
各工作站作業時間	回收點作業時間：EXPO(10) sec 回收商作業時間：EXPO(20) sec 處理廠作業時間：EXPO(30) sec

七、模型檢驗

模型檢驗包含了模型驗證(Verification)與模型確認(Validation)。模型驗證主要在檢驗模型的建構是否與預期的邏輯相符，可利用 ARENA 模擬軟體中的動畫(Animation)與模型檢查(Check Model)等功能進行驗證。模型確認則用來表示模型之有效性，即該模型能否代表實際系統之運作，可藉由比較實際系統的輸出結果與模擬模型的輸出結果，確認該模型的有效性。透過輸入固定的參數計算出理論值，並參照所模擬所得的值，比較兩者之間的誤差以確認模型的效度。

本研究透過比較模型年報廢量與實際台灣 94 至 98 年平均 5 年實際報廢量之結果的誤差，來驗證模型的有效性。由表 6 可得知，模擬值與實際值誤差均在 5%以下，為可接受範圍，以證明此模型為有效的。

表 6 年度報廢量實際值與模擬值比較表

	報廢量
模擬值	934393 台
實際值	953892 台
誤差	2%

八、模擬次數與時間

本模型經過多次的測試，績效衡量指標皆達平穩狀態，單位時間處理與回收商平均存貨量在第六十天後達到穩定狀態，而其他的績效衡量指標皆在第二十天後達穩定狀態，如圖 4 所示，確認本研究所提出的逆物流回收系統屬於穩態系統。

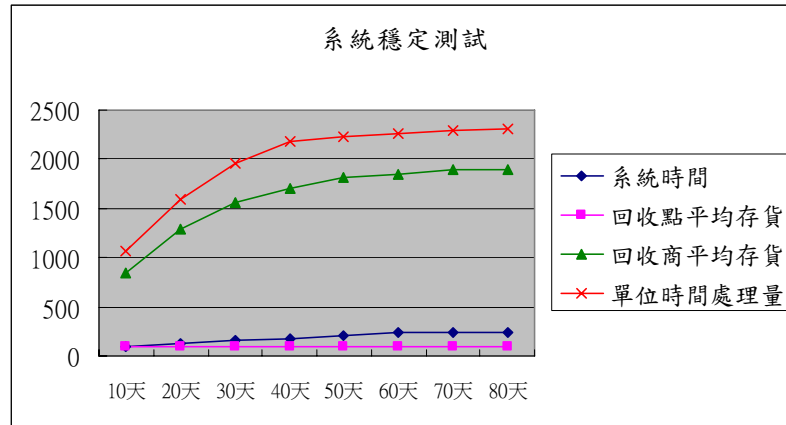


圖 4 系統穩態測試圖

依據 Law and Kelton(2000)，模擬次數的求算公式如下式：

$$n = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \sigma^2}{d^2}$$

n 代表的為模擬次數，d 代表誤差值(d=1)，z 值是在顯著水準為 5%可由標準常態表中查得($Z_{\frac{\alpha}{2}} = 3.84$)， σ

為標準差經由計算後($\sigma^2 = 4.9$)，在 95%的信賴區間內，模擬的次數為 20 次。為收集有效樣本，模擬模型必需於系統達到穩定狀態時才可開始收集樣本，經模型多次測試後，本模型屬於穩態系統。本研究所設定的模擬時間長度為 90 天，暖機期間為 60 天。

肆、模擬結果與分析

本研究執行一個全因子實驗設計(Full Factorial Experiment)，4 組模型每組模擬 20 次的實驗後，各實驗組合之平均績效與標準差整理如下表 5-1 所示

表 7 模擬結果敘述統計表

		ST (小時)	TP (台)	PAWI (台)	SWIP (台)
定量 回收	分類	316.70 (9.19)	2578.14 (33.71)	100.56 (0.35)	1970.34 (16.41)
	不分類	97.83 (1.13)	2680.53 (43.39)	100.48 (0.41)	599.34 (2.21)
定時 回收	分類	158.55 (0.99)	2603.10 (12.39)	61.70 (0.47)	1054.06 (6.1)
	不分類	58.11 (0.24)	2697.14 (9.71)	61.76 (0.49)	338.86 (1.55)

註：表格內數字為平均數，()內為標準差

為探討回收政策與回收商之分類決策二個決策變數對於逆物流回收系統績效的影響。將實驗所得結果使用統計分析之單因子變異數分析(ANOVA)進行分析，並檢驗 F 值在顯著水準 5%下是否有達到顯著，因實驗設計特性，將得到的實驗結果可分為主效果與交互作用項效果進行探討如下：

一、系統時間績效

ANOVA 的分析結果如表 8-1 所示，回收政策、分類決策二個變數對系統時間的主要效果皆呈現顯著差異。在交互項上亦為顯著的。

表 8-1 ANOVA 分析結果-系統時間

系統時間				
來源	自由度	F 檢定	p value	Significance
校正後的模式	3	2541.085	0.000	*
回收政策	1	18701.442	0.000	*
分類決策	1	52426.181	0.000	*
回收政策*分類決策	1	37603.388	0.000	*

*在 0.05 顯著水準上有顯著差異

從系統時間這個績效變數的觀點而言，績效較好的模型為定時且不分類之模型(M4)。這是因為定時回收的回收政策，配合回收的數量與時間，回收反應較為靈敏且即時，所以模型的回收系統時間績效較好，而在定量回收政策與回收商採分類決策下其績效較差，其模型比較由下圖 4-1 所示：

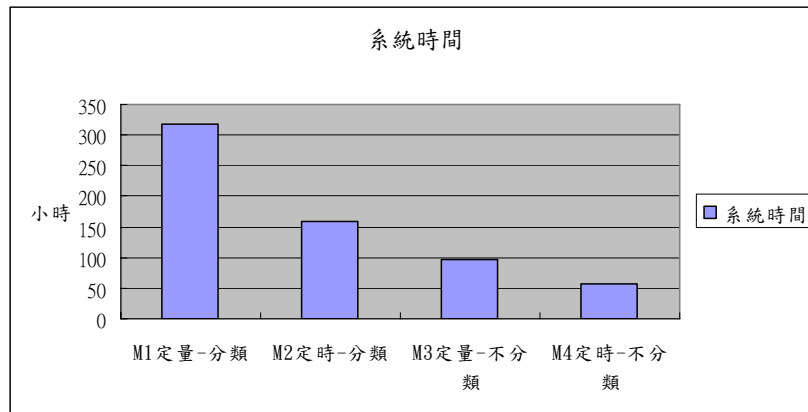


圖 5-1 系統時間績效結果

在分析交互項效果時，可利用折線圖來說明。圖中線的高低代表該水準的平均數為高或低，而線與線之間若交叉或不平行即代表有交互效果存在。當績效衡量指標為系統時間時由下圖 5-2 可知當回收商採取不分類決策時其系統時間績效較低，而當回收商採取分類決策配合定時回收其系統時間改善較為明顯，因此在不同的回收政策與分類決策下會產生交互的影響。

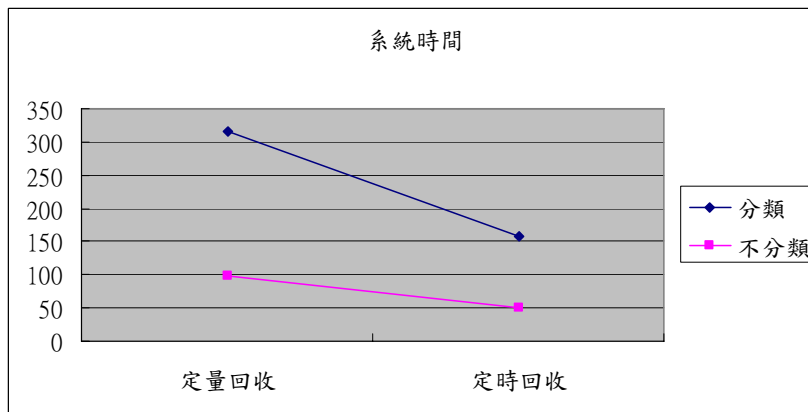


圖 5-2 系統時間(回收政策*分類決策)

二、單位時間處理量績效

ANOVA 的分析結果如表所示 8-2，回收政策與分類決策二個變數對單位時間處理量的主要效果皆呈現顯著差異。在交互項上為不顯著。

表 8-2 ANOVA 分析結果-單位時間處理量

單位時間處理量				
來源	自由 度	F 檢定	p value	Significance
校正後的模式	3	71.272	0.000	*
回收政策	1	5.872	.018	*
分類決策	1	207941	.000	*
回收政策*分類決策	1	.004	.947	

*.在 0.05 顯著水準上有顯著差異

以單位時間處理量的觀點而言，採用定時且不分類之決策(M4)其單位時間處理量較高，而採定量分類之決策單位時間處理量較低，其原因為配合定時政策能夠即時掌握後送之時機，而回收商採不分類決策能減少主機置留於回收商之時間，因此送往處理廠之數量較高。圖 5-3 中得知。

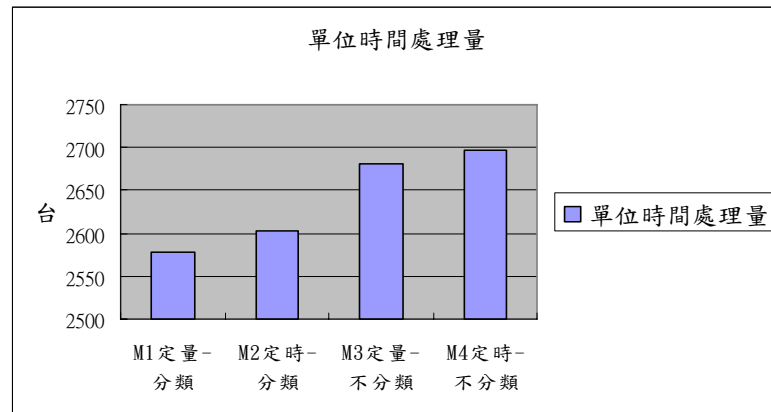


圖 5-3 單位時間處理量績效

三、回收點平均存貨績效

ANOVA 的分析結果如表 8-3 所示，回收政策與分類決策二個變數對回收點平均存貨的主要效果僅回收政策變數呈現顯著差異。二在交互項上為不顯著。

表 8-3 ANOVA 分析結果-單位時間處理量

回收點平均存貨				
來源	自由 度	F 檢定	p value	Significance
校正後的模式	3	54160.526	0.000	*
回收政策	1	162481.039	0.000	*
分類決策	1	.006	.938	
回收政策*分類決策	1	.533	.468	

*.在 0.05 顯著水準上有顯著差異

從回收點的平均存貨的結果來看，在回收政策上採用定時回收(M2、M4)，其平均存貨皆低於定量回收政策的模型。其原因為定時回收的模型與定量的回收政策相較之下會在更短的時間內、在更小的數量下作回收，所以存貨水準較低，由圖 5-4 可得知。

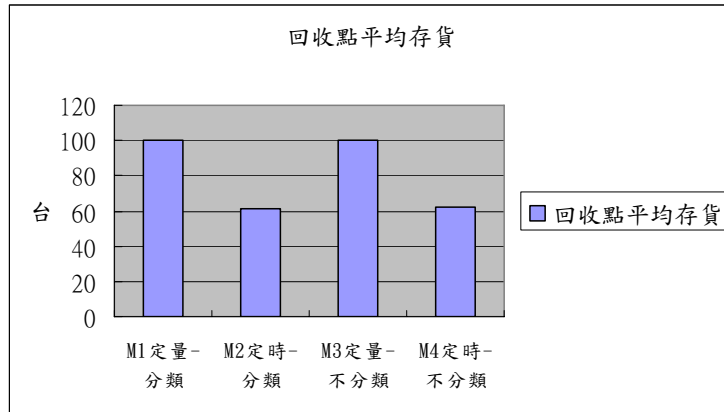


圖 5-4 回收點平均存貨績效

四、回收商平均存貨績效

ANOVA 的分析結果如表 8-4 所示，回收政策與分類決策二個變數對回收商平均存貨的主要效果皆呈現顯著差異。在交互項上亦為顯著。

表 8-4 ANOVA 分析結果-回收商平均存貨

回收商平均存貨				
來源	自由度	F 檢定	p value	Significance
校正後的模式	3	71253.585	0.000	*
回收政策	1	48814.683	0.000	*
分類決策	1	151267.8	0.000	*
回收政策*分類決策	1	13678.273	0.000	*

*.在 0.05 顯著水準上有顯著差異

從回收商的平均存貨的結果來看，當回收商採取不分類決策(M3,M4)，其平均存貨皆低於採用分類決策的模型。其原因為回收商不需等待各類別之主機達到後送標準再後送，因此可降低其庫存量，由圖 5-5 可得知。

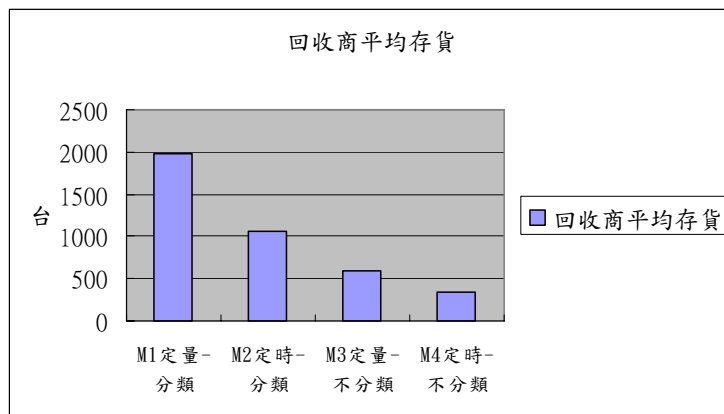


圖 5-5 回收商平均存貨績效

而在交互作用方面，績效指標為回收商存貨時由下圖 5-6 之折線圖所示回收商採取不分類時其平均存貨量較低，而當回收商採取分類且配合定時回收政策時其平均存貨水準也可降低，因此在不同的回收政策與分類決策下會產生交互的影響。

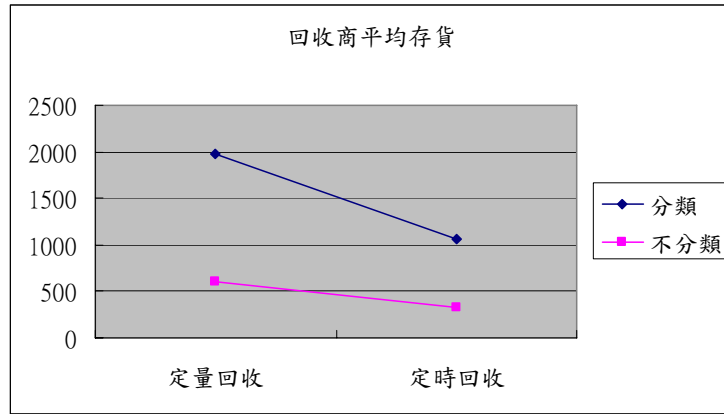


圖 5-6 回收商平均存貨績效(回收政策*分類決策)

伍、結論與建議

一、結論

隨著經濟持續的發展，科技日新月異的進步下，電腦及相關之資訊產品已成為人們生活中不可或缺的一部分，雖然這些資訊產品改善了人們的生活品質，但也加速了對環境的影響，為避免環境持續惡化，國際間開始重視起有害廢棄物的回收，諸多關於環保議題之法令也相繼通過，歐盟針對有害廢棄物回收處理訂定「廢電機電子設備法令(WEEE)」及針對含有害物質使用之限制訂定「特定有害物質使用限制指令(RoHS)」，在法令的規定下期能改善污染問題及有效的利用再生資源，而我國亦針對廢棄物回收訂定了「廢棄物清理法」，在政府法令規定下，台灣之逆物流回收作業已漸漸受到重視。

本研究針對廢個人電腦之主機的逆物流回收系統進行探討。其個人電腦已成為現代人們生活中不可或缺的設備，但由於含有長期無法消失的有害物質，故個人電腦及相關的資訊設備回收就成為環境保護的重要課題。因系統的動態性與複雜性，本研究使用系統模擬的方法針對逆物流回收系統之設計參數與績效之關係進行研究。使用全因子實驗設計，模擬系統共有二個因子，「回收政策異因子」有二級水準，「回收商之分決策」因子有二級水準，故共有 4 個(2*2)模擬組合。

本研究使用模擬軟體 ARENA10 進行回收系統模擬，在建構完基本模型後，利用 ARENA 所提供的模擬動畫(Animation)與模型檢查(Check Model)等功能驗證系統模型，再使用實際報廢量與模擬結果進行比較以驗證模型的有效性。該系統共執行模擬實驗 20 次，每次的模擬暖機時間為 60 天，模擬總時間為 90 天。所得的模擬結果，進行單變量 ANOVA 分析，將分析結果歸納以下結論：

1. 採用不同回收政策時，對於系統時間、單位時間處理量及回收成員間的平均存貨水準有顯著的差異，當回收成員採取定時的回收政策時，會降低廢棄物置留於系統之時間，相對的也降低了回收成員間之存貨，對於處理廠所要處理的量也隨之提高。
2. 回收商採取的不同分類決策對於回收的系統的時間、單位時間處理量及回收商本身之平均存貨水準有顯著的差異，當回收商採取對主機進行分類時，需等待各類別之主機達到標準而後送，將會增加主機置留於系統之時間，相對的也增加了本身之存貨，處理廠之處理量也隨之減少。
3. 二變數間之交互作用對部分系統績效具顯著效果，當回收成員採取定時回收政策而回收商採分類決策可降低系統時間與回收商之平均存貨，而回收商若改採不分類決策時其系統時間與平均存貨水準最低，故不同的回收政策與分類決策間存在交互作用之效果。

二、管理意涵

本研究建議當企業的營運策略以回收處理前置時間及庫存成本為主要考慮條件時，企業可採用定時回收的回收政策，此政策可針對時間作控管，其回收處理的前置時間低於定量之回收亦可有效的控管其庫存量。

而針對回收商部分，建議可依照收到之各類別主機之數量情況進行決策選擇，當各類別主機回收數量較穩定且平均時可進行分類各別後送，而當各類別主機回收數量不一時進行不分類後送之決策並搭配定時之回收，以達到即時又快速之回收能力，如此情況下除了能避免回收量較低之主機長期置留於倉庫，增加其庫存成本，亦能夠更有效的管理倉儲能存放其它較大型之回收物(如家電)，對於整體系統之績效益有所幫助。

三、未來研究建議

本文所提出的逆物流回收系統，回收點後送廢棄主機時，所選擇的回收商皆為同區域的回收商。建議未來研究時，在回收點後送回收商時，選擇不同區域的回收商，來探討此逆物流系統是否會產生不同的績效影響。

在系統參數上，可增加對回收成員後送廢棄主機時，不同的運輸時間的參數設定，以模擬系統是否產生不同績效。

在績效衡量指標上，本研究針對系統時間與單位時間處理量與回收成員間平均庫存水準等三指標來衡量系統的績效。建議可在未來研究時，增加回收成員在回收廢棄物處理之成本及收益來衡量系統績效。

參考文獻

- [1] 林則孟(2001)。系統模擬理論與應用，初版，滄海書局，台中市。
- [2] 邱文琳、江國瑛（2006）。「從 EU-WEEE 看歐盟政府立法思維及民間因應」。2006 永續性產品與產業管理研討會。國立成功大學。
- [3] Biehal, M., Prater, E. and Realf M.J. (2007). Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems. *Computers & Operations Research*, 34, pp.443-463
- [4] Barros, A.I., Dekker, R. and Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of Operational Research*, 110, pp.199-214
- [5] Bayles DL. (2001). *E-commerce logistics and fulfillment*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- [6] Bloemhof-Ruwaard, J.M., Salomon, M. and Van Wassenhove, L.N. (1994). On the coordination of product and by-product flows in tow-level distribution networks: Model formulations and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 79, pp.325-339
- [7] Ginter, P.M. and Sterling, J.M. (1978). Reverse distribution channels for recycling. *California Management Review*, 20(3), pp.72-82.
- [8] Gordon, G. (1978). *System Simulation*. (2nd ed). Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall.
- [9] Grunow, M. and Gobbi, C. (2009). Designing the reverse network for WEEE in Denmark. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 58, pp.391-394
- [10] Gungor, G. and Gupta, S.M. (1999). Issue in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Computers and Industrial Engineering*, 36, pp.811-853
- [11] Guide, J.V., Kraus, M. E. and Srivastava, R. (1997). Scheduling Policies for Remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 48, pp. 187-204
- [12] Jayaraman, V., Patterson, R. A. and Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution network : Models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 150, pp.128-149
- [13] Kara, S., Kaebernick, H. and Magnusson, P. (2003). Modeling of product collection networks in Sydney Metropolitan Area. In: *Proceedings of the CIRP Seminar on Life Cycle Engineering*, May 21-23, Copenhagen, Denmark
- [14] Kelton, W. D., Sadowski, R. and Sadowski, D. (2002). *SIMULATION WITH ARENA*, McGraw-Hill Inc.
- [15] Kibum, K., Iksoo, S., Juyong, K., Bongju J. (2006). Supply planning model for remanufacturing system in

reverse logistics environment. *Computers and Industrial Engineering*, 51, pp.279-287

- [16] Law, A. M. and W. D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, New York, 3rd edition, 2000
- [17] Mahadevan, B., Pyke, D. F., and Fleischmann, M. (2003). Periodic review push inventory policies for remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 151, pp.536-551.
- [18] Persson, F., Olhager, J., (2002) "Performance simulation of supply chain designs", *International Journal of Production Economics*, Vol.77, pp. 231-245
- [19] Prahinski, C. and Kocabasoglu, C. (2006). Empirical research opportunities in reverse supply chains. *The International Journal of Management Science, Omega*, 34, pp.519-532.
- [20] Rogers D., Tibben-Lembke R. , "Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices", Reverse Logistics Executive Council(RLEC), 1998
- [21] Shannon, R. E. (1975). *System Simulation: The Art and Science*. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall
- [22] Terzi, S. and Cavalieri, S. (2004). Simulation in the supply chain context :a survey. *Computers in Industry*, 53, pp.3-16.
- [23] Van der Laan, E. (1996). An (s, Q) Inventory model with remanufacturing and disposal. *International Journal of Production Economics*, 46-47, pp.339-350.