

# 明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

綠色供應鏈可回收商品之存貨模式

## Green Supply Chain Inventory Model for Recoverable Products

計畫類別：任務型計畫 整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97-工管-09

執行期間：97 年 1 月 1 日至 97 年 9 月 30 日

計畫主持人：黃文昌

共同主持人：

計畫參與人員：陳威良、湯玉琪

處理方式：公開於校網頁

執行單位：工管系

中 華 民 國 97 年 10 月 30 日

## 摘要

在最近幾年環保與綠色產品意識的覺醒，企業和政府意識到，資源利用是有限的，為了減少廢棄物，因此回收與資源再生將是未來趨勢。這些壓力除了環保意識外，主要原因也是因為國際團體如：廢電子電機設備指令 (WEEE)、電子電機設備中危害物質禁用限制(RoHS)與歐盟(European Union)等強調綠色生產的壓力下，扮演一個很重要的角色。在2006年 12月31日後，WEEE的主要會員國，每人每年必需至少回收4公斤的回收數量。因此，公司企業必須完成一回收系統，為了完成WEEE指令的績效要求。

環境的覺醒愈來愈高漲，限制使用有限自然資源製造新產品，回收數量配額制度以避免廢棄物的增加，製造商被分配負責對被使用的產品回收責任，和政府獎勵與刺激回收零件材料等，其目的皆是“增加回收減少有限資源使用”。產品和材料再使用不是一種新現象，廢紙、金屬廢棄物、一般飲料空瓶的回收已經是長期是例子，這些情況下再使用的產品比使用新品在經濟層面上更划算。

在本研究中，我們考慮回收再使用商品與外購新品皆有不良品以符合實際情況，而模式的假設是，被使用過的產品以固定的比例從顧客方面收集，恢復的產品完全被認為是新的可以再使用。其目的是：在外購商品與可回收使用皆含不良品前提下，獲得最佳經濟訂購量與存貨水準使其總成本最低，同時將所推導之模式代入數值範例加以說明，並對重要的參數進行敏感度分析。其伴隨的無形效益將是環保觀念提升、地球資源減少浪費、降低環境污染。本研究結果，將可具體提供政府及企業有效執行環境化設計、綠色生產、及資源回收再利用等各項建議及決策參考。

**關鍵詞：綠色生產、資源再生、經濟訂購量、存貨水準**

## Abstract

Due to recent worldwide environmental and green products consciousness, a systematic analytical process to evaluate various alternative courses of action with the objective of developing an efficient way to employ scarce resources is critical. The pressures from WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), RoHS (Restriction of Hazardous Substance) and European Union have played an important part in enhancing the greening of products. After December 31, 2006, each person of WEEE main members has to recovery at least 4 kilograms recycling quantities every year. Therefore, each enterprise must achieve the recovery system in order to conform to the WEEE instruction.

Increasing environmental consciousness, limited of natural resources to manufacture new products, recovery quotas to avoid disposal, manufacturers assigned to be responsible for used products, and materials value of components included in returned products are incentives for product recovery. Reuse of products and materials is not a new phenomenon. Waste paper recycling, metal scrap brokers, and deposit systems for soft drink bottles are the examples that have been around for a long time. In these cases recovery of the used products is economically more attractive than disposal.

In this study we discuss the newly procured and reusable items that have imperfect quality. The model assumes that a fixed proportion of the used products are collected from customers and later recovered for reuse. The recovered products are regarded as perfectly new ones. The object is to obtain the economic order quantity (EOQ) for procurement and the optimal inventory level of recoverable items to start the recovery process simultaneously. The formulation treats the two inventories as interdependent parts of a total system, and jointly determines the optimal lot sizes for the recovery and the procurement process. A mathematical model and program are developed to derive the minimal cost, and finally numerical example and sensitivity analysis are given to analyze the key factors in the system.

**Keywords:** recoverable items 、 inventory level 、 imperfect quality 、 EOQ.

# 目錄

摘要.....	I
ABSTRACT .....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	IV
表目錄.....	V
1. 前言.....	1
2. 研究動機與背景.....	1
3. 研究目的.....	3
4. 研究方法與步驟.....	4
5. 回收存貨模式建立.....	6
5.1 研究背景與動機.....	6
5.2 研究目的.....	6
5.3 數學模式說明.....	7
5.3.1 模式基本假設條件之說明.....	7
5.3.2 符號定義.....	8
5.3.3 模式描述.....	8
5.3.3.1 訂購無不良品.....	8
5.3.3.2 訂購含不良.....	8
5.3.4 存貨模式之推導.....	13
5.3.4.1 訂購新品全檢無不良：.....	13
5.3.4.2 訂購含不良.....	15
5.4 數值範例說明.....	20
5.4.1 範例(1)訂購新品無不良品.....	20
5.4.2 範例(2)訂購新品含不良品.....	21
5.5 敏感度分析.....	22
5.5.1 範例 (1).....	22
5.5.2 範例 (2).....	23
6. 結論.....	25
參考文獻.....	27

## 圖目錄

圖表 1 研究架構.....	5
圖表 2 趨勢需求之回收與訂購新商品之存貨架構圖.....	7
圖表 3 考慮趨勢需求回收含不良品之存貨系統圖.....	9
圖表 4 修正考慮趨勢需求回收含不良品之存貨系統圖.....	10
圖表 5 考慮趨勢需求新品含不良品之存貨系統圖.....	11
圖表 6 修正趨勢需求回收與新品含不良之存貨系統圖.....	12
圖表 7 相關參數之變異圖.....	23
圖表 8 相關參數之變異圖.....	24
圖表 9 本研究綜合效益.....	26

## 表目錄

表格 1 搜尋成本最低之整數 $n$ .....	20
表格 2 搜尋成本最低之整數 $n$ .....	21
表格 3 敏感度分析之變異表.....	22
表格 4 敏感度分析之變異表.....	24

## 1. 前言

現今企業間高度競爭與全球化市場的環境壓力下，無不以降低成本、提供快速的服務，以及附加價值給顧客，而供應鏈管理(Supply Chain Management, SCM)的原則與理論，則是在這種環境下逐漸被廣泛討論與應用。然而，近年來，產業蓬勃發展逐漸轉型進入電子化時代，許多電子及電機產品因新產品的快速推出而遭淘汰，造成嚴重的環境污染問題，導致自然界生態嚴重被破壞。因此，目前世界各國政府也積極推動環保法規，並倡導企業從事綠色生產、綠色設計、資源回收再利用，並鼓勵民眾購買符合低污染、低能源，及具環保標章之商品，希望藉此降低環境衝擊、保護地球資源。也因此，企業則面臨一項重要的問題，即是如何將環境因素納入經營管理中？如何將供應鏈管理與環境問題一併解決，是企業未來必須解決的重大問題。

根據施勵行與賴義方(2003)指出，企業從事環保的最新趨勢，即是推動綠色供應鏈管理(Green Supply Chain Management, GSCM)，也就是從供應鏈管理的活動，提供真正的綠色產品，從產品的設計、製造、材料的採購、供應商之選擇與評估，以及最終產品的回收再利用(Recovery)等，皆應考量環境層面問題。然而，目前企業所推行的供應鏈管理系統，大多僅考慮正向供應鏈管理(Forward Supply Chain Management)的產品配送與資訊共享，鮮少談論到逆向運籌管理(Reverse Logistics Management)之活動，且過去許多研究，也僅針對正向之供應鏈管理，以及逆向運籌管理等單方面進行探討，也就是僅針對產品設計階段或生產製造過程中材料替代、物料回收進行分析，對其產品生命週期終了之產品回收、物料/零組件的回收再利用，廢棄物之處理機制卻鮮少探討。

若能在整個供應鏈管理的過程中，從供應商進行供料(綠色供應商評選、綠色採購、符合環保之物料/零組件)、到製造商進行製造/再製造(使用可回收再利用的物料/零組件或符合低污染、省能源的材料)、配送/銷售(綠色行銷，綠色產品)、消費者與回收廠商(購買綠色商品，具明確的回收管道)，以及最終廢棄物處理廠商(進行最終廢棄物處理)等，這一連串的供應鏈管理活動，皆能顧及到環境層面的問題，不但可減少社會對環境的負擔，更能提昇企業本身的形象。

## 2. 研究動機與背景

近年來，產業蓬勃發展也逐漸轉型進入電子化時代，許多電子及電機產品因新產品的快速推出而遭淘汰，造成嚴重的環境污染問題，其中包括廢棄物的污染、溫室效應、及臭氧層破壞等問題，導致自然界生態嚴重被破壞。各種資源、能源的消耗量，更是日以劇增，以歐洲為例，每年將近有八十萬噸的電子電機產品

，無法繼續使用而被直接報廢丟棄，這些廢棄不用的產品，所造成的垃圾問題，及同時所使用的製造材料與製程，不但污染了空氣、河川、土壤等，也破壞地球的生態環境。面對此一問題，目前世界各國政府已積極的推動環境法規，並鼓勵民眾購買具環保標章之商品；企業也朝向環境化設計，提供大眾綠色產品，同時也減少國際間之綠色貿易障礙，希望藉此能將降低環境衝擊，保護自然生態之平衡。

目前國際上對於電子電機設備回收再利用之法規，以及其他相關環保法規發展十分迅速，早在1993年歐洲就已提出「製造商責任制」，由製造商負責廢舊家電回收解體處理，也就是延長生產者責任(Extend Producer Responsibility, EPR)；德國制定「電子電機廢棄物管制法案」，及歐盟(European Commission)的「廢電子電機設備指令」(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)和「電子電機設備中危害物質禁用限制」(Restriction on Hazardous Substances, RoHS)；日本也早已公佈並實施了「家用電器資源回收法」，明確規定家電製造商和進口商對電冰箱、電視機、洗衣機、冷氣機四種家電有回收的義務和實施再商品化的義務；而我國政府也積極並鼓勵企業進行「綠色生產」、「綠色設計」，以及「資源再生」，在2003年七月正式實施「資源回收再利用法」，其目的除了要求企業提供綠色商品給社會大眾外，也要求企業在產品設計時，須同時考量未來產品為回收而設計(Design for Recycling)，以達到省能源及省資源的目標。

而產業界也因國內、外環保法規，以及消費者對環保的要求日益嚴格，從過去「管末處理」(End-of-Pipe)的方式，處理生產過程中所產生的污染與廢棄物處理問題外，許多公司也開始發展具經濟效益之綠色設計(Green Design)、環境化設計(Design for Environment, DfE)，及逆向運籌管理(Reverse Logistics)。如惠普公司(Hewlett Packard)將環保意識當作公司的使命，使得危險性化學品之排放降低了71%。道瓊化學公司(Dow Chemical)及通用汽車(General Motors)公司，設立專門的單位，負責廢棄物與再回收之管理(Rice, 1993)。全錄(Xerox)公司也發展了逆向運籌流程(Reverse Logistics Process)，以回收顧客的舊機器，並從老舊的產品中拆除好的零件，再作廢品回收(US EPA, 1973)。其理念不僅與垃圾減量結合，更以節約能源與物質，及降低環境衝擊為出發點。

綜合上述分析，發現雖然各國的確實積極推動立法，並且要求製造商必須對其所生產之電子電機產品進行回收，但在實際推動上卻發現企業之成效不彰，其原因說明如下：

1. 供應鏈系統缺乏完整性：整個供應鏈體系缺乏系統性之整合模式，從供應商、製造商、配銷商、消費者與回收廠商，以及最終廢棄處理廠商之間的聯繫不夠密切，致使回收之機制與管道無法完整建立。
2. 回收品價值難以估計且取得困難：回收的產品過於老舊，使其在拆解過程中，材料之辨識率低，導致回收的效益降低，而企業也難以取得次級材料或舊零件，以進行回收再利用。

3. 成本之預估困難：產品之回收與拆解的方法，將會影響回收的成本，數量，品質，以及獲利率。

4. 企業與政府配合度不佳：企業主要以經濟效益層面為考量，政府即是以環境化觀點為目標，因此企業對政府所採取之相關法令無法完全配合。

資源回收的議題在環保意識高漲的年代逐漸被重視著，如何控制可回收產品與修復後產品之間的存貨問題便油然而生。Richter(1996)首先探討一個EOQ模式中顧客的需求是由本身生產的產品與廢棄物的修復共同來滿足，此模式在固定的回收週期中，以最小成本為目的去求出最佳的修復次數與生產次數。其後，Richter(1996)又擴充之前的模式，將固定回收週期擴充為變動的回收週期，以最小成本為目的去求出最佳的修理次數、生產次數與最佳的回收週期長度。Richter 和 Dobos(1999)利用整數規劃來分析 EOQ 模式中 含有廢棄物修復與本身生產的問題。Kiesmuller(2003)研究單一物品的回收存貨系統，可提供顧客需求的產品來自兩部份：一是回收再製部份，另一部分是自己本身生產出來的產品，同時在考慮缺貨與不缺貨與動態需求及回收率的情況下，求得系統最佳的總成本。Kleber 等(2002)應用 Pontryagin' s Maximum Principle 去探討多物品之回收存貨系統之最佳生產與再製之策略。Koh et al.(2002)主要探討一個 EOQ 與 EPQ 聯合模式，在固定的需求、與回收率的情況下，研究可回收性產品與外購新產品之間的最佳訂購數量、訂購次數與回收品修復次數。Wee and Jong (1988)、Wee and Chen (2002)發展外購商品多批量及多階供應鏈之存貨模式

### 3. 研究目的

本研究的主要目的在於，將Koh 等(2002)所提出的可回收再生產之存貨模式導入環保觀念，在此模式中分別加入三個假設條件— 考慮外購新品含不良品以及回收舊品含不良品，另外考慮實際情況需求為趨勢變動。

本研究模式之範例對象為：飲料製造商之空瓶供應者、或在拆解過程中取得次級材料或舊零件，以進行回收再利用。使用過的空瓶由顧客端回收後，經過清洗、消毒等流程後，與外購所得之空瓶一同賣給飲料製造商。藉此可瞭解綠色供應鏈管理對企業之重要性，使得多數資源能重複再利用，以達成減少地球資源浪費為最終目標。研究結果將可具體提供政府及企業有效執行環境化設計，綠色生產，及資源回收再利用等各項建議及決策參考。

供應商為滿足顧客需求，有三種決策可以選擇：(1)外購新產品；(2)回收再處理後的新產品；(3)上述兩者並行。以上決策必須考量到訂購次數、訂購量與何時該訂購等等相關議題。因此本研究是在外購新品與回收商品的存貨模式中，加入不良品的條件，推導出一個新的存貨模式，以期符合現實狀況。而範圍是針對外購產品與回收商品中有不良品的情況且其不良率為隨機分配，需求為固定已知常數或趨勢需求、單一產品、不允許缺貨與固定的規劃期間內，發展研究出一

個總成本最低的存貨模式，最終目的為減少有限資源的使用，降低環境污染。

由於綠色供應鏈管理(GSCM)之範圍甚廣，除了包含傳統供應鏈之管理活動外，也考量產品之再回收、再製造、物料/零組件之回收再利用，以及最終廢棄物處理等活動。其涵蓋的範圍包括產品設計(綠色設計)、新物料/零組件之採購(綠色採購，符合環保標準之材料)、供應商的選擇與評估(綠色供應商)、製造/再製造(使用符合環保標準或可回收再利用之物料/零組件)、配送/銷售(綠色行銷，提供綠色商品或符合環保標章之產品)、產品回收(建立明確回收管道)、最終廢棄物的處理，以及產品生命週期評估等一連串相關活動。

因此，本研究將針對產品回收(明確的回收管道)進行探討。且將可再使用之物料/零組件提供給製造商，進行重新組裝成為再生產品，並將產品運送給顧客。至於將新物料/零組件之採購(符合環保標準之材料)、再製造(使用符合環保標準或可再使用之物料/零組件)、可再生利用之物料/零組件交給供應商，重新加工製成再生物料/零組的部分，由於資訊取得不易不加以探討。

由於本研究主要運用存貨觀念進行，可回收商品與訂購新品之整合性系統之建置，而針對上述綠色供應鏈管理(GSCM)活動中之產品的設計、供應商之評選，以及產品研發等，無法給予進行判斷或分析。

#### 4. 研究方法與步驟

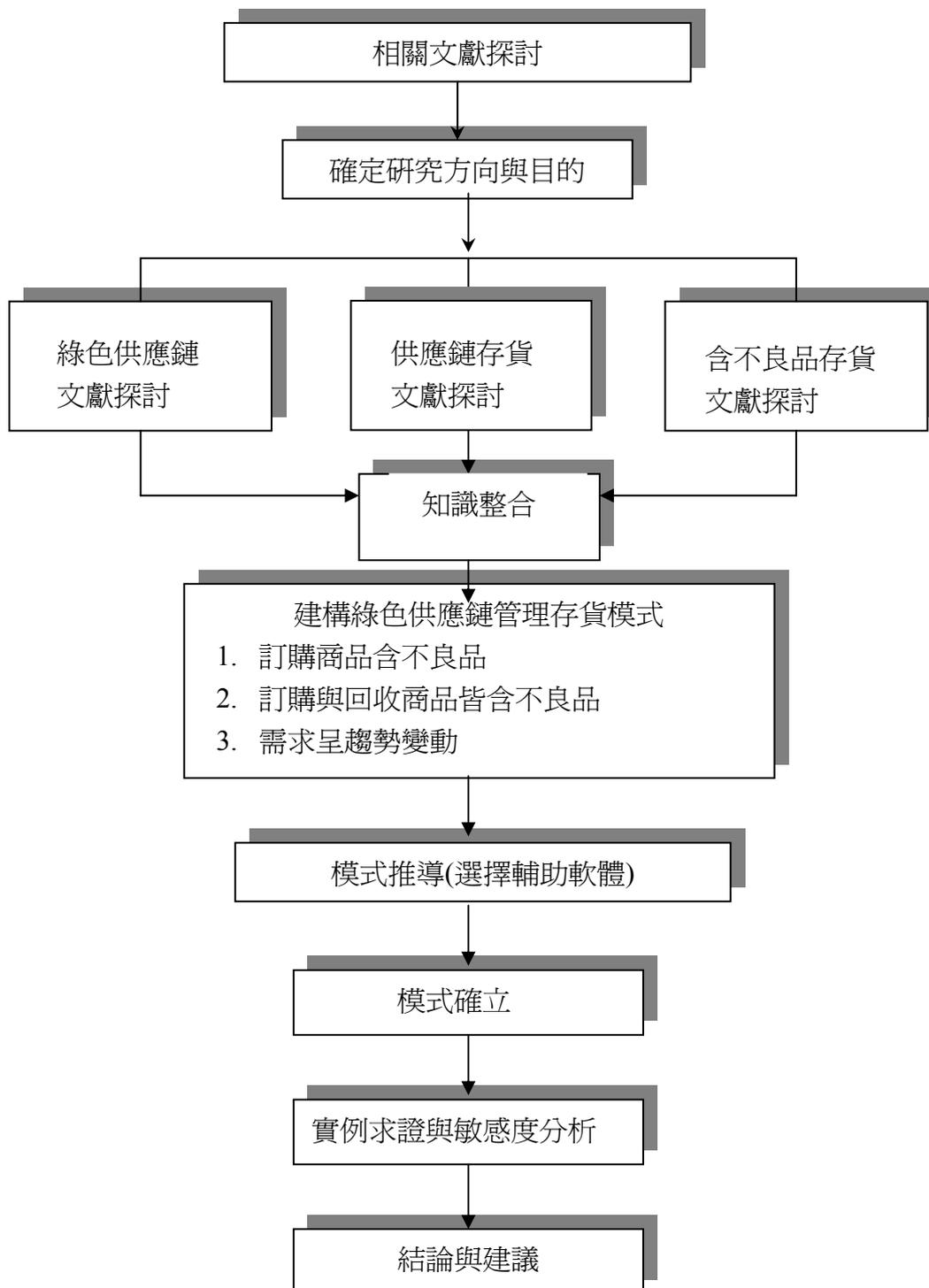
本研究使用的方法主要是，先收集綠色供應鏈與可回收再生產存貨模式等相關文獻，再依綠色觀念建立可回收性商品之數學模式，以存貨成本最小化為目的，在有限的規劃期間內，且在可回收數量考慮前題下，找出最佳的訂購數量及訂購次數。最後利用相關數據來驗證模式的正確性，並使用數學軟體做為輔助工具，對各個參數進行分析與繪圖的工作。

本研究主要步驟如下：

- 1、文獻探討：蒐集綠色供應鏈、供應鏈存貨、含不良品存貨與可回收再生產的存貨模式相關文獻，了解過去存貨模式的發展及相關問題。
- 2、主題確定：研讀上述主題後，經過整合分析，然後確定本研究所要探討的模式。
- 3、模式推導與建構：建構符合本研究的存貨模式，以減少有限資源的使用與存貨成本最低為目標。
- 4、分析比較：為了解各個存貨參數對模式最佳解的影響，尤其對回收數量的改變對模式最佳解的影響深入討論，然後將以上所推導之模式做分析比較及敏感度分析。
- 5、討論：將分析比較的結果深入討論，最後給予結論與建議。

本研究首先確定研究方向與目的，並收集相關文獻進行整理，以環保觀念

探討產品的回收再利用與再組裝過程之經濟效益，並將所建置之三個不同模式，進行驗證與分析，最後則是提出結論與建議，以下則是本研究之研究架構如圖 1 所示。



圖表 1 研究架構

## 5. 回收存貨模式建立

在本研究中我們考慮，需求依趨勢變動以符合時際情況，在以往模式中每一模式利用三種情況( $p>d$ 、 $p<d$ 、 $p=d$ )，分別求解最佳訂購次數( $n$ )與回收數目( $R$ )，使得總成本最低。本研究應用此觀念發展出更有效更簡單的單一模式，解答更實際的問題。模式中使用數理方法與Maple 8 套裝軟體，以及程式的撰寫作為搜尋最佳解的工具，求得最佳訂購時間與最低成本，同時將所推導之模式代入數值範例加以說明，並對重要的參數進行敏感度分析。

### 5.1 研究背景與動機

工商業環境競爭激烈，在最近幾十年，提昇環境意識的高漲，使得企業與政府已經了解到有效資源的數目是有限的，因此為了減少浪費，愈來愈重視使用過產品的回收與在製。然而科技越是進步，地球資源越是快速地被消耗。同時，使用後之產品廢棄物的暴增，不僅造成資源的浪費，也產生大量的垃圾，容易造成環境污染，這亦是今日全球所面臨到的嚴重問題。隨著近年來環保意識的抬頭，環境成本佔企業總成本的比重日益增加，因此，如何利用資源回收與再生來降低相關的物料成本，是企業在提高市場競爭力上另一項考量的重點。

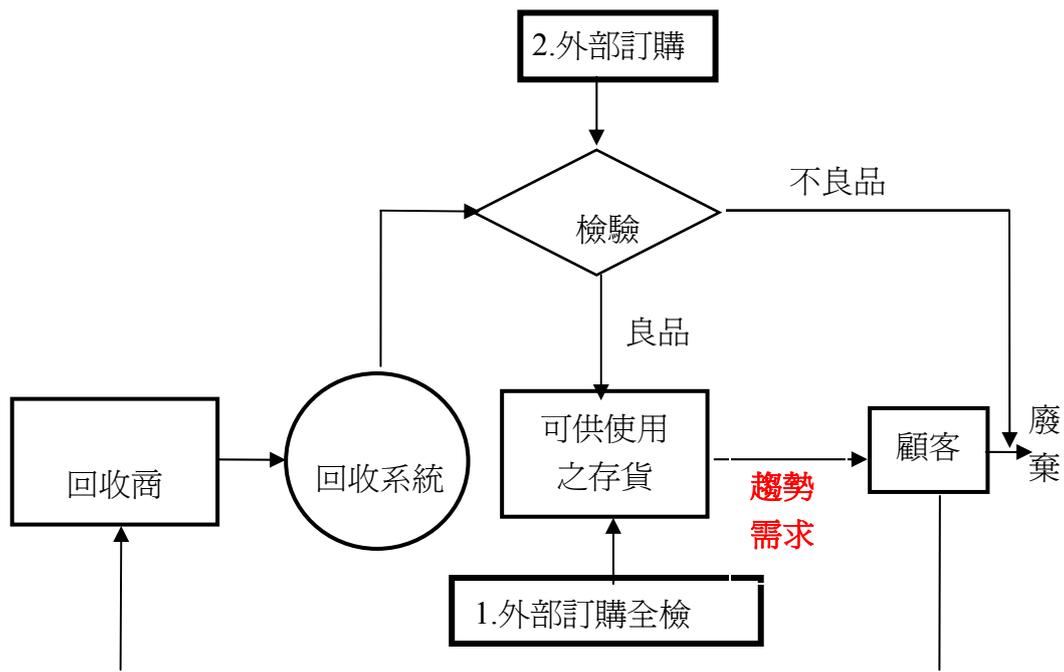
在本研究中，我們考慮需求依趨勢(上升或下降)變動，新品入庫含不良與全檢無不良二種情況分析，以獲得最佳經濟訂購期，使回收與訂購數量聯合總成本最低。回收商品存貨政策與新品存貨政策兩者密切攸關，兩種政策必須整合以達整體最佳化，而此模式推導出更符合實際更簡易的方法，獲得最佳結果。本研究結果，將可具體提供企業有效執行資源回收再利用等各項建議及決策參考。

### 5.2 研究目的

在 2006 年 12 月 31 日以後，WEEE 主要成員的各個人每年必須至少回收 4 公斤回收數量。所以為了依照 WEEE 指示各企業必須完成回收系統。本研究將有以下效益：

- (1) 加強品質意識：因為設置檢驗系統。
- (2) 減少資源浪費：回收制度建立。
- (3) 符合世界潮流：綠色環保與 WEEE 公約。
- (4) 利用資源回收降低相關的物料成本。
- (5) 提高市場競爭力。
- (6) 影響重大參數的獲得。
- (7) 導出最佳可回收與訂購新品之整合性存貨總成本最低。

圖表 2 顯示整個回收系統的運作：顧客需求按照產品生命週期呈現一上升或下降趨勢變動。



圖表 2 趨勢需求之回收與訂購新商品之存貨架構圖

### 5.3 數學模式說明

本研究主要利用所推導的回收性商品之存貨系統模式為主，進而研究當需求不確定時，推導最佳的經濟訂購期與運送次數使得聯合總成本最低。模式中使用數理方法與 Maple 8 套裝軟體輔助模式的推導，同時將所推導之模式代入數值範例加以說明。

#### 5.3.1 模式基本假設條件之說明

- (1) 顧客需求為一線性趨勢變動。
- (2) 討論單一商品在固定期間的存貨狀況。
- (3) 不良品直接捨棄，不可再利用。
- (4) 回收的產品皆需百分之百檢驗。
- (5) 一個週期內回收品再生一次。
- (6) 商品不具有損耗性與數量折扣。
- (7) 產品在進貨後可立即供給需求。
- (8) 從顧客回收產品之回收率為已知的固定常數。
- (9) 工廠修復產品能力為已知的固定常數。
- (10) 修復回收產品比購買新產品經濟划算。
- (11) 修復能力大於回收率(  $p > r$  )。
- (12) 每週期回收為一次，其不良率為固定比率。
- (13) 每次訂購不良率為固定。

### 5.3.2 符號定義

$r$ : 舊品回收率

$R$ : 可回收產品之最高存貨水準

$p$ : 將回收之商品修復成新品之修復能力

$d_{tr}$ : 在  $t$  到  $T$  期間顧客需求率

$Q_i$ : 外購新品之訂購數量  $i=1..n$ ;

$n$ : 外購新品之訂購次數

$\theta$ :  $R$  中含有不良品的機率

$\delta$ :  $Q_i$  中含有不良品的機率

$D(t) = a-bt$  需求趨勢函數(  $b>0$  下降,  $b<0$  上升)

$t$ : 顧客使用新品的時間

$T$ : 系統運作之週期

$C_s$ : 回收再製流程之設置成本

$C_{x1}$ : 固定檢驗成本

$C_{x2}$ : 變動單位檢驗成本

$C_o$ : 外購新品之訂購成本

$C_{h1}$ : 回收再製產品之單位儲存成本

$C_{h2}$ : 訂購產品之單位儲存成本

$TC(t)$ : 週期之總成本

$TCU(t)$ : 單一週期單位時間之總成本

### 5.3.3 模式描述

#### 5.3.3.1 訂購無不良品

##### (一) 基本觀念描述:

模式與 Koh et al. (2002) 類似, 差異在於需求可能是上升或下降趨勢與回收含不良, 當在  $t$  點時若  $d_{tr} > p$  甚大時, 可能有缺貨產生(如圖表 3 所示)。其解法是決定最佳次數與回收數量, 然後推導出最低聯合存貨總成本。

##### (二) 修正觀念描述

依據圖表 4 所示, 不論上升或下降趨勢將會在  $t$  點交會, 此時的  $d_{tr} = p$ , 因此求出最佳  $t^*$  值後, 將推導出  $R$ 、 $n$ 、 $y$  與  $Q_i$ , 使得  $TCU(t)$  最低。

#### 5.3.3.2 訂購含不良

##### (一) 基本觀念描述

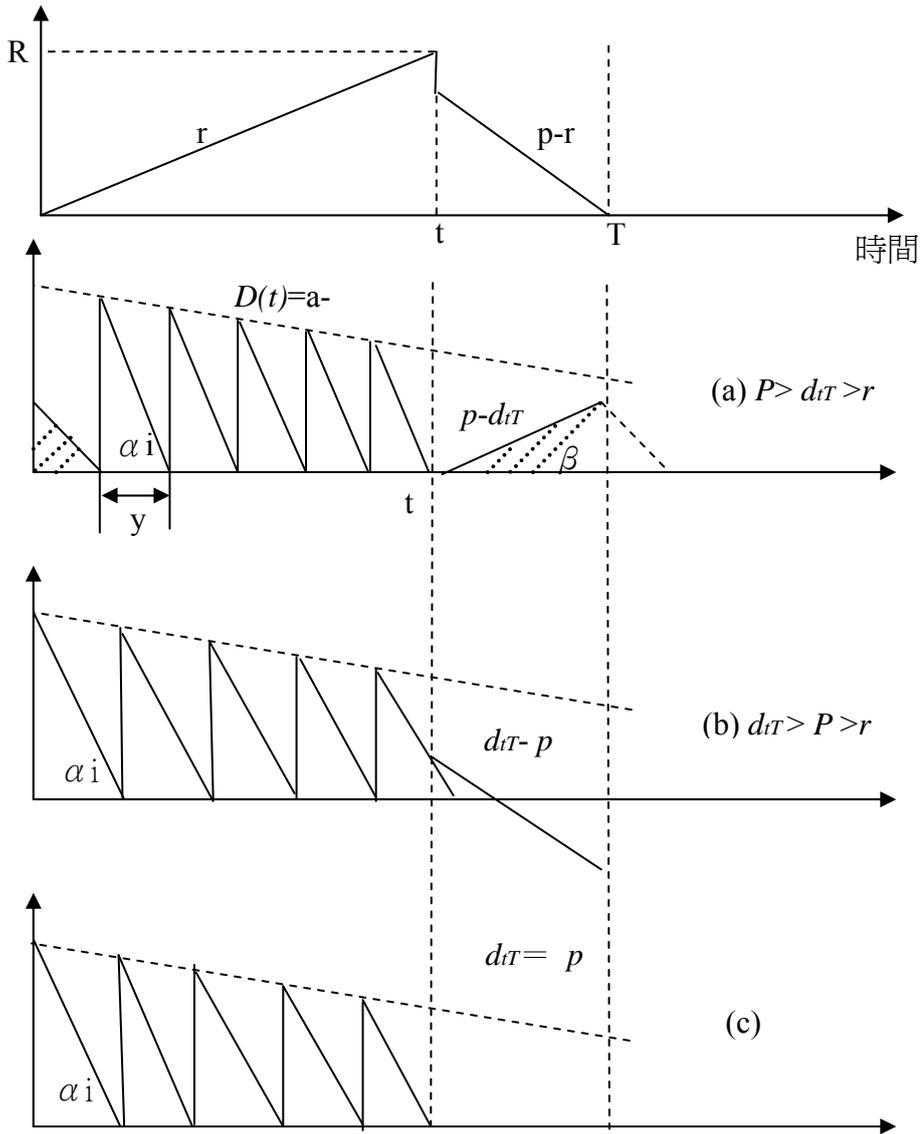
模式如圖表 4 所示, 差異在於需求可能是上升或下降趨勢, 當在  $t$  點時若  $d_{tr} > p$  甚大時, 可能有缺貨產生, 因此依最低成本的思維, 必須決定最佳運

送次數與回收數量，然後推導出最低聯合存貨總成本。

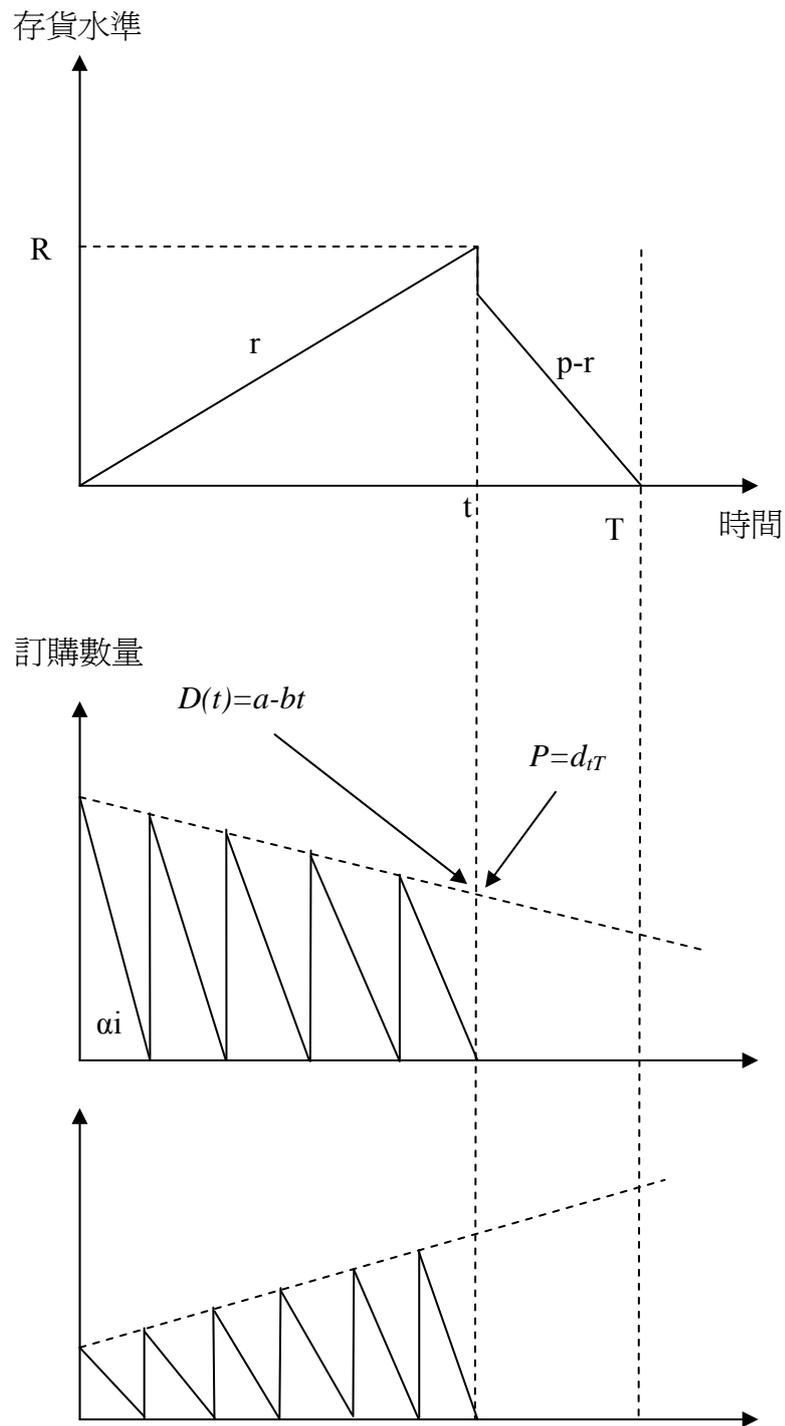
(二) 修正觀念描述

依據圖表 6 所示，不論上升或下降趨勢將會在  $t$  點交會，此時的  $d_{IT} = p$ ，因此求出最佳  $t^*$  值後，將推導出  $R$ 、 $n$ 、 $y$  與  $Q$ ，使得  $TCU(t)$  最低。

存貨水準

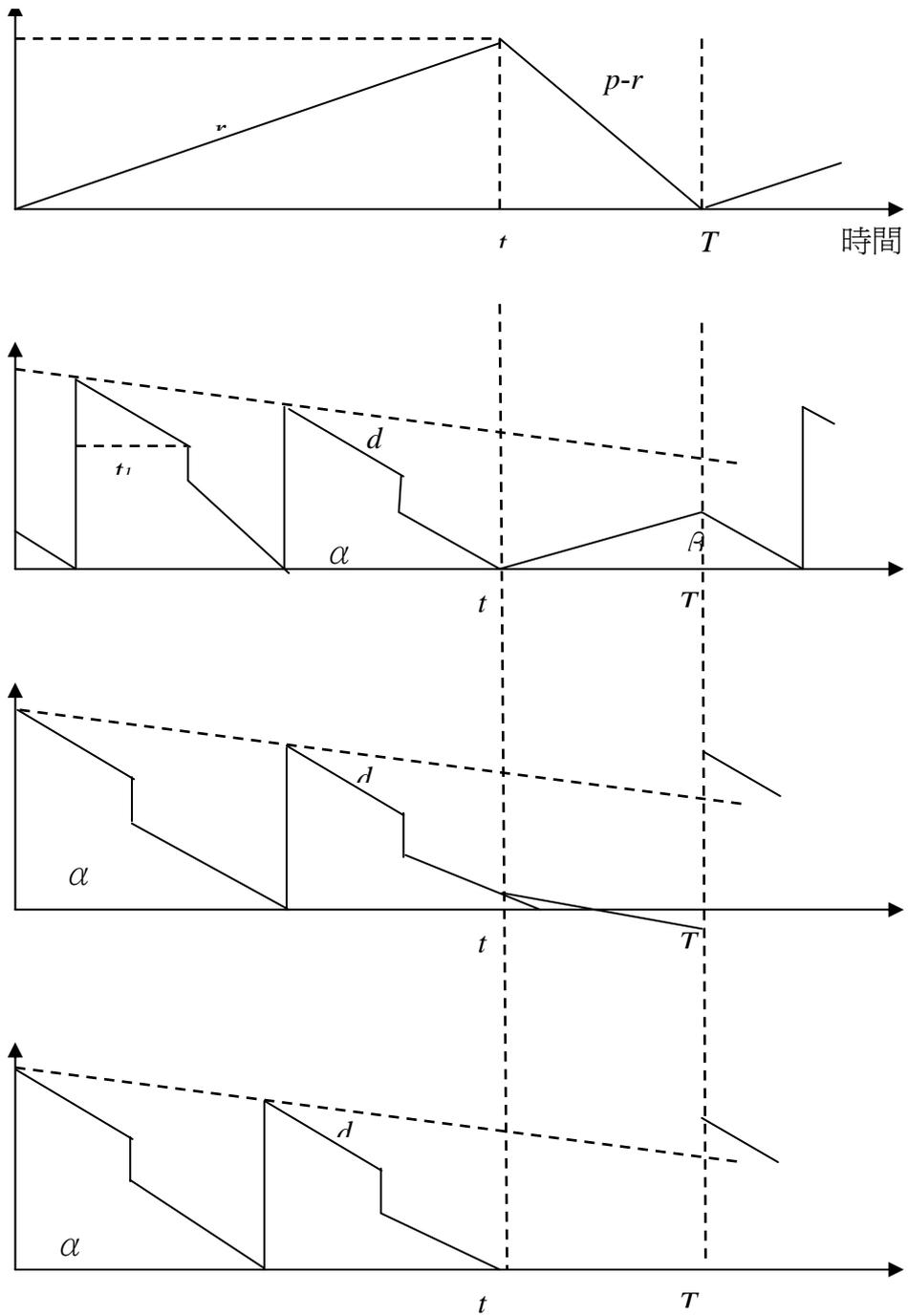


圖表 3 考慮趨勢需求回收含不良品之存貨系統圖

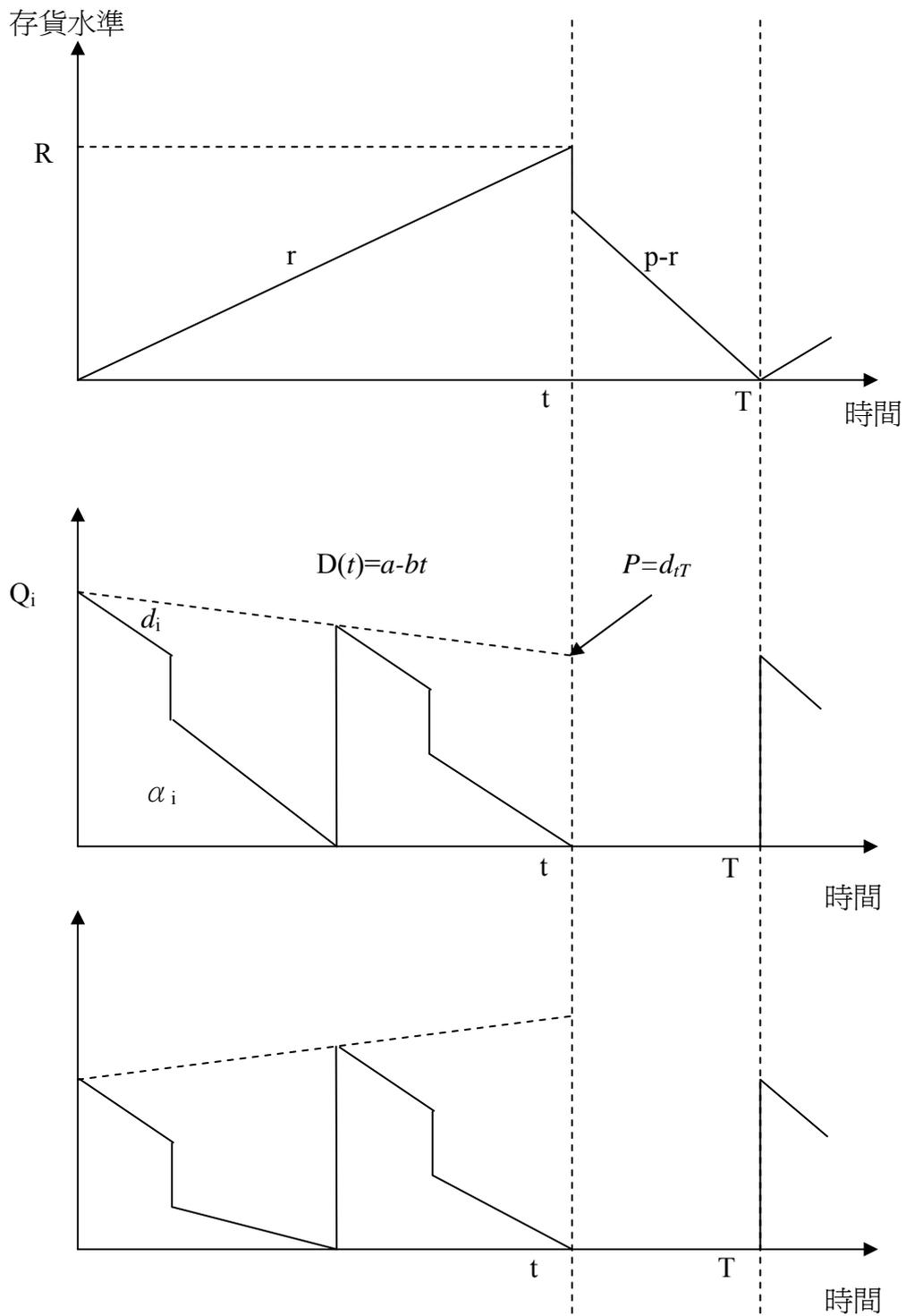


圖表 4 修正考慮趨勢需求回收含不良品之存貨系統圖

存貨水準



圖表 5 考慮趨勢需求新品含不良品之存貨系統圖



圖表 6 修正趨勢需求回收與新品含不良之存貨系統圖

### 5.3.4 存貨模式之推導

5.3.4.1 訂購新品全檢無不良：

(1)回收再製持有成本：

$$C_s + C_{hl} \left( \frac{Rt}{2} + \frac{(R - R\theta)(T - t)}{2} \right) \quad (5-1)$$

(2)檢驗成本：

$$C_{x1} + C_{x2}R \quad (5-2)$$

(3)訂購成本：

$$nC_o \quad (5-3)$$

(4)持有成本( $n$ 個  $\alpha$  多邊形面積)：

$$Q_i = a - (i-1)by \quad i=1..n$$

$$C_{h2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} y Q_i =$$

$$C_{h2} \left( \frac{y(n+1)a}{2} + \frac{3y^2b(n+1)}{4} - \frac{y^2b(n+1)^2}{4} - \frac{ya}{2} - \frac{y^2b}{2} \right) \quad (5-4)$$

將(5-1)(5-2)(5-3)(5-4)加總可得總成本  $TC(t)$  為：

$$C_s + C_{hl} \left( \frac{tR}{2} + \frac{(T-t)(R-R\theta)}{2} \right) + C_{x1} + R C_{x2} + n C_o \\ + C_{h2} \left( \frac{(n+1)ya}{2} + \frac{3y^2b(n+1)}{4} - \frac{y^2b(n+1)^2}{4} - \frac{ya}{2} - \frac{y^2b}{2} \right)$$

$$R = \frac{t}{r}$$

$$n = \frac{pR}{(ar - bR)}$$

$$y = \frac{t}{n}$$

$$T = \frac{tp - R\theta}{(p - r)}$$

將(5-6)(5-7)(5-8)(5-9)代入(5-5)除以  $T$ ，將可獲得單位時間總成本  $TCU(t)$  為：

$$\left( C_s + C_{hl} \left( \frac{t^2 r}{2} + \frac{\left( \frac{tp - rt\theta}{p - r} - t \right) (rt - rt\theta)}{2} \right) \right) + C_{x1} + rt C_{x2} + \frac{prt C_o}{ar - brt} + C_{h2} \left( \frac{(ar - brt) \left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right) a}{2pr} + \frac{3(ar - brt)^2 b \left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right)}{4p^2 r^2} \right)$$

$$\left. - \frac{(ar-brt)^2 b \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right)^2}{4p^2 r^2} - \frac{(ar-brt)a}{2pr} - \frac{(ar-brt)^2 b}{2p^2 r^2} \right) (p-r)/(tp-rt\theta)$$

針對 (5-10) 對  $t$  一次微分結果如下：

$$\begin{aligned} & \left( C_{hl} \left( rt + \frac{\left( \frac{p-r\theta}{p-r} - 1 \right) (rt-rt\theta)}{2} + \frac{\left( \frac{tp-rt\theta}{p-r} - t \right) (r-r\theta)}{2} \right) + rC_{x2} + \frac{prC_o}{ar-brt} \right. \\ & + \frac{pr^2 t C_o b}{(ar-brt)^2} + C_{h2} \left( - \frac{b \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right) a}{2p} \right. \\ & + \frac{(ar-brt) \left( \frac{pr}{ar-brt} + \frac{pr^2 t b}{(ar-brt)^2} \right) a}{2pr} - \frac{3(ar-brt)b^2 \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right)}{2p^2 r} \\ & + \frac{3(ar-brt)^2 b \left( \frac{pr}{ar-brt} + \frac{pr^2 t b}{(ar-brt)^2} \right)}{4p^2 r^2} \\ & + \frac{(ar-brt)b^2 \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right)^2}{2p^2 r} \\ & - \frac{(ar-brt)^2 b \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right) \left( \frac{pr}{ar-brt} + \frac{pr^2 t b}{(ar-brt)^2} \right)}{2p^2 r^2} + \frac{ba}{2p} \\ & \left. + \frac{(ar-brt)b^2}{p^2 r} \right) (p-r)/(tp-rt\theta) - \left( C_s \right. \\ & + C_{hl} \left( \frac{t^2 r}{2} + \frac{\left( \frac{tp-rt\theta}{p-r} - t \right) (rt-rt\theta)}{2} \right) + C_{x1} + rtC_{x2} + \frac{prtC_o}{ar-brt} + C_{h2} \left( \right. \\ & \frac{(ar-brt) \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right) a}{2pr} + \frac{3(ar-brt)^2 b \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right)}{4p^2 r^2} \\ & \left. \left. - \frac{(ar-brt)^2 b \left( \frac{prt}{ar-brt} + 1 \right)^2}{4p^2 r^2} - \frac{(ar-brt)a}{2pr} - \frac{(ar-brt)^2 b}{2p^2 r^2} \right) \right) (p-r) \\ & (p-r\theta)/(tp-rt\theta)^2 \end{aligned} \quad (5-11)$$

將  $TCU$  針對  $t$  二次微分得到下列結果：

$$2(a^3 C_s p + a^3 C_{x1} p - a^3 C_s r - a^3 C_{x1} r + b^2 t^3 p^2 C_o - b^3 t^3 C_s p - b^3 t^3 C_{x1} p + b^3 t^3 C_s r + b^3 t^3 C_{x1} r - 3 a b^2 t^2 C_s r - 3 a b^2 t^2 C_{x1} r - b^2 t^3 p C_o r + 3 a^2 C_s b r t + 3 a^2 C_{x1} b r t + 3 a b^2 t^2 C_s p + 3 a b^2 t^2 C_{x1} p - 3 a^2 C_s p b t - 3 a^2 C_{x1} p b t) / ((p - r \theta) t^3 (a - b t)^3) \quad (5-12)$$

將(5-12)式分子分解若其值大於零，(5-11)式將有最小值，因為分母大於零。

$$a^3 C_s p - a^3 C_s r = a^3 C_s (p - r) > 0 \quad (5-12-1)$$

$$a^3 C_{x1} p - a^3 C_{x1} r = a^3 C_{x1} (p - r) > 0 \quad (5-12-2)$$

$$3 a^2 C_{x1} r b t - 3 a C_{x1} r b^2 t^2 = 3 a C_{x1} r b t (a - b t) > 0 \quad (5-12-3)$$

$$3 a^2 C_s r b t - 3 a C_s r b^2 t^2 = 3 a C_s r b t (a - b t) > 0 \quad (5-12-4)$$

$$3 a C_s p b^2 t^2 - 3 a^2 C_s p b t = 3 a C_s p b t (b t - a) < 0 \quad (5-12-5)$$

$$3 a C_{x1} p b^2 t^2 - 3 a^2 C_{x1} p b t = 3 a C_{x1} p b t (b t - a) < 0 \quad (5-12-6)$$

$$C_s b^3 r t^3 - C_s b^3 p t^3 = C_s b^3 t^3 (r - p) < 0 \quad (5-12-7)$$

$$t^3 p^2 C_o b^2 - t^3 p C_o b^2 r = (p - r) > 0 \quad (5-12-8)$$

$$C_{x1} b^3 t^3 r - C_{x1} b^3 t^3 p = C_{x1} b^3 t^3 (r - p) < 0 \quad (5-12-9)$$

將(5-12-1)(5-12-2)(5-12-7)(5-12-9)相加其結果為：

$$(p - r)(C_s + C_{x1})(a^3 - b^3 t^3) > 0 \quad (5-12-10)$$

將(5-12-3)(5-12-4)(5-12-5)(5-12-6)相加其結果為：

$$3 a b t (r - p)(C_s + C_{x1})(a - b t) < 0 \quad (5-12-11)$$

將(5-12-10)(5-12-11)相加其結果為：

$$(p - r)(C_s + C_{x1})(a^3 - 3 a^2 b t + 3 a b^2 t^2 - b^3 t^3) = (p - r)(C_s + C_{x1})(a - b t)^3 > 0 \quad (5-12-12)$$

因此可以證明(5-12-12)式大於零，可導出最低單位總成本。對單位時間總成本  $TCU(t)$  做偏微分令其為零，即可求得最佳時間  $t^*$ 。

#### 5.3.4.2 訂購含不良

(1)回收再製持有成本：

$$C_s + C_{hl} \left( \frac{Rt}{2} + \frac{(R - R\theta)(T - t)}{2} \right) \quad (5-13)$$

(2) 檢驗成本：

$$nC_{x1} + C_{x2} \left( R + \sum_{i=1}^n Q_i \right) \quad (5-14)$$

(3) 訂購成本：

$$nC_o \quad (5-15)$$

(4) 持有成本( $n$ 個  $\alpha$  多邊形面積)

$$d_i = \frac{Q_i - Q_i \delta}{y} \quad (5-16)$$

$$C_{h2} \left( \sum_{i=1}^n y^2 \left( \frac{1}{2} d_i + \frac{d_i^2 \theta}{x(1-\delta)^2} \right) \right) =$$

$$C_{h2} \left( \frac{y(n+1)a}{2} + \frac{y\delta a}{2} + \frac{y^2\delta b}{2} - \frac{ya}{2} - \frac{y^2b}{2} + \frac{3y^2(n+1)b}{4} - \frac{y^2b(n+1)^2}{4} \right.$$

$$- \frac{3y^2(n+1)\delta b}{4} + \frac{y^2\delta b(n+1)^2}{4} - \frac{y(n+1)\delta a}{2} - \frac{\delta a^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{2y\delta ab}{x(1-\delta)^2}$$

$$+ \frac{2\delta^2 a^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{4y\delta^2 ab}{x(1-\delta)^2} - \frac{y^2\delta b^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{2y^2\delta^2 b^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{\delta^3 a^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{2y\delta^3 ab}{x(1-\delta)^2}$$

$$- \frac{y^2\delta^3 b^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{(n+1)\delta a^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{3y(n+1)\delta ab}{x(1-\delta)^2} - \frac{2(n+1)\delta^2 a^2}{x(1-\delta)^2}$$

$$- \frac{6y(n+1)\delta^2 ab}{x(1-\delta)^2} + \frac{13y^2(n+1)\delta b^2}{6x(1-\delta)^2} - \frac{13y^2(n+1)\delta^2 b^2}{3x(1-\delta)^2} + \frac{(n+1)\delta^3 a^2}{x(1-\delta)^2}$$

$$+ \frac{3y(n+1)\delta^3 ab}{x(1-\delta)^2} + \frac{13y^2(n+1)\delta^3 b^2}{6x(1-\delta)^2} - \frac{y\delta ab(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{2y\delta^2 ab(n+1)^2}{x(1-\delta)^2}$$

$$- \frac{3y^2\delta b^2(n+1)^2}{2x(1-\delta)^2} + \frac{3y^2\delta^2 b^2(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{y\delta^3 ab(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{3y^2\delta^3 b^2(n+1)^2}{2x(1-\delta)^2}$$

$$\left. + \frac{\delta b^2 y^2 (n+1)^3}{3x(1-\delta)^2} - \frac{2\delta^2 b^2 y^2 (n+1)^3}{3x(1-\delta)^2} + \frac{\delta^3 b^2 y^2 (n+1)^3}{3x(1-\delta)^2} \right) \quad (5-17)$$

將(5-13)(5-14)(5-15)(5-17)加總可得總成本  $TC(t)$  為：

$$\left( C_s + C_{hl} \left( \frac{tR}{2} + \frac{(T-t)(R-R\theta)}{2} \right) + nC_{x1} \right.$$

$$+ C_{x2} \left( R + a(n+1) - \frac{by(n+1)^2}{2} + \frac{3by(n+1)}{2} - a - by \right) + nC_o + C_{h2} \left( \right.$$

$$\frac{y(n+1)a}{2} + \frac{y\delta a}{2} + \frac{y^2\delta b}{2} - \frac{ya}{2} - \frac{y^2b}{2} + \frac{3y^2(n+1)b}{4} - \frac{y^2b(n+1)^2}{4}$$

$$\left. - \frac{3y^2(n+1)\delta b}{4} + \frac{y^2\delta b(n+1)^2}{4} - \frac{y(n+1)\delta a}{2} - \frac{\delta a^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{2y\delta ab}{x(1-\delta)^2} \right)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{2\delta^2 a^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{4y\delta^2 ab}{x(1-\delta)^2} - \frac{y^2\delta b^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{2y^2\delta^2 b^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{\delta^3 a^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{2y\delta^3 ab}{x(1-\delta)^2} \\
& - \frac{y^2\delta^3 b^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{(n+1)\delta a^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{3y(n+1)\delta ab}{x(1-\delta)^2} - \frac{2(n+1)\delta^2 a^2}{x(1-\delta)^2} \\
& - \frac{6y(n+1)\delta^2 ab}{x(1-\delta)^2} + \frac{13y^2(n+1)\delta b^2}{6x(1-\delta)^2} - \frac{13y^2(n+1)\delta^2 b^2}{3x(1-\delta)^2} + \frac{(n+1)\delta^3 a^2}{x(1-\delta)^2} \\
& + \frac{3y(n+1)\delta^3 ab}{x(1-\delta)^2} + \frac{13y^2(n+1)\delta^3 b^2}{6x(1-\delta)^2} - \frac{y\delta ab(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{2y\delta^2 ab(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} \\
& - \frac{3y^2\delta b^2(n+1)^2}{2x(1-\delta)^2} + \frac{3y^2\delta^2 b^2(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{y\delta^3 ab(n+1)^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{3y^2\delta^3 b^2(n+1)^2}{2x(1-\delta)^2} \\
& + \frac{\delta b^2 y^2 (n+1)^3}{3x(1-\delta)^2} - \frac{2\delta^2 b^2 y^2 (n+1)^3}{3x(1-\delta)^2} + \frac{\delta^3 b^2 y^2 (n+1)^3}{3x(1-\delta)^2} \Big) / T \quad (5-18)
\end{aligned}$$

$$R = \frac{t}{r} \quad (5-19)$$

$$n = \frac{pR}{(ar - bR)} \quad (5-20)$$

$$y = \frac{t}{n} \quad (5-21)$$

$$T = \frac{tp - R\theta}{(p - r)} \quad (5-22)$$

將(5-19)(5-20)(5-21)(5-22)代入(5-18)除以  $T$ ，將可獲得單位時間總成本  $TCU(t)$ ：

$$\begin{aligned}
& \left( C_s + C_{hl} \left( \frac{t^2 r}{2} + \frac{\left( \frac{tp - rt\theta}{p - r} - t \right) (rt - rt\theta)}{2} \right) + \frac{prt C_{x1}}{ar - brt} + C_{x2} \left( rt \right. \right. \\
& \left. \left. + a \left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right) - \frac{b(ar - brt) \left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right)^2}{2pr} \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{3b(ar - brt) \left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right)}{2pr} - a - \frac{b(ar - brt)}{pr} \right) + \frac{prt C_o}{ar - brt} + C_{h2} \left( \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{(ar - brt)a}{2pr} - \frac{(ar - brt)^2 b}{2p^2 r^2} - \frac{\delta a^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{2\delta^2 a^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{\delta^3 a^2}{x(1-\delta)^2} \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{\left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right) \delta a^2}{x(1-\delta)^2} - \frac{2 \left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right) \delta^2 a^2}{x(1-\delta)^2} + \frac{\left( \frac{prt}{ar - brt} + 1 \right) \delta^3 a^2}{x(1-\delta)^2} \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(ar-brt)\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)a}{2pr} + \frac{(ar-brt)\delta a}{2pr} + \frac{(ar-brt)^2\delta b}{2p^2r^2} \\
& + \frac{3(ar-brt)^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)b}{4p^2r^2} - \frac{(ar-brt)^2b\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{4p^2r^2} \\
& - \frac{3(ar-brt)^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta b}{4p^2r^2} + \frac{(ar-brt)^2\delta b\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{4p^2r^2} \\
& - \frac{(ar-brt)\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta a}{2pr} - \frac{2(ar-brt)\delta ab}{prx(1-\delta)^2} + \frac{4(ar-brt)\delta^2 ab}{prx(1-\delta)^2} \\
& - \frac{(ar-brt)^2\delta b^2}{p^2r^2x(1-\delta)^2} + \frac{2(ar-brt)^2\delta^2 b^2}{p^2r^2x(1-\delta)^2} - \frac{2(ar-brt)\delta^3 ab}{prx(1-\delta)^2} \\
& - \frac{(ar-brt)^2\delta^3 b^2}{p^2r^2x(1-\delta)^2} + \frac{3(ar-brt)\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta ab}{prx(1-\delta)^2} \\
& - \frac{6(ar-brt)\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta^2 ab}{prx(1-\delta)^2} + \frac{13(ar-brt)^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta b^2}{6p^2r^2x(1-\delta)^2} \\
& - \frac{13(ar-brt)^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta^2 b^2}{3p^2r^2x(1-\delta)^2} + \frac{3(ar-brt)\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta^3 ab}{prx(1-\delta)^2} \\
& + \frac{13(ar-brt)^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)\delta^3 b^2}{6p^2r^2x(1-\delta)^2} - \frac{(ar-brt)\delta ab\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{prx(1-\delta)^2} \\
& + \frac{2(ar-brt)\delta^2 ab\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{prx(1-\delta)^2} - \frac{3(ar-brt)^2\delta b^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{2p^2r^2x(1-\delta)^2} \\
& + \frac{3(ar-brt)^2\delta^2 b^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{p^2r^2x(1-\delta)^2} - \frac{(ar-brt)\delta^3 ab\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{prx(1-\delta)^2} \\
& - \frac{3(ar-brt)^2\delta^3 b^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^2}{2p^2r^2x(1-\delta)^2} + \frac{\delta b^2(ar-brt)^2\left(\frac{prt}{ar-brt}+1\right)^3}{3x(1-\delta)^2p^2r^2}
\end{aligned}$$

$$\left. - \frac{2 \delta^2 b^2 (a r - b r t)^2 \left( \frac{p r t}{a r - b r t} + 1 \right)^3}{3 x (1 - \delta)^2 p^2 r^2} + \frac{\delta^3 b^2 (a r - b r t)^2 \left( \frac{p r t}{a r - b r t} + 1 \right)^3}{3 x (1 - \delta)^2 p^2 r^2} \right) \Bigg|_{(p-r)/(t p - r t \theta)} \quad (5-23)$$

將  $TCU$  針對  $t$  二次微分得到下列結果：

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3} (-6 a^3 C_{x1} p x - 6 a^3 C_s p x + 6 a^3 C_s x r + 6 C_s p x b^3 t^3 - 6 C_{x1} x r b^3 t^3 \\ & + 6 C_{x1} p x b^3 t^3 - 6 t^3 p^2 C_o b^2 x + 18 a C_{x1} x r b^2 t^2 + 18 a^2 C_{x1} p x b t \\ & + 6 t^3 p C_o b^2 x r - 18 a^2 C_s x r b t + 2 a^2 t^3 C_{h2} b^2 \theta p r - 6 C_s x r b^3 t^3 \\ & - 18 a C_{x1} p x b^2 t^2 + 18 a^2 C_s p x b t - 2 a^2 t^3 C_{h2} b^2 \theta p^2 - 18 a C_s p x b^2 t^2 \\ & - 3 a t^3 C_{x2} b^2 p^2 x + 18 a C_s x r b^2 t^2 - 18 a^2 C_{x1} x r b t + 6 a^3 C_{x1} x r \\ & + 3 a t^3 C_{x2} b^2 p x r) / ((-p+r\theta)t^3 x(a-bt)^3) \end{aligned} \quad (5-24)$$

將(5-24)式分子分解若其值小於零，(5-23)式將有最小值，因為 $(-p+r\theta)<0$ 。

$$2a^2 b^2 t^3 C_{h2} p \theta (r-p) < 0 \quad (5-24-1)$$

$$6b^2 t^3 p C_o x (r-p) < 0 \quad (5-24-2)$$

$$6a^3 C_{x1} x (r-p) < 0 \quad (5-24-3)$$

$$6a^3 C_s x (r-p) < 0 \quad (5-24-4)$$

$$6b^3 t^3 C_s x (p-r) > 0 \quad (5-24-5)$$

$$6b^3 t^3 C_{x1} x (p-r) > 0 \quad (5-24-6)$$

$$18 a^2 b t C_{x1} x (p-r) > 0 \quad (5-24-7)$$

$$18 a^2 b t C_s x (p-r) > 0 \quad (5-24-8)$$

$$18 a b^2 t^2 C_s x (r-p) < 0 \quad (5-24-9)$$

$$18 a b^2 t^2 C_{x1s} x (r-p) < 0 \quad (5-24-10)$$

將 (5-24-2)(5-24-3)(5-24-4)(5-24-5)(5-24-6)(5-24-7)(5-24-8)(5-24-9) 相

$$\text{加其結果為： } 6x(r-p)(C_s + C_{x1})(a-bt)^3 < 0 \quad (5-24-11)$$

因此證明(5-24)式大於零，可導出最低單位總成本。對單位時間總成本  $TCU(t)$  做偏微分令其為零，即可求得最佳時間  $t^*$ 。

## 5.4 數值範例說明

### 5.4.1 範例(1)訂購新品無不良品

本節範例使用 Koh et al. (2002) 的例題加以擴充修改，將以下已知的參數值代入本研究所推導的存貨模式，利用 mapple 搜尋模式之最佳解，以決定最佳訂購期( $t$ )，進而求出單位時間的最佳總成本。 $a=300$  單位， $b=100$  單位。

回收再製之修復能力  $p=300$  單位/月，

舊品回收率  $r=100$  單位/月

回收再製流程之設置成本  $C_s=20$  \$/每週期，

外購新品之訂購成本  $C_o=5$  \$/每次，

回收再製產品之單位儲存成本  $C_{h1}=1$  \$/每單位，

可賣出產品之單位儲存成本  $C_{h2}=2$  \$/每單位，

檢驗固定成本  $C_{x1}=10$  \$/每次，

每單位檢驗變動成本  $C_{x2}=0.5$  \$/每單位，

每月檢驗速率  $x=30*8*60=14400$ ，

回收固定不良率  $\theta=0.05$ 。

將上述參數值代入(5-11)令其為零，獲得最佳  $t^*=1.53$ ，推導出  $R=153$ 、 $n=3.12$ 、 $y=0.49$ 、 $T=2.26$ 、 $TCU^*=297.52$ 。

表格 1 搜尋成本最低之整數  $n$

$t$	$R$	$n$	$y$	$T$	$TCU$
1.0	100	1.5	0.67	1.48	300.61
1.1	110	1.74	0.63	1.62	299.43
1.2	120	2	0.6	1.77	298.58
1.3	130	2.29	0.57	1.91	298.01
1.4	140	2.63	0.53	2.07	297.67
<b>1.5</b>	<b>150</b>	<b>3</b>	<b>0.5</b>	<b>2.21</b>	<b>297.52</b>
1.6	160	3.42	0.47	2.36	297.55
1.7	170	3.92	0.43	2.51	297.77
1.8	180	4.5	0.4	2.66	298.16
1.9	190	5.18	0.37	2.8	298.73
2.0	200	6	0.33	2.95	299.52
2.1	210	7	0.3	3.1	300
3.1	310	-93	-0.03	4.5	188.45

因為  $n$  必需為整數，利用程式改變  $t$  值，搜尋成本最低之整數，如表格 1 所示，最佳  $n=3$ 、 $t=1.5$ 。

因此  $Q_1=300$ ， $Q_2=250$ ， $Q_3=200$

單位時間新品持有成本  $= (2*((300+250+200)*0.5)/2)/2.21=169$

單位時間訂購成本  $= (3*5)/2.21=7$

單位時間檢驗成本  $= (10+(150*0.5))/2.21=38$

單位時間回收持有成本  $= (20+(150*1.5)/2+(150-150*0.05)*(2.21-1.5)/2)/2.21=83$

單位時間總成本  $= 169+7+38+83=297.52$

#### 5.4.2 範例(2)訂購新品含不良品

利用範例 1 之參數，增加新品不良率  $\delta=0.02$ ，改變需求為上升趨勢 ( $a=10$ ， $b=-100$ )。將上述參數值代入，(5-24)式微分令其為零，獲得最佳  $t^*=0.7$ ，推導出  $R=70$ 、 $n=2.1$ 、 $y=0.33$ 、 $T=1.032$ 、 $TCU=199.48$ 。

因為  $n$  必需為整數，利用程式改變  $t$  值，搜尋成本最低之整數，如表格 2 所示，最佳  $n=2$ 、 $t=0.6$ 。

表格 2 搜尋成本最低之整數  $n$

t	R	n	y	T	TCU
0.1	10	0.75	0.13	0.15	342
0.2	20	1.2	0.17	0.3	258
0.3	30	1.5	0.2	0.4	227
0.4	40	1.7	0.23	0.6	212
0.5	50	1.9	0.27	0.7	204
0.6	60	2	0.3	0.885	200.67
0.7	70	2.1	0.33	1.032	199.48
0.8	80	2.18	0.36	1.18	200
0.9	90	2.25	0.4	1.33	202
1.0	100	2.31	0.43	1.48	205
1.1	110	2.36	0.47	1.62	208
1.2	120	2.4	0.5	1.78	212
1.3	130	2.44	0.53	1.92	216

因此  $Q_1=30$ ， $Q_2=60$

單位時間新品持有成本  $= (2*(4.41+8.82))/0.885=29.9$

單位時間訂購成本  $= (2*5)/0.885=11.3$

單位時間檢驗成本  $= (2*10+(60+30+60)*0.5)/0.885=107.34$

單位時間回收持有成本  $= (20+(60*0.6)/2+(60-60*0.05)*(0.885-0.6)/2)/0.885=52.12$

單位時間總成本 = 29.9 + 11.3 + 107.34 + 52.12 ÷ 200.67

## 5.5 敏感度分析

### 5.5.1 範例 (1)

為了解不同參數對於單位總成本之最佳解的影響程度及變動情況，本節針對模式中所有的參數作敏感度分析，並對其分析後所顯示之情形加以說明。

現將數值範例中所有參數組合為一固定的中心集合 ( $\Phi$ )， $\Phi = \{ p, r, C_s, C_o, C_{h1}, C_{h2}, C_{x1}, C_{x2}, \theta, a, b \}$ ，其中心值取  $\{300, 100, 20, 5, 1, 2, 10, 0.5, 0.05, 300, 100\}$ 。接著將中心集合內之目標參數作  $\Theta = \{-30\%, -20\%, -10\%, 0\%, +10\%, +20\%, +30\%\}$  的幅度變化，且固定其他的參數，並以程式找出其最佳之單位總成本，並以單位總成本為基礎，定義由中心集合所求得的最佳期望總成本  $TCU^*$ ，而改變參數所求得的期望總成本為  $TCU$ ，並計算在不同參數之敏感度數值：

$$\frac{TCU - TCU^*}{TCU^*} \times 100\%$$

其相關彙整資料如表格 3 所示其相關參數之變異圖繪製於圖表 7：

根據表格 3 與圖表 7 可以歸納出所有參數對於  $TCU$  的影響及分析如下：

(1) 單位總成本  $TCU$  對於各參數的相關性不同可分為兩種情形：

正相關： $p, r, C_s, C_o, C_{h1}, C_{h2}, C_{x1}, C_{x2}, \theta, a$ 。

負相關： $b, r$ 。

(2) 單位總成本  $TCU$  對於各參數的敏感度不同可分為三種情形：

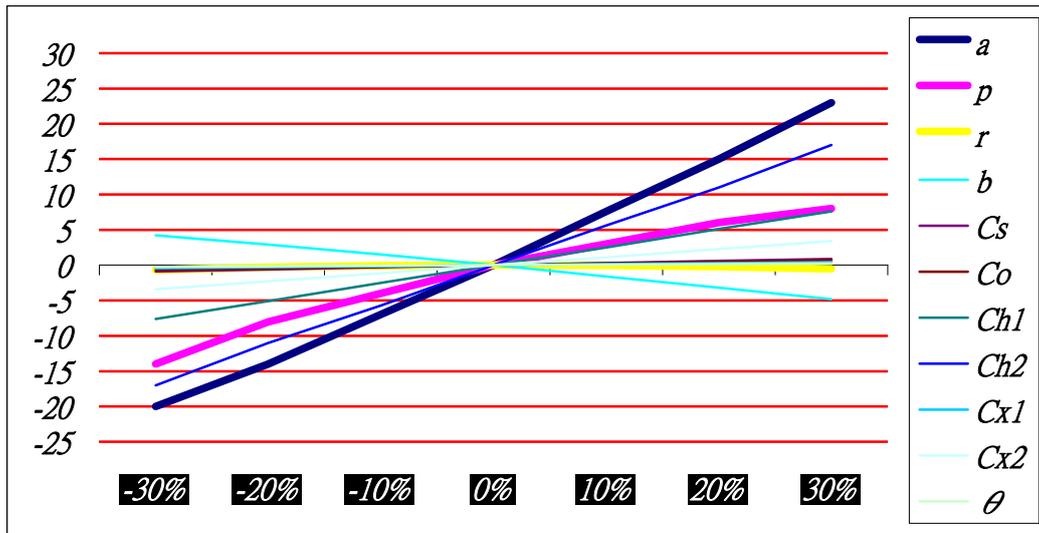
高敏感度： $a, p, C_{h2}$ 。

中敏感度： $b, C_{h1}, C_{x2}$ 。

低敏感度： $r, C_s, C_o, C_{x1}, \theta$ 。

表格 3 敏感度分析之變異表

	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%
$a$	-20	-14	-7	0%	7.6	15	23
$p$	-14	-8	-4	0%	3	6	8
$r$	0.64	0.3	0.09	0%	-0.04	-0.23	-0.52
$b$	4.2	2.9	1.5	0%	-1.6	-3.2	-4.8
$C_s$	-0.89	-0.6	-0.3	0%	0.3	0.59	0.89
$C_o$	-0.7	-0.47	-0.23	0%	0.23	0.46	0.7
$C_{h1}$	-7.6	-5.1	-2.5	0%	2.5	5.1	7.6
$C_{h2}$	-17	-11	-5.7	0%	5.6	11	17
$C_{x1}$	-0.45	-0.3	-0.15	0%	0.15	0.3	0.44
$C_{x2}$	-3.42	-2.28	-1.14	0%	1.12	2.28	3.42
$\theta$	-0.26	-0.17	-0.09	0%	0.08	0.17	0.26



圖表 7 相關參數之變異圖

依據此數值範例來看， $a$ 、 $C_{h2}$ 、 $p$  是影響單位總成本  $TCU$  的主要原因。當  $a$  增大或減少大約 30% 時，總成本  $TCU$  也會增大或減少約 20%；當  $C_{h2}$  增大或減少 30% 時，總成本  $TCU$  也會增大或減少約 17%；當  $p$  增大或減少 30% 時，總成本  $TCU$  也會增大或減少約 14%。而  $b$ 、 $C_{h1}$ 、 $C_{x2}$  是影響總成本  $TCU$  的次要原因。 $r$ 、 $C_s$ 、 $C_o$ 、 $C_{x1}$ 、 $\theta$  對期望總成本  $TCU$  的影響則很小。

### 5.5.2 範例 (2)

其相關彙整資料如表格 4 所示其相關參數之變異圖繪製於圖 5.7：

根據表格 4 與圖表 8 可以歸納出所有參數對於  $TCU$  的影響及分析如下：

(1) 單位總成本  $TCU$  對於各參數的相關性不同可分為兩種情形：

正相關： $p$ 、 $C_s$ 、 $C_o$ 、 $C_{h1}$ 、 $C_{h2}$ 、 $C_{x1}$ 、 $C_{x2}$ 、 $\theta$ 、 $a$ 。

負相關： $b$ 、 $r$ 、 $\delta$ 。

(2) 單位總成本  $TCU$  對於各參數的敏感度不同可分為三種情形：

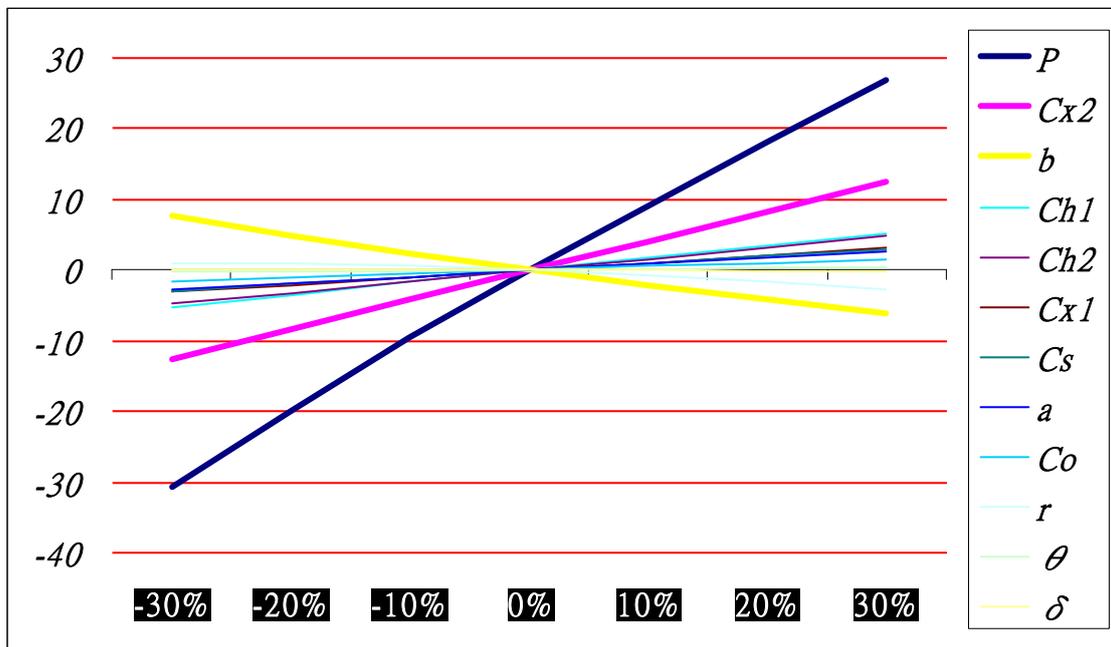
高敏感度： $p$ 、 $C_{x2}$ 。

中敏感度： $b$ 、 $C_{h1}$ 、 $C_{h2}$ 。

低敏感度： $a$ 、 $r$ 、 $C_s$ 、 $C_o$ 、 $C_{x1}$ 、 $\theta$ 、 $\delta$ 。

表格 4 敏感度分析之變異表

	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%
$p$	-30.76	-19.83	-9.64	0%	9.23	18.15	26.82
$C_{x2}$	-12.49	-8.33	-4.16	0%	4.16	8.33	12.49
$b$	7.63	4.83	2.32	0%	-2.17	-4.23	-6.21
$Ch1$	-5.18	-3.45	-1.73	0%	1.73	3.45	5.18
$Ch2$	-4.83	-3.22	-1.61	0%	1.61	3.22	4.83
$C_{x1}$	-3.06	-2.04	-1.02	0%	1.02	2.04	3.06
$C_s$	-2.91	-1.94	-0.97	0%	0.97	1.94	2.91
$a$	-2.75	-1.82	-0.91	0%	0.91	1.81	2.71
$C_o$	-1.53	-1.02	-0.51	0%	0.51	1.02	1.53
$r$	0.98	0.83	0.51	0%	-0.69	-1.57	-2.63
$\theta$	-0.34	-0.22	-0.11	0%	0.11	0.23	0.34
$\delta$	0.1	0.07	0.03	0%	-0.03	-0.07	-0.1



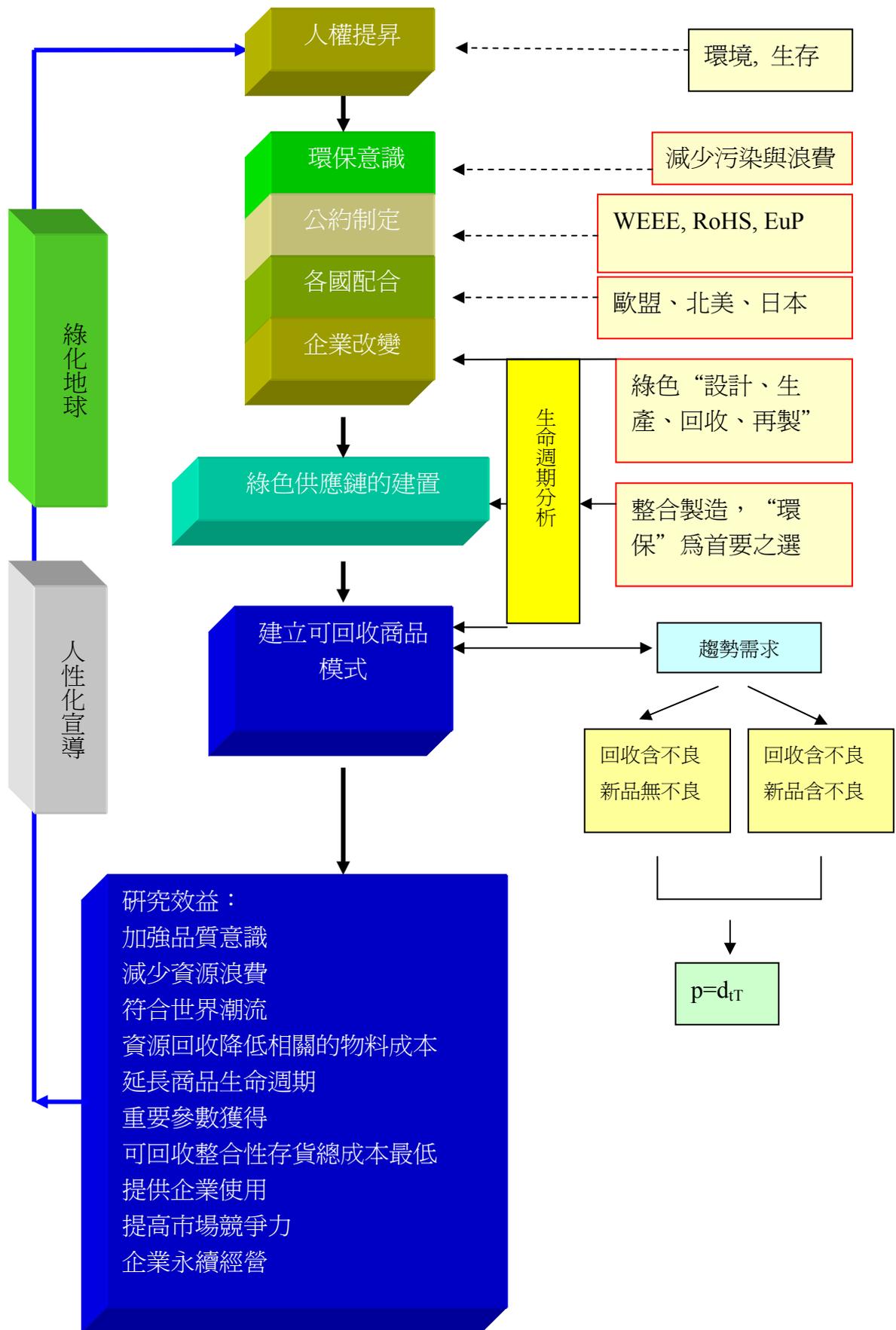
圖表 8 相關參數之變異圖

依據此數值範例來看， $p$ 、 $C_{x2}$ 、 $b$  是影響單位總成本  $TCU$  的主要原因。當  $p$  增大或減少 30% 時，單位總成本  $TCU$  也會增大或減少約 30%；當  $C_{x2}$  增大或減少 30% 時，單位總成本  $TCU$  也會增大或減少約 12%。 $b$ 、 $Ch1$ 、 $Ch2$  是影響單位總成本  $TCU$  的次要原因。 $a$ 、 $r$ 、 $C_s$ 、 $C_o$ 、 $C_{x1}$ 、 $\theta$ 、 $\delta$  對單位總成本  $TCU$  的影響則很小。

## 6. 結論

從本模式建購、數值範例與敏感度分析中，我們歸納出下列幾點結論：

1. 在範例(1)中發現首次訂購量( $a$ )、訂購新品單位儲存成本( $Ch2$ )與機器修復舊品能力( $p$ )為影響總成本的關鍵參數。因此企業應該更慎重預測需求，儘量降低首次訂購數量，但必需注意 $a-bt>0$ 的限制條件。有效管理訂購新品單位儲存成本，例如電子化管理、空間改善與更新等，皆可以降低總成本。另外，機器修復舊品能力對總成本影響也很重大，因此人員的訓練與強化機械設備的能力，將有利於聯合總成本的降低。
2. 在範例(2)中發現機器修復舊品能力( $p$ )與每單位檢驗成本，為影響總成本的關鍵參數。不論上升或下降趨勢，機器修復舊品能力皆是影響聯合總成本重大因素，因此企業在規劃此模式須特別加以重視。範例(2)依模式(2)，考慮訂購新品含不良，因為檢驗單位增加，相對的每單位檢驗成本對總成本的影響也變大，因此人員的訓練與檢驗設備的維修或更新，將有助於總成本的降低。
3. 產品需求以更符合實際的趨勢在變動，趨勢向下或趨勢向上期間，必定會在某一特定時間其需求率等於回收修復率，因此將不會發生缺貨或生產過剩的存貨，其效益除了模式的單純化之外，沒有缺貨的發生將滿足消費者的需求，當然對於商譽的提昇更有無形之效益；相同的，沒有生產過剩的存貨問題，除了沒有存貨成本( $t\sim T$ )之外，無形的危機例如：廠房的意外事故、競爭者的替代商品的推出等。增加供應商與回收商的壓力，使其商品保持一定水準，減少不良，資源浪費當然會減低。而消費者在環保意識下，將會珍惜與增加回收商品，因為地球資源是有限的，環境保護將是未來不可擋的趨勢，因此本模式研究在趨勢需求下，訂購新品與可回收商品的整合模式，以符合當前環保潮流，本研究綜合效益如圖表9所示。



圖表 9 本研究綜合效益

## 參考文獻

1. 施勵行與賴義芳，「跨國綠色供應鏈管理的型態及策略出探」，永續性產品與產業管理研討會，台南成功大學，2003。
2. Rice, F., "Who Scores Best on the Environment?" *Fortune*, July 26, pp.59-60, 1993.
3. Richter, K., "The EOQ repair and waste disposal model with variable setup numbers," *European Journal of Operational Research*, Vol. 96, pp. 313-324, 1996.
4. Richter, K. and Dobos, I., "Analysis of the EOQ repair and waste disposal problem with integer setup numbers," *International Journal of Production Economics*, Vol. 45, pp. 443-447, 1999.
5. Kiesmuller, G. P., "Optimal control of a one product recovery system with lead times," *International Journal of Production Economics*, Vol. 81-82, pp. 333-340, 2003.
6. Kleber, R., Minner, S. and Kiesmuller, G.P., "A continuous time inventory model for a product recovery system with multiple options," *International Journal of Production Economics*, Vol. 79, pp. 121-141, 2002.
7. Koh, S. G., Hwang, H., Sohn, K. I. And Ko, C.S., "An optimal ordering and recovery policy for reusable items," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, pp. 59-73, 2002.
8. Wee, H. M. and Jong, J.F., "An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating items," *Journal of Management and Systems*, Vol.5 No 1, pp.97-114, 1988.
9. Wee, H. M. and Chen, W. T., "Integrated Multi-Suppliers Three-Echelon Inventory Model for Deteriorating Items," *Journal of Management and Systems*, Vol. 9, No 3, pp. 331-344, 2002

## 明新科技大學 96 年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input type="checkbox"/> 工學院 <input checked="" type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input type="checkbox"/> 通識教育部 執行系別：工管系(中心) 計畫主持人：黃文昌 職稱：副教授 計畫名稱：綠色供應鏈可回收商品之存貨模式 計畫編號：MUST-97-工管-09 計畫執行時間：97年1月1日至97年9月30日	
計畫執行成效	教學方面 1. 對於改進教學成果方面之具體成效：加強品質意識：因為設置全檢系統。減少資源浪費：回收制度建立。符合世界潮流：綠色環保與 WEEE 公約。 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效：導出最佳可回收整合性存貨總成本最低。最佳回收與新品存貨數量。找出對總成本最敏感度參數。 3. 其他方面之具體成效：WEEE、RoHS、EuP 等組織運作的情況。了解全球化資源回收與再生的重要性。熟悉可回收整合性存貨模式的運作。熟悉 Maple 軟體。敏感度分析的意義與重要性。
	學術研究方面 1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____ 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱：_____ 發表期刊(研討會)日期：____年__月__日 3. 該計畫是否有要衍生產學合作案、專利、技術移轉 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 請說明衍生項目：_____
成果自評	計畫預期目標： 計畫執行結果： <p style="text-align: right;">預期目標達成率：90 %</p>

## 計畫預期目標：

- (1)品質意識提昇。
- (2)提昇環境意識。
- (3)減少浪費與環境污染。
- (4)利用資源回收與再生來降低相關的物料成本。
- (5)提高市場競爭力。

## 計畫執行結果：

依據下圖將本研究綜合效益分析如下列幾點：

- (1)品質意識加強：檢驗程序增加供應商壓力，使其製程保持一定水準，減少不良，資源浪費當然會減低。
- (2)減少資源浪費：消費者在環保意識，與製造商付出之回饋金額誘因下，將會珍惜與增加回收商品。
- (3)符合世界潮流：當今世界消費者之價值，莫不以回收可利用資源，為地球自身，盡一份心力。
- (4)降低相關的物料成本：回收系統的建立，製造新品當然會降低。
- (5)延長商品生命週期：回收再使用，使用期限延長。
- (6)重要參數獲得：在每一個模式中，利用敏感度分析得知，那些參數敏感度高，可以事先注意與調整，在各章結論已經加以說明。
- (7)整合性存貨總成本最低：在各章模式建立中，已經獲得證明。
- (8)提供企業使用：模式中除了理論推導之外，同時也利用實例驗證，可輕易與具體提供政府及企業有效執行環境化設計及資源回收再利用等各項建議及決策參考。
- (9)提高市場競爭力：上述(1)~(8)點的落實，當然會提高企業在全球的競爭力。
- (10)永續經營：擁有競爭力且符合當今潮流的企業，將會獲得消費者的信賴與支持，維持企業在全球化激烈競爭中屹立不搖。

