

# 再製造系統分析與建置之模擬研究

## THE ANALYSIS AND CONSTRUCTION OF A REMANUFACTURING SYSTEM BY SIMULATION STUDY

郭財吉 彭維民 黃敬書 張育銘

明新科技大學工程管理所

**Tsai-Chi Kuo Wei-Ming Pen Jing-Shu Huang Yu-Ming Chang**

*Dept. of Industrial Engineering and Management*

*Ming Hsin University of Science and Technology*

### 摘要

由於環境生態的惡化，世界各國已陸續通過嚴峻的環境保護法規，以防止環境的繼續惡化。而企業也為了能夠永續經營，紛紛針對自己所生產的產品加入綠色設計，其中包括：減少塑膠材料的使用、禁用含鉛、汞等有毒元素、增加產品再回收、與再製造之機會等。過去的研究，大多數都只針對產品的拆解與回收活動進行分析，對於拆解與回收的產品之再製造活動研究則較少探討。研究中所謂產品的再製造活動，包含：回收、拆解、再製造、重新組裝、和廢棄物處理等五項步驟，為使產品能夠重複使用，並減少廢棄物的數量和原生物料的消耗，以達到環境保護的目的。

本研究將建構一個完整的再製造生產模擬系統並進行分析。研究中，將以現有的製造生產環境為基本模式，並延伸建置產品回收後之再製造活動之各項流程，流程中包含再製品與新生產品之混合生產，並利用不同的生產排程方法予以調整拆解、及回收各項相關的變數。其研究的結果，將透過系統模擬所產生的資訊，同時考慮系統成本、平均流程時間、平均延遲時間、平均延遲訂單，和總完工訂單數等做為衡量之指標，藉此找到最合適的生產組合模式，並說明其可行的生產策略與建議，提供管理者做為參考之依據。

**關鍵字：**再製造、產品拆解、產品回收、生產排程

## ABSTRACT

Because of the deterioration of ecological environment in the world, many countries have already passed stringent laws to protect the environment. For long-term competition enterprises are continuously adopting green design for their products, including: reduction of the use of plastic material, prohibition of the use of poisonous elements e.g. Pb and Hg, and product recycling and remanufacturing.

In the past, many researches have focused on product recycling and disassembly. However, the remanufacturing issue is less explored. Remanufacturing involves issues for recovery, such as recycling, disassembly, remanufacturing, reassembly, and disposal. In order to achieve environmental protection objective, remanufacturing can reuse products, and reduce wastes and consumption original biological material.

The purpose of this research is to analyze a remanufacturing system by simulation study. An existing production environment is extended to accommodate the remanufacturing process. It allows different scheduling methods as well as recycling and disassembly parameters.

The simulation results are analyzed based on five performance measures including total complete order, system cost, mean flow time, mean lateness time, and mean tardy job. The analysis results show conditions for designing remanufacturing systems and support a manager's decision making when consider remanufacturing processes.

**Keyword:** Remanufacturing, Product Disassembly, Product Recycling, Product Recycling

## 壹、前言

由於科技的日益創新與經濟活動的快速發展，為人類帶來方便且進步的生活，但是相對的也造成一些負面的影響，如：製造龐大的廢棄物、消耗大量的自然資源等，這些負面因素，造成環境被污染與生態被破壞，及自然資源被過度使用，而漸漸枯竭。

爲了避免環境生態的持續惡化，世界各國已經通過許多嚴峻環境保護的法規，以減少環境的污染等各項問題。而企業爲了能夠永續經營，也針對自己所生產的產品也積極加入了環保設計的新思維，其中包括：減少塑膠材料的使用、避免使用含鉛、汞等有毒元素、增加再回收與再製造使用過的產品機會。這些爲了環境保護所做的活動，又可稱爲綠色設計。綠色設計的定義，可參考顏聖博與陳家豪（2005）所提出：「在不犧牲產品的既定功能前提下，引用省資源、低毒性、低衝擊等設計原則以提昇產品的環保特性，進而產生實際經濟效益。」吳贊鐸與林華宇（2005）更進一步指出綠色設計是產品在設計的各階段，將環境考量面與污染防治措施納入產品設計之中。

關於綠色設計的範圍非常廣泛，從產品設計、生產製造，到最後產品不再被使用或是壽命終止的再回收與再製造的各階段都很重要。尤其在產品設計與生產製造階段時加入綠色設計，的確可以降低環境被污染與生態破壞的問題，但是，對於減少自然資源的使用，效果卻是有限，而且當產品不再被使用時，若缺乏一套良好的處理機制，產品隨意的被丟棄還是會造成環境的汙染，因此產品的回收（recycling）與再製造（remanufacturing）之設計就非常重要。再製造活動是針對壽命終止或是不再被使用的產品，將產品回收進行一連串的加工處理，使產品可再一次的被使用，在這個活動中包含：回收、拆解、再製造、重新組裝、和廢棄物的最終處理等五項步驟，其目的是使產品的零件能夠重複利用和降低廢棄物數量，同時達到減少自然資源的使用與環境保護的目的。然而過去的研究多數以單一再製造的生產環境爲基本的研究架構並以回收與拆解活動進行分析，對整個再製造活動的研究是較少被探討。另外，針對產品回收與再生的活動勢必造成企業支付更多的成本，如：收集廢棄產品、運輸，及再製造的成本等，若以經濟或成本的觀點來看，如何讓產品再生活動是有利益這是值得研究的議題。因此本研究的目的爲

1. 探討以現有的製造環境並延伸建置再製造的生產系統爲研究架構，在系統模式考慮三種不同的產品製造情境，並調整回收與拆解之變數和配合不同的存補貨決策與排程派工法則，針對不同的生產情境進行模擬分析。
2. 分析不同的生產的情境，透過統計方法的分析說明系統變數對各種績效指標之結果。
3. 針對進行再製造活動說明可行的策略與建議，提供有興趣進行再製造之管理者或決策者做爲參考依據。

本研究將針對產品的回收與再製造活動，進行分析與研究以建置完整且適合再製造活動的生產系統，其結果將可作爲理論與實務應用的參考。

## 貳、文獻回顧

### 一、再製造活動

Guide (2000) 定義再製造為：經過一連串工業處理的流程，將一個壞掉的產品恢復成一個全新的狀態，其中，並透過拆解的活動將產品可用的部份取出成為存貨，不可用的部份則成為廢棄物。因此一個產品的重新組裝所使用的零件可能都是舊的，並且有時候產品的功能績效與一個全新的產品是相同的。整個再製造活動可分成三個部份，分別是：拆解(disassembly)、再製造(remanufacturing)和重新組裝(reassembly)。其流程如圖 1 所示，第一區是拆解，將回收的產品拆解，在此區經過檢查將可用的零件與壞掉的零件分離，再將整個產品送至第二區；第二區是將拆解的產品做零件的更換與清洗，最後則是將產品做最後的重新組裝，透過物流銷售至消費者手中。

### 二、再製造活動的特性

再製造活動不同於傳統的製造活動，其具有許多的複雜性與高度不確定性，Guide (2000) 提出七項影響再製造活動的因素，分別是：(1)回收產品的時間和數量不確定、(2)回收產品的需求與供給的平衡、(3)回收產品的拆解、(4)回收物料的不確定性、(5)一個逆向運籌網路的要求、(6)材料錯綜複雜匹配限制和易變的處理時間及(7)隨機生產途程的問題。針對上述七項再製造活動的不確定因素，作者更進一步指出受到這些因素影響的生產活動，包括：預測 (forecasting)、運籌(logistic)、排程與生產管制(scheduling/ shop floor control)和存貨管制(inventory control)等四項，如表 1 所示。

### 三、再製造活動的相關研究

本研究主要針對再製造的生產活動收集並整理相關的文獻，其中包括：再製造的存貨管理、再製造的生產排程、結合製造與再製造的生產活動和以各種環境議題之研究，以下是相關內容說明。

1. 再製造的存貨管理：進行產品的再製造，由於每個產品損壞程度不同，導致更換零件的存貨數量較難控制，且過多或過少的存貨都會使得生產成本增加。有關再製造的存貨管理則著重於存貨政策訂定與成本效益模型的分析 (Guide & Srivastava, 1998; Inderfurth & Van der Lann, 2001; Ruud & Dimitrios, 2002; Souza & Ketzenberg, 2002; Bayindir, Erkip, & Gullu, 2003; Kiesmeller, 2003; Mahadevan, Pyke, & Fleish, 2003)。

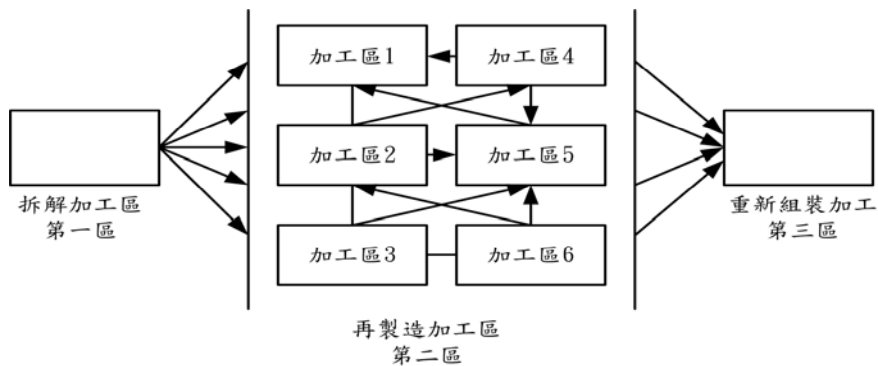


圖 1 再製造的生產流程系統

表 1 不確定因素對再製造生產活動上的影響

| 不確定因素          | 預測 | 運籌 | 排程與生產控制 | 存貨控制 |
|----------------|----|----|---------|------|
| 回收產品的時間和數量不確定  | ○  | ○  | ○       | ○    |
| 回收產品的需求與供給的平衡  |    |    |         | ○    |
| 回收產品的拆解        |    |    | ○       | ○    |
| 回收物料的不確定性      |    |    | ○       | ○    |
| 逆向運籌網路的需求      |    | ○  |         | ○    |
| 材料匹配限制與易變的處理時間 |    |    | ○       |      |
| 隨機生產途程的問題      |    |    | ○       |      |

2. 再製造的生產排程：傳統的生產計畫比起再製造環境較為容易規劃，因為傳統的生產計畫是針對單一目標生產，而再製造環境中的生產卻是具有多個目標的生產，其差異在於回收的產品有不確定的狀態，直到其被拆解檢查之後才能了解。適當的生產排程方法是可以讓再製造活動的變異降低。生產排程的相關研究著重於投料政策與排程（派工）方法（Guide, 1996；Brander & Forsberg, 2005；Guide, 1997；Guide, Srivastava, & Kraus, 1997b；Guide, Srivastava, & Spencer, 1997c；Kizilkaya & Gupta, 1998；McGovern & Gupta, 2003；Taleb, Gupta, & Bernnan, 1997；Taleb & Gupta,

1997)。

3. 結合製造與再製造的生產活動：再製造生產活動不僅用於單純的再製造環境，對於結合一般的製造環境進行再製造亦是可行的 (Guide & Spencer, 1997; Guide, Kraus, & Srivastava, 1997a; Souza & Ketzenberg, 2002)。
4. 各種環境議題之研究：除了，上述以各種有關再製造生產活動研究之外，還有以各種環境議題針對再製造活動之研究，如：環境意識、環境化設計、製程與組織設計等 (Bras & McIntosh, 1999; Guide, 2000; Guide, Jayaraman, & Srivastava, 1999; Gungor & Gupta, 1999; White, Eric, Christine, & Beckman, 2003)。

## 參、研究方法

### 一、系統架構

本研究主要以現存的製造環境為主，並延伸建置再製造生產模式，期望能透過此模式的建置，提供一個適合兼具製造與再製造的生產環境。在系統架構中，共包括了五個主要的部份，製造者（包含製造與再製造活動）、供應商（負責提供符合綠色規章的原物料）、運輸者（負責產品運輸）、最終處理者（負責廢棄產品的處理）和客戶（購買產品）。圖 2 的製造與再製造系統架構是描述五個部份相互之間的關係，主要說明製造與再製造環境下的生產活動，以下是有關此五個部份之說明。

1. 製造者：在接到客戶的訂單後，會依據系統資訊進行產品的生產活動，如：客戶訂單的需求、排程派工方法等，完工後會經過測試若無問題即送至成品庫存區，若測試無法通過則會進行重新加工直到產品通過測試。另外，將客戶不再使用的產品回收，透過拆解的活動將可用的部份做為進行再製造的零件。
2. 供應商：主要是提供製造者生產新品與再製品所需的物料與零組件。
3. 運輸者：主要是將製造者生產完成的產品送至所需的客戶手中。
4. 最終處理者：當舊的產品經過回收檢驗或是在進行拆解活動時，發現其損壞嚴重則會將產品送至最終處理者手中進行廢棄處理，如：粉碎、冶煉後再進行掩埋或焚燒。
5. 客戶：主要是向製造者下訂單訂購所需的產品（新品和再製品），另外，將不再使用的產品交由回收業者送回製造者手中進行處理。

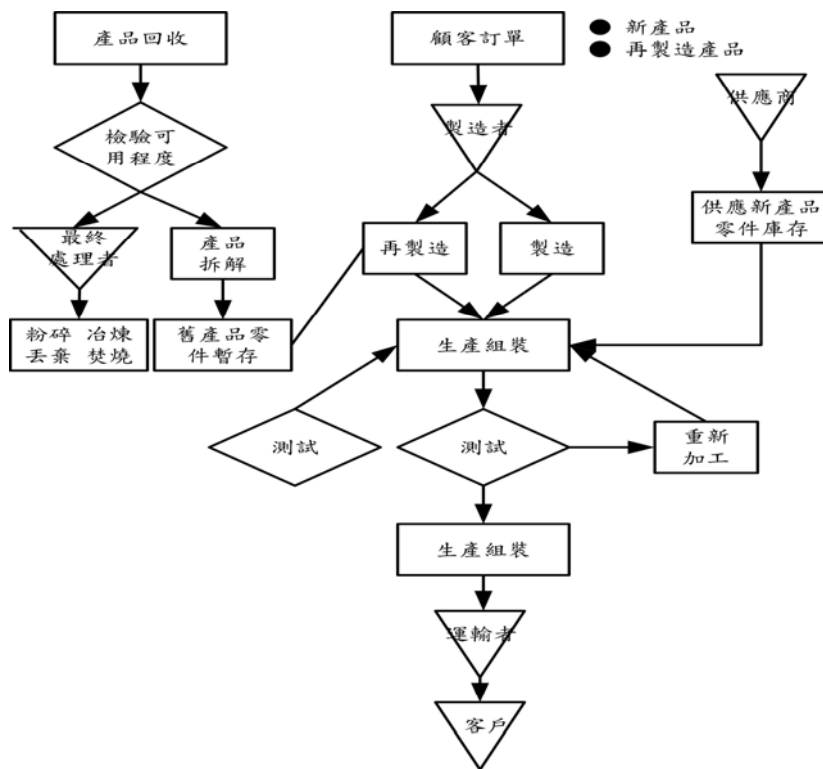


圖 2 製造與再製造系統架構

## 二、系統基本假設

本研究針對所建置的製造與再製造並存的生產模式設定基本假設，包括：製造者、供應商、回收、最終處理者，和其他項目等部份的說明。

1. 製造者主要是負責新產品製造與舊產品回收、拆解和再製造；供應商則負責提供製造者進行產品製造時所需的原料，並假設其產能是無限的；而舊產品的回收則委託第三者收集並運送至製造者手中進行相關的處理。
2. 產品進行再製造方面，考慮回收時間、拆解時間等兩個因素，其他可能會影響系統之因素直接融入模擬系統。
3. 最終處理者是針對在回收階段或是拆解階段無法使用的產品進行相關的處理，如：粉碎、冶煉、掩埋或焚燒等。

4. 客戶方面泛指使用產品的消費者，當產品不再被使用時是由回收中心回收然後送至製造者。
5. 庫存方面已含有製造與再製造方面的原物料、零組件的存在。

### 三、系統模式的建置

本研究採用的系統工具是 Extend 6.0，這套軟體主要是可用於各種的領域，可利用建構方塊（blocks）來建立模式，以及探索流程，並可瞭解彼此的關連性，藉由改變假設或相關參數，以獲取相關的資料與數據。由於再製造的活動具有高度的不確定性，如：回收時間、拆解時間的變異，且再製造的生產時間也是屬於非固定，透過此模擬軟體的特性，即可對部分生產流程設定參數或假設做一設定，藉由執行此系統得到相關資訊，以便本研究能順利進行。

研究中乃根據前述的系統架構以建置模式，即在整合製造與再製造的生產環境中，同時有新生產品與再製產品進行混合生產，模式中考慮三種生產情境，配合三種排程派工方法和兩種不同的存補貨決策，並調整回收與拆解變數使用系統模擬來進行分析。藉由模擬分析找出不同的生產情境下所產生最合適的生產組合的條件並說明可行的策略與建議，針對此模式其相關的模擬架構，如圖 3 所示，以下則針對此架構做一詳細的說明。

1. 資料輸入：主要是將基本的參數資料輸入於系統內，如：物料／零組件資料、回收資料等。
2. 系統環境設定：主要是有關產品製造處理與生產環境的任務設定，在產品製造處理方面主要是新品生產與再製產品的需求設定、當同時有新品與再製品時其生產之順序或是當再製品缺料時的處理方式；而在生產環境的設定方面主要是考慮同時有多張訂單須進行加工，藉由調整不同的系統參數來處理訂單的生產順序。
3. 系統變數設定：由於再製造的資訊不易取得所以透過假設的方式來訂定其標準，在系統變數方面則是考慮回收、拆解、再製造、排程派工方法，和存補貨決策等五項，其相關的說明則參考 3.4 小節。
4. 系統模擬及分析：在上述所有資訊設定完成後，本研究根據圖 2 的製造與再製造系統架構建構整個系統模擬的環境，完成後隨即進行模擬以獲取相關的資訊。
5. 模擬資訊輸出與評比：透過模擬軟體的分析所能獲得的是基本的資訊，本研究將設定相關的績效指標來說明所獲得的資訊之意義，有關指標的說明則參考 3.5 節之說明。



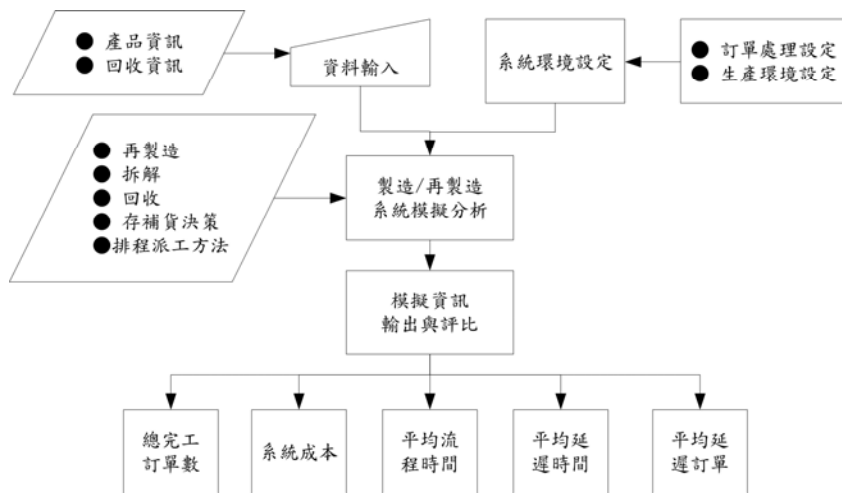


圖 3 模擬架構圖

#### 四、系統變數的建置

本研究選定五種變數，包括：再製造的變異、產品回的變異、產品拆解的變異、排程派工方法與存補貨決策。之所以選擇這五種變數其原因是許多再製造活動的相關研究中指出，回收、拆解與再製造這三種因素都是造成再製造時產生變異的主要原因。另外，依據 Guide (2000) 的研究中提到存貨與生產排程也是足以影響整個生產系統的績效，因此，本研究選擇以此五種因素做為系統變數，以下是相關內容的說明。

1. 產品回收的變異：產品回收的變異是在於舊產品進行回收時，回收率、回收時間等都是不確定的。在本研究主要考慮低回收時間、中產品回收時間，和高產品回收時間等三種水準。
2. 產品拆解的變異：產品拆解的變異主要來自對產品內部損壞程度的無法掌握、拆解時間與拆解之後零件的可再使用率，因而對生產活動造成很大的影響。在本研究主要考慮低產品拆解時間、中產品拆解時間，和高產品拆解時間等三種水準。
3. 再製造的變異：主要是原因為舊產品回收後的未知狀態，造成產品的修復、所需更新零件的供應存貨無法掌握等問題。在本研究主要是考慮再製造產品需求率是變動的，其為低需求率、中需求率和高需求率等三種水準。
4. 排程派工方法：由於再製造具有高度的變異，為了要在客戶要求的時間內將其所需

的產品生產完成，排程方法的選用是很重要的。本研究主要是使用，先進先出（First Come First Served, FCFS）、最早到期日（Earliest Due Date, EDD）和最短完工時間（Shortest Processing Time, SPT）等三種方法。

5. 存補貨決策：在進行產品的再製造，由於每個產品損壞程度的不同，在更換的零件存貨數量較難以控制，過多或過少的存貨都會使得生產成本增加。本研究則是考慮再製造產品生產遇到零組件缺貨時，是以新品零組件做為替代或是等待可用的舊產品零組件抵達等兩種狀況。

再製造活動具有許多足以影響生產活動之變數，除了，本研究上述選定的五種變數，對於其他可能會影響系統之變數，本研究視為情境變數直接融入模擬系統中進行調整，以下是相關內容的說明。

1. 產品回收變異，除了考慮回收時間，尚有回收品數量、回收率以及回收品的檢驗時間等都視為情境變數，將其融入模擬系統中進行調整。
2. 產品拆解變異，除了考慮拆解時間，尚有零組件可再使用率與零組件的清洗時間等都視為情境變數，將其融入模擬系統中進行調整。
3. 再製造變異，除了考慮再製品的需求比率，尚有組裝時間、檢驗時間與產品良率等都視為情境變數，將其融入模擬系統中進行調整。
4. 除了上述的情境變數外，系統中尚有重新加工時間、重新加工產品良率等都視為情境變數，將其融入模擬系統中進行調整。

## 五、系統績效指標的建置

績效指標主要是對系統建置模式產生的輸出值做一標準的衡量，藉由此衡量來描述出模式產生的輸出值所代表的結果。本論文主要參考 Guide et al. (1997a) 以及其他對再製造活動相關研究的文獻 (Kiesmuller, 2003; Mahadevan et al., 2003)，選定適合再製造生產系統的績效指標，其如下所述：

1. 總完工訂單數：主要是衡量在預定的系統模擬時間內能夠完成的訂單數量，即何種生產條件能使系統有最大的訂單產出數量。
2. 系統成本：主要是衡量接受客戶訂單後到完工，這一段生產時間所產生的費用，成本項目又可細分成：回收、拆解、製造／再製造成本與存貨成本和訂單延遲成本等，衡量不同的生產變異並調整相關參數，藉此找到生產成本最低的生產組合。

3. 平均流程時間：主要是衡量每種不同生產情境，全部訂單完工的平均流程時間，即平均流程時間愈短愈好。
4. 平均延遲時間：主要是衡量在預定的系統模擬時間內所有延遲訂單的平均延遲時間，即延遲時間愈小愈好。
5. 平均延遲訂單：主要是衡量在不同生產情境內所有延遲訂單的數目，即延遲訂單數目愈少愈好。

## 肆、個案研究

### 一、個案公司介紹

本研究是以碳粉匣產品做為再製造生產活動之分析，個案公司主要是以生產雷射碳粉匣為主，其產品包含原生碳粉匣與再生碳粉匣兩種類型的產品，由於碳粉匣產品種類繁多，本研究僅選擇其中一種型號的碳粉匣進行模擬分析。

### 二、碳粉匣生產模擬系統之建置

碳粉匣的模擬系統主要是依據圖 2 的製造與再製造系統架構建置相關的模擬模式。模式中先將相關資料輸入，包括了，產品資訊、系統變數以及系統參數，如：表 2、表 3、表 4 所示。

將相關資訊輸入至系統模式後，隨即進行模擬分析 518400 分鐘，其中會扣除暖機期間 43,200 分鐘所取得的資料。整個模擬模式主要可以分成訂單處理、產品進行回收與拆解處理，和舊產品製造與再製造處理等三種生產情境，其說明如下：

#### (一) 訂單處理

1. 首先，製造者會收到多筆客戶的訂單，分析訂單資訊後可以得知每張訂單的交期或生產時間，系統會依據不同的排程法則給予生產優先順序。
2. 接著，系統會依據訂單所需的新品與再製品數量，通知製造與再製造產線進行生產。

#### (二) 舊產品進行回收與拆解處理

1. 在收到客戶訂單後同時進行舊產品回收，首先，回收者運輸回收產品送至製造者，

表 2 碳粉匣零組件資訊 (資料來源：個案公司)

| 主要零件                         |           |
|------------------------------|-----------|
| 名稱                           | 生產單位用量    |
| 外殼 (Cartridge)               | 1         |
| 次要零組件                        |           |
| 名稱                           | 生產單位用量    |
| 清潔刮刀 (Wiper Blade)           | 1         |
| 感光鼓 (Drum)                   | 1         |
| 佈電滾輪 (Primary Charge Roller) | 1         |
| 磁棒套筒 (Mag. Roller Sleeve)    | 1         |
| 碳粉 (Toner)                   | 一支碳粉匣的填充量 |
| 其他零組件                        |           |
| 名稱                           | 生產單位用量    |
| 回收刮刀 (Recovery Blade)        | 1         |
| 防漏刮刀 (Sealing Blade)         | 1         |
| 佈粉刮刀 (Doctor Blade)          | 1         |

表 3 系統變數

| 編號 | 決策變數         | 水準         |              |              |
|----|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1  | 再製造需求率 (百分比) | 低(L) : 0.2 | 中 (M) : 0.5  | 高 (H) : 0.8  |
| 2  | 產品回收時間 (分鐘)  | 低(L) : 7.5 | 中 (M) : 15.0 | 高 (H) : 22.5 |
| 3  | 產品拆解時間 (分鐘)  | 低(L) : 7.0 | 中 (M) : 14.0 | 高 (H) : 21.0 |
| 4  | 存補貨決策 (類別)   | 以新品零件補貨    | 不以新品零件補貨     |              |
| 5  | 排程派工方法 (類別)  | FCFS       | EDD          | SPT          |

表 4 碳粉匣系統參數

| 編號 | 參數       | 數值                |
|----|----------|-------------------|
| 1  | 訂單抵達時間   | 北部：4張/天；中、南部：6張/天 |
| 2  | 訂單需求量    | 平均 3~5 個/張        |
| 3  | 訂單延遲成本   | 10 元/分鐘           |
| 4  | 新品組裝時間   | 15 分鐘/個           |
| 5  | 新品檢驗時間   | 5 分鐘/個            |
| 6  | 新品組裝單位成本 | 100 元/個           |
| 7  | 新品檢驗單位成本 | 50 元/個            |

續下表

續表 4

| 編號 | 參數           | 數值                           |
|----|--------------|------------------------------|
| 8  | 再製品組裝時間      | 15 分鐘/個                      |
| 9  | 再製品檢驗時間      | 5 分鐘/個                       |
| 10 | 再製品組裝單位成本    | 50 元/個                       |
| 11 | 再製品檢驗單位成本    | 50 元/個                       |
| 12 | 回收品回收數量      | 北部：28 個/天；中部 10 個/天；南部 9 個/天 |
| 13 | 回收品回收時間      | 7.5 分鐘/個                     |
| 14 | 回收品回收成本      | 100 元/個                      |
| 15 | 回收品零件可再使用比率  | 主零件 90%；次要與其他零件 80%          |
| 19 | 回收品拆解成本      | 15 元/分鐘                      |
| 20 | 回收品清潔時間      | 5 分鐘/個                       |
| 21 | 回收品清潔成本      | 15 元/個                       |
| 22 | 新品零件存貨成本     | 2 元/週                        |
| 23 | 再製品零件存貨成本    | 2 元/週                        |
| 24 | 新物料/零件訂購量    | 100 個                        |
| 25 | 新物料/零件再訂購點   | 100 個                        |
| 26 | 新物料/零件訂購前置時間 | 1 天                          |
| 27 | 新物料/零組件訂購成本  | 5 元/個                        |
| 28 | 新製造物料/零件初始庫存 | 200 個                        |
| 29 | 再製造物料/零件初始庫存 | 200 個                        |
| 30 | 新物料/零件原料成本   | 5 元/個                        |

經由檢驗後將可用產品進行拆解處理，不可用之產品則直接送至最終處理者進行廢棄處理。

- 接著，將可用舊產品進行拆解分成其他零組件、次要零組件以及主要零件等三部份，然後將所有零件進行清洗，完成之後可用的物料／零組件會被儲存至再製造的庫存提供再製造產品進行加工；不可使用的部份則會被丟棄進行廢棄處理。

### (三) 產品製造與再製造處理

- 當接受訂單資訊後，製造和再製造產線將會進行生產。新品與再製品生產時分別都

會經過其他零組件、次要零組件以及主要零件等三個加工站進行加工。

2. 再製造產線是優先使用由舊產品拆解的物料／零組件進行生產，當所需零組件缺貨時，將會考慮是以新品零件補貨或是等待可用回收品零件抵達時才進行生產。而製造產線則只能使用新品零件進行生產，當所需零組件缺貨時，必須由供應商補貨。
3. 新品與再製品加工完成後會送至產品檢驗站進行檢驗，若不合格則會將產品進行重新加工，直到產品合格為止，合格之產品則會進入等候區等待同一訂單之產品全部完成後才算完工，最後由運輸者將產品送至所需客戶。

## 伍、實驗設計與模擬結果分析

### 一、實驗設計

爲了深入探討各系統變數對再製造生產模擬系統之影響，本研究採用實驗設計的方法，藉由變異數分析來檢定各變數與績效指標之間的反應。在本研究的模擬實驗主要考慮五個系統變數（請參閱表 3）。另外，在進行分析時，除了存補貨決策爲二個水準，其餘變數皆爲三個水準，因此，本研究所進行的實驗設計將會有（ $3*3*3*3*2$ ）共 162 種實驗情況。由於系統中所考慮的變數較多，使得整個實驗設計的統計模型過於複雜且會有過多的交互作用效應產生，而一般的統計分析之研究通常只論及二階交互作用效應的影響，因爲，二階以上的交互作用效應通常不會對系統績效產生顯著之影響，因此，本研究在進行實驗設計分析時僅針對主因子效應與二階交互作用效應進行探討說明相關結果。

### 二、模擬結果分析

本研究是採用統計軟體 Design Expert 6.0.1 來進行變異數分析（ANOVA Analysis）。在分析過程中，主要是探討各績效指標對各系統變數的主因子效應與二階交互作用效應，透過統計分析相關結果，如表 5、表 6 所示。

### 三、整體性分析

透過統計的分析，以下將說明主因子效應與二階交互作用效應之結果。最後，針對整個結果提出合適的再製造生產策略與建議。

表 5 各績效指標對之系統變數（主因子效應）影響

| 系統變數<br>績效指標 | 產品回收<br>時間(1) | 產品拆解<br>時間(2) | 再製造<br>需求率(3) | 排程派工<br>方法(4) | 存補貨<br>決策(5) |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 總完工訂單數       | *             | *             | *             | *             | *            |
| 系統成本         | *             | *             | *             | *             | *            |
| 平均流程時間       | *             | *             | *             | *             | *            |
| 平均延遲時間       | *             | *             | *             | *             | *            |
| 平均延遲訂單       | *             | *             | *             | *             | *            |

註 1. \*：代表在 0.05 的水準下，其影響在統計上為顯著。

表 6 各績效指標對之系統變數（二階交互作用效應）影響

| 系統變數<br>績效指標 | 產品回收<br>時間(1)      | 產品拆解<br>時間(2) | 再製造<br>需求率(3) | 排程派工<br>方法(4) | 存補貨<br>策(5) |
|--------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 總完工訂單數       | (2) (3)<br>(4)     | -             | (4) (5)       | (5)           | -           |
| 系統成本         | (2) (3)<br>(4) (5) | (5)           | (5)           | (5)           | -           |
| 平均流程時間       | X                  | X             | (5)           | X             | X           |
| 平均延遲時間       | (2) (5)            | -             | (5)           | X             | -           |
| 平均延遲訂單       | (5)                | X             | (5)           | X             | -           |

註 1. X：代表系統變數未有交互作用之影響。

註 2. 在變數中有數字編號者代表其與某一變數有交互作用。

註 3. -：代表交互作用在前一變數已出現過，不需重覆表示。

### (一) 主因子效應分析

根據表 5 的資料得知，本研究的模擬系統其變數(主因子效應)對所有的績效指標都呈現顯著反應，以下將說明每一系統變數對各績效指標之影響。

1. 產品回收時間與拆解時間之變數，當時間增加時 (L→M→H)，系統成本、平均流程時間、平均延遲時間和平均延遲訂單皆會逐漸增加，總完工訂單則會逐漸減少。這是因為當舊產品回收時間增加時將會影響舊零件庫存品的可用量，在產品進行再

製造時會因為零件庫存不足而等待所需零件（等待舊零件抵達或由供應商提供新零件），使得生產時間有變異產生進而造成各個績效指標產生變化。

2. 再製造需求率之變數，發現需求率為中、高水準時(M、H)其績效都是優於需求率為低水準(L)。這是因為需求率為低水準時，系統大部分都在生產新產品，新產品生產所需之零件皆由供應商提供，未能像再製品同時具有舊零件可以使用或是藉由供應商提供所需零件，當庫存不足時只能等待供應商補貨，使得生產時間有高度變異產生，因此，在低水準時各個績效指標都是較差的。
3. 排程派工方法之變數，發現使用 EDD 和 SPT 的方法所產生的績效都是優於 FCFS 的方法。這是因為本系統是採用新品與再製品分開生產，當同一訂單所需之產品完成後才算完工，FCFS 的方法採用先到先生產的方式，即前一產品未完工則後續產品無法進行加工，當系統有變異產生時會造成整個訂單的完成時間增加，因此，FCFS 的方法會讓各個指標有較差的績效產生。
4. 存補貨決策之變數，當再製品有補貨機制時所有的績效指標是優於沒有補貨機制。這是因為當再製品需求愈大時所需的零件數量愈多，且產品回收或拆解時間變大時容易使得零件缺貨，雖然使用新零件會有較高的成本產生，但比起因零件缺貨所等待之時間成本是較低的，因此，有補貨機制會有較好的績效產生。

## (二) 二階交互作用分析

根據表 6 的資料得知，本研究的模擬系統其變數的確有交互作用存在，以下將以每一績效指標列舉各變數所產生的交互作用，並說明其對系統之影響。

1. 總完工訂單數，針對影響此績效指標的交互作用其說明如下：
  - (1) 產品回收時間與產品拆解時間的交互作用，當產品回收時間增加時，產品的拆解時間無論大小對訂單的產出影響是較小的；當回收時間減少時，拆解時間的愈小對訂單的產出就愈大。
  - (2) 產品回收時間與再製造需求率的交互作用，也是當回收時間減少時，再製造需求率的愈大對訂單的產出就會愈大。
  - (3) 產品回收時間與排程派工方法的交互作用也是隨著回收時間的減少，三種排程派工方法對訂單的產出就會愈大。



- (4) 再製造需求率與排程派工方法的交互作用，當需求率低的時候三種方法對訂單的產出影響是較小的，當需求率增加時對訂單的產出就會愈大。
- (5) 再製造需求率與存補貨決策的交互作用也是隨著需求率增加在有補貨機制的狀態下會有愈大的訂單產出。
- (6) 排程派工方法與存補貨決策的交互作用，有補貨機制的狀態下，使用三種方法時會有愈大的訂單產出。

2. 系統成本，針對影響此績效指標的交互作用其說明如下：

- (1) 產品回收時間與產品拆解時間的交互作用，當回收時間慢慢減少，產品的拆解時間愈小就會使系統成本愈小。
- (2) 產品回收時間與再製造需求率的交互作用，也是當回收時間減少時，再製造需求率愈大對系統成本就會愈小。
- (3) 產品回收時間與排程派工方法的交互作用也是隨著回收時間的減少，三種方法對系統成本就會愈小。
- (4) 產品回收時間與存補貨決策的交互作用，當回收時間在最小時則無補貨機制的成本是低於有補貨機制，但隨著回收時間的增加則無補貨機制的成本就會比有補貨機制來的高。
- (5) 產品拆解時間與存補貨決策的交互作用，當拆解時間愈低有無補貨機制對系統成本的差異就愈小，相反地，當拆解時間愈大有補貨機制對系統成本的增加就愈小。
- (6) 再製造需求率與存補貨決策的交互作用則是隨著需求率增加在有補貨機制的狀態下會對系統成本的增加就愈小，當需求率愈小則無補貨機制有較小的系統成本。
- (7) 排程派工方法與存補貨決策的交互作用，有補貨機制的狀態下，使用三種方法時會有較低的系統成本產生。

3. 平均流程時間，針對影響此績效指標的交互作用其說明如下：

- (1) 此兩種因子的交互作用，當再製造需求率愈大時，有補貨機制會使得平均流程時

間愈小，需求率愈小時有無補貨機制，平均流程時間是無明顯差異的。

4. 平均延遲時間，針對影響此績效指標的交互作用其說明如下：

- (1) 產品回收時間與產品拆解時間的交互作用，當回收時間低的時候，拆解時間愈大會使得平均延遲時間愈大，當回收時間愈大則拆解時間大小對平均延遲時間的影響是無明顯差異的。
- (2) 產品回收時間與存補貨決策的交互作用，當回收時間愈大，會使得有補貨機制的平均延遲時間低於無補貨機制愈明顯。
- (3) 再製造需求率與存補貨決策的交互作用，當需求率低時，無補貨機制的平均延遲時間是小於有補貨機制的狀態，但隨著需求率的增加無補貨機制的平均延遲時間就會遠大於有補貨機制的狀態。

5. 平均延遲訂單，針對影響此績效指標的交互作用其說明如下：

- (1) 產品回收時間與存補貨決策的交互作用，當回收時間慢慢增加會使得有補貨機制的平均延遲訂單愈小。
- (2) 再製造需求率與存補貨決策的交互作用，當需求率低時，無補貨機制的平均延遲訂單是小於有補貨機制的狀態，但隨著需求率的增加無補貨機制的平均延遲訂單就會遠大於有補貨機制的狀態。

### (三) 再製造生產策略與建議

本研究透過模擬系統建置一個再製造生產系統，分析各種不同生產情境所產生的結果。最主要的目的是期望透過這些結果分析，說明合適的再製造生產策略與建議，以提供有興趣進行再製造生產的管理者做為參考的依據。以下是相關內容的說明。

1. 產品回收時間與拆解時間增加，確實會導致所有的系統績效變差，當企業要進行再製造生產活動時，必須設計一套良好的回收系統，本研究建議可以透過結合第三方物流的方式來進行產品的回收。另外，針對產品的拆解，則須制訂一套標準的拆解程序並將其系統化，透過系統分析可以快速找出產品的拆解率、拆解水準，以降低拆解活動的變異。
2. 不同的再製造需求率確實會造成系統績效的變動，因此，本研究建議當再製造需求

- 率低時，可以考慮新品生產使用回收產品的零件且能夠維持某一程度品質時進行產品製造；當需求率為中、高水準時可以考慮增加回收品的數量，如：收集其他廠牌的同類型產品，以提升回收產品的物料／零組件之再利用率，如此亦可降低廢棄物的數量及再製造成本。
3. 當再製造生產遇到物料／零組件缺貨時，在有補貨機制的狀態下確實能夠增加再製品的生產數量，而本研究所考慮的補貨機制是缺貨時由供應商提供所需之物料／零組件，使得再製造生產會有使用新品零件之成本與等待零件抵達之成本。若以成本為考量，本研究建議當再製品缺貨時應將新品之零件庫存給予再製造產線，以再製品優先的生產策略，如此更能降低整個生產成本。
  4. 不同排程派工方法的使用確實讓系統績效產生不一樣的結果，而排程是透過條件設定安排一套使系統變異最小的訂單（產品）生產順序，並不能讓系統所存在的變異被消除。針對再製造活動使用排程派工方法是必須的，但是當系統變異加大時，排程的使用其效果就會有所限制。而要使再製造活動有好的績效產出則必須降低生產變異，本研究建議可以使用混線生產、小批量生產等策略，來解決再製造活動的不確定性。
  5. 透過模擬分析可以發現再製造的生產活動會受到許多的因素影響，不僅是本研究所選定的五種變數而已。為了降低生產變異，在相關研究皆提出許多的改善方法，如：存貨管理、訂單生產處理策略等，這些方法確實能讓再製造活動獲得績效的改善。但是，本研究認為再製造活動的不確定性是來自於再製品無法以固定的作業流程進行生產，因為所有再製品要修復的程度皆不相同。因此，本研究建議可以將生產的再製品設定等級，如：依據不同的損壞程度分成，修復、需更換部分零件、需全部拆解留下可用之零件等，據此在安排不同的生產方法與策略，同時可依據再製品的生產方式制訂標準作業流程，確實讓再製造活動達到穩定生產。

## 陸、研究結論

近年來，環境汙染和生態的破壞日漸嚴重，人們對環境保護的意識愈來愈強，世界各國皆訂定許多嚴格的法律來防止環境的惡化，企業為了符合潮流紛紛在其生產的產品加入綠色設計。然而，只在生產產品時加入綠色設計是不足夠的，當產品不在被使用又沒有一套良好的處理機制，產品被隨意的丟棄還是會造成環境的汙染。再製造

的生產活動就是針對產品不再使用時，將產品回收進行相關處理，讓產品能再一次的被使用，以減少原生物料的使用並達到環境保護之目的。因此，本研究提出一個完整的再製造生產活動，其包含：回收、拆解、再製造、重新組裝以及廢棄物的最終處理，並將其融入現有的製造模式之中，配合個案進行分析。藉由統計方法的分析，可清楚瞭解整個再製造系統在不同生產情境下的結果，而本研究的研究貢獻如下所述：

1. 本研究建置一個完整的再製造模擬系統，分析產品回收時間、產品拆解時間、再製造需求率、排程派工方法以及存補貨決策等多種不確定性因子，其對各績效指標所產生的影響，並藉由統計方法找到每種績效指標最合適的生產組合因子，並說明合適的再製造生產策略與建議。
2. 本研究所建置的系統架構是以製造與再製造活動為主，並透過模擬系統建置一個再製造生產活動的模擬器。模擬器 (simulator) 代表一個精簡的模擬環境，它允許改變相關的系統參數與環境描述特定的複雜系統，而本研究建立的模擬器，不僅可用於本研究的個案分析，藉由改變系統設定亦能用於其他適合進行再製造產品之個案。
3. 再製造活動的概念乃是重於環境保護和減少自然資源的使用為其出發點，本研究是以再製造生產系統設計的觀點，探討生產者進行再製造活動的可行性。而本研究所建構的碳粉匣再製造生產模擬系統，在未來尚有許多可進一步探討之研究。

再製造生產活動其會受到許多不確定因素的影響，不僅是本研究所選定的五個變數，且本研究在變數項目皆選擇單一且簡單的類別，在未來研究中可選擇較複雜的變數進行分析，如：複雜的排程派工方法、不同類別的存貨管理政策。

1. 本研究僅針對單一項產品進行再製造活動，目前企業皆以多樣少量的生產為目標，在未來研究中，可將多類別產品納入再製造生產流程。另外，將本研究系統模式改以程式設計，更能使生產者易於使用分析。
2. 本研究在探討整個再製造活動時並，未將廢棄物的最終處理做為影響系統分析的變因，在未來研究中可以加入廢棄物的最終處理機制，使得再製造生產活動的研究更完整。
3. 產品回收是影響再製造活動的變數之一，包括收集、運輸等方面的問題，整個產品回收的活動又可以稱為逆向運籌 (reverse logistics)。不確定的回收狀態，將影響到後續的存貨管理、產品拆解活動或是再製造的生產排程等問題。在未來值得進行的

研究方向，可結合再製造生產活動與逆向運籌活動進行相關的分析。

4. 產品拆解是再製造活動的第一步，其決定了再製造是否能夠有獲利的空間，在未來可被進行研究的方向，如：自動化的拆解，透過自動化拆解可以減少拆解時間且能提高產品再使用率，未來如果產品的再製造能夠達到經濟規模，自動化的拆解活動就更具可行性。

## 參考文獻

### 一、中文部分

1. 顏聖博與陳家豪(2005)，結合綠色設計和失效模式與影響分析(FMEA)方法於產品創新設計之研究，永續產性產品與產業管理研討會，台北科技大學，3月26日。
2. 吳贊鐸與林華宇(2005)，六標準差綠色設計即時決策管理系統，永續產性產品與產業管理研討會，台北科技大學，3月26日。

### 二、英文部分

1. Bayindir, Z. P., Erkip, N., & Gullu, R. (2003). A model to evaluate inventory costs in a remanufacturing environment, Int. J. Production Economics, 81-82, 597-607.
2. Brander, P., & Forsberg, R. (2005). Cyclic lot scheduling with sequence dependent setups: a heuristic for disassembly processes, Int. J. Prod. Res., 43(4), 295-310.
3. Bras, B., & McIntosh, M. W. (1999). Product, process, and organizational design for remanufacturing – an overview of research, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 15, 167-178.
4. Guide, Jr. V. D. R., Kraus, M. E., & Srivastava, R. (1997a). Scheduling policies for remanufacturing, Int. J. Production Economics, 48, 187-204.
5. Guide, Jr. V. D. R., & Spencer, M. S. (1997). Rough-cut capacity planning for remanufacturing firms, Production Planning & Control, 8(3), 237-244.
6. Guide, Jr., V. D. R., & Srivastava, R. (1997). An evaluation of order release strategies in a remanufacturing environment, Computer Ops. Res., 24(1), 37-47.

7. Guide, Jr. V. D. R., & Srivastava R. (1998). Inventory buffers in recoverable manufacturing, Journal of Operation Management, 16, 551-568.
8. Guide, Jr. V. D. R., Srivastava, R., & Kraus, M. E. (1997b). Product structure complexity and scheduling of operations in recoverable manufacturing, Int. J. Prod. Res., 35(4), 3179-3199.
9. Guide, Jr. V. D. R. (1997). Scheduling with priority dispatching and drum-buffer-rope in a recoverable manufacturing system, Int. J. Productions Economics, 53, 101-116.
10. Guide, Jr. V. D. R. (2000). Production planning and control for remanufacturing : Industry practice and research needs, Journal of Operation Management, 18, 467-483.
11. Guide, Jr. V. D. R. (1996). scheduling using drum-buffer-rope in a remanufacturing environment, Int. J. Prod. Res., 34(4), 1081-1091.
12. Guide, Jr. V. D. R., Jayaraman, V., & Srivastava, R. (1999). Production planning and control for remanufacturing: A state-of-the-art survey, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 15, 221-230.
13. Guide, Jr. V. D. R., Srivastava, R., & Spencer, M. S. (1997c). An evaluation of capacity planning techniques in a remanufacturing environment, Int. J. Prod. Res., 35(1), 67-82.
14. Gungor, A., & Gupta, S. M. (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey, Computers Ind. Eng. 36, 811-853.
15. Inderfurth, K., & Van der Lann, E. (2001). Lead time effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing, Int. J. Production Economics, 71, 381-390.
16. Kiesmeller, G. P. (2003). A new approach for controlling a hybrid stochastic manufacturing/remanufacturing system with inventories and different lead times, European Journal of Operation Research, 147, 62-71.
17. Kizilkaya, E., & Gupta S. M., (1998). Material flow control and scheduling in a disassembly environment, Computer Ind. Eng., 35(1-2), 93-96.
18. Mahadevan, B., Pyke, D. F., & Fleish, M. (2003). Periodic review, push inventory policies for remanufacturing, Journal of European Operation Research, 151, 536-551.
19. McGovern, S. M., & Gupta, S. M. (2003). Greedy Algorithm for Disassembly Line

- Scheduling,” IEEE International Conference, 2(5-8), 1737-1744.
20. Ruud, H. T., & Dimitrios, V. (2002). on the necessity of a disposal option for return item that can remanufacturing, Int. J. Production Economics, 75, 257-266.
21. Souza, G. C., & Ketzenberg, M. E. (2002). Tow stage make-to-order remanufacturing with service-level constraints, Int. J. Prod. Res., 40(2), 67-82.
22. Taleb, K. N., Gupta, S. M., & Bernnan L. (1997). Disassembly of complex product structures with parts and materials commonality, Production Planning & Control, 8(3), 255-269.
23. Taleb, K. N., & Gupta, S. M. (1997). Disassembly of multiple product structures, Computers Ind. Eng., 32(4), 949-961.
24. White, C. D., Eric, M., Christine, M. R., & Beckman, S. L. (2003). Product recovery with some byte : an overview of management challenges and environmental consequences in reverse manufacturing for the computer industry, Journal of Cleaner Production, 11, 445-458.

**2006 年 10 月 23 日收稿**

**2006 年 12 月 12 日初審**

**2007 年 03 月 08 日複審**

**2007 年 04 月 02 日接受**