

多產品種類逆向運籌系統之模擬研究

SIMULATION STUDY OF A REVERSE LOGISTICS SYSTEM WITH MULTIPLE PRODUCTS

呂博裕 封宜君

明新科技大學工程管理研究所

Bor-Yuh Leu I-Chun Feng

Graduate Institute of Engineering Management

Minghsin University of Science & Technology

摘要

本研究探討一個包括製造、再製造、與丟棄等作業的逆向運籌系統。客戶需求由可用品的庫存來滿足，可用品庫存擁有二種來源：再製造基本品與製造新產品。回收品會被放到基本品庫存，或是被丟棄。為了有效整合製造、再製造、與丟棄等作業，我們採用 PUSH 與 PULL 二種策略來做存貨控制。本研究提出一個研究架構，以探討存貨政策及各決策變數（包括：再製造與製造相關變數、訂單相關變數、成本相關變數）對多產品種類逆向運籌系統之影響程度，同時在不同的績效指標下，評估 PUSH 與 PULL 二種存貨政策之適用性。本研究所採用的績效指標包括：系統成本、服務水準、可用品存貨水準、與基本品存貨水準。本研究並以一個範例來示範所提出的研究架構。範例之分析結果顯示，不同產品種類間訂單數量之均一性對所有績效指標都有顯著的影響。此外，PUSH 或 PULL 政策之選擇必須根據主要的績效指標，若以可用品存貨水準為主要的績效指標，則建議採用 PULL 政策；若以服務水準或基本品存貨水準為主要的績效指標，則建議採用 PUSH 政策。

關鍵詞：逆向運籌系統、多產品種類、存貨政策、模擬

ABSTRACT

In this paper we consider a reverse logistics system with manufacturing, remanufacturing, and disposal operations. Customer demands must be fulfilled from serviceable stock which has two sources: the remanufacturing of base items or manufacturing of new items. Used items are either put into base item stock or disposed of. To coordinate manufacturing, remanufacturing, and disposal operations efficiently, the PUSH and PULL strategies are used for inventory control. This study proposes a research structure to evaluate the impact of inventory policies and decision variables (including remanufacturing and manufacturing related variables, order related variables, and cost related variables) on system performance in the reverse logistics system with multiple products. Of the two inventory policies, the preferences are investigated with respect to different performance indexes. The performance indexes chosen in this study include system cost, service level, serviceable item inventory, and base item inventory. An example is used to demonstrate the research structure. Based on the results of the example, order quantity homogeneity (OQH) has a major impact on system performance with respect to all performance indexes. Furthermore, the PULL policy is recommended if the inventory level of serviceable items is used as the major performance index. The PUSH policy is recommended if the service level or the inventory level of base items is used as the major performance index.

Key words : Reverse Logistics System, Multiple Products, Inventory Policy, Simulation

壹、前言

逆向運籌 (reverse logistics) 是一個嶄新的概念，它涉及產品在逆向通路的管理，亦即從消耗端一直到原始端，回收產品及其資訊之所有流動的管理流程。世界上許多公司在逆向運籌策略的實際發展，已使得它成為一項很有趣的探討主題。可預期地，未來幾年它將成為決定產品的設計、生產、與配銷的關鍵因素。在歐盟的法規中，已規範產品回收的重要性，在某些範圍，並將產品的最終處理責任賦予製造商。逆向運籌大約佔一個公司運籌總成本的 3~4%，藉著導入有效的逆向運籌系

統，公司可省下 10% 的年度運籌費用。Automotive Parts Rebuilders Association (APRA) 估計，利用回收品的再製造，全世界每年可生產 155,000 個火車車廂（大概是 1,100 哩長的火車），這是利用逆向運籌以節省成本的一個實例，在未來大部分的公司必須思索如何將逆向運籌納入他們的企業活動中（Hudson, 2004）。

本研究探討一個包括製造（manufacturing）、再製造（remanufacturing）、丟棄（disposal）、拆解與測試（separation and testing）等作業的“多產品種類”逆向運籌系統（reverse logistics system）。客戶需求由可用品（serviceable product）的庫存來滿足，可用品庫存擁有二種來源：製造新產品與再製造基本品。產品從市場回收之後，經過拆解與測試，符合特定品質要求的舊品會被放到“基本品（base item）庫存”，或是被丟棄。為了有效整合製造、再製造、與丟棄等作業，我們採用 PUSH 與 PULL 二種策略來做存貨控制，所採用的績效指標包括：系統成本、服務水準、可用品存貨水準、與基本品存貨水準。

針對上述之研究背景，本研究提出一個研究架構以探討下列問題：

- 一、存貨政策及各決策變數（包括：再製造與製造相關變數、訂單相關變數、成本相關變數）對“多產品種類”逆向運籌系統之績效有何影響？
- 二、據不同的績效指標，如何從 PUSH 與 PULL 政策中選擇較佳之存貨政策？

貳、文獻探討

一、逆向運籌之定義

雖然人們對逆向運籌（reverse logistics）之認知起源很早，不過要想精確的追溯這個名詞的來源可能會很困難。類似像“reverse channel”或“reverse flow”等名詞，在 1970 年代的一些科學文獻已經看得到（例如：Ginter & Starling, 1978），不過意思比較接近“recycling”。其他類似的名詞包括：reversed logistics、return logistics、retro logistics、reverse distribution 等，針對這些名詞不同的定義，常常造成學界或業界不同的認知。

最早對“逆向運籌”下定義之一的是美國 Council of Logistics Management (CLM)，其對“逆向運籌”的定義如下（Stock, 1992）：「在再生（recycling）、廢棄

物清理 (waste disposal)、有害物質管理 (management of hazardous materials) 上運籌所扮演的角色;從更廣義的角度來看,它包括與執行來源減量 (source reduction)、再生、替代 (substitution)、物料再利用 (reuse of materials)、清理等運籌活動 (activities) 相關的所有議題。」

在歐洲, European Working Group on Reverse Logistics 對“逆向運籌”的定義如下 (RevLog, 1998):「包括從製造、配銷或使用點、到回復點或適當處理點之原物料、在製品存貨、及製成品之流動的規劃、導入、與控制之整個流程 (process)。」

Roger and Tibben-Lembke (1998) 在他們所寫的 *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices* 書中,將美國 Council of Logistics Management 對“運籌” (logistics) 的定義加以改編,將“逆向運籌”定義如下:「包括從消耗端 (point of consumption) 一直到原始端之原物料、在製品存貨、製成品、及相關資訊之流動的規劃、導入、與控制之整個流程 (process), 目的是要所有逆向流動變得有效率、有效益, 以再取回價值或做適當的處理。」

Fleischmann (2001) 在他所寫的 *Quantitative Models for Reverse Logistics* 書中 (亦是他的博士論文), 修正 Roger and Tibben-Lembke (1998) 對“逆向運籌”的定義, 將“逆向運籌”定義如下:「包括逆向供應鏈之輸入端流動 (inbound flow)、替代品存貨 (storage of secondary goods) 及相關資訊的規劃、導入、與控制之整個流程 (process), 目的是要達到有效率、有效益, 以回復價值或做適當的處理。」

二、含製造與再製造之逆向運籌系統之相關文獻

產品回復也可以是有利潤的, 如果它的結果像新品 (as-good-as-new) 一樣的話, 這種類型的回復稱為再製造。本節針對含製造 (或採購) 與再製造之逆向運籌系統 (或稱產品回復系統) 的相關文獻加以討論, 且重點擺在“單一產品”之逆向運籌系統。

Van der Laan, Dekker, and Salomon (1996a) 及 Van der Laan, Dekker, Salomon, and Ridder (1996b) 針對單一產品之逆向運籌系統, 建構了動態時間馬克夫鏈 (continuous time Markov chain), 在最低總系統成本的目標函數下, 求解最佳的再製造、採購、與丟棄政策。他們採用了 PUSH 與 PUSH-丟棄 (s, Q) 存貨政策 (持續盤點政策), 並探討了回收率、再製造率、缺貨成本率、採購 (前置) 時間等對系統的影響。這二篇論文均考慮了隨機需求與回收 (呈指數分佈), 缺貨時允許遲

交，並假設再製造與採購時間均為常數。

Van der Laan and Salomon(1997)與 Van der Laan, Fleischmann, Dekker, and Van Wassenhove (1999a)亦是針對單一產品之逆向運籌系統進行研究，不同於 Van der Laan, Dekker, and Salomon (1996a)及 Van der Laan, Dekker, Salomon, and Ridder (1996b)，他們採用了 PUSH、PULL、PUSH-丟棄、PULL-丟棄等 (s, Q) 存貨政策 (持續盤點政策)，並針對產品生命週期之不同階段 (即導入、成長、成熟、下滑、終止等階段)，探討了各種存貨政策對系統的影響。

Inderfurth (1997)針對單一產品之逆向運籌系統，在最低總系統成本的目標函數下，使用 the maximum principle of Pontryagin 以尋找最佳的再製造、採購、與丟棄政策。他探討了有無回收品庫存、(再製造與採購) 前置時間對系統的影響，作者考慮了隨機需求與回收，缺貨時允許遲交，並假設再製造與採購時間均為常數。

Minner and Kleber (2001)與 Dobos (2003)針對單一產品之逆向運籌系統，在最低總系統成本的目標函數下，使用 the maximum principle of Pontryagin 以尋找最佳的再製造、製造、與丟棄政策。他們探討了有無起始存貨 (initial inventories)、再製造率、製造率、丟棄率等對系統的影響。這二篇論文均假設需求與回收均是已知的連續函數 (例如 $\sin(t)$ 函數) 缺貨時不允許遲交，且再製造與製造時間均為常數。

Richter and Weber(2001)針對單一產品之逆向運籌系統，提出了逆向 (reverse) Wager/Whitin 演算法 (algorithm)，在最低總系統成本的目標函數下，求解最佳的再製造、製造、與丟棄政策。他們將上述演算法應用到大量且低成本的产品範例，並探討了再製造轉換到製造的最佳時間點，作者假設需求與回收均為已知常數，製造與再製造成本是變動的，缺貨時不允許遲交。

Koh, Hwang, Sohn, and Ko (2002)針對單一產品之逆向運籌系統，提出了一簡單的搜尋程序 (search procedure)，在最低總系統成本的目標函數下，求解最佳的再製造與採購新品政策。他們採用了 EOQ (採購新品) 與 EPQ (再製造) 存貨政策，並探討了訂購成本、設置成本、持貨成本、需求率、與再製造率對系統的影響。作者假設需求與回收均為已知常數，缺貨時不允許遲交，沒有丟棄的機制，且再製造與採購時間均為常數。

Teunter and Vlachos (2002)針對單一產品之逆向運籌系統，採用模擬

(simulation) 在各種情境下進行分析，以得到較佳的再製造、製造、與丟棄政策。他們採用了 PULL 與 PULL-丟棄二種存貨政策(持續盤點政策)，並探討了需求率、回收率、與再製造獲利性(即單位製造成本 + 丟棄成本 - 再製造成本)對系統成本的影響。作者考慮了隨機需求與回收(呈常態與卜瓦松分佈)，缺貨時允許遲交，並假設再製造與製造時間均為常數。

Mahadevan, Pyke, and Fleischmann (2003) 針對單一產品之逆向運籌系統，提出了數個啟發式法則(heuristics)，在最低總系統成本的目標函數下，求解最佳的再製造與製造政策。他們採用了 PUSH 存貨政策(週期盤點政策)，並探討了回收率、缺貨成本、與(再製造與製造)前置時間對系統的影響。作者考慮了隨機需求與回收(呈指數分佈)，缺貨時允許遲交，沒有丟棄的機制，並假設再製造與製造時間均為常數。

針對含製造(或採購)與再製造之逆向運籌系統，有一些論文專門探討再製造與製造前置時間(lead time)對系統的影響，例如：Van der Laan, Salomon, and Dekker (1999b)；Inderfurth and Van der Laan (2001)；Kiesmuller (2003a)；Kiesmuller (2003b) 除此之外，也有幾篇論文專門探討計算逆向運籌系統之平均成本(average cost)或淨現值(net present value)的方法，例如：Teunter and Van der Laan (2002)；Van der Laan (2003)。

三、多產品種類逆向運籌系統之相關文獻

“多產品種類”之逆向運籌系統的作業比單一產品之逆向運籌系統更複雜，針對多產品種類之逆向運籌系統的相關文獻並不多，本節僅就相關文獻加以討論。

Inderfurth, de Kok, and Flapper (2001) 針對多產品種類之逆向運籌系統，建構了動態最佳化問題，以求解最佳的再製造與丟棄政策。主要的問題是一定批量的基本產品應該優先送到哪裡去再製造，尤其是當需求大於回收時。他們的模式只納入了再製造與丟棄，並未考慮新品製造，且未探討不同的存貨政策。作者的目標函數為最小化總成本(包含：製造成本、丟棄成本、缺貨成本、可用品持貨成本、回收品持貨成本)，而其決策變數為：不同時期各產品之再製造數量和不同時期之丟棄數量。

Kleber, Minner, and Kiesmuller (2002) 針對多產品種類之逆向運籌系統，建構了動態最佳化問題，以求解最佳的再製造、製造、與丟棄政策。主要的問題是當有

過剩的回收品時，究竟應該丟棄，或是留到後期再製造，這是因為他們考慮了季節性的需求與回收，但不允許延後交貨，且未探討不同的存貨政策。作者的目標函數為最小化總成本（包含：製造成本、再製造成本、丟棄成本、可用品持貨成本、回收品持貨成本），而其決策變數為：不同時期各產品之製造率、不同時期各產品之再製造率、以及不同時期之丟棄率。

四、文獻探討結論

從以上的文獻探討，我們可以發現針對“單一產品”之逆向運籌系統的研究相當豐富。但是，由於“多產品種類”之逆向運籌系統的作業比單一產品之逆向運籌系統更複雜，因此針對多產品種類之逆向運籌系統的研究，在文獻上並不多見，而僅有的研究並未探討不同的存貨政策（例如：PUSH 與 PULL 政策）對多產品種類逆向運籌系統的影響。因此，探討“存貨政策”及各決策變數（包括：再製造與製造相關變數、訂單相關變數、成本相關變數）對“多產品種類”逆向運籌系統之影響程度乃成為本研究之主要重點。

參、研究方法與架構

一、研究架構

本研究提出一個研究架構，如圖 1 所示，最中央的部份是所採用的多產品種類逆向運籌系統，環繞其四周的包括：基本假設、存貨政策、系統參數、決策變數、績效指標等部份。根據此研究架構，我們可以探討存貨政策及各決策變數（包括：再製造與製造相關變數、訂單相關變數、成本相關變數）對多產品種類逆向運籌系統之影響程度，同時在不同的績效指標下，評估 PUSH 與 PULL 二種存貨政策之適用性。

二、基本假設

本研究架構之基本假設如下：

- (一) 本系統之訂單需求大於等於回收（即回收率與需求率之比值小於等於 1），因此除了基本品再製造外，還需要新品製造。不過再製造所需成本比製造新品來

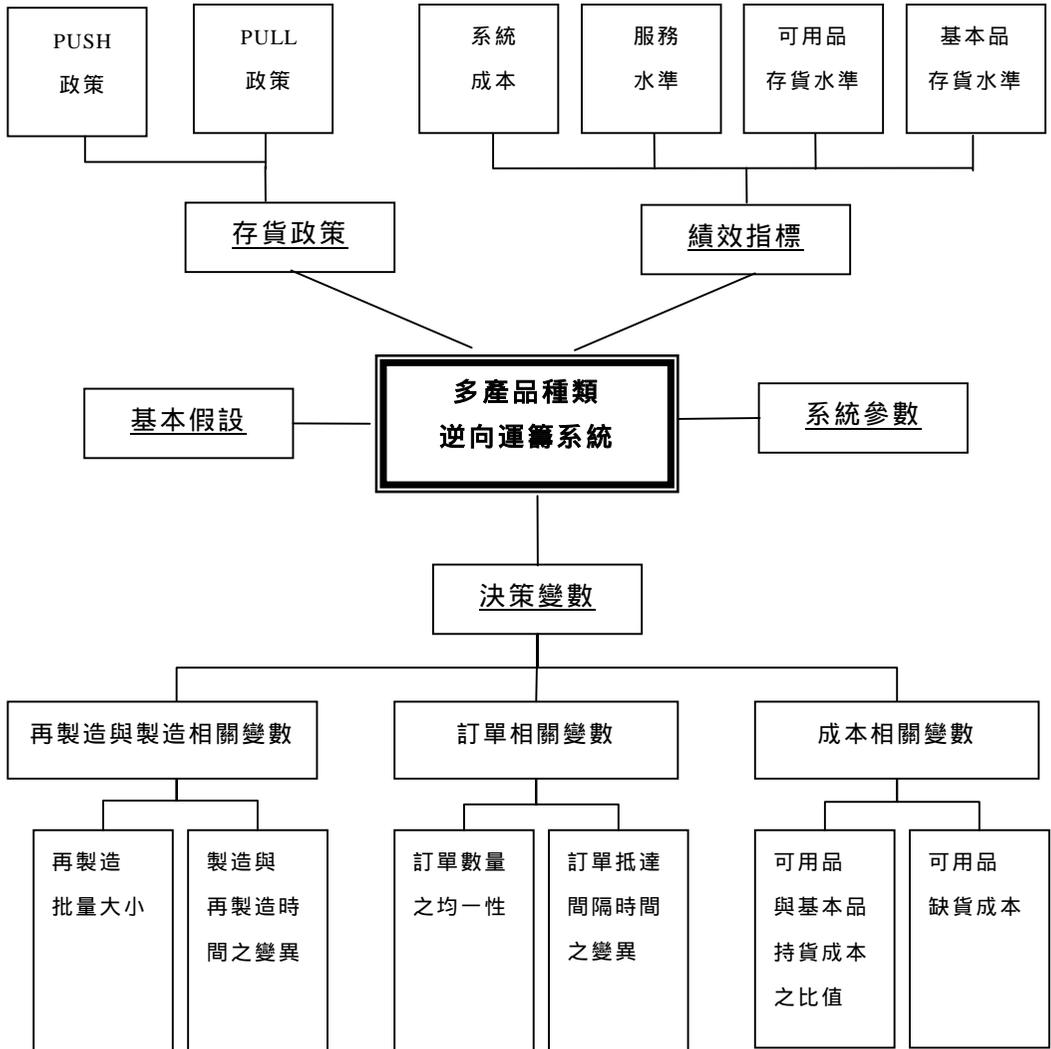


圖 1 研究架構圖

的低，因此再製造總是被優先考慮。

(二) 可用品持貨成本高於基本品持貨成本。

(三) 可用品庫存是採用存貨生產 (make to stock , MTS) 策略。

(四) 本研究旨在探討再製造與製造相關變數、訂單相關變數、成本相關變數 (合稱

為決策變數)對系統績效的影響，因此每個決策變數皆需設定若干個水準，其他參數(稱為系統參數)之值則假設為常數。

- (五) 產品回收間隔時間、客戶訂單抵達間隔時間、客戶訂單大小、再製造時間、製造時間等皆具不確定性，且呈常態分配。
- (六) 再製造與製造作業所需之原物料皆不虞匱乏。
- (七) 產能受限於再製造與製造時間，再製造與製造皆以批量的方式作業，再製造批量大於或等於製造批量，且不考慮機器故障。
- (八) 人員不是限制，亦即有足夠的操作人員。

三、多產品種類逆向運籌系統

產品回復 (product recovery) 也可以是有利潤的，如果它的結果像新品 (as-good-as-new) 一樣的話，這種類型的回復稱為“再製造”。現今，可以被再製造的產品包括：影印機、工具機、醫療儀器、汽車零件、電腦、辦公室家具、飛機、航空設備、電話設備、輪胎、工業用石英製品等 (Teunter & Vlachos, 2002)。

從存貨管制的角度來看，含製造與再製造之逆向運籌系統是很有趣的，因為它擁有二種來源以增加可用品 (serviceable item) 的庫存量：再製造與製造。同時因為需求通常大於回收，如果其生命週期尚未結束，則二種來源都會被使用，不過再製造所需成本通常比製造新品來的低，因此再製造總是被優先考慮。客戶需求是隨機抵達的，視產品種類由其對應之可用品的庫存來滿足。不同種類之產品從市場回收之後，經過拆解 (separation) 成基本品 (base item)，再經過測試 (testing)，符合特定品質要求的基本品會被放到“基本品庫存”中。

當要補充產品種類 n 之可用品的庫存量時，一特定批量的基本品會從基本品庫存移去再製造 (在 r_n)；如果基本品庫存量不足，則採用製造 (在 m_n) 新品的方式來補充產品種類 n 之可用品的庫存量。另外，當基本品庫存量 (或可用品庫存量) 達到一特定水準時，新抵達的回收品會被丟棄。本研究所採用的多產品種類逆向運籌系統之模式如圖 2 所示，基本上它是根據影印機 (copier) 的某一核心元件 (core component) (例如：感光元件、佈雷元件等) 之回收作業流程加以改編的，不同機型之影印機需要不同之核心元件，不過經過拆解後其基本品是相同的 (Kleber et al., 2002 ; Teunter & Vlachos, 2002 ; Xerox Corp., 2002)。

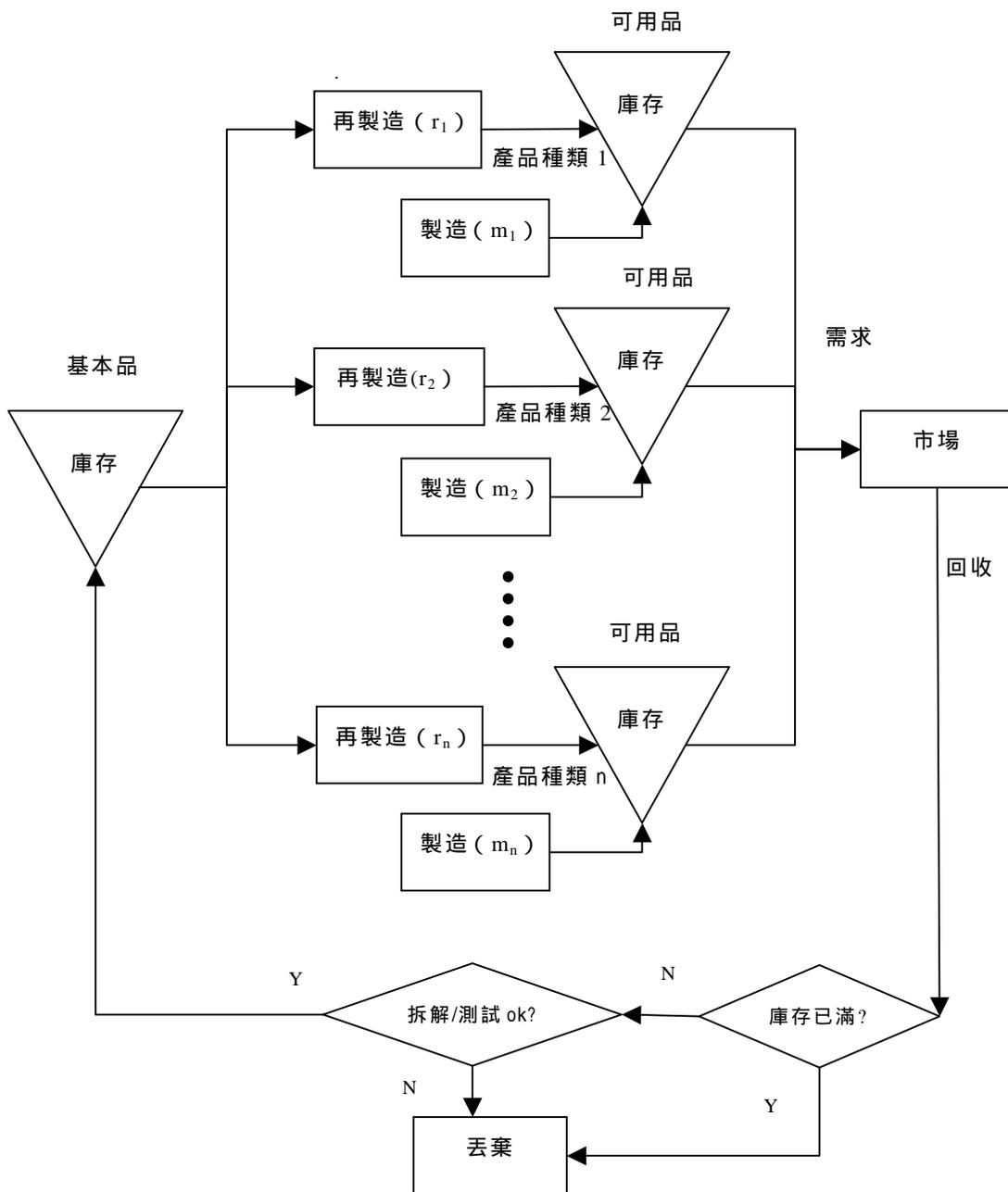


圖 2 本研究所採用多產品種類逆向運籌系統之模式

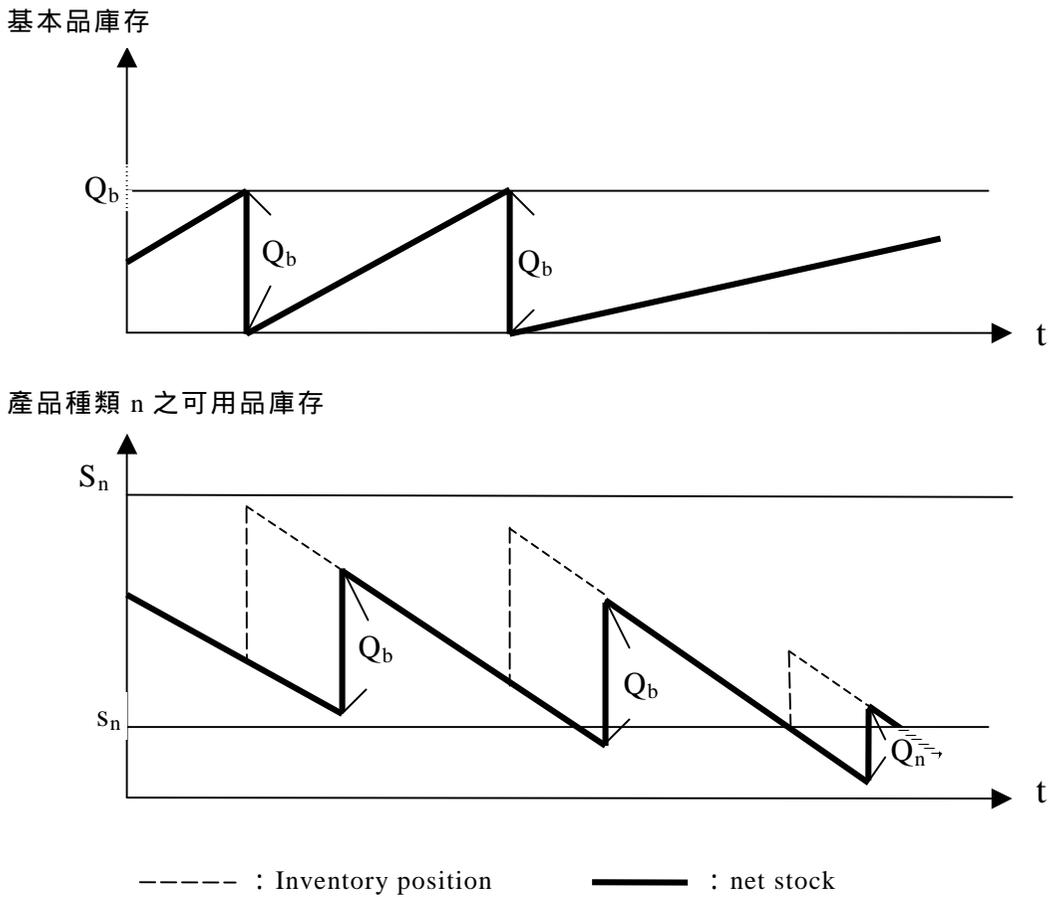


圖 3 PUSH 政策

四、存貨政策

在圖 2 多產品種類逆向運籌系統之模式中，本研究採用二種存貨政策（即 PUSH 政策與 PULL 政策）以控制基本品庫存（一個）與可用品庫存（ n 個）。這二種存貨政策如圖 3 與 4 所示，並說明如下：

- (一) (s_n, Q_b, Q_n, S_n) PUSH 政策 - 當基本品庫存量達到一特定水準 (Q_b) 時，則數量為 Q_b 的基本品會被送去 r_n 再製造，如果產品種類 n 之可用品庫存量最低的話。當產品種類 n 之可用品的庫存量低於再訂購點 (s_n) 時，系統會採用製造

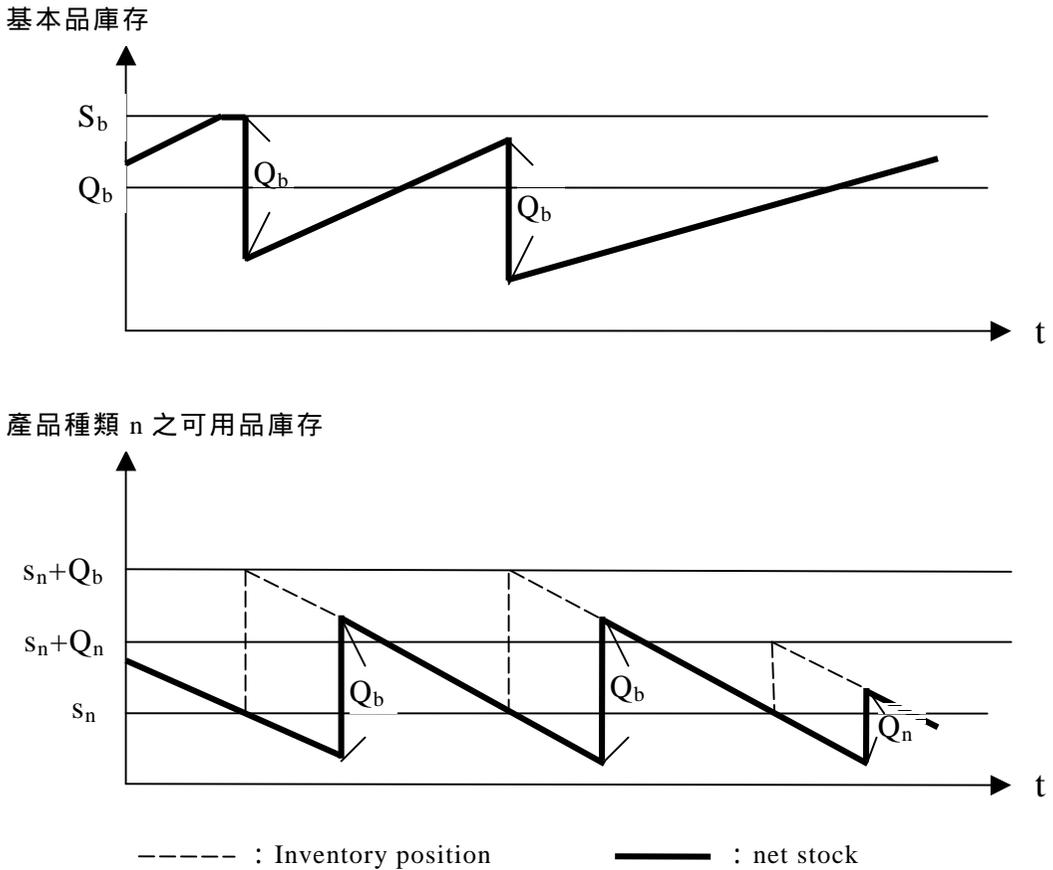


圖 4 PULL 政策

(在 m_n) 新品的方式，補充 Q_n 個到產品種類 n 之可用品庫存。不過，產品種類 n 之可用品的庫存量也有上限，如果所有產品種類之可用品的庫存量均達到其上限 (S_n)，且基本品庫存量達到 Q_b 時，新抵達的回收品會被丟棄。這種政策被稱為 PUSH 政策，因為基本品庫存量達到一特定水準時，就會立即被 pushed 到再製造流程。

(二) (s_n, Q_b, Q_n, S_b) PULL 政策 - 當產品種類 n 之可用品的庫存量低於再訂購點 (s_n) 時，系統會從基本品庫存提領一特定批量 (Q_b) 的基本品來再製造 (在 r_n)。如果基本品庫存量不足，則採用製造 (在 m_n) 新品的方式，補充 Q_n 個

表 1 系統參數一覽表

編號	系統參數
1	回收品回收間隔時間
2	回收品拆解 / 測試時間
3	回收品拆解 / 測試通過率
4	客戶訂單抵達間隔時間
5	客戶訂單大小
6	產品種類
7	不同產品種類訂單數量之比值
8	再製造批量大小 (Q_b)
9	(新) 製造批量大小 (Q_n)
10	再製造時間 (每一批量)
11	(新) 製造時間 (每一批量)
12	可用品庫存之再訂購點 (s_n)
13	可用品庫存量之上限 (PUSH 政策) (S_n) 或 基本品庫存量之上限 (PULL 政策) (S_b)
14	再製造成本
15	(新) 製造成本
16	基本品持貨成本
17	可用品持貨成本
18	基本品丟棄成本
19	可用品缺貨成本

到產品種類 n 之可用品庫存。不過，基本品的庫存量也有上限，當它達到上限 (S_b)，新抵達的回收品會被丟棄。這種政策被稱為 PULL 政策，因為只有在某一產品種類之可用品的庫存量低於再訂購點時，基本品庫存才會被 pulled 到再製造流程。

五、系統參數

根據圖 2 多產品種類逆向運籌系統之模式，我們必須設定下列之系統參數 (如表 1 所示)，以定義出整個模式之運作環境。

六、決策變數

在選擇決策變數方面，原則上對系統可能有影響的系統參數均要加以考慮，不過我們的焦點是擺在再製造與製造相關變數、訂單相關變數、與成本相關參數上，因此我們選擇了六個決策變數作為本研究的主軸。此外，每個決策變數都必須設定若干個水準，以瞭解在不同的水準該決策變數對逆向運籌系統是否有顯著的影響。本研究將探討的六個決策變數如下：

(一) 再製造與製造相關變數

1. 再製造批量大小 (remanufacturing batch size, RBS) —代表圖 2 多產品種類逆向運籌系統之模式中，再製造作業之批量大小。
2. 製造與再製造時間之變異 (manufacturing and remanufacturing time variation, MRTV) —代表製造作業時間與再製造作業時間之變異程度，本研究是以變異係數 (coefficient of variation, CV) 來代表變異程度，而變異係數為標準差與平均數之比值。

(二) 訂單相關變數

3. 訂單數量之均一性 (order quantity homogeneity, OQH) —代表不同產品種類訂單數量之比值，用以瞭解訂單數量均勻與不均勻對系統之影響。
4. 訂單抵達間隔時間之變異 (order interarrival time variation, OIV) —代表客戶訂單抵達間隔時間之變異程度，也是以變異係數來代表變異程度。

(三) 成本相關變數

5. 可用品與基本品持貨成本之比值 (serviceable item and base item holding cost ratio, SBHCR) —代表可用品持貨成本與基本品持貨成本之比值，根據基本假設，此比值應該大於 1。
6. 可用品缺貨成本 (backordering cost rate, BCR) —代表可用品庫存小於訂單大小時之懲罰成本。

七、績效指標

本研究採用了逆向運籌中，比較受重視的四項績效指標，其定義如下：

- (一) 系統成本 (system cost, SC) —代表在有效資料收集期間，系統的總成本除以總訂單數，用以表示一訂單所分擔的成本。總成本所包括的單項成本為：再製造成本、製造成本、基本品持貨成本、可用品持貨成本、回收品丟棄成本、與

可用品缺貨成本 (Teunter & Vlachos, 2002)。

- (二) 服務水準 (service level, SL) —代表在有效資料收集期間，可用品庫存能滿足需求 (即可以立即交貨) 之訂單數佔總訂單數的比率。
- (三) 可用品存貨水準 (WIP-serviceable item, SWIP) —代表在有效資料收集期間可用品庫存之存貨水準，可用品庫存擁有二種來源：再製造與製造。
- (四) 基本品存貨水準 (WIP-base item, BWIP) —代表在有效資料收集期間基本品庫存之存貨水準，基本品庫存之來源是回收之產品。

八、模擬模式

由於多產品種類逆向運籌系統作業流程之複雜性、隨機性、與動態性，必須採用“模擬”來創造一個測試環境 (Closs, Roath, Goldsby, Eckert, & Swartz, 1998)。因此，本研究採用模擬作為研究工具，更明確的說，我們採用模擬軟體 Extend Suite (Imagine That, Inc., 2002) 來建立模擬模式，Extend 在學界或業界之應用研究可參考 Imagine That, Inc.之網站 (Imagine That, Inc., 2005)。

根據上述之研究架構，本研究建立了二個模擬模式：採用 PUSH 政策之模擬模式與採用 PULL 政策之模擬模式。為了便利模式之建立與測試，每個模擬模式皆分成四個模組，這些模組的作業流程說明如下：

- (一) 產品回收處理 (returned item processing) 模組—不同種類之產品從市場回收之後，經過拆解成基本品，再經過測試，符合特定品質要求的基本品會被放到“基本品庫存”中。如果採用PULL政策，當基本品庫存量達到一特定水準時，新抵達的回收品會被丟棄；如果採用PUSH政策，當可用品庫存量達到一特定水準時，新抵達的回收品會被丟棄。
- (二) 客戶訂單處理 (order processing) 模組—客戶需求是隨機抵達的，訂單大小具不確定性，視產品種類由其對應之可用品的庫存來滿足，可用品庫存是採用存貨生產 (make to stock, MTS) 策略，缺貨時允許遲交，但需加上缺貨成本。
- (三) 再製造流程 (remanufacturing process) 模組—如果採用PUSH政策，當基本品庫存量達到一特定水準 (Q_b) 時，則數量為 Q_b 的基本品會被送去再製造，如果產品種類 n 之可用品庫存量最低的話；如果採用PULL政策，當產品種類 n 之可用品的庫存量低於再訂購點(s_n)時，系統會從基本品庫存提領一特定批量(Q_b)

的基本品來再製造。

- (四) (新品) 製造流程 (manufacturing process) 模組—如果採用PUSH政策, 當產品種類 n 之可用品的庫存量低於再訂購點(s_n)時, 系統會採用製造新品的方式, 補充 Q_n 個到產品種類 n 之可用品庫存; 如果採用PULL政策, 如果基本品庫存量不足, 則採用製造新品的方式, 補充 Q_n 個到產品種類 n 之可用品庫存。

肆、範例分析

一、範例說明

此範例是以“感光元件”為例, 它是三種不同機型之影印機的核心元件。亦即回收之感光元件先經過拆解變成基本品(只有一種), 然後經過改編以適合三種不同機型之影印機。本範例是參考含製造(或採購)與再製造之逆向運籌系統的相關文獻、以及影印機相關業者之資料, 以設定系統參數之數值與決策變數之水準。

二、系統參數之設定

首先, 根據表 1 來設定各系統參數之數值, 如表 2 所示。其中, 產品回收間隔時間、客戶訂單抵達間隔時間、客戶訂單大小、再製造時間、製造時間等皆呈常態分配(詳基本假設)。而且產品回收間隔時間、客戶訂單抵達間隔時間之值必須大於 0, 至於客戶訂單大小、再製造時間、製造時間之值必須大於等於 $\mu - (\sigma/2)$ (μ 代表平均數、 σ 代表標準差), 這是因為這三個參數都有最低要求值。另外, 要注意的是, 有些系統參數之值依決策變數之水準而定。

三、決策變數之設定

在此範例中, 每一個決策變數均選擇二個水準, 如表 3 所示。至於選擇水準之原則, 是要讓二個水準所導致的績效指標(一個或多個)可以有顯著的差異, 這需要經過一連串的測試(pilot runs)。其中, “再製造批量大小”之二個水準設定為 50(代表小批量)與 150(代表大批量)。“製造與再製造時間之變異”與“訂單抵達間隔時間之變異”皆是以變異係數(coefficient of variation, CV)來表示, 且其水準皆設定為 0.3(代表小變異)與 1.5(代表大變異)。“訂單數量之均一性”之二個水準

表 2 系統參數之數值設定

編號	系統參數	數值
1	回收品回收間隔時間 (每次回收一個產品)	Normal (2,0.6) 分鐘，其值>0
2	回收品拆解 / 測試時間	5 分鐘
3	回收品拆解 / 測試通過率	99%
4	客戶訂單抵達間隔時間	Normal (60, σ) 分鐘，其值>0，其中 σ (18 或 90) 依決策變數 OIV 之水準而 定
5	客戶訂單大小	Normal (30,9) 個，其值 $\geq 30 - (9/2)$ ， 且為整數
6	產品種類	3
7	不同產品種類訂單數量之比值	1:1:1 或 8:1:1 依決策變數 OQH 之水準 而定
8	再製造批量大小 (Q_b)	50 或 150 個依決策變數 RBS 之水準而 定
9	(新) 製造批量大小 (Q_n)	50 個
10	再製造時間 (每一批量)	Normal (μ, σ) 分鐘，其值 $\geq \mu - (\sigma/2)$ ， 其中 μ (50 或 150) 依決策變數 RBS 之水準而定， σ (15、45 或 75、225) 依決策變數 MRTV 之水準而定
11	(新) 製造時間 (每一批量)	Normal (50, σ) 分鐘，其值 $\geq 50 - (\sigma/2)$ ， 其中 σ (15 或 75) 依決策變數 MRTV 之水準而定
12	可用品庫存之再訂購點 (s_n)	30 個
13	可用品庫存量之上限 (PUSH 政策) (S_n) 或 基本品庫存量之上限 (PULL 政策) (S_b)	300 個
14	再製造成本	\$10/分鐘
15	(新) 製造成本	\$15/分鐘
16	基本品持貨成本	\$0.01/ (個、分鐘)
17	可用品持貨成本	\$0.015/ (個、分鐘) 或 \$0.040/ (個、 分鐘) 依決策變數 SBHCR 之水準而定
18	基本品丟棄成本	\$10/個
19	可用品缺貨成本	\$5/ (訂單、分鐘) 或 \$25/ (訂單、分 鐘) 依決策變數 BCR 之水準而定

表 3 決策變數之水準設定

編號	決策變數 (符號)	水準
1	再製造批量大小 (單位: 個) (RBS)	Level 1-50
		Level 2-150
2	製造與再製造時間之變異 (MRTV)	Level 1-CV=0.3
		Level 2-CV=1.5
3	訂單數量之均一性 (OQH)	Level 1-1:1:1
		Level 2-8:1:1
4	訂單抵達間隔時間之變異 (OIV)	Level 1-CV=0.3
		Level 2-CV=1.5
5	可用品與基本品持貨成本之比值 (SBHCR)	Level 1-1.5
		Level 2-4.0
6	可用品缺貨成本 (單位: \$/個/分鐘) (BCR)	Level 1-5
		Level 2-25

設定為 1:1:1 (代表不同產品種類間之訂單數量很均勻) 與 8:1:1 (代表不同產品種類間之訂單數量不均勻)。“可用品持貨成本與基本品持貨成本之比值”之二個水準皆大於 1, 這是基於基本假設: 可用品持貨成本高於基本品持貨成本。“可用品缺貨成本”代表可用品庫存小於訂單大小時之懲罰成本, 其二個水準分別表示低與高缺貨懲罰成本。

四、實驗設計與模擬相關議題

為了深入探討存貨政策及各決策變數對逆向運籌系統的影響, 本研究採用全因子實驗設計 (full factorial design) 的方法。由於有六個決策變數 (即 RBS、MRTV、OQH、OIV、SBHCR、BCR), 加上存貨政策 (IP), 共計七因子, 皆各有二個水準, 因此本研究總共有 128 (即 2^7) 個實驗或系統架構 (experiments or system configurations)。

本研究採用模擬為研究工具, 因此必須考慮下列與模擬相關的議題:

(一) 穩態系統或終止系統 (steady state system or terminating system) — 首先要決定的是, 到底所研究的系統是屬於穩態系統或終止系統? 由於大多數的製造系統

是屬於穩態系統，且本研究所建立模擬模式經過多次的測試，確認本研究所採用的逆向運籌系統應該屬於穩態系統。本研究所設定的模擬長度為 172800 分鐘，暖機期間為 28800 分鐘，扣掉暖機期間之資料，在有效資料收集期間（144000 分鐘）約可完成 2394 個訂單。

- (二) 模擬次數之計算—由於模擬模式的不確定特性 (stochastic nature)，模擬每執行 (run) 一次只代表一個樣本，為了得到精確的結果，每一實驗均需執行若干次，且每一次代表不同的亂數。本研究採用 Law and Kelton (2000) 所敘述的程序 (第 9 章第 4 節)，來計算每一實驗所需執行的次數。計算結果所需執行的次數為“15 次”，這是基於 0.05 的顯著水準 (significance level) 且相對誤差設定為 0.005。
- (三) 模擬模式之驗證—模擬模式之驗證應該起始於模式建構流程的規劃階段，事實上，模式之建構與驗證通常會形成一動態的迴路。本研究採用下列方法來驗證模擬模式：文件紀錄、模組化模式之建立與測試、動畫模擬 (animation)、追蹤 (traces)、敏感性分析、確定性或簡化模式之測試 (deterministic or simplified model testing) 等 (Law & Kelton, 2000)。以確定性或簡化模式之測試為例，我們將 Extend 模式加以簡化，譬如將系統參數中之客戶訂單大小設為 1、再製造與製造批量設為 1、並去掉所有的不確定性，模擬長度設定為 1000 分鐘，暖機期間為 0 分鐘，測試結果不論是 PUSH 或 PULL 政策，在有效資料收集期間所完成之訂單數量與預期的數量皆相同，證明 Extend 模式之正確性。

五、模擬結果及分析

圖 5.1 到圖 8 分別顯示在各個績效指標下多產品種類逆向運籌系統之表現。此外，根據模擬結果進行變異數分析 (analysis of variance, ANOVA)，以瞭解哪些因子會顯著影響多產品種類逆向運籌系統的績效，結果如表 4 所示 (針對每一績效指標)。由於兩因子 (含) 以上之交互作用對系統績效的影響較小，因此本研究偏重在單因子之探討。

茲以每一績效指標為基礎，來探討存貨政策及各決策變數對多產品種類逆向運籌系統之影響：

(一) 系統成本 (SC)

由表 4 變異數分析結果，可得知存貨政策 (IP) 對系統成本沒有顯著的影響。

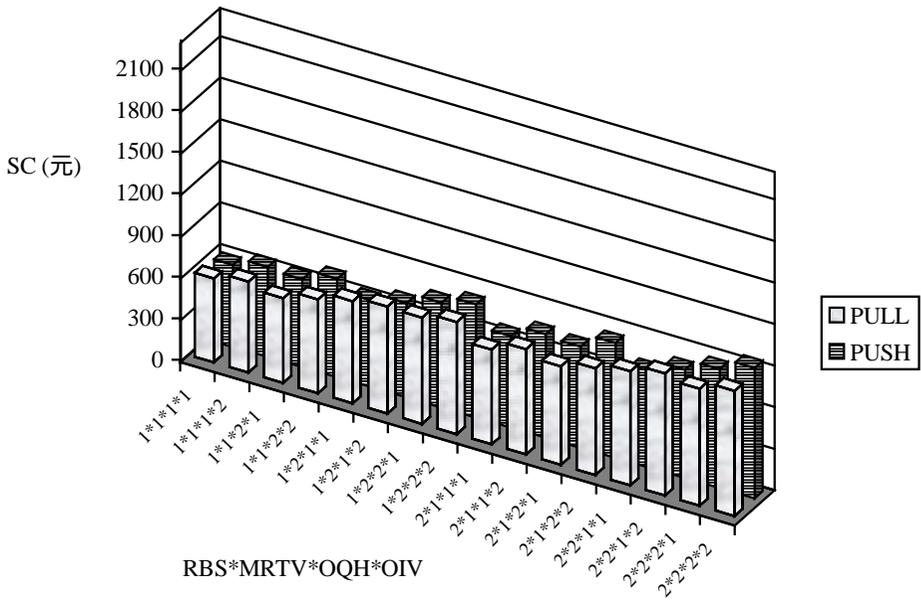


圖 5.1 系統成本 (SC)(當 SBHCR=L1、BCR=L1 時)

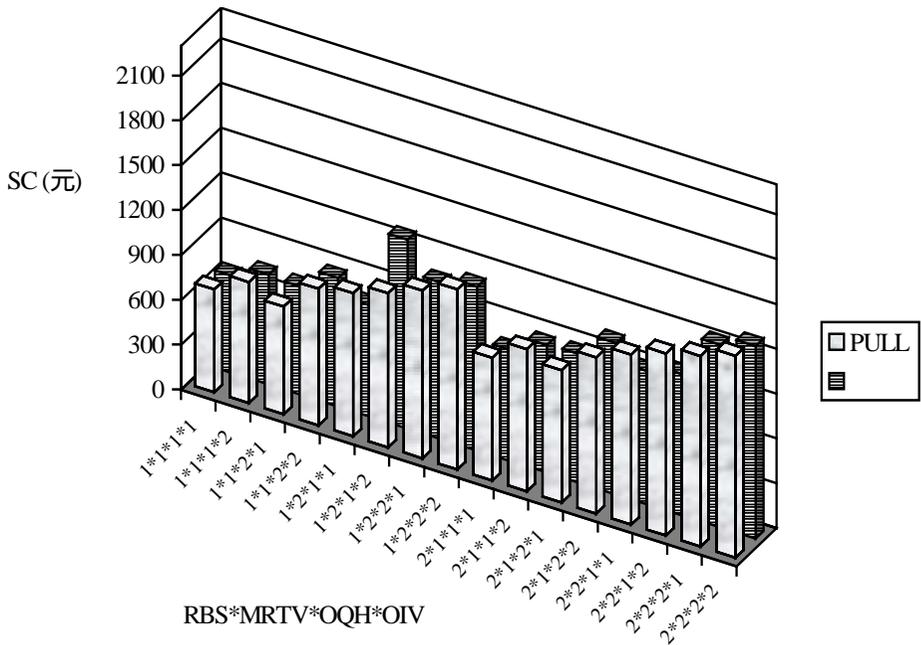


圖 5.2 系統成本 (SC)(當 SBHCR=L1、BCR=L2 時)

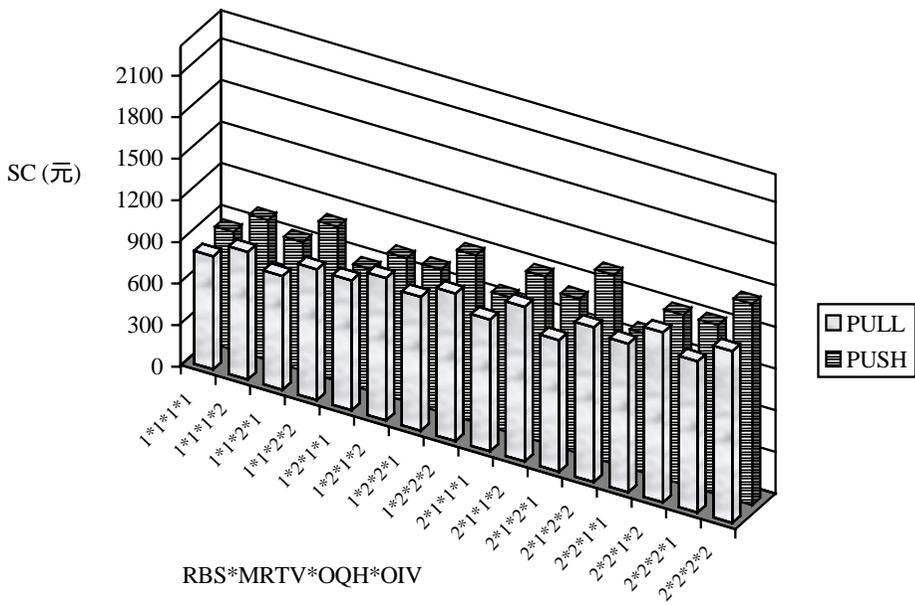


圖 5.3 系統成本 (SC)(當 SBHCR=L2、BCR=L1 時)

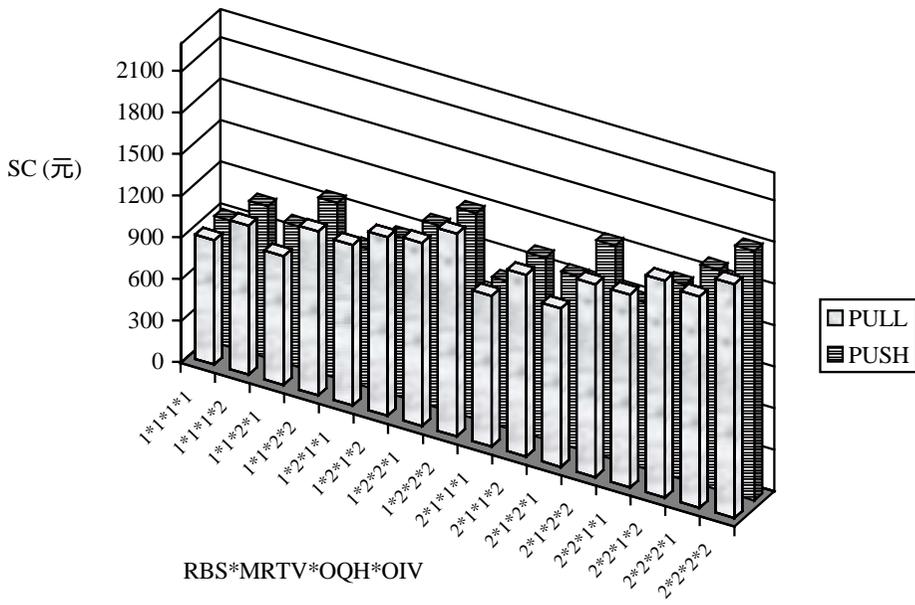


圖 5.4 系統成本 (SC)(當 SBHCR=L2、BCR=L2 時)

表 4 變異數分析結果

(1) 系統成本 (SC)

SV	D	SS	MS	F value	p-value
IP	1	46	46	0.02	0.884
RBS	1	771127	771127	356.81	0.000*
MRTV	1	1044193	1044193	483.16	0.000*
OQH	1	440508	440508	203.83	0.000*
OIV	1	637179	637179	294.83	0.000*
SBHCR	1	3066836	3066836	1419.05	0.000*
BCR	1	1608097	1608097	744.08	0.000*

(2) 服務水準 (SL)

SV	D	SS	MS	F value	p-value
IP	1	0.090525	0.090525	1438.52	0.000*
RBS	1	0.011026	0.011026	175.21	0.000*
MRTV	1	0.057291	0.057291	910.4	0.000*
OQH	1	0.203203	0.203203	3229.07	0.000*
OIV	1	0.00726	0.00726	115.37	0.000*
SBHCR	1	0	0	0	1.000
BCR	1	0	0	0	1.000

(3) 可用品存貨水準 (SWIP)

SV	D	SS	MS	F value	p-value
IP	1	12418.88	12418.88	6741.43	0.000*
RBS	1	7601.45	7601.45	4126.35	0.000*
MRTV	1	210.12	210.12	114.06	0.000*
OQH	1	544.5	544.5	295.58	0.000*
OIV	1	1540.12	1540.12	836.04	0.000*
SBHCR	1	0	0	0	1.000
BCR	1	0	0	0	1.000

(4) 基本品存貨水準 (BWIP)

SV	D	SS	MS	F value	p-value
IP	1	6595.3	6595.3	2.5E+0.4	0.000*
RBS	1	82357.1	82357.1	3.1E+0.5	0.000*

續下表

續表 4

SV	D	SS	MS	F value	p-value
MRTV	1	49.5	49.5	188.2	0.000*
OQH	1	14.9	14.9	56.46	0.000*
OIV	1	542.9	542.9	2063.84	0.000*
SBHCR	1	0	0	0	1.000
BCR	1	0	0	0	1.000

* 代表在 0.05 的顯著水準下，其影響在統計上為顯著。

至於六個決策變數（即再製造批量大小、製造與再製造時間之變異、訂單數量之均一性、訂單抵達間隔時間之變異、製造成本與再製造成本之比值、可用品缺貨成本）對系統成本都有顯著的影響。

在「再製造批量大小」(RBS)方面，由圖 5.1 到圖 5.4 可得知，RBS 在小批量比大批量有較佳（低）的系統成本。這是因為 RBS 在大批量時，再製造批量為製造批量的 3 倍，為了達到批量要求，可用品存貨水準和基本品存貨水準會提高，此舉會增加持貨成本，造成較差（高）的系統成本。

在「製造與再製造時間之變異」(MRTV)方面，MRTV 在低變異比高變異有較佳（低）的系統成本。這是因為 MRTV 在高變異時，會使得製造與再製造時間變的不穩定，導致較低的服務水準，此舉會增加製造成本、再製造成本、與可用品缺貨成本，因此系統成本也會跟著增加。

在「訂單數量之均一性」(OQH)方面，OQH 在均勻比不均勻有較佳（低）的系統成本。這是因為 OQH 在不均勻時，不同產品種類之需求數量不均勻，為了滿足較高需求數量之產品種類，較可能發生製造成本增長和缺貨的情形，因此系統成本也會跟著增加。

在「訂單抵達間隔時間之變異」(OIV)方面，OIV 在低變異比高變異有較佳（低）的系統成本。這是因為 OIV 在高變異時，客戶訂單抵達較不平均，當訂單密集抵達的情況下，比較可能發生缺貨，因此系統成本也會跟著增加。

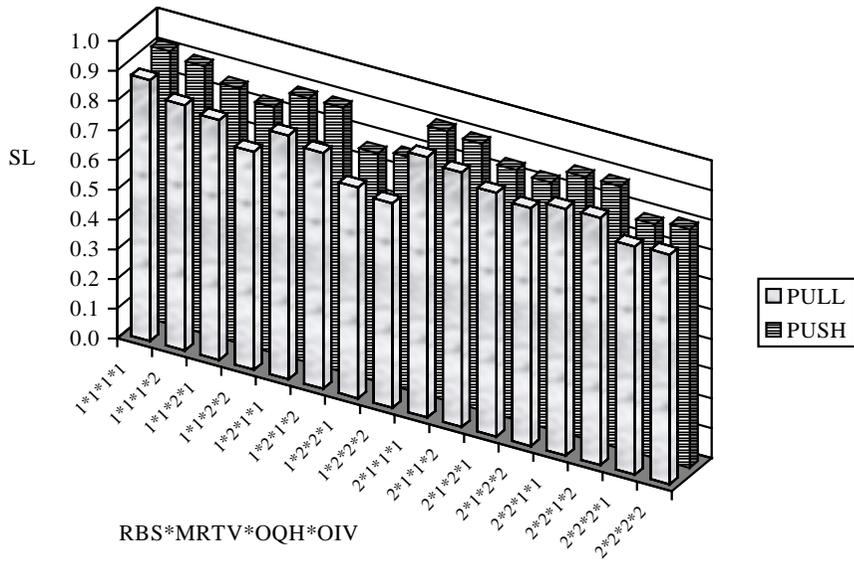


圖 6 服務水準 (SL)

至於屬於“成本相關變數”之二個變數（即製造成本與再製造成本之比值、可用品缺貨成本），在低的水準（Level 1）皆比高的水準（Level 2）有較佳（低）的系統成本，這是因為這二個變數在高的水準時，會加重各單項成本，因此系統成本也會跟著增加。

(二) 服務水準 (SL)

由表 4 變異數分析結果，可得知存貨政策 (IP) 的 p 值遠小於 0.05，表示它對服務水準有顯著的影響；屬於“再製造與製造相關變數”（即再製造批量大小、製造與再製造時間之變異）與“訂單相關變數”（即訂單數量之均一性、訂單抵達間隔時間之變異）之四個變數對服務水準也都有顯著的影響。至於屬於“成本相關變數”（即製造成本與再製造成本之比值、可用品缺貨成本）之二個變數對服務水準並沒有顯著的影響，這是因為改變成本相關變數之值，根本不會影響服務水準。

在「存貨政策」(IP) 方面，由圖 6 可得知，在所有（六個）決策變數任一組合情況下，PUSH 政策皆比 PULL 政策有較佳（高）的服務水準。這是因為在 PUSH 政策下，當基本品的庫存量達到一特定水準 (Qb) 時，則數量為 Qb 的基本品會立

即被送去再製造，因此可用品存貨水準（SWIP）會比較高，其服務水準自然就比較高。所以，若以“服務水準”為主要的績效指標，則“PUSH 政策”是比較好的選擇。

在「再製造批量大小」(RBS)方面，可分成二個情況。當採用 PULL 政策時，RBS 在大批量比小批量有較佳（高）的服務水準，這是因為 RBS 在大批量時，再製造批量為製造批量的 3 倍，為了達到批量要求，可用品存貨水準和基本品存貨水準會提高，因此會造成較佳（高）的服務水準。當採用 PUSH 政策時，RBS 對服務水準並沒有顯著的影響。

在「製造與再製造時間之變異」(MRTV)方面，MRTV 在低變異比高變異有較佳（高）的服務水準。這是因為 MRTV 在高變異時，會使得製造與再製造時間變的不穩定，而當製造與再製造時間增長的時候，會來不及補貨，而導致較差（低）的服務水準。

在「訂單數量之均一性」(OQH)方面，OQH 在均勻比不均勻有較佳（高）的服務水準。這是因為 OQH 在不均勻時，不同產品種類之需求數量不均勻，為了滿足較高需求數量之產品種類，較可能發生製造成本增長和缺貨的情形，而導致較差（低）的服務水準。

在「訂單抵達間隔時間之變異」(OIV)方面，OIV 在低變異比高變異有較佳（高）的服務水準。這是因為 OIV 在高變異時，客戶訂單抵達較不平均，當訂單密集抵達的情況下，比較可能發生缺貨，而導致較差（低）的服務水準。

(三) 可用品存貨水準 (SWIP)

由表 4 變異數分析結果，可得知存貨政策 (IP) 的 p 值遠小於 0.05，表示它對可用品存貨水準有顯著的影響；屬於“再製造與製造相關變數”（即再製造批量大小、製造與再製造時間之變異）與“訂單相關變數”（即訂單數量之均一性、訂單抵達間隔時間之變異）之四個變數對可用品存貨水準也都有顯著的影響。至於屬於“成本相關變數”（即製造成本與再製造成本之比值、可用品缺貨成本）之二個變數對可用品存貨水準並沒有顯著的影響，這是因為改變成本相關變數之值，根本不會影響可用品存貨水準。

在「存貨政策」(IP)方面，由圖 7 可得知，在所有（六個）決策變數任一組合情況下，PULL 政策皆比 PUSH 政策有較佳（低）的可用品存貨水準。這是因為

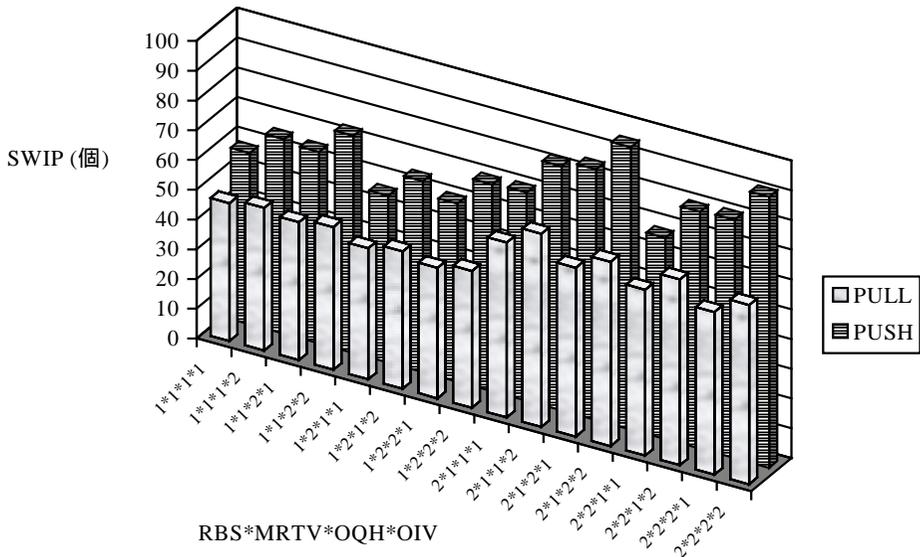


圖 7 可用品存貨水準 (SWIP)

在 PULL 政策下，只有當可用品的庫存量低於再訂購點 (sn) 時，才會要求補貨，因此其可用品存貨水準自然就比較低。所以，若以“可用品存貨水準”為主要的績效指標，則“PULL 政策”是比較好的選擇。

在「再製造批量大小」(RBS) 方面，RBS 在小批量比大批量有較佳 (低) 的可用品存貨水準。這是因為 RBS 在大批量時，再製造批量為製造批量的 3 倍，為了達到批量要求，可用品存貨水準和基本品存貨水準會提高，造成較差 (高) 的可用品存貨水準。

在「製造與再製造時間之變異」(MRTV) 方面，MRTV 在高變異比低變異有較佳 (低) 的可用品存貨水準。這是因為 MRTV 在高變異時，會使得製造與再製造時間變的不穩定，而當製造與再製造時間增長的時候，會來不及補貨，因而降低可用品存貨水準。

在「訂單數量之均一性」(OQH) 方面，可分成二個情況。當採用 PUSH 政策時，OQH 在均勻比不均勻有較佳 (低) 的可用品存貨水準。當採用 PULL 政策時，OQH 在不均勻比均勻有較佳 (低) 的可用品存貨水準。

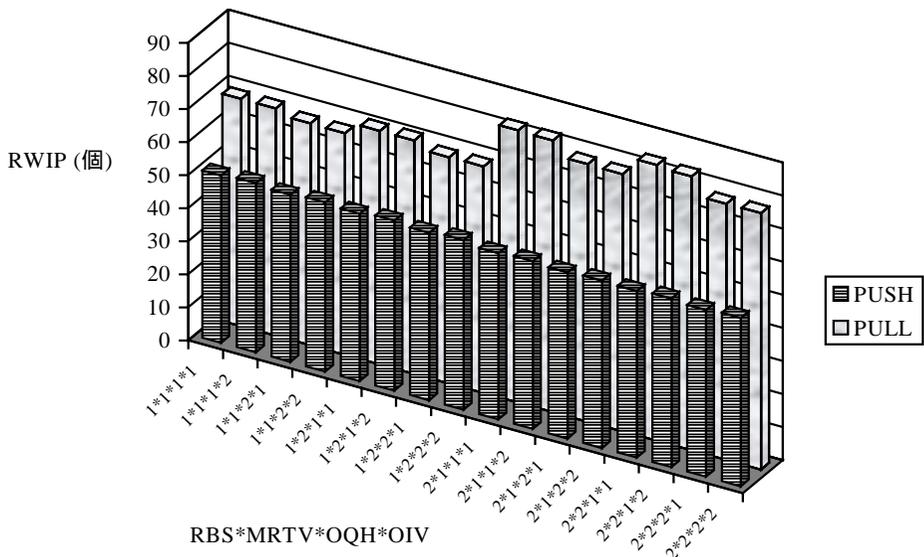


圖 8 基本品存貨水準 (BWIP)

在「訂單抵達間隔時間之變異」(OIV)方面，OIV 在低變異比高變異有較佳(低)的可用品存貨水準。這是因為 OIV 在高變異時，訂單抵達會錯開，但平均來算，會得到較差(高)的可用品存貨水準。

(四) 基本品存貨水準 (BWIP)

由表 4 變異數分析結果，可得知存貨政策 (IP) 的 p 值遠小於 0.05，表示它對基本品存貨水準有顯著的影響；屬於“再製造與製造相關變數”(即再製造批量大小、製造與再製造時間之變異)與“訂單相關變數”(即訂單數量之均一性、訂單抵達間隔時間之變異)之四個變數對基本品存貨水準也都有顯著的影響。至於屬於“成本相關變數”(即製造成本與再製造成本之比值、可用品缺貨成本)之二個變數對基本品存貨水準並沒有顯著的影響，這是因為改變成本相關變數之值，根本不會影響基本品存貨水準。

在「存貨政策」(IP)方面，由圖 8 可得知，在所有(六個)決策變數任一組合情況下，PUSH 政策皆比 PULL 政策有較佳(低)的基本品存貨水準。這是因為在 PUSH 政策下，當基本品的庫存量達到一特定水準 (Qb) 時，則數量為 Qb 的基

本品會立即被送去再製造，因此其基本品存貨水準自然就比較低。所以，若以“基本品存貨水準”為主要的績效指標，則“PUSH 政策”是比較好的選擇。

在「再製造批量大小」(RBS)方面，RBS 在小批量比大批量有較佳(低)的基本品存貨水準。這是因為 RBS 在大批量時，再製造批量為製造批量的 3 倍，為了達到批量要求，可用品存貨水準和基本品存貨水準會提高，造成較差(高)的基本品存貨水準。

在「製造與再製造時間之變異」(MRTV)方面，可分成二個情況。當採用 PUSH 政策時，MRTV 在低變異比高變異有較佳(低)的基本品存貨水準。當採用 PULL 政策時，MRTV 對基本品存貨水準並沒有顯著的影響。

在「訂單數量之均一性」(OQH)方面，可分成二個情況。當採用 PUSH 政策時，OQH 在均勻比不均勻有較佳(低)的基本品存貨水準。當採用 PULL 政策時，OQH 在不均勻比均勻有較佳(低)的基本品存貨水準。此結論與績效指標為“可用品存貨水準(SWIP)”時相同，亦即不論是針對“基本品存貨水準(BWIP)”或“可用品存貨水準(SWIP)”，當採用 PUSH 政策時，OQH 在均勻時有較低的存貨水準；當採用 PULL 政策時，OQH 在不均勻時有較低的存貨水準。

在「訂單抵達間隔時間之變異」(OIV)方面，可分成二個情況。當採用 PULL 政策時，OIV 在低變異比高變異有較佳(低)的基本品存貨水準，這是因為 OIV 在高變異時，訂單抵達會錯開，但平均來算，會得到較高的可用品存貨水準，因此基本品存貨水準也就比較高。當採用 PUSH 政策時，OIV 在高變異比低變異有較佳(低)的基本品存貨水準。

伍、結論

本研究探討一個包括製造、再製造、丟棄、清潔與檢查等作業的多產品種類逆向運籌系統。客戶需求由可用品的庫存來滿足，可用品庫存擁有二種來源：製造新產品與再製造基本品。產品從市場回收之後，經過清潔與檢查，然後會被放到基本品庫存，或是被丟棄。為了有效整合製造、再製造、與丟棄等作業，我們採用 PULL 與 PUSH 二種策略來做存貨控制。

表 5 存貨政策及決策變數對各績效指標之影響程度

存貨政策、 決策變數	績效指標			
	系統成本 (SC)	服務水準 (SL)	可用品存貨水準 (SWIP)	回收品存貨水準 (RWIP)
IP		*	*	*
RBS	*	*	*	*
MRTV	*	*	*	*
OQH	*	*	*	*
OIV	*	*	*	*
SRHCR	*			
BCR	*			

* 代表在 0.05 的顯著水準下，其影響在統計上為顯著。

IP 代表“存貨政策”、RBS 代表“再製造批量大小”、MRTV 代表“製造與再製造時間之變異”、OQH 代表“訂單數量之均一性”、OIV 代表“訂單抵達間隔時間之變異”、SBHCR 代表“可用品與基本品持貨成本之比值”、BCR 代表“可用品缺貨成本”。

本研究提出一個研究架構，根據此研究架構，我們可以探討存貨政策及各決策變數對多產品種類逆向運籌系統之影響程度，同時在不同的績效指標下，評估 PUSH 與 PULL 二種存貨政策之適用性。

為了示範所提出的研究架構，本研究以一個範例來做說明，根據該範例之結果及分析，針對存貨政策及決策變數對各績效指標之影響程度，可以獲致以下之結論（如表 5 所示）：

- 一、存貨政策（IP）對服務水準、可用品存貨水準、與基本品存貨水準三種績效指標都有顯著的影響，但並不影響系統成本。
- 二、屬於“再製造與製造相關變數”之二個變數，再製造批量大小（RBS）與製造與再製造時間之變異（MRTV）對所有績效指標都有顯著的影響。
- 三、屬於“訂單相關變數”之二個變數，訂單數量之均一性（OQH）與訂單抵達間隔時間之變異（OIV）對所有績效指標都有顯著的影響。
- 四、屬於“成本相關變數”之二個變數，可用品與基本品持貨成本之比值（SBHCR）與可用品缺貨成本（BCR）只對系統成本有顯著的影響，但並不影響服務水準、可用品存貨水準、與基本品存貨水準。

表 6 根據主要的績效指標以選擇較佳之存貨政策

主要的績效指標	存貨政策之選擇
系統成本 (SC)	PULL 或 PUSH 政策
服務水準 (SL)	PUSH 政策
可用品存貨水準 (SWIP)	PULL 政策
回收品存貨水準 (BWIP)	PUSH 政策

此外，如果以某一績效指標為主（即主要的績效指標），以選擇較佳之存貨政策，則可以參考表 6。由表 6 可以看出，若以“系統成本”為主要的績效指標，則選擇 PUSH 或 PULL 政策並無顯著差異；若以“服務水準”為主要的績效指標，則建議採用 PUSH 政策；若以“可用品存貨水準”為主要的績效指標，則建議採用 PULL 政策；若以“回收品存貨水準”為主要的績效指標，則建議採用 PUSH 政策。

參考文獻

1. Closs, D. J., Roath, A. S., Goldsby, T. J., Eckert, J. A., & Swartz, S. M. (1998). An empirical comparison of anticipatory and response-based supply chain strategies. International Journal of Logistics Management, 9(2), 21-33.
2. Dobos, I. (2003). Optimal production-inventory strategies for a HMMS-type reverse logistics system. International Journal of Production Economics, 81-82, 351-360.
3. Fleischmann, M. (2001). Quantitative models for reverse logistics. Berlin: Springer-Verlag.
4. Ginter, P. M., & Starling, J. M. (1978). Reverse distribution channels for recycling. California Management Review, 20(3), 72-81.
5. Hudson, S. (2004). The increasing necessity for reverse logistics. Supply Chain Resource Consortium (SCRC), from <http://scrc.ncsu.edu.index.html>.
6. Imagine That, Inc. (2002). Extend version 6 user's guide.

7. Imagine That, Inc. (2005). from <http://www.imaginethatinc.com>.
8. Inderfurth, K. (1997). Simple optimal replenishment and disposal policies for a product recovery system with lead-times. OR Spektrum, 19, 111-122.
9. Inderfurth, K., de Kok, A. G., & Flapper, S. D. P. (2001). Production recovery in stochastic remanufacturing systems with multiple reuse options. European Journal of Operational Research, 133, 130-152.
10. Inderfurth, K., & Van der Laan, E. (2001). Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing. International Journal of Production Economics, 71, 381-390.
11. Kiesmuller, G. P. (2003a). A new approach for controlling a hybrid stochastic manufacturing/remanufacturing system with inventories and different leadtimes. European Journal of Operational Research, 147, 62-71.
12. Kiesmuller, G. P. (2003b). Optimal control of a one product recovery system with leadtimes. International Journal of Production Economics, 81-82, 333-340.
13. Kleber, R., Minner, S., & Kiesmuller, G. (2002). A continuous time inventory model for a product recovery system with multiple options. International Journal of Production Economics, 79, 121-141.
14. Koh, S. G., Hwang, H., Sohn, K. I., & Ko, C. S. (2002). An optimal ordering and recovery policy for reusable items. Computers & Industrial Engineering, 43, 59-73.
15. Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). Simulation modeling and analysis (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
16. Mahadevan, B., Pyke, D. F., & Fleischmann, M. (2003). Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. European Journal of Operational Research, 151, 536-551.
17. Minner, S., & Kleber, R. (2001). Optimal control of production and remanufacturing in a simple recovery model with linear cost functions. OR Spektrum, 23, 3-24.
18. RevLog(1998). European Working Group on Reverse Logistics, from <http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/>.

19. Richter, K., & Weber, J. (2001). The reverse Wagner/Whitin model with variable manufacturing and remanufacturing cost. International Journal of Production Economics, 71, 447-456.
20. Roger, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1998). Going backwards: reverse logistics trends and practices. Pittsburgh: Reverse Logistics Executive Council.
21. Stock, J. R. (1992). Reverse Logistics. Oak Brook: Council of Logistics Management.
22. Teunter, R., & Van der Laan, E. (2002). On the non-optimality of the average cost approach for inventory models with remanufacturing. International Journal of Production Economics, 79, 67-73.
23. Teunter, R., & Vlachos, D. (2002). On the necessity of a disposal option for returned items that can be remanufactured. International Journal of Production Economics, 75, 257-266.
24. Van der Laan, E. (2003). An NPV and AC analysis of a stochastic inventory system with joint manufacturing and remanufacturing. International Journal of Production Economics, 81-82, 317-331.
25. Van der Laan, E., Dekker, R., & Salomon, M. (1996a). Product remanufacturing and disposal: a numerical comparison of alternative control strategies. International Journal of Production Economics, 45, 489-498.
26. Van der Laan, E., Dekker, R., Salomon, M., & Ridder, A. (1996b). An (s, Q) inventory model with remanufacturing and disposal. International Journal of Production Economics, 46-47, 339-350.
27. Van der Laan, E., Fleischmann, M., Dekker, R., & Van Wassenhove, L. N. (1999a). Inventory control for joint manufacturing and remanufacturing. In Tayur, S., Ganeshan, R., & Magazine, M. (Eds.), Quantitative models for supply chain management (pp. 807-837). Kluwer Academic Publishers.
28. Van der Laan, E., & Salomon, M. (1997). Production planning and inventory control with remanufacturing and disposal. European Journal of Operational Research, 102, 264-278.

29. Van der Laan, E., Salomon, M., & Dekker, R. (1999b). An investigation of lead-time effects in manufacturing/remanufacturing systems under simple PUSH and PULL control strategies. European Journal of Operational Research, 115, 195-214.
30. Xerox Corp. (2002). Xerox environment, health and safety progress report.

2005 年 04 月 08 日收稿

2005 年 04 月 13 日初審

2005 年 07 月 28 日複審

2005 年 09 月 05 日接受