

國立成功大學
工業與資訊管理學系碩士在職專班
碩士論文

可重複使用之包裝空箱庫存規劃模型之研究
-以觸控面板製造廠為例

An Inventory Planning Model for Reusable Containers
- A Case Study of Touch Panel Manufacturer

研 究 生：蔡 姿 璇

指導教授：王 逸 琳 教授

中 華 民 國 一 百 一 十 一 年 六 月

國立成功大學

碩士在職專班論文

可重複使用之包裝空箱庫存規劃模型之研究-以觸控
面板製造廠為例

An Inventory Planning Model for Reusable
Containers - A Case Study of Touch Panel
Manufacturer

研究生：蔡姿璇

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：王逸琳
吳政勸
阮婕如

指導教授：王逸琳

系(所)主管：翁榮宗

(單位主管是否簽章授權由各院、系(所、學位學程)自訂)

中華民國 111 年 6 月 16 日

摘要

循環經濟議題近年越來越受到產業界的重視，如何將有價資源再使用並妥善管理，藉此拉長該有價資源的生命週期，降低生產成本，達到循環經濟的概念，是許多國家與企業重要的課題。本研究主要針對公司產品出貨所需之能重複使用的包裝空箱(或稱包材空箱)進行庫存控管的研究與預估，此問題與海運的空箱調運問題類似。由於市場上客戶訂單經常變動，易造成出貨用的包裝空箱短缺或爆量等出貨需求與庫存週轉的失衡。若能妥善調度包裝空箱，即可重複使用這些閒置資源，實踐循環經濟。本研究針對包裝空箱的調度與庫存管理決策建構整數規劃模型，將包裝空箱的倉儲限制、庫存成本、採購成本、物流成本、物流時程等參數納入考量，在務必滿足所預估的出貨需求前提下，利用最佳化軟體 Gurobi 求解本研究建構之整數規劃模型，以便管理者以最小總成本為目標來求解本廠出貨端與後段廠、友廠、客戶、包裝空箱商之間的最佳空箱調度與庫存數量等物流決策。最後，本研究以實際案例的資料為基礎，模擬 60-180 天的需求測資，進行整數規劃模型求解與敏感度分析等測試。與實際企業運作方式比較驗證後，確認本研究發展的整數規劃模型可提供不錯的決策建議，並可協助公司針對不同的需求或價格變化情境預做沙盤推演，可協助擬定與評估突發狀況的決策處理方式。

關鍵字：空箱調運，整數規劃，庫存管理，循環經濟。

An Inventory Planning Model for Reusable Containers - A Case Study of Touch Panel Manufacturer

Tzu-Hsuan Tsai

I-Lin Wang

Department of Industrial and Information Management, National Cheng Kung University

SUMMARY

Due to the frequent changes in customer orders in the market, it is easy to cause an imbalance between the planned production, inventory, and real demands. As a result, the empty containers used to ship products also need to deal with the imbalanced shipping requirement. This thesis investigates the circular logistics of reusable containers for touch panel manufacturers. In particular, the containers can be repositioned between the manufacturer and other plants in advance in order to save the costs of making new containers. This is an important practice in the circular economy. To this end, this thesis proposed an integer programming model for the scheduling and routing of these reusable containers at different places and times. We use a rolling-horizon framework that solves the optimal repositioning plan of minimum total weighted costs for the given 180-day forecasted demands. Sensitivity analysis is conducted and analyzed. After comparing and verifying the actual enterprise operational plans, it is confirmed that our proposed integer programming model can provide good decision-making suggestions and can assist the companies to have better preparation for different scenarios of forecasted parameters.

Key words: Reusable Container, Repositioning, Integer Programming, Inventory, Circular Economy.

INTRODUCTION

Recently, the circular economy has become essential for enterprises. The circular economy practice focuses on managing and reusing resources properly. In the touch panel manufacturing industry, the containers used to ship the touch panels can be reused with a small damage rate. Since the market demands often change over time, repositioning reusable empty containers for shipping touch panels becomes complicated. This thesis investigates a systematic way to plan reusable empty containers' schedules and routes. The repositioning of empty containers considers minimizing the weighted sum of the costs, including the containers' inventory, procurement, and transportation for all parties.

MATERIALS AND METHODS

Our problem is related to the empty container repositioning problems in the sea cargo literature. It differs from the conventional empty repositioning problem in that the container has a much smaller size, shorter transportation time, and more channels. Another key difference is that we divide the possible inventory into several levels. The number of empty containers that can be returned cannot exceed a specific proportion of its corresponding level bound. We use some integer programming modeling techniques to deal with this particular constraint. This makes our integer programming model more difficult to solve. We have used Gurobi software to solve for the optimal schedule and amount of reused or new containers to be shipped between each party of the logistics network, given a planning horizon of 60-180 days.

RESULTS AND DISCUSSION

Our computational experiments are performed on a personal computer with Windows 10, Intel Core i5-10210U, 1.60GHZ Processors, and 8GB RAM. Gurobi 9.5.1 version is used for solving integer programs. Our MIP models and algorithms are implemented in Python. The computational experiments indicate that Gurobi can calculate a nearly optimal solution (optimality gap around 0.2%) for a problem of a 60-day planning horizon within 600 seconds. We compare our result to the current rule on test data simulated based on actual data and conclude that our method can effectively reduce costs by 36.6% more than the result of the existing rule. We have also conducted sensitivity analyses on several parameters and obtained managerial insights on how the optimal inventory strategy may adapt with variable parameters.

CONCLUSIONS

We seek the minimum total costs to properly reposition the containers used to ship touch panels between different parties in the logistics network. The main idea is to try reusing workable containers instead of purchasing new ones. To this end, we have proposed an integer programming model to calculate the optimal schedules and routes for existing containers over a given planning horizon. Computational experiments indicate that our proposed integer programming model can calculate a nearly optimal solution within 10 minutes for a 60-day planning horizon. We have also demonstrated how to use a rolling-horizon framework to solve the problem of a longer planning horizon. We believe our proposed integer programming model can be used with minor modification for many other industries and would be a perfect tool to practice the circular economy.



目錄

摘要	I
目錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 產業與企業現況	1
1.1.2 出貨包裝空箱說明	2
1.1.3 倉儲空間與管理作業系統	3
1.1.4 包裝空箱週轉流程與地點	4
1.2 研究動機	6
1.3 研究目的與重要性	7
1.4 論文架構與研究流程	7
第二章 文獻探討	9
2.1 空箱回收與物流	9
2.2 空箱配置與規劃模型	11
2.3 小結	14
第三章 研究方法	15
3.1 問題描述	15
3.2 問題假設	17
3.3 庫存規劃模型	18
3.3.1 編號(Index)	18
3.3.2 參數	19

3.3.3	變數	20
3.3.4	目標式	20
3.3.5	限制式	21
3.4	小結	25
第四章	模型測試	26
4.1	簡例測試	26
4.1.1	簡例測試結果：MIP vs. IP	27
4.1.2	簡例測試結果：求解執行時間 (CPU Time)	28
4.2	實例驗證	30
4.2.1	60 天實例測試說明	30
4.2.2	60 天實例測試結果與績效分析	30
4.3	敏感度分析	31
4.3.1	空間限制變動對總成本之影響	33
4.3.2	出貨計畫變異程度對總成本之影響	34
4.3.3	庫存成本變動對總成本之影響	38
4.3.4	國際物流成本對總成本之影響	39
4.3.5	模擬週期對目標式之影響分析	42
4.4	小結	44
第五章	結論與未來研究建議	47
5.1	研究結論與貢獻	47
5.2	後續研究與建議	48
參考文獻	51

表目錄

表 4- 1	模擬參數表	27
表 4- 2	簡例測試結果-MIP vs. IP	27
表 4- 3	簡例測試結果-IP CPU Time.....	28
表 4- 4	I 公司 C 廠外部客戶出貨 180 天實際數量	30
表 4- 5	60 天模型求解與人工績效比較表	31
表 4- 6	敏感度分析測試列表	33
表 4- 7	空間上限敏感度分析模擬結果	34
表 4- 9	出貨計畫變異程度模擬結果	36
表 4- 10	出貨計畫變異程度與成本的連動關係分析	37
表 4- 11	庫存成本敏感度分析模擬結果	38
表 4- 12	貨櫃成本敏感度分析模擬結果	40
表 4- 13	貨櫃大小敏感度分析模擬結果	41
表 4- 14	180 天不同 CPU Time 模擬結果分析	42
表 4- 15	模擬週期(資料量)敏感度分析模擬結果	43

圖目錄

圖 1-1	G4.5 包裝空箱樣式與裝載圖	2
圖 1-2	包裝空箱入庫打板方式	3
圖 1-3	C 廠包裝空箱作業流程圖	4
圖 1-4	C 廠包裝空箱物流週轉示意圖	6
圖 1-5	論文架構與研究流程	8
圖 3-1	包裝空箱庫存進出邏輯圖	16
圖 3-2	時空網路圖(Time-space network)	17
圖 4-1	簡例測試結果目標值收斂趨勢圖	29
圖 4-2	600 秒 IP 多方測試結果目標值收斂趨勢圖	29
圖 4-3	標準差與目標式關係線性趨勢線圖	37

第一章 緒論

1.1 研究背景

出貨用空箱管理是各產業中物料管理的一個重要的議題，出貨用的空箱可分為一次性與重複使用兩類；一次性的出貨包裝空箱的管理較為單純，無關回收作業的管理議題，可能單純只要考量單一區域的購入量與庫存量管理即可；本研究所指的出貨包裝空箱則為重複使用的類型，要考量的管理要點除了購入量之外，還要額外考量各地點的庫存數量、庫存空間、回收物流的時間長短、回收後不良率等要點。重複使用的包裝空箱單價相較一次性的包裝空箱而言，通常是單價高、體積大的特性，也因此公司對空箱堆存場地的需求也是個難題，有效的管理是極具經濟效益的。為了緩解公司對空箱堆存場地的需求，進一步降低儲放空間的成本，需視未來需求狀況、儲放空間限制、出貨後到運回廠內的週期來擬定最佳週轉數量，方能用最省倉儲空間來達滿足所有需貨需求。本研究以面板產業 I 公司之 G4.5 代玻璃尺寸的 C 廠狀況為研究個案，說明一般業界的在作業上所遇到的問題與實際情況。

1.1.1 產業與企業現況

依經濟部統計處資料庫(2021)指出，2020 年台灣面板產業產值 7,275 億元，年出口值 69.2 億美元，後段面板模組製程多數在中國大陸組裝，出口以中國大陸及香港為主，占比達 92.5%。I 公司為全球前三大面板廠供應商，出貨的產品囊括了面板市場上所有液晶顯示器產品的尺寸，從最小 2.7 寸的數位相機、行車記錄器、到 5 寸的行動電話、10.1 寸的平板電腦、13.3 寸的筆記型電腦，一直到最大至 85 寸的液晶電視；且更有許多其他特殊用途的產品，例如醫療、車用、航太、運動器材…等，其尺寸會依顧客所需而量身訂製。因此出貨包裝空箱會

有許多不同種類的材質、型式，再加上產品屬於高單價、易碎，品質容易被外在溫度、溼度所影響，所選用的出貨包裝材料必需為確保產品品質的特殊材質，所費不貲。

1.1.2 出貨包裝空箱說明

一般出貨用的包裝空箱依各公司的產品大小、屬性而有不同的包裝空箱形式與材質；出貨產品越大，包裝空箱越大，其成本也越高。所以通常會需要重複回收使用的出貨包裝空箱皆為中大尺寸的產品為主。本研究以面板產業 G4.5(世代)的產品玻璃尺寸所用的直立式包裝空箱為案例進行模擬與研究。G4.5 的出貨包裝空箱標的為發泡性聚丙烯(簡稱 EPP)材質，分為直立式與橫躺式二種類型；用來裝載 730mm×920mm 大片的玻璃產品，功能為隔熱，防塵，防震，不變形，抗連續性衝擊，抗靜電，耐化學物品，是剛性與延伸性最佳的保護材，防水，防潮。G4.5 直立式包裝空箱實際的照片如圖 1-1 所示，每箱中間有溝槽用以間隔產品間適當的距離。中大尺寸的產品玻璃較為大片，玻璃厚度僅在 0.4mm~1.1mm 之間，使用人力運容易造成產品破片，故業界都是利用機器手臂配合自動搬運台車進行打包跟入庫的作業。



樣品名稱：730X920 20片裝PP BOX耐壓測試
待測物包裝尺寸：83.5 (長) × 47 (寬) × 102 (高)/公分
待測物包裝重量：29.75 公斤

圖 1-1 G4.5 包裝空箱樣式與裝載圖

1.1.3 倉儲空間與管理作業系統

產業界企業組織內部庫房存放空間通常會區分為自動倉、平置倉二個部份，由庫房管理系統(Warehouse Management System，簡稱 WMS)進行系統的即時管理與運作，根據各種不同的庫存需求來進行儲放空間的配置、規劃與管理。大部份的原物料、半成品、成品所有的料件都會存放在自動倉中，平置倉也就是平地面積存放空間，通常是做為碼頭卸櫃後，上櫃前的準備空間。不論在自動倉、平置倉，只要是進入到庫房內的所有物品的存放都需放在棧板上，如圖 1-2，不同物料的大小，每個棧板能存放的數量不同。G4.5 代包裝空箱一板只能堆放兩箱。



圖 1-2 包裝空箱入庫打板方式

相較於原物料、半成品、成品而言，出貨包裝空箱價值較低，扣除了其他半成品、原物料、成品的需求空間後，規劃供給出貨包裝空箱的存放空間約只佔總庫房空間比例 30%以下。在倉儲空間有限，且購入成本、物流成本考量下，如何準確預估未來出貨需求、控管出貨包裝空箱最適庫存水位與庫存空間，是各個公司企業必定會面對的重要議題。

1.1.4 包裝空箱週轉流程與地點

包裝空箱主要是做為成品出貨使用，出貨到客戶端，待後段客戶完成投入後會將空箱安排退回。在第一章 1.1.1 節中有提到，台灣面板廠九成以上集中在亞洲地區，又幾乎集中在中國大陸。C 廠的亞洲出貨目的地目前只有台灣、中國大陸兩個地區；台灣的出貨地點有同公司後段廠的台南，中國大陸客戶則分布在深圳、成都。包裝空箱從出貨至退回到 C 廠，再重新打包出貨的週轉的過程，如圖 1-3 包裝空箱作業流程圖所示。空箱回到 C 廠後，有包裝空箱人員，進行點檢、清潔作業，確保每個空箱的品質、配件完整，並做清潔後存放至自動倉中，才能供產線再打包使用。公司配置了 1 名包裝空箱管理人員與 3 位的現場作業人員，一天 12 小時，一週七天含假日都有每班固定的人員進行每日的包裝空箱點檢與清潔業務。

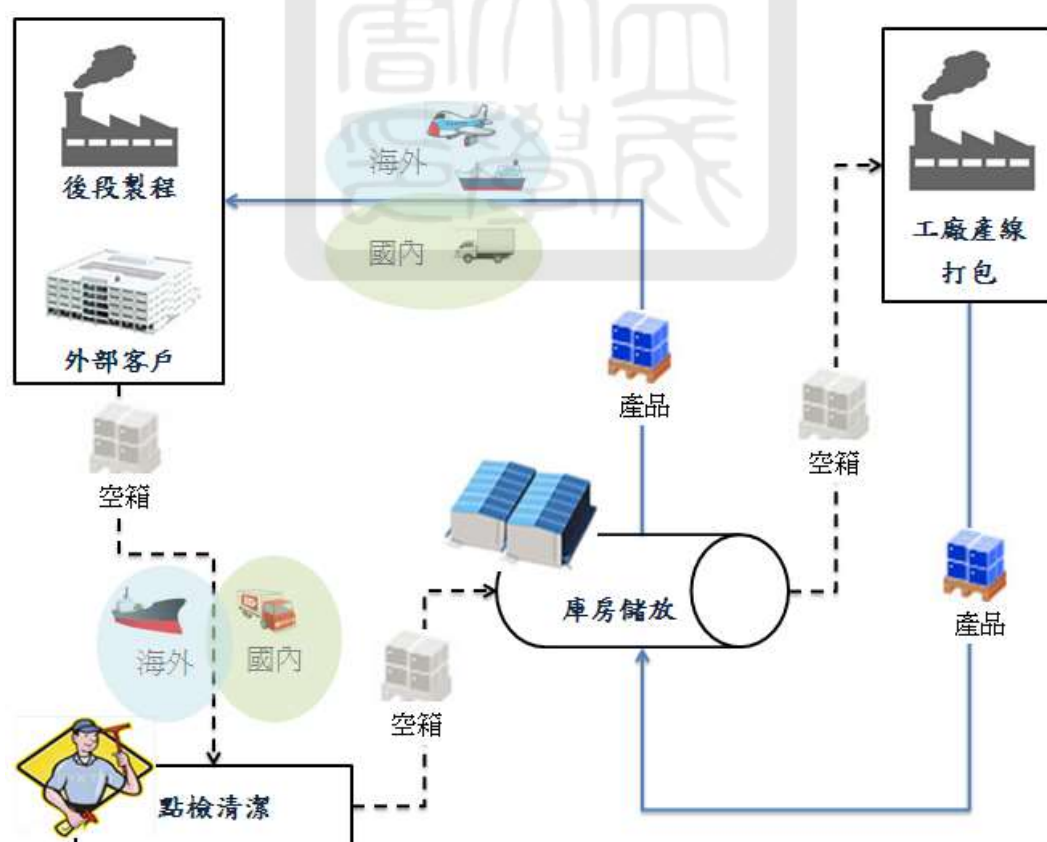


圖 1-3 C 廠包裝空箱作業流程圖

物流天數是指包裝空箱從甲地到乙地的運送時間。本案例所涉及的 I 公司 G4.5 代 C 廠的位置在台南，在後端完成投入後，原裝載出貨的包裝空箱已為空箱狀態，待歸還前段。各地區包裝空箱歸還的物流天數為：台南當地為 1 天，海外為海運 7 天。海外地區因為是要利用海運貨櫃進行包裝空箱運載，考量成本會以滿一個貨櫃為前提安排空箱歸還退運至台南。後段廠則無運載數量的限制，若有空箱可隨時安排退回。

若出貨包裝空箱週轉不濟，必要時也會向有同類型出貨包裝空箱的友廠進行借調。本案例 C 廠同類型的友廠在竹南，借調的流天數為 4 天。包裝空箱在使用上難免會有例行性耗用損壞的狀況，報廢狀況平均而言，一個月約為 1%；若真有重新購入包裝空箱的需求，從提出需求申請開始，經過採購流程、廠商生產出貨，到驗收使用，約需 30 天的前置時間。出貨用的空箱單價高(約 NTD4,800)，為可回收重複使用的包裝空箱。週轉使用的端點有四個：本廠、公司內部後段製程(簡稱「後段廠」、外部客戶、友廠間週轉。各端點不一定只有一個單位，未來隨時會因應市場需求增加客戶或後段廠出貨目的地，數個使用同規格包裝空箱的友廠之間可以互相借用包裝空箱進行週轉調度。

同時各端點的調度會有週轉時間考量，出貨到海外客戶，就需考量國際物流運送時間；出貨至後段廠通常會立即安排投入隔日再返還；若是友廠間的調度則需考量借用物流時間與歸還期限的限制，另外若因空箱數量不足，新購補足則會有約一個月的請購時間。各項週轉都有前置與物流的時間，如圖 1-4 C 廠包裝空箱物流週轉示意圖。

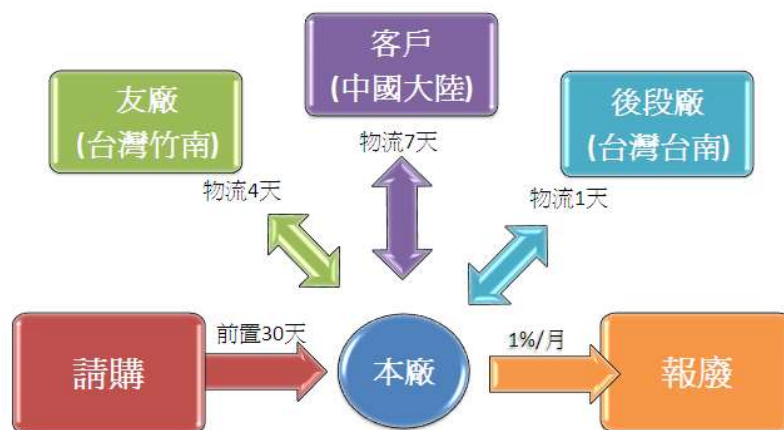


圖 1-4 C 廠包裝空箱物流週轉示意圖

1.2 研究動機

近期因冠狀病毒疫情、國際戰爭關係，國內製造業近來面臨資源短缺、高度耗能與環保爭議等困境，「循環經濟」的觀念已被列入企業永續經營的決策中，國際間也有為數不少的企業在供應鏈流程中使用重複使用的出貨包裝空箱。在考量營運需求與成本，本研究提供了一個重複使用包裝空箱的整數規劃數學模型，期望透過重複使用的回收物流延長資源生命週期，減少企業內部無效的費用支出、提升競爭力。面對市場需求隨時的變化，同時又必須在滿足出貨需求的前提下，備存適當庫存水位的出貨包裝空箱為必須。，然而決策最困難的點，在於就是如何判斷庫存水位的合理性，以及與各項調度的時間點與數量。所有決策項目，都是需要物流與、前置時間，無法立即實現決策結果立即實現；故預先防範，提前準備，是防止出貨缺口的唯一方法。然而，在庫存水位有限的狀況下，決策失誤導致庫存爆量的後果，唯有將多餘的包裝空箱報廢一途，此額外無效的成本支出是企業間無法一直承擔的後果。

本研究所指的出貨包裝空箱為重複使用的類型，重複使用的包裝空箱單價相較一次性的包裝空箱而言，具有單價高、體積大的特性，其存放空間的配置也是個重要考量。預先做出最妥善的決策，對於管理包裝空箱是極具經濟效益的。

1.3 研究目的與重要性

循環經濟是企業重要的議題，如何將有價資源再使用並妥善管理則是循環經濟實踐的重點，面對隨時在調整與變化的市場需求，為達到循環經濟的目標，提升資源使用次數，靈活的空箱調運策略為必要；在考量需求、週轉流程，加入相關影響變數，本研究提出了一個包裝空箱庫存水位的預估模型，能預測未來包裝空箱的缺口，在有限的倉儲空間下，考量各項成本做出適當的包裝空箱調度決策。透過實務數據套用比較，評估此模型的預估的有效性，確保每次的需求務必被滿足的前提，追求最小化的總成本。

就台灣面板產業中，現有的包裝空箱管理大部份為現場管理人員依經驗法則，透過 EXCEL 工具管理或透過網頁報表輔助管理，無法將包裝空箱循環流程中會面臨的各種影響因素與因果關係全盤列入考量，各項因素相互交叉影響後產生的遞延影響更是現有管理工具無法計算的。為避免出貨需求的短缺，實際作業上人員會依經驗建置較多的廠內空箱數量，徒增企業的庫存成本也佔用較高的庫存空間。

目前學術界在於空櫃管理的相關研究都著重在大型運輸工具的貨櫃或車廂，其重點需考量空櫃往返的數量配置，亦需考量空櫃內不同種類的物品配置數量最大化，以增加運載的數量。本研究有別於過往的文獻之處，在於研究的標的為重複使用的出貨包裝空箱，在業界實務上廣泛被使用。期望本研究模型可不受產業、產品限制，只要是從後段回收可重複使用的櫃或包裝材皆可應用，能迅速預估庫存需求與各項調度決策，供管理者在實務上的政策參考。

1.4 論文架構與研究流程

本論文架構如圖 1-5，本研究將於第二章中回顧回收物流、循環經濟、線性規劃等相關文獻。第三章敘述面板公司現況作業流程及實際的問題描述，說明本

研究假設的條件及參數設定，建構可重複使用出貨空箱控管整數線性規劃模型。第四章為模型測試，使用 Gurobi 最佳化軟體以依公司實際資料進行運算求解，並與公司實際人力管理的績效進行比較；接續以敏感度分析探討關鍵參數對於成本的影響。第五章將總結本研究結論與模型可提供決策者的貢獻，以及建議未來研究可加強的要點與發展方向。

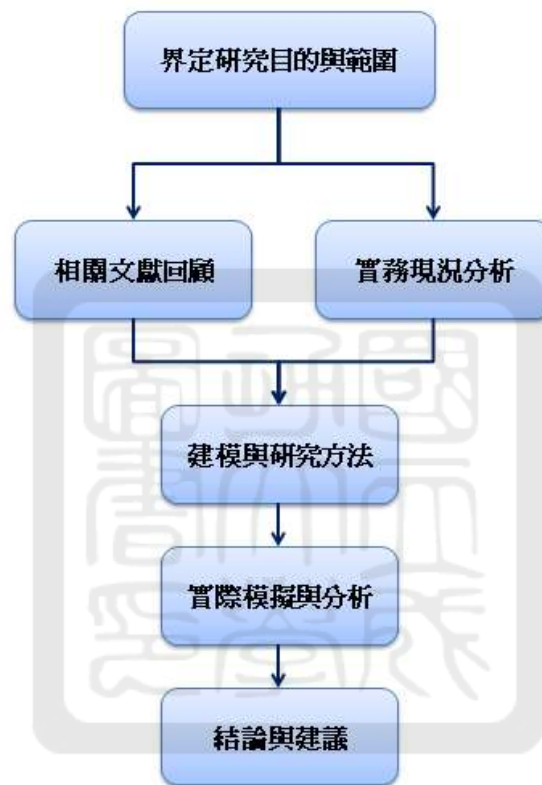


圖 1-5 論文架構與研究流程

第二章 文獻探討

本章共分成二部份，第一部份先探討關於重複使用之包裝空箱回收與物流議題，由於重複使用的作業方式，需考量各區域地點的庫存配置問題，並且有時間遞延的效果，須將其列入重要的考量因子。第二部份針對整數規劃運用在週轉調度與庫存需求預估的探討，利用數學模型與整數規劃來進行庫存、歸還、請購、借調等決策。

2.1 空箱回收與物流

許多國家有鑑於企業利益及環保間取捨的相關議題，紛紛提倡「循環經濟」的概念。包括德國、荷蘭、日本、歐盟等國家，都積極的提倡回收再使用之相關計畫，藉此善用各項資源，以減少企業所產生的廢棄物對於環境的衝擊。台灣政府亦陸續提出循環經濟實際的政策，行政院 2018 年 12 月 20 日通過「循環經濟推動方案」，透過產業創新循環經濟規劃、建構從動脈產業(製造與消費)到靜脈產業(資源回收再利用)的循環發展模式，希望能讓資源再利用，讓資源生命週期延長或不斷循環，以有效緩解廢棄物與污染問題。有系統的回收替代方案可以結合有利潤的產品再生產與無利潤的原料再循環利用，產品再生產的利潤可以負擔沒利潤的再循環利用以及反向物流的成本，能夠繼續保有利潤 (Klausner & Hendrickson, 2000)。也有越來越多的企業共識到，供應和逆向供應鏈的功能是可以有效的結合的，例如 IBM、HP、都曾參與國際綠色行銷、綠色物流、綠色製程的相關會議 (Sheu & Talley, 2011)。

Pearce et al. (1990) 以循環經濟一詞連結經濟與環境，並說明整個循環流程中可能產生正向與負向的影響，也表達了生產過程中的廢棄物需透過循環回收的模式再次利用，而上述的目標須建構在有效的資源管理能力；回收物流是一門環境改革的社會科學，過去幾十年得到越來越多的學者和政府關注，他們表示生態

現代化涉及到經濟增長和工業發展的關係，在此基礎上，它確實地指出自身利益與經濟和回收重複使用有著不可或缺的關係，即是未來經濟增長的來源與發展的勞動力和生產力。越來越多的企業組織致力生產過程中對於可重複使用的各種可能性，以提升降低成本的競爭優勢，此論點也在全球知名的 2011 年世界海運理事會年報中得到證實。

包裝空箱的處理會增加組織企業的成本，在售價上也需要考慮處理取回回收的費用，基於管理內部浪費的成本，每種類的產品開發須依循商品回收政策採用愈來愈多的再生原料。因此在設計產品階段就先基於降低取回時的成本下去考慮再使用的可能性。在許多產業中，可重複使用的包裝空箱成本佔了企業組織總費用不小的比例，包含了材料、棧板、包裝箱。Mason et al. (2012) 研究指出，包裝產業每年產生的費用高達 10% 至 15%，包裝產業每年的成本比率也佔有 10%。Breen (2006) 表明，無法妥善客戶回收是造成最大損失的原因之一，在英國高達了產生的損失高達每年 140 萬英鎊。

再者，包裝空箱回收會面臨的另一個議題是不確定性，雖然有部份學者提出回收物流是相對穩定的，但其實回收物流的掌控與估算有一定的困難度。回收量的變異與回收時間的不確定，讓企業組織很難去安排點檢、清潔、維護的人力，也很難去進行添購新包裝空箱的決策。影響回收量的變數有損壞、錯置或被偷竊，而且回收時間與數量的不確定性也可能發生包裝空箱庫存數不足而影響出貨，造成公司商譽的損失(Kim et al., 2014)。顯然的，如果沒有可重複使用的包裝空箱，將徒增企業組織購買新的包裝空箱的成本，這增加了操作的供應鏈的成本；若是使用不重複使用的包裝空箱，則還有額外處理報廢包裝空箱的費用產生(Breen, 2006)。

聯合國貿易和發展會議(UNCTAD)在「2021 海運回顧報告」(Review of Maritime Transport 2021) 中表示，2020 年全球海運貿易量來到 106.5 億噸，且

2021 年預估成長 4.3%，但受制於「越來越多的風險和不確定性」，像是貨櫃輪運量，貨櫃短缺、勞動力不足，港口壅塞和 COVID-19 (2019 冠狀病毒疾病) 疫情防疫限制影響。在世界經濟增長快速和迅速擴大的全球貿易網路情況下，導致全球貿易的運輸貨物需求極速的增加，產品體積越大，基於成本的考量，通常都是仰賴海上運輸在進行貿易。聯合國貿易和發展會議資料顯示 2012 年在全國貿易活動中，海運佔了 80% 的比率，是國際化貿易的中堅力量，因此重複使用的包裝材成為降低貨物運輸成本最佳的方式之一。

然而，這種進口和出口量不斷擴大的營運額大部份都是使用裝箱式的物流模式，其目的是提高運輸量和減少產品的損害(Di Francesco, et al., 2013)。在某種程度上，包裝空箱的有效運用是促使全球貿易穩步增長的一大動力。全球貿易物流並非是均衡的，就橫跨太平洋兩區貿易運輸為例，從亞洲運輸到北美的物流，遠比從北美到亞洲要高得許多(Di Francesco et al., 2013)，可知亞洲區的出口輸往全球各地的需求量與日俱增，其結果造成，包裝空箱於各區域的分配不均，某些港口堆積過多包裝空箱，而某些港口卻供不應求。物流運費不斷飆高將對貿易帶來深遠的影響，也因此如何有效的配置與調度各地點的空箱數量，是管理層面一大問題。

2.2 空箱配置與規劃模型

運用整數規劃進行庫存配置或數量調派的研究不少，如 Yun et al. (2011) 便利用整數規劃進行內陸運輸系統空貨櫃的最優庫存控制的研究，主要是針對陸地運輸物流(櫃)如卡車，火車和駁船將物品輸送至終端客戶的配置問題；他們考慮短缺地區，並提出了有效的庫存策略來控制空箱。並假定每單位時間的需求是獨立同分佈的隨機變量。

Crainic et al. (1993) 的研究有提到，空箱的管理首重滿足需求、最小儲存數，

他們根據動態性且不確定性的需求，解決了空櫃的配置問題。Cheung & Chen (1998) 的研究則討論了如何將動態櫃分配的問題可歸結為一個兩階段隨機網路模型，同時他們的研究還包含各區域地點需求量的預估與優化。然而，回收式供應鏈管理，問題仍然具有挑戰性，因為出貨流程一直持續不斷的，而且有包含物流的遞延時間，各區域地點包裝空箱的數量也無法及時掌握，這也帶出了我們另一個研究重點，也就是庫存的管理。在進行這種有遞延時間誤差的庫存數量預估，可以有靜態配置(Static Repositioning)與動態配置(Dynamic Repositioning)兩種方式。所謂靜態配置，是利用需求最低或幾乎沒有的時間，來做為庫存的計算點；而動態配置是用需求最高，庫存水位流動最快的時間點做為庫存的計算點。

Crainic et al. (1993) 依需求處理空櫃的分配問題，並將需求區分為動態性和不確定性。Cheung & Chen (1998) 討論了如何有效分配動態櫃問題，他們配製了一個兩階段隨機網路模型，利用最佳化來重新分配空櫃和確認每個地點需要有多少的數量。Shen & Khoong (1995) 則提出了各區域地點之間的網路優化模型，並用數學編程語言(AMPL)解決了這個問題。Lam et al. (2007) 為一個簡單的兩個地點和雙航程問題建立對應的動態和隨機模型，並提出了一個新的策略中繼站，用來調整兩地之間的空箱分配問題。

其它還有許多相關文獻探討海運貨櫃的調度問題，貨運航線在海上運輸的研究主要集中在不確定性的需求和海運產業的部份(Christiansen et al., 2004)。也有不少的研究已經解決了輪船運輸班次的問題(Agarwal & Ergun, 2008)。Song (2007) 則提出了一個定期審查區間貨櫃服務系統的模型，可依客戶隨機的需求重新分配現有可使用的貨櫃，即時重整組織全球貨櫃的航運網路，並試著去妥善配置全球的貨櫃貿易物流。Agarwal & Ergun (2008) 的研究則同時解決了貨運航線問題與船舶調度的網路設計。Alvarez (2009) 認為船運貨櫃路線的部署和調配需考量貨櫃的路線和轉運的問題。Yan et al. (2009) 則開發了聯合船舶調度的網

路流量模型，解決了短期考量時空網路的貨櫃出貨的排程問題，但他們的研究則未將空箱的流動納入考量。

Bell et al. (2011)設計了基於頻率的分配模型，利用減少航行時間與中間轉運的停留時間，來提增航運空箱調撥的效率。Meng & Wang (2011) 認為軸輻式網路(hub-and-spoke)內部組織的問題需考量各個利益關係者與多類型櫃的因素，其中也包含路線的選擇的議題。Wang & Meng (2011) 利用最小化的線性轉運成本來研究船班與貨櫃航線的問題，並藉由時間表的設計，依運輸時間的長短和市場需求況來計算出相關的成本，但此研究並未考量回收的比例。

第一個提出回收流程概念的學者 Schradly (1967) 開發了一個數學模型，探討產品回收問題，他認為使用過的產品應該被運回至原製造商來進行維修，他的數學模型根據確定的收益率和已確認的需求來制定最佳流程和重工的批量。之後 Teunter (2001) 延續了 Schradly (1967) 的研究，提出了另一個數學模型，他發現大量的退回數量與重工數量並非是最好的方法，計算適當的回收數量與時間點才是最適庫存成本的關鍵。Tang & Grubbström (2005) 提出了兩個模型：產品回收和隨機交貨時間。在第一個模型中，他們假設由既有重複使用的產品優先滿足需求，如果重複使用的產品數量不足，再進行購入的策略；其第二個模型則將新購入與重複使用的產品數量分別估算。

關於客戶回收數量的預估，是建立數學模型一個極為重要考量，一般相關的數學模型研究，會將客戶回收的數量設定為「隨機」與「固定」等兩類參數(Atamer et al., 2013)。Tang & Grubbström (2005) 的研究模型再多了交貨時間是隨機的假設。另外回收後還需考量「可使用性」的因素，Inderfurth & Langella (2006) 研究模型將收回後良率假設為受隨機影響；Schulz & Ferretti (2011)開發了一個類似的模型，將不良率加以區分，並考慮固定成本和變動成本；Kelle & Silver (1989) 的研究算是考量較為週全的，因為他們分析過去的數據，利用統計方法來計算重複

使用空箱的生命週期，用來預估空箱的使用期限，同等於預估空箱報廢率的意義。空箱配置的研究大多數主要集中在海運空櫃、公路運輸工具與鐵路車箱方面，但針對可回收的出貨空箱研究顯少。

2.3 小結

綜合上述回顧，長期來看，在整條供應鏈的回收業務成熟且具規模經濟後，能兼具降低企業營運成本的效益，達到環境與永續經營的雙贏局面。回收物流是未來必然的趨勢，回收物流的庫存規劃與控制更是管理層面最重要的議題，是影響「成本」最大的因素。

本研究將一般貨櫃的文獻研究因素也列入考量：確定性與不確定性的需求參數、考量不同地點不同物流時間參數、後段回收的數量包含隨機與固定兩種參數。本研究相較於其他研究差異的部份如下：

- (1) 庫存數量變數包含動態配置與靜態配置，本研究模型考量遞延時間，庫存數量的預估以動態配置為主。
- (2) 學術界多以海運陸運的貨櫃、車廂進行庫存與物流配置的研究，包含火車、輪船、卡車等，本研究則以「出貨空箱」來做為研究，並針對「可重複使用」的特性建構出一個庫存規劃的模型，是業界廣泛適用且普遍使用的。
- (3) 部份文獻設計中繼轉運站點，為減少物流、增加調度的彈性，但中繼轉運站點會增加庫存空間的固定成本，故本研究模型無中繼轉運站，目標為在適當的時間回收適當數量。
- (4) 一般文獻研究目標式分別著重在最小庫存數、各地區的最適櫃數量、調度的路線、最少的物流成本；但本研究將每個地點的庫存成本、所有的物流調度成本全都入考量，以最小化的總成本為目標。

第三章 研究方法

多數文獻在探討此類問題時，大部份著重於庫存數量是否滿足需求，較少談及包裝空箱本身重複使用的過程中物流與成本管理的部份。因此本研究著重在重複性包裝空箱回收管理策略，依據面板產業的現況，建立一個有效預估需求缺口並提前進行調度關週轉的數學模型，以協助包裝空箱的管理決策。

3.1 問題描述

出貨空箱通常是用來包裝自有工廠產出的產品，用來出貨至後端製程或客戶；一般區分為可重複使用與不可重複使用。可重複使用的包裝空箱通常使用在供應鏈的中段，其出貨需求是頻繁而且大量的，或者運用在大型、易損壞、品質精度較高的產品上，此類產品品質要求高，其用來保存的包裝材料成本通常也較高。以本研究模擬驗證的實際案列而言，其產品為 730mm×920mm 的大片玻璃，易碎且已完成精密製程，在保存與運送過要求防水、防撞、不可有粉塵，故該製造廠所用的包裝材料大型且成本高。

圖 3-1 包裝空箱庫存進出邏輯圖說明 C 廠現況包裝空箱週轉的流程，本研究個案工廠週轉使用的端點有四個：本廠、公司內部後端製程、外部客戶、友廠間週轉；後續利用圖 3-2 包裝空箱網路圖來表示出各包裝空箱在整個出貨與歸還系統中的動態情況。

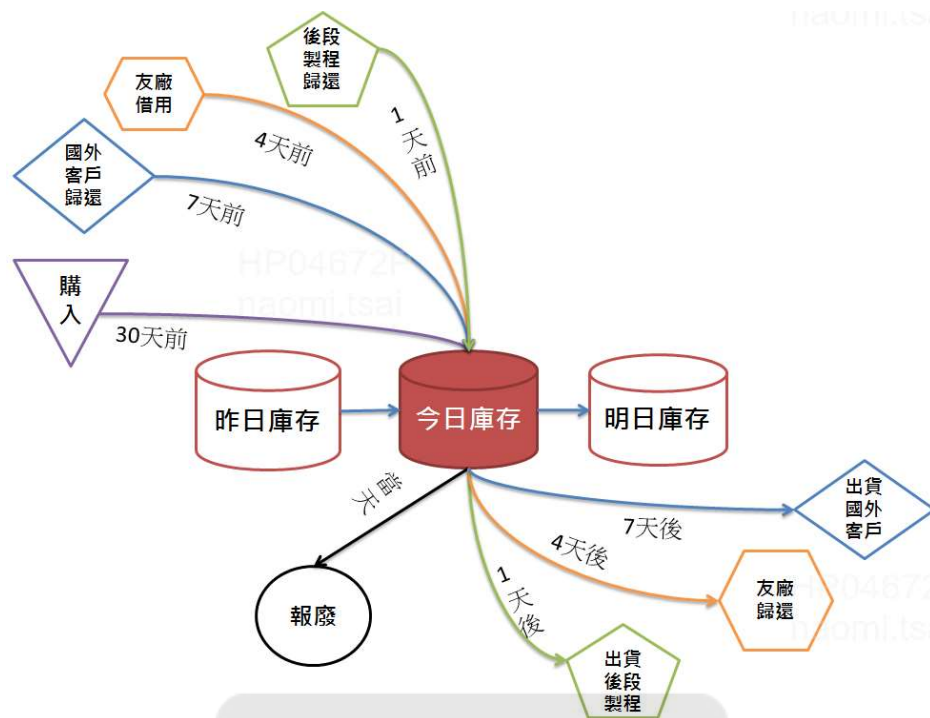


圖 3-1 包裝空箱庫存進出邏輯圖

本研究模型建構需考量運用包裝空箱出貨的需求數量、後端後完成投入後歸還的時程與數量、例行性不良而報廢的數量、必要時購置新包裝空箱的數量與前置時間。同時各端點的調度會有週轉時間考量，例如出貨到外部台灣以外的客戶，就需考量運送時間需要 7 天的時間；出貨至後端製程運送時間僅需 1 天，但因需考量其排程計劃，出貨至後端廠後，對方不會立即安排投入的停等時間；若是友廠間的調度則需考量對方借用的期間、與友廠的位置是否為同一地區；另外若因空箱數量不足，需外購補足時，則會有約 30 天的請購時間。

圖 3-1 可以看當日出庫存數量的邏輯，是由前一天留存的庫存數，加上當日歸還至廠內的數量、外購到廠與外借到廠的數量，再扣除當日出貨數、歸還數、報廢數。若將各流程的作業時間考量進去，將圖 3-1 的庫存進出邏輯圖串出時間軸，則我們可以匯出的如圖 3-2 的時空網路圖(Time-space network)，時空網路圖主要是將各區域地點的庫存流動情形，透過時間的型態清楚地顯示出來，並用以掌握各區域地點的庫存狀況。

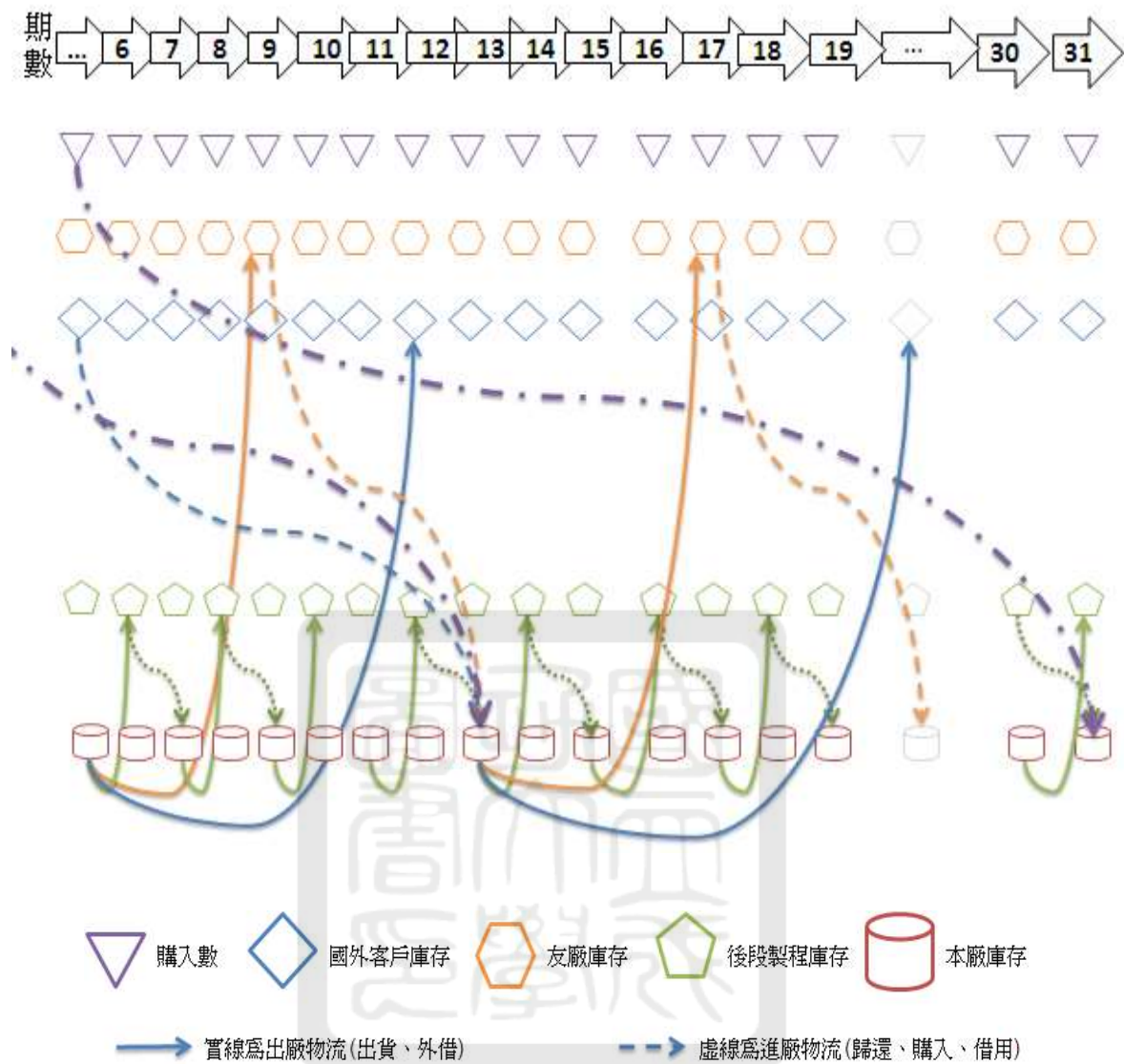


圖 3-2 時空網路圖(Time-space network)

由圖 3-2 可看出各區域地點間庫存流動的狀況，屬於物流時間的掌握，然而如何確保各地點的庫存數量，並且合理且有效地預估客戶、後段製程在未來可歸還的數量，其實才是研究的重點，我們也才能依出貨需求來進行本廠空箱庫存數量的規劃，妥善地擬定購入或要求對方歸還的計劃。

3.2 問題假設

根據前述的說明，為了使問題簡化，同時為了讓此模型能進行量測，本研究

需將部份現實面為變數的因素假設為定值，本研究做如下的基本假設：

- (1) 依研究個案實際狀況，後段廠、客戶、友廠僅單一個數。
- (2) 物流天數預設為無異常發生的天數，不考量季節、氣候、淡旺季的因素。
- (3) 海外物流僅以海運為預估，不考量特殊狀況的空運。
- (4) 假設物流時間為固定的，購入為 30 天、友廠借調為 4 天、後段廠歸還物流為 1 天、客戶歸還物流為 7 天。
- (5) 假設後段廠出貨的數量為固定的，依外部客戶待歸還空箱的庫存水位而訂定預估客戶可歸還的數量。
- (6) 因日常耗用而損壞的報廢預估為常數，本模型將依年度平均之日報廢數量來預估報廢率（例如：若報廢率為 10%，表示 100 箱中有 10 箱損耗）。
- (7) 本研究目前僅依單一種類包裝空箱來進行數學建模。
- (8) 友廠借入的損壞數量不計入報廢比率中。
- (9) 依業界實務需求，設計一個安全水位的參數。

3.3 庫存規劃模型

3.3.1 編號(Index)

i ：本廠。

j ：後段廠(當地)。

f ：友廠(當地跨區)。

k ：外部客戶(海外)。

b ：包裝空箱廠商。

l ：外部客戶的庫存水位。後續本研究將客戶的庫存水位區分不同的區段，依其區段的高低設定其一個預估可歸還的上限。

t ：期數($t = -30, \dots, n$)，以「天」為單位。

3.3.2 參數

A_l ：第 l 庫存水位區間之上限邊界值。

A_{l-1} ：第 l 庫存水位區間之下限邊界值。

R_l ：外部客戶 k 第 l 庫存水位區間可歸還的上限值。

$d_{ij}^t (t = -1, \dots, n)$ ：第 t 天本廠 i 出貨至後段廠 j 的數量。

$d_{ik}^t (t = -7, \dots, n)$ ：第 t 天本廠 i 出貨至海外客戶 k 的數量。

u_i ：本廠 i 存放包裝空箱空間上限。

u_j ：後段廠 j 存放包裝空箱空間上限。

u_k ：外部客戶 k 存放包裝空箱空間上限。

r_i ：本廠 i 包裝空箱庫存安全水位。

c_i ： I_i^t 的庫存成本。

c_j ： I_j^t 的庫存成本。

c_k ： I_k^t 的庫存成本。

\hat{c}_{ji} ：後段廠 j 歸還本廠 i 空箱的運輸成本。

\hat{c}_{ki} ：外部客戶 k 歸還本廠 i 空箱每櫃的運輸成本。

\hat{c}_{fi} ：本廠 i 向友廠 f 借用空箱的運輸成本。

\hat{c}_{if} ：本廠 i 歸還友廠 f 空箱的運輸成本。

\hat{c}_{bi} ：向包裝空箱廠商 b 購買空箱的成本。

Q ：每一貨櫃裝載包裝空箱的數量上限。

W_f ：友廠 f 每週可借用上限。

D_f ：友廠 f 每天可借用上限。

H_k ：外部客戶 k 每天產能。

δ_i ：報廢率。

3.3.3 變數

v_{kl}^t ：若客戶 k 在第 t 天之庫存水位落在第 l 區間則為 1，否則為 0。

y_k^t ：若客戶 k 在第 t 天開線投產則為 0，否則為 1。

$I_i^t (t=1, \dots, n)$ ：第 t 天本廠 i 的期初空箱庫存。

$I_j^t (t=1, \dots, n)$ ：第 t 天後段廠 j 的期初空箱庫存。

$I_k^t (t=1, \dots, n)$ ：第 t 天外部客戶 k 的期初空箱庫存。

O_k^t ：第 t 天外部客戶 k 的期初待投產包裝空箱數量(有裝產品)。

$x_{ji}^t (t=-1, \dots, n)$ ：第 t 天後段廠 j 歸還本廠 i 的空箱數量(t 為離廠日)。

$x_{ki}^t (t=-7, \dots, n)$ ：第 t 天外部客戶 k 歸還本廠 i 的空箱數量(t 為離廠日)。

$\bar{x}_{ki}^t (t=-7, \dots, n)$ ：第 t 天外部客戶 k 歸還本廠 i 的貨櫃數量。

$x_{fi}^t (t=-4, \dots, n)$ ：第 t 天跟友廠 f 提出調借的數量(t 為離廠日)。

$x_{if}^t (t=1, \dots, n)$ ：第 t 天歸還友廠 f 的數量(t 為離廠日)。

$x_{bi}^t (t=-30, \dots, n)$ ：第 t 天向包裝空箱廠商 b 請購數量。

P_k^t ：第 t 天外部客戶 k 的投產數。

3.3.4 目標式

各項成本依現實的情況給予不同的權重，例如海外運輸比國內運輸貴，設定

$c_{ki} > c_{ji}$ ；本廠的庫存成本比海外廠的庫存成本貴，設定 $c_i > c_k$ 。在滿足出貨需求的前提下，追求 60 天平均庫存成本最小化，目標式如式(1)。

$$\begin{aligned} \text{Min } & c_i \sum_{t=1}^{60} I_i^t + c_j \sum_{t=1}^{60} I_j^t + c_k \sum_{t=1}^{60} I_k^t + \hat{c}_{ji} \sum_{t=1}^{60} x_{ji}^{t-1} + \hat{c}_{ki} \sum_{t=1}^{60} \bar{x}_{ki}^{t-7} + \\ & \hat{c}_{fi} \sum_{t=1}^{60} x_{fi}^{t-4} + \hat{c}_{if} \sum_{t=1}^{60} x_{if}^t + \hat{c}_{bi} \sum_{t=1}^{60} x_{bi}^{t-30} \end{aligned} \quad (1)$$

本研究求各地點庫存成本、歸還成本、購買成本、借調成本合計的最小化，目標式解析如下：

$c_i \sum_{t=1}^{60} I_i^t + c_j \sum_{t=1}^{60} I_j^t + c_k \sum_{t=1}^{60} I_k^t$ 為各地點庫存成本

$\hat{c}_{ji} \sum_{t=1}^{60} x_{ji}^{t-1} + \hat{c}_{ki} \sum_{t=1}^{60} \bar{x}_{ki}^{t-7}$ 為各地點歸還成本

$\hat{c}_{fi} \sum_{t=1}^{60} x_{fi}^{t-4} + \hat{c}_{if} \sum_{t=1}^{60} x_{if}^t$ 為借調成本

$\hat{c}_{bi} \sum_{t=1}^{60} x_{bi}^{t-30}$ 為購買成本

將模擬 60 天每天的庫存需求，但由於第 31 天之後的需求較為不確定，變化性高，故我們將截取前 30 天的數值做為決策的參考。

3.3.5 限制式

式子(2)計算外部客戶 k 非空箱包裝空箱數量的計算式。本廠 i 出貨運送至外部客戶 k 的包裝空箱數量 d_{ik}^t 會待外部客戶 k 投產後，才會轉為空箱的狀態。

$$O_k^t = O_k^{t-1} + d_{jk}^{t-8} - P_k^{t-1}, \quad \forall t \in T \quad (2)$$

但外部客戶 k 每天投產有限制，如果待投產期初庫存 O_k^t 未達每日產能 H_k ，

則當天不生產 $P_k^t=0$ 。假設以 y_k^t 判斷是否開線投產， $y_k^t=1$ 代表當日不投產 $P_k^t=0$ ，否則 $y_k^t=0$ ，使用大 M 法轉成線性規劃，限制式如式(3)~(6)。

$$y_k^t \in \{0,1\} \quad (3)$$

$$O_k^t \geq H_k - My_k^t, \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$O_k^t \leq H_k - E + M(1 - y_k^t), \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$P_k^t \leq H_k(1 - y_k^t), \quad \forall t \in T \quad (6)$$

式子(7)~(8)代表各區域地點空箱期初庫存的計算式。本廠 i 的空箱期初庫存在由前一天的期初庫存加上前一天包裝空箱到廠數量，並扣除當天的產出、歸還友廠數量、報廢數量，同時必須維持安全水位 r_i 以上。報廢數量的計算則以一個長期的定值來進行報廢率的計算，將當天後段廠 j 與客戶 k 歸還到廠的數量乘上報廢率，即為當日的報廢數量。包裝空箱往返本廠 i 與各區域地點有物流時間為：本廠 i 至段廠 j 的物流時間為 1 天，本廠 i 至友廠 f 的物流時間為 4 天，本廠 i 至外部客戶 k 的物流時間為 7 天，向廠商 b 購入包裝空箱的前置時間為 30 天。

$$I_i^t = I_i^{t-1} + x_{ji}^{t-1} + x_{ki}^{t-7} + x_{fi}^{t-4} + x_{bi}^{t-30} - d_{ij}^{t-1} - d_{ik}^{t-1} - x_{if}^{t-1} - \delta_i(x_{ji}^{t-1} + x_{ki}^{t-7}), \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$I_i^t \geq r_i, \quad \forall t \in T \quad (8)$$

後段廠 j 存貨計算式如式(9)，後段廠 j 前一天期初庫存數量加上當日到廠數量(當日到廠即當日投入轉為空箱)，扣除當日歸還本廠 i 的數量。

$$I_j^t = I_j^{t-1} + d_{ij}^{t-1} - x_{ji}^{t-1}, \quad \forall t \in T \quad (9)$$

外部客戶 k 的存貨計算式如式(10)，客戶 k 前一天期初庫存數量加上當日投產後釋放出來的空箱數，扣除當日歸還本廠 i 的數量。

$$I_k^t = I_k^{t-1} + P_k^{t-1} - x_{ki}^{t-1}, \quad \forall t \in T \quad (10)$$

外部客戶 k 的歸還包裝空箱的預估模式如式(11)~(14)，客戶歸還數量因庫存水位而有所影響，可能因生產過程中異常貨扣押或其他需求，無法全數歸還空箱給本廠，依經驗法則將各水位區間給予出不同的歸還上限。依據客戶庫存落在不同的區段 l 其可歸還的上限比率 R_l 不同，因此七日後自客戶退回至廠內之空箱數量計算如式(14)。

$$v_{kl}^t \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$\sum_{l=1}^l v_{kl}^t = 1, \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^l A_{l-1} v_{kl}^t \leq I_k^t \leq \sum_{l=1}^l A_l v_{kl}^t, \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$x_{ki}^t \leq \sum_{l=1}^l R_l v_{kl}^t, \quad \forall t \in T \quad (14)$$

將庫存水位劃分 l 個區間，其範圍分別為 $[A_0, A_1]$ 、 $[A_1, A_2]$...、 $[A_{l-1}, A_l]$ ；

$I_k^t \in [A_{l-1}, A_l]$ ，此判斷式中只有一個區域為1，其餘為0， $v_{kl}^t = 1$ ，否則 $v_{kl}^t = 0$ 。舉

例來說，如果庫存水位分三個區間，範圍與歸還比率 R_l 分別為

$$l=1, [0, 200], R_1 = 180$$

$$l=2, [201, 500], R_2 = 450$$

$$l=3, [501, \infty], R_3 = 0.95 I_k^t$$

若 $I_k^t = 250$ ，庫存水位落在 $[100, 200]$ 這個區間，最多只能歸還180個空箱；若

$I_k^t = 360$ ，庫存水位落在 $[301, 400]$ 這個區間，最多只能歸還450；若 $I_k^t = 600$ ，庫

存水位落在 $[501, \infty]$ 這個區間，最多只能歸還570 (600×0.95)個空箱。

外部客戶 k 歸還空箱是利用海運貨櫃裝載，每個貨櫃有裝載空箱上限 Q ，運輸成本以櫃數計算，海運數量限制如式(15)。

$$x_{ki}^t \leq Q\bar{x}_{ki}^t, \forall t \in T \quad (15)$$

當有空箱短缺也可向友廠 f 進行借調，但有每日借用上限、連七天借用總量上限、借用期限 14 天的歸還要求，限制式如式(16)~(18)

$$\sum_t^{t+7} x_{fi}^t \leq W_f, \forall t \in T \quad (16)$$

$$x_{fi}^t \leq D_f, \forall t \in T \quad (17)$$

$$\sum_t^{t+14} x_{if}^t \geq x_{fi}^t, \forall t \in T \quad (18)$$

下列式子為各區域地點庫存水位 I 的限制式(19)~(21)，必須為非負之實數且不可大於該區域地點之最大存放空間。

$$I_i^t \leq u_i, \forall t \in T \quad (19)$$

$$I_j^t \leq u_j, \forall t \in T \quad (20)$$

$$I_k^t \leq u_k, \forall t \in T \quad (21)$$

下列為各變數型態，除 v_{kl}^t 、 y_k^t 為二元變數，其餘變數皆為非負之實數。

$$v_{kl}^t, y_k^t \in \{0,1\}, \forall t \in T \quad (22)$$

$$I_i^t \geq 0, \forall t \in T \quad (23)$$

$$I_j^t \geq 0, \quad (24)$$

$$I_k^t, O_k^t, P_k^t \geq 0 \quad (25)$$

$$x_{ji}^t \geq 0, \forall j, i, t \quad (26)$$

$$x_{ki}^t \geq 0, \forall k, i, t \quad (27)$$

$$\bar{x}_{ki}^t \in N, \forall k, i, t \quad (28)$$

$$x_{fi}^t, x_{if}^t \geq 0, \forall f, i, t \quad (29)$$

$$x_{bi}^t \geq 0, \forall b, i, t \quad (30)$$

3.4 小結

為因應市場的需求變化，實踐循環經濟，考量企業內部存放空間限制、各項固定與變動成本，加入相關影響變數如各端點的庫存限制、不良率，本研究提出了包裝空箱庫存預估模型，能預估未來包裝空箱的需求、預估各時間區間的庫存，在倉儲空間的限制下，追求最小化的成本，做出適當的包裝空箱調度決策。後續將利用 Gurobi 軟體來進行整數規劃模式的系統運算，並透過實例套用評估此模型的預估的有效性，以出貨需求務必滿足的前提，追求目標式最佳化。

第四章 模型測試

在此章中，第一節先以簡易模擬驗證模型運算的合理性與正確性；第二節以面板 I 公司實際資料帶入模型運算，求得該公司包裝空箱之最佳配置（最小總成本），包含採買、借調跟歸還的決策，並與企業實際人力作業的績效進行比較；第三節進行敏感度分析，觀察敏感度測試中，對總成本較敏感的參數以及該參數變化時對總成本造成的影響；第四節則小結模型驗證。

本研究測試平台為 Windows 10 專業版(64 位元)，使用 Intel i510210U 1.6G 處理器，記憶體為 DDR4 8G，程式開發則使用 Anaconda3 (Python 3.9)，搭配 Gurobi 9.5.1 進行最佳化運算。

4.1 簡例測試

在進行模型實例驗證前，先用簡單的數據進行模擬，用以檢視程式設計、運算過程、模型參數、執行時間等相關邏輯的正確性。若以線性規劃求解，耗時較少但會求解出小數單位的空箱個數，不符合包裝空箱以整數為單位的實際狀況；整數規劃模型較符合實際本研究的實際狀況，但其求解時間將較線性規劃冗長。

為評估模型最佳的運算方法，簡例測試以 Gurobi 求解混合整數規劃(Mixed Integer Programming, MIP)、整數規劃(Integer programming, IP) 等二種不同的規劃模型設定，觀察其求解時間與品質，再來評估並選出後續本研究較合適的數學規劃模式設定。本研究建立模型的出貨目的地有二：後段廠、外部客戶，在簡例測試中假設每天出貨計劃是已知的定值，參數設定如表 4-1 模擬參數表。

表 4-1 模擬參數表

期間	出貨 計畫	空間 上限	庫存 成本	本廠安 全水位	客戶 產能	貨櫃 上限	客戶 歸還限制	運輸 成本	購買 成本	友廠借 調限制	報廢
t=60	$d_{ij}^t=50$	$u_i=1350$	$c_i=6$	$r_i=200$	$Z_k=95$	$Q=104$	[0-200] R=180	$c_{ki}=41600$	$c_{bi}=4800$	$W_f=200$	$Y_i=0.03$
	$d_{ik}^t=90$	$u_j=300$	$c_j=8$				[200-500] R=450	$c_{if}=50$		$D_f=70$	
		$u_k=600$	$c_k=2$				[500-N] R=N*0.95	$c_{fi}=50$			
								$c_{li}=0$			

4.1.1 簡例測試結果：MIP vs. IP

將簡例測試實驗組 MIP、對照組 IP 兩組，MIP 組 (混合整數規劃)只設定變數 \bar{x}_{ki}^t 必為整數，IP 組(整數規劃)則所有運算結果皆為整數，進行模擬 60 天的模型數據，分別執行 2 小時強制停止，將運算結果進行交叉比對。運算結果比對分列如表 4-2，GAP 是利用最佳化軟體 Gurobi 求解時限內的目標值收斂表現 (值越小代表越接近最佳解)，CPU Time 為 Gurobi 的求解執行時間。表 4-2 實驗組 MIP 只設定變數 \bar{x}_{ki}^t 必為整數，部份運算結果有小數，運算求解結果僅取整數部份列入表 4-2；連續 60 天出貨數據的測試結果，兩組同樣累計出貨至後段廠的數量為 3,000，累計出貨至外部客戶數量為 5,400，其餘運算結果如下：

表 4-2 簡例測試結果-MIP vs. IP

Model	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	CPU Time	GAP (%)	Status
實驗組 MIP	1,350	116	19,417	43	2,598	9,119	7,200	0.39	Time limit
對照組 IP	1,350	120	19,289	43	2,506	9,132	7,200	0.64	Time limit

由表 4-2 可知，同樣 CPU Time 7,200 秒的時間，實驗組 MIP 較對照組 IP 的求解結果比較，MIP 請購數量少 3.3%、友廠借調多 3.7%、目標式少 0.1%、GAP 少 0.25%，整體來說實驗組 MIP 與對照組 IP 兩組求解表現並無顯著的差異，而

且因為本研究標的的單位為整數，而 MIP 運算結果含有小數，故針對本研究標的而言，雖然 MIP 的績效較好，但建議仍以 IP 運算求解比較符合實際狀況。

4.1.2 簡例測試結果：求解執行時間 (CPU Time)

本小節接續簡例測試，同樣以整數規劃 IP 運算求解，比較 CPU Time 對照組 600 秒、實驗組 120 秒、實驗組 7,200 秒與不限制時間的求解差異，四組同樣累計出貨至後段廠的數量為 3,000，累計出貨至外部客戶數量為 5,400，其餘運算結果如表 4-3。

表 4-3 簡例測試結果-IP CPU Time

Model	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	CPU Time	GAP (%)	Status
對照組 IP	1,350	19,327	43	2,528	9,133	600	0.81	Time limit
實驗組 IP-A	1,350	19,289	43	2,506	9,132	7,200	0.64	Time limit
實驗組 IP-B	1,350	19,334	43	2,525	9,158	120	1.31	Time limit
實驗組 IP-C	1,350	19,325-	43	2,624-	9,112	115,520	0.01	Optimal

表 4-3 以整數規劃 IP 運算求解分析，實驗組 C 花費 115,520 秒運算得最佳解，實驗組 IP-A 7,200 秒求解結果如預期也較對照組佳，實驗組 IP-B 120 秒求解結果與對照近乎相同，因運算的時間越長理當可得到較佳的求解結果；。逐一比較實驗組各項求解表現：在限制期間的條件下，實驗組期初庫存、友廠借調、目標式、GAP 等變數求解結果差異不大。32 小時可得最佳解，較對照組 600 秒的目標式少 0.2%；7,200 秒較對照組 600 秒的目標式少 0.01%，多花 60 倍的時間優化的績效僅 0.1%，如何權衡求解時間和與品質亦可再下一段進行探討。

圖 4-1 為簡例測試對照組、實驗組 IP-A、實驗組 IP-B 三組求解結果的目標

值趨勢，由圖示可知下降幅度在 CPU Time 1000 秒時皆已收斂趨於平緩，至 1,500 秒~3,000 秒之間陸續可再求得更佳解，但更佳解並無明顯下降，可推論本模型求解在 CPU Time 600 秒附近即可得到趨近最佳的解。

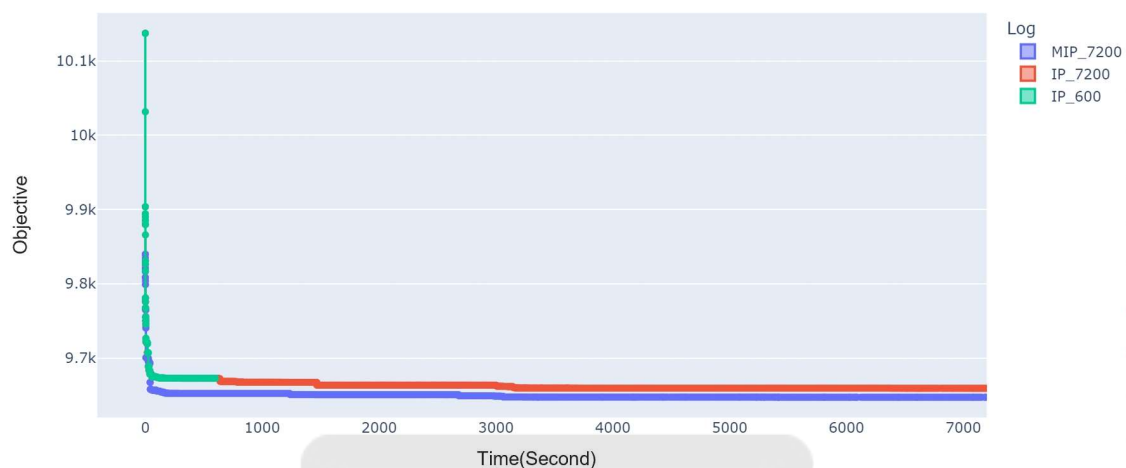


圖 4-1 簡例測試結果目標值收斂趨勢圖

再進一步將 I 公司實際 180 天的出貨數量分五組，每組含 60 天的出貨數據，如表 4-4，以整數規劃 CPU Time 600 秒分組進行求解，觀察每組數據目標式求解結果與收斂趨勢，整理如圖 4-2。可看出每組目標式求解趨勢相近，100 秒內已收斂平緩，100 秒後無顯著更佳解。經這幾組數據驗算可知，CPU Time 600 秒運算的趨勢是一致的，並無顯著異常，故本研究後續將以整數規劃 CPU Time 600 秒來進行比較與分析。

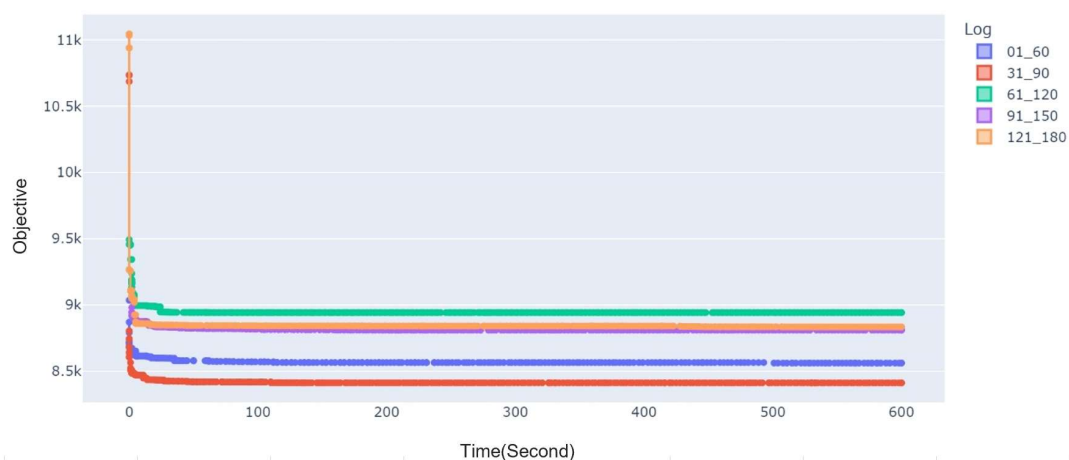


圖 4-2 600 秒 IP 多方測試結果目標值收斂趨勢圖

求解方案來進行空箱決策，合計總成本為新台幣 810 萬元，模型求解表現總共可降低成本新台幣 525 萬元(36.6%)。

表 4-5 60 天模型求解與人工績效比較表

組別	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	CPU Time	GAP (%)	Status
Gurobi	1,288	0	19,050	39	2,663	8,099K	600	0.83	Time limit
人工	1,350	1,000	45,419	125	569	14,352K	-	-	

而根據數值分析的結果可知，模型可模擬未來 60 天的各面向情況，提前向友廠進行借調以減少購買與庫存成本，並適時適量的安排海外客戶歸還包裝空箱，減少物流成本同時避免徒增廠內庫存。而人力作業對未來變異的掌握有限，為將包裝空箱短缺的風險降至最低，會要求海外客戶一旦達到滿櫃的包裝空箱數量，則直接要求滿櫃歸還；若預估未來可能有缺口會傾向直接進行購買，因為向友廠借調的有數量與歸還時間的限制，很難確實管控；應證了人力作業的想法直觀無法如數學模式的求解全盤地考慮，使得人工作業的績效較差。求解結果證明，本研究的模型決策可在短時間內獲得近似最佳解，較人工作業更具顯著的效率與效益。

4.3 敏感度分析

在敏感度分析部分，藉由調整參數去觀察包裝空箱配置的變化，進而探討各參數對於本模型求解的表現與影響，本研究選擇以下五個變數做為敏感度分析，統整如表 4-6。

(1) 儲放空間：是指包裝空箱在各區域所存放所需要的空間，在實務業界中倉儲

空間泛指自動倉、平置倉、貨架等能存放貨物或包裝空箱的空間。通常空箱的儲放空間都是使用企業既有的儲位空間，再依各類儲放物品的需求來進行分配。將透過調整倉儲空間參數以評估其對目標式與求解過程的影響，進一步探討是否越高的空間配置對空箱的決策調度越有正面的作用。

- (2) 出貨變異：在實務中出貨的需求總是一直在變動，淡旺季的交替中，需求起伏更是有明顯的落差，此處將探討本模型對於需求變異的設定會有什麼求解表現，以及模型能否有效的反應各種可能發生的情況，並協助決策者提前進行反應。
- (3) 庫存成本：是指每單位空箱存放的成本，包含軟硬體設備與人力的部份，實務上是既有的企業資源分配而來，若有過量的需求則需要額外的人力加班或購置。利用庫存成本的變動，來觀察評估其對購買或調度的影響。就實務上企業傾向將出貨的空箱盡快的安排歸還，確保廠內的空箱數量是越高越好，避免臨時大量的需求造成短缺；此處將同時探討實務上此決策行為是否為合理並符合效益的。
- (4) 國際物流：因國際物流相對其他成本是高價的，通常包含海運、空運，本研究對象 C 廠的國際物流的成本目前設定為海運貨櫃，以每櫃為成本單位，依櫃內裝載的空箱數量平均分攤每顆空箱的物流成本。國際物流的成本與日俱增，就模型設計來說並非可控的因素，但因物流的形式是可以選擇的，例如貨櫃的大小、散箱集運、空運等。此處將分析國際物流成本對運算求解的影響，並探討如何有效決策國際物流的形式。
- (5) 模擬週期：由於未來需求越遠月準確性越低，一般業界以四到六週為模擬週期，本模型運算求解以 60 天為單位，為探討模擬的準確性，取研究標的 180 天的出貨計劃進行模型運算，分別一次 180 天的模擬與切割分組分次模擬，比較模型二種方式運算求解的結果，用以評估模型最佳模求解時間、模擬天數、求解品質的最佳參數。

表 4-6 敏感度分析測試列表

敏感度測試參數		測試範圍
儲放空間	u_i	$u_i=1000$ 、 $u_i=1350$ 、 $u_i=\infty$
出貨變異	d_{ik}^t	定值=90、淡季、旺季、高變異
庫存成本	c_i	$c_i=6$ 、 $c_j=8$ 、 $c_k=2$
	c_j	$c_i=0$ 、 $c_j=0$ 、 $c_k=0$
	c_k	$c_i=6$ 、 $c_i=8$ 、 $c_k=20$
國際物流	c_{ki}	$c_{ki}=41,600$ 、 $c_{ki}=60,600$ 、 $c_{ki}=20,000$
	Q	Q=104 & $c_{ki}=41,600$
	c_{ki}	Q=40 & $c_{ki}=30,000$
模擬週期	0~180	一次運算 180 天的出貨計算。 將 180 天資料分為五組，每組計劃 60 天，第二組開始初始資料承接前組期末資料，每組取前 30 天運算結果進行加總。

4.3.1 空間限制變動對總成本之影響

因公司內倉儲空間會依各廠需求進行分配，過多的庫房配置會浪費企業資源，過少的庫房配置則影響營運或因此徒增物流成本；為能妥善運用庫房空間，評估庫存空間對於最佳化的影響，在存放空間的內部成本中，本廠 i 佔較大比例，而外部客戶 k 屬外部成本，故此小節驗證參數設定依表 4-1，僅調整本廠空間上限 u_i 的部份。存放空間限制模擬結果如表 4-7，將 u_i 分別設為 1,302、1,350、無上限進行運算求解，CPU Time 600 秒，每組後段廠總出貨數皆為 3,000，每組外部客戶總出貨數皆為 5,400。經過反覆的運算測試，空間上限 1,301 以下無法運算，也就是說在參數 4-1 的狀況下，庫存上限至少必須為 1,302。

表 4-7 空間上限敏感度分析模擬結果

空間上限 模擬組別	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_j^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_k^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	目標式 (K)	GAP (%)	Status
$u_i = 1,301$	ERROR								
實驗組 A $u_i = 1,302$	1,302	173	19,146	4,170	6,568	43	9,168	0.01	Time limit
對照組 $u_i = 1,350$	1,350	120	19,327	4,162	6,513	43	9,133	0.81	Time limit
實驗組 B $u_i = \infty$	1,466	0	20,681	4,017	6,738	43	9,103	1.03	Time limit

實驗組 A 與對照組比較，實驗組 A 空間上限 1,302 是目前模擬參數的最低標，將庫存上限縮減 0.6%，則目標式增加 0.4%，推論庫存空間限制並非越低越好，不過兩組差異並不顯著。接續實驗組 B 將空間上限的限制取消，設定 $u_i = \infty$ 與對照組比較：期初庫存增加 116(8.6%)、購買數降為 0、借調數增加 14.8%，目標式減少 30K(0.3%)；就絕對數據而言，期初庫存增加 116，能減少總成本 30K，空間限制與期初庫存在 1,466 為更佳解，。

依此三組求解結果觀察，本模型在庫存空間配置小於最佳解前，期初庫存配置會貼著庫存上限安排；越少的限制式理當可得到最佳的求解結果，透過取消本廠空間限制，本模型求解出最佳期初庫存，此期初庫存數可視為最佳的空間上限，提供決策者評估最佳的庫存空間配置。

4.3.2 出貨計畫變異程度對總成本之影響

因產業中實際出貨需求是隨時在變化調整的，本節將調整外部客戶出貨的變異來觀察模型運算求解過程與決策的有效性。參數設定以表 4-1 為主，僅調整外部客戶出貨計劃 d_{ik}^t ，對照組為每日固定 90，實驗組調整不同的平均值、標準差分別進行最佳化運算，連續 60 天運算求解結果如表 4-8，CPU Time 600 秒。

由實驗組 A 與淡季組求解結果可看出本模型可依需求變異彈性調整友廠借調、購買數量、回廠櫃數，出貨數量等各項決策以達成出貨目標，模型最佳化求解有效性極佳。旺季組出貨的需求增加，原設定 $u_i = 1,350$ 無法求解，代表現有的存放空間不足以供應旺季需求；經反覆測試， $u_i = 1,550$ 模型開始可運算求解，期初空間至少要 1,550 方可滿足旺季需求。因受限存放空間，變異過高或需求過高可能造成模型無法運算求解，可依 4.3.1 小節的分析，取消存放空間的限制，將 $u_i = \infty$ 求解出最佳期初庫存，再依最佳期初庫存需求重新配置最適存放空間。

表 4-8 出貨計畫敏感度分析模擬結果

d_{ik}^t 模擬	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	$\sum_{t=0}^{60} d_{ik}^t$	GAP (%)
對照組 mean=90 $\sigma=0$	1,350	120	19,327	43	2,528	9,133	5,400	0.81
實驗組 A mean=90 $\sigma=36$	1,350	856	20,037	38	972	12,389	5,400	0.36
淡季組 mean=52 $\sigma=0$	882	0	16,564	23	2,570	5,460	3,120	1.08
淡季組 B mean=52 $\sigma=36$	1,074	0	20,092	20	1,157	6,218	3,120	0.68
旺季組 mean=104 $\sigma=0$	1,550	217	20,546	49	2,303	10,804	6,240	0.29
旺季組 B mean=104 $\sigma=0$ $u_i = \infty$	1,767	1	23,559	49	1,391	10,779	6,240	0.29

從實驗組 A 跟對照組比較分析，兩組出貨數量一樣，實驗組 A 出貨計畫標準差提高為 36，則成本增加 35.7%；同樣的將淡季組與淡季組 B 比較，兩組一樣是相同的出貨目標，變異數高 36 的淡季組 B 成本多 13.9%；由此可知出貨計劃的變異確實會影響成本。再將實驗組 A 與旺季組比較分析，旺季組標準差為

0，總出貨數較實驗組 A 多 16%，但目標式反而減少了 13%。詳細分析模型求解過程得知，因旺季組的變異低，減少無謂的成本虛增，例如在實驗組 A 會因為需求的高低起伏，海外回廠櫃並不一定會滿櫃回廠而造成海外物流每箱的單位成本增加。另外補充，求解旺季將庫存空間上限的限制式取消，求解結果如旺季組 B，將旺季兩組比較，將期初庫存提升至 1,767(14%)，可降低總成本 0.2%。意即旺季時期初庫存可配置在 1,550 與 1,767 之間，同 4.3.1 小節的結論，此處不再陳述。

由前段分析可明確得知出貨變異的確會影響成本，但是否在淡季各項限制皆餘裕的狀況下，出貨的變異對成本影響不大？接續取淡季組為對照，同樣 mean=52，調整標準差的係數來進行實驗求解，分析研究變異與成本之間的相關性。實驗組求解結果統整如表 4-9，分別將標準差設為 0、12、23、36。

表 4-9 出貨計畫變異程度模擬結果

d_{ik}^t 模擬	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	$\sum_{t=0}^{60} d_{ik}^t$	GAP (%)	Status
淡季組 mean=52 $\sigma=0$	882	16,564	23	2,570	5,460K	3,120	1.08	Time limit
淡季組 B mean=52 $\sigma=12$	897	16,345	24	2,332	5,558k	3,120	0.29	Time limit
淡季組 C mean=52 $\sigma=23$	908	16,709	24	2,579	5,628K	3,120	1.00	Time limit
淡季組 D mean=52 $\sigma=36$	1,074	20,092	20	1,157	6,218K	3,120	0.68	Time limit

將標準差與成本連動關係分析如表 4-10，明顯可看出標準差越高，成本越高。標準差=12，對目標式影響的邊際係數僅 1.8；標準差=23，對目標式的影響的邊際係數為 7.3，提高了 4 倍；標準差=36，對目標式影響的邊際係數為 21，再提高約 12 倍。依目標式與標準差兩者間的連動關係繪出圖 4-3 多項式一元三

次趨勢曲線圖，可知標準差與目標式的連動為正相關，並且呈倍數遞增，標準差越大對成本的邊際影響越高。

表 4-10 出貨計畫變異程度與成本的連動關係分析

σ	目標式(K)	目標式增加比率(%)	σ 對目標式影響的邊際係數
$\sigma+12$	+98K	+1.8%	1.8
$\sigma+23$	+168k	+3.1%	7.3
$\sigma+36$	+758K	+13.9%	21

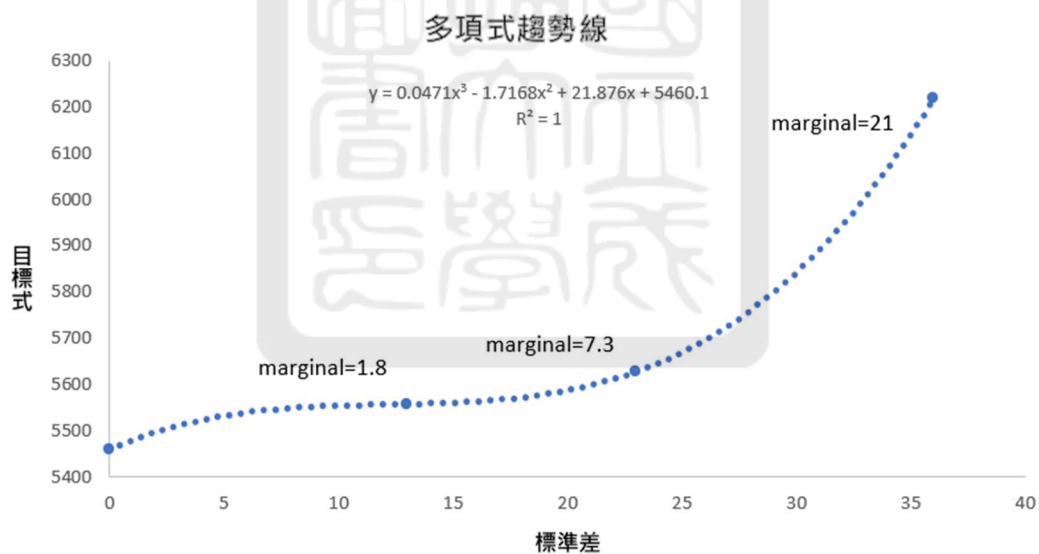


圖 4-3 標準差與目標式關係線性趨勢線圖

由上述分析可知，出貨計畫的變異顯著影響總成本，每日出貨數量越平準越能節省成本支出，實務上應該無法達到出貨計劃標準差=0 的理想境界，不過可適當控制在標準差 23 以內，總成本增加為 3.1% 以下，也就是每 1000 萬成本增加上限為 31 萬；若標準差高於 36，則總成本增加了 13.9%，每 1000 萬成本增加上限為 139 萬；故決策者可透過出貨計劃的標準差，預估未來可

能增加的成本，再利用商業斡旋適當提出客戶折讓，以控管出貨平準率，提升營業利潤。

4.3.3 庫存成本變動對總成本之影響

本研究的庫存成本是指倉儲運作、倉儲軟硬體設備的部份，包含空間、倉儲設備/系統、管理人力。通常是使用既有的倉儲空間，業界也有承包租賃的倉庫及設備的情況，各區域地點會有不同的人力、空間成本。在 4.2 實例驗證中，庫存成本 c_i 、 c_j 、 c_k 是使用現有的庫存設備與人力，庫房存放單位成本不高。本小節藉由調整庫存的單位成本的極大與極小倍數來觀察此變化對整體成本與庫存之影響。參數如表 4-1，僅分別調整 c_i 、 c_j 、 c_k 進行最佳化求解，CPU Time 600 秒，各組出貨至後段廠的數量皆為 3,000，各組出貨至外部客戶數量皆為 5,400，其餘變數求解結果如表 4-11。

表 4-11 庫存成本敏感度分析模擬結果

模擬組別	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	GAP (%)	CPU Time
對照組 $c_i=6$ 、 $c_j=8$ 、 $c_k=2$	1,350	120	19,327	2,528	9,133	0.81	600
實驗組 A $c_i=0$ 、 $c_j=0$ 、 $c_k=0$	1,350	119	19,207	2,595	8,970	0.74	600
實驗組 B $c_i=6$ 、 $c_j=8$ 、 $c_k=20$	1,350	122	19,333	2,584	9,259	0.79	600

實驗組 A 將庫存成本全數設為 0，購買箱數減少 0.8%、本廠總庫存數減少 0.6%、借調增加 2.7%、目標式減少 1.8%，各項變數表現並無明顯的差異；實驗組 B 將海外客戶庫存成本增加為 20(10 倍)，相較對照組其購買箱數加增 1.7%；即便海外客戶成本增加至 20(10 倍) 仍對模型整體運算結果與目標式無顯著影響。

從兩組實驗判斷，目標式與庫存成本為正相關，但相關影響不顯著，庫存成本對於模型整體運算結果與目標式無顯著影響。推論因相較於購買成本每單位 4,800、海外回櫃成本平均每單位 40、借調物流成本每單位 50，庫存的成本佔總成本的比例是相對偏低的，除非庫存成本的調整為遠高於物流或接近購買成本，方可能對運算結果有顯著影響。

雖然 c_i 、 c_j 、 c_k 對於目標式無顯著影響，但求解過程得知各地點的成本會影響各地點庫存數的配置，從表 4-11 中 60 天總庫存量欄位 $\sum_{t=0}^{60} I_i^t$ 分析，本廠庫存成本較高 $c_i > c_k$ 時，本廠空箱的配置的數量降低，反之 $c_k > c_i$ 會導致客戶端增加回廠的數量，模型會儘量將空箱配置在本廠，以減少客戶端的庫存成本。

結論因為各項成本之間落差較大，各項成本間的調整若不影響成本之間的相對比率，則對目標式不會有顯著影響，依實際狀況庫存成本對目標式無顯著影響，不過各地點的成本會影響庫存數量的配置。

4.3.4 國際物流成本對總成本之影響

國際物流是本研究模型中各項成本最高價的部份，且依當今國際趨勢將與日俱增，本節將透過調整佔比最高的國際物流的成本來觀察此參數之變異對整體成本與庫存之影響，本模型攸關國際物流成本的部份為貨櫃運輸成本 c_{ki} 、貨櫃裝載上限 Q 。參數如表 4-1，第一部份調整 c_{ki} 進行最佳化運算，CPU Time 600 秒，運算求解每組出貨至後段廠的數量皆為 3,000，每組出貨至外部客戶數量皆為 5,400，其餘變數模擬結果如表 4-12。

表 4-12 貨櫃成本敏感度分析模擬結果

模擬組別	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	GAP (%)	CPU Time
實驗組 A $Q=104$ $c_{ki}=20,000$	1,350	115	19,521	44	2,527	8,201K	0.63	600
對照組 $Q=104$ $c_{ki}=41,600$	1,350	120	19,327	43	2,528	9,133K	0.81	600
實驗組 B $Q=104$ $c_{ki}=60,600$	1,350	140	19,606	43	2,551	9,956K	1.06	600

實驗組 A 的貨櫃成本減少 48%，與對照組比較僅相對的減少目標式的總數 10%，其他變數並無顯著影響；實驗組 B 每貨櫃成本增加 145%、回廠櫃數不變、購買箱數增加 17%，其他變數並無顯著影響；故貨櫃成本的異動除了等比影響單位成本的高低外，因海外物流成本增加過多將減少回櫃數量，讓決策傾向增加友廠借用調度並適量的增購包裝空箱。與 4.3.3 章節的結論同樣的部份，各項成本之間落差較大，即便物流成本增加 1.5 倍，購買數量呈正相關的微幅變化，回廠櫃數呈負相關微幅變化；整體推論，貨櫃成本的調整對模型整體運算結果與目標式影響並不顯著。

國際物流貨櫃有各尺寸大小之分，另外還有散裝集運的方式，以本研究標的包裝空箱主要使用 40 呎、20 呎兩種尺寸貨櫃，對照組以標準 40 呎櫃($Q=104$ 、 $c_{ki}=41,600$)求解，此小節再進一步使用 20 呎櫃($Q=40$ 、 $c_{ki}=30,000$)模擬求解，以分析貨櫃大小除了影響回廠次數，額外對決策與目標式的差異；同時再加以研究是否能推測出貨櫃容量與成本之間最佳的比例關係。

模擬參數如表 4-1，第二部份分別調整 c_{ki} 、 Q 參數，CPU Time 600 秒，60 天運算求解每組出貨至後段廠的數量皆為 3,000，每組出貨至外部客戶數量皆為 5,400，其餘變數模擬結果如表 4-13。

表 4-13 貨櫃大小敏感度分析模擬結果

模擬	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式(K)
對照組(40 呎櫃) $Q=104$ 、 $c_{ki}=41,600$ (單位成本 400)	1,350	120	19,327	43	2,528	9,133K
實驗組 A(20 呎櫃) $Q=40$ 、 $c_{ki}=30,000$ (單位成本 750)	1,350	140	19,778	106	2,595	10,626K
實驗組 B $Q=52$ 、 $c_{ki}=20,800$ (單位成本 400)	1,350	123	19,851	84	2,605	9,112K
實驗組 C $Q=52$ 、 $c_{ki}=33,800$ (單位成本 650)	1,350	129	19,449	83	2,663	10,202K

實驗組 A 減少每櫃裝載量，海外物流每箱單位成本增加 87.5%，雖然回櫃數提升 146%，卻也增加購買數 17%、目標式增加 16.36%，原預期較小的貨櫃可以增加週轉率，減少購買包裝空箱的數量，但因為小貨櫃單位成本相對購買包裝空箱成本是較高的，庫存空間足夠的前提下，決策傾向新購包裝空箱來降低物流成本；表示物流單位成本過高，雖然增加週轉率，但對整體成本來說實際效益是降低的。

實驗組 B 則維持與對照組相同的單位成本 400，回櫃效率提升 195%，且目標式減少 0.2%，顯然實驗組 B 提升了週轉效率，同時也得到目標式更佳解。但實驗組 B 維持單位成本但增加近 2 倍週轉率只是理想假設，考量市場實際狀況，在實驗組 A、B 之間的單位成本反覆試驗，得出實驗組 C。實驗組 C 單位成本 650，可同時維持 195%的回櫃效率，並微幅降低各項成本，較實驗組 A 減少目標式 4%。以上實驗結論可得，為提升物流效或考量無法運用 40 呎櫃(每箱

成本 400)的情況下，決策者可選擇每箱成本 650~750 之間的貨櫃尺寸，可得較 20 呎櫃(每箱成本 750)更佳的成本效益，每箱成本越趨近 650 則效益越佳。

4.3.5 模擬週期對目標式之影響分析

本研究模型目標是最少成本，運算的期數越長，資料量倍增，模型運算的時間會呈倍數增加，且因 60 天後的資料變異較高。本節將大量的模擬資料進行分組運算求解，探討是否能有效提升求解效率同時確保求解品質。

實驗組將 180 天的出貨計劃分割為五組分次運算後結果合計，再與對照組一次運算 180 天的結果進行比較。對照組實際運算連續 180 片的出貨計畫。實驗組：每 60 天為一單位，分五次運算：第 1~60 天、第 31~90 天、第 61~120 天、第 91~150 天、第 121~180 天；每次運算結果取前 30 天資料進行合計。參數設定以表 4-1 為主，僅調整外部客戶的出貨計劃 d_{ik}^t 如表 4-4，180 天運算求解每組出貨至後段廠的數量合計皆為 9,000 每組出貨至外部客戶數量合計皆為 14,733，其餘變數求解結果如表 4-14。

表 4-14 180 天不同 CPU Time 模擬結果分析

CPU Time	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} x_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	GAP (%)	Status
實驗組：43,200 秒	1,350	485	44,812	4,211	15,098	1.74	Time limit
36,000 秒					15,099	1.75	
21,600 秒					15,105	1.79	
對照組：7,200 秒	1,350	487	44,481	4,219	15,106	2.35	Time limit

先設定不限時間運算，因資料量大耗時 120,000 秒系統顯示資源不足，無法完全運算結果；再將實驗組設定 CPU Time 43,200 秒讓系統運算，途中紀錄 GAP 收斂的狀況與目標式，21,600 秒時已與 7,200 秒的目標式近似，僅相差 0.9%、

GAP 差異 0.61%。7,200 秒與 43,200 秒的目標式差異僅 0.5%、GAP 差異 0.66%；可推論 7,200 秒與 43,200 秒的運算求解結果相近，考量決策效率，運算求解 CPU Time 7,200 秒的結果較佳。

接著將實驗組分為五組，每組資料量為 60 天，每組 CPU Time 1,440 秒，且第 2~5 組初始資料須承接前一組；第 1~4 組只取前 30 天運算結果，第 5 組則直接計算 60 天的目標式；合計五組 CPU Time 共 7,200 秒，將此五組運算堂結果合計與對照組 7,200 秒進行比較分析，180 天運算求解每組出貨至後段廠的數量合計皆為 9,000，每組出貨至外部客戶數量合計皆為 14,733，其餘變數求解結果如表 4-15。

表 4-15 模擬週期(資料量)敏感度分析模擬結果

模擬	I_i^0	$\sum_{t=0}^{60} I_i^t$	$\sum_{t=0}^{60} \bar{x}_{bi}^t$	$\sum_{t=0}^{60} (x_{fi}^t + x_{if}^t)$	目標式 (K)	CPU Time
對照組：不分組求解	1,350	44,481	136	4,219	15,106K	7,200
第 1 組：t=1~60	1,288	12,602	17	1,080	7,084K	1,440
第 2 組：t=31~90	200	6,040	25	1,552	1,565K	1,440
第 3 組： t=61~120	200	6,081	25	1,604	2,143K	1,440
第 4 組： t=91~150	200	6,067	26	1,627	1,472K	1,440
第 5 組： t=121~180	200	12,029	48	3,143	3,056K	1,440
實驗組：分組求解	1,288	42,819	141	9,006	15,320K	7,200

運算求解可知，實驗組分組求解目標式多 1.4%，其他變數差異不大：期初庫存少 4.6%、購買數量少 9%、本廠總庫存數多 3.7%，但友廠借調增加 213%。整體比較分析實驗組分組求解的表現較對照組佳，唯友廠借調的部份有顯著差異。經求解過程分析，對照組不分組求解，有一段近 80 天的期間友廠借調數量偏低

或為 0，研判可能 180 天的數據量在 CPU Time 7,200 秒時，還未求得最佳解。

但就實驗組與對照組比較，兩組目標式差異不大僅 1.4%，實驗組友廠借調數多 156%、購買數少 9%，但因為借調單位成本 50、購買單位成本 4,800，換算為成本金額，友廠借調成本實驗組多 239,350，購買成本實驗組少 297,600，兩項成本一增一減，不顯著影響對照組與實驗組的目標式的差異。兩組決策配置不同，亦可能解釋為線性規劃方程式具有多重最佳解，故每次運算同樣的最佳解可能產生不同的變數配置。

由此結論可推知，運算求解透過分割資料量，除了有效提升系統模擬的效率，運算表現亦貼近最佳解，同時考量業界八週後的出貨需求不確定性越高，若僅取近 60 天的出貨需求進行模擬，協助 30 天內決策更符合效率。

4.4 小結

本章介紹模型測試資料的參數設定，模擬整數規劃、混合整數規劃對於模型求解差異與目標式，推論以整數規劃運算 600 秒的結果是具參考指標與模擬效率的。並將整數規劃 600 秒運算結果與業界實務比較，如表 4-5 模型顯著降低 43.6% 約 525 萬的成本；測試結果證明本模型決策是有顯著效益且符合決策效率。接著透過五種參數的調整，分析該參數對於數學模式的求解差異與目標式的影響。

空間限制：妥善的倉儲空間配置，可避免浪費企業資源、影響營運或徒增物流成本。在參數表 4-1 設定下，本模型在空間限制 1,301 以下無法運算，可判斷至少期初庫存與空間限制為 1,301；若在不設定空間限制條件下，模型依各項成本的高低，運算出更小的目標式。由此可知，本模型可透過空間限制的參數調整，輔佐決策出最佳的期初庫存預備數量、最適的庫存空間配置。

出貨變異：產能並非隨時都有計畫安排，故進行變異數高低、旺季、淡季的情況模擬比較分析。在參數表 4-1 設定下，淡季因出貨數量低，相對的包裝空箱

需求、物流成本、庫存數量都較低。在需求變異很高的狀況下，模型會隨著出貨需求彈性調整友廠借調、購買數量、回廠櫃數。在旺季時，模型在原設定參數 $u_i=1,350$ 無法運算，代表 1,500 的期初庫存，已不足以供應旺季需求； $u_i>1,550$ 模型開始有運算結果。可推知本模型在出貨需求隨時變異的情況下，仍可有效支援期初庫存、空間配置的決策。同時出貨計畫的變異顯著影響總成本，出貨越平準越能節省不必要的成本支出，可適當控制標準差 23 以內，總成本會增加在 3.1% 以內，也就是每 1000 萬成本增加上限為 31 萬；若標準差高於 36，則總成本增加了 13.9%，每 1000 萬成本增加上限為 139 萬；故決策者可透過出貨計劃的標準差，來預估未來可能增加的成本，利用商業斡旋適當提出客戶折讓，以控管出貨平準率，提升業務利潤。

庫存成本：購買成本 4,800、海外回櫃成本平均每單位 40、借調物流成本每單位 50，庫存成本相較於其他成本是相對偏低的。藉由庫存成本的調整可知，較低的成本對於模型整體運算結果與目標式無顯著影響。推論若庫存成本遠高於物流或購買成本，方可能對模型運算結果與目標式有顯著影響；但因不符合產業實際狀況，故本研究不續做高庫存成本的相關模擬與分析。不過可利用模型調整各地點的庫存本來模擬預估庫存的流向與配置

國際物流成本：國際物流是單價最高的成本，且依當今國際趨勢將與日俱增，本模型中國際物流成本分別有貨櫃單價、貨櫃大小二項。在貨櫃單價增加 145% 的情況下，總成本正相關 17%；貨櫃單價減少 48%，總成本負相關 10%，推論貨櫃單價對於目標式並無顯著影響，貨櫃成本的異動因海外物流成本增加過多將減少回櫃數量，讓決策傾向增加友廠借用調度並適量的增購包裝空箱。再比較 40 呎、20 呎貨櫃分別對模型的效益，40 呎櫃每包裝空箱單位成本 400、20 呎櫃每包裝空箱單位成本 750，使用 20 呎櫃國際物流成本增加 80%，目標式增加 16%，新購箱數 19%。由此推知，貨櫃單價對目標式的影響不顯著，但貨櫃大小對目標式的影響是顯著的。因為單位成本增加 1.9 倍，小櫃增加週轉率，但無法有效減

少購買包裝空箱的數量，對整體成本決策來說，使用小貨櫃的對模型決策不具效益。再進一步反覆模擬，得到單位成本 650，可同時維持 195%的回櫃效率，並微幅降低各項成本，較實驗組 A 減少目標式 4%；意謂在提升物流效率的前提下，決策者可考量單位成本趨近 650，則可得較 20 呎櫃更佳的成本效益。

模擬週期：取業界實務出貨需求 180 天進行模擬，對照組進行一次 180 天出貨計劃數據模擬，因資料量大耗時了 120,000 仍無法求得最佳解；在限定時間求解後，得出 7,200 秒與 43,200 秒的目標式差異僅 0.5%、GAP 差異 0.66%，推測對照組 7,200 秒的運算具合理指標性。實驗組將資料切割每 60 天一小組進行運算，共五組合計 7,200 秒，同樣運算 7,200 秒實驗組與對照組比較，目標式差異僅 1.4%，除友廠借調的數量有顯著差異；因線性規劃多具重最佳解的因素，故每次運算同樣的最佳解可能產生不同的變數配置。結論得出 180 天的資料取前 60 天模型運算，可減少模型運算時間，運算表現也貼近最佳解，運用在決策上效率高且具參考指標。

第五章 結論與未來研究建議

本研究主要針對公司產品出貨所需之能重複使用的包裝空箱進行控管，藉此拉長該有價資源的生命週期，降低生產成本，以數學規劃建立空箱管理模型，與海運的空箱調運問題類似，將包裝空箱的倉儲限制、庫存成本、採購成本、物流成本、物流時程等各種會影響包裝空箱庫存水位且發生機率較高的變數納入考量，預估各區域地點包裝空箱庫存數量，以滿足出貨需求前提下，利用最佳化軟體 Gurobi 求解整數規劃最佳解，以最小總成本為目標式，尋求本廠出貨端與後段廠、友廠、客戶、包裝空箱商之間的最佳空箱調度與庫存數量等物流決策，協助公司針對不同的需求或價格變化情境預做沙盤推演，擬定與評估突發狀況的因應方式。

為排除不可控的雜訊，本研究假設：(1)物流天數預設為無異常發生的天數，不考量季節、氣候、淡旺季的因素。(2)海外物流僅以海運為預估，不考量特殊狀況的空運。(3)假設物流時間為已知常數：新空箱購入需 30 天、友廠借調需 4 天、後段廠歸還物流需 1 天、客戶歸還物流需 7 天。(4)假設出貨至後段廠的數量為固定的，依外部客戶待歸還空箱的庫存水位而訂定預估客戶可歸還的數量。(5)因日常耗用而損壞的報廢率預估為常數，本模型將依年度平均之日報廢數量來預估報廢率。(6)僅單一種類包裝空箱來進行數學建模。(7)友廠借入的損壞數量不計入報廢比率中。以下臚列本論文的具體貢獻，並建議未來可能的研究方向。

5.1 研究結論與貢獻

本研究以面板產業 I 公司之 G4.5 代玻璃尺寸的 C 廠實際出貨資料進行研究，依出貨計劃預估可能性的需求缺口，預先進行出貨廠房之空箱庫存數量的最佳決策。在滿足出貨需求的前提下，考量包裝空箱的倉儲限制、庫存成本、採購成本、物流成本、物流時程等因素，協助企業擬定最佳之期初庫存、倉儲空間、購買數

量、借調週轉、歸還安排等決策，具體貢獻如下：

1. 平展業界、普遍適用：本模型以面板廠出貨用重複使用的包裝空箱為研究，亦可推廣至其他有使用重複包裝空箱的企業間，不限制產業，視企業或產品調整模型參數，即可用以計算出符合企業最小成本。
2. 隨機應變、彈性調整：實務上每個調度決策是牽一髮動全身，各項參數、變數之間是加乘影響且複雜的，業界採人工管理無法宏觀全面考量同時預判決策後未來 60 天內所有產生的變數與其後續的連鎖影響；但透過本數學模型，只要輸入未來出貨計劃，即可求解未來每一個時間點可能發生的短缺問題。
3. 即時反應、提升效率：市場的需求調整與變動已是常態，本模型可於 600 秒運算時間內求解出近似最佳解供決策參考，更甚僅運算 120 秒的求解結果亦具有參考性，若客戶臨時調整需求，模型仍可以迅速反應出相對應的決策方式，輔佐企業更快更有效率調整策略反應市場變化。
4. 降低成本、提高利潤：業界在進行包裝空箱管理多採取人工及經驗法則，輔以電腦文書處理系統進行，此作法費時費力且無法達到企業成本最小化，本研究確實可以透過模型的預估有效減少 36.6% 的成本。
5. 全面考量、預先決策：本模型可以同時協助提供多項包裝空箱管理的預先決策，包含期初庫存最佳配置、最適庫房空間配置、友廠借調時間點與數量、新購包裝空箱的時間點與數量、空箱歸還的時間點與數量。
6. 出貨平準與成本關係係數：發現出貨計劃與總成本之間的關係係數，當出貨標準差低於 23，總成本增加在 3.1% 以內，也就是每 1000 萬成本增加上限為 31 萬；若標準差高於 36，則總成本增加至 13.9%，每 1000 萬成本增加上限為 139 萬；企業決策者可透過出貨計劃的標準差，來預估未來可能增加的營運成本，利用商業斡旋適當提出客戶折讓或定價政策，策略性的影響客戶出貨需求，提升出貨平準率，確保營業利潤。

5.2 後續研究與建議

產業界實務上生產至出貨要考量的議題很多，本研究模型排除了部份影響因子，因此後續研究可以再針對這些假設來增加限制，使得求解結果更加精確且更符合實際企業狀況。在此提出下列建議：

1. 本研究所使用之出貨計劃屬企業機密，僅採用某段期間實際資料模擬，未來將模型導入企業中時，可使用更準確及完整的資料來進行運算測試，連續一段期間，每週更新並驗算調整參數，持續更新改善修正模型將可更貼近實務。
2. 本研究以面板產業 C 廠出貨計劃為對象，該廠目前後段廠、友廠與出貨客戶皆只有一個，後續可增加後段廠出貨目的地，或增加客戶數並區分為海外或台灣境內，以符合各產業的狀況。
3. 本研究國際物流僅設計單一物流(海運或空運)且單一物流運輸上限(40 呎櫃或 20 呎櫃)，後續研究可將物流方式設為決策變數，如海運、空運、散櫃、貨櫃大小，讓模型協助決策最適的物流方式。
4. 本研究僅針對為單一類的包裝空箱，部份企業可能有同一產品不同包裝空箱的模式，後續設計增加包裝空箱的種類，將包裝空箱的類別設為決策變數，讓模型依每批不同出貨需求協助選擇最佳包裝空箱類別。
5. 本研究報廢狀況依過去經驗法則判斷變異極低，故設計為固定參數。若未來應用之包裝空箱的報廢率高且變異大時，可參考 Kelle & Sillver (1989) 的研究，利用統計方法計算重複使用空箱的生命週期，將報廢率設計為變數可更貼近實務需求。
6. 本研究發現出貨計畫變異大時會增加總成本，目前模型假設客戶投入跟還貨方式為固定規則，若投入或還貨規則變動時，可能會讓影響目標式，建議後續研究可加強還貨規則的複雜度，探討後段入跟還貨的變異於於目標式的連動關係，或許可加強空箱歸還決策的擬定。
7. 本研究模型採用 Gurobi 軟體求解，因為模型為 IP 架構，60 天的模擬週期無法在短時間內由系統完整運算出最佳解，只能限制運算時間進行求解，建議

後續研究上可考慮設計基因演算法、模擬退火法等啟發式演算法來比較，尋求能在更短時間內求得品質更佳的決策。



參考文獻

- Agarwal, R., & Ergun, Ö. (2008). Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping. *Transportation Science*, 42(2), 175-196.
- Alvarez, J. F. (2009). Joint routing and deployment of a fleet of container vessels. *Maritime Economics & Logistics*, 11(2), 186-208.
- Atamer, B., Bakal, İ. S., & Bayındır, Z. P. (2013). Optimal pricing and production decisions in utilizing reusable containers. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 222-232.
- Bell, M. G., Liu, X., Angeloudis, P., Fonzone, A., & Hosseinloo, S. H. (2011). A frequency-based maritime container assignment model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1152-1161.
- Breen, L. (2006). Give me back my empties or else! A preliminary analysis of customer compliance in reverse logistics practices (UK). *Management Research News* 29(9), 532-551.
- Cheung, R. K., & Chen, C. Y. (1998). A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem. *Transportation science*, 32(2), 142-166.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., & Ronen, D. (2004). Ship routing and scheduling: Status and perspectives. *Transportation science*, 38(1), 1-18.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Dejax, P. (1993). Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations research*, 41(1), 102-126.
- Di Francesco, M., Lai, M., & Zuddas, P. (2013). Maritime repositioning of empty containers under uncertain port disruptions. *Computers & Industrial Engineering*, 64(3), 827-837.
- Inderfurth, K., & Langella, I. M. (2006). Heuristics for solving disassemble-to-order

- problems with stochastic yields. *Or Spectrum*, 28(1), 73-99.
- Kelle, P., & Silver, E. A. (1989). Forecasting the returns of reusable containers. *Journal of Operations Management*, 8(1), 17-35.
- Kim, T., Glock, C. H., & Kwon, Y. (2014). A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times. *Omega*, 43, 30-40.
- Klausner, M., & Hendrickson, C. T. (2000). Reverse-logistics strategy for product take-back. *Interfaces*, 30(3), 156-165.
- Lam, S. W., Lee, L. H., & Tang, L. C. (2007). An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 15(4), 265-277.
- Mason, A., Shaw, A., & Al-Shamma'a, A. (2012). Peer-to-peer inventory management of returnable transport items: A design science approach. *Computers in Industry*, 63(3), 265-274.
- Meng, Q., & Wang, X. (2011). Intermodal hub-and-spoke network design: incorporating multiple stakeholders and multi-type containers. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(4), 724-742.
- Pearce, D. W., Turner, R. K., & Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Johns Hopkins University Press.
- Schrady, D. A. (1967). A deterministic inventory model for reparable items. *Naval Research Logistics Quarterly*, 14(3), 391-398.
- Schulz, T., & Ferretti, I. (2011). On the alignment of lot sizing decisions in a remanufacturing system in the presence of random yield. *Journal of Remanufacturing*, 1(1), 1-11.
- Shen, W. S., & Khoong, C. M. (1995). A DSS for empty container distribution planning. *Decision Support Systems*, 15(1), 75-82.
- Sheu, J. B., & Talley, W. K. (2011). Green supply chain management: trends, challenges,

- and solutions. *Transportation Research Part E*, 6(47), 791-792.
- Song, D. P. (2007). Characterizing optimal empty container reposition policy in periodic-review shuttle service systems. *Journal of the Operational Research Society*, 58(1), 122-133.
- Tang, O., & Grubbström, R. W. (2005). Considering stochastic lead times in a manufacturing/remanufacturing system with deterministic demands and returns. *International Journal of Production Economics*, 93, 285-300.
- Teunter, R. H. (2001). Economic ordering quantities for recoverable item inventory systems. *Naval Research Logistics (NRL)*, 48(6), 484-495.
- Wang, S., & Meng, Q. (2011). Schedule design and container routing in liner shipping. *Transportation Research Record*, 2222(1), 25-33.
- Yan, S., Chen, C. Y., & Lin, S. C. (2009). Ship scheduling and container shipment planning for liners in short-term operations. *Journal of marine science and technology*, 14(4), 417-435.
- Yun, W. Y., Lee, Y. M., & Choi, Y. S. (2011). Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 451-457.