

國立政治大學資訊管理學系

碩士學位論文

指導教授:林我聰博士



品牌廠商回收及處理分配決策模式

研究生：陳蔚華

中華民國 101 年七月

# 誌謝

從進入研究所到現在經過了兩年，終於順利畢業並且完成第一個屬於個人的作品，從找題目、找方法一直到最後的論文寫作，面對到許多波折，很開心最後在許多人的幫忙下，能夠順利的準時完成。

首先我要感謝養育我 20 幾年的父母，感謝我的父親陳金勇先生及母親黃蕙芬女士，在我求學的路上一路父母總是最支持我，並且適時的給予我最好的意見，讓我每每在最徬徨的時候，知道自己的身後有家這個最大的靠山，也因為他們讓才讓我的求學生涯能夠無憂無慮的完成，很高興到今年，將近 20 年的學生生涯能夠完美的告一個段落。

接著我要感謝我的恩師林我聰教授，老師總是很親切，並循循善誘、引導我們去發掘、尋找問題所在，訓練我們解決研究問題的能力，老師常說在指導我們的時候，訓練我們邏輯思考的能力，遠遠重要於學習某種單一的技能，非常感謝老師的這種訓練方式，讓我未來不論到哪種產業都能夠順利發展，還記得我在論文完成的前一周，還因為一些問題無法解決感到非常失望，老師還是不斷的細心指導並且鼓勵我，讓我最後能夠順利完成。

感謝我的女朋友許巧瑩，從大學以來就不斷的與我互相勉勵，讓我們可以持續的進步，也謝謝他在我的求學之路上幫助我許多東西，也因為她這份論文才能夠順利完成。

最後要感謝我許多的朋友們，首先感謝實驗室的兩位夥伴，能夠每次一起 meeting 討論，然後要感謝諒諒實驗室的夥伴們，有你們才讓我研究生生活能夠快快樂樂，期待下一次的旅行，還有梁珀瑞與梁翔威兩位同學讓我有問題的時候都能夠向你們請教。

要感謝的人還有太多了，無法一一的列完，我很幸運身邊能夠有這些這麼好的親人、老師與朋友，才讓我的人生都能夠順順利利，儘管有遇到挫折也都能夠迎刃而解，最後再說一句，謝謝大家。

陳蔚華 政治大學資訊管理所

101年8月

# 摘要

逆物流在過去一直不被受到重視，但是在最近不管是世界各國開始制定法規諸如 WEEE、RoHS 等以及消費者環保意識的抬頭，都不得不讓企業開始專注在逆物流供應鏈上面，由於逆物流的不確定因素及成本都遠比過去正物流來的複雜，因此，過去企業往往選擇外包給專業第三方逆物流業者來處理。

然而在過去文獻中指出，其實企業自行建立逆物流供應鏈擁有一些外包得不到的好處，因此，仍然有企業願意自行建立逆物流供應鏈，本研究的目的是在於提出一個最佳化模式，此模式利用非線性規劃先將整個研究模式建立成數學模式，再利用隨機規劃方法來將回收量、回收品質及拆解數量這三項不確定因素考慮進去，接著透過情境的方式來表達未來各種可以能發生的情況，再透過非線性隨機規劃模式來去求得一個綜合各種情境的最佳回收處理分配，最後再利用一個手機品牌廠商來做為範例。

關鍵字：逆物流、隨機規劃、最佳化模式



# 目錄

壹、 緒論.....	5
1.1 研究背景 .....	5
貳、 文獻探討 .....	8
2.1 物流.....	8
2.2 逆物流 .....	8
2.2.1 逆物流定義 .....	8
2.2.3 逆物流模式 .....	11
2.3 逆物流的不確定性 .....	12
2.3.1 穩健最佳化 .....	13
2.3.2 隨機規劃法 .....	14
2.4 小結.....	16
參、 模型建立 .....	17
3.1 研究流程與步驟 .....	17
3.2 研究範圍 .....	19
3.3 研究架構 .....	21
3.4 基本假設 .....	22
3.5 模式符號說明 .....	23
3.6 模式說明 .....	26
肆、 模式計算與分析 .....	30
4.1、 參數設定 .....	30
4.2 情境設置說明 .....	35
4.3 實驗設計 .....	38
4.4 實驗結果與分析 .....	42
伍、 結論與未來建議 .....	45
5.1 結論與貢獻 .....	45
5.2 研究限制 .....	46
5.3 未來建議 .....	46
陸、 參考文獻 .....	47

## 表目錄

表 1:建立逆物流模式 .....	10
表 2:下標與集合 .....	23
表 3:決策變數 .....	24
表 4:一般參數 .....	25
表 5:隨機參數 .....	25
表 6 運送成本(件/美金).....	32
表 7:品質 K 回收品在再製造加工廠 I 的加工成本 .....	32
表 8 再製造加工廠 $i_1$ 、 $i_2$ 產生的再製物品 J 的販售價格.....	33
表 9 再製造加工廠 $i_3$ 產生的再製物品 J 的販售價格.....	33
表 10:產能上限(件/年).....	34
表 11:需求端 d 的對於再製物品 ij 上限需求-1(件).....	34
表 12:需求端 d 的對於再製物品 ij 上限需求-2(克).....	34
表 13:情境說明 .....	36
表 14:高、低水準回收量 .....	37
表 15:回收品質 .....	37
表 16 拆解數量.....	38
表 17:實驗 1 回收量 .....	40
表 18:實驗 1 回收品質 .....	40
表 19:實驗 1 拆解數量 .....	40
表 20:實驗 2 回收量 .....	41
表 21:實驗 2 回收品質 .....	41
表 22:實驗 2 拆解數量 .....	42
表 23:最佳分配比例 .....	43
表 24:EVPI .....	44

## 圖目錄

圖 1:研究架構 .....	7
圖 2:研究流程與步驟 .....	19
圖 3:研究範圍 .....	20
圖 4:模式架構圖 .....	22
圖 5:本研究計算範例圖 .....	31
圖 6:實驗設計 .....	39

# 壹、緒論

## 1.1 研究背景

物流，這兩個字在過去對於企業來說，都只注意到正向供應鏈(forward logistics)，所謂的正向供應鏈不乏於原料取得、製造，直到送到消費者手上等活動。然而在現在不論是消費者環保意識的抬頭、世界各國的法規（例如歐盟規定的廢棄電子電機設備回收指令(WEEE)）、規定回收率等，都讓現今的企業必須投入到逆向物流供應鏈裡面，企業必須考量到許多原料不能使用、有些必須回收在利用等等，因此，逆向供應鏈(reverse logistics)在現在成為一個重要的課題。逆向供應鏈、指的是將使用過後的產品從最終消費者手上回收，並且將回收來的資源重新分配之後來幫助企業可以獲得額外的利潤，例如：在製品、二手品或是資源回收。

在企業建立逆物流供應鏈的方式當中，一般來說我們分為兩種(1)外包找專業廠商代理(2)品牌廠商自行建立逆物流供應鏈。由於尋找外包廠商的成本較低，而且企業可以專注在自己的核心事業上，因此有許多的企業選擇外包，但是在(Pagell et al. 2007)的研究中指出，企業自行建構逆物流供應鏈，可以擁有許多外包得不到的優點，例如：自行回收比較能掌握回收率、企業可以在自行處理回收產品的同時，瞭解如何設計可以更容易拆解等，另外許多企業不願意讓自己產品的設計讓別的企業看到，或是讓其他的二手業者另外翻修成二手手機來去販賣，以免在品質上出問題，進而影響到自己的商譽。因此，仍然有許多品牌企業願意自行建立逆物流供應鏈，而本研究的重點將注重在逆物流供應鏈中的回收二手商品部分，希望能夠提出一個回收策略，來幫助企業可以掌握回收的數量與品質，並且在有限的二手資源下，能夠在回收處理方式做最佳分配，以獲得最大利潤，目的就是在於幫助企業除了可以獲得自行回收的好處外，成本也能夠大大的降低。

## 1.2 研究動機

在過去回收的研究中，許多研究都是著眼在企業是委外專業廠商的方式來進行回收，或是進行整體的 CLSC(close loop supply chain)下去考量，儘管有研究到回收的部分，大部分也是在降低成本的部分，因此本研究希望可以同時考量增加回收利潤與降低成本的方式來幫助企業。而過去正物流取得原料的方式，由於複雜性與不確定性並沒有逆物流來的這麼高，且回收到的二手產品，該如何去分配應用也沒有提到，因此，正物流的策略也很難拿來在逆物流回收上運用。主要原因在逆物流回收中，不論是回收品的質或量甚至是再製造物品的拆解數量都充滿著不確定性、而在原物料的價格不斷上漲的環境下，企業面對的回收處理方式，也變得更加多元化，過去的研究中較少有針對回收量、品質預測及回收處理的分配做深入研究，因此，本研究希望能夠結合這兩者來幫助企業。

## 1.3 研究目的

由於企業面對環保問題已不像過去一樣只是在道德層面上，諸如歐盟、日本東京協議都已經開始有法律的規範，因此，逆物流供應鏈已經是必然要面對到的課題，而本研究目的就是要幫助企業可以在逆物流上可以自行透過回收處理獲得的利益來減少成本，甚至可以當作企業的另外一個賺錢的方法，經過上去的背景、動機、整理出來的研究目的主要有以下兩點：

1. 將回收得來的物品，在有限的資源下，去做出最佳的回收處理方式分配，讓企業可以獲得最大的利潤，而這個最佳回收處理分配是考量到回收量、回收品質、拆解數量的不確定性。
2. 提出一個完整的最佳化模式，來讓企業可以透過此模式根據未來不確定的情境下去做計算，去求得一個綜合利潤最大化的回收處理分配。

## 1.4 研究方法

在本研究中，使用的是非線性隨機規劃，一開始先透過非線性規劃來將整個整個研究模型，利用數學模式建立出來，接著再利用隨機規劃來考量不確定性參數的部分，使用這兩個方法來求得最佳的回收處理分配方式。

## 1.5 研究架構

本篇研究架構總共分為五個章節，如圖 1.1 所示：第一章為緒論在緒論中將論述研究背景、動機與目的，來說明為何想要針對這個主題下去進行研究；第二章則將針對與本篇研究相關的主題與方法進行文獻探討；第三章將會介紹本研究的研究方法、以及所建立出來的數學模式；第四章是針對建立出來的模式，帶入數據來進行實驗模擬；而最後一章就是分析研究結果以及提供未來的研究建議。



圖 1：研究架構



## 貳、文獻探討

### 2.1 物流

物流發展至今，各界對於他的定義非常廣泛，各個國家的物流協會，也都會對於物流去做定義，根據中華民國物流協會對於物流的定義「物流是一種物的實體流通活動的行為，在整個流通過程中，透過管理程序有效結合運輸、倉儲、裝卸、包裝、流通加工、資訊等相關活動，以創造價值、滿足顧客及社會的需求。」(中華民國物流協會網站)，而美國物流管理協會(The Council of Logistics Management ; CLM)對物流的定義為：「物流是供應鏈過程的一部份，針對物品、服務及相關資訊，從生產端到消費端之間，有效的流通與儲存，以達成顧客的需求。」(美國物流管理協會網站)，由上面兩者敘述的定義，我們可以知道物流就是透過一套有效率的流程，來幫助我們在原料的產出、運送、加工製造、零售商一直到最終消費者之間可以有效的管理整個流程，而這種傳統的物流我們就稱為正物流。

### 2.2 逆物流

#### 2.2.1 逆物流定義

根據美國物流管理協會(CLM)研究報告指出，逆向物流之定義為「透過產源減產 (source reduction)、再生 (recycling)、替代 (substitution)、再利用 (reuse) 與清理 (disposal) 等方式進行物流活動，在物流活動中扮演產品退回、維修與再製、物品處理、物品再生、廢棄物處理 (waste disposal) 及有害物質 (hazardous material) 管理的角色」。

美國逆向物流協會(Reverse Logistics Executive Council; RLEC)也對逆物流下了定義：「逆向物流是一種物品的移動過程中，從最終的目的地移動至其他地點，主要是獲得在其他方面沒辦法獲得的價值，或是為了對產品做適當的處置」。

在(Fleischmann et al. 1997) 的研究中，逆物流(reverse logistics)代表了將使用過的產品從消費者手上收回、並將此資源重新在市場上再利用的一連串物流活動。此活動不但引發了退回商品的運輸活動、也包括了企業商品製造商如何將回收商品重新再進行利用、擷取再生原料的過程。

根據上面幾個定義我們可以看出，逆物流最大的目的是在於環保概念，不論是在如危害物質限用指令(RoHS)、廢電子電機回收指令(WEEE)、京都協議書等強制規定，或是在消費者的環保意識起來的情況下，企業都將面對到逆物流的活動，而我們可以將逆物流的活動根據上述的定義，歸類成下列幾點：

1. **資源減產：** 由於回收後能找到再利用的零件不多，且部分零件甚至有毒，因此，過度的使用資源，對回收或是整個環境都是不好的。
2. **回收：** 要能使逆物流能夠順利的進行，能夠回收到二手產品或是廢棄物，當然是最重要的，也因此(WEEE)這項規範中，也規定了企業在電子、電機的類產品回收率要有一定的水準，才能夠避免受到責罰。
3. **再生(Recycling)：** 這邊指的是將二手產品壓碎，來取出裡面可以拿去販賣的原料，如金、銀、銅等。
4. **再修復(Refurbishing)：** 若是產品以無法修復，將產品拆解以後找出可以再利用的零件，拿去販賣或是與其他拆解出來的零件，在去重新組裝，以電腦為例，一般而言兩、三台廢棄電腦可以在組裝出一台新的。
5. **再利用(Reuse)：** 再利用的意思就是做些簡單的維修之後，把二手產品再度拿到市場去販賣，也可以拿去一些非營利機構或是學校來利用。
6. **清理：** 由於電子產品中常常含有重金屬，因此如果使用掩埋的方式，對環境傷害很大，如果能用回收取代掩埋對環保是相當有幫助的，真的沒辦法回收的時後，一些重金屬也應該特別處理。

## 2.2.2 企業面對逆物流的方式

在(Pagell et al. 2007)的研究中指出，企業如果要建立逆物流供應鏈有兩種方式：

1. **企業自行建構**：由企業自行將逆物流供應鏈加入到過去的供應鏈系統中，結合成一套完整的 Close loop Supply Chain (CLSC)，讓企業可以完整的掌控。
2. **委外專業逆物流商**：企業自己專注在核心事業上，而將逆物流上的作業委託給專業的物流商。

而在這篇研究中也指出兩種方式的優點，如表 1:

表 1: 建立逆物流模式

	優點	缺點
<b>自行建立</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 可完整建立 CLSC。</li><li>● 可擴展服務，甚至可提供別家企業回收服務。</li><li>● 可以將資訊回饋給設計部分做為考量。</li><li>● 可以保持稀有材料的存取</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 相較起來費用較高。</li><li>● 沒辦法完全專注在核心事業上。</li></ul>
<b>委外</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 花費最小。</li><li>● 企業可以完全專注在自己核心事業上面。</li><li>● 流程速度較快。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 完整的 CLSC 沒辦法建立。</li><li>● 無法回饋回收資訊給設計部門做為下次設計的考量。</li><li>● 沒辦法完全掌握回收狀況。</li></ul>

根據上面表格表示，委外的成本相較起來是較低的，因此，在過去許多企業也都選擇委外，而這篇研究的結果顯示，現在許多企業已經注意到許多自行建立逆物流供應鏈才能得到的優點，許多企業已開始自行建立逆物流供應鏈，來擁有一個完整的 CLSC。

### 2.2.3 逆物流模式

(Louwers et al. 1999)針對廢棄地毯的廠址選擇方面，提出了考慮廢棄地毯收集、廢器地毯的初步處理、廢棄地毯之配送網路等因素的數量模型。在其模型的流程概念當中，當消費者使用過的廢棄地毯經過收集之後，將運送到附近區域的區域廢棄物處理中心，經過篩檢、挑選，將毫無剩餘價值用的地毯送至掩埋場，經過區域廢棄物中心處理過後的地毯，責運送到另一個處理中心(配合地毯再製造過程的特性)，最後成為可再生原料，並運送至顧客端進行再利用。此模型分別計算地毯經過每個節點之成本，最後以總成本最小為目標，使使用者能決定廠址最適合的區域處理中心之位址。

(Shih 2001)針對台灣地區的 end-of-life 電腦回收處理，建構出一混合整數規劃模型，模式的目的是在於建構一個最小成本的逆物流網路架構系統，選擇適合的場址位置規劃及廢棄電腦配送量，其網路中包含了收集點、中途儲存站、處理設施、再生原料市場、廢棄物處理以及最中的掩埋處置。在其模式之中考量了運輸、處理、掩埋、設施之固定成本等，亦考量在台灣現有環境之下，回收網路中可能得到由環保基金管理會所發的補貼金額、販賣二手原料之利潤，以及對廠商的回收率(take-back rates)限制。對於其系統中具備不確定因素之輸入變數的估計，Shih 採取將過去的電腦銷售量以及電腦的平均生命年限相乘，來估計廢棄電腦之回收量；Shih 並且認為處理廠的處理拆卸成本可能因為處理者的學習曲線上升而下降；此外 Shih 以過去針對台灣地區製造業的統計資料來估計廢棄電腦產生再生原料的比率，並認為因處理技術的成熟與否，將影響再生物料的產出。

(Ko et al. 2007)在其對逆物流配銷網路的研究，以第三方物流(3PL)提供的逆物流服務觀點，建置了一個動態的整合數學模型，使決策者能考慮物流中心之位址選擇。第三方物流業者擁有完善的正向物流配銷實體網路，同時可提

供成為實施逆向物流活動之資源，在 3PL 的服務範圍之中，主要著重於退回商品的運輸、倉儲、以及部分修復的處理，也就是圖中收集中心(Collection center 兼 Warehouse)主要的業務，至於退貨商品的來源、經處理之後的再生原料去向，分布較為複雜，難以精確掌握。為配合此項第三方物流的服務特色，作者同時將正向物流以及逆向物流考慮在模型之中，並特別探討運輸費用、物流處理中心費用帶來的影響。

## 2.3 逆物流的不確定性

不確定性(uncertainly)這項因素，對於決策來說影響甚鉅，不論在價格、勞力、回收甚至環境上，都會對於結果造成影響。而對於逆物流供應鏈來說，更是充滿的不確定性的問題，例如回收數量的不確定性，會對於在製造的來源充滿變數；而回收品值的不確定性更是無法如正物流上原料取得的品質能夠掌握，也因此過去正物流的相關最佳化模式無法直接拿到逆物流供應鏈來使用，決策者唯有將不確定性因素整體的考慮的決策模型中，才能有效的達到自己的目標。

而(Teunter et al. 2011)年的研究中探討再製造商對於不同回收品質的回收品所做出的決策，作者利用多項式來表示不同階級的品質，然後利用數值分析導出在不確定性與確定性需求下，最佳回收量及再製造政策。

在(Yu et al. 2000)的研究中提到不確定性是自然的環境中，難以消除，決策者唯有將不確定性納入決策的邏輯架構之中，在了解不確定的成因及背景之下做出新的決策，才是較好的解決辦法。

綜合上述三者的研究以後可以發現，當我們要探討或是研究逆物流的時候，一定要把逆物流的不確定性考慮進去，否則我們無法有全面性的觀點下去研究。

### 2.3.1 穩健最佳化

過去研究者常透過預測來描述不確定性,然而預測本身,可能因當初假設與現實之出入而使預測結果不甚精確;在瞬息萬變的世界中,研究員嘗試建立一個可以描繪真實世界的模型,但不確定性是不可避免的,如投資的報酬率、商品的需求量、燃料的成本、電力的消耗等。

(Mulvey et al. 1995)提出穩健最佳化完整架構,其將原本的線性規劃(LP)加入多目標規劃之概念形成穩健最佳化之方法。在其研究中,透過一系列情境(Scenario)之規劃來描述不規則的變數,而非傳統的以點估計來描述隨機變數。作者指出,過去使用敏感度分析(sensitivity analysis)來一致化「真實世界的不確定性」與「數學模式過多假設」之間的矛盾,檢視模式解答對於輸入參數變化之敏感度,來找出模式中的不確定因素,屬於後最佳化分析(post-optimality),意即在最佳解產生後才進行此分析。此種方法較為被動,只考慮到不確定因素對於最佳解之事後影響程度。反之,穩健最佳化為主動考慮不確定因素之作法,以情境為基礎(scenario-based),結合目標規劃(goal programming)之概念來描述現實生活中的不確定性。比起隨機規劃限制更少,具備其他優點。

(Yu et al. 2000)則改良了 Mulvey 等人的作法,發展出較前人更少的控制變數(control variables)、更有效率的模式設計方法,並將應用於運籌領域方面,例如產酒的生產配送系統,在市場需求不確定的情形之下求得最小成本的最適產量;航班問題,求得最適合的班機配置。

(黃崇奇. 2001)結合穩健規劃在供應鏈的應用,探討傳統通路和電子通路的獲利模型,以穩健最佳化模式及模糊不確定為研究方法,構建在需求不確定與產能不定下,各通路的穩健最佳化物流成本模式。

在(MATTHEW et al. 2004)針對地毯回收再處理系統的設計研究中,關於處於不確定下的二手地毯回收數量及處理後再生原物料價格,此兩種變數分別設計各高、中、低,總計九種情境,並採取穩健最佳化的方法尋求一穩健的最佳配置解,決定出在不同情境下淨利皆表現良好的回收站、處理廠之地點、運輸模式等決策。

在(Hong et al. 2006)等人的研究當中,採取以情境設計為基礎的穩健最佳

化模型來設計大規模的電子廢棄物(e-scrap)回收再製造系統。此案例背景為美國喬治亞洲之區域性電子類產品回收網路，其活動包括收集、運輸、處理相關電子類廢棄產品，如使用過的電視機、監視器、CPU 等，首先將關鍵的不確定性——個別產品之回收率(居民參與比率乘上人口數)、監視器回收商之選擇、回收產品之再利用率，分別設定不同的對應情境，總計 16 種，利用混合整數線性規劃模型(MILP)來設置第一階段符合個別情境的模式，求得每個情境下的最大利潤最佳解之後，再於第二階段設計一最接近每一情境最佳解的穩健架構解，最後找出最適合的回收站、處理廠配置方案。

### 2.3.2 隨機規劃法

早期確定性的混合整數規劃或是線性規劃模型，只能適用在環境變動不會過於劇烈的情況下，這類的方法通常是假設環境是不會變動的，也就是不會有不確定性的因子出現，然而在現在逆物流供應鏈中，充滿著不確定性的因素，如回收量、回收品質、價格等等，都會不斷的變動，也因此在此現實的世界中，若單單使用混合整數規劃來探討逆物流供應鏈，是較不符合邏輯的，也因此必須要另外找出一個新的方法，來幫助在求得最佳解的時候，可以將不確定性因子考量進去。

如上段所述，在常見的數量模式當中，透過決策變數和已知參數所建立的數學模型，稱之為確定性模式(deterministic model)，然而在現實的決策問題當中，模型中某些參數可能是不確定的值，此時可將其假定為一隨機變數。因此，若此數學規劃模型中，無論是目標或限制式之中任一參數為隨機變數時，稱此模型為隨機性模型(stochastic model)。建立此模型之方法，就是將具備不確定性的參數以機率形式來表示，再代入數學模式中。此種規劃方法則稱為隨機規劃(stochastic programming)，其目的在修正過去決策問題中被假設為已知的變數，若為離散型態的變數，將此因素透過出現的機率型態來表達，若為連續型態之數據資料，則表示為機率函數型態。

隨機規劃早在 1950 年代時就被 Beale、Dantzig、Charnes 與 Copper 等人架構出來，最早的原因是在於在解決線性規劃的問題時，需要模式中完整參數的資訊，但這往往是不可得的，因此他們假設這些未知的參數是符合隨機分配的隨機變數，利用這種性質來取代確定性的觀點。

兩階段隨機規劃 (Two-stage stochastic programming): 為建構隨機規劃問題模式之方法，依據決策問題是否包含不確定因素—也就是隨機事件，將問題分為不包含隨機事件之部分，以及包含隨機事件共兩階段，第一階段為不受隨機影響的決策，而第二階段則為受到不確定性影響的決策。

兩階段隨機規劃其數學通式如下:  $y(\omega)$  表示會受到隨機事件影響的決策變數,  $x$  則是不會被影響的決策變數,  $c^T x$ , 為第一階段不受隨機事件影響的目標式,  $E_p[\min q(\omega)^T y(\omega)]$  為第二階段受隨機事件影響的目標式期望值, 其中  $q(\omega)^T$  表示係數,  $\min q(\omega)^T y(\omega)$  為受隨機事件影響的目標式。實際建構模式時, 先計算第二階段包含隨機事件的期望函數, 再將結果套入至公式(2-1), 結合第一階段的變數以求得完整的目標式  $z$  值。

$$\min z = c^T x + E_p[\min q(\omega)^T y(\omega)] \quad (2-1)$$

$$\text{s.t. } Ax = b, \quad (2-2)$$

$$T(\omega) x + W(y) \omega = h(\omega), \quad (2-3)$$

$$x \geq 0, y(\omega) \geq 0. \quad (2-4)$$

除此之外, 也可進一步將兩階段問題延伸為多階段(Multi-stage)隨機規劃, 依據不同決策問題的需求來建構模式, 其將不確定因素分層展開, 每一層的決策將成為下一層的決策基礎, 層與層之間具有相依性。

在(Listes et al. 2005)的研究當中, 將隨機規劃的概念實踐在產品復原模型(product recovery network)的設計上。Listes 等人認為, 不確定性是逆向物流的一大特色, 然而傳統的確定性模型, 並未將現實環境中的不確定性因子考慮進去, 即使採取了單一或多變數的敏感度分析, 也只是在模型建置完成之後才分析何者為影響結果的擾動因子, 而非事前規劃。此研究以回收、處理廢棄砂石



時的網路架構為例，延伸前人的確定性模型基礎，先規劃混合整數線性模型，再將模式中的不確定因子—廢棄沙石的供給量改以隨機變數來描述，最後將問題—決策需求分為三階段處理，以隨機規劃方式求得使利潤最大之最佳解。

在(張美香 et al. 2008)的研究中利用二階段隨機規劃為基礎，運用分解法的概念，作為本模型之求解演算法，並以小型範例測試驗證正確性。整篇研究的主題在於電力的穩定供應，一般裝置容量備用率太高或電力供給超過負載太多不好，會造成資源的浪費成本提升，缺電或供電太少所損失的社會成本更無法估計，故恰如滿足負載功率是很重要的，而在電力供給的需求充滿著不確定性，因此作者特別利用二階段的隨機規劃來去解決不確定性的問題。

## 2.4 小結

綜合上面的描述，在大家研究探討不確定性這麼多年以後，已經有非常多的不確定性方法可以使用，每個研究題目，都會有最適合自己的不確定性模式，而本研究將使用到的是隨機規劃的方法，由於隨機規劃擁有整體性的方法，且運用多階段隨機規劃能夠輕鬆的與混合整數規劃結合，在計算隨機變數的時候，他能夠算出機率以及期望值，皆與本研究所需要的內容結合，因此在做過與其他方法的比較之後，最後選擇使用隨機規劃，在下一段敘述中，就將提出隨機規劃與其他種不確定性方法比較的優缺點。

在這一段中，我們將比較隨機規劃與敏感度分析、穩健最佳化，這兩種也擁有許多研究學者所使用的方法，比較之後就可以看出本研究使用隨機規劃的優點。

敏感度分析可說是反應變因的未知性，針對輸入資料的擾動，去量測解的敏感程度。而穩健性規劃可藉著提高穩健性的權重( $\omega$ )，進一步降低解對於情境的敏感度，增加結果的可靠度。敏感度分析容易使用、分析便利，然而其並未將不確定性因子考慮到模式當中，而且敏感度分析通常是去做事後分析，也就是當研究結果出來之後，透過敏感度分析，去瞭解每個隨機變數對於結果的影響程度，並沒有辦法去做事先的決策；而穩健最佳化與隨機規劃其實有些類似，他們都有完整性的方法，隨機線性規劃針對不同情境求出最低成本，最後以事件機率算出

平均值；而穩健性規劃同時考量所有情境下需求的滿足，假如未知的情況變化大，則提高生產的穩健度自然有其價值，雖然成本會比隨機現性規劃所求的高。另一個重要的區別是限制式的處理，隨機線性規劃和穩健性規劃有所不同，隨機線性規劃所求的決策變數必須滿足所有的限制式，而所面對的情境控制變數若不可行，則為無解。穩健性規劃允許限制式無法滿足的情況發生，最後一點則是穩健最佳化會將決策者的風險喜好程度考量進去。

由於本研究的最終目的為找尋最佳利潤，針對限制式會有嚴格的限制，也不希望決策者會因為風險的程度而失去客觀的角度，由於隨機規劃能夠在不同情境下找出最小成本，且運算出來的隨機變數機率或是期望值的型式，也與本研究在不確定性的需求相符，因此最後選擇了隨機規劃模式，來做為不確定性模式式的計算方法。

## 參、模型建立

本章節將描述本研究將使用的研究方法，先介紹將使用的研究方法與研究流程，接著是包含到的研究範圍，最後開始建立一個最佳回收量、最佳回收處理分配的數學模式，包含了模式架構、內容、基本假設、符號說明等。

### 3.1 研究流程與步驟

在 3.1 這個小節中，將介紹的是整篇的研究流程與步驟，並且說明每個步驟主要的內容是什麼，主要包含以下幾項：

- I. **找出研究動機與目的**：閱讀期刊、文獻找出有興趣研究背景，並且針對研究背景開始了解以後，確立研究動機與目的，以幫助本研究可以完整的掌握整體研究核心。

- II. **相關文獻探討**：根據研究主題開始蒐集相關文獻，其中包含了物流的定義、逆物流、企業面對逆物流供應鏈的解決方式、逆物流的不確定性、混合整數規畫、不確定性方法的探討等等。
- III. **建立最佳回收量與最佳回收處理分配模式**：發展最佳化數學模式，從一開始運用文字敘述的方式來建立目標式、限制式，另外還有符號說明、基本假設，接著將目標式、限制式用非線性規劃方法建構出來，最後則是利用隨機規劃方法，來解決不確定性的問題。
- IV. **實際數據模擬**：前面將模式建立之後，在這部分帶入數據，並利用最佳化建模軟體 Lingo 將模式程式化，去進行模擬分析。
- V. **結論、撰寫報告**：將分析結果歸納整理出結論，並撰寫報告，提供未來研究建議。





圖 2: 研究流程與步驟

### 3.2 研究範圍

本小節將詳細介紹本研究包含到的研究範圍如圖 3 所示，本研究主要研究背景為逆物流供應鏈，是以品牌廠商的觀點出發，來探討該如何自行建立一個逆物流供應鏈。本研究的目的是在於幫助品牌廠商保有自行建立逆物流供應鏈的情況下，除了保有自行建立的好處之外，也能夠降低成本，然而因為在過去的研究中指出現在的逆物流供應鏈模式中，外部成本已經不容易再降低，因此，本研究希望提供一個最佳化的回收數量、回收處理分配的模型，來幫助企業可以在回收處理方面獲得最大的利潤。

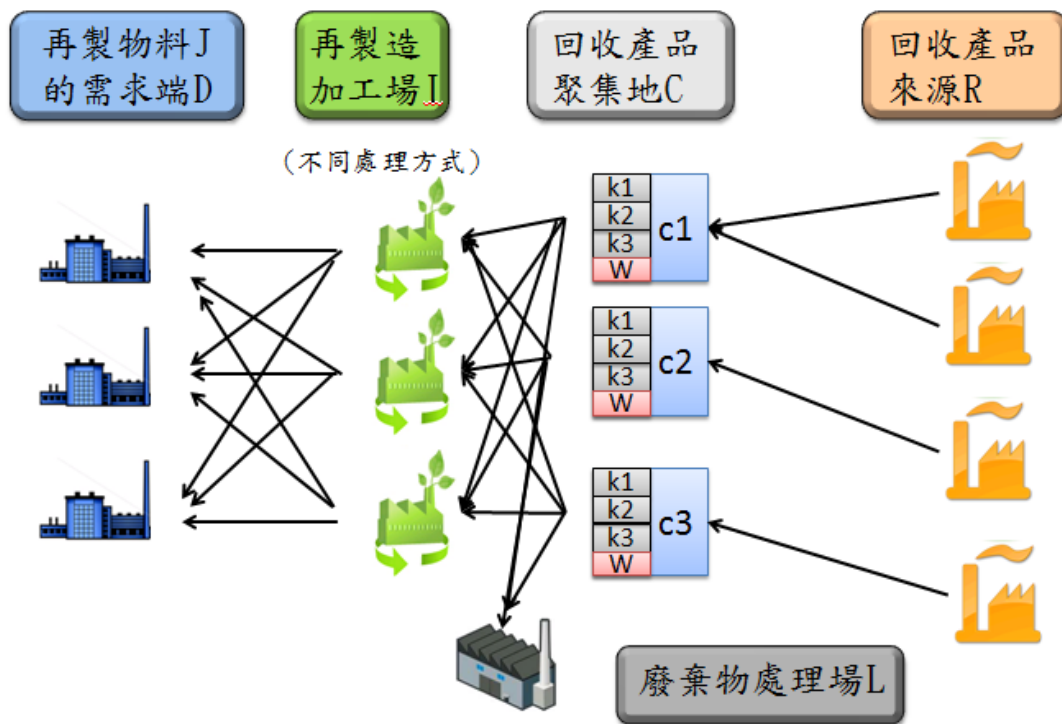


圖 3: 研究範圍

而在本研究中的研究範圍，剛好就是一整條逆物流供應鏈的範圍，包含了：

- I. **回收產品取得來源**：在逆物流供應鏈中，物料取得來源指的就是回收物品的來源，本研究有多個回收來源，且做了一個假設，當消費者要將二手產品拿到回收來源進行回收時，都會進行收購，而當再製物品出現供過於求的狀況時，會先將回收回來的產品暫時存放在回收來源。
- II. **中間集散處**：當回收來源從消費者手中回收回收品之後，會運送到離自己較近的中間集散處，本研究有多個中間集散處，當回收品送到中間集散處後，在這邊會按照回收品的品質進行分類。
- III. **再製造加工廠**：回收品在中間集散處分類完畢之後，會透過加工成本以及利潤的計算，去運送到不同的再製造加工廠，本研究的再製造加工廠包含了：

翻新、拆成零組件、拆成原物料這三種，而再製造加工廠則會將回收品處理後，產生各種不同的再製物品。

- IV. **廢棄物處理場**：在中間集散處進行分類後，會有一些廢棄物無法再利用，因此需要廢棄物掩埋場來處理。
- V. **再製物品需求端**：當再製造加工廠加工完之後，會把再製物品販售給再製物品需求端。

### 3.3 研究架構

本研究會先運用非線性規劃方法來架構初步的模式，而在不確定性的因素上總共包含了：回收量、回收品質、產品拆解數量等，將以情境為基礎的隨機規劃的方式來描述不確定性因子，透過情境發生的機率算出期望值，再求得回收產品最佳處理分配的最大利潤。

對於許多研究來說，如同上一節文獻所探討的，不確定因素在隨機規劃當中，必須要以隨機變數的型態來顯示，而本研究的隨機變數包含了：回收數量、回收產品品質等級、產品拆解數量這三項，由於這幾項不確定因素，發生的情況無法準確掌握，因此，本研究使用隨機規劃的方法，將情境的發生機率考慮進去，讓企業可以考量到不同情況下的結果。

如圖 4，本研究的輸入資料為，逆物流供應鏈的成本資料，包含收購回收品成本、運輸成本、回收品在再製造處理廠的再製成本、儲存成本，利潤資料則是再製造加工廠所生產出的再製品，實際能夠販售到需求端的價格，其它輸入參數包含了運輸距離、部分節點的運送數量、再製造加工廠最大產能、需求端的最大與最小需求等，最後還有不確定參數的部分，包含了回收數量、不同品質回收品

的數量、單一產品能夠拆解的數量。將以上的參數，丟入本研究所建立的最佳化處理分配模型進而去求得情境下的最佳化回收處理分配。

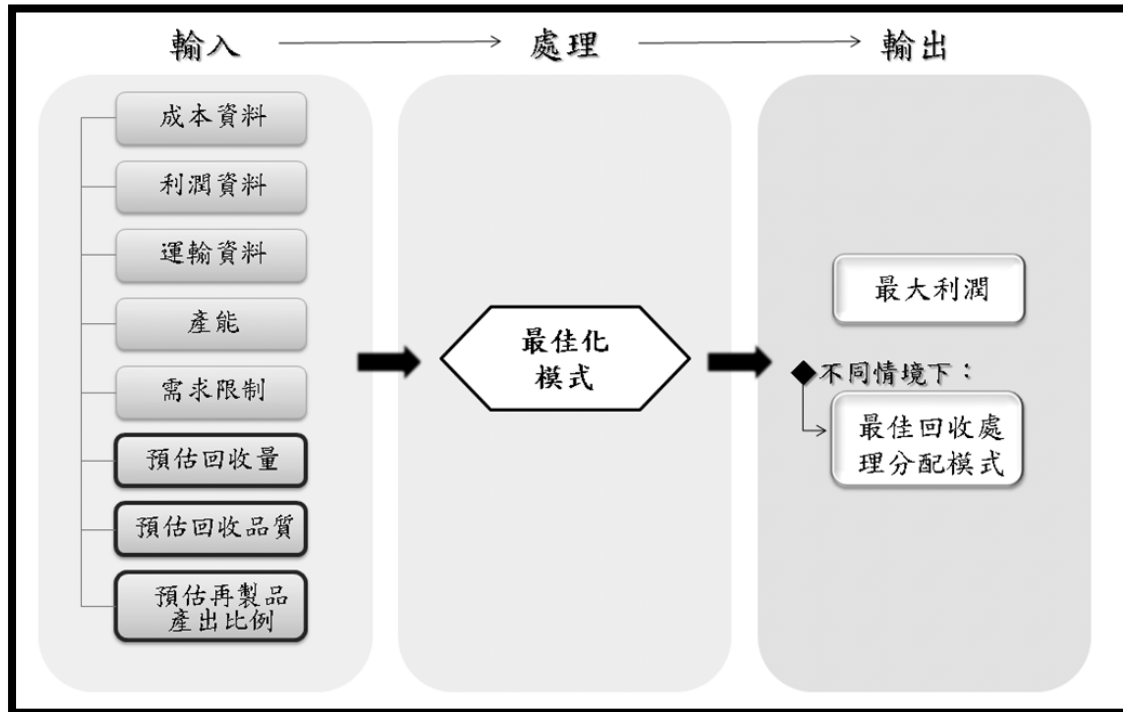


圖 4：模式架構圖

### 3.4 基本假設

在本研究中，有一些基本假設如下：

1. 沒有考慮廠商的固定成本，只考慮生產過程中，隨著產品附加價值提高而產生的變動成本。
2. 當再製物品供大於求的時候會暫時將回收物儲存在各回收來源。
3. 當回收品放入回收來源、中間集散地以後，就會產生儲存成本，沒有時間的限制。

4. 市場銷售價格為穩定狀態，而販售價格為當期市價。
5. 回收來源在運送回收品到中間集散地的時候，只會運送到相同區域的集散地。

### 3.5 模式符號說明

這個小節將針對本研究模式中，所用到的符號進行說明，包含了下標與集合、決策變數、一般參數、隨機參數，如表 3.1、3.2、3.3、3.4。其中代數與集合數中： $I = \{i_1, i_2, i_3, \dots, i_n\}$ 、 $J = \{j_1, j_2, j_3, \dots, j_m\}$ 、 $K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_q\}$ 、 $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_z\}$ 、 $R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_p\}$ 、 $L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_e\}$ 、 $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_u\}$ 、 $s \in S$ 。

表 2: 下標與集合

下標	符號說明	集合	符號說明
i	再製造工廠	I	再製造工廠集合
j	再製物品種類	J	再製物品種類集合
k	品質等級	K	品質等級集合
c	中間集散處	C	中間集散處集合
r	回收來源	R	回收來源集合
l	廢棄物處理廠	L	廢棄物處理廠集合
s	不確定性回收情境	S	不確定性回收情境集合
d	再製物料需求端	D	再製物料需求端集合



表 3: 決策變數

決策變數	符號說明
$O_{kqinjm}^s$	再製造工廠 $i$ 所生產出來第 $j$ 種再製物品的數量。
$Qrc_{rwc_z}^s$	從回收來源運送到中間集散地 $c$ 的回收品數量。
$Qck_{c_zkqin}^s$	從中間集散地 $c$ 運送品質 $k$ 回收品到再製造工廠 $i$ 的數量。
$Qcl_{c_zle}^s$	從中間集散地 $c$ 運送到廢棄物處理廠 $l$ 的回收品數量。
$W\_amount_{c_z}^s$	中間集散處 $c$ 裡廢棄物的數量
$Sort_{c_zkq}^s$	中間集散處 $c$ 中品質 $k$ 回收品的回收總量
Percentage $_{kqin}$	$k$ 品質回收品分配到加工廠 $i$ 的比例

表 4: 一般參數

一般參數	符號說明
ReturnCost	回收品回收成本
INVcost <sub>r</sub>	回收品在回收來源的儲存成本
INVcost <sub>c</sub>	回收品在中間集散地的儲存成本
$PC_{kqin}$	品質 k 回收產品在再製造工廠 i 中的再製成本
$Ca_{in}$	再製造工廠 i 的最大產能。
$Pr_{ijnm}$	再製造加工廠 i 中再製物品 j 的價格
$D_{low}_{ijnmdu}$	需求端 d 對於再製造工廠 i 中再製物品 j 的最小需求
$D_{high}_{ijnmdu}$	需求端 d 再製造工廠 i 中再製物品 j 的最大需求
$TranCost_{rwczi}$	運輸成本

表 5: 隨機參數

隨機參數	符號說明
$X^s_{rp}$	在情境 s 中，各個回收來源的回收量。
$Quality^s_{kq}$	回收品中品質 k 所佔比例。
$Pt^s_{kqijnm}$	在情境 s 中，單一品質 k 回收品放入再製工廠 i 中，所能產出再製品 j 的數量。

### 3.6 模式說明

$$\text{MAX} = ( (\text{Revenue}) - (\text{Transportation Cost}) - (\text{Purchase Cost}) - (\text{Processing Cost}) - (\text{Storage Cost}) ) \quad (3-1)$$

3-1中說明最終目標為為企業求取最大利潤，而利潤的算法則是營收減去運輸成本、收購成本、加工成本、儲存成本。

$$\text{Revenue} = \sum_{s \in S} \mathbf{p}_s \left( \sum_K \sum_I \sum_J (O^s_{kqinjm} \times \text{Pr}_{ijnm}) \right) \quad (3-2)$$

3-2 說明了營收的組成項，各種再製品數量去×價格。

$$(O^s_{kqinjm}) = \sum_C (Qckis_{czkqin} \times \text{Pt}^s_{kqinjm}) \quad \forall I, J, k, S \quad (3-3)$$

3-3 說明各種再製品數量等於分配到的回收產品去乘上不同情境下的產出比例，其中能生產出來的再製物品數量為不確定性因素。

$$\text{Transportation Cost} = \sum_{s \in S} \mathbf{p}_s (X^s_{rp} \times \text{TranCost}_{rwczin}) \quad \forall R, C, I \quad (3-4)$$

3-4 是運輸成本。

$$\text{Purchase cost} = \sum_{s \in S} \mathbf{p}_s \left( \sum_R X^s_{rp} \times \text{ReturnCost} \right) \quad (3-5)$$

3-5 為收購成本，不同情境下各回收來源回收量加總×單位回收成本。其中各個回收來源的回收數量為不確定因素。

**Processing cost =**

$$\sum_{s \in S} p_s \left( \sum_C \sum_K \sum_I (PC_{kqin} \times Q_{cki^s_{czkqin}}) \right) \quad (3-6)$$

3-6 為加工成本，根據 k 品質的回收品到 i 回收處理工廠加工的不同成本×數量。

**Storage cost =**

$$\sum_{s \in S} p_s \left( \left( \sum_R (INVcost_r \times X^s_{rw}) \right) + \left( \sum_C (INVcost_c \times \sum_R Qrc^s_{rwc_z}) \right) \right) \quad (3-7)$$

3-7 為儲存成本，包含了回收來源、中間集散處的儲存成本。其中各來源回收數量為不確定因素。

**限制式**

$$Inv_{rw} \geq X^s_{rp} \quad \forall R, S \quad (3-8)$$

(3-8) 在任何 s 下，各個回收來源 r 的回收數量不能超過本身的最大容量限制。其中回收來源 r 的回收數量為不確定性

$$\sum_C Qrc^s_{rwc_z} \leq X^s_{rp} \quad \forall R, S \quad (3-9)$$

(3-9) 在任何 s 下，回收來源  $r_w$  運送回收品到各個集散地 c 的加總，會等於回收

來源  $r_w$  本身所回收到的數量。

$$\text{Quality}_k^s \times \sum_R \text{Qrc}_{r_p c_z}^s = \text{Sort}_{ck}^s \quad \forall C, K, S \quad (3-10)$$

(3-10)在任何 s 下，品質 k 所佔的比例乘上從各個回收來源 r 運送到 c 的數量等於中間集散處 c 中品質 k 回收品的數量。其中品質 k 的比例為不確定參數

$$\text{Wpt}^s \times \sum_R \text{Qrc}_{r_p c_z}^s = \text{W\_amount}_{c_z}^s \quad \forall C, S \quad (3-11)$$

(3-11) 在任何 s 下，廢棄物所佔的比例乘上從各個回收來源 r 運送到 c 的數量等於中間集散處 c 中廢棄物回收品的數量。

$$\sum_K \text{Quality}_{k_q}^s + \text{Wpt}^s = 1 \quad \forall S \quad (3-12)$$

(3-12)在任何 s 下，品質 k 所佔的比例加總，加上廢棄物所佔比例會等於 1。

$$\sum_K \text{Sort}_{c_z k_q}^s + \text{W\_amount}_{c_z}^s = \sum_R \text{Qrc}_{r_w c_z}^s \quad \forall S, C \quad (3-13)$$

(3-13)在任何 s 下，中間集散處 c 中品質 k 回收品加總加上中間集散處 c 中的廢棄物加總要等於所有回收來源 r 運送到中間集散處 c 的回收品數量。

$$\text{Sort}_{c_z k_q}^s * \text{Percentage}_{k_q i_n} = \text{Qck}_{c_z k_q i_n}^s \quad \forall S, C, K, I \quad (3-14)$$

(3-14)在任何 s 下，中間集散地 c 分配到 k 品質的回收品乘上 k 品質分配到加工廠 i 的比例等於中間集散處 c 運送品質 k 的回收品到再製造加工廠 i 的數量。

$$\sum_I \text{Percentage}_{kqin} = 1 \quad \forall K \quad (3-15)$$

(3-15) 分配到加工廠 i 的比率加總為 1。

$$\sum_I Qcki^s_{czkqin} = \text{Sort}^s_{czkq} \quad \forall C, K, S \quad (3-16)$$

(3-16) 在任何 s 下，中間集散處 c 運送品質 k 的回收品到再製造加工廠 i 的數量加總必須等於中間集散處 c 裡品質 k 回收品的數量。

$$\sum_I Qcl^s_{cze} = W\_amount^s_{cz} \quad \forall C, S \quad (3-17)$$

(3-17) 在任何 s 下，中間集散處 c 運送廢棄物 g 到廢棄物處理廠 l 的數量加總必須等於中間集散處 c 裡廢棄物 g 的數量。

$$\sum_C \sum_K Qcki^s_{czkqin} \leq Ca_{in} \quad \forall I, S \quad (3-18)$$

(3-18) 在任何 s 下，所有中間集散處 c 運送品質 k 回收品到再製造加工廠 i 的所有品質回收品加總必須不能大於再製造加工廠 i 的產能上限。

$$\sum_D D\_low_{inj_m d_u} \leq O^s_{kqinjm} \leq \sum_D D\_high_{inj_m d_u} \quad \forall I, J, S \quad (3-19)$$

(3-19) 在任何 s 下，再製造工廠 i 生產出再製物品 j 不能超過需求端對於再製物品 j 的需求上下限。

## 肆、 模式計算與分析

為了實地測試本最佳化模式的效用，將延續前面第三章所建立的數學模式代入數據，進而求得最佳解並且分析其結果。本章節主要目的在於提供一個範例以描述第三章所提出之模式要如何使用，及得到模式的輸出資訊後要如何進行分析討論；亦即本章節重點在說明模式使用及分析討論的步驟與程序。本章一共分為三個部分，先說明本研究使用的範例數據的參考依據，由於本研究使用到的參數較為複雜，因此本研究從許多不同的文獻蒐集資料，而實際計算時，數據經過些微的適當調整，進行部分修改，以符合本研究假設，其中將在 4.1 中介紹數據設定詳細內容。

本研究為品牌廠商回收及處理分配模式，在研究領域算逆物流的部分，逆物流與過去正物流最大的不同，在於逆物流供應鏈中充滿了不確定性，因此本研究在最佳化模是當中考量了三個不確定性參數，包含了回收量的不確定性、回收品質的不確定性、再製物品產出比率的不確定性，每項參數個別設定高、低兩種水準的參數，並透過情境的方式組合出 8 種未來可能發生的情境，各別去算出最佳解，再將各情境發生的機率帶進去計算出一個綜合各情境的最大利潤，來讓企業參考。

### 4.1、 參數設定

模型建立後，其參數的設定關係到模式的限制與複雜度，因此在本節進行相關參數的制定敘述。本實驗相關參數如下：

本研究參考(Hong et al. 2006)的研究，但因為研究的地理位置不同，因此做了些適當的調整，以符合本研究的研究範圍，如圖 4.1 包含了 8 個回收來源、6 個中間集散地、1 個廢棄物處理廠、3 個不同加工類型的再製造加工廠、5 個再製物料需求端，回收來源會從最終消費者手中回收二手物品，然後配送到各個不同的中間集散地，在這運送中，因為區域的問題，各個區域的回收來源只會將回收

品送到相同區域的中間集散地，而中間集散地蒐集完回收品以後，會根據回收品的品質不同進行分類，將回收品分成不同的品質，分完以後根據模式的計算，會分配到不同的再製造加工廠，再製造加工廠會將回收品加工成不同的再製物品，最後則是販售到不同的需求端。範圍中的各個節點皆在期初便建設完成，固不考慮設施規劃以及建構成本的問題，而本範例的回收產品為手機。



圖 5:本研究計算範例圖

在回收成本、運輸成本、儲存成本、拆解比例參考自(Bhuie et al. 2004)其中拆解比例的部分，由於牽涉到不確定性的部分且較為複雜，因此將在下一節中單獨說明，其它幾項參數設定如下：

每單位回收成本： $\text{ReturnCost} = 6$  (件/美金)。

每單位儲存成本： $\text{INVCostr} = 0.25$  (件/美金)。

$\text{INVCostc} = 0.25$  (件/美金)。



每單位運輸成本:在運輸成本中，由於 r1、r2 與 c1 為同一區，r3 與 c2 為同一區，r4、r5 與 c3 同區，r6 與 c4 同區，r7 與 c5 同區，c8 與 c6 同區，由於在回收來源 R 與中間集散地間 C 的運送，只會送到同一區的集散地，因此這邊只列出透過同區內的總運送成本：

表 6: 運送成本(件/美金)

TranCost <sub>r<sub>w</sub>c<sub>z</sub>i<sub>n</sub></sub>	r1c1	r2c1	r3c2	r4c3	r5c3	r6c4	r7c5	r8c6
i1	0.35	0.34	0.34	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35
i2	0.32	0.33	0.33	0.34	0.33	0.36	0.38	0.4
i3	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.32	0.37

再製造加工廠的加工成本則是參考(Bhuie et al. 2004)與(Geyer et al. 2010)兩篇文獻，由於本研究的加工方式分為三種，加上不同品質的回收品，加工成本也會不同，數據較難從單一文獻來源取得，因此從上述兩篇文獻中取得資料，再透過作者自己進行合理的調整進行設定，整體的數據如下表 7：

表 7: 品質 K 回收品在再製造加工廠 I 的加工成本

加工成本	k=1	k=2	k=3
i=1	15	23	35
i=2	1.8	3	5
i=3	0.8	1.8	3

單位:件/美金

如表 7 品質不同的回收品，投入到加工廠的加工成本會有所不同，從本研究的範例來看，i1 本身的再製造加工複雜度比 i2、i3 來的高，因此回收品品質好壞對於 i1 的影響，會比 i2、i3 來的更高。

再製物品販售價格的部分是參考(Geyer et al. 2010)這篇文獻，但由於在本研究的實驗範例中再製物品有一部分屬於原物料的部分，近來幾年原物料價格不斷上漲，因此在原物料販售價格採用紐約期交所最新的報價，以讓數據可以更符合現況，詳細的數據如表 8、9:

表 8: 再製造加工廠 i1、i2 產生的再製物品 J 的販售價格

價格	j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
i1	45	0	0	0	0	0	0
i2	8	6	5	3	3	0	0

單位:件/美金

表 9: 再製造加工廠 i3 產生的再製物品 J 的販售價格

價格	j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
i3	53	0.97	6.7	0.02	0.08	0.01	0.0019

單位:公克/美金

在本研究的模型中，再製造加工廠分為三種類型：翻修、拆解成零組件、提煉成原物料，其中研究範例中，i1 能產出的物品只有一種，因此在 j2~j8 的部分販售價格設為 0，i2 能產出的物品有五種，i3 則有七種，而 i3 產出的物品因為是原物料，計價方式與前兩者不同，單位為克，故分開列表。

在再製造加工廠產能上限，以及需求端對於再製造物品最大與最小需求量這幾項數據中，由於無法取得實際營運商的實際資料，因此在參考(楊文正 2005)與(Geyer et al. 2010)這兩篇文獻之後，作者自行進行合理假設後產能上限與需求上限數據如下列表，需求端下限的部分在範例裡本研究皆假設為 0，也就是在此範例中企業不需滿足需求端的最低需求，而企業在使用此模式時，產能上限、需求的最大與最小限制皆可以根據實際情況自由調整，以符合企業本身的實際狀況。

表 10: 產能上限(件/年)

	i1	i2	i3
產能上限 $Ca_{i_n}$	100000	85000	85000

表 11: 需求端 d 的對於再製物品 ij 上限需求-1(件)

i1 與 i2 廠	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5
d1	30000	50000	100000	90000	150000	50000
d2	30000	50000	100000	90000	150000	50000
d3	30000	50000	100000	90000	150000	50000

表 12: 需求端 d 的對於再製物品 ij 上限需求-2(克)

i3 廠	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
d1	100000	150000	100000	50000	150000	120000	300000
d2	100000	150000	100000	50000	150000	120000	300000
d3	100000	150000	100000	50000	150000	120000	300000

## 4.2 情境設置說明

當決策者在規劃未來的逆物流供應鏈時，無法用過去正物流的概念，是因為與過去正物流有一個很大的不同，逆物流供應鏈會面臨到許多環境上的不確定性，而難以下決定。在本研究當中，為了求得品牌廠商最佳回收與處理分配，透過環境當中具備不確定因素的三種變數，其不同表現水準的交叉組合，來描述未來一段期間內可能會發生的各種情境，利用隨機規劃的方式來表示這三種不確定參數，並透過模擬計算，來算出一個綜合所有情境下的最佳利潤。

在(Hong et al. 2006)的研究當中，為了求得不確定環境下的回收系統配置，考慮了退回收品回收量水準、退回商品再利用比率、模式中是否允許區域以外的回收商，分為16種情境組合，國內學者李惠卿也為了在求得逆物流環境情況下的最佳訂單接受量中，考量到四種不同的不確定因素，組合成16種情境，(Butler et al. 2003)則是為了求得新產品的未來運籌規劃，考量多種變數組合，如新產品的需求成長速度、不同客戶對此新產品的需求程度、運輸成本多寡總計分為12種情境。綜合以上，情境的組合並無特定的規律，只要是決策者在規劃策略當中所關心的關鍵議題，都可以透過設計情境組合，來描述難以預測的不確定因素未來可能發生的水準。

本研究所考慮到的三個不確定變數為逆物流活動中時常發生，使逆物流相關參與角色感到相當困擾的不確定因素，且企業利潤影響甚大，即逆物流活動中的回收品數量、回收到回收品品質、投入在製造加工廠以後，在加工廠本身的再製物品拆解數量，這三個不確定因素都會影響到企業在自行建立逆物流供應鏈時的營運情形。

如下表13，每種變數都有高、低兩種水準的可能性，總計有2的3次方8種情境，在範例中假設每種情境的發生機率皆相同即0.125，如表13所示，在情境1中回收量、回收品質、拆解比例皆為高水準的情況下，情境8則是剛好相反，其餘的情境則依此類推。

表 13: 情境說明

情境	回收量	回收品質	加工拆解量	發生機率
S1	H	H	H	0.125
S2	H	H	L	0.125
S3	H	L	L	0.125
S4	H	L	H	0.125
S5	L	H	H	0.125
S6	L	H	L	0.125
S7	L	L	H	0.125
S8	L	L	L	0.125

接著針對三種變數高低水準的參數設定進行說明：

#### 一、回收量不確定性

學者李惠卿(2008)的研究中指出對逆物流處理服務商來說，退回商品回收數量就等同於貨物來源的數量。然而在現實環境當中，退回商品回收數量難以準確預估，退回商品的數量的不確定性也是逆物流活動中一大特色。逆物流服務處理商須考慮在不穩定的回收數量之下，於營運去活動做出何種因應對策。

本研究當中假設回收量有高、低兩種水準，是將從環保署統計的手機年度回收量乘上手機品牌廠商A的市佔率算出的平均回收量各別增減10%，而8個回收來源的回收量則是依照當地人口比例來去做分配，如下表所示：

表 14: 高、低水準回收量

回收量	r=1	r=2	r=3	r=4	r=5	r=6	r=7	r=8
H	45651	28168	21392	15934	47710	36126	38666	10882
L	37351	23046	17503	13038	39036	29558	31636	8904

## 二、回收品質不確定性

回收品分配到中間集散地之後，中間集散地會將回收品進行簡單的檢測，檢測完畢之後，會將這些回收品做一個分類，總共會分成高、中、低與不可再利用廢棄物四種，在表中依序為  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  與  $W_{pt}$  四個，而這個分配比率為一個不確定參數，有回收品質高水準與低水準兩種情況可能發生，而情境下的比例為本研究所假設。

表 15: 回收品質

回收品質比例	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$W_{pt}$
H	0.5	0.25	0.15	0.1
L	0.35	0.25	0.25	0.15

## 三、拆解比例不確定性

在逆物流服務處理商的營運活動當中，處理廠負責將退回商品拆解、修復成可再利用的再生物料。然而每件回收而來的退回商品，不僅回收數量不穩定損壞

程度也不一，其能夠產生再利用零件的比率也就不盡相同，而本研究總共有三種不同的再製造加工方式，每種加工方式能產出的種類數目也不同，因此我們只列出該加工廠*i*所能產出的再製造物品拆解數量，而加工廠*i1*到*i3*依序為翻新、拆解成零件、提煉成原物料。

表 16: 拆解數量

H拆解量	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
K1	0.800	0.800	1.600	1.600	2.400	0.800	0.036	1.154	1.154	24.368	3.848	11.543	58.995
K2	0.400	0.600	1.200	1.200	1.800	0.600	0.032	0.972	0.972	20.520	3.240	9.720	49.680
K3	0.100	0.300	0.600	0.600	0.900	0.300	0.028	0.851	0.851	17.955	2.835	8.505	43.470

L拆解量	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
K1	0.650	0.700	1.400	1.400	2.100	0.700	0.034	1.033	1.033	21.803	3.443	10.328	52.785
K2	0.300	0.500	1.000	1.000	1.500	0.500	0.030	0.911	0.911	19.238	3.038	9.113	46.575
k3	0.100	0.200	0.400	0.400	0.600	0.200	0.024	0.729	0.729	15.390	2.430	7.290	37.260

### 4.3 實驗設計

在本節，我們以上一節所建立的八個情境為基礎，透過隨機規劃的求解方法，在不確定未來哪個情境會發生的情況下，找出一個綜合情境的最佳回收處理分配，本研究總共設計了五組實驗來進行比較，而五組實驗的差別主要在於不確定性參數的不同，將在下面進行說明，整個實驗設計的概念如下圖：



圖 6: 實驗設計

我們首先進行數據的蒐集並且針對一些蒐集到的數據進行適當的調整，接著根據不同的實驗組，我們會對不確定參數進行調整，以能分析不同的不確定參數會有什麼影響，接著就把數據丟入到本研究在第三章所設計的非線性最佳化模型中進行計算，最後在針對各個實驗的最佳解下去進行分析。

接著說明本研究五個實驗組在不確定因素上的差異，並且利用表格來表示：

在實驗 1 的不確定參數數據如 4.2 節中所提到的，而數據的蒐集過程在這邊就不再說明，詳細數據如表 18:



表 17: 實驗 1 回收量

回收量	r=1	r=2	r=3	r=4	r=5	r=6	r=7	r=8
H	45651	28168	21392	15934	47710	36126	38666	10882
L	37351	23046	17503	13038	39036	29558	31636	8904

表 18: 實驗 1 回收品質

回收品質比例	k=1	k=2	k=3	Wpt
H	0.5	0.25	0.15	0.1
L	0.35	0.25	0.25	0.15

表 19: 實驗 1 拆解數量

H拆解量	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
K1	0.800	0.800	1.600	1.600	2.400	0.800	0.036	1.154	1.154	24.368	3.848	11.543	58.995
K2	0.400	0.600	1.200	1.200	1.800	0.600	0.032	0.972	0.972	20.520	3.240	9.720	49.680
K3	0.100	0.300	0.600	0.600	0.900	0.300	0.028	0.851	0.851	17.955	2.835	8.505	43.470

L拆解量	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
K1	0.650	0.700	1.400	1.400	2.100	0.700	0.034	1.033	1.033	21.803	3.443	10.328	52.785
K2	0.300	0.500	1.000	1.000	1.500	0.500	0.030	0.911	0.911	19.238	3.038	9.113	46.575
k3	0.100	0.200	0.400	0.400	0.600	0.200	0.024	0.729	0.729	15.390	2.430	7.290	37.260

在實驗 2 中我們把不確定參數做了修改，為了了解當不確定性參數在高、低水準之間的差距更大的時候，對於隨機規劃的結果會造成什麼影響，本研究在實驗 2 中將回收量與拆解數量高水準的情況下數據往上調 10%，低水準的情況下則往下調 10%，而在回收品質的部分也將高、低水準的差距拉大，詳細數據如下表：

表 20: 實驗 2 回收量

回收量	r=1	r=2	r=3	r=4	r=5	r=6	r=7	r=8
H	50216	30985	23531	17529	52482	39739	42533	11970
L	33616	20741	15753	11734	35132	26602	28472	8014

表 21: 實驗 2 回收品質

回收品質比例	k=1	k=2	k=3	Wpt
H	0.55	0.28	0.12	0.05
L	0.3	0.25	0.3	0.15

表 22: 實驗 2 拆解數量

H拆解量	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
K1	0.880	0.880	1.760	1.760	2.640	0.880	0.040	1.270	1.270	26.804	4.232	12.697	64.895
K2	0.440	0.660	1.320	1.320	1.980	0.660	0.035	1.069	1.069	22.572	3.564	10.692	54.648
K3	0.110	0.330	0.660	0.660	0.990	0.330	0.031	0.936	0.936	19.751	3.119	9.356	47.817

L拆解量	i1j1	i2j1	i2j2	i2j3	i2j4	i2j5	i3j1	i3j2	i3j3	i3j4	i3j5	i3j6	i3j7
K1	0.585	0.630	1.260	1.260	1.890	0.630	0.031	0.929	0.929	19.622	3.098	9.295	47.507
K2	0.270	0.450	0.900	0.900	1.350	0.450	0.027	0.820	0.820	17.314	2.734	8.201	41.918
k3	0.090	0.180	0.360	0.360	0.540	0.180	0.022	0.656	0.656	13.851	2.187	6.561	33.534

在實驗 3、4、5 中，本研究希望能夠了解各個單一不確定參數對於結果的影響大小，因此在每個實驗中，只會對其中一個不確定參數做改變從實驗 3 到 5，依序為回收量、回收品質、拆解數量，其餘兩個數據皆與實驗 1 相同，而改變的參數調整的幅度，則與實驗 2 的幅度相同，因此在下面不再列一次詳細數據。

#### 4.4 實驗結果與分析

在設計完五種實驗以後，本研究利用 Lingo 軟體來將我們在第三章所建立的數學模式程式化，接著將前面所蒐集的數據以及上一小節所提到的五種不同的不確定參數帶入進行模擬計算，一開始我們先求出五種實驗的最佳回收處理分配與最佳利潤，數據整理後如下表 23:

表 23: 最佳分配比例

分配比例	k1i1	k1i2	k1i3	k2i1	k2i2	k2i3	k3i1	k3i2	k3i3	最佳利潤
實驗1	0.8265	0.1407	0.0328	0	0.7005	0.2995	0	0.4296	0.5704	1088770
實驗2	0.7576	0.1374	0.1050	0	0.7756	0.2244	0	0.5698	0.4302	734805
實驗3	0.7435	0.1714	0.0851	0	0.6139	0.3861	0	0.2645	0.7355	1091450
實驗4	0.7630	0.1206	0.1164	0	0.7316	0.2683	0	0.3212	0.6788	1274858
實驗5	0.8265	0.1115	0.0620	0	0.7278	0.2722	0	0.4815	0.5185	1113346

從表 23 中，我們可以看到各品質 k 的回收品分配到再製造加工廠的分配比例，由於本研究最終目的在於了解各個品質的回收品如何分配到不同的再製造方式，可以得到最佳利潤，因此在表 24 把從 k1 到 k3 三個品質的分配比例都列出來，各個品質分類比例的加總都會等於 1，這也是本研究最重要的決策變數，從表 24 中可以發現對於高品質回收品(k1)不論在任何實驗都是最適合分配到 i1 也就是翻新加工的部分，主要的原因在於針對單一回收品，使用翻修的加工方式直接產出二手品去販賣，所能販售的價格為最高的，高品質的手機回收回來以後，本身其實都還很完整，因此加工成本不需太高，在決策上就會將他分配到加工出來價值最高的再製造加工廠裡，然而回收品品質好壞對於翻修這種加工方式的加工成本影響相對較大，因此我們可以看到在低品質回收品(k3)在五項實驗中，都沒有分配到加工廠 i1，在中品質回收品(k2)的部分，五個實驗分配的結果差不多，都是分到 i2 與 i3 大約 7:3 的比例，低品質回收品(k3)在實驗 1、3、4 中都會分配 55%以上的比例到 i3 再製造工廠，主要原因在於 i3 加工廠的加工成本，隨著回收品品質的降低而增加的比例相較另外兩種加工方式較少，因此在低品質回收品大部分會分到再製造加工廠 i3，然而在實驗 2 與實驗 4 因為受到拆解數量不確定性增加的影響，因此分配到 i2 的部分較為增加。

而在利潤的部分，由於各個實驗在不確定參數上的不同，本身利潤就會有影響，因此單一看利潤這項數據比較無法比較，我們將在下一段配合隨機規劃的一個重要指標 EVPI(Expected value of perfect information)進行比較，首先先簡單介紹一下 EVPI 的概念。當我們能夠完全知道未來所發生的情況的話，即沒有不確定性的存在，那麼對於每一個情況我們皆可以用確定性模式提供最佳解，長期而言預期的最佳利潤就為各個情境使用最佳分配方式，然後在乘上發生的機率，這種結果我們稱為 WS(Wait-and-see model's objective)，而 EVPI 就是我們利用隨機規劃求出的解與 WS 解之間的差距，這差距越小則表示隨機規劃所算出來的結果越準確。在本研究中我們也針對這幾項數據做了計算與分析比較，目的在於了解各個不確定性參數對於隨機規劃的結果會有什麼影響，整理的數據如下表：

表 24: EVPI

	隨機規劃解	Wait and See	EVPI=WS-EV	差距百分比 EVPI/WS
實驗1	1088770	1133236	44466	3.9%
實驗2	734805	935755	200950	21.5%
實驗3	1091450	1252347	160897	12.8%
實驗4	1274858	1423620	148762	10.4%
實驗5	1113346	1262425	149079	11.8%

在表中我們可以看到各個實驗在 EVPI 上的差距，實驗 2 我們將實驗 1 中三個不確定參數都進行調整，而實驗 3、4、5 是各調整一項參數如 4.3 所提到的，因此在這邊本研究將對實驗 1 與 2 進行比較，實驗 3、4、5 進行比較。

在實驗 1 與 2 中我們增加了三個隨機變數高、低水準的落差，從實驗數據中看到當不確定性增加時，EVPI 值也會跟著提升，主要原因在於隨機規劃必須滿足所有的情境的限制式，且是求出一個綜合所有情境下的最佳解，因此在各個情

境的差距擴大時，隨機規劃在求取最大利潤的部分就會有所減少，來去增加這個最佳解的穩定度，使這個最佳解在所有情境發生的情況下都能適用，而不會在某一情境下落差是很大的。

而在另外一組的比較數據中，目的在於比較三個隨機參數對於EVPI的影響，可以看到三個隨機參數對於結果的影響差距其實不是很大，實驗3的回收數量不確定性對於整個模式影響是最大的，其次為拆解數量，最後為回收品質，當企業在使用這個最佳化模型的時候，透過這樣的比較方法，可以看出對於此逆物流供應鏈來說，影響最大的是哪個不確定性因素，企業便可以在有限的資源與時間下針對影響較大的不確定因素，去做詳細的研究，來去減少整個不確定性因素對於企業的干擾，進而去求得最大化的利潤，或是最小的成本花費。

## 伍、結論與未來建議

### 5.1 結論與貢獻

在環保意識的抬頭之下，國際間紛紛制定相關回收法令，企業將會更積極的參與逆物流活動，包括使用過後商品的回收、處理、修復再製造等流程。然而過去企業為了節省成本常常將逆物流交給專業代理商處理，但是在(Pagell et al. 2007)的研究中指出，企業自行建立逆物流供應鏈，有許多委好得不到的好處，因此許多企業開始自行建立逆物流供應鏈。故本研究目的在於以品牌廠商為出發點，建置其適合的回收處理分配數量模式。經整理本研究結論如下：

本研究透過建置非線性隨機規劃的模式，以營運最大利潤為目標，求得最適合品牌場商的營運數量模式，在模式當中，決策者可考量相關的營運成本、利潤數據，做為輸入參數，並透過情境的組合，將未來可能發生在環境當中的不確定因素納入考量範圍，而逆物流供應鏈來說最重要的不確定因素，本研究透過隨機參數的方式，來讓決策者可以在不確定未來會發生哪種情境的情況下，做出一個最適當的決策，以能對於未來所有的可能做好最好的準備，也可以利用EVPI這項數據，了解哪些不確定參數是最需要被重視的。

另外本研究透過範例的計算，可以反映出部分逆物流活動特色，同時也可以讓使用者了解本研究的模型該如何使用，由於過去企業對於自行建立逆物流供應鏈總是認為擁有太多的不確定性，而選擇委外專業逆物流供應商，卻失去了取多自行建立的好處，因此本研究希望能透過此模型，幫助企業將未來的不確定性考慮進去，在自行建立逆物流供應鏈的情況下，也能夠降低成本，且透過最佳處理分配模式，去找到逆物流供應鏈中的最佳利潤。

## 5.2 研究限制

本研究囿於時間、人力、物力，在研究上有部分的限制，在本研究的計算範例所採用的資料，乃透過部分文獻經過合理假設調整而成，為配合本研究模式之假設情形所做的更動。然而經過調整過後的資料可能無法反映出現實環境當中逆物流活動的實際數據表現。

## 5.3 未來建議

一、本研究所範例中之回收商品，以手機為回收商品假設範例，但在逆物流活動當中，包含各種型態的商品，有些可能含有有毒物質，須經過其他特別處理。而本研究的方法其實不只可以運用在手機業者上，可能面臨到各式各樣的產品及處理過程，建議未來的研究可再延伸其他種類的商品或是廢棄物處理方法，來建置符合不同產業背景逆物流網路規劃架構。

二、由於本研究之資料因部分限制，非來自於實際的例證，建議未來可結合現有之案例數據，進行實證研究，透過實際資料來驗證模式。

三、本研究假設再製物品的價格及需求，皆設定為一個穩定的狀態，因此建議未來的研究者，可以將這兩項數據的不確定性也考慮進去，進而將整個研究模型拓展成一個多階段的隨機規劃，將可以對於整個逆物流供應鏈更完整的模擬出來。

## 陸、參考文獻

1. 李惠卿，2008，多處理廠環境下逆物流最適訂單接受量與處理量之研究，國立政治大學資訊管理學系碩士論文。
2. 張美香, 賴靜煜, and 薛哲夫 "溫室氣體排放限制下之電力系統容量擴增計畫 A Study of Power System Capacity Expansion under Limitation of Greenhouse Gas Emission,") 2008.
3. 楊文正 "廢棄物物流系統規劃之研究," 成功大學工業管理科學系碩博士班學位論文:2005 年) 2005.
4. 黃崇奇，2001，求解產銷通路獲利最佳化之探討與比較，國立成功大學工業管理學系碩士論文。

- Bhuie, A., Ogunseitan, O., Saphores, J. D. M., and Shapiro, A. "Environmental and economic trade-offs in consumer electronic products recycling: a case study of cell phones and computers," *IEEE*, 2004, pp. 74-79.
- Butler, R., Ammons, J., and Sokol, J. "A robust optimization model for strategic production and distribution planning for a new product," *University of Central Florida, Orlando*) 2003.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., and Van Wassenhove, L. N. "Quantitative models for reverse logistics: A review," *European Journal of Operational Research* (103:1) 1997, pp 1-17.
- Geyer, R., and Doctori Blass, V. "The economics of cell phone reuse and recycling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (47:5) 2010, pp 515-525.
- Hong, I. H., Assavapokee, T., Ammons, J., Boelkins, C., Gilliam, K., Oudit, D., Realff, M. J., Vannicola, J. M., and Wongthatsanekorn, W. "Planning the e-scrap reverse production system under uncertainty in the state of Georgia: A case study," *Electronics Packaging Manufacturing, IEEE Transactions on* (29:3) 2006, pp 150-162.
- Ko, H. J., and Evans, G. W. "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs," *Computers & Operations Research* (34:2) 2007, pp 346-366.
- Listeş, O., and Dekker, R. "A stochastic approach to a case study for product recovery network design," *European Journal of Operational Research* (160:1) 2005, pp 268-287.



- Louwers, D., Kip, B. J., Peters, E., Souren, F., and Flapper, S. D. P. "A facility location allocation model for reusing carpet materials," *Computers & Industrial Engineering* (36:4) 1999, pp 855-869.
- MATTHEW, J. R., Ammons, J. C., and DAVID, J. N. "Robust reverse production system design for carpet recycling," *IIE Transactions* (36:8) 2004, pp 767-776.
- Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., and Zenios, S. A. "Robust optimization of large-scale systems," *Operations research*) 1995, pp 264-281.
- Pagell, M., Wu, Z., and Murthy, N. N. "The supply chain implications of recycling," *Business Horizons* (50:2) 2007, pp 133-143.
- Shih, L. H. "Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan," *Resources, conservation and recycling* (32:1) 2001, pp 55-72.
- Teunter, R. H., and Flapper, S. D. P. "Optimal core acquisition and remanufacturing policies under uncertain core quality fractions," *European Journal of Operational Research* (210:2) 2011, pp 241-248.
- Yu, C. S., and Li, H. L. "A robust optimization model for stochastic logistic problems," *International Journal of Production Economics* (64:1) 2000, pp 385-397.

