

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

綠色產品生命週期管控之知識服務系統-子計畫四：分權式綠色供應鏈

之離廠回收運籌管理

Off-plant Recycling Logistics Management in Decentralized Green

Supply Chains

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-002-263-MY3

執行期間：97年8月1日至100年7月31日

計畫主持人：洪一薰

共同主持人：

計畫參與人員：鄧志鋒、葉潤生、柯志賢、李宜庭、蔡宜璇、羅俊豪、

游絃婷、林冠汶、張倍瑜

執行單位：國立台灣大學工業工程學研究所

中 華 民 國 1 0 0 年 1 0 月 2 6 日

# 目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	II
表目錄.....	III
中文摘要.....	IV
英文摘要.....	IV
一、研究背景與目的.....	1
二、文獻探討.....	4
應用中央集權式 (Centralized) 於逆向供應鏈系統規劃之相關文獻.....	4
應用分權式 (Decentralized) 於供應鏈系統規劃之相關文獻.....	5
環境政策工具於逆向供應鏈系統規劃之相關文獻.....	5
三、研究方法.....	6
主題 1：分權式及中央集權式比較及分析及補貼政策敏感度分析.....	8
分權式及中央集權式決策方法比較及分析.....	8
政府補貼政策敏感度分析.....	10
主題 2：補貼及徵收費率之制訂.....	11
逆向供應鏈.....	12
資源回收系統社會福利極大化基本模型.....	13
收支平衡模型.....	14
最佳回收執照發放數.....	15
主題 3：政府補貼政策之探討.....	17
研究假設.....	18
符號定義.....	19
模型一：收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型建構.....	20
模型二：回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型建構.....	22
四、計畫成果自評及建議.....	28
主題 1：分權式及中央集權式比較及分析及補貼政策敏感度分析.....	28
分權式及中央集權式決策方法比較及分析.....	28
政府補貼政策敏感度分析.....	29
主題 2：政府補貼及徵收費率之制訂.....	31
主題 3：政府補貼政策之分析.....	32
參考文獻.....	37

## 圖目錄

圖 1 逆向供應鏈系統示例.....	2
圖 2 本研究進展時程.....	7
圖 3 $M$ 階層逆向供應鏈系統示例.....	8
圖 4 回收商、集中商及處理商組成之逆向供應鏈系統.....	9
圖 5 供應鏈流.....	13
圖 6 研究問題示意圖.....	18
圖 7 線性兩階逆向供應鏈基本模型圖.....	19
圖 8 兩階資源回收系統決策時間點圖（一）.....	20
圖 9 限制式(3.38)與下游廠商目標函數關係圖.....	21
圖 10 兩階資源回收系統決策時間點圖（二）.....	23
圖 11 市場價格敏感度與政府補助上游時回收量變化圖（一）.....	26
圖 12 回收商決策點圖.....	27
圖 13 市場價格敏感度與政府補助上游回收量之變化圖（二）.....	28
圖 14 中央集權式模型 (□) 及分權式模型 (■) 之系統淨利之比較.....	29
圖 15 $a$ 及 $b$ 對社會福利值的影響.....	31
圖 16 $\tau$ 對社會福利值的影響.....	32
圖 17 $m$ 對總體社會福利值的影響.....	32
圖 18 回收量為決策變數線性模型之回收情境示意圖.....	33
圖 19 收購價格為決策變數線性模型之回收情境示意圖.....	33

## 表目錄

表 1 個體間之單位運輸成本.....	10
表 2 本研究擬探討之補貼政策情境.....	11
表 3 不同補貼政策下分權式模型之均衡收購價格.....	30
表 4 不同補貼政策下分權式模型之均衡收購流量.....	30
表 5 第一階層中不同市場之供給函數.....	30
表 6 不同補貼政策下分權式模型之均衡收購流量.....	31

## 中文摘要

近年來，環境保護的概念逐漸形成新的社會認知及規範，是否能妥善地處理經濟快速發展所造成的電子廢棄物更是廣受注意，因此各國相關的環保法令便因應而生。隨著地球暖化的議題日漸增溫，壽期結束之產品的回收、再使用及減量已是產官學界現在所面臨迫在眉睫之問題。本計畫首先探討產品壽期結束後之離廠運籌逆向回收管理系統中，如何預測及描述該系統內各別個體之行為表現及績效，並針對分權式及中央集權式規劃方式所得之結果進行分析及比較，探討政府補貼政策對分權式逆向供應鏈系統總回收量之影響。接著，根據現行收支平衡的概念以及總體社會福利最大化的目標，於相同稅收水準的假設下求得結果並利用數值案例進行參數敏感度分析，探討模式可能存在的趨勢，並以 Stackelberg 模型求得回收體系參與者的最佳決策。依決策時間點而言，政府為先行者，其先發佈回收清除處理費率與補貼費率的訊息，跟隨者(責任業者及資源回收處理業者)接收訊息後，分別制定最佳製造量及獎勵金水準。最後，發展兩階層基本資源回收系統模型，以分權式 (decentralized) 的角度，依據資源回收系統中物流與金流方向之差異，分別考慮不同先行決策者 (leader) 與決策跟隨者 (follower)，以及廠商間與消費者交易之市場反應情況，同樣以 Stackelberg 模型為基礎建構政府補貼費率模型，並在政府為求增加回收量之目標下，探討政府在不同補助對象政策的實施下，對於整個資源回收系統造成的影響。

**關鍵詞：**逆向供應鏈；政府補貼費率；Stackelberg 模型

## 英文摘要

Primarily due to the issues of global-warming, depletion of natural resources, and the environmental legislation, the disposition of end-of-life (EOL) electronics products has attracted much attention. How to reduce, reuse, or recycle end-of-life products is an emerging problem nowadays. The first objective of this research is to predict and determine the behavior and performance of independent entities in off-plant logistics chains for end-of-life products. This research examines the comparison of centralized and decentralized decision-making perspectives, and investigates the impact of the government subsidy on the total collection amount in the system. Next, we study a Stackelberg-typed model to determine socially optimal advanced recycling fees (ARFs) and subsidy fees in decentralized reverse supply chains where each entity independently acts according to its own interests. The model consists of one leader (the government) and two followers (a group of manufacturers, importers, and sellers (MIS) and a group of recyclers). Furthermore, this research also applies the Stackelberg-typed model to the analysis of the impact of exogenous subsidies on material flows in a decentralized recycling system. The government determines the subsidy location to maximize the recycling quantities. According to the difference of information disclosure time, the roles of the leader and the follower may be different for upstream and downstream tiers.

**Keywords :** Reverse Supply Chains; Government subsidy; Stackelberg-typed model

## 一、研究背景與目的

由於環保意識之重視及近年在許多天然災害中，大自然對於人類過度耗用資源所產生反撲的現象，再者，近年來原物料的價格也持續上漲（DOC 2004），綠色供應鏈（Green supply chains）的概念已在世界各國受到產、官、學界的重視，許多國家分別將環保意識落實為強制的明文要求，如歐盟的 WEEE（Waste Electrical and Electronic Equipment Directive）及 RoHS（Reduction of Hazardous Substances Directive）或尚在立法中的 REACH（Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals）及 EuP（Eco-design requirements for energy-using products），而政府之環境政策或法規，對於逆向供應鏈系統的運作有顯著的影響。封閉型供應鏈包含「廠內生產管理」及「離廠運籌管理」，在離廠運籌管理中，如何分析壽期終了之產品從終端消費者進入回收體系，使得廢棄之產品能夠分解再利用，為逆向供應鏈（Reverse supply chains）主要問題之一。綠色供應鏈是將永續經營以及環保再生的觀念加到供應鏈的本身，而逆向供應鏈為綠色供應鏈內重要的一環。此議題也隨著地球暖化的危機而日漸增溫，但也是潛在的商機之一。

電子產品中如記憶體晶片、電路板、面板、電線等零組件，本身即含有毒物質如鎘，會導致空氣污染，進而造成水污染與土壤污染；汞利用於面板製造，對於海洋生態有極大影響；過量鉛元素則會造成空氣污染。因此廢棄資訊產品必須妥善處理，否則將造成更大的環境污染，對人體健康產生危害（環境技術資訊網 2006）。理論上，健全的市場可不需政府的介入而自行正常運作，但由於環境品質具有公共財的特性，並且環境污染為一種負面的外部性（Externalities）。所謂的外部性是指人們的經濟行為有一部份的利益不能歸自己享受，或有部份成本不必自行負擔，而此種不須自行負擔的成本則稱為外部性成本（Externalities cost），即為負面的外部性，最典型的例子就是環境污染。當市場無法有效率地配置資源去從事環境污染防治的工作，被稱之為市場失靈（Market failure），此時便提供政府介入干預市場的正當性（張清溪等人 1995），環境政策工具常被用於減少或控制污染物排放量的方法之一，例如在歐盟制定的環保法令之下，政府的環境政策對於逆向回收物流有重大的影響。因此，世界各國無不對電子資訊產品制訂相關指令來規範相關產品的製造、輸入及壽期結束後續處理，其中以歐盟推行下列 3 項指令衝擊為主，分別是「電子及電器設備限用物質指令」— WEEE（Waste Electrical and Electronic Equipment Directive），包括電機電子資訊產品之分類收集、回收、處理行為及使用者資訊提供的規定，藉由產品回收率的提昇達成以下目標：減少電子資訊廢棄物產量，避免過多電子資訊廢棄物進入掩埋場，提高資源再利用的比例，降低對環境的衝擊。第 2 項指令「危害物質限用指令」— RoHS（Reduction of Hazardous Substances Directive），2006 年 7 月 1 日起，進入歐盟市場的新電子電機設備不可包含鎘、鉛、汞、六價鎘、多溴聯苯類（PBB）、多溴聯苯醚類（PBDE）等六大化學物質。最後「能源使用產品對環境友善設計」— EuP（Eco-design requirements for energy-using products），其內容在於規定製造商進行產品設計時，需評估產品生命週期各階段對環境的考量，並提供有關產品永續使用之產品環境生態說明書（Ecological profile），並且由產品生命週期評估，尋求可能替代技術，開發出對環境更友善的產品，規範使用能源的產品，要求加入產品生態化設計概念，採用省能源、低毒性及易回收的零組件與設計，未來才能在歐盟境內上市。

台灣電子資訊產品外銷產值巨大，其中最具競爭力的產業，無非是諸如半導體業、資訊業、通訊業等的高科技產業，正好是上述法令所限制的產業群“電子及電器設備”。而台灣多家電子電機業者均為全球主要大廠供應鏈之重要夥伴，多項資訊硬體產品的產量都佔全球市場一舉足輕重的地位，受到 WEEE 的衝擊也最直接（台灣區電機電子工業同業公會 TEEMA）

<sup>1</sup>。2004 年輸入到歐盟各國列入規範之電子電機產品的產值高達 2,446 億新台幣，佔國內 GDP 的 2%，而其中又以競爭力最強的資訊業與通訊設備的 1,996.7 億元最高，比重高達 81.6%，影響廠商數量高達 35,000 家（財政部 2005）。可見，影響所及，不只訂單大小，更關係到供應鏈廠商的生存。整條供應鏈有關聯的所有廠商勢必隨之同步調整，才能合乎規定的嚴苛要求。在世界貿易組織（World Trade Organization）的平台之下，不僅外銷產品之製造及配銷需符合各國的環保法規，未來各國的環保政策之制訂及實行若無法遵守國際上之規範，也可能會遭受到部份之經濟制裁。本研究計畫以政府公務部門的觀點來探討「離廠回收運籌管理」之議題，使台灣能從製造代工角色蛻變為綠色製造服務角色，如能這樣必能促進我們產業的進一步升級。

逆向供應鏈（Reverse supply chains）是一個多階層的網路系統（Multi-tiered network systems），如圖 1 所示，且在每個不同的階層中通常由多個獨立運作的個體所組成，以資訊產品為例，逆向供應鏈是由數個回收商（Collectors）、集中商（Consolidation sites）及處理商（Processors）所組成。回收商的角色可能是由一般的零售店來扮演，回收商從學校、政府機關、民間企業或個人家戶回收壽期結束之資訊產品（如：電腦、印表機、螢幕等），而回收商將廢棄之電子資訊產品運送到集中商，以做初步的整理，分類出可堪用或完全廢棄之產品，並運送至處理商，處理商通常作更進一步的分解再處理，如分解廢棄之資訊產品，取出其中的貴金屬及可再次利用之原物料，處理商也對可堪用之廢棄資訊產品再次加工及維修，並於二手市場中出售，除此之外，回收商或集中商亦可能直接將回收物料於二手市場或原物料市場中出售，不再經由下游廠商，舉例而言，集中商將所收集到的廢棄資訊產品做初步分解處理後，將其中的塑料直接拆解而於原物料市場中出售，不再經由處理商，而其它初步拆解後之零組件（如硬碟，主機板等）仍繼續運送至處理商做後續處理。

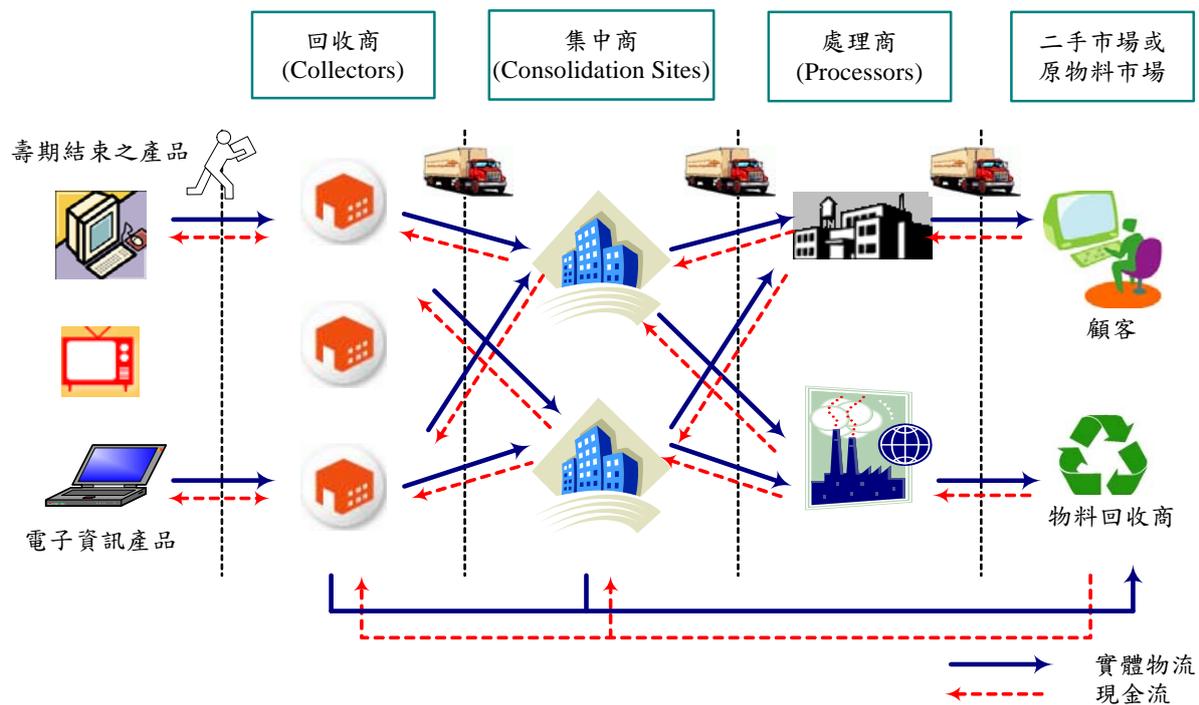


圖 1 逆向供應鏈系統示例

除了上述實體物流方面，本文以圖 1 中之虛線來表示在逆向供應鏈系統中「現金流」部

<sup>1</sup>詳細資料可參閱 <http://www.teema.org.tw/introduce/default.asp>

份。一般而言，處理商向集中商購買已初步分類之廢棄資訊產品，而集中商向回收商購買所收集之產品，同樣的，當民眾、企業或機關團體將報廢之資訊產品交由回收商時，通常回收商會給予補貼費，以鼓勵資訊產品使用者在產品壽期結束之後，將資訊產品交由回收商來處理，然而，對於某些廢棄電子產品（如傳統映像管顯示器即為一例），分解、處理流程本身對整個逆向供應鏈並無法創造出正向的利潤，回收處理此類產品（映像管顯示器）所需付出的成本高於所產生的收益，所以，以美國喬治亞州為例，回收商向學校、政府機關、民間企業或個人收取回收處理費（Hong et al. 2006），意即回收商並不全然向學校、政府機關、民間企業或個人購買廢棄之電子資訊產品。

學者提出兩階段政策工具（Two-part instrument），先對生產廠商按產量課稅，使廠商將外部性污染成本內生化以抑制其產量，另外再利用回收補貼的方式促使增加廢棄物的實際回收處理量，以達到環境保護的目的（溫麗琪，2005b）。我國現行資源回收官方系統為行政院環境保護署（以下簡稱為環保署）所建構，管理組織為環保署資源回收基金管理委員會（以下簡稱為基管會）。此系統以兩階段政策工具為基本框架，以延伸生產者責任（Extended producer responsibility, EPR）為概念。藉由上述工具及概念，現行之台灣資源回收系統，即是由製造及輸入業者（以下簡稱為責任業者）向政府繳納其產品最終廢棄時的回收清除處理費用，即污染者付費原則（Polluter pays principle, PPP），以反映產品於使用過後之負面外部性成本，進而減少污染排放。政府將所徵收之費用成立資源回收基金，由基管會管理，主要用於補貼實際執行回收清除處理相關廢棄物的資源回收業者，希望藉由此種補貼方式達到妥善清除處理廢棄物之目的。

然而，在現今制定費率時，無論是向責任業者徵收回收清除處理費用，或是補助資源回收業者的回收清除處理補貼費之水準，為保持基管會基金收支平衡的原則之下，僅考慮能夠準確計算責任業者的產量及資源回收業者的各項成本等相關因素，如產量、銷售量、報廢量、環境影響成本、再利用價值、回收清除處理成本、基管會行政成本等，並分攤計算至年度各項費率內。此種計算方式未能表現出所制定的費率對於業者之誘因效果，即可能因不同的費率水準對於產量有所影響，進而無法充分反應整體社會之福利。此外，現行制度並無考慮到分權式逆向回收物流系統個體決策之均衡問題，例如，政府所制定之補貼費率是否有足夠的誘因使回收業者加入回收系統？業者將徵收費用轉嫁給終端消費者後，如何影響消費者之消費行為？再者，由於逆向供應鏈系統是先經由多個回收點（Collection points）進行回收，再到集中商（Consolidation points）進行收集、分類、儲存等工作，最終到處理商（Processing points）進行二次料的再生，站在政府的觀點，應該補貼在哪一個階層，才能使得整個回收系統獲得最大的效益？

在過往關於分析逆向供應鏈物流系統之文獻中，經常以中央集權式之方法來求解「離廠回收運籌管理相關問題」。在中央集權式系統中，系統規劃者知悉每個個體的相關資訊，譬如產能限制、產品處理成本、運送成本等，系統規劃者並可決定及訂定每個個體之決策變數。然而，Wang et al.（2004）針對中央集權式系統指出三個主要的缺點：(1) 中央集權式模型並無法描述個體間的競爭行為及忽略個體獨自決策之機制，導致中央集權式模型經常高估真實系統之表現；(2) 在中央集權式模型中，系統決策者必需收集個體之資訊，而收集資料本身是一個高成本之過程；(3) 中央集權式模型可能須要很長的求解時間。然而，供應鏈系統經常是由一群各自獨立運作的個體所組成，每個獨立的個體在決策時有各自的考量，自己的決策變數會影響到其它個體的表現，其它個體的決策也會影響到各自的表現，個體間的決策通常會互相影響，且每個個體也不願意將自己的資訊提供給其它個體或向大眾揭露。此種型態之系統，稱之為分權式（Decentralized）系統。在中央集權式規劃方法中，系統規劃者控制

並制定系統中個體的決策變數，但在分權式規劃方法中，系統中的每個節點均為獨立運作之個體，並自行決定個體之決策變數。

如上文所示，中央集權式模型經常高估真實系統之表現，且另一問題為「資訊分享問題」，分權式系統中個體並無意願將本身之資訊告知系統決策者，因此以中央集權式之方法來做為分析工具有實務上之困難及理論上之誤用。文獻上針對供應鏈系統不同之建模方式之比較：中央集權式及分權式模型，可見諸於（Chang and Harrington 2000；Jorgensen and Kort 2002；Chen and Chen 2005）。然而，針對逆向回收物流系統中央集權式及分權式建模方式之比較卻少有文獻探討之。申請人過往之研究已發展出分權式逆向供應鏈系統模式，本計畫第一年發展相對應於分權式模型之「中央集權式之逆向供應鏈系統」模型，進而比較中央集權式及分權式規劃方式之不同，由此可得知系統規劃者如果以中央集權式來規劃實際上為分權式系統之差異。

本研究計畫為整合性計畫「綠色產品生命週期管控之知識服務系統」下的一子計畫，所扮演之角色為，從政府的觀點來分析綠色供應鏈中逆向回收系統中，獨立運作個體之行為表現。並進一步探討政府環保法規對分權式逆向供應鏈之影響，綜合上述的分析，本研究計畫之主要三大研究目的描述如下：

- 以發展出之分權式逆向供應鏈系統模式為分析工具，比較中央集權式及分權式規劃方式之不同，由此可得知系統規劃者如果以中央集權式來規劃實際上為分權式系統之謬誤之處。
- 針對政府、責任業者、資源回收業者與消費者所組成之分權式逆向回收供應鏈系統，探討政府所訂定之最適費率、責任業者最適產量以及資源回收業者的最適處理量。使整個系統達到均衡狀態，同時極大社會福利及減低負面外部性所帶來的影響。
- 逆向供應鏈系統是由多個回收點（上游階層）、再到集中商（中間階層）進行收集、分類、儲存等工作，最終到處理商（下游階層）進行二次料的再生，站在政府的觀點，探討應該補貼在哪一個階層，才能使得整個回收系統獲得最大的效益。

## 二、文獻探討

本研究計畫之文獻回顧針對下列方面來探討：以中央集權式規劃逆向供應鏈系統、應用分權式規劃方式於供應鏈系統、及環境政策工具之分析。

### 應用中央集權式（Centralized）於逆向供應鏈系統規劃之相關文獻

多數逆向供應鏈之文獻是以中央集權式（Centralized）的基本架構來規劃相關決策或設計系統，該類型文獻可見諸於（Flapper 1995, 1996；Fleishmann et al. 2000；Guide and Harrison 2003；Ammons et al. 2001；Barros et al. 1998；Assavapokee et al. 2005）。Shih（2001）及Hu et al.（2002）均針對回收處理商為研究對象，以極小化回收處理商的總成本為目標函數，探討回收處理設備的設施規劃（數量、地點及產能規模），以及在各回收階段（蒐集、儲存及處理）的最適處理量，在分別考慮具體的資源回收體系時，對於回收處理商的利潤成本面提供了有用及詳細的協助。再者，部份逆向供應鏈之文獻針對不同的產品類別，發展不同的優選模型（Optimization models），如紙類回收（Pohlen and Farris 1992；Huttunen 1996）、塑膠製品回收（Wang et al. 1995）、建築廢土回收（Barros et al. 1998）、影印機回收（Thierry et al. 1995；Thierry 1997；Krikke 1998）及電子資訊產品回收（Jayaraman et al. 1997；Hong et al. 2006）。

## 應用分權式 (Decentralized) 於供應鏈系統規劃之相關文獻

部份文獻已針對正向或逆向供應鏈 (Forward or reverse supply chains) 提出分權式規劃方式之模型。Corbett 與 Karmarkar (2001) 針對多階串列式供應鏈系統求解新進者是否進入市場之決策及新進者一旦選擇進入市場後的訂價決策；Majumder 與 Groenevelt (2001) 針對回收再生的產品影響新產品的需求情況下，分析原廠製造商自行生產與委由當地製造商代為生產此兩種模式之競爭行為；Guide et al. (2003) 針對在只有一家處理商的情況下，求解最佳收購價格及最佳訂價模式；Savaskan et al. (2004) 對品牌製造商分析三種不同的回收模式：委由零售商回收、交由第三者回收 (Third-party firm) 或自行回收；Savaskan and Van Wassenhove (2006) 分析不同的逆向物流系統的網路設計：直接從消費者端回收或是經由零售商回收。除此之外，供應鏈協同合作 (Supply chain coordination) 指在供應鏈系統中，採購、生產及配送等主要過程中，獨立個體間的協同合作，Lee and Rosenblatt (1986) 針對買賣雙方協同階段 (Buyer-vendor coordination) 訂定經濟訂購批量及數量折扣價格、Williams (1981) 針對生產-存貨協同合作階段 (Production-inventory coordination) 求解最小運輸成本問題、Clark and Scarf (1960) 針對存貨-配送協同合作階段 (Inventory-distribution coordination) 制定存貨政策。然而，上列所述文獻受限於模型本身網路架構複雜度，換言之，模型本身限制所能探討個體之數目或階層數。Nagurney and Toyasaki (2005) 應用 Variational Inequality 法求解一網路多階層分權式系統之價格流量問題，但其所求得之價格為隱性價格 (Endogenous price)，亦可稱之為影子價格 (Shadow price)，並無法描述真實系統中之交易價格。

此外，Cournot 及 Stackelberg 為常見之兩種分權式系統模型 (見 Hobbs 2001；Savaskan et al. 2004)。然而，在應用面來說，Cournot 模型違反「資訊不揭露」之原則，因為在 Cournot 模型中，個體必需將本身之最佳條件 (Optimality conditions) 告知系統規劃者，這違反了在分權式系統中，個體間不願意揭露本身資訊之假設。Stackelberg 模型又可稱之為 (Leader 及 Follower 問題)，Leader 藉由疊代 Follower 之最佳反應式 (Optimal response function) 而求得本身之最佳解，然後 Follower 也隨之求解其最佳解，此過程在一多階問題 (Multi-tiered problems) 中，由於疊代方法之使用，可能遭至「內隱」問題 (Implicit Problems)，再者，Stackelberg 模型也同樣違反「資訊不揭露」之原則，因為 Leader 需要得知 Follower 之最佳反應式。以上所述現今文獻之缺點促成本研究計畫之背景之一。

## 環境政策工具於逆向供應鏈系統規劃之相關文獻

環境政策工具常被用於減少或控制污染物排放量的方法之一，溫麗琪 (2005b) 提到在以往眾多環境政策工具的討論之中，專家學者們已經逐漸獲得一個共識，即是“經濟誘因工具 (Economic approach)”的效果會優於“管制政策工具 (Command-and-Control approach)”。管制政策工具意指利用政府權威直接控制被管理者以確保政策的執行，而經濟誘因工具則是政府給予經濟上不同程度的誘因，進而鼓勵被管理者自發性的行為以執行政策，例如補貼與課稅；其中經濟誘因工具的代表為庇古稅 (Pigouvian tax)。經濟學者所提倡的庇古稅，主要概念針對廠商在生產產品時，最終產品或生產活動所造成的環境污染，將之稱為環境外部性問題，並且政府以課稅的方式導致污染者內生化環境外部成本，如此一來，雖然會造成產品價格上升及產出減少，但當課稅費率等於邊際社會成本時，整體社會的環境經濟資源配置會達到最適化 (Baumol and Oates 1988)，此為庇古稅最大的優點。然而，庇古稅也具有缺點，由於必須針對造成污染的最終產品或生產製造活動課稅，無法利用其他指標或代理對象推論應稅費率及金額，因此會造成在監控汙染行為及量測汙染程度上付出龐大的成本，並且也無法有效防治非法的廢棄物處理行為，上述的缺點造成庇古稅在執行層面上的困難。因此，有許多學者提出兩階段政策工具 (Two-part instrument)，兩階段政策工具主要是由推定稅

(Presumptive tax)與環境補貼(Environmental subsidy)所結合而成的政策工具，並且 Fullerton and Wovlerton (1997)也證明了實施兩階段政策工具與實施理論上的庇古稅一樣可以達到相當的成效，尚可有效減少執行環境政策工具上的成本，即不需嚴密監控污染行為及量測污染量，同時避免廢棄物的非法處理，故對政府而言，在實際執行上兩階段工具會較庇古稅可行。

在探討整體社會福利最適化時，溫麗琪(2005b)以分權式(Decentralization)的角度分別就生產者及回收處理商建構不同的目標函數，說明政府利用課稅及補貼的經濟誘因工具，干預資源回收體系確會使社會福利達到最適化；另外，也有許多文獻指出利用差異化的環境政策工具可更有效達到減少環境外部性的目標，溫麗琪(2005a)亦提到可依回收處理廠商可資源化比例給予不同水準的補貼，在原本經濟誘因工具均等費率的基礎下，實施差異化補貼費率，將使得回收廠商願意投資回收設備以達到更高的資源化比例，進而獲得更多的補貼，就整體而言會達到更理想的資源回收體系。

在國際上，應用結合課稅與補貼的兩階段政策工具的案例不勝枚舉，更進一步，有文獻說明了在兩階段政策工具的基礎之下，發展出不同的實施方式，目的皆在於極大社會福利與極小環境外部性；Bansal and Gangopadhyay (2003)與溫麗琪(2005b)同樣都是探討政府是否以兩階段政策工具干預，及何種干預方式，對於環境品質及社會福利的影響；但不同之處在於前者以消費者效用為出發點，並以兩階段納許賽局(Two-stage Nash game)為研究模型，觀察廠商如何決定自身的環保水準並會影響對方做出何種決策，以獲得較佳的利潤，同時也提供政府資訊決定對哪家廠商採取課稅及補貼的行動，最後也得到以差別化補貼的方式，會使得所有廠商的環保水準及消費者剩餘上升，進而增加社會福利。

在逆向供應鏈回收模式的選擇亦為主要探討之課題。Savaskan and Wassenhove (2006)針對回收管道設計提出看法，當製造商直接回收廢棄物時，整個供應鏈系統之利潤變動回受到回收努力程度之影響，而透過間接回收，也就是經由零售商回收再集中，整個供應鏈利潤會因零售商之間競爭關係而有所影響；Majumder and Groenevelt (2001)針對兩種廠商競爭下決定再製及製造新品數量之兩階段模型進行探討，第一期 OEM (Original Equipment Manufacturer) 廠商僅利用新料製造新品，決定其生產數量及價格，當市場出現回收商品時，第二期回收商 (Local re-manufacturer) 應如何決定以二次料或是直接利用新料製造新品。上述兩篇文獻相同之處在於，主要研究對象皆為製造新品並進行回收之廠商，探討新品售價的制定，對回收方式的選擇與各自利潤的影響，而非探討收購價格制定對於自身之影響。

根據文獻回顧整理發現，兩階段政策工具中政府提供補貼費給予資源回收業者之政策儼然成型，但是對於補貼資源回收業者的費率及階層問題，並無相似文獻探討。因此本研究針對此問題，建構政府補助資源回收系統的基本模型，考慮資源回收系統中，各階層之廠商分別追求自身最佳決策的情況下，政府所制定的最適化徵收費率及補貼費率為何，另外一個議題為政府應該補助於上游回收商、中游集中商還是下游處理商，分析不同補助政策對於資源回收系統的影響，並利用各個參數之變動，包括市場價格、存貨成本、市場情況等，來解釋系統中回收量、收購價格、廠商利潤之變動情況，在經濟層面上的意義。

### 三、研究方法

本研究計畫針對三大研究主題：1 分權式及中央集權式決策方法比較、2 補貼及徵收費率之制訂、3 補貼政策之分析，提出理論發展及求解方法，茲分述如下。三大研究主題如圖 2 所示，逐步針對每個主題所做的研究進行模式推導、驗證及分析，並提出完整之系統規劃者針對分權式逆向供應鏈系統之分析、相關決策之制定及政府政策之分析。第一年主要研究時程於主題 1，第二年度主要研究時程於主題 2，第三年度主要研究時程於主題 3。

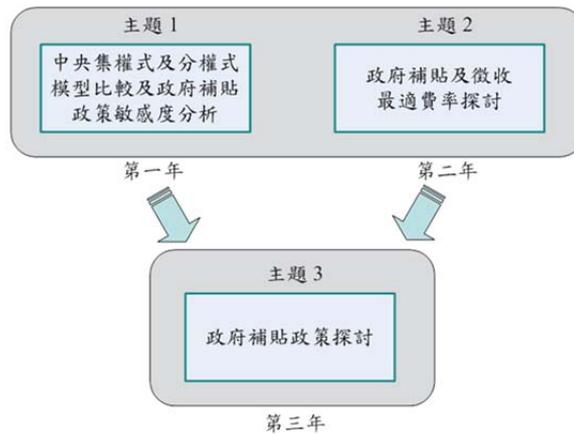


圖 2 本研究進展時程

第一年度首先確立分權式逆向供應鏈系統中個體決策之程序，建立個體之決策模型並求解分權式系統中個體之決策變數。以發展出之分權式逆向供應鏈系統模型為基礎，進一步發展相對應之「中央集權式」逆向供應鏈系統模型，比較「中央集權式」之系統總收益及「分權式」系統總收益，主題 1 最主要目的為探討系統規劃者（如政府），如果以中央集權式規劃方式來分析實際上為分權式系統之謬誤之處，且系統規劃者極有可能遭致過度樂觀預測而無法達到設計規劃目標之風險，在主題 1 中，並針對政府對資源回收業者之補貼政策做初步之實驗與探討，並與主題 3 之議題串接。系統規劃者（如政府）利用以延伸生產者責任為主要概念的兩階段政策工具，建構逆向回收系統。現行體系對於製造、進口或銷售產品之責任業者徵回收清除處理費，與補貼資源回收業者的回收清除處理補貼費即是兩階段政策工具的應用。然而，在多數文獻中，費率制定的方法僅在維持系統規劃者收支平衡的前提下，反應回收清除處理的成本與廢棄物未妥善處理而直接影響環境的成本，換言之，所計算出之費率僅代表在資源回收方面的平均成本（Average cost），也就是資源回收處理所需的社會成本，而缺乏總體效益（Aggregate benefit）的概念。綜合以上，目前在實務上資源回收系統的費率計算公式，並無法有效率地減低污染量以及達到社會福利極大化的目的。主題 2 針對政府、責任業者、資源回收業者與消費者所組成之資源回收系統，探討政府所訂定之最適費率、責任業者最適產量以及資源回收業者的最適處理量。使整個系統達到均衡狀態，同時極大社會福利及減低負面外部性所帶來的影響。主題 3 之內容由串接主題 2 之內容而來，如主題 2 內容，資源回收系統亦依據兩階段政策工具之作法，透過政府向責任業者徵回收清潔處理費，再提供回收清潔補貼費給資源回收業者，為了提供誘因提升消費者回收意願，資源回收業者再提供回收獎勵金給消費者。主題 3 所探討的部份，為資源回收業者獲取回收補貼費之範圍。由於逆向供應鏈系統是先經由多個回收點（Collection points）進行回收，再到集中商（Consolidation points）進行收集、分類、儲存等工作，最終到處理商（Processing points）進行二次料的再生，站在政府的觀點，應該補貼在哪一個階層其產生的補貼效果，才能使得整個回收系統獲得最大的效益，則為主題 3 所要探討的主要問題。以下針對各主題內容及執行計畫完成研究成果分述如下：

# 主題 1：分權式及中央集權式比較及分析及補貼政策敏感度分析

## 分權式及中央集權式決策方法比較及分析

分權式 (Decentralized) 及中央集權式 (Centralized) 決策方法有顯著不同，然而，此類型文獻最大之問題為在分權式系統中，系統規劃者如何控制這些獨立運作的個體；換言之，在分權式系統中，個體是以各自利益的觀點決定各自的決策變數，而不是以系統最佳化的觀點來決定決策變數。再者，若以中央集權式決策方法來描述分權式供應鏈系統，所求得之結果容易過分樂觀預期系統之表現，本研究計畫第一年以中央集權式之觀點，發展相對應於分權式規劃方法之求解模式，以做為兩種規劃方式之比較及分析。圖 3 為相對應於分權式逆向供應鏈系統之範例，以中央集權式規劃方法時，由於上游邊界層、中間階層及下游邊界層視為一整體系統，系統內個體間之交易價格已不再是系統規劃者關心之決策變數，系統規劃者以整體最佳化之觀點，求解最佳流量分配模式及向系統外個體收購壽期結束產品之價格。如同分權式模型之假設，在原物料市場中，再生料 (Recycled materials) 的交易量遠低於原生料 (Virgin materials)，所以我們假設在逆向供應鏈系統中，最後一階層的個體並無法決定市場價格，而是市場價格的接受者 (Price takers)，在本範例中以  $P_k^{(Sa)}$  來表示個體  $k \in I_3$  之回收物料最終市場價格。另一系統已知資訊為回收物料供給函數， $S_i = a_i + b_i p_i^{(Co)}$ ，來描述上游邊界層及回收產品來源點間之收購價格及收購量的關係，在此來源供給函式中， $a_i$  及  $b_i$  為給定之參數且  $a_i$  及  $b_i$  均為正數，若  $p_i^{(Co)}$  為正數則表示上游邊界層向回收來源點收購物料，若  $p_i^{(Co)}$  為負數則表示上游邊界層向回收來源點收取回收處理費。

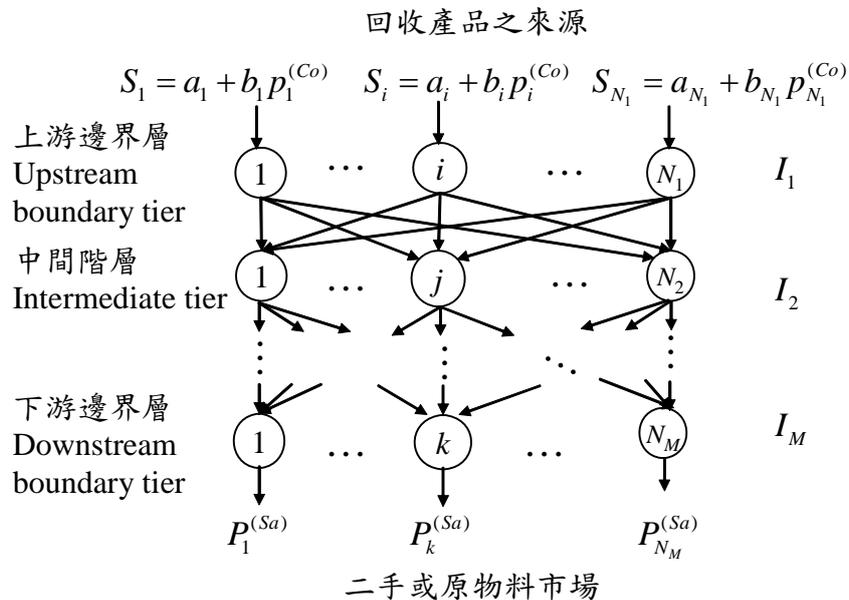


圖 3 M 階層逆向供應鏈系統示例

本研究針對  $M$  階層逆向供應鏈系統，以中央集權式規劃方式求解該系統流量配置及收購價格之最佳解，先期發展之數學模式如(3.1)-(3.9)。在(3.1) -(3.9)中，決策變數為系統流量配置， $x_{ij}^{(Tr)}$  及  $x_k^{(Tr)}$ ，與向回收產品來源個體回收壽期結束產品之收購價格  $p_i^{(Co)}$ ，此數學模型為二次凸模型 (Quadratic convex model)，本計畫第一年以 ILOG CPLEX 求解，用以與分權式模型所得之結果進行比較及分析。中央集權式之參數及模型如下：

$V_{ij}^{(Tr)}$  從上游個體  $i$  到下游個體  $j$  之單位運輸成本；

$C_{ij}^{(Tr)}$  從上游個體  $i$  到下游個體  $j$  之最大運輸量；

$C_i^{(Pr)}$  個體  $i$  回收物料最大處理量；

Maximize

$$\sum_{k \in I_M} x_k^{(Tr)} P_k^{(Sa)} - \sum_{i \in I_1} p_i^{(Co)} (a_i + b_i p_i^{(Co)}) - \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{i \in I_m} \sum_{j \in I_{m+1}} V_{ij}^{(Tr)} x_{ij}^{(Tr)} \quad \text{系統淨利總和} \quad (3.1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in I_2} x_{ij}^{(Tr)} = a_i + b_i p_i^{(Co)} \quad \forall i \in I_1 \quad \text{來源供給式} \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I_{m-1}} x_{ij}^{(Tr)} = \sum_{k \in I_{m+1}} x_{jk}^{(Tr)} \quad \forall j \in I_m, \forall m = 2 \dots M-1 \quad \text{流量平衡} \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in I_{M-1}} x_{jk}^{(Tr)} = x_k^{(Tr)} \quad \forall k \in I_M \quad \text{流量平衡} \quad (3.4)$$

$$x_{ij}^{(Tr)} \leq C_{ij}^{(Tr)} \quad \forall i \in I_m, j \in I_{m+1}, \forall m = 1 \dots M-1 \quad \text{運輸量限制} \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in I_{m+1}} x_{ij}^{(Tr)} \leq C_i^{(Pr)} \quad \forall i \in I_m, \forall m = 1 \dots M-1 \quad \text{處理產能限制} \quad (3.6)$$

$$\sum_{j \in I_{M-1}} x_{jk}^{(Tr)} \leq C_k^{(Pr)} \quad \forall k \in I_M \quad \text{處理產能限制} \quad (3.7)$$

$$x_{ij}^{(Tr)} \geq 0 \quad \forall i \in I_m, j \in I_{m+1}, \forall m = 1 \dots M-1 \quad \text{流量符號限制} \quad (3.8)$$

$$x_k^{(Tr)} \geq 0 \quad \forall k \in I_M. \quad \text{流量符號限制} \quad (3.9)$$

本研究第一年計畫對圖 4 之回收供應鏈系統，應用所發展之「中央集權式模型」求解在系統規劃者在有權控制系統內個體決策時之個體行為表現。圖 4 為基本逆向回收供應鏈系統示意圖，分別由 5 家回收商 (Tier 1,  $I_1$ )、3 家集中商 (Tier 2,  $I_2$ ) 及 4 家處理商 (Tier 3,  $I_3$ ) 三個階層所組成，而系統內個體間之運輸成本如表 1 所示。

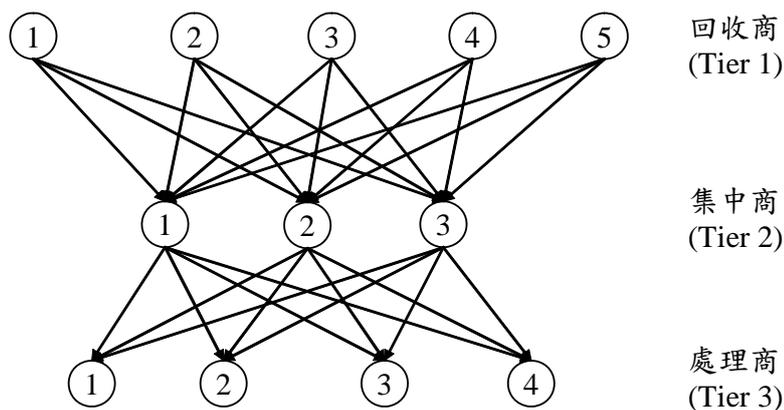


圖 4 回收商、集中商及處理商組成之逆向供應鏈系統

表 1 個體間之單位運輸成本

單位運輸成本		$j \in I_2$		
		1	2	3
$i \in I_1$	1	10.0	15.0	18.0
	2	10.0	13.0	16.0
	3	13.0	10.0	14.0
	4	15.0	13.0	11.0
	5	17.0	14.0	9.0

單位運輸成本		$k \in I_3$			
		1	2	3	4
$j \in I_2$	1	8.0	8.0	10.0	12.0
	2	10.0	8.0	7.0	11.0
	3	12.0	10.0	8.0	7.0

最終市場價格針對處理商 ( $k \in I_3$ ) 分別為\$155、\$145、\$147、及\$150，而上述之回收物料供給函數分別為  $S_1 = 400 + 5p_1^{(Co)}$ 、 $S_2 = 420 + 6p_2^{(Co)}$ 、 $S_3 = 440 + 6p_3^{(Co)}$ 、 $S_4 = 430 + 6p_4^{(Co)}$  及  $S_5 = 410 + 5p_5^{(Co)}$ 。在本範例中，我們亦假設個體間之運輸上限為 200 單位，回收商處理上限為 600 單位、集中商及處理商處理上限為 800 單位。應用「中央集權式」規劃方式，我們可求解得到該系統流量配置及收購價格之最佳解，並進而求解此系統之最佳總收益，求得「中央集權式」之系統總收益之目的就是為了與「分權式系統」系統總收益做比較，理論上，中央集權式之系統總收益應高於分權式系統總收益。此比較可顯示出若系統規劃者（如政府）如果以中央集權式規劃方式來分析實際上為分權式系統之謬誤之處，且系統規劃者極有可能遭致過度樂觀預測而無法達到設計規劃目標之風險。

### 政府補貼政策敏感度分析

環境政策或法規對於逆向供應鏈系統的運作有顯著的影響，本研究第一年計畫針對多階層分權式供應鏈系統，以主持人國科會計畫（NSC 96-2221-E-009-085）所發展出的模型做為分析評估環境政策影響的工具，探討若政府對相關個體補貼，分權式供應鏈系統中各別個體的行為表現。政府補貼之目的在於提高整體系統之回收量，由上述討論中，我們將逆向供應鏈系統區分為上游邊界層、中間階層及下游邊界層，本研究探討政府對不同階層補貼時的影響，換言之，補貼政策應針對系統內之全部個體，或某些各別階層，使得系統總回收量最大化。

同上述範例，應用「分權式模型」，本研究計畫說明補貼政策之敏感度分析，考慮由回收商、集中商及處理商所組成之逆向供應鏈系統（如圖 4），在此系統中假設第一階層由 5 個回收商所組成，第二階層有 3 個集中商，第三階層中有 4 個處理商。政府考慮補貼此逆向回收系統，鼓勵系統中相關個體的總收集處理量能夠因為此補貼政策而增加。本研究計畫探討以下幾種補貼情境：政府補貼系統內所有個體或只補貼某一階層個體，詳細之補貼情境說明列於表 2 中。情境(I)：政府對系統內所有個體進行補貼，若相關個體處理回收物料時，予以每單位 5 元之補貼。此範例中由 3 個主要階層所組成，回收物料從進入系統中到離開系統，物料共獲得政府 15 元補貼（15 元×3）。本研究針對政府只補貼單一階層時，對系統總回收物料量之影響，為使分析比較在同一基準，表 2 中的情境(II)、(III)及(IV)分別為對回收商、集中商或處理商單一階層，每處理單位物料補貼 15 元。

表 2 本研究擬探討之補貼政策情境

原方案	政府不採行任何補貼政策。
(I)	政府對系統內所有個體，每處理單位物料補貼 5 元。
(II)	政府補貼回收商 (Tier 1) 每單位物料 15 元。
(III)	政府補貼集中商 (Tier 2) 每單位物料 15 元。
(IV)	政府補貼處理商 (Tier 3) 每單位物料 15 元。

藉由探討此一示例政府補貼政策對系統總回收量之敏感度分析，由本研究可得知，若政府採行補貼政策的情況下，何種補貼情境可導致系統之總回收量為最大，做為日後政策推行參考之用。

## 主題 2：補貼及徵收費率之制訂

資源回收可減低廢棄物量、緩衝廢棄物處置之壓力，而二次料的使用亦可減緩自然資源的消耗；此外，由於污染的負面外部性使得市場無法有效地配置資源從事污染防治的工作，造成市場失靈的情況產生，也提供政府介入的正當性。綜合上述兩點，系統規劃者（如政府）利用以延伸生產者責任為主要概念的兩階段政策工具，建構逆向回收系統。

兩階段政策工具為眾多經濟誘因工具其中之一；現行體系對於製造、進口或銷售產品之責任業者徵回收清除處理費，與補貼資源回收業者的回收清除處理補貼費即是兩階段政策工具的應用。無論是政府、責任業者與資源回收業者對於徵收與補貼的費率均有不同的立場；基本上，責任業者希望繳交的費用越少越好，反之資源回收業者希望回收清除處理補貼費越多越好，而政府則希望能夠藉由所制定的費率，極大化社會福利使得廢棄物的總回收量與總處理量增加。因此，針對環境品質之類的公共財，依據經濟學之理論，最適費率是由邊際成本與邊際效益所決定；當邊際成本與邊際效益相等時，對污染者的課稅行為，會使得稅賦金額內生化為污染者的成本，進而提高產品價格、反應產品生產或消費之外部成本，達到減少污染排放，使其經濟活動達到社會最適水準。綜合以上，目前在實務上資源回收系統的費率計算公式，並無法有效率地減低污染量以及達到社會福利極大化的目的。

本研究針對政府、責任業者、資源回收業者與消費者所組成之資源回收系統，探討政府所訂定之最適費率、責任業者最適產量以及資源回收業者的最適處理量。系統參與者之角色與功能分述如下：

- (1) 系統參與者為政府、責任業者、資源回收業者以及消費者。
- (2) 責任業者為生產、進口與銷售產品之廠商（如資訊物品產業之廠商）。
- (3) 政府負責制定費率，經由第三方組織稽核產品產量及廢棄物回收處理量後，向責任業者徵回收清除處理費用，以及發放回收清除處理補貼費給資源回收業者。
- (4) 消費者購買責任業者所生產之資訊物品，並在產品使用完畢之後，可能會送至資源回收業者。
- (5) 資源回收業者由消費者蒐集回收廢資訊物品，經由加工處理製程，產出可再利用的二次料，於二次料市場中銷售，並妥善處置加工後仍無法再利用之殘渣。

於上述系統參與者中，責任業者與資源回收業者均希望達到利潤極大化，卻對於費率有不同的觀點，例如責任業者希望被收取的清除費率越低，其利潤及產量才越高；資源回收業

者則希望補貼費率越高越好。然而，補貼費是從徵收的清除費用中編列而來，兩方所期待的費率水準不盡相同，若制定的費率不夠完善，會使得整個系統趨於不穩定易產生弊端，且缺乏效率。因此，本研究希望制定出資源回收系統最適費率，使整個系統達到均衡狀態，同時極大社會福利及減低負面外部性所帶來的影響。以下針對此逆向供應系統之物流、財務流及資訊流說明現行系統之運作方式。

### 逆向供應鏈

資源回收系統屬於逆向供應鏈其中之一環，與正向供應鏈(Forward supply chains)相同，逆向供應鏈也存在物流(Material flow)、財務流(Cash flow)及資訊流(Information flow)。本研究模型環境之供應鏈流分述如下：

#### (1) 物流

責任業者將自然資源，包含新料及二次料，製造成最終產品或自他國將成品輸入市場，並在市場上銷售。消費者購買該產品，而具環保意識的消費者在使用產品完畢後會將廢棄物送至資源回收業者回收處理。資源回收業者收集消費者的廢資訊物品，經過加工處理，製造成可再次利用的二次料，銷往二次料市場，並妥善處置加工後仍無法再利用之殘渣。在此階段，系統規劃者(政府)稽核責任業者的生產產量及資源回收業者回收處理量，而無直接實質介入。

#### (2) 財務流

資源回收系統所使用的兩階段政策工具，即是責任業者繳交回收清除處理費用給政府，再由政府發放回收清除處理補貼費給資源回收業者。此外，壽期結束產品之回收成本納入回收清除處理補貼費中，資源回收業者可視回收市場自行決定是否補貼及補貼金額多寡給予消費者，本系統之運作方式可參考現行行政院環保署基管會目前作法<sup>2</sup>。

#### (3) 資訊流

現行資源回收系統的資訊流僅包含兩大項目，其一是政府向責任業者與資源回收業者公告各項相關費率，其二為政府稽核各階段物品數量，皆為使資源回收系統正常運作所需之資訊。但本研究的資訊流著重於在制定費率階段及流程，因此與現行系統的資訊流有所不同。實務上，政府在審議費率時，審議時機較費率公告實行為早，政府必須考量與估計各種相關因素之數值以制定費率。因此在所有系統參與者中，政府為最先決定策略或決策的角色，此點符合 Stackelberg 模型之情境假設(基本 Stackelberg 模型介紹如後)。故本研究將基管會設定為 Stackelberg 模型中市場領導者的角色，而責任業者與資源回收業者均設定為市場跟隨者。

在第一階段時，假設政府已制定出回收清除處理費用以及回收清除處理補貼費，並公告實行。第二階段當責任業者與資源回收業者預期得到該費率訊息後，必然會改變其生產策略，以因應費率對利潤所造成的影響。本研究假設，政府可得知在公告的費率水準之下，責任業者與資源回收業者之產量會如何改變，再調整其費率即可得到最適費率水準，使整體系統達到社會福利最佳之均衡狀態，決策過程如圖 5 所示。

<sup>2</sup> 現行資源回收作法可參考：資源回收網 <http://recycle.epa.gov.tw/>

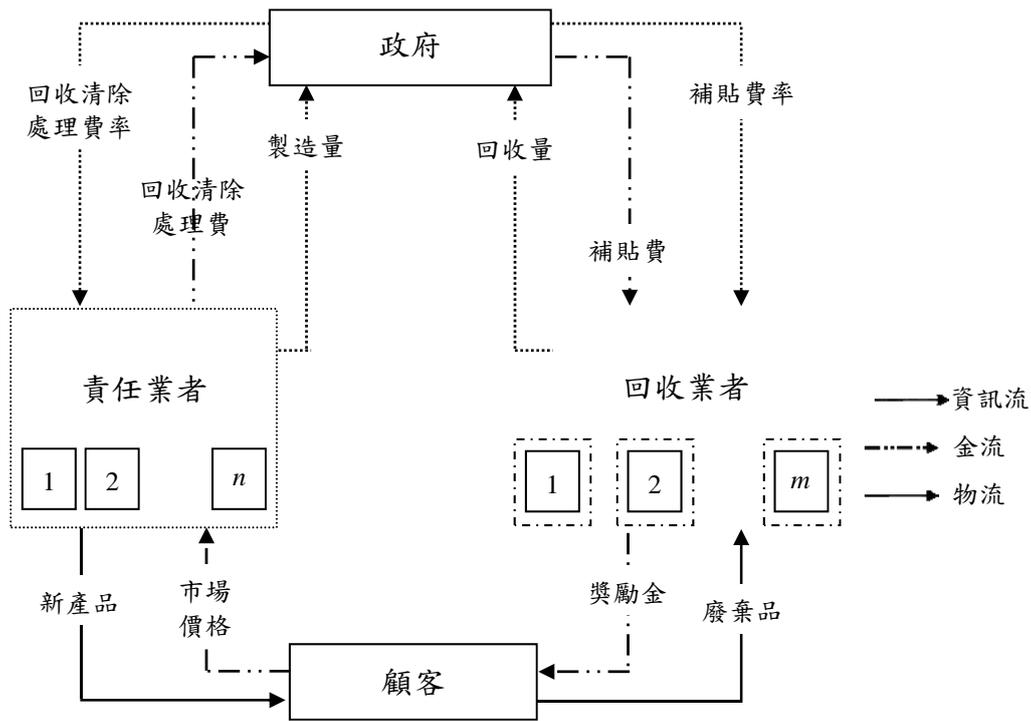


圖 5 供應鏈流

### 資源回收系統社會福利極大化基本模型

由於政府在制定費率並公告實行的時間點，均較責任業者與資源回收處理業者實際執行業務之時間點早，而責任業者與資源回收處理業者會因應基管會所制定之費率改變其生產策略，故政府相似於 Stackelberg 模型中之市場領導者，而責任業者與資源回收處理業者則相似市場跟隨者。因此，本研究應用 Stackelberg 模型作為費率模型之發展理論基礎，以政府為決策之先行者，而責任業者及回收業者為決策的跟隨者。相關之參數解釋如下：

令  $q_{x_i}$  為第  $i$  家責任業者之製造量， $i = 1, 2, \dots, n$ 。總回收量  $Q_x$  為所有責任業者製造量之總和，也就是  $Q_x = \sum_{i=1}^n q_{x_i}$ 。令需求函數為  $P_x = a - bQ_x$ ，其中  $P_x$  代表市場價格， $a$  為截距參數， $b$  為斜率參數。令  $C_{v_i}$  為第  $i$  家責任業者的單位製造成本。此外，政府向責任業者徵收單位為  $t$  的回收清除處理費，因此第  $i$  家責任業者的利潤函數為：

$$\text{Max}_{q_{x_i} \geq 0} \prod_{MS_i} = (P_x - C_{v_i} - t)q_{x_i} \quad (3.10)$$

令  $c_j$  為  $d_j$  第  $j$  家資源回收處理業者的市場截距和斜率參數， $j = 1, 2, \dots, m$ 。此外，對第  $j$  家資源回收處理業者而言，除了自身獎勵金水準的高低會影響自身的回收量外，其他家業者的獎勵金水準也會影響到其回收量。造成上述現象的主要原因是因為顧客沒有地域性的限制等因素。因此，我們以參數  $k_j^i$  代表第  $j$  家資源回收處理業者因為第  $i$  家資源回收處理業者提高一單位的獎勵金水準所減少的回收量。令  $P_{w_j}$  和  $q_{c_j}$  代表第  $j$  家資源回收處理業者的獎勵金水準及回收量，此兩者之間的關係如下：

$$q_{c_j} = c_j + d_j P_{w_j} - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^m k_l^j P_{w_l} \quad (3.11)$$

令  $r_j$  代表第  $j$  家資源回收處理業者進行回收相關工作時的單位處理成本。此外，政府會根據資源回收處理業者回收量的多寡進行補貼。其中，單位補貼費率為  $s$ ，因此第  $j$  家資源回收處理業者的利潤函數為：

$$\text{Max}_{P_{w_j} \geq 0} \Pi_{rec_j} = (s - r_j - P_{w_j}) q_{c_j} \quad (3.12)$$

在資源回收系統費率基本模型中，政府的主要目標是最大化社會福利值。在本研究當中，社會福利值主要包括四個部分：生產者剩餘、消費者剩餘、政府本身的利潤、及環境外部性成本（Bansal and Gangopadhyay, 2003），將此四個部分整合即得到政府的利潤函數如下所示：

$$\begin{aligned} \text{Max}_{t, s \geq 0} \Pi_{gov} = & \sum_{i=1}^n (P_x - C_{v_i} - t) q_{x_i} + \sum_{j=1}^m (s - P_{w_j} - r_j) q_{c_j} + \frac{1}{2} b Q_x^2 + \\ & \sum_{j=1}^m (P_{w_j} q_{c_j} - \frac{1}{2} d_j P_{w_j}^2) + \left( t \sum_{i=1}^n q_{x_i} - s \sum_{j=1}^m q_{c_j} \right) - E \left( \tau Q_x - \sum_{j=1}^m q_{c_j} \right) - e Q_x \end{aligned} \quad (3.13)$$

此外，我們合理地假設政府在制定費率時，預期責任業者和資源回收處理業者會根據政府的所公布的費率各自選擇他們的最佳策略。為了簡化符號，我們令  $B = d_j - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^m \frac{k_l^j (d_j - d_l)}{2d_l + k_l^j}$  和

$C = d_j r_j + c_j + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^m \frac{k_l^j (-d_j r_j - c_j + d_l r_l + c_l)}{2d_l + k_l^j}$ 。接著，利用一階導函數為零的概念，得到政府的

最佳回收清除處理費率和補貼費率如下所示：

$$t^* = \frac{1}{n^2} \left( (n+1)(nE\tau + ne) - na + \sum_{i=1}^n C_{v_i} \right) \quad (3.14)$$

$$s^* = \frac{\sum_{j=1}^m \left( d_j \left( E - r_j + \left( \frac{B}{A} \right) \left( r_j - E + \frac{C}{A} \right) \right) \right)}{\sum_{j=1}^m \left( d_j \left( \frac{B}{A} \right)^2 \right)} \quad (3.15)$$

其中  $A = 2d_j - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^m \frac{k_l^j (2d_j + k_l^j)}{2d_l + k_l^j}$ 。

### 收支平衡模型

台灣現行的電子廢棄物回收系統，是以收支平衡的概念為基礎來制定回收清除處理費率和補貼費率，其主要概念是政府徵收的總回收清除處理費等於政府支出的總補貼費（Lee et al., 2000）。在收支平衡模型當中，供應鏈流如物流、金流、及資訊流皆和上述所建立的資源回收系統費率基本模型的供應鏈流相同，如圖 1 所示。此外，在收支平衡模型中的參數亦和資

源回收系統費率基本模型的參數相同。令  $t'$  代表此模型的單位回收清除處理費率， $q_{x_i}'$  代表第  $i$  家責任業者的製造量， $Q_x' = \sum_{i=1}^n q_{x_i}'$  代表責任業者的總製造量。需求函數同樣為一線性函數， $P_x' = a - bQ_x'$ ，其中  $P_x'$  代表市場價格，因此第  $i$  家責任業者的利潤函數為：

$$\text{Max}_{q_{x_i}' \geq 0} \Pi_{MS_i} = (P_x' - C_{v_i} - t')q_{x_i}' \quad (3.16)$$

令  $s'$  代表此模型的單位補貼費率， $P_{w_j}'$  和  $q_{c_j}'$  代表第  $j$  家資源回收處理業者的獎勵金水準及回收量， $Q_c' = \sum_{j=1}^m q_{c_j}'$  代表總回收量。參數  $c_j$ 、 $d_j$ 、 $r_j$ 、 $k_l^j$  皆和資源回收系統費率基本模型的參數相同， $j = 1, 2, \dots, m$ ，因此第  $j$  家資源回收處理業者的利潤函數為：

$$\text{Max}_{P_{w_j}' \geq 0} \Pi_{rec_j} = (s' - r_j - P_{w_j}')q_{c_j}' \quad (3.17)$$

在政府的決策方面，收支平衡的主要概念是政府徵收的總回收清除處理費等於政府支出的總補貼費，以數學式來表示為：

$$t'Q_x'^* = s'Q_c'^* \quad (3.18)$$

此外，為了使資源回收系統費率基本模型和收支平衡模型有相同的比較基準點，我們假設此兩模型的總稅收金額相等，以數學式來表示如下所示：

$$t'Q_x'^* = t^*Q_x'^* \quad (3.19)$$

利用上述兩個式子，可求得此模型的最佳回收清除處理費率和補貼費率如下所示：

$$t' = \frac{1}{n^2} \left( (n+1)(nE\tau + ne) - na + \sum_{i=1}^n C_{v_i} \right) \quad (3.20)$$

$$s' = \frac{-H + \sqrt{H^2 + 4 \left( \sum_{j=1}^m \frac{d_j^2 - F_j}{A} \right) D}}{2 \left( \sum_{j=1}^m \frac{d_j^2 - F_j}{A} \right)} \quad (3.21)$$

其中

$$D = \frac{\left( -\sum_{i=1}^n C_{v_i} - ne - nE\tau + na \right) \left( \sum_{i=1}^n C_{v_i} - na + n(n+1)(e + E\tau) \right)}{n^3 b}, \quad H = \sum_{j=1}^m \frac{-d_j^2 r_j + d_j c_j + G_j}{A}.$$

### 最佳回收執照發放數

在此節中，我們主要探討回收市場回收執照發放數量的影響，因此責任業者相關的決策變數，包括責任業者的最佳製造量及單位回收清除處理費率  $t$  皆不會改變。在資源回收系統費

率基本模型當中，給定回收市場存在有  $m$  家資源回收處理業者，也就是說政府將回收市場劃分成  $m$  個回收區域。令  $P_w$  和  $q_c$  代表各家資源回收處理業者的獎勵金水準及回收量，並假設資源回收處理業者為同質性個體。根據上述模型所提到獎勵金水準和回收量之間的線性關係，我們可以得到在此章節中的兩者之間的關係如下所示：

$$q_c = c + (d - mk + k)P_w \quad (3.22)$$

根據同質性個體的假設，各家資源回收處理業者的獎勵金水準及回收量如下所示：

$$P_w^* = \frac{1}{d}(E - r)(d - mk + k) \quad (3.23)$$

$$q_c^* = c + \frac{1}{d}(E - r)(d - mk + k)^2 \quad (3.24)$$

將所有資源回收處理業者的回收量加總，得到總回收量：

$$Q_c = m \left( c + \frac{1}{d}(E - r)(d - mk + k)^2 \right) \quad (3.25)$$

同樣地，政府在最大化社會福利值的目標下制定回收清除處理費率和補貼費率。在同質性個體的假設下，社會福利總值如下所示：

$$\sum_{i=1}^n (P_x - C_{v_i} - t)q_{x_i} + m(s - P_w - r)q_c + \frac{1}{2}bQ_x^2 + m(P_w q_c - \frac{1}{2}dP_w^2) + (tQ_x - m(sq_c)) - E(\tau Q_x - mq_c) - eQ_x \quad (3.26)$$

在同質性個體的假設下，單位補貼費率如下所示：

$$s^* = \frac{(E - r)(2d - mk + k)(d - mk + k)}{d^2} + \frac{dr + c}{d} \quad (3.27)$$

在收支平衡模型當中，給定回收市場存在有  $m'$  家資源回收處理業者，也就是說政府將回收市場劃分成  $m'$  個回收區域。令  $P_w'$  和  $q_c'$  代表各家資源回收處理業者的獎勵金水準及回收量，並假設資源回收處理業者為同質性個體。根據上述所提到獎勵金水準和回收量之間的線性關係，我們可以得到在此章節中的兩者之間的關係如下所示：

$$q_c' = c + (d - m'k + k)P_w' \quad (3.28)$$

根據同質性個體的假設，各家資源回收處理業者的獎勵金水準及回收量如下所示：

$$P_w^* = \frac{\left( \frac{dm'(c - (d - m'k + k)r)}{(2d - m'k + k)} + \sqrt{\frac{4Dm'd(d - m'k + k)}{(2d - m'k + k)} + \frac{m'^2 d^2 (c - (d - m'k + k)r)^2}{(2d - m'k + k)^2}} \right)}{2m'(d - m'k + k)} - \frac{dr + c}{(2d - m'k + k)}, \quad (3.29)$$

$$q_c^* = c + \frac{-d(c - (d - m'k + k)r)}{2(2d - m'k + k)} + \frac{1}{2m'} \sqrt{\frac{4Dm'd(d - m'k + k)}{(2d - m'k + k)} + \frac{m'^2 d^2 (c - (d - m'k + k)r)^2}{(2d - m'k + k)^2}} - \frac{(d - m'k + k)}{(2d - m'k + k)}(dr + c) \quad (3.30)$$

將所有資源回收處理業者的回收量加總，得到總回收量如下：

$$Q_c^* = m'c + \frac{dm'(c - (d - m'k + k)r)}{2(2d - m'k + k)} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4Dm'd(d - m'k + k)}{(2d - m'k + k)} + \frac{m'^2 d^2 (c - (d - m'k + k)r)^2}{(2d - m'k + k)^2}} - \frac{m'(d - m'k + k)}{(2d - m'k + k)}(dr + c) \quad (3.31)$$

在收支平衡模型中，政府制定費率時是以收支平衡的概念為基礎。然而，為了與資源回收系統費率基本模型有相同的比較基準點，在收支平衡模型當中，我們亦探討回收執照發放數量對總體社會福利值的影響。在同質性個體的假設下，社會福利總值如下所示：

$$\sum_{i=1}^n (P_x - C_{v_i} - t)q_{x_i} + m'(s' - P_w' - r)q_c' + \frac{1}{2}bQ_x^2 + m'(P_w'q_c' - \frac{1}{2}dP_w'^2) + (tQ_x - m'(s'q_c')) - E(\tau Q_x - m'q_c') - eQ_x \quad (3.32)$$

在同質性個體的假設下，單位補貼費率如下所示：

$$s^* = \frac{\left( \frac{-dm'(c - (d - m'k + k)r) + (2d - m'k + k) \cdot \sqrt{\frac{4Dm'd(d - m'k + k)}{(2d - m'k + k)} + \frac{m'^2 d^2 (c - (d - m'k + k)r)^2}{(2d - m'k + k)^2}}}{2m'd(d - m'k + k)} \right)}{2m'd(d - m'k + k)} \quad (3.33)$$

### 主題 3：政府補貼政策之探討

本計畫所探討的部份，為資源回收業者獲取回收清潔補貼費之範圍(如圖 6 虛線框部份)。由於逆向供應鏈是先經由多個回收點進行回收，再到集中商進行收集、分類、儲存等工作，最終到處理商進行二次料的再生。政府目前對於台灣現行資源回收系統補助對象集中於最下游處理商，補助對象選擇是否合宜，應該補貼在哪一個階層所產生之補貼效果能有最大的效益，為本研究所探討的主要問題，研究問題範圍如圖 6 所示：

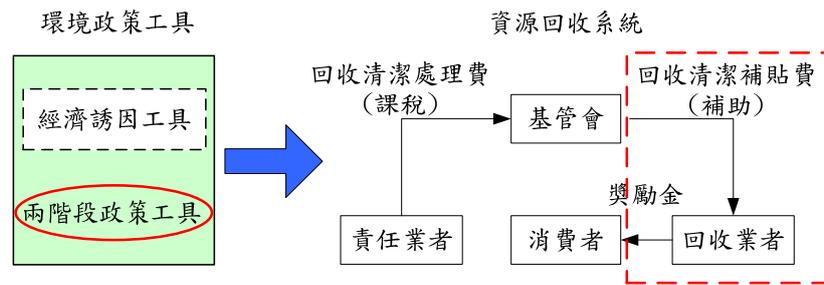


圖 6 研究問題示意圖

對於資源回收業者而言，下游處理商（downstream）面對原物料市場，下游處理商因應市售資訊變動，進而對提供給上游廠商（upstream）的收購價格產生衝擊，同時上游回收商面對下游提供的收購價格，決定該提供多高之收購價格給消費者端；另一方面，最上游之回收商面對消費者端，有權決定自身之回收量，以求自身最大利益，此時下游處理商則依上游決策決定回收數量。如同在上述兩種情況，根據不同廠商的立場來考量，會產生不同的決策點先後順序問題，因此本研究則建立兩種兩階逆向供應鏈模型，依據各廠商不同的決策順序與決策變數來探討其間之異同及其背後之經濟意義。

在資源回收系統中，各個回收商、集中商、處理商目標為求自身最大利益，希望以最佳收購價格回收最適數量，再將回收最適數量賣給下游廠商，本身則賺取自身所訂定之收購價格，及下游廠商之收購價格間之差價。由於各廠商固定成本難以估算，因此在不考慮攤提其餘固定成本之情況下，僅考慮存貨成本與處理成本，當向上游收購之數量愈多，下游收購之數量愈少時，自身所留下的存貨愈多，相對的存貨成本愈大；廠商回收物品愈多，處理成本亦增加。

對於政府而言，為使每一廠商都能有充分誘因與動機維持回收行為，並且節省補助成本與管理成本，政府僅能選擇補助單一廠商作為最佳之補助政策；而政府提供給廠商之補貼費，為單位回收補貼金，當回收量愈多，相對廠商獲取之補貼總金額也愈大。

### 研究假設

1. 由於最終面對市場之階層廠商，並沒有誘因將生產出之二次料進行庫存，會將所有回收量提供給市場進行製造及加工，故其生產數量應與市場需求量相等。
2. 第一階層之資源回收處理業者得到政府所提供之補貼費後，可以決定補助消費者多少獎勵金以刺激回收量，而其餘下游廠商受其便成為價格跟隨者，因此每一階層之每個廠商決定自身對上游廠商收購回收量之收購價格，換言之，各自之決策變數為收購價格。
3. 由於最終二次料之產量，占該類原物料市場總數量之比例小，不足以影響該原物料之市場價格，市場反應價格不會因為二次料之產出而造成產品價格波動，故假設最終市場價格為常數。
4. 不考慮任何其他處理成本，僅考慮存貨成本，以簡化模型。
5. 根據不同產業類別，其供給函數（Supply function）也有所差異。由於本研究為一政府補助資源回收系統之離型，參考賽局理論（Gibbons 1992）與個體經濟學（Pindyck and Rubinfeld 2005）中，常以線性函數（Linear function）表示供給曲線，因此本研究利用簡

單線性供給函數來描述市場情況，做為建構模型之基礎。

### 符號定義

站在消費者端而言，消費者提供回收商品給資源回收上游業者；站在資源回收系統角度而言，業者提供收購價格給消費者作為刺激回收之誘因，故以供給曲線稱之。本計畫以線性供給函數的雙階層模型為基礎架構，先利用簡單線性供給函數（supply function）來描述市場情況，即  $q_i = \alpha_i + \beta_i p_i^k$ ， $i=1, 2$ ， $\alpha_i \geq 0$ 、 $\beta_i \geq 0$ 、 $k=1$ ，其中  $i=1$  表示上游廠商， $i=2$  表示下游廠商。 $Q_1(p_1)$  表示消費者與上游廠商間之市場供給函數， $Q_2(p_2)$  表示兩廠商交易市場之供給函數。基本架構如圖 7 所示。其模型變數與參數定義如下所示。

### 變數

模型一中各廠商所決定之決策變數， $p_i$  = 廠商  $i$  對上游之回收物品收購價格。

模型二中各廠商所決定之決策變數， $q_i = Q_i(p_i)$  廠商  $i$  對上游之物品回收量。

### 參數

$S_i$  = 政府提供給階層  $i$  之單位補貼費。

$P_M$  = 單位原料市場價格。

$H_i$  = 階層  $i$  廠商之單位存貨成本。

$C_i$  = 階層  $i$  廠商之單位回收處理成本。

$\alpha_i$  = 階層  $i$  廠商市場供給函數之截距項，可指市場基本回收量。

$\beta_i$  = 階層  $i$  廠商市場供給函數斜率項，可指消費者對單位收購價格波動之反應回收量。

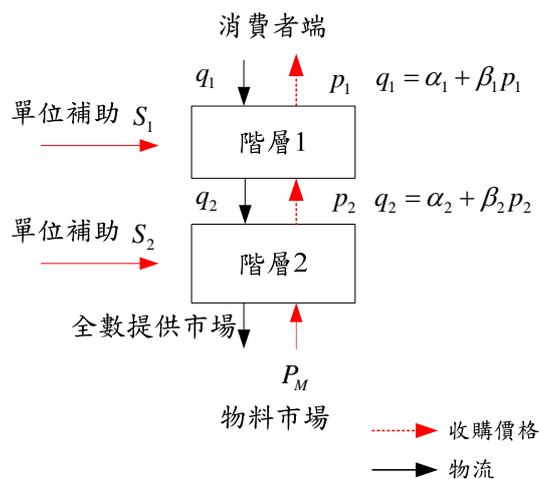


圖 7 線性兩階逆向供應鏈基本模型圖

### 模型一：收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型建構

在模型一中，下游廠商直接面對物料市場價格，收購價格制定則依據物料市場價格而定，訂定之收購價格相對反應到回收量；而上游廠商若提供較高之獎勵金給消費者端，雖然能夠提高消費者回收意願，使得回收量增加，但下游廠商依據產能及處理成本考量下，可能選擇部份回收上游廠商所提供之回收量，此時上游廠商面對存貨成本增加的壓力，以及物料市場價格的影響下，則依據下游廠商所提供之收購價格，進而反應出自身之收購價格與回收量。換言之，在此模型中，兩廠商以收購價格作為決策依據，下游廠商為收購價格先行者，上游廠商為收購價格跟隨者，模型決策時間點則如圖 8 所示：

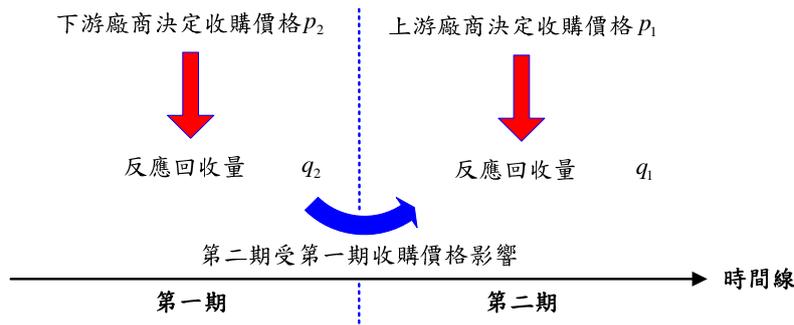


圖 8 兩階資源回收系統決策時間點圖 (一)

依據廠商追求利潤最大化之目標情況下，以  $\Pi_{Tier1}$ 、 $\Pi_{Tier2}$  分別設定為上游廠商、下游廠商之目標函數。由於此時下游廠商為收購價格先行者，上游廠商為收購價格跟隨者，模型也有所變動，回收量皆以  $q_i = Q_i(p_i)$  表示，下游廠商為決策先行者，上游廠商為決策跟隨者，其模型可表示為：

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= (P_M - p_2 - C_2) \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) + S_2 \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) \\ \text{subject to} \quad &\alpha_2 + \beta_2 p_2 \leq \alpha_1 + \beta_1 p_1 \\ \text{Max}_{p_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= p_2 \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) - (p_1 + C_1) \cdot (\alpha_1 + \beta_1 p_1) - H_1 (\alpha_1 + \beta_1 p_1 - \alpha_2 - \beta_2 p_2) + S_1 \cdot (\alpha_1 + \beta_1 p_1) \end{aligned} \quad (3.34)$$

首先檢查兩廠商之目標函數之二階導函數，從中可知兩目標函數皆為凹函數，可由一階導函數求得其利潤極大值。上游問題之可行解區域為一凸集合，因此可先將階層一之 KKT 最佳條件式化為如(3.36)及(3.37)所示。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= (P_M - p_2 - C_2) \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) + S_2 \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) \\ \text{subject to} \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$\alpha_2 + \beta_2 p_2 \leq \alpha_1 + \beta_1 p_1 \quad (3.36)$$

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1 (C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (3.37)$$

將(3.37)帶入限制式(3.36)可化簡成

$$p_2 \leq \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (3.38)$$

將 $\Pi_{Tier2}$ 對 $p_2$ 作一階導函數並令之為零，可得

$$p_2 = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \quad (3.39)$$

探討限制式可能發生區域，分為以下兩種情況討論，以圖9所示：

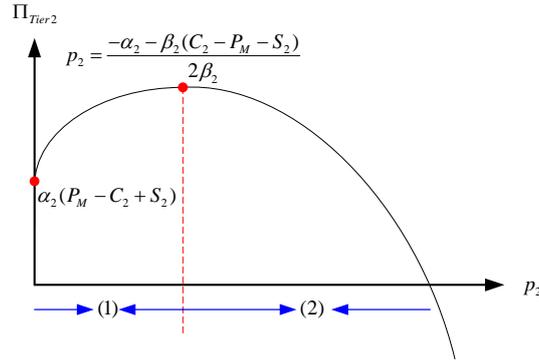


圖9 限制式(3.38)與下游廠商目標函數關係圖

A. 限制式(3.38)落於區域(1)

則

$$\frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \geq \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (3.40)$$

由(3.40)得知，在 $\alpha_1 \leq \alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2) + (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1$ 條件下，均衡解為

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (3.41)$$

$$p_2^* = \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (3.42)$$

此時回收量

$$q_1^* = q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1) \quad (3.43)$$

此時下游廠商全數回收。

B. 限制式(3.38)落於區域(2)

即

$$\frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \leq \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (3.44)$$

由(3.44)得知，在  $\alpha_1 \geq \alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2) + (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1$  條件下，均衡解為

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (3.45)$$

$$p_2^* = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \quad (3.46)$$

此時回收量

$$q_1^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1) \quad (3.47)$$

$$q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) \quad (3.48)$$

表示此時下游廠商僅部分回收。

由 A 情境之(3.43)可知，當下游廠商全數回收，且政府提供補助給上游廠商時，兩廠商皆會增加回收量；換言之，政府此時若提供補助給下游廠商，並不會使回收量增加；由 B 情境中(3.47)、(3.48)得知，當下游廠商部分回收時，政府提供之補貼費  $S_1$ 、 $S_2$  對於上下游均能產生提高回收量之誘因，促使回收量增加。

在不同回收狀況下兩廠商之最佳決策點，可得知在收購價格之線性決策模型中，無論市場情況與下游廠商全數回收或部分回收來自上游之回收量，政府皆應選擇補助上游廠商，以獲得上游較高回收量。因此，補助上游廠商時兩廠商之回收量皆會增加，補助下游廠商無法影響回收量，其原因在於上游廠商自消費者端回收之數量較少，低於下游廠商利潤極大回收點，即  $\alpha_1 < \alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2) + (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1$ ，因此可造成下游廠商全數回收之情況，政府為求上游回收量增加，補助上游廠商為較佳選擇；當政府補助上游廠商時，雖然上游之回收量增加，但卻無法刺激下游增加其回收量，原因在於上游回收量總數超過下游之利潤極大回收點，因此造成下游廠商部分回收。在此情境下若政府希望提高上游回收量，可選擇補助上游廠商仍為較佳決策。

#### 模型二：回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型建構

在模型二中，第一期上游廠商收購市場端消費者之回收物品，其回收量與上游廠商訂定之收購價格有關；而在第二期，下游廠商回收量受限於上游廠商之回收量，此時下游廠商決定向上游回收之收購價格，兩廠商之決策時間點如圖 10 所示：

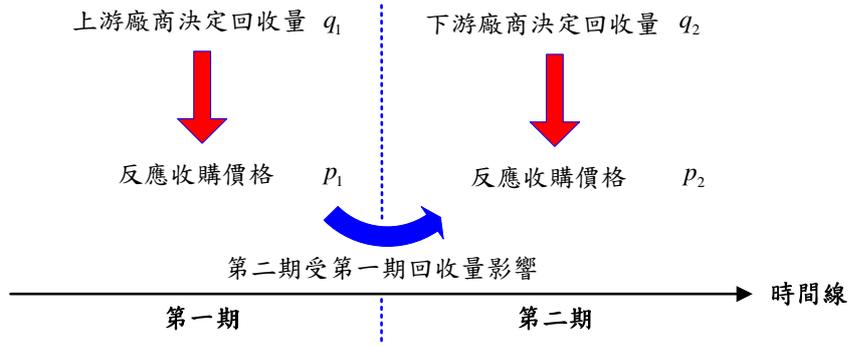


圖 10 兩階資源回收系統決策時間點圖 (二)

由於上游廠商首先選擇回收數量，其決策將考慮下游廠商可能之反應決策，下游廠商之目標式及限制式可視為上游廠商之限制式，此可視為雙層最佳化模型。但下游廠商之回收量，會因上游廠商回收量而有所限制，下游廠商依據自身能力，選擇最佳之回收數量。換言之，下游廠商之回收量  $q_2$  最多只能等同於上游廠商之回收量  $q_1$ ，才符合實際情況，以式  $q_2 \leq q_1$  作為下游廠商之產能限制式。由於供給函數為  $q_i = \alpha_i + \beta_i p_i$ ，因此收購價格可表示為  $p_i = \frac{q_i - \alpha_i}{\beta_i}$ ， $i=1, 2$ 。上游廠商為回收量決策先行者，下游廠商為回收量決策跟隨者，其模型化為如下所示：

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= \left( \frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2} \right) \cdot q_2 - \left( \frac{q_1 - \alpha_1}{\beta_1} + C_1 \right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \quad \text{Max}_{q_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= \left( P_M - \frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2} - C_2 \right) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2 \\ &\text{subject to} \quad q_2 \leq q_1 \end{aligned} \quad (3.49)$$

由於下游廠商之限制式均為線性，所以其之可行解區域為一凸集合。再者，下游廠商之目標函數為一凹函數，且目標式為求極大值，在上述情況下，KKT 最佳條件式不僅是必要條件，且為充分條件，此時求解 KKT 最佳條件式可得最佳解。首先找出下游廠商 KKT 最佳條件式，再將其最佳條件式，作為上游廠商之限制式求解。階層二之 KKT 最佳條件式如(3.51)~(3.53)所示，因此(3.49)改寫為(3.50)~(3.53)

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= \left( \frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2} \right) \cdot q_2 - \left( \frac{q_1 - \alpha_1}{\beta_1} + C_1 \right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \end{aligned} \quad (3.50)$$

$$q_2 \leq q_1 \quad (3.51)$$

$$\beta_2 (P_M + S_2 - C_2) + \alpha_2 - 2q_2 + \beta_2 \lambda = 0 \quad (3.52)$$

$$\lambda (q_1 - q_2) = 0 \quad (3.53)$$

其中(3.51)為下游廠商之可行性條件式 (primal feasibility)；(3.52)為下游廠商之對偶條件

式 (dual feasibility),  $\lambda$  為對偶變數; (3.53) 為互補差餘性質條件式。將上述三個 KKT 最佳條件式作為上游廠商之限制式並求解。欲使 (3.53) 互補差餘性質條件式 (complementary slackness) 成立, 且滿足  $\lambda \geq 0$  之條件與各限制式, 因此分為以下兩種情況討論:

A.  $\lambda = 0$

此時由 (3.52) 可推得下游廠商最佳回收量

$$q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) \quad (3.54)$$

將 (3.54) 帶回 (3.50) 並檢查二階導函數, 從中得知兩廠商之目標函式皆為凹函數, 由一階導函數可求得利潤極大值。

首先由 (3.54) 可推得下游廠商之收購價格

$$p_2^* = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \quad (3.55)$$

將 (3.54) 帶入上游廠商之目標函式並對  $q_1$  偏微分取一階導函數並令之為零, 得

$$q_1^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1) \quad (3.56)$$

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (3.57)$$

B.  $\lambda > 0$

即下游廠商全數回收, 表示 (3.51) 之等號成立, 帶入  $\Pi_{Tier1}$  化簡並檢查此時上游廠商之二階導函數

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = \frac{2(\beta_1 - \beta_2)}{\beta_1 \beta_2} \quad (3.58)$$

由 (3.58) 發現上游廠商之二階導函數, 其值無法判定為正或負, 因  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  參數值皆大於零, 且取決於市場情況, 並非由任一廠商決定, 因此下列分為兩種情形來探討。

B.1  $\beta_1 \geq \beta_2$

此時 (3.58) 為非負值, 表示上游廠商之目標函式為凸函數, 其最佳解應發生於端點。因此模型可化簡為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= \left(\frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2}\right) \cdot q_2 - \left(\frac{q_1 - \alpha_1}{\beta_1} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \quad q_1 &< \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) \end{aligned} \quad (3.59)$$

將  $\Pi_{Tier1}$  中之  $q_2$  帶為  $q_1$  化簡，並求解得此時最佳回收點為

$$q_1^* = q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) - \varepsilon \quad (3.60)$$

其中  $\varepsilon$  為一極小值。

## B.2 $\beta_1 < \beta_2$

此時(3.58)為負值，即表示此時上游廠商之目標函式為凹函數，由一階導函數可求得極大值。

(3.51)之等號成立並將其帶入上游廠商目標函式並求  $q_1$  一階導函數並令之為零，求得上游廠商之回收量，再帶回下游廠商求得其回收量得

$$q_1^* = q_2^* = \frac{\alpha_2\beta_1 - (\alpha_1 + (S_1 - C_1)\beta_1)\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} \quad (3.61)$$

由(3.61)與下游廠商之最佳利潤回收點(3.54)推算，此情境下發生全數回收應成立於(3.61)<(3.54)時，在此條件下，可得均衡解

$$p_1^* = \frac{\alpha_1(-2\beta_1 + \beta_2) + \beta_1(\alpha_2 + (C_1 - S_1)\beta_2)}{2\beta_1(\beta_1 - \beta_2)} \quad (3.62)$$

$$p_2^* = \frac{1}{2}\left(\frac{-\alpha_1 + \alpha_2 + (C_1 - S_1)\beta_1}{\beta_1 - \beta_2} - \frac{\alpha_2}{\beta_2}\right) \quad (3.63)$$

由 A 情境中，(3.54)、(3.56)得知，當下游廠商部分回收，即  $q_2 < q_1$  時，政府提供之補貼費  $S_1$ 、 $S_2$  對於任一廠商而言皆能產生提高回收量之誘因，促使回收量增加。由 B 情境中發現下游廠商為求利潤極大，會盡可能全數回收。

政府為了促使回收業者持續進行回收動作外，提供經濟誘因，也希望達到較大回收量之目標，本研究則針對政府追求增加系統回收量之立場進行探討，分作下列兩種情況討論。首先利用回收量  $q_1^*$ 、 $q_2^*$  之一般式，分別計算出補助上游廠商（此時  $S_1 = S$ 、 $S_2 = 0$ ）時上游回收量  $q_1^{S_1^*}$  及下游回收量  $q_2^{S_1^*}$ ，以及補助下游廠商（此時  $S_1 = 0$ 、 $S_2 = S$ ）時上游回收量  $q_1^{S_2^*}$  及下游回收量  $q_2^{S_2^*}$ ，將此兩補助情境之回收量與未補助時之回收量  $q_1^{S_0^*}$ 、 $q_2^{S_0^*}$  進行比較，分別找出回收量  $\Delta q_1^{S_{10}}$ 、 $\Delta q_2^{S_{10}}$ 、 $\Delta q_1^{S_{20}}$ 、 $\Delta q_2^{S_{20}}$ （皆為有補助時回收量減去無補助時回收量），進而找出在提供相同單位補助金額之前提下，補助政策不同會對於上游或是下游回收量造成哪些影響。本研究僅分析政府補貼單一廠商之政策，以避免其餘對於系統回收量造成影響之因子產生。

**Proposition 1**：當上游廠商回收量大於下游廠商最佳回收量時( $\lambda = 0$ )，上游廠商與下游廠商會各自選擇最佳回收量。補助上游廠商時， $\Delta q_1^{S_{10}} = \frac{1}{2}S\beta_1 > 0$  且  $\Delta q_2^{S_{10}} = 0$ ，即上游回收量增加，但下游處理量不隨之提升；補助下游廠商時， $\Delta q_1^{S_{20}} = 0$  且  $\Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2}S\beta_2 > 0$ ，造成下游處理量提升但上游回收量不變動之情形。

**Proposition 2:** 當上游廠商回收量小於下游廠商最佳回收量時( $\lambda > 0$ )，下游廠商會全數回收來自於上游廠商之回收量

- (a). 當  $\beta_1 \geq \beta_2$  時，若政府選擇補助上游廠商，此時  $\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = 0$ ，無法帶動回收與處理量；若政府補助下游廠商，此時  $\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2} S \beta_2 > 0$ ，可同時增加上游回收量與下游處理量。
- (b). 當  $\beta_1 < \beta_2$  時，若政府選擇補助上游廠商，此時  $\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = \frac{-S \beta_1 \beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} > 0$  可，同時增加上游回收量與下游處理量；若政府補助下游廠商，此時會造成  $\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0$ ，回收量與處理量皆無所變動。

依據下游廠商回收方式，可以分為部分回收與全數回收兩種可能性。下游廠商選擇部分回收時，若補助上游廠商，此時可得到較大之上游回收量，但下游處理量並不會隨之增加，原因在於下游廠商並沒有得到誘因促使增加回收，為了保有自身最大利益，下游廠商仍會選擇可達最高利潤之回收量，因此上游容易造成囤貨情形，必須自行吸收存貨成本；若補助下游廠商，則能提供其誘因以增加處理量，但上游並未獲得相同誘因。上述觀察特點整理成如圖 11 所示，其中當  $\beta_1 < \beta_2$  時，政府應補助上游廠商； $\beta_1 \geq \beta_2$  時，政府也應補助上游廠商。

圖 11 並以  $\Delta q_1^{U^*}$ 、 $\Delta q_2^{U^*}$  表示在下游廠商部分回收時，補助上游政策對於上游與下游廠商回收量之影響情形。

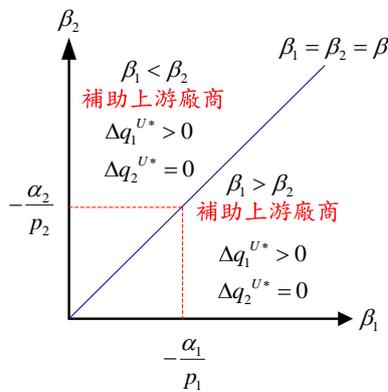
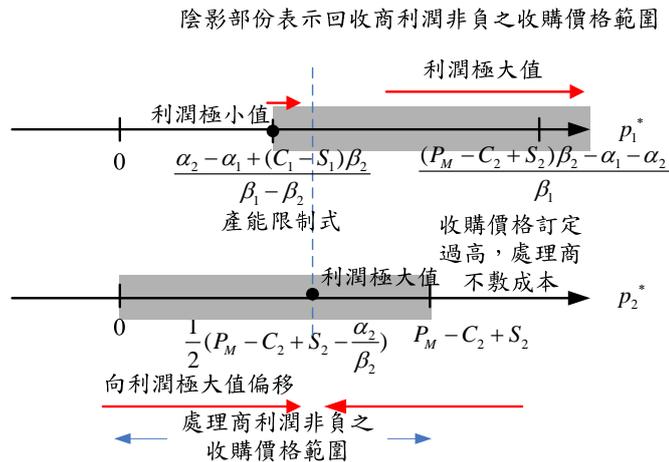


圖 11 市場價格敏感度與政府補助上游時回收量變化圖 (一)

下游廠商全數回收之可能性，會發生於以下兩種情境：

1. 在  $\beta_1 \geq \beta_2$  時，可解釋為消費者對於收購價格的敏感度高於廠商間交易時之敏感度，即消費者對於回收商變動些微收購價格，就會反應出較為激烈波動之回收變化量，容易造成上游回收點過度回收之情形。對於下游廠商而言，面對上游回收量增加，考慮自身有回收愈多造成轉盈為虧的可能，因此下游廠商可能會停止增加回收量，選擇部分回收上游廠商提供之回收量；對於上游廠商而言，考慮下游廠商有部分回收之決策反應，會制定出最佳回收點，避免存貨。政府為求系統運作效率，增加回收量與處理量，應選擇補助

下游廠商。不同收購價格制定範圍則可反映出不同之回收情況，由圖 12 得知，下游廠商全數回收之可能性，僅會落於產能限制式左端，各廠商決定回收數量，是由各自制定之收購價格反應而得，故圖 12 以收購價格角度來說明兩廠商利潤變動關係。由圖 12 可知各廠商在不同收購價格訂定下所反應出之利潤，發現當下游廠商為求利潤極大，全數回收最大值僅會趨近於產能限制式，而超過產能限制式之範圍(圖 12 右側)，表示上游廠商面對下游部分回收，即使回收愈多造成存貨增加，利潤仍持續向上攀升，此情境與現實狀況並不吻合，實際回收狀況並無可能發生，在此不予以討論。



2.  $\beta_1 < \beta_2$  時，則表示消費者對於收購價格多寡敏感程度較低。此時下游廠商收購價格變動，上游廠商會反映出較大的回收量波動，表示上游廠商對於下游廠商所制定的收購價格敏感度較高。此時下游廠商一旦提高收購價格，上游廠商便有誘因增加回收量，但上游回收量提升的同時，上游廠商相對需要提供更高之收購價格來刺激消費者。政府為了提升回收量，可選擇補助上游廠商，此時可獲得較大的上游回收量外，亦能增加下游廠商之處理量；若對下游廠商補助，回收量並不會受到影響，原因在於上游廠商並未得到政府所提供的補助誘因，此時上游與下游廠商之回收量與先前政府未補助相同。上述兩個論點，可以圖 13 表示政府補助政策上的選擇，以及兩廠商所面對市場之收購價格敏感度關係，其中當  $\beta_1 < \beta_2$  時，政府應補助上游廠商； $\beta_1 \geq \beta_2$  時，政府應補助下游廠商圖 13 並以  $\Delta q_1^{B*}$ 、 $\Delta q_2^{B*}$  表示在下游廠商全數回收時，不同補助政策對於上游與下游廠商回收量之影響情形。

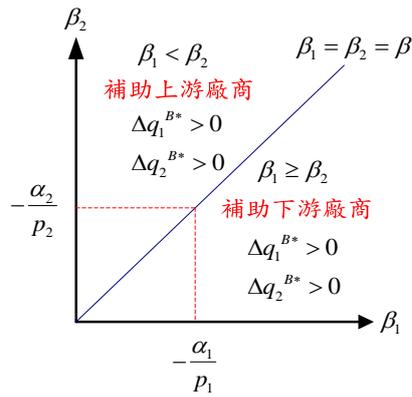


圖 13 市場價格敏感度與政府補助上游回收量之變化圖（二）

#### 四、計畫成果自評及建議

本研究計畫針對分權式逆向供應鏈系統，探討三大研究主題：1 分權式及中央集權式決策方法比較、2 政府補貼及徵收費率之制訂、3 政府補貼政策之分析。以三年的時間逐步的針對每個主題進行模式推導、驗證及分析，並提出完整之系統規劃者針對分權式逆向供應鏈系統之分析、相關決策之制定到政府政策之分析。第一年主要研究時程於主題 1；第二年度主要研究時程於主題 2 及第三年度主要研究時程於主題 3，各年階段之研究成果如下：

##### 主題 1：分權式及中央集權式比較及分析及補貼政策敏感度分析

###### 分權式及中央集權式決策方法比較及分析

由圖 4 觀察中得知，不管是有產能限制的情況（capacitated）或是沒有產能限制的情況（uncapacitated），中央集權式模型所得到之系統淨利均優於分權式模型所得到的系統淨利。然而，實際系統個體的運作方式均為分權式系統，因此，此案例說明若系統規劃者（如政府）如果以中央集權式規劃方式來分析實際上為分權式系統之謬誤之處，且系統規劃者極有可能遭致過度樂觀預測而無法達到設計規劃目標之風險。

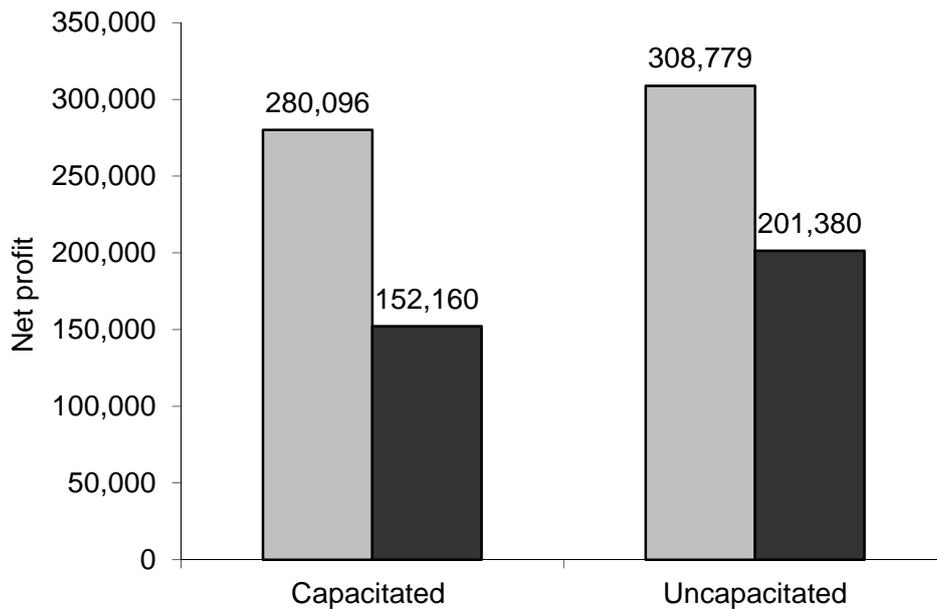


圖 14 中央集權式模型 (□) 及分權式模型 (■) 之系統淨利之比較

#### 政府補貼政策敏感度分析

本研究第一年計畫中探討在不同的政府補貼政策下，分權式模型中系統內獨自運作個體所決定之均衡收購價格及均衡收購量（表 3 及表 4），由此結果顯示政府補助第三階時，第三階之個體有較大的誘因提供上游較高之收購價格。同樣的情況也發生在第二階。這個觀察顯示補助某一特定階層  $m$  ( $m = 2$  or  $3$ )，該特定階層之收購價格會較高。然而，相同的情況並沒有在第一階層中出現，探究原因可能是第一階層所面對的收購市場為互相獨立之市場，因此沒有彼此競爭的效應產生。

政府補貼政策希望樂見產品回到逆向供應鏈系統的總量能夠增加，由此案例中，所有的補貼政策均會造成總回收量增加，但以補貼第二階層所增加的量為最多，由於第一階層的供給函數不盡相同，可能造成此差異，我們進一步假設第一階層的供給函數為完全相同的型式如表 4 所示。

表 3 不同補貼政策下分權式模型之均衡收購價格

Equilibrium Price	Original	(I) \$5 all	(II) \$15 tier 1	(III) \$15 tier 2	(IV) \$15 tier 3
$p_1^{(Co)*}$	-15.08	-5.60	-8.84	-3.12	-8.10
$p_2^{(Co)*}$	-9.12	-0.18	-2.87	1.94	-2.67
Tier 1 $p_3^{(Co)*}$	-12.20	-3.17	-5.92	-0.93	-5.70
$p_4^{(Co)*}$	-10.60	-1.50	-4.33	0.81	-4.01
$p_5^{(Co)*}$	-15.85	-6.36	-9.60	-3.78	-8.87
Tier 2 $p_1^*$	73.08	79.72	73.07	84.08	79.58
$p_2^*$	69.80	76.23	69.79	80.66	76.00
$p_3^*$	72.64	79.23	72.63	83.76	79.06
Tier 3 $p_1^*$	117.92	121.68	117.90	117.87	129.22
$p_2^*$	111.04	114.73	111.04	110.94	122.13
$p_3^*$	110.64	114.29	110.65	110.62	121.71
$p_4^*$	114.74	118.49	114.74	114.89	125.99

表 4 不同補貼政策下分權式模型之均衡收購流量

Source Flow	Original	(I) \$5 all	(II) \$15 tier 1	(III) \$15 tier 2	(IV) \$15 tier 3
$S_1^*$	324.6	372.0	355.8	384.4	359.5
$S_2^*$	365.3	418.9	402.8	431.6	404.0
$S_3^*$	366.8	421.0	404.5	434.4	405.8
$S_4^*$	366.4	421.0	404.0	434.8	405.9
$S_5^*$	330.7	378.2	362.0	391.1	365.6
Total	1753.8	2011.1	1929.1	2076.4	1940.9

在改變第一階層中不同市場中原先的供給函數為均為相同的供給函數後，本計畫第一年之結果顯示，補助第一階層所造成的總回收量為最大。本案例之數值結果可作為本研究計畫第二及第三年中，發展解析解模型之參考，並可進一步做為政府政策分析之參考。

表 5 第一階層中不同市場之供給函數

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
Previous	$400 + 5p_1^{(Co)}$	$420 + 6p_2^{(Co)}$	$440 + 6p_3^{(Co)}$	$430 + 6p_4^{(Co)}$	$410 + 5p_5^{(Co)}$
New	$p_1^{(Co)}$	$p_2^{(Co)}$	$p_3^{(Co)}$	$p_4^{(Co)}$	$p_5^{(Co)}$

表 6 不同補貼政策下分權式模型之均衡收購流量

Source Flow	Original	(I) \$5 all	(II) \$15 tier 1	(III) \$15 tier 2	(IV) \$15 tier 3
$S_1^*$	31.4	37.2	37.7	37.2	34.8
$S_2^*$	31.5	37.3	37.9	37.3	34.8
$S_3^*$	29.9	35.6	36.2	35.5	33.2
$S_4^*$	31.0	36.7	37.3	36.7	34.2
$S_5^*$	31.8	37.6	38.1	37.7	35.1
Total	155.6	184.4	187.2	184.4	172.2

### 主題 2：政府補貼及徵收費率之制訂

在此章節中，我們以國內筆記電電腦的市場做為主要的探討對象，並利用數值案例分析的方式說明資源回收系統費率基本模型和收支平衡模型的運作。

子題 1：針對特定幾個參數進行敏感度分析觀察可能的趨勢。首先，探討消費市場對於社會福利值的影響，也就是參數  $a$  和  $b$  對於社會福利值的影響。分析結果如圖 15 所示：

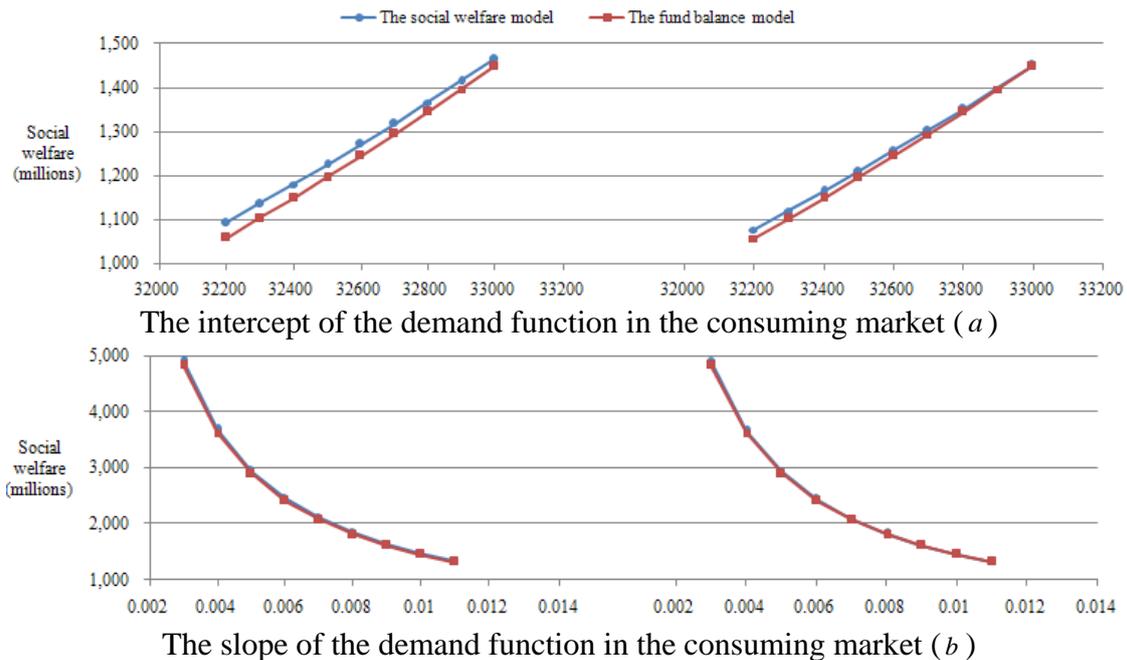


圖 15  $a$  及  $b$  對社會福利值的影響

接著，我們探討回收率對社會福利值的影響。分析結果如圖16所示：

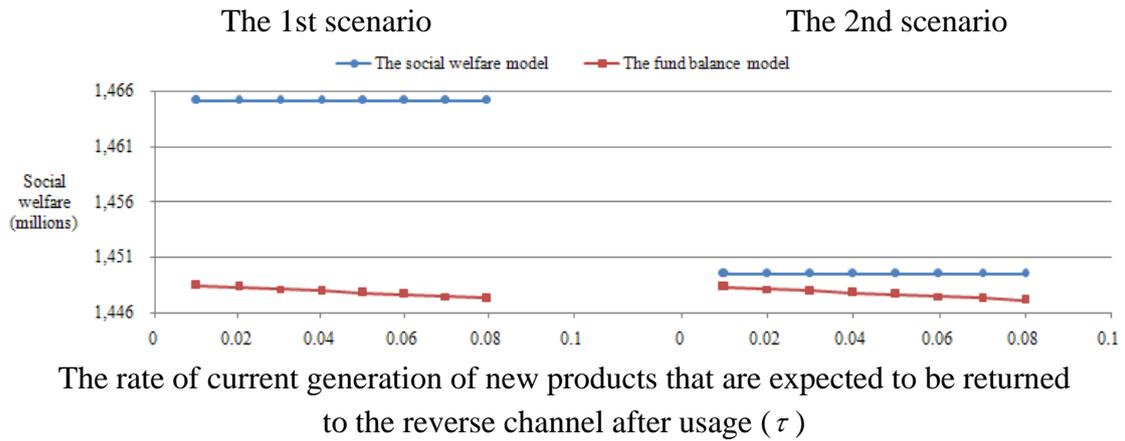


圖 16  $\tau$  對社會福利值的影響

子題 2：利用數值案例探討回收執照發放數量對於總體社會福利值的影響。分析結果如圖 17 所示：

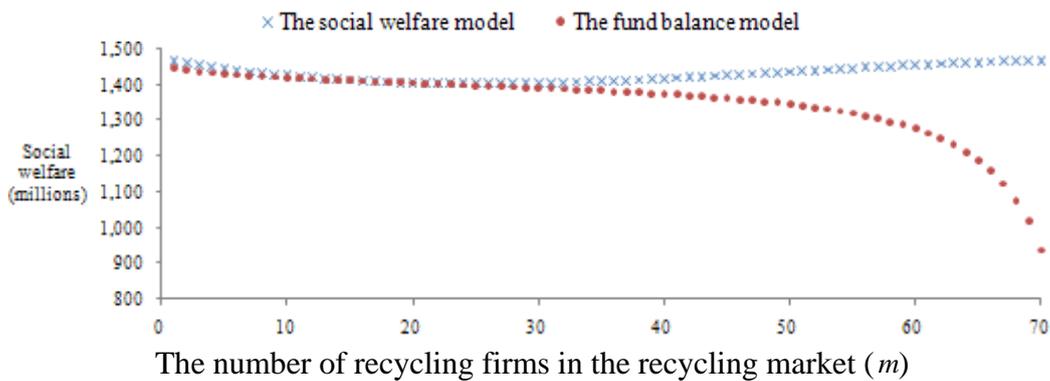


圖 17  $m$  對總體社會福利值的影響

藉由探討此一示例政府補貼費率、獎勵金水準對系統總社會福利之敏感度分析，可做為政府補貼政策及回收執照發放之參考。

### 主題 3：政府補貼政策之分析

我國現行資源回收系統中，基管會雖針對徵收費率與補貼費率加以修正，但補助對象集中於最下游之處理業者，造成消極的處理回收量，卻無法實際提升市面上廢棄物回收數量之狀況；再者，回收商自始面對消費者未知的回收意願，至終處理商二次料市場之原物料價格，各廠商之決策皆可能影響回收量多寡，甚至造成政府補助政策失靈之窘境。

政府補助上游廠商，無論市場的情況為何，皆能提昇上游回收量，而在補助上游廠商的同時下游廠商相對的並沒有得到相同的誘因而使其回收，因而造成回收處理量並未增加之情況。政府為求較高回收量，可選擇補助上游廠商，此時政府應注意消費者與廠商間交易之收購價格敏感程度，當敏感度愈高，補助上游時，反而會造成回收量增加愈多，但下游之處理量並未隨之增加，容易造成處理量過剩，對於環境造成二次汙染或產生更大之處理成本，因

此除了政府要求增加回收量的同時，也要考慮單位補助金額之多寡，使回收物囤積的狀況降到最低。

由於前述兩種模型雖廠商制定之決策變數有所不同，加上不同市場情況下會造成回收模式之差異，所有可能發生之回收情境整理如錯誤! 找不到參照來源。18、錯誤! 找不到參照來源。9 所示，其中利潤極大，表示各廠商符合當時市場情境條件下之利潤極大值，非自身最佳回收利潤極大點；利潤偏低，表示各廠商符合當時市場情境條件下與當時之極大值相比之值。

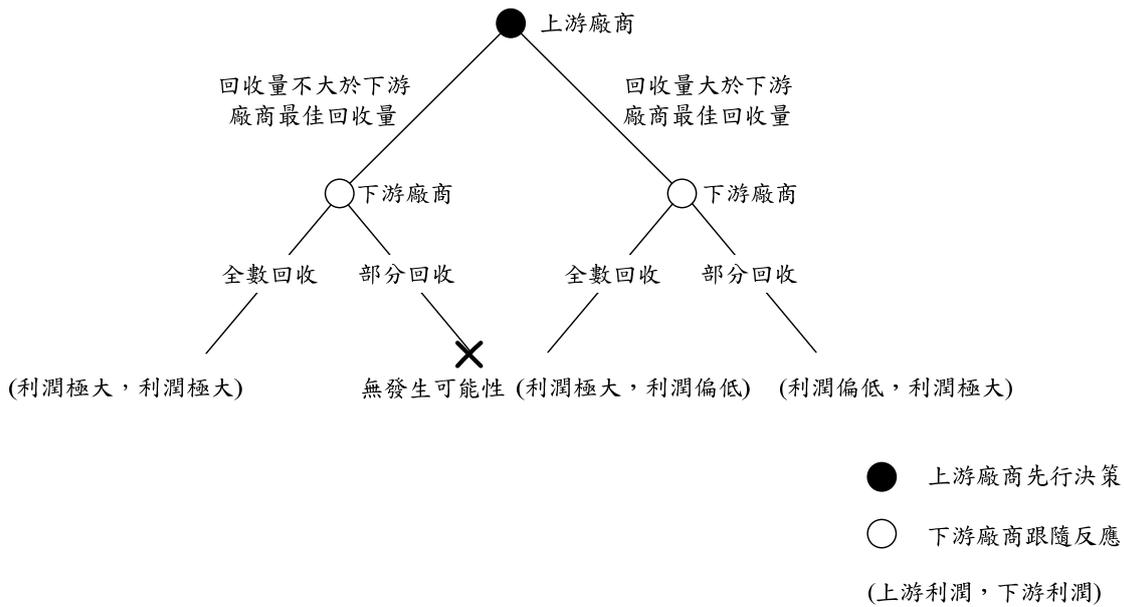


圖 18 回收量為決策變數線性模型之回收情境示意圖

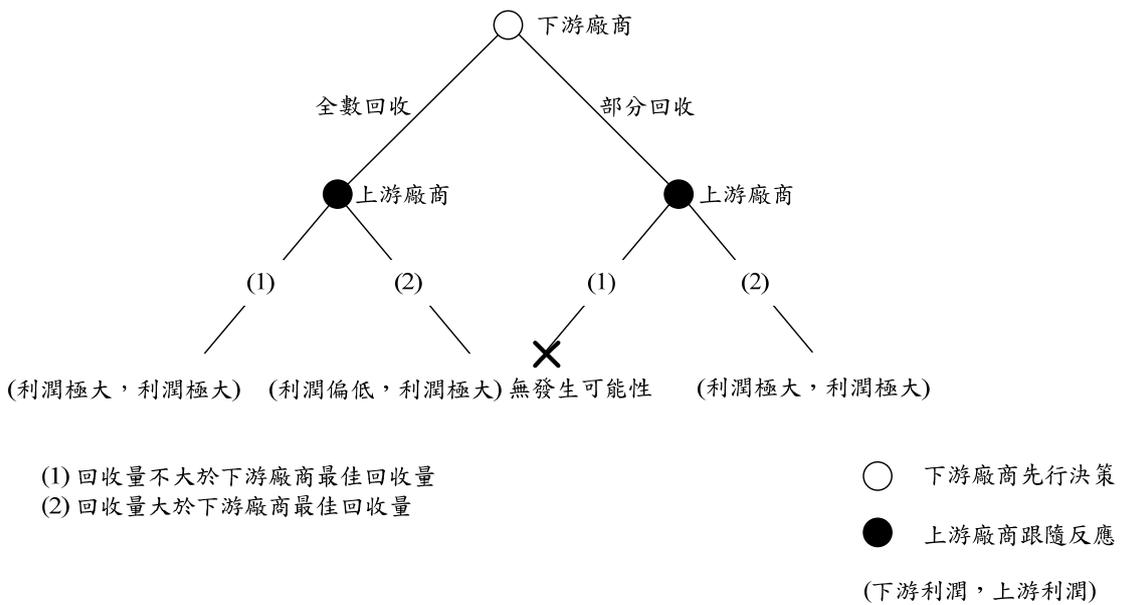


圖 19 收購價格為決策變數線性模型之回收情境示意圖

依據本研究所提出之模型，經由探討可發現以下幾個特點：

- (1) 本研究證實政府在良好的補助對象選擇下，能夠達到增加上游或下游回收量之目標，並能為資源回收業者，帶來更高之系統總利潤。
- (2) 無論決策先行者為上游回收商或下游處理商，透過補助上游廠商，可直接刺激上游回收量。唯有在回收市場之消費者回收意願高，較易反映出高度回收量時，選擇補助下游廠商，使得上游保有高回收量的同時，下游仍能維持較高之處理量。
- (3) 在收購價格為決策變數之模型中，由於資源回收廠商收購價格之訂定，會受到市場物料價格影響，當市場物料價格降低時，兩階層廠商必然降低其收購價格，而消費者面對收購價格降低則減少回收意願，使回收量減少，政府為使提高回收量，必然選擇補助上游廠商，減少因物料價格造成回收量波動之情形。
- (4) 在回收量為決策變數之模型中，政府為直接提昇上游回收量，會選擇直接補助上游廠商。在  $\beta_1 \geq \beta_2$  時，選擇補助下游廠商原因在於，上游廠商在回收的同時制定了收購價格，一般而言，回收點回收處理的成本較低，因此為求消費者回收意願增加，上游廠商擁有更大的收購價格制定空間，提供較高之收購價格給消費者，在消費者端對於回收廠商所制定之收購價格敏感程度較高的同時，便能反應出較高之回收量，而為保有下游廠商之回收處理意願，政府會選擇補助下游廠商，此時不僅市場回收數量增加，處理量亦能增加。
- (5) 在下游廠商全數回收上游提供之回收量時，政府在良好的補助對象選擇下，可同時增加上游與下游之回收量
- (6) 在下游廠商部分回收上游提供之回收量時，政府無論補助何種廠商，皆能提供其回收誘因，隨政府之立場應選擇增加市場回收數量，或是最終處理量，來選擇不同之補助對象，而政府在為求市場回收數量極大之情況下，可選擇補助上游廠商，但此時容易造成囤積之情形。

綜合第一年度、第二年度及第三年度之研究內容，本研究針對分權式逆向供應鏈系統提出整合性研究，建構一套能夠描述分權式逆向供應鏈系統中的個體行為表現，並與中央集權式規劃方式作比較及分析，最後，本研究所發展出分權式逆向供應鏈系統模型可作為政府分析補貼政策參考之用。因此，本研究之貢獻可包括以下幾點：

1. 本研究計畫所求得之決策變數，較能描述現今在逆向供應鏈系統中之現況，因現今系統中，大多數為獨立決策之個體所組成。
2. 經由本研究計畫，可作為日後分析此類系統之工具，例如，在逆向供應鏈系統中，常存在政府補貼相關個體，以利整個回收體系之運作，本研究計畫所產生之工具，可用來分析政府補貼所產生之效益，或進一步分析、研擬政府最佳補貼之費率及價格。
3. 大多數之逆向供應鏈系統之規劃以中央集權式系統（Centralized systems）為主要假設，該系統經常高估系統所能產出的效能，本研究計畫比較中央集權式（Centralized systems）及分權式系統（Decentralized systems）規劃方法所產生的差異。並說明如果以中央集權

式規劃方式來分析實際上為分權式系統之謬誤之處，且系統規劃者極有可能遭致過度樂觀預測而無法達到設計規劃目標之風險。

4. 在本研究背景所示，現今各國紛紛將環保意識落實於法規之中（如歐盟之 WEEE、RoHS 及 EuP），而這些法規中尤以針對電子資訊產業為目前主要規範之對象，台灣之電子產業已在整個電子供應鏈扮演重要之角色，然而，在整個回收體系並未著墨甚深，本研究探討此一逆向供應鏈系統問題，可做為政府單位或電子廠商用來描述在逆向供應鏈之間，不同階層獨立個體間之價格、流量的決策機制，使得台灣由電子資訊品設計、製造輸出端，能將整供應鏈串接起來，變成一封閉型之供應鏈型態（Closed-loop supply chains），而能使台灣轉變為不僅是「綠色設計、製造」的提供者，在國際上也是「綠色回收服務制度」實行的領先者。

經由本研究計畫經費之補助，本研究計畫於學術發表之績效為 1 篇專書章節、2 篇已發期刊論論、3 篇審稿中期刊論文、8 篇會議論文及 6 篇會議報告，詳細學術發表績效列於下表：

#### **A. PUBLISHED BOOK CHAPTERS**

1. Hong, I-Hsuan, Jane C. Ammons, and Matthew J. Realff, “Examining Subsidy Impacts on Recycled Electronics Material Flows,” *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook*. V. Goodship, Ed. Woodhead Publishing. (in press)  
(NSC97-2221-E-002-263-MY3)

#### **B. REFEREED PUBLICATIONS**

Published or Forthcoming Papers in Refereed Journals

1. Hong, I-Hsuan, and Jih-Sian Ke, “Determining advanced recycling fees and subsidies in “e-scrap” reverse supply chains,” *Journal of Environmental Management*, 92(6), 1495-1502, 2011. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
2. Dang, Jr-Fong, and I-Hsuan Hong, “The Cournot game under a fuzzy decision environment,” *Computers & Mathematics with Applications*, 59, 3099-3109, 2010. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)

Papers under Revision or Review in Refereed Journals

3. Hong, I-Hsuan, and Jun-Sheng Yeh, “Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry,” Under revision for *Transportation Research: Part E*. (Submitted August 2010; revision requested December 2010) (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
4. Dang, Jr-Fong, and I-Hsuan Hong, “The Cournot production game with fuzzy random parameters,” Under review for *Information Sciences*. (Submitted September 2010) (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
5. Dang, Jr-Fong, I-Hsuan Hong, and Jing-Ming Lin, “The Cournot production game with multiple firms under an ambiguous decision environment,” Under review for *Computers & Industrial Engineering*. (Submitted August 2011) (NSC97-2221-E-002-263-MY3)

Published or Accepted in Refereed Conference Proceedings

1. Dang, Jr-Fong, I-Hsuan Hong, and Jing-Ming Lin, “The Cournot production game with multiple firms under fuzzy business environment,” The 21<sup>st</sup> International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, June 2011, Taichung, Taiwan.

(NSC97-2221-E-002-263-MY3)

2. 劉毓真、許修齊、鍾頡、洪一薰、鄧志鋒, "採購價格與數量呈現正比關係之合約設計模型," 中國工業工程學會暨學術研討會, December, 2010, Tainan, Taiwan. (論文競賽優勝) (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
3. 羅俊豪、游絃婷、洪一薰、鄧志鋒, "逆向供應鏈於電子產業之回收模式," 中國工業工程學會暨學術研討會, December, 2010, Tainan, Taiwan. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
4. Dang, Jr-Fong, and I-Hsuan Hong, "The Cournot production game with entropy spreads" *The 40<sup>th</sup> International Conference on Computers & Industrial Engineering*, July 2010, Awaji Yumebutai, Hyogo, Japan. (Best Student Paper Award) (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
5. 鄧志鋒、林峻銘、洪一薰, "模糊環境下之 Cournot 賽局模型應用與分析: 動態隨機存取記憶體," 中國工業工程學會暨學術研討會, December, 2009, Taichung, Taiwan. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
6. 王景芳、洪一薰, "政府補助逆向供應鏈之政策分析," 第六屆作業研究年會暨2009年作業研究理論與實務學術研討會, November 5, 2009, Taiwan. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
7. Hong, I-Hsuan, Jhih-Sian Ke, "Studies on subsidy and advanced recycling fee determination in electronics reverse supply chains," *The Manufacturing & Service Operations Management (M&SOM) Conference*, June 2009, Cambridge, Massachusetts, U.S.A. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
8. Hong, I-Hsuan, Hsi-Mei Hsu, Yi-Mu Wu, and Chun-Shao Yeh, "Pricing decision and lead time setting in a duopoly semiconductor industry," *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference – The 4<sup>th</sup> International Conference on Modeling and Analysis of Semiconductor Manufacturing (MASM)*, December 2008, Miami, Florida, U.S.A. (Invited paper) (NSC97-2221-E-002-263-MY3)

### C. PRESENTATIONS

#### Conference Presentations

1. Hong, I-Hsuan, and Jun-Shen Yeh, "Modeling Closed-loop Supply Chains in an Electronics Industry: A Retailer Collection or Third-party Option?" *The Second POMS-HK International Conference*, Hong Kong, January 2011. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
2. Hong, I-Hsuan, Jun-Shen Yeh, and Chon-Hou Lo, "Closed-loop supply chain models in the electronics industry," *Greening Optimization International Forum*, Hsinchu, Taiwan, December 2010. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
3. Hong, I-Hsuan, and Yi-Ting Lee, "Determining advanced recycling fees and subsidies in competitive closed-loop supply chains," *IIE Annual Conference*, Cancun, Mexico, June 2010. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
4. Hong, I-Hsuan, and Jun-Sheng Yeh, "Modeling closed-loop supply chains: A retailer collection application," *IIE Annual Conference*, Cancun, Mexico, June 2010. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)
5. Hong, I-Hsuan, "A game-approach decision making for reverse supply chains," Mini-Workshop on Green Value Chain Management, Hsinchu, Taiwan, May 2010. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)

6. Dang, Jr-Fong, and I-Hsuan Hong, "The Cournot game with fuzzy demand and fuzzy cost," *The 4<sup>th</sup> Sino-Japanese Optimization Meeting*, Tainan, Taiwan, August 2008. (NSC97-2221-E-002-263-MY3)

## 參考文獻

### 中文文獻

張清溪、許嘉棟、劉鶯釗、吳聰敏，1995，*經濟學：理論與實際*，第三版，翰蘆圖書出版有限公司。

環境技術資訊網。 2006。

<http://www.e-environment.com.tw/html/modules.php?name=News&file=print&sid=585>.

Accessed 13 December 2006.

溫麗琪，2005a，應回收廢棄物回收制度與費率架構檢討評估，行政院環保署委託研究計劃，行政院環保署。

溫麗琪，2005b，廢棄物回收處理費之回收處理市場及誘因效果，*人文及社會科學集刊*第十七卷第三期 94(9) 491-520。

### 英文文獻

Ammons, J.C., M. J. Realff, D. E. Newton. 2001. Decision Models for Reverse Production System Design. *Handbook of Environmentally Conscious Manufacturing*. Kluwer Academic Publishers. 341-362.

Assavapokee, T., J. C. Ammons, M. Realff. 2005. A new min-max regret robust optimization approach for interval data uncertainty. Submitted to *Journal of Global Optimization*.

Bansal, S., S. Gangopadhyay. 2003. Tax/subsidy policies in presence of environmentally aware consumers. *Journal of Environmental Economics and Management* 45 333-355.

Baumol, W. J., W. E. Oates. 1988. *The Theory of Environmental Policy, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.

Barros, A. I., R. Dekker, V. Scholten. 1998. A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research* 110 199-214.

Chen, J.-M., T.-H. Chen. 2005. The multi-item replenishment problem in a two-echelon supply chain: the effect of centralization versus decentralization. *Computers & Operations Research* 32 3191-3207.

Chang, M.-H.; J. E. Jr. Harrington. 2000. Centralization vs. decentralization in a multi-unit organization: a computational model of a retail chain as a multi-agent adaptive system. *Management Science* 46(11) 1427-1440.

Clark, A. J., H. Scarf. 1960. Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Management Science* 6 475-490.

Corbett, C. J., U. S. Karmarkar. 2001. Competition and structure in serial supply chains with deterministic demand. *Management Science* 47(7) 966-978.

DOC (Department of Commerce). 2004. Public Document.

<http://ia.ita.doc.gov/download/utptf/comments/essc-utp-cmt.pdf>.

- Flapper, S. D. P. 1995. On the operational aspects of reuse. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Logistics*, Nottingham, UK. 109-118.
- Flapper, D. D. P. 1996. Logistic aspects of reuse: an overview. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Working Seminar on Reuse*, Eindhoven, The Netherlands. 109-118.
- Fleischmann, M., H. R. Krikke, R. Dekker, S. D. P. Flapper. 2000. A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega* **28** 653-666.
- Fullerton, D., A. Wolverton. 1997. The case for a two-part instrument presumptive tax and environmental subsidy. *National Bureau of Economic Research*, Working paper 5993.
- Gibbons, R. 1992. *Game Theory for Applied Economists*. Princeton University Press.
- Guide, V. D. R., T. P. Harrison. 2003. The challenge of closed-loop supply chains. *Interfaces* **33**(6) 3-6.
- Guide, V. D. R., R. H. Teunter, L. N. Van Wassenhove. 2003. Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing. *Manufacturing & Service Operations Management* **5**(4) 303-316.
- Hobbs, B. F. 2001. Linear complementarity models of Nash-Cournot competition in bilateral and POOLCO power market. *IEEE Transactions on Power Systems* **16**(2) 194-202.
- Hong, I-H., T. Assavapokee, J. C. Ammons, C. Boelkins, K. Gilliam, D. Oudit, M. J. Realff, J. M. Vannicola, W. Wongthatsanekorn. 2006. Planning the e-scrap reverse production system under uncertainty in the state of Georgia: a case study. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* **29**(3) 150-162
- Hu, T.-L., J.-B. Sheu, K.-H. Huang. 2002. A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E*.
- Huttunen, A. 1996. The Finnish solution for controlling the recovered paper flows. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Seminar on Reuse*. Eindhoven, The Netherlands. 177-187.
- Jayaraman, V., V. D. R. Guide, R. Srivastava. 1997. A closed-loop technical report, logistics model for use within a recoverable manufacturing environment. Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson, OH.
- Jorgensen, S., P. M. Kort. 2002. Optimal pricing and inventory policies: centralized and decentralized decision making. *European Journal of Operational Research* **138** 578-600.
- Krikke, H. R. 1998. *Recovery strategies and reverse logistic network design*. Ph.D. dissertation, University of Twente, Enchede, The Netherlands.
- Lee, C.-H., Chang, S.-L., Wang, K.-M., Wen, L.-C., 2000. Management of scrap computer recycling in Taiwan. *Journal of Hazardous Materials*. A73, 209-220.
- Lee, H. L., M. J. Rosenblatt. 1986. A generalized quantity discount pricing model to increase supplier profits. *Management Science* **32**(9) 1177-1185.
- Majumder, P., H. Groenevelt. 2001. Competition in remanufacturing. *Production and Operations Management* **10**(2) 125-141.

- Nagurney, A., F. Toyasaki. 2005. Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* **41**(1) 1-28.
- Pindyck, R. S., and D. L. Rubinfeld. 2005. *Microeconomics* 6<sup>th</sup> Edition. Pearson Education Ltd.
- Pohlen, T. L., M. Farris II. 1992. Reverse logistics in plastic recycling. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* **22**(7) 35-47.
- Savaskan, R. C., S. Bhattacharya, L. N. Van Wassenhove. 2004. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science* **50**(2) 239-252.
- Savaskan, R. C., L. N. Van Wassenhove. 2006. Reverse channel design: The case of competing retailers. *Management Science* **52**(1) 1-14.
- Shih, L.-H. 2001. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation, and Recycling* **32** 55-72.
- Thierry, M., M. Salomon, J. Van Nunen, L. Van Wassenhove. 1995. Strategic issues in product recovery management. *California Management Review* **37**(2) 114-135.
- Thierry, M. 1997. *An analysis of the impact of product recovery management on manufacturing companies*. Ph.D. dissertation, Erasmus University, Rotterdam, The Netherlands.
- Wang, C.-H., J. C. Even Jr., S. K. Adams. 1995. A mixed-integer linear model for optimal processing and transport of secondary materials. *Resources, Conservation, and Recycling* **15** 65-78.
- Wang, H., M. Guo, J. Efstathiou. 2004. A game-theoretical cooperative mechanism design for a two-echelon decentralized supply chain. *European Journal of Operational Research* **157**(2) 372-388.
- Williams, J. F. 1981. A hybrid algorithm for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures. *Management Science* **29**(1) 77-92.