

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

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

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 98 年 7 月 31 日

計畫主持人：洪一薰
共同主持人：
計畫參與人員： 葉潤生、柯志賢、李宜庭

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學工業工程學研究所

中 華 民 國 98 年 5 月 28 日

中文摘要

隨著地球暖化的議題日漸增溫、資源日漸耗竭及環保法規逐漸落實，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。封閉型供應鏈包含廠內生產管理及離廠運籌管理。本子計畫主要目的為針對產品在壽期結束後之離廠運籌逆向回收管理系統，預測及描述該系統內各別個體之行為表現及績效，而離廠運籌管理之績效將會影響產品回收再製造之流程，進而影響到廠內生產管理及需求鏈管理，在本研究計畫中彼此資訊的串接將透過資訊與推薦模組。

本研究擬考慮多階分權式逆向供應鏈系統，假設該系統由上游邊界層、中間階層及下游邊界層所組成，每個階層由一群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，個體的決策變數會影響到系統內其它個體的表現。多數逆向供應鏈之文獻以中央集權式的基本架構來規劃相關決策，在中央集權式系統中，系統規劃者知悉個體的資訊並訂定個體之決策變數使得系統表現最佳化，然而，現存逆向供應鏈經常是由各自獨立運作的個體所組成。本研究設計之分權式決策過程機制可用來求解獨立運作個體之決策變數：均衡收購價格及個體間交易之流量。本研究在第一年計畫中，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，並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，作為日後政策實行之參考。

關鍵詞：分權式逆向供應鏈；均衡收購價格；補貼政策

英文摘要

Due to the issues of global-warming, depletion of natural resources, and the environmental legislation, how to reduce, reuse, and recycle end-of-life products is an emerging problem nowadays. The closed-loop supply chain management consists of in-plant production management and off-plant logistics management. One of major operations in off-plant logistics is recycling in reverse supply chains. The 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. The off-plant logistics management definitely involves in the operations of recycling and remanufacturing where these operations affect in-plant production management and demand chain management. In this research, information retrieval and sharing among research projects is processed by the Information Retrieval and Recommender Module.

We consider a general model of *decentralized* reverse supply chain systems comprised of an upstream boundary tier, intermediate tiers, and a downstream boundary tier. Each tier is populated by multiple independent entities and each independent entity has his/her own profit function and mechanism for decision-making. Often the decision variables for each entity in a decentralized system are also influenced by other entities' decision. Most of the research on reverse supply chain design views the system in a *centralized* way; the key assumption is that one planner has the requisite information about all the participating entities and seeks the optimal solution for the entire system. However, many reverse supply chain structures consist of several independent entities. This research is to determine the equilibrium acquisition price and volume of recycled flows in independent parties. In the first year, this research examines the comparison of centralized and decentralized decision-making approaches, and investigates the impact of the total collection amount in the system due to the government subsidy.

Keywords : Decentralized Reverse Supply Chains, Equilibrium Acquisition Price, Subsidy Policy

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。逆向供應鏈即當產品壽期結束後，由消費者端層層向上逆推，直到產品分解至原料狀態，亦或是舊品的再利用。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）。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。

除了歐盟以外，日本也制定了類似的法規，如 JIS（Japan Industry Standard）、美國加州的電子設備禁用四大項有害物質 RoHS 跟英國 RoHS¹等法令規定。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）²。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。

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

¹詳細規範可參閱 <http://www.berr.gov.uk/files/file30080.pdf>

²詳細資料可參閱 <http://www.teema.org.tw/introduce/default.asp>

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。

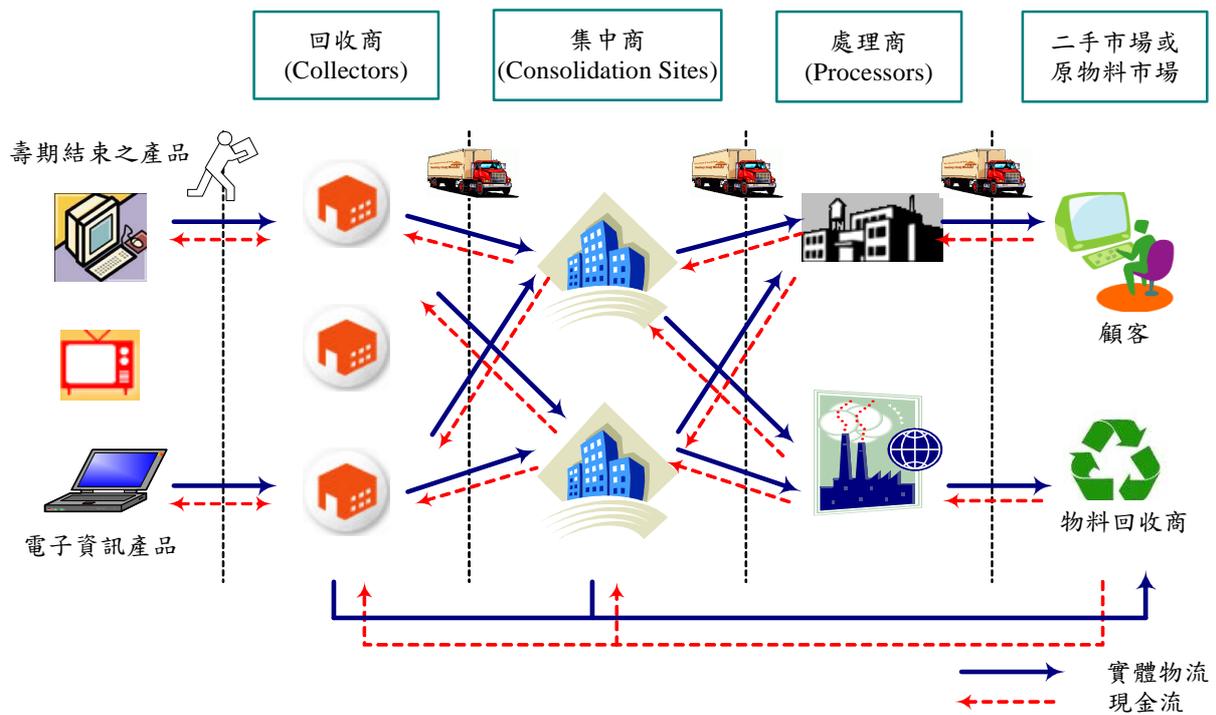


圖 1：逆向供應鏈系統示例

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 (見 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。

台灣在電子、資訊產品外銷產值巨大，在該產業之正向供應鏈 (Forward supply chains)，即傳統供應鏈之設計、製造、包裝及配銷，已在世界上已扮演一舉足輕重的地位，目前，環保議題因全球暖化再度提高，「綠色供應鏈」議題勢必成為產、官、學界所重視問題之一。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。

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立決策之機制，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。

二、文獻探討

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 (Theiry et al. 1995; Theiry 1997; Krikke 1998) 及電子資訊產品回收 (Jayaraman et al. 1997; Hong et al. 2006)。

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。

三、研究方法

本研究計畫第一年內容分為兩項子題：分權式及中央集權式比較及分析，補貼政策敏感度分析。

子題 1：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 2 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。

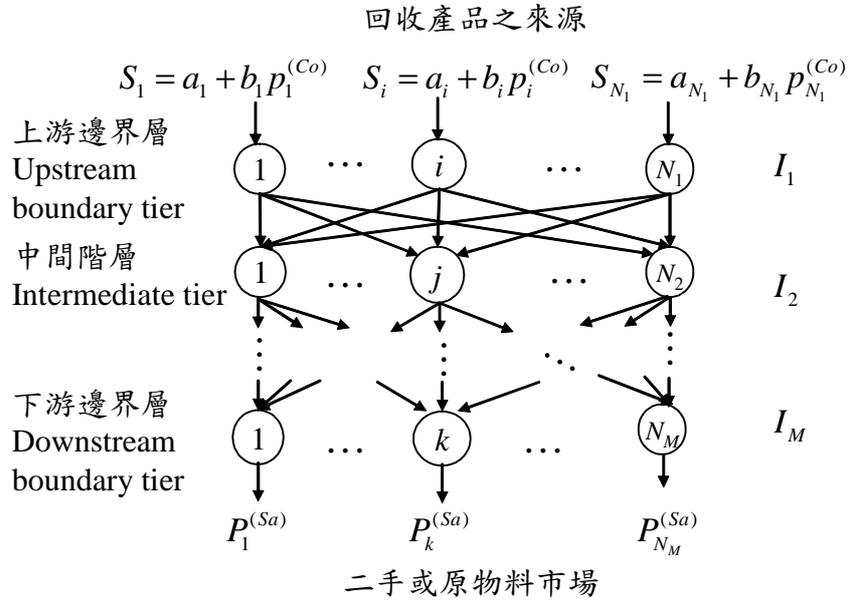


圖 2：M 階層逆向供應鏈系統示例

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(1)-(9)。在(1)-(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)，本計畫第一年由 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

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

Subject to

$$\sum_{j \in I_2} x_{ij}^{(Tr)} = a_i + b_i p_i^{(Co)} \quad \forall i \in I_1 \quad \text{來源供給式} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I_{m-1}} x_{ij}^{(Tr)} = \sum_{k \in I_{m+1}} x_{jk}^{(Tr)} \quad \forall j \in I_m, \forall m = 2 \cdots M-1 \quad \text{流量平衡} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in I_{M-1}} x_{jk}^{(Tr)} = x_k^{(Tr)} \quad \forall k \in I_M \quad \text{流量平衡} \quad (4)$$

$$x_{ij}^{(Tr)} \leq C_{ij}^{(Tr)} \quad \forall i \in I_m, j \in I_{m+1}, \forall m = 1 \cdots M-1 \quad \text{運輸量限制} \quad (5)$$

$$\sum_{j \in I_{m+1}} x_{ij}^{(Tr)} \leq C_i^{(Pr)} \quad \forall i \in I_m, \forall m = 1 \cdots M-1 \quad \text{處理產能限制} \quad (6)$$

$$\sum_{j \in I_{M-1}} x_{jk}^{(Tr)} \leq C_k^{(Pr)} \quad \forall k \in I_M \quad \text{處理產能限制} \quad (7)$$

$$x_{ij}^{(Tr)} \geq 0 \quad \forall i \in I_m, j \in I_{m+1}, \forall m = 1 \cdots M-1 \quad \text{流量符號限制} \quad (8)$$

$$x_k^{(Tr)} \geq 0 \quad \forall k \in I_M. \quad \text{流量符號限制} \quad (9)$$

本研究第一年計畫對圖 3 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 3 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。

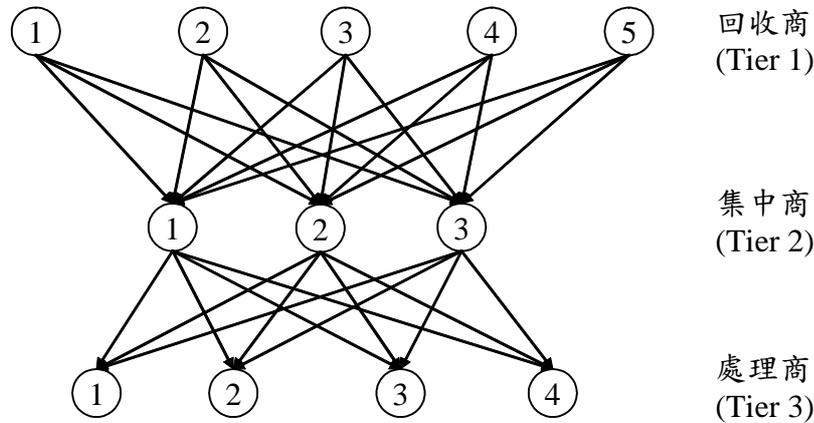


圖 3：回收商、集中商及處理商組成之逆向供應鏈系統

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。

子題 2：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，本研究擬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 3），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。本研究計畫擬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）。本研究擬針對，若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，本研究預期可初步獲得，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。

五、計畫成果自評及建議

本研究所得之研究成果與績效可分別以下列子題作探討，以子題 1 及子題 2 分別說明之。

子題 1：分權式及中央集權式決策方法比較及分析

由圖 3 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之系統淨利。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。

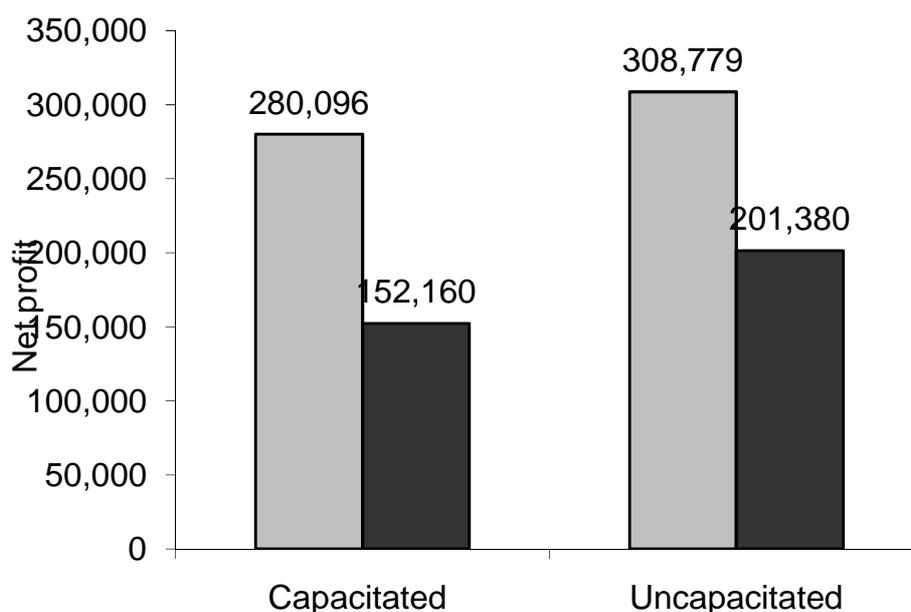


圖 4：中央集權式模型 (□) 及分權式模型 (■) 之系統淨利之比較

子題 2：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。

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

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 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來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

參考文獻

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.

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

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 2nd International Symposium on Logistics*, Nottingham, UK. 109-118.

Flapper, D. D. P. 1996. Logistic aspects of reuse: an overview. *Proceedings of the 1st 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.

- 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
- 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, Enschede, The Netherlands.
- 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.
- 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.
- 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, 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.