

綠色零組件回收的最佳訂價策略--以國內輪胎回收為例

游兆鵬 黃夫佑
德明財經科技大學
流通管理系
jonasyu@takming.edu.tw

摘要

在現今提倡永續發展的社會，相關回收產業建置更為明顯的重要。廢車資源在綠色供應鏈中回收、再製、再使用的循環存在已久，但再生材的使用因營運性質的不同在使用程度上會有所差異。廢棄汽車內部各系統其零件應可翻新、回收、再利用，或可妥善處置，有些經維修後仍可繼續使用；實際上絕大部分材料都可以回收重新利用。行政院環保署與經濟部工業局及台灣橡膠工業同業公會的協商下，同意著手成立廢輪胎回收工作，並於 1989 年 10 月 16 日在台北市成立「廢輪胎處理基金會」，1990 年 10 月 1 日起展開回收的相關工作，報廢汽車回收每輛車體殘值補貼現金之高低，可依廠牌、車型類別、排氣量、年份等來評估補貼金額。本研究即是探討「補貼金」的訂定，針對輪胎回收的補貼金進行深入研究，探討補貼金的最佳價格及有效的成本效益，讓補貼金達到最佳的平衡點；並採用文獻探討法，提出影響利益的重要參數，使用 MAPLE 系統進行敏感度分析，依分析結果找出關鍵的影響因素，做出最適當的結論。

關鍵字：翻新、回收、再利用、補貼金。

Abstract

Now a day to promote sustainable development, the relevant recycling industry is more important than before. Waste car resources exist in the green supply chain recycling, recycling, re-use of the cycle exists for a long time, and the use of recycled materials depending to the different nature of the operation. Waste interior parts of the system should be refurbished, recycled, reused, or properly disposed of, some can still be used after repair; in fact most of the material can be recycled to re-use. The Environmental Protection Department of the Executive Yuan agreed to set up a waste tire recycling operation and set up a Waste Tire Treatment Foundation in Taipei City on October 16, 1989. This study is to explore the "subsidy" of the provisions of the tire recovery for the in-depth study of subsidies to explore the best price of subsidies and effective cost-effective, so that the subsidy to achieve the best balance; and the use of literature Method, the important parameters that affect the interests of the use of MAPLE system for sensitivity analysis, according to the analysis of the key factors to identify the key to make the most appropriate conclusions.

Keywords: refurbishment, recycling, reuse, subsidy.

* 本研究接受科技部編號：MOST 105-2410-H-147 -009 -MY2 研究計畫經費補助

1. 前言

隨著工業發展與交通便利之需求，人們仰賴汽車程度日益增加，你我的生活中已經少不了汽車這項重要的交通工具，但汽車實在是一個很不「綠色」的產品，不但占空間且需耗費大量能源、製造大量污染，亦造成社會上不少的困擾，尤其是廢棄的衍生物質，若未能妥善處理，則易造成環境的影響。近年來，因為國際鋼鐵價格順迅速上漲，帶來人類對資源匱乏的訊息，由於回收一部報廢汽車所取得的材料，幾乎可以再生產一輛新的汽車，所以汽車逆向物流的效率及綠色化程度等課題近年來成為物流領域的熱點課題，本研究探討從業者及消費者的角度分析，找出報廢車輛輪胎的回收金最佳補貼金，若能將廢汽車輛有效率進行拆解，提升輪胎物料的回收再利用，希望能對我國汽車逆向物流綠色回收的發展有所幫助，不僅可使輪胎物料符合永續發展，且達到環保與經濟雙贏的目的。

1.1 研究動機

汽車產業綠色供應鏈中為汽車回收粉碎廠、汽車零件製造商、汽車整車廠、汽車修護廠等四部份之關連。研究結果發現廢車資源在綠色供應鏈中回收、再製、再使用的循環的確存在，但再生材的使用因營運性質的不同在使用程度上會有所差異。另外，各種回收材質的處理方法及來源仍須仰賴政府制定一套完善的標準及法規，才能有效落實台灣汽車產業之綠色供應鏈。汽車逆向物流是以顧客滿意與環境保護為目的，將汽車產品、資源和相關信息從供應鏈下游向上游回流的過程。它包括退回物流和廢棄物物流兩大部分。

由於受科學技術水平的限制及汽車在實際使用過程中的差異，當汽車報廢時，汽車內部各系統其零件應可翻新、回收、再利用，或可妥善處置。有些經維修後仍可繼續使用發揮其餘熱，絕大部分材料可以回收重新利用。為了減少資金的消耗，同時更好地保障生活和生產的正常秩序，發達國家在二十世紀80年代就開始對汽車工業再循環工程進行研究與實踐，目

前已達到較高水平，且取得了相當不錯的效果。我國對此研究的起步較晚，很多方面尚需完善。本研究是針對如何提高「補貼金」，讓民眾更有意願、積極的將汽車回收，另一方面讓政府將綠色環保實施的更為徹底，採兩者之間的平衡點作為研究範圍，進一部深入了解。

1.2 研究目的

每台汽、機車都有一定的壽命，使用到一定的年限將面臨淘汰的命運，其生命週期結束之後可以有多種不同的處理方案，各種方案的處理成本和回收價值並不相同，當然衍生出來的再利用方向和價值也不會相同。綠色產品回收就是考慮產品及零部件的回收處理成本與回收價值，以最少的成本代價，引導消費者進行綠色回收以獲得最高再利用的價值。面臨淘汰的廢棄輪胎若未能妥善處理，會造成環境污染與衛生的問題，老舊的廢棄輪胎不但處理費用高，更會造成環境的污染，此狀況已逐漸受到國人的重視，因此政府提供補貼金鼓勵將老舊部品做回收。基於上述的研究動機與議題，本研究目的如下：

- (一) 透過對相關文獻與理論的整理和回顧，充分了解綠色消費、綠色回收的相關性；
- (二) 探討輪胎回收帶給大眾消費的利益關係；
- (三) 經過研究分析，如何讓補貼金達到平衡點，而更增進國內綠色輪胎回收的數量。

1.3 研究方法

本研究採用最佳化數學規劃理論探討舊輪胎回收的最佳補貼金，採用 Maple 應用軟體來求解，並做敏感度分析及探討，以其中以曲線圖能清楚地顯示價格的調整與波動，因此能容易得之最佳價格以及成本的效益。

2. 文獻探討

近年來，歐美等國家的企業在既有之供應鏈管理中納入環境衝擊之考量，以進一步提升其供應鏈管理績效，此即所謂的綠色供應鏈管理。綠色供應鏈延伸了生產

者的責任，製造商與出口商必須擔負起產品生命週期對環境衝擊的責任，因此，廠商在設計時，就要思考如何回收、拆解的問題，綠色供應鏈裡的組成者除了製造商、供應商、經銷商、零售商與顧客外，還包括回收商與廢棄物處理商。黃聯海等人(2006)認為綠色供應鏈應從社會和企業的角度呈輻射狀延伸去，導入全新的綠色設計概念，直到最終回收再利用，持續發展並做到雙向溝通的地步。而這個一連串的綠色過程中，鏈中所涉及牽扯到的各個環節，企業必須緊密結合以使整個系統和其管理機制能夠達到環境的最優化。而國外也有諸位學者提出在傳統供應鏈體系中，應包含逆向物流的管理活動，也就是產品最終階段之處理過程，必須考慮產品再回收、物料/零組件回收再利用、產品再製造，以及最終廢棄物處理等活動。

美國物流管理協會(Council of Logistics Management, 1998)在研究報告中提出：「逆向物流是指透過產源減量、循環再生、替代、再利用、及清理(Disposal)等方式進行物流活動，在物流程序中扮演產品退回、維修與再製、物品在處理、物品再生、廢棄物清理及有害物質(Hazardous materials)管理的角色」。而在零售業中的逆向物流活動包括有：產品的召回、交換、維修、重新分配、空瓶回收處理、產品及材料再利用。逆向物流可使產品循環利用及重新包裝，因而可以賦予許多產品新生命，因此組織企業應該反過來更加重視逆向物流，且應視同正向物流一樣重要，進而對正向物流與逆向物流作進一步的整合。逆物流程序所定義，逆物流管理除提供系統性的管理方法之外，將可達成完整供應鏈的循環，而且達到獲利的目標。供應鏈乃是各階段資訊、產品和金流的動態鏈，可視為由一連串的上游供應商和下游的顧客所連結的環相互鏈結而成。綠色供應鏈目的為製造「綠色產品」，在其使用壽命完結時，其零件、配件應可翻新、回收、重用，或可妥善處置。換句話說，綠色商品即「採用綠色材料，通過綠色設計、綠色製造、綠色包裝而生產的一種節能、減少資源、降低污染的環境友

善型產品。因此，符合綠色材料之未來指日可待，但是持續應該要努力以赴的是研發在產品生命週期全程中，符合特定的環境保護要求，對人體無害，對環境無造成影響或影響極小，但也不降低產品功能及其使用壽命。

輪胎基本上是由橡膠、鋼絲及聚脂纖維組成，而橡膠(天然橡膠、合成橡膠)在整個輪胎原材料中所占的比例不足一半，其他均為各種化學添加物等。由於輪胎的每一個部位的受力和作用不同，必需使用不同性能的橡膠，因此各種不同添加劑必需能滿足輪胎的不同需求。橡膠內加入各種化學物品後，可使橡膠具備所需的特性。在橡膠內添加的化學物品稱為添加劑，其種類有：促進劑、硫化劑、硫化加速劑、硫化減速劑、粘合劑、抗老化劑及碳黑(碳煙)等。其中的促進劑和硫化劑具有特殊功能，橡膠添加後，密度會增加；添加碳黑後，輪胎抗磨損的能力提昇，進而大大增加了橡膠耐磨性質。且橡膠一旦經過硫化過程，就會使橡膠的塑性改變成橡膠的彈性。

而根據國內環保署估計，在民國72年至78年間，台灣地區累積超過50萬噸的廢輪胎，而這些廢輪胎在當時多是以露天方式隨意堆放，不但容易引發火災，也會因積水而滋生病媒蚊，對生命財產造成相當程度之損害。目前國內對於輪胎、橡膠等廢棄物，政府皆訂有具體的回收計劃，尤其近年來在環保署廢棄物回收基金會的努力下，累積的廢輪胎量已由民國85年以前的13萬6千噸呈逐年減少的趨勢，但截至目前為止，廢輪胎每年仍以約12萬5千噸的速率成長(如表1所示)。1998年時國內廢輪胎回收量約為105,000MT、廢橡膠為60,610MT。現階段最大宗之廢棄物為廢塑膠，其每年廢棄量高達1,000,000MT，如能將回收率提昇至50%以上(即500,000MT/年的回收量)，則可大幅減低其對環境之衝擊。因此，尋求更多的廢輪胎再利用方式，確實有其必要性及急迫性。此外從財團法人廢輪胎資源回收管理基金管理委員會之資料顯示，我國每年至少產生10萬公噸之廢輪胎。

表1. 國內廢輪胎回收與處理量

年度	回收量 (Kg)	處理量 (Kg)	儲存量 (Kg)
79/10~84/12	284,922,157	148,981,911	136,010,246
85/01~85/12	82,062,384	88,521,086	-6,458,702
86/01~86/12	59,172,750	63,036,936	-125,687,358
累計量	426,157,291	300,539,933	125,687,358

資料來源：廢輪胎處理基金會。

Guide, Jr. (2003)將再製品分為同一等級並假設再製造產品賣出機率和定價成反比。Lebreton and Tuma (2006)將輪胎分為四種等級，分析其市場佔有率與邊際利益。Galbreth and Blackburn (2006)作者設立一個已知的產出率之機率分配，利用報童模式找出最小總回收成本。Vorasayan and Ryan (2006)透過等候模式之網路架構，以整修產品售價與整修比例為決策變數，建立利潤最大化之數學模型。而Mitra (2007)的研究將產品依照品質分為兩種等級，並假設賣出機率和定價與供應數量成反比。但Guide, Jr. (2003)與Mitra (2007)並未考量補貼金和回收制度，而Sun (2007)與Mitra (2007)類似，只針對新製品品質加以考量。

3. 模式建立

3.1 研究假設

本研究假設輪胎再製商生產兩種等級的產品，第一種產品稱為「再製品」，其品質和市面上的新品相同；第二種產品稱為『翻修品』，品質略低。再製商供貨來源

為從回收管道得來的產品，通常此類產品為舊品或壞掉的產品，再製商將收集回來的輪胎進行測試、分類、拆解、清洗整理、重製或翻修後可以得到兩類不同等級的產品。所以本研究假設回收後『再製品』的數量較『翻修品』數量還低，此假設較能符合實際情況。此外再製商收集輪胎的來源是從民眾那回收而來的廢棄輪胎，而民眾不一定會交給再製商進行重製，所以再製商必須提供一筆回收補貼金，此補貼金能夠吸引民眾願意將廢輪胎交給再製商回收。本研究考慮補貼金的情況，假設補貼金金額越高，能夠回收到的產品越多。但是補貼金對再製商而言為成本支出，較高的補貼金可以得到較多的廢棄輪胎，但同時也增加了營運成本。所以對再製商而言，如何考量補貼金也是一個重要的因素。除此之外，本研究將廢棄輪胎視為回收利潤，在該價位無法賣出的「翻修品」輪胎無法再賣出，但可以送到回收廠得到一筆回收處理利潤。

參數符號	定義	假設數值
α	回收成再製品比率	0.25
β	回收成翻修品比率	0.35
n_1	比值($\rho_1 = n_1 * S$)	5
n_2	比值($\rho_2 = n_2 * S$)	3
P_1	再製品最高售價	\$200/unit
P_2	翻修品最高售價	\$100/unit
d	廢棄處理成本	\$2/unit
k_1	敏感度因子	2
k_2	敏感度因子	2
k_3	敏感度因子	4
Q_1	再製商對再製品處理上限	10000
Q_2	再製商對翻修品處理上限	10000
γ	未賣出翻修品之殘值	\$1/unit

a	基本回收數量	300
b	增加一單位的 S 所增加的回收量	50
m_1	再製品再製成本	\$10/unit
m_2	翻修品翻修成本	\$5/unit
決策變數		
TP^*	總產量	
S^*	補貼金最佳定價	
ρ_1^*	再製品最佳定價	
ρ_2^*	翻修品最佳定價	
Q^*	最佳回收量	
Q_m^*	最佳再製品數量	
Q_f^*	最佳翻修品數量	
Rev^*	最佳利潤	
$Cost^*$	最低成本	
$PIPC$	最佳利潤率	

目標函數：

總產量=再製品售價總額+翻修品售價總額+再製品當翻修品賣的總額+翻修品未賣完的殘值-(再製品的成本+翻修品的成本)

$$\begin{aligned}
 TP(s, \rho_1, \rho_2) &= (1 - \frac{\rho_1}{P_1})(1 - \frac{\alpha Q}{K_1 Q_1})(\alpha Q)(\rho_1) + [1 - (1 - \frac{\rho_1}{P_1})(1 - \frac{\alpha Q}{K_1 Q_1})](\alpha Q)(\rho_2) \\
 &+ (1 - \frac{\rho_2}{P_2})(1 - \frac{\beta Q}{K_2 Q_2})(1 - \frac{\alpha Q}{K_3 Q_1})(\beta Q)(\rho_2) \\
 &+ [1 - (1 - \frac{\rho_2}{P_2})(1 - \frac{\beta Q}{K_2 Q_2})(1 - \frac{\alpha Q}{K_3 Q_1})](\beta Q)r \\
 &- (\alpha m_1 + \beta m_2) \cdot Q - (1 - \alpha - \beta) \cdot Q \cdot d - sQ \\
 &= (1 - \frac{n_1 s}{P_1})(1 - \frac{\alpha Q}{K_1 Q_1})(\alpha Q)(n_1 s) + [1 - (1 - \frac{n_1 s}{P_1})(1 - \frac{\alpha Q}{K_1 Q_1})](\alpha Q)(n_2 s) \\
 &+ (1 - \frac{n_2 s}{P_2})(1 - \frac{\beta Q}{K_2 Q_2})(1 - \frac{\alpha Q}{K_3 Q_1})(\beta Q)(n_2 s) \\
 &+ [1 - (1 - \frac{n_2 s}{P_2})(1 - \frac{\beta Q}{K_2 Q_2})(1 - \frac{\alpha Q}{K_3 Q_1})](\beta Q)r \\
 &- (\alpha m_1 + \beta m_2) \cdot Q - (1 - \alpha - \beta) \cdot Q \cdot d - sQ
 \end{aligned}$$

在進行最佳化求解前，先用赫斯矩陣(Hessian Matrix)驗證其原模式為一個嚴格凹函數(Concave Function)，證明其有全域最佳解(Global Optimum)存在。本研究使用 Maple 軟體計算求解如下：

變數	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0

3.2 敏感度分析

為了解各參數對於輪胎回收之補貼金決策變數的影響程度，將針對各參數作其調整變化，觀察聯合總利潤之變化情形，因此，本節係針對製造商之相關參數作敏感度分析，如表 2 所示。

敏感度分析步驟如下：

步驟 1：挑選出欲探討之參數， α 、 β 、 n_1 、 n_2 、 P_1 、 P_2 、 d 、 k_1 、 k_2 、 k_3 、 Q_1 、 Q_2 、 γ 、 a 、 b 、 m_1 、 m_2 ，參

數中心值為{0.25、0.35、5、3、200、100、2、2、2、4、10000、10000、1、300、50、10、5}。

步驟 2：將目標參數之中心值作{-50% ~ 50%}幅度變化，而其它參數保持原中心值，並使用 MAPLE 軟體求解，以找出最佳解。

步驟 3：最後將步驟 2 求得的最佳解與參數為中心值之最佳解，進行相互比較與分析。

表 2. 敏感度分析 α

變動值	TP*	S*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q*	Q _m *	Q _f *	Rev*	Cost*	PIPC
50%	16532	23	116	69	1458	547	510	59096	42564	241%
40%	13739	22	110	66	1401	490	490	52787	39049	184%
30%	11166	21	104	62	1342	436	470	46694	35528	131%
20%	8822	20	98	59	1279	384	448	40828	32006	82%
10%	6712	18	91	55	1212	333	424	35205	28493	39%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	3218	15	77	46	1067	240	373	24751	21533	-34%
-20%	1844	14	69	41	986	197	345	19955	18112	-62%
-30%	723	12	60	36	898	157	314	15472	14749	-85%
-40%	-143	10	50	30	802	120	281	11312	11455	-103%
-50%	-753	8	39	23	692	86	242	7465	8218	-116%

隨著回收成再製品比率(α)的增加，補貼金(S*)有小幅度的增加。然而，整體來說，增加的幅度有明顯之變化，故 α 對於總產量(TP*)有顯著的影響。

表 3. 敏感度分析 β

變動值	TP*	S*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q*	Q _m *	Q _f *	Rev*	Cost*	PIPC
50%	9156	18	90	54	1196	299	628	37237	28081	89%
40%	8289	18	89	53	1188	297	582	35866	27576	71%
30%	7424	18	88	53	1178	295	536	34449	27025	53%
20%	6560	17	87	52	1168	292	491	32980	26420	35%
10%	5699	17	86	51	1156	289	445	31448	25749	18%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	3992	17	83	50	1126	1531	1930	28141	24149	-18%
-20%	3153	16	81	48	1106	276	310	26329	23177	-35%
-30%	2327	16	78	47	1082	271	265	24374	22047	-52%
-40%	1521	15	75	45	1052	263	221	22231	20709	-69%
-50%	745	14	71	43	1015	254	178	19834	19089	-85%

如表 3 所示，隨著回收成翻修品比率(β)的增加，對於補貼金有些微的影響，且最佳回收量(Q*)、最佳利潤(Rev*)與最低成本(Cost*)增加的幅度有明顯之變化，故 β 對於總產量(TP*)有顯著的影響。

表 4. 敏感度分析 n_1

變動值	TP*	S*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q*	Q _m *	Q _f *	Rev*	Cost*	PIPC
50%	7457	15	115	46	1063	266	372	29066	21609	54%

40%	7236	16	111	47	1090	272	381	29948	22712	49%
30%	6890	16	106	49	1113	278	390	30607	23717	42%
20%	6392	17	100	50	1131	283	396	30919	24527	32%
10%	5715	17	93	51	1142	286	400	30725	25010	18%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	3775	17	74	50	1126	282	394	28073	24298	-22%
-20%	2548	16	63	47	1090	272	381	25265	22717	-47%
-30%	1241	15	51	44	1027	257	359	21351	20110	-74%
-40%	-14	13	38	38	930	233	326	16418	16432	-100%
-50%	-1049	10	24	29	790	197	276	10674	11723	-122%

如表 4 所示，再製品訂價(n_1)的增加，補貼金(S^*)、最佳回收量(Q^*)、最佳利潤(Rev^*)與最低成本($Cost^*$)一開始皆呈現微幅增加，但增加至 20%後，增加的幅度只有些微之變化且曲線較為平緩。不過，總產量(TP^*)仍持續增加，故 n_1 對於總產量(TP^*)有顯著的影響。

表 5. 敏感度分析 n_2

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	PIPC
50%	5991	15	75	68	1051	255	357	27086	21095	24%
40%	6017	15	75	63	1051	263	368	27112	21095	24%
30%	5923	16	78	61	1081	270	378	28258	22335	22%
20%	5716	16	81	58	1108	277	388	29195	23479	18%
10%	5366	17	83	55	1129	282	395	29782	24416	11%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4125	17	84	46	1143	286	400	29165	25041	-15%
-20%	3213	17	83	40	1127	282	395	27557	24344	-34%
-30%	2140	16	79	33	1090	273	382	24869	22729	-56%
-40%	984	15	73	26	1026	257	359	21075	20091	-80%
-50%	-132	13	63	19	931	233	326	16319	16451	-103%

如表 5 所示，翻修品訂價(n_2)的增加，補貼金(S^*)、最佳回收量(Q^*)、最佳利潤(Rev^*)與最低成本($Cost^*$)一開始皆呈現微幅增加，但增加至 30%增加的幅度只有些微變化且線較為平緩。不過，總產量(TP^*)仍持續增加，故 n_2 對於總產量(TP^*)有顯著的影響。

表 6. 敏感度分析 P_1

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	PIPC
50%	6400	19	94	57	1244	311	435	36172	29772	32%
40%	6146	19	93	56	1228	307	430	35147	29001	27%
30%	5868	18	91	55	1210	303	424	34019	28151	21%
20%	5560	18	89	53	1190	298	417	32772	27212	15%
10%	5220	17	87	52	1168	292	409	31387	26166	8%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4420	16	81	49	1112	278	389	28104	23684	-9%
-20%	3946	16	78	47	1078	269	377	26145	22198	-19%
-30%	3413	15	74	44	1037	259	363	23919	20507	-30%
-40%	2810	14	69	41	988	247	346	21378	18568	-42%
-50%	2129	13	63	38	928	232	325	18464	16335	-56%

如表 6 所示，再製品最高售價(P_1)的增加，對於所有變數皆有影響，其增加的幅度有明顯之變化，故 P_1 對於總產量(TP^*)有顯著的影響。

表 7. 敏感度分析 P_2

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	9808	23	114	68	1437	359	503	49762	39954	103%
40%	8813	22	108	65	1384	346	485	45834	37021	82%
30%	7815	21	103	62	1329	332	465	41865	34050	61%
20%	6817	19	97	58	1270	317	444	37865	31049	41%
10%	5823	18	91	54	1208	302	423	33851	28027	20%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	3881	15	77	46	1072	268	375	25858	21978	-20%
-20%	2948	14	70	42	998	14	349	21935	18987	-39%
-30%	2058	12	62	37	920	230	322	18109	16051	-58%
-40%	1223	11	54	32	837	209	293	14427	13204	-75%
-50%	462	9	45	27	748	187	262	10948	10486	-90%

如表 7 所示，隨著翻修品最高售價(P_2)愈高，全部變數增加幅度越高，故 P_2 對於總產量(TP^*)有顯著之影響。

表 8. 敏感度分析 d

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4614	17	84	50	1138	284	398	29648	25034	-5%
40%	4660	17	84	50	1139	285	398	29686	25027	-4%
30%	4705	17	84	50	1139	285	399	29725	25020	-3%
20%	4751	17	84	50	1140	285	399	29763	25013	-2%
10%	4797	17	84	50	1141	285	399	29802	5005	-1%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4888	17	84	51	1143	286	400	29878	24991	1%
-20%	4934	17	84	51	1144	286	400	29917	24983	2%
-30%	4979	17	84	51	1145	286	401	29955	24975	3%
-40%	5025	17	85	51	1145	286	401	29993	24968	4%
-50%	5071	17	85	51	1146	287	401	30031	24960	5%

如表 8 所示，未賣出翻修品之廢棄處理成本(d)對於補貼金的定價(S^*)並無影響，但整體來說，其他變數隨著增加而減少，線呈遞減，故 d 對於總產量(TP^*)並無太大顯著的影響。

表 9. 敏感度分析 k_1

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4869	17	84	51	1143	286	400	29919	25051	1%
40%	4865	17	84	51	1143	286	400	29908	25043	0.5%
30%	4861	17	84	51	1143	286	400	29895	25034	0.4%
20%	4855	17	84	51	1143	286	400	29880	25024	0.3%
10%	4849	17	84	51	1142	286	400	29862	25012	0.1%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4833	17	84	50	1142	285	400	29814	24980	-0.2%
-20%	4822	17	84	50	1141	285	399	29781	24959	-0.4%
-30%	4808	17	84	50	1140	285	399	29738	24930	-1%
-40%	4789	17	84	50	1140	285	399	29682	24893	-1%
-50%	4763	17	84	50	1138	285	398	29603	24840	-2%

如表 9 所示，隨著敏感度因子(k_1)的增加，對於補貼金(S^*)與再製品最佳定價(ρ_1^*)無影響外，其餘皆增加，但其幅度並無明顯之變化。故 k_1 對於總產量(TP^*)並無太大顯著

的影響。

表 10. 敏感度分析 k_2

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4907	17	84	51	1144	286	401	30013	25106	1%
40%	4898	17	84	51	1144	286	400	29988	25090	1%
30%	4887	17	84	51	1144	286	400	29960	25073	1%
20%	4875	17	84	51	1143	286	400	29927	25052	1%
10%	4860	17	84	51	1143	286	400	29887	25027	0.4%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4821	17	84	50	1141	285	399	29783	24962	-0.4%
-20%	4794	17	84	50	1140	285	399	29710	24917	-1%
-30%	4759	17	84	50	1139	285	399	29617	24858	-2%
-40%	4713	17	84	50	1137	284	398	29493	24780	-3%
-50%	4649	17	83	50	1135	284	397	29319	24670	-4%

如表 10 所示，隨著敏感度因子(k_2)的增加，對於補貼金的定價(S^*)無顯著的影響。10%之後，最佳利潤率($PIPC$)開始與 X 軸接近為水平，所以 k_2 對於總產量(TP^*)還是無太大顯著的影響。

表 11. 敏感度分析 k_3

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4865	17	84	51	1143	286	400	29901	25036	0.5%
40%	4862	17	84	51	1143	286	400	29892	25030	0.4%
30%	4858	17	84	51	1143	286	400	29882	25024	0.3%
20%	4854	17	84	51	1142	286	400	29871	25017	0.2%
10%	4848	17	84	51	1142	286	400	29857	25008	0.1%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4835	17	84	51	1142	285	400	29820	24985	-0.2%
-20%	4825	17	84	50	1141	285	399	29795	24970	-0.4%
-30%	4813	17	84	50	1141	285	399	29762	24949	-1%
-40%	4797	17	84	50	1140	285	399	29719	24922	-1%
-50%	4774	17	84	50	1139	285	399	29658	24884	-1%

如表 11 所示，隨著敏感度因子(k_3)的增加，對於補貼金的定價(S^*)無顯著的影響，其餘變數的增加也無明顯之變化，故 k_3 對於總產量(TP^*)並無太大顯著的影響。

表 12. 敏感度分析 Q_1

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4892	17	84	51	1144	286	400	29980	25088	1%
40%	4885	17	84	51	1144	286	400	29960	25075	1%
30%	4876	17	84	51	1143	286	400	29937	25061	1%
20%	4867	17	84	51	1143	286	400	29910	25043	1%
10%	4856	17	84	51	1143	286	400	29878	25023	0.3%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4826	17	84	50	1141	285	399	29794	24968	-0.3%
-20%	4805	17	84	50	1140	285	399	29735	24930	-1%
-30%	4779	17	84	50	1139	285	399	29660	24881	-1%
-40%	4744	17	84	50	1138	284	398	29560	24816	-2%
-50%	4695	17	84	50	1136	284	398	29420	24725	-3%

如表 12 所示，再製商對再製品處理上限(Q_1)的增加，對於補貼金的定價(S^*)沒有的影響，其他變數的增加幅度也無明顯之變化，故 Q_1 對於總產量(TP^*)並無太大顯著的影響。

表 13. 敏感度分析 Q_2

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4907	17	84	51	1144	286	401	30013	25106	1%
40%	4898	17	84	51	1144	286	400	29988	25090	1%
30%	4887	17	84	51	1144	286	400	29960	25073	1%
20%	4875	17	84	51	1143	286	400	29927	25052	1%
10%	4860	17	84	51	1143	286	400	29887	25027	0.4%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4821	17	84	50	1141	285	399	29783	24962	-0.4%
-20%	4794	17	84	50	1140	285	399	29710	24917	-1%
-30%	4759	17	84	50	1139	285	399	29617	24858	-2%
-40%	4713	17	84	50	1137	284	398	29493	24780	-3%
-50%	4649	17	83	50	1135	284	397	29319	24670	-4%

再如表 13 所示，製商對翻修品處理上限(Q_2)的增加，對於補貼金的定價(S^*)無顯著的影響，且其他變數的增加幅度有些微之變化，故 Q_2 對於總產量(TP^*)並無太大顯著的影響。

表 14. 敏感度分析 γ

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4946	17	85	51	1146	287	401	30145	25199	2%
40%	4925	17	85	51	1146	286	401	30084	25159	2%
30%	4905	17	84	51	1145	286	401	30023	25119	1%
20%	4884	17	84	51	1144	286	400	29962	25078	1%
10%	4863	17	84	51	1143	286	400	29901	25038	0.4%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4821	17	84	50	1141	285	399	29779	24958	-0.4%
-20%	4801	17	84	50	1140	285	399	29719	24918	-1%
-30%	4780	17	84	50	1139	285	399	29658	24878	-1%
-40%	4760	17	84	50	1138	285	398	29597	24838	-2%
-50%	4739	17	84	50	1138	284	398	29537	24798	-2%

如表 14 所示，未賣出翻修品之殘值(γ)增加，並沒有影響到補貼金的金額高低。對於其他來說，皆增加而無明顯之變化，故 γ 對於總產量(TP^*)並無太大顯著之影響。

表 15. 敏感度分析 a

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4844	17	84	51	1142	286	400	29851	25007	0.04%
40%	4844	17	84	51	1142	286	400	29849	25005	0.03%
30%	4843	17	84	51	1142	286	400	29847	25003	0.02%
20%	4843	17	84	51	1142	286	400	29845	25002	0.02%
10%	4843	17	84	51	1142	286	400	29842	25000	0.01%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4842	17	84	51	1142	285	400	29838	24996	-0.01%
-20%	4841	17	84	51	1142	285	400	29836	24994	-0.02%
-30%	4841	17	84	51	1142	285	400	29834	24993	-0.02%
-40%	4841	17	84	51	1142	285	400	29831	24991	-0.03%
-50%	4840	17	84	51	1142	285	400	29829	24989	-0.04%

如表 15 所示，基本回收數量(a)的增加，對於補貼金的定價(S^*)與最佳翻修品數量(Q_f^*)皆無顯著的影響外，其他的增加的度也無明顯之變化，故 a 對於總產量(TP^*)並無太大顯著的影響。

表 16. 敏感度分析 b

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4875	17	84	51	1151	288	403	30063	25188	1%
40%	4869	17	84	51	1149	287	402	30019	25150	1%
30%	4862	17	84	51	1147	287	401	29974	25112	0.4%
20%	4855	17	84	51	1145	286	401	29929	25074	0.3%
10%	4849	17	84	51	1144	286	400	29885	25036	0.1%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4836	17	84	51	1140	285	399	29796	24960	-0.1%
-20%	4829	17	84	51	1139	285	399	29751	24922	-0.3%
-30%	4822	17	84	51	1137	284	398	29706	24884	-0.4%
-40%	4816	17	84	51	1135	284	397	29662	24846	-1%
-50%	4809	17	84	51	1133	283	397	29617	24808	-1%

如表 16 所示，回收量(b)的增加，對於補貼金的定價(S^*)並沒有影響，其他數值的增加幅度也無明顯之變化，故 b 對於總產量(TP^*)並無太大顯著的影響。

表 17. 敏感度分析 m_1

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4700	17	84	50	1139	285	399	29720	25021	-3%
40%	4728	17	84	50	1140	285	399	29744	25016	-2%
30%	4757	17	84	50	1140	285	399	29768	25012	-2%
20%	4785	17	84	50	1141	285	399	29792	25007	-1%
10%	4814	17	84	50	1141	285	400	29816	25003	-1%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4871	17	84	51	1143	286	400	29865	24993	1%
-20%	4899	17	84	51	1143	286	400	29888	24989	1%
-30%	4928	17	84	51	1144	286	400	29912	24984	2%
-40%	4956	17	84	51	1144	286	400	29936	24979	2%
-50%	4985	17	84	51	1145	286	401	29959	24974	3%

如表 17 所示，隨著再製品再製成本(m_1)的增加，對於補貼金的定價(S^*)並沒有影響，其他數值卻隨著增加而減少，線呈遞減。故 m_1 越小，總產量(TP^*)會增加，但上升幅度不大。

表 18. 敏感度分析 m_2

變動值	TP^*	S^*	ρ_1^*	ρ_2^*	Q^*	Q_m^*	Q_f^*	Rev^*	$Cost^*$	$PIPC$
50%	4643	17	84	50	1138	285	398	29672	25029	-4%
40%	4683	17	84	50	1139	285	399	29706	25023	-3%
30%	4722	17	84	50	1140	285	399	29739	25017	-2%
20%	4762	17	84	50	1140	285	399	29773	25011	-2%
10%	4802	17	84	50	1141	285	399	29807	25004	-1%
原始值	4842	17	84	51	1142	285	400	29840	24998	0
-10%	4882	17	84	51	1143	286	400	29874	24991	1%
-20%	4922	17	84	51	1143	286	400	29907	24985	2%
-30%	4962	17	84	51	1144	286	400	29940	24978	2%
-40%	5002	17	84	51	1145	286	401	29974	24971	3%

-50%	5042	17	85	51	1146	286	401	30007	24965	4%
------	------	----	----	----	------	-----	-----	-------	-------	----

如表 18 所示，隨著翻修品翻修成本(m_2)的增加，對於補貼金的定價(S^*)並沒有影響，其他數值卻隨著增加而減少，線呈遞減。故 m_2 越小，總產量(TP^*)會增加，但上升幅度不大。

4. 結論

再製商收集輪胎的來源是從民眾回收的廢棄輪胎而來，而民眾不一定會交給再製商進行重製，所以再製商必須提供一筆回收補貼金，此補貼金能夠吸引民眾願意將廢輪胎交給再製商回收。若補貼金金額越高，能夠回收到的產品越多。但是補貼金對再製商而言為成本支出，較高的補貼金可以得到較多的廢棄輪胎，但同時也增加了營運成本。此外將廢輪胎視為回收利潤，在該價位無法賣出的「翻修品」輪胎無法再賣出，可送到回收廠得到一筆回收處理利潤。本研究藉由最佳化模式得到相關最佳的訂價組合{策略補貼金最佳定價、再製品最佳定價、翻修品最佳定價}。此外，依敏感度分析來看， α 、 β 、 n_1 、 P_2 這四個變數曲線皆呈遞增，其幅度有明顯的變化之外，對於利潤的影響程度較大且都超過 50%。；其次為 n_2 、 P_1 、 k_1 、 k_2 、 Q_1 、 Q_2 、 γ 、 b 此八個變數對利潤的影響介於 1%與 50%間，其中 n_2 、 P_1 的增加幅度較為明顯，其餘則較為平緩，但曲線仍然皆呈正斜率；最後則是 d 、 k_3 、 a 、 m_1 、 m_2 。除了 k_3 、 a 是呈小幅度遞增外，其他則為負斜率。但其這五個變數的影響程度不大。對各參數對於總利潤影響程度作匯整，其敏感度分析比較如下。依參數之敏感度作其幅度變化整理，以+50% ~ -50% 變化、大於 50%變化之影響，視為高度敏感參數；介於 1%至 50%變化之影響，視為中度敏感參數；小於 1%變化之影響則視為低度敏感參數，歸納如下：

(一) 高度敏感參數(>50%)： α 、 β 、 n_1 、 P_2

(二) 中度敏感參數 (1%~50%)： n_2 、 P_1 、 k_1 、 k_2 、 Q 、 Q_2 、 γ 、 b

(三) 低度敏感參數 (<1%)： d 、 k_3 、 a 、 m_1 、 m_2

參考文獻

1. 黃聯海、陳政徽、劉文雄(2006)，「綠色供應鏈管理之分析」，中華民國品質學會第42屆年會暨第12屆全國品質管理研討會，台北市
2. Guide, V.D.R., R.H. Teunter and L.N.V. Wassenhove, (2003). Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(4), pp303-316.
3. Lebreton, B., and Tuma, A. (2006). A quantitative approach to assessing the profitability of car and truck tire remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 104(2), pp639-652.
4. Mitra, S, (2007). Revenue management for remanufactured products. *Omega* 35, pp.553-562.
5. Sun, X., P. Tian, Y. Cao and Y. Jiao, (2007). Revenue management for two quality level products. *Wireless communications, Networking and mobile Computing, WiCom, International conference*, pp5087-5087.
6. Vorasayan, J., and Ryan, S. M. (2006). Optimal price and quantity of refurbished products. *Production and Operations Management*, 15(3), pp369-383.