

東 海 大 學

工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

以系統模擬方法評析廢乾電池回收效益



研 究 生：邱冠豪
指 導 教 授：林水順 博士
蔡禎騰 博士

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月

Analyzing Recycling Efficiency of Waste Dry Battery Utilizing System Simulation

By
Kuan-Hao Chiu

Advisor: Dr. Shui-Shun Lin
Dr. Jen-Teng Tsai

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise
Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2010
Taichung , Taiwan , Republic of China

以系統模擬方法評析廢乾電池回收效益

學生：邱冠豪

指導教授：林水順博士

蔡禎騰博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

摘要

市面上散佈著許許多多電機電子設備，隨著生命週期的縮短，汰舊換新的速度也不斷地加快。在眾多電機電子設備中，電池皆是重要的功能性零組件，無論是一次電池或是二次電池(充電電池)必將隨著使用產品之汰換或壽命終止而遭到丟棄。目前市售的乾電池仍有部分含有對環境有害之汞、鉛與鎳等重金屬，若無法妥善回收處理而流入環境中，不僅會對生物體與環境造成傷害，最終也會危害到人體。

我國的廢乾電池回收是由回收管理基金管理委員會(基管會)負責管理，相關責任業者僅須支付回收清除處理費。然而現在已有許多國家採納延伸生產者責任的概念，將其融入法規，規範生產者必須負起產品回收及最終處置之責任。實為現今資源回收主要遵循之精神及方向。本研究目的旨在探討不同回收制度之回收系統在不同回收情境下之變化。在本研究所假設的情境下，觀察其成本效益之趨勢。本研究利用系統模擬方法模擬不同回收政策之系統行為，透過改變不同的回收情境來收集並分析各系統之輸出資料，藉此評估廢乾電池回收政策之可行性。

經過相關文獻整理後，本研究選出三種不同回收政策，並且針對該政策可能呈現之回收系統進行模擬實驗。在假設情境下，發現三個不同的回收系統之成本效益，在不同回收情境改變之下而各有不同的改變趨勢。以實行 Producer Responsibility Organizations (PRO) 組織併同押金制度之系統成本效益變動最為穩定。不同於另外兩個系統，PRO 組織併同實施押金制度能夠表現出較相對穩定之成本效益趨勢，不會因為回收率之提升而有明顯變動。

關鍵字詞：廢乾電池，系統模擬，延伸生產者責任

Analyzing Recycling Efficiency of Waste Dry Battery Utilizing System Simulation

Student: Kuan-Hao Chiu

Advisor: Dr. Shui-Shun Lin
Dr. Jen-Teng Tsai

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

Due to the shorter life cycle, there were more and more waste electrical and electronic equipments (WEEE). In these equipments, battery is an important functional component. It must be discarded with WEEE, either first battery or second battery. There are little part of batteries nowadays still contain heavy metal like mercury, lead and nickel, it will hurt the environment and human beans if they won't get well treatment.

In Taiwan, the waste dry battery recycling was managed by Recycling Fund Management Board, producers only have to pay advantage disposal fee. In the same time, many countries has adopt the concept of Extended Producer Responsibility (EPR), requesting the manufacturer of product have to take the responsibility on recycling and final disposal by bring into force the laws. In this study, we try to investigate the variation of different recycling policies on different recycling situations. Observe the cost effectiveness trend in our assumption. We try to simulate the different system behaviors of different recycling policies. Collecting and analyzing the system output by changing different recycle situations and evaluate the feasibility of these policies through the results.

After the experiments, we found that the cost effectiveness of three different recycle policies would change in different situations. The Producer Responsibility Organizations (PRO) combine with deposit system shows the most stable cost effectiveness trend, it won't change obviously when recycle rate increase.

Keywords: Waste Dry Battery, System Simulation, Extended Producer Responsibility

致謝

總算是達成了高中時所立下的求學目標，在東海這麼優美的校園中完成了碩士學業。時光荏苒，在東海一待就是六年，沒想到這一個夢想中的鳳凰花開竟然這麼快就前來迎接我。

能夠完成這份論文，最要感謝的就是指導我的林水順老師以及蔡禎騰老師，感謝兩位老師兩年來對我的諄諄教誨以及信任，才讓我有信心地完成這份論文。還要感謝彭泉老師、邱創鈞老師、邱文志以及莊淑惠老師，謝謝您們在我研究所求學階段給我的建議，讓我在論文撰寫過程中能夠因為老師們的教導而不致於困惑難行。

兩年的研究所生活，不只完成了一份論文，也結識了許多好朋友好戰友。謝謝研究室的學長姊，美瑜、珈綸以及鉉文的照顧，因為你們，使我研一的生活才能過得充實又快樂，特別是任志和玠昀，謝謝你們在我論文時給我的鼓勵以及所有建議。還有良州、子芳以及佳興，謝謝你們這群好戰友的陪伴以及打氣。尤其是益泓，我的好兄弟，謝謝你兩年來的陪伴，讓我的求學之路不至於孤單苦澀。研一的學弟妹們，柏雅、彬辰、雨馨、倩如、秋蓉以及菡倩，你們我的大後援，謝謝你們這一年來的辛苦以及陪伴，有你們的幫忙，我才能無後顧之憂的全力衝刺論文。

還有素卿姊、緯珊以及遠東街的兄弟們，謝謝你們的支持與鼓勵，你們是我大學階段一直陪伴我到研究所畢業的好夥伴，有你們的陪伴，我在台中六年的求學生活過得多采多姿而且充滿回憶。

最後要感謝我的家人，爸爸、媽媽還有兩位妹妹，謝謝你們在我背後默默的支持我，你們是我努力完成這份論文的原動力，未來我一定會更加努力，繼續往前邁進。

邱冠豪 謹誌於

東海大學 ISA lab

中華民國九十九年 仲夏

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究方法.....	3
1.4 研究步驟.....	3
1.5 論文架構.....	5
第二章 文獻探討	6
2.1 歐盟環保指令.....	6
2.1.1 廢電機電子設備指令.....	6
2.1.2 危害性物質限制指令.....	8
2.1.3 電池指令.....	9
2.2 延伸生產者責任.....	11
2.2.1 源由.....	11
2.2.2 EPR 的政策內涵.....	12
2.2.3 美國 EPR.....	15
2.2.4 小結.....	15
2.3 國內外廢乾電池回收制度現況.....	16
2.3.1 我國廢乾電池回收制度現況.....	16
2.3.2 德國廢乾電池回收制度現況.....	19
2.3.3 荷蘭廢乾電池回收制度現況.....	21
2.3.4 瑞典廢乾電池回收制度現況.....	22
2.4 系統模擬.....	24
2.4.1 模擬的優缺點.....	24
2.4.2 模擬的步驟.....	25
2.4.3 系統模擬相關文獻.....	25
2.4.4 使用軟體簡介.....	26
2.5 小結.....	27
第三章 模型建構	28
3.1 觀察分析我國回收系統現況.....	28
3.1.1 我國回收系統現況.....	28
3.1.2 小結.....	29
3.2 建立回收系統之模擬模型.....	29
3.2.1 系統描述.....	29
3.2.2 資料收集、整理及分析.....	30
3.2.3 建構模擬模型.....	32

3.2.4 模型的驗證.....	34
3.3 定義各政策回收系統之成本效益.....	34
3.3.2 製造商與進口商.....	35
3.3.3 銷售通路.....	35
3.3.4 消費者.....	36
3.3.5 回收商.....	36
3.3.6 再生處理廠.....	36
3.3.7 PRO 組織.....	37
3.3.8 小結.....	37
第四章 執行模擬範例	39
4.1 系統模擬之物件說明.....	39
4.2 政策說明及假設.....	41
4.2.1 政策一：我國回收現況.....	42
4.2.2 政策二：實行押金制度.....	43
4.2.3 政策三：PRO 組織併同實施押金制度.....	44
4.3 模擬模型的建立.....	45
4.3.1 模型之邏輯與描述.....	45
4.3.2 模型之建構.....	53
4.3.3 模型的驗證.....	58
4.3.4 比較各政策之成本效益.....	61
第五章 結論與建議	68
5.1 結論.....	68
5.2 本研究貢獻.....	69
5.3 未來研究與建議.....	69
參考文獻.....	70
附錄一、回收現況模型實驗數據	74
附錄二、押金制度模型實驗數據	75
附錄三、PRO 組織制度模型實驗數據.....	77

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1 EPR 責任示意圖.....	12
圖 2.2 德國包裝廢棄物回收方式.....	14
圖 2.3 基管會運作機制.....	16
圖 2.4 德國廢電池之回收流程.....	20
圖 2.5 荷蘭 Stibat 組織架構.....	22
圖 2.6 瑞典廢乾電池回收流程.....	23
圖 2.7 eM-Plant 軟體特性.....	27
圖 3.1 我國廢乾電池回收流程.....	28
圖 3.2 我國廢乾電池回收系統現況概念圖.....	32
圖 3.3 實行押金制度之回收系統概念圖.....	33
圖 3.4 PRO 組織合併實行押金制度之回收系統概念圖.....	33
圖 4.1 我國回收現況金流示意圖.....	43
圖 4.2 押金制度金流示意圖.....	44
圖 4.3 PRO 組織併同實施押金制度金流示意圖.....	45
圖 4.4 一次電池進入銷售通路系統模型圖.....	45
圖 4.5 一次電池進入市場時間參數設定.....	46
圖 4.6 電池出廠時間設定.....	46
圖 4.7 回收現況之消費者與回收商系統圖形.....	47
圖 4.8 實行押金制度之消費者與回收商系統圖形.....	47
圖 4.9 實行 PRO 組織併同押金制度之消費者與回收商系統圖形.....	48
圖 4.10 消費者使用與暫存分流設定.....	48
圖 4.11 消費者使用與回收分流設定.....	49
圖 4.12 回收商工作時間設定.....	49
圖 4.13 回收商工作時間控制週期.....	50
圖 4.14 回收商供貨時間設定.....	50
圖 4.15 回收商工作時間控制週期.....	51
圖 4.16 再生處理廠相關機台設定.....	52
圖 4.17 電池辨識屬性設定程式內容.....	53
圖 4.18 我國回收現況之系統模型圖.....	53
圖 4.19 實行押金制度之系統模型圖.....	54
圖 4.20 實行 PRO 組織併同實施押金制度之系統模型圖.....	55
圖 4.21 再生處理廠處理流程模型圖.....	57
圖 4.23 自行回收體系電池屬性圖.....	59
圖 4.24 共同回收體系電池屬性圖.....	59
圖 4.25 我國回收現況成本效益趨勢圖（處理成本：30.96 元/公斤）.....	62
圖 4.26 我國回收現況成本效益趨勢圖（處理成本：50.23 元/公斤）.....	62

圖 4.27 實行押金制度成本效益趨勢圖（處理成本：30.96 元/公斤）	64
圖 4.28 實行押金制度成本效益趨勢圖（處理成本：50.23 元/公斤）	64
圖 4.29 實行 PRO 組織併同實施押金制度成本效益趨勢圖(處理成本:30.96 元/公斤)	67
圖 4.30 實行 PRO 組織併同實施押金制度成本效益趨勢圖(處理成本:50.23 元/公斤)	67

表目錄

表 2.1 WEEE 指令內容整理.....	7
表 2.2 RoHS 指令內容整理.....	8
表 2.3 RoHS 指令可能影響之產品組件.....	9
表 2.4 電池指令內容整理.....	10
表 2.5 EPR 政策工具整理表.....	13
表 2.6 廢乾電池回收清除處理補貼費率.....	17
表 2.7 乾電池回收清除處理費費率.....	18
表 2.8 德國廢乾電池回收管制內容整理.....	19
表 2.9 荷蘭廢乾電池回收管制內容整理.....	21
表 2.10 瑞典廢乾電池回收管制內容整理.....	22
表 3.1 本研究相關資料及參數來源整理.....	30
表 3.2 再生處理廠回收處理成本項目.....	36
表 4.1 本研究模型物件圖示整理.....	40
表 4.2 本研究各政策實驗參數改變組合.....	56
表 4.3 本研究模擬模型參數來源類型整理.....	57
表 4.4 敏感度分析後之成本效益結果.....	60
表 4.5 政策一模擬實驗之成本效益結果（處理成本：30.96 元/公斤）.....	61
表 4.6 政策一模擬實驗之成本效益結果（處理成本：50.23 元/公斤）.....	61
表 4.7 政策二模擬實驗之成本效益結果（處理成本：30.96 元/公斤）.....	63
表 4.8 政策二模擬實驗之成本效益結果（處理成本：50.23 元/公斤）.....	63
表 4.9 政策三模擬實驗之成本效益結果（處理成本：30.96 元/公斤）.....	65
表 4.10 政策三模擬實驗之成本效益結果（處理成本：50.23 元/公斤）.....	66

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著生活品質的逐漸提昇，大規模的生產、消費與拋棄的生活型態所帶來的問題是大量廢棄物的產生。世界各國皆致力於研究廢棄物減量以及資源有效再利用的管制措施。廢棄物處理由過去所著重的後端處理之環境衛生轉變為由源頭做起，考量從資源角度減少廢棄物產出，有利於環境與生態，並朝向資源回收再利用，以達資源永續發展為目標(鍾仁雄，2009)。

2003年2月，歐盟公佈「廢棄電機電子設備指令(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, WEEE)以及危害性物質限制指令(The Restriction of use certain Substances in electrical and electronic equipment, RoHS)」，目的是在限制所有流通於歐盟國家的電機電子設備的有害物質含量並且規範生產者必須要承擔回收與處理電機電子廢棄物的責任，同時負擔其相關費用。為了避免各國對於處理 WEEE 的法規不一而造成貿易壁壘，於是歐盟在設計 WEEE 指令時便導入了延伸生產者責任(Extended Producer Responsibility, EPR)的概念。希望藉此來刺激生產者重新思考產品之設計，增加產品在結束生命週期時回收的可再利用比率，降低廢棄物處理過程(掩埋及焚化)對環境造成的衝擊。

市面上散佈著許許多多電機電子設備(Electrical and Electronic Equipment, EEE)，隨著生命週期的縮短，汰舊換新的速度也不斷地加快。便利生活刺激了現代人對於筆記型電腦、數位相機、手機.....等可攜式電子資訊產品的需求。電子產品的多元化也使得電池的種類不斷的增加，儘管目的都在提供產品運作能量，但產品之間為了鞏固其市場需求，皆各自設計專用電池。

在眾多電機電子設備中，電池皆是重要的功能性零組件，無論是一次電池或是二次電池(充電電池)必將隨著使用產品之汰換或壽命終止而遭到丟棄。目前市售的乾電池仍有部分含有對環境有害之汞、鉛與鎳等重金屬，若無法妥善回收處理而流入環境中，不僅會對生物體與環境造成傷害，最終也會危害到人體。為避免因廢乾電池處理不當而導致嚴重的環境污染問題，歐盟更於2006年9月公佈「電池指令(DIRECTIVE on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive

91/157/EEC)」希望能將電池之回收拆解對環境造成之負面影響最小化並促進環境品質之保護、保存及改善。

行政院環保署於民國 87 年 7 月公告應回收之廢乾電池項目為水銀電池以及鎳鎘電池，並且於 88 年 11 月修正廢乾電池項目，全面回收各項廢乾電池，包括鋅錳電池、鹼錳電池、鈕釦型及一次鋰電池、氧化銀電池、氧化汞電池、及鋅空氣電池及可重複使用之二次電池，包括鎳鎘電池、鎳氫電池及二次鋰電池。將乾電池範圍界定為：以化學能直接轉換成電能，組裝前單只重量小於一公斤之密閉式小型電池。根據行政院環保署資源回收基金管理委員會(基管會)統計，我國 2007 年廢乾電池產量為 2,387,866 公斤，2008 年為 5,470,416 公斤，截至 2009 年 9 月為止累計已達 3,045,046 公斤。

我國的廢乾電池回收是由基管會負責管理，責任業者(即製造商或代理商)在製造與輸入電池的同時必須呈報生產量並依照回收清除處理費率繳交回收處理費。綜觀國外的資源回收管理模式，現在已有許多國家採納 EPR 的概念，由責任業者參與資源回收體系或自行回收。國內現行回收體系中，責任業者僅支付回收清除處理費，並沒有直接參與回收體系之運作。依國際趨勢來看，EPR 為現今資源回收主要遵循之精神及方向，未來責任業者僅繳交回收清除處理費用的模式已漸不可行(陳宇揚、張四立、林萊娣，2008)。

1.2 研究目的

基於前述之研究背景與動機，本研究以我國廢乾電池回收體系作為研究對象並有以下目的：

1. 經由文獻回顧與專家訪談，整理出我國現行廢乾電池回收流程。
2. 運用系統模擬方法以分析不同回收條件下的情境。
3. 分析不同回收政策的成本效益並比較其差異。

1.3 研究方法

現實世界中存在著許多系統操作設計的複雜問題，雖然有許多方法(如：作業研究、等候理論等)可以解決，但往往因受限於過多的假設而不能符合真實情況。因此，可以透過模擬的方式來模仿真實世界過程或系統中的操作性行為(林則孟，2001)。借助電腦的快速運算能力來觀察系統隨著時間的演進而產生的交互影響，透過模擬的結果來了解與分析本研究所欲知道的系統。

本研究以評析我國廢乾電池回收效益為主軸，方法程序可以分為兩階段：第一階段為建立系統模型，透過模擬的方式來了解本研究所欲探討之回收政策系統之運作狀況及結果；第二階段為效益評估，收集模擬模型運作後所產生之結果，運用成本效益評估方法來分析不同回收政策系統之成本效益。

1.4 研究步驟

本研究主要在發展一個以 EPR 概念為基礎之廢乾電池新回收流程，研究方法與步驟說明如下：

1. 文獻探討：

分析整理出目前我國廢乾電池回收現況，並比較我國與其他國家回收流程之差異與不足。

2. 專家訪談：

實際訪談廢乾電池回收相關實務領域的專家，藉以瞭解建立回收系統模型之參數設定與相關細節。

3. 模擬模型建構：

藉由文獻探討與專家訪談後，使用系統模擬方法建立比擬目前我國廢乾電池回收系統之模型。

4. 政策比較：

確定所建立的模型能與我國回收現況比擬後，進行不同回收政策之系統設定與系統效益比較。

5. 提出結論與建議

本研究的流程如圖 1.1 所示：

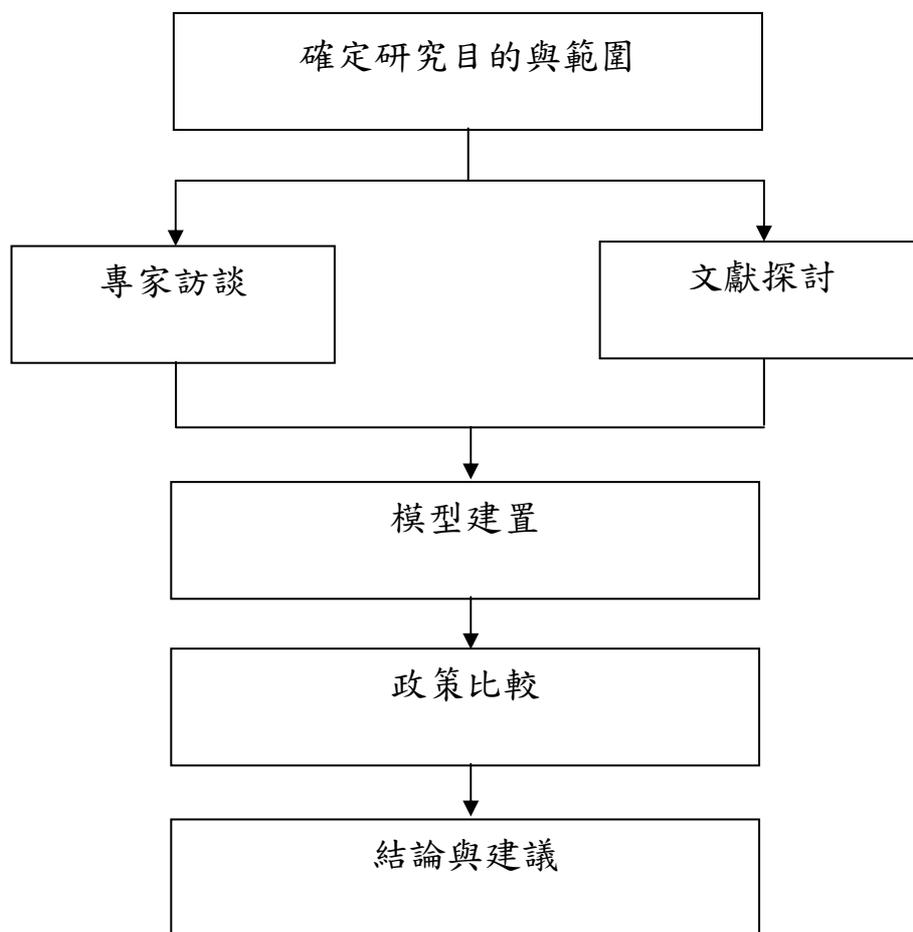


圖 1.1 研究流程圖

1.5 論文架構

本研究之論文內容架構共分成五個部分：

第一章為緒論，陳述本研究之研究背景與動機、目的、方法與步驟以及研究架構。

第二章為文獻探討，針對歐盟環保指令、國內外廢乾電池回收現況比較以及系統模擬方法等相關文獻進行探討。

第三章為模型建構，利用系統模擬方法建置比擬我國廢乾電池回收現況之模型。

第四章為執行模擬範例，針對不同回收政策所建立的系統模型，說明其政策內容及假設並針對其實驗結果進行成本效益分析。

第五章為結論與建議，對於本研究所提出之政策回收系統模擬分析結果提出總結與後續可供研究的方向與相關的研究建議。

第二章 文獻探討

基於以上的研究背景以及動機，本章將會針對環保指令、延伸生產者責任、國內外廢乾電池回收現況以及系統模擬等議題作相關文獻的回顧。

2.1 歐盟環保指令

2.1.1 廢電機電子設備指令

歐盟在 2003 年 2 月公佈歐洲議會及理事會第 2002/96/EC 號指令，制訂所有廢棄電機電子設備收集、回收與再生的目標，稱作 DIRECTIVE 2002/96/EC on waste electrical and electronic equipment (WEEE)，共有 19 項法條及 5 個附錄。WEEE 指令的目的是以避免廢棄電機電子設備的產生為第一優先，並且透過再利用 (Reuse)、回收 (Recycling) 以及任何其它形式的再生 (Recovery) 來減低廢棄物的掩埋。制定 WEEE 指令的另一目的是為了能夠提昇電機電子設備生命週期中所包含的所有參與者 (如生產者、配銷商、消費者等等) 在處置廢電機電子設備過程的環境績效。它進一步地達成了延伸生產者責任 (Extended Producer Responsibility, EPR) 的概念，希望能將生產者對於其所生產之產品所應負之責任延伸至產品回收階段。表 2.1 為 WEEE 之相關內容整理。

WEEE 指令的公佈預期將會對我國的電機電子產品相關產業造成衝擊，陳怡君 (2009) 歸納出 WEEE 指令對我國的主要影響如下：

1. 為了研發環境友善材料，廠商原料成本短期內可能提高。
2. 清潔生產的要求，勢必牽動製程的變革。(如：無鉛焊錫的應用)
3. 廠商必須使用環保包材。
4. 回收成本與責任的歸屬迫使廠商從產品設計開始思考廢棄減量以提高產品回收再利用，降低回收成本。
5. 無開發相關技術之廠商可能面臨產品不符合歐盟法規而無法出口。或因必須購買技術而支付高額權利金。
6. 銷歐產品超過 WEEE 規範類別之一半，影響甚鉅。

表 2.1 WEEE 指令內容整理

項目	內容	
目標	以避免廢電機電子設備的產生為第一優先，並且透過再利用、回收以及任何其它型式的再生來減低廢棄物的掩埋。	
定義	廢電機電子設備之定義為：「交流電在 1000 伏特以下或直流電在 1500 伏特以下之電機電子產品。」	
產品設計	會員國應鼓勵生產者在產品設計階段將零組件容易拆卸、物料再生等因素納入考量。	
管制項目	分類項目	細項說明
	1. 大型家用設備	大型冷卻設備、洗衣機等。
	2. 小型家用設備	吸塵器、烤麵包機、吹風機等。
	3. 資訊通訊設備	個人電腦、印表機、手機等。
	4. 消費設備	收音機、電視機、音響設備等。
	5. 照明設備	日光燈、低壓鈉燈等。
	6. 電機電子工具	電鑽、電鋸等。
	7. 玩具及運動設備	電視遊樂器、電子運動設備等。
	8. 醫療裝置	呼吸器、放射治療設備等。
	9. 監控儀器	煙霧探測器、恆溫器等。
10. 自動販賣機	飲料機、兌幣機等。	
回收再利用比例	會員國須於 2006 年 12 月 31 日前，各類產品需達成 70%~80% 之回收再利用率及 50%~75% 之零組件、物料之再使用及再生利用率。	
回收圖樣		

(資料來源：本研究整理自歐洲議會及理事會第 2002/96/EC 指令，2003)

2.1.2 危害性物質限制指令

歐盟在 2003 年 2 月公佈歐洲議會及理事會第 2002/95/EC 號指令，稱作 DIRECTIVE 2002/95/EC on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment，縮寫為 RoHS，共有 11 項法條及 1 個附錄。目的是要限制電機電子設備使用有害物質，促進保護人類健康及廢電機電子設備無害環境之回收與處置。於 RoHS 指令下受管制的物質有鉛、汞、鎘、六價鉻以及兩個特定之溴化阻燃劑—多溴聯苯 (polybrominated biphenyls, PBB) 以及多溴二苯醚 (polybrominated diphenyl ethers, PBDE) (Duarte, A.T. et al., 2010)。該指令所規範可視為 WEEE 精神的延伸，除了 WEEE 中「醫療設備」與「監控設備」尚未納入之外，其餘八類電機電子產品，皆屬其限制範疇 (王金蘭, 2007)。表 2.2 為 RoHS 之相關內容整理。RoHS 可能影響之產品如表 2.3 所示。

表 2.2 RoHS 指令內容整理

項目	內容	
目標	限制電機電子設備使用有害物質，促進保護人類健康及廢電機電子設備無害環境之回收與處置。	
預防	2006 年 7 月 1 日起，進入市場之新電機電子產品不得含有鉛、汞、鎘、六價鉻、多溴聯苯 (PBB) 及多溴二苯醚 (PBDE)。	
含量管制	產品	管制內容
	1. 緊密型螢光燈管	● 汞含量低於 5mg。
	2. 直管螢光燈 (於一般用途)	● 磷酸鹽低於 10mg。 ● 三磷酸低於 5mg (正常使用壽命)。 ● 三磷酸低於 8mg (長使用壽命)。
3. 合金材料	● 鐵合金鉛含量最高 0.35%。 ● 鋁合金鉛含量最高 0.4%。 ● 銅合金鉛含量最高 4%。	

(資料來源：本研究整理自歐洲議會及理事會第 2002/95/EC 指令，2003)

表 2.3 RoHS 指令可能影響之產品組件

管制物質	可能含有的組件或材料
鉛	鉛管、油料添加劑、包裝件、安定劑、塗料、CRT 或電視之陰極射線管、電子組件、錫料、玻璃件、電池、燈管等。
鎘	包裝件、塑膠件、橡膠件、安定劑、染料、顏料、塗料、墨水、錫料、電子組件、保險絲、玻璃件、表面處理等。
六價鉻	包裝件、染料、顏料、塗料、電鍍處理、表面處理等。
汞	電池、包裝件、溫度計、電子組件等。
PBB 及 PBDE	印刷電路板、元件（如連接器）、塑膠件與電線的耐燃劑等。

（資料來源：劉子銜，歐盟電機電子業環保新規定及對產業的影響，兩岸經貿月刊，2005）

2.1.3 電池指令

歐盟在 2006 年 9 月公佈歐洲議會及理事會第 2006/66/EC 號指令，稱作 DIRECTIVE 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC，共有 30 項法條及 3 個附錄。主要目的是要將電池、蓄電池、廢電池及蓄電池對於環境之負面影響最小化並促進環境品質之保護、保存及改善。該指令禁止特定含汞或鎘之電池及蓄電池於市場上販售，並提昇廢電池及蓄電池之收集與回收層級。為了防止廢電池及蓄電池的拆解方式會污染環境並避免終端使用者因對於不同的廢電池與蓄電池而有不同的廢棄物管理需求，電池指令適用於所有於歐盟境內市場流通之所有電池及蓄電池。它規範歐盟會員國應該要達成廢電池及蓄電池的高收集率及高回收率，藉此促進環境保護及提昇歐盟整體之資源再生。因此，電池指令設定了廢電池及蓄電池之最低回收目標。

電池指令也將生產者責任的概念納入考量，要求電池及蓄電池之生產

者或是任何附有電池或蓄電池之產品的生產者皆須對他們流通於市場中之電池及蓄電池之後續廢棄物管理負責。表 2.4 為電池指令之相關內容整理。

表 2.4 電池指令內容整理

項目	內容
目的	將電池、蓄電池、廢電池及蓄電池對於環境之負面影響最小化並促進環境品質之保護、保存及改善。
禁止流通	<ul style="list-style-type: none"> ● 汞含量超過 0.0005% 之電池及蓄電池(不包含汞含量低於 2% 之鈕扣電池)。 ● 鎘含量超過 0.002% 之二次電池及蓄電池。(不包含緊急照明系統、醫學設備及充電式電動工具)
回收計畫	會員國必須確保適當的廢電池及蓄電池之回收計畫之存在。
回收目標	會員國必須達成以下回收目標： <ol style="list-style-type: none"> 1. 2012 年 9 月 26 日達到 25%； 2. 2016 年 9 月 26 日達到 45%。
回收率計算	會員國必須監管回收計畫之年度回收率，回收率計算方式為當年回收量除以前三年營業量。
標籤	 <p>會員國必須確保所有電池、蓄電池及電池包裝皆適當地標上該標籤。</p>
處理	<ul style="list-style-type: none"> ● 處理必須至少做到廢液及酸液去除。 ● 處理設施之處理及任何形式之儲存必須位於不透水平台上且全天候覆蓋或是在適當容器中。

(資料來源：本研究整理自歐洲議會及理事會第 2006/66/EC 號指令，2006)

2.2 延伸生產者責任

2.2.1 源由

前一節所述之歐盟環保指令皆將延伸生產者責任（Extended Producer Responsibility, EPR）的理念融入其中，主要目的就是希望能將生產者的對於產品的責任延伸至產品回收階段。

延伸生產者任是依據瑞典環境經濟學學者 Thomas Lindqvist 於 1992 年之定義。他將 EPR 視為「一種環境保護策略，追求降低產品的總體環境影響之環境目標，由製造產品的生產者在產品的整個生命週期負起責任，尤其是產品的收回、回收利用及最終處置。」

EPR 理論的基礎源自於污染者負責原則（Polluter Pays Principle, PPP）。國際組織經濟合作暨發展組織（Organization for Economic Cooperation Development, OECD）將其解釋定義為：污染者應該負擔預防和控制污染的費用，以確保環境是處在一個可以接受的狀態（OECD，2002）。不問這些費用是否在污染物溢散時收費或依據相關環境規範（鐘仁雄，2009）。負擔費用在環境保護上可以解釋為需要有預防的機制來避免環境遭受到破壞。EPR 將污染者付費原則範圍擴大，也就是「生產者為污染者」的意思。

Thomas Lindqvist 於 2000 年修正了 EPR 的定義：「EPR 為一政策原則。透過將生產者的責任延伸到產品整體生命週期中的每個階段以促進整體生命週期環境之改善，尤其是產品之收回、回收再利用以及最終處置。」

黃英傑、梁富麗（2003）認為 Thomas Lindqvist 教授的 EPR 概念之最終目標是將廢棄產品回收再生之成本，由政府負擔轉為生產者負擔，藉此刺激生產者重新設計產品，以減少原料及有害物質之使用。

2.2.2 EPR 的政策內涵

1. 責任概念

Thomas Lindhqvist 針對 EPR 理論將責任區分成為四種不同的形式，如圖 2.1 所示。

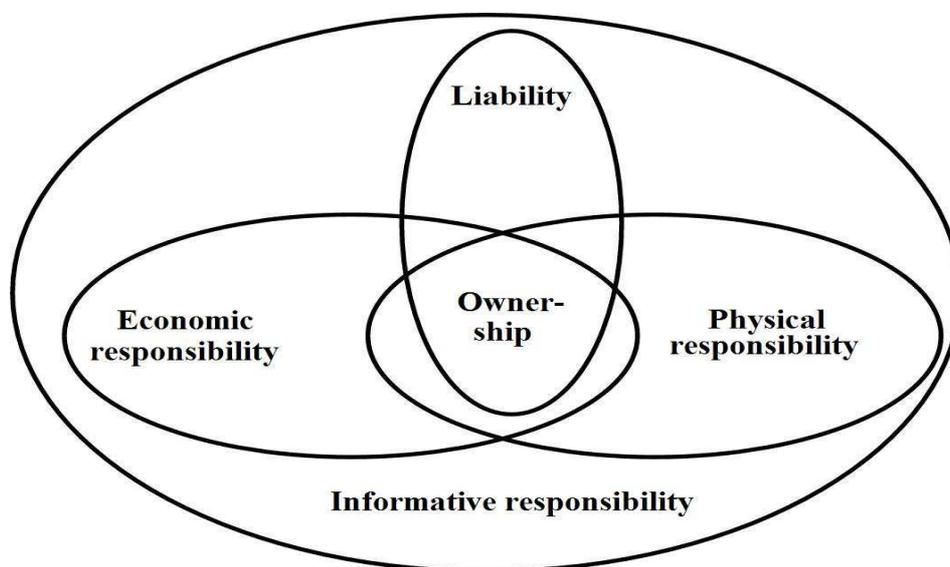


圖 2.1 EPR 責任示意圖

(資料來源：Thomas Lindhqvist，2000)

(1) 經濟責任 (Economic Responsibility)

生產者必須對其所製產品之收集、回收以及最終處理負擔起所有或部分費用。該費用可由生產者直接支付或透過特別費率來負擔。

(2) 實體責任 (Physical Responsibility)

生產者必須要包含於實體管理產品或產品所造成影響的系統中。

(3) 義務 (Liability)

生產者必須負起預防其產品對可能環境造成損害的責任。義務的延伸可以透過立法來將產品的不同生命週期階段包含於其中。

(4) 告知責任 (Informative Responsibility)

要求生產者提供產品及在產品生命週期中所造成影響的資訊。

(5) 所有權責任 (Ownership)

是指產品責任之細部規定，是指在合法擁有產品所有權那一刻開

始，生產者必須負責產品對環境衝擊之全部責任。

由以上可以了解，執行 EPR 必須履行經濟、實體、義務、告知及所有權等五項責任，並且責任的落實都是以生產者為中心考量。

2. 政策工具

涵蓋 EPR 精神之政策性工具可以分為法規性工具、經濟性工具及資訊工具等三大類，各類工具內容整理如表 2.1 所示：

表 2.5 EPR 政策工具整理表

法規性工具	經濟性工具	資訊工具
1. 強制回收	1. 預收處理費	1. 使用具環保意識之標示或環保標章
2. 要求再生原料最低含量	2. 徵收原生物料費	2. 建立整個生命週期之資料檔，供後續參考
3. 二次物料利用率要求	3. 鼓勵購買環境友善之產品(綠色採購)	3. 產品標示使用期限
4. 建立能源效率之標準	4. 押金/退瓶費制度	4. 產品標示含有害物質之警語
5. 禁止及限制棄置	5. 取消對原生物料之配給，以免造成原生物料之濫用	
6. 禁止及限制使用特定物料		
7. 禁止及限制特定產品		

(資料來源：黃英傑、梁富麗，企業永續經營利器——生產者責任制度，永續發展雙月刊，2003)

在法規性工具方面，可以透過禁止及限制使用特定物料來規範生產者不得使用環境有害之物質做為產品之原物料。亦可透過強制回收的方式，規範生產者必須在產品結束其生命週期時負起回收之責任。

在經濟性工具方面，將其應用於 EPR 政策上最主要的目的是希望生產者在負擔回收責任時，能包含負擔相關之財務責任。例如要求徵收預收處理費或是實行押金退還制度。以加拿大為例，安大略省所推動之「押金退還計畫」是將未領回之押金匯入計畫中作為後端再生處理成本支出(陳宇揚、張四立、林萊娣，2008)。而押金制度的實施方式大有不同，以美國的

飲料容器押金制度為例，在飲料售價中附加一筆押金費用，而消費者可憑廢飲料容器來領回押金。而德國所實施的啟動型電池押金制度則有所不同，德國要求消費者於購買啟動型電池時必須將舊電池繳回，若未退還，則販售商須徵收一筆押金，該筆押金於消費者將舊電池退還時可憑押金證明或戳記來退還（陳宇揚、張四立、林萊娣，2008）。

在資訊工具方面，可以透過使用環保標章或是標示含有害物質之警告來告知消費者必須將使用過後之產品做妥善之處理。

3. 回收組織

在實行 EPR 概念的回收過程中，若要求生產者各自建立屬於各自產品之回收體系會造成產品標示過多容易混淆的現象，既不實際也不符合經濟考量。因此，EPR 政策允許生產者共同組成一個生產者組織（Producer Responsibility Organizations, PROs）。

PRO 組織主要的運作經費來自於將標上回收商標（Logo）的使用執照賣給加入 PRO 組織的生產者作為辨識（鐘仁雄，2009）。

以德國為例，包裝容器相關業者組成二元回收組織（Duales System Deutschland），其包裝廢棄物之回收方式如圖 2.2 所示。

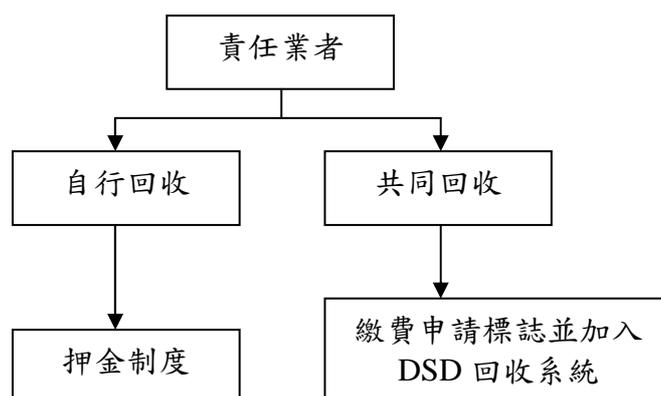


圖 2.2 德國包裝廢棄物回收方式

（資料來源：張添晉、鄭光炎，2010）

想要加入 DSD 回收組織之業者必須與 DSD 註冊簽約，成為綠點商標使用者的公司，包括填充業者、包裝業者及輸入業者等，均必須向 DSD 繳

納費用（陳雄文、蘇國澤及鄭祖壽，2002）。若業者欲自行回收，則併同實施押金制度，而加入共同回收體系者則免除押金徵收且免除自行回收義務。

2.2.3 美國 EPR

美國 EPR（Extended Product Responsibility，延伸產品責任），將 EPR 中的 Producer（生產者）改為 Product（產品）。

張四立（2004）認為，美國 EPR 在實施上採取「責任分擔」，將其定義為：產品生產消費鏈中的每一成員，對於該產品生命週期過程中所產生的環境衝擊，負分享式責任（Shared Responsibility），而責任之輕重，取決於產品生命週期中不同階段之環境衝擊大小。

Schwartz, J. and Gattuso, D. J.（2002）認為美國 EPR 具有兩種特徵：

1. 著重於生命週期的環境衝擊、針對產品的維護與處置
2. 經由不斷改變與提昇的責任分配，試圖反應到生產設計者，設計減少環境衝擊商品為目的。

楊玉潔（2007）認為，在北美洲尤其美國和加拿大，將 EPR 視為產品利害關係人（Stakeholders）的責任，意即所有涉及產品練之利益相關團體對於產品從最初到最終廢棄物階段之處理皆需負完全責任，以減少各階段資源的消耗。

2.2.4 小結

OECD 於 1994 年開始致力於研究 EPR，並且於 2001 年將 EPR 定義為：作為將生產者的責任，延伸到產品生命週期中的後消費者階段的一種環境政策方法（OECD，2001）。

鐘仁雄（2009）認為，EPR 透過生產者在生命週期的不同階段的責任延伸，特別是消費後階段來構成一個環境手段的運用；藉由對生產者負起責任，適時給予生產者回頭思考綠色設計，並能減少廢棄、利於回收利用以及促進回收工作的順利進行。

王家祥、張添晉、張四立（2009）認為，EPR 目的為要求生產者負起實際回收與財務責任。而政府透過訂定「回收量」、「再使用率及再利用率」

等目標，促使業者針對產品朝易拆解及綠色設計等方向思考，提高零組件再使用、再生利用率等減量環保措施來根本解決廢棄物處理問題。

美國 EPR 與歐洲觀點有明顯差異，美國 EPR 強調責任應由生命週期中所有成員一起負擔，而 Thomas Lindhqvist 所提倡的 EPR 則強調由生產者承擔相關責任的概念。鐘仁雄(2009)認為，比起美國 EPR，Thomas Lindhqvist 教授所提倡的 EPR 能控制產品的產生、改善產品的設計理念，更能控制廢棄產生及重新設計的特點。

因此，本研究將沿用 Thomas Lindhqvist 提出的 EPR 精神，作為往後廢乾電池政策設計的中心考量。

2.3 國內外廢乾電池回收制度現況

2.3.1 我國廢乾電池回收制度現況

我國目前廢乾電池是由資源回收管理基金管理委員會（簡稱基管會）負責管理廢乾電池回收處理，基管會運作機制如圖 2.3 所示。

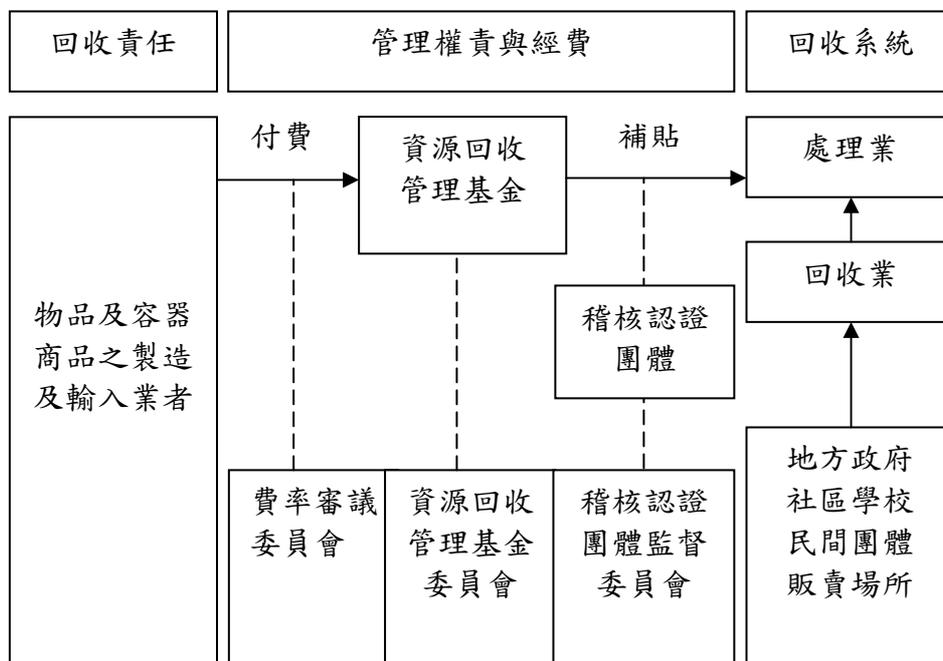


圖 2.3 基管會運作機制

(資料來源：基管會網站)

相關電池製造商及輸入業者必須繳交回收基金以負擔相關回收處理費

用；回收工作主要由地方清潔隊、販賣業者及回收業者負責，而後端再生處理則分為境外處理及境內處理等兩種方式。

國內目前廢乾電池相關之管理制度主要依據「廢棄物清理法」下所訂定的各類規範執行。相關管理法令有「限制乾電池製造、輸入及販賣」、「廢乾電池回收貯存清除處理方法及設施標準」及「應標示回收相關標誌之乾電池責任業者、標誌圖樣大小、位置及其他應遵行事項」等三項法規。我國現行之「應回收廢乾電池回收清除處理補貼費率」及「廢乾電池回收清除處理費費率」如表 2.6、表 2.7 所示。

表 2.6 廢乾電池回收清除處理補貼費率

單位：新台幣元/公斤

公告回收材質項目		補貼費率		
		2009 年 12 月生效		
錳鋅電池		43.5		
氫氧電池				
廢乾電池	鹼錳電池	筒型	443.4	
		鈕釦型		
	氧化銀電池			
	氧化汞電池			
	鋅空氣電池			
	鋰電池	鈕釦型		
		一次型		173.6
		二次型		100.0
鎳氫電池		49.6		
鎳鎘電池		84.6		

(資料來源：行政院環保署)

表 2.7 乾電池回收清除處理費費率

單位：新台幣元/公斤

公告回收材質項目		回收費率		
		2010 年 3 月生效		
錳鋅電池		23.2		
氫氧電池				
廢乾電池	鹼錳電池	筒型	62.9	
		鈕釦型		
	氧化銀電池			
	氧化汞電池			
	鋅空氣電池			
	鋰電池	鈕釦型		30.6
		一次型		21.4
		二次型		11.7
	鎳氫電池			13.6
鎳鎘電池		70.0		

(資料來源：行政院環保署)

陳宇揚、張四立與林萊娣 (2008) 指出，國內目前乾電池業者主要針對其輸入之乾電池繳交回收清除處理費，並未直接參與回收工作。若按照 EPR 的概念為現今回收之主要依據，未來生產者僅負責繳交後端回收清除處理費用已漸不可行。

王家祥、張添晉、張四立 (2009) 針對我國現行回收體系檢討後歸納出六點仍然存在之主要問題：(1) 回收清除處理費率訂定資訊不足，難以有效回應市場表現；(2) 零廢棄目標下，回收處理項目種類將明顯增加；(3) 責任業者繳費不實，導致稽查成本顯著；(4) 稽核認證作業投入大量人力、資金進行稽核，行政成本高；(5) 回收處理業者設備使用率低，回收處理成本難以下降；(6) 受限於政府及立法監督體系，基管會決策彈性低，創新不足。

鐘仁雄 (2009) 針對國內外資源回收體系運作之分析結果顯示，我國之體系已與各國發展明顯不同，並歸納出我國基管會易產生之問題為：(1) 生產者無介入下，無更多生產者義務、誘因或輔導之動力下，無法有效反應資源回收工作；(2) 行政組織受限於人力與財物，無法有效把行政效率

展現於回收工作之運作；(3) 本身既為執行者又為監督者，在目標無法達成時，是否有內部處分；(4) 若因此受罰又違背 EPR 之精神—污染者付費原則。

在未來政府「全分類零廢棄」的目標下，現行的回收體系公告之應資源回收項目預期將會大幅增加造成管理效率的問題以及稽核上的困難。也突顯出目前回收體系極需徹底檢討與改善以落實延伸生產者責任之目的。

2.3.2 德國廢乾電池回收制度現況

德國於 1998 年制定廢乾電池相關管制法令，名為「廢乾電池及廢蓄電池收回及處置命令」(Degree Regarding the Collection and Disposal of Used Batteries and Accumulators)，主管機關為德國聯邦環境部 (Federal Environment Agency, UBA)。於德國境內之電池製造業者與進口商可以透過聯合收集體系 GRS Batterien 組織或是透過建立自主收集體系來進行廢乾電池之回收及後續處理動作。表 2.8 為德國廢乾電池回收管制相關內容。

表 2.8 德國廢乾電池回收管制內容整理

法條摘錄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 禁止販售汞含量超過 0.0005% 之鹼錳電池及碳鋅電池。 2. 電池製造商與進口商必須負責適當處置使用過之廢電池。
管制項目	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不可充電之一次電池 2. 可充電之二次電池及蓄電池 3. 含有害物質之電池 4. 汽車啟動、點火或照明用途之啟動電池 5. 設備中具不易拆卸性質之電池

監督方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 聯合收集體系必須每年呈交經確認證之文件給負責廢棄物管理之主管機關。 2. GRS Batterien 組織必須負責協助電池製造商及進口商進行廢電池及處置工作並處理主管機關所需之文件。
------	---

(資料來源：陳宇揚、張四立、張添晉，2009)

有關德國廢乾電池之回收流程如圖 2.4 所示。

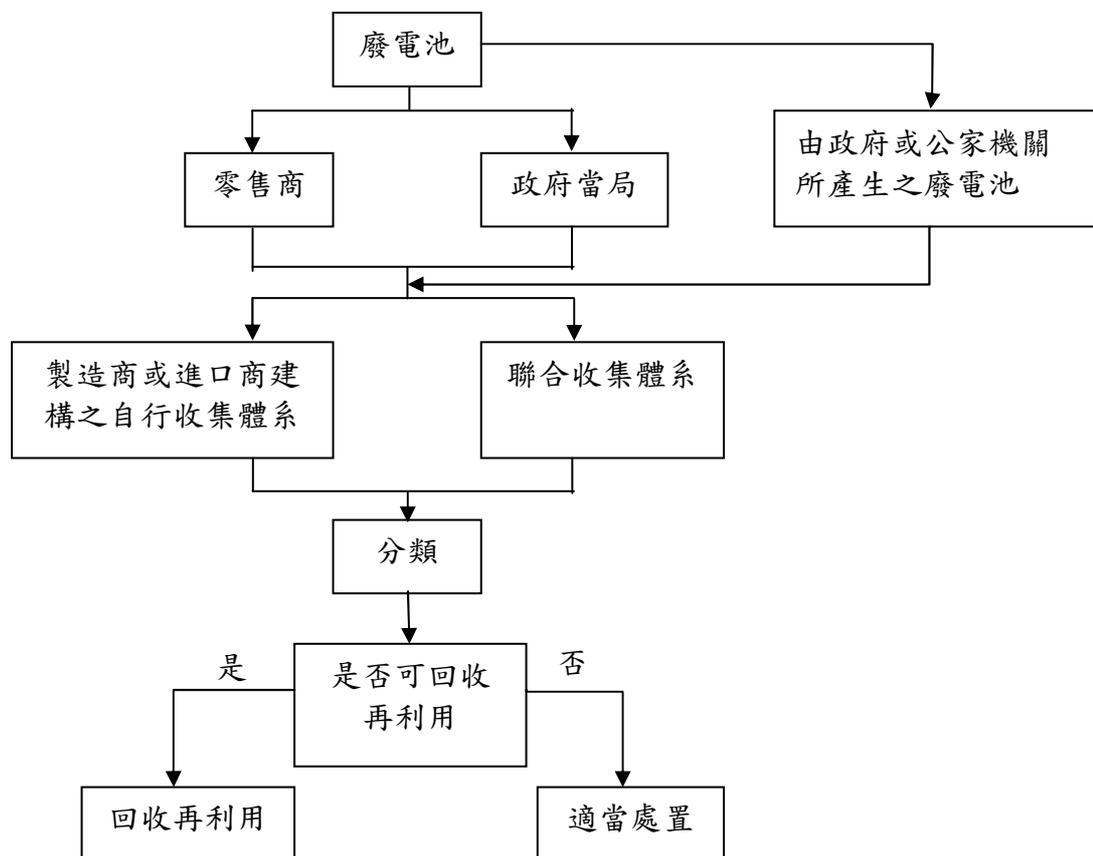


圖 2.4 德國廢電池之回收流程

(資料來源：陳宇揚、張四立、林萊娣，2008)

2.3.3 荷蘭廢乾電池回收制度現況

荷蘭於 1995 年公布廢電池處理法 (Batteries Disposal Decree)。主要內容是限制汞含量之比例及規範電池製造商及進口商必須負起廢電池之回收清除處理之責任，並且提出實際履行之實施計畫。同時鼓勵電池製造商及進口商組成共同組織，提出回收計畫。主管機關為荷蘭環境部門及地方政府，並且必須於荷蘭境內的電池製造商與進口商組成共同回收組織 Stibat，負責電池回收處理之相關工作。表 2.9 為荷蘭廢乾電池回收管制相關內容。Stibat 成立於 1997 年，是順應 1995 年荷蘭當局公布之廢電池處理法而設立之組織。目前荷蘭大多數電池製造商及進口商皆為機構成員。圖 2.5 為 Stibat 組織架構圖。

表 2.9 荷蘭廢乾電池回收管制內容整理

法令節錄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廢電池必須分類收集且不得掩埋處置。 2. 1997 年開始運作可分選鈕釦型電池、水銀軸承電池、鎳鎘電池、鹼性電池及碳鋅電池之電池分選機。
回收計劃書須包含之內容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 減少銷售含汞、鎘及鉛之電池的計畫及時程。 2. 達成目標回收率所採行之措施。 3. 廢電池收集、儲存、分類及處理之方法。 4. 建立廢電池回收處理體系所需財源之籌措方式。 5. 當回收處理業無法繼續運作或製造及輸入業者不再生產時之應變計畫。 6. 監測系統之建立。
管制項目	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鉛含量超過 4% 之電池。 2. 鉻含量超過 2.5% 之電池。 3. 汞含量不得超過 2%。

(資料來源：陳宇揚、張四立、張添晉，2009)

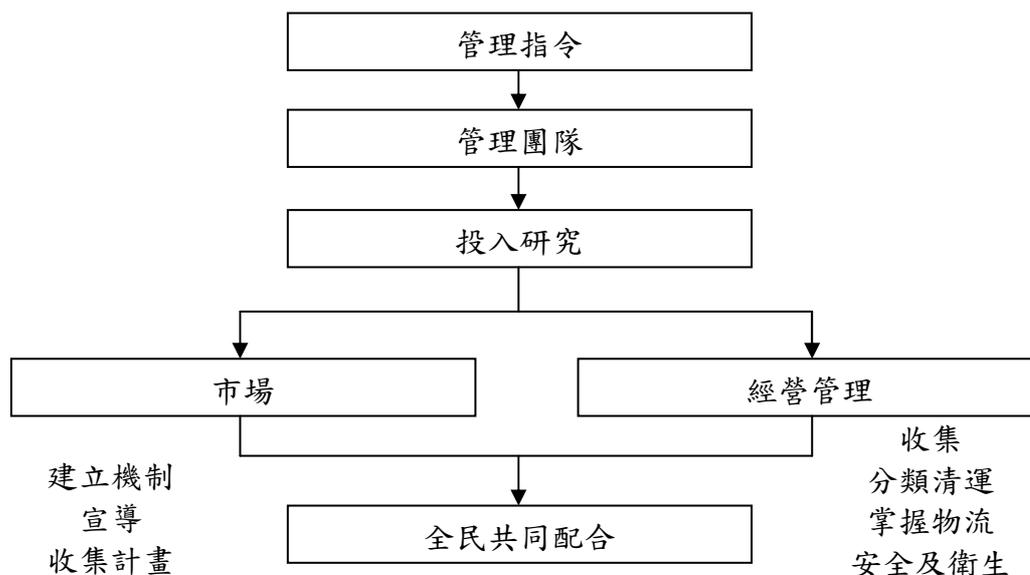


圖 2.5 荷蘭 Stibat 組織架構

(資料來源：陳宇揚、張四立、林萊娣，2008)

2.3.4 瑞典廢乾電池回收制度現況

瑞典於 1999 年公布修正於 1997 年發佈之電池法令 (Ordinance concerning batteries)，規範主體為境內電池製造商及進口商，必須進行廢電池之處置。表 2.10 為瑞典廢乾電池回收管制相關內容。

表 2.10 瑞典廢乾電池回收管制內容整理

法令摘錄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 汞含量超過 0.0005% 之電池不得進行販售或商業化轉移。 2. 對於消耗用盡或對環境造成危害之電池，不得與其他廢棄物共同儲存。
有害電池之定義	<ol style="list-style-type: none"> 1. 汞含量超過 0.0005% 之含汞電池 2. 0.025% 之含鎘電池 3. 0.4% 含鉛電池
管制項目	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般電池 2. 可充電之二次電池及蓄電池

課稅標準	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鹼錳電池、銀氧化物電池及新電池：SEK500/kg。 2. 密封之鎳鎘電池：SEK300/kg。 3. 啟動電池每顆課稅 SEK30。 4. 其他種類的鉛電池：SEK1.7/kg。
預防及收集	<ol style="list-style-type: none"> 1. 處理業者對於有害電池進行必要的預防措施以防止對人體健康造成傷害。 2. 地方機關有責任拆解嵌入式電池造成危害環境之商品

(資料來源：陳宇楊、張四立、林萊娣，2008)

電池法令要求地方政府必須建立完善的電池回收體系，並且進行廢電池之收集、整理及運送至可去除或回收汞、鎘及鉛的設施政府單位針對包含危害物質之電池向製造商及輸入者課稅方式，將所得之稅金交付電池基金會，用以支付廢電池之處理處置費用。有關瑞典廢電池之回收流程如圖 2.6 所示。

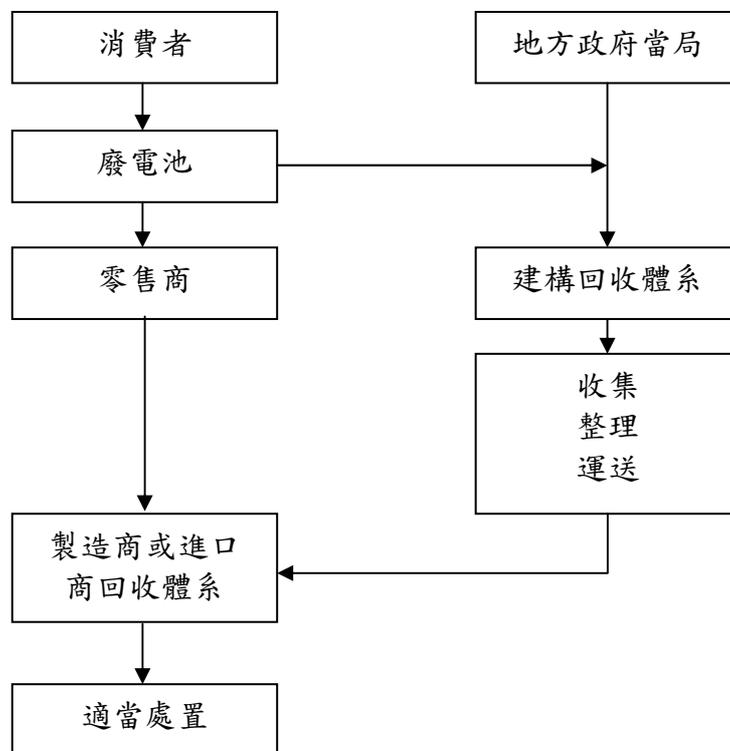


圖 2.6 瑞典廢乾電池回收流程

(資料來源：本研究修改自陳宇楊、張四立、林萊娣，2008)

2.4 系統模擬

模擬乃是透過建構於電腦中虛擬的環境代表實際系統，用以研究實際系統行為的一種模式。一般而言，模擬均利用電腦的程式語言來表達實際系統的行為，再由程式的執行產生一些結果，透過結果去了解與分析一個系統（林則孟，2001）。

2.4.1 模擬的優缺點

阮永漢（2002）認為，模擬只是一個評估模式，非最佳化模式，提供最佳解，而僅只提供合理解。所以模擬並不是提供最佳解的工具而僅是一個方案的評估工具。因此，模擬亦如其他模式，有其優點與缺點。

Shannon（1998）見模擬乃擅長解決系統複雜度較高之問題，推論出以下之模擬的優缺點。

1. 模擬的優點：

- （1）可以用來測試新的設計、設施擺置等，不用投入資源使其真正的實行。
- （2）確認瓶頸的資訊、物料與產品的流動，以及測試增加流量的選擇方案。
- （3）洞察被模擬的系統真正的運作及瞭解變數在表現時的重要性。
- （4）可在新的或不相干的環境中，實驗出所需要的答案。

2. 模擬的缺點

- （1）模擬的建模需要專門的訓練，因此模擬人員的素質良莠不齊。
- （2）收集高可靠性的資料很耗時且模擬出來的結果有時也是很有問題的。
模擬無法彌補不適當的資料與糟糕的管理決策。
- （3）模擬出來的是可能的結果，而非最佳解。

2.4.2 模擬的步驟

Harrell et al. (2003) 歸納出下列五個步驟：

1. 建立模擬目標與限制範圍。
2. 系統資料之收集、分析與使用。
3. 建立正確有用的模型。
4. 引導模擬實驗。
5. 資料文件化與模擬結果之報告。

本研究依上述步驟，模擬三個不同回收政策之系統模型。並觀察系統模擬之結果做出成本效益分析與建議。

2.4.3 系統模擬相關文獻

Gempesaw, Albay, Bason, Corman and Narayanan (1994) 以模擬的技巧研究實行無關稅自由貿易對美國與加拿大兩國之間的肉鴨業者之影響。分析在各種市場情況下，兩國肉鴨業者之獲利率與生產力的比較及影響。

林年慶 (2000) 針對國內四家花卉批發市場之拍賣作業現況分別建立模擬模型，觀察各市場是否有改善空間，並假設在一般交易日條件下，提出具體改善及調整方案。

阮永漢 (2002) 探討系統模擬與菁英政策之基因演算法的混合型演算法於相同機台排程的應用，以聯勤 205 兵工廠為研究對象，目標為快速且有效率的求解最大完工時間與總流程時間整體最小化。

Cheng and Duran (2004) 以系統模擬方法來求解石油工業的物流運輸問題。該研究建立了一個整合模擬模型與控制項的模擬架構來模擬該倉儲／運輸系統，該架構能作為一個有效的工具，提供決策者來評估針對此物流運輸系統之不同策略與運作。

鄭元婷 (2004) 針對一 Toyota 汽車公司之運輸包裝容器逆物流系統，利用系統模擬方法建構其模擬模式，探討不同方案所選用的不同運輸包裝容器對於系統最小成本所造成的變化及其產生的效益。

謝育錚 (2008) 以台北捷運系統之市政府站做為模擬模式建構案例，

探討捷運車站設施設備數量與動線管理對整體績效之影響。將車站中各設施視為節點，各連結動線視為節線，模擬旅客行走在人行系統中。

范珈綸（2009）利用模擬軟體建置軟性顯示器生產線及實驗情境的比較分析模式，並以定義之重要品質績效指標來評估其生產線佈置之決策考量。

2.4.4 使用軟體簡介

本研究所使用的模擬工具為 eM-Plant 8.1。此軟體可用於製造業、物料管理、交易過程、物流、配送、排程、航線均衡、過程確認及供應鏈等相關模擬。而目前使用者主要應用在製造業的汽車、電子、造船、機械生產以及航線、物流、配送、醫院及銀行業務規劃與管理（謝育錚，2008）。

姜林杰祐、張逸輝、陳家明及黃家祚（2001）指出，eM-Plant 有別於其他的模擬軟體，為全物件導向式的發展，也因為此特性，使得 eM-Plant 在模式的建構、模擬或展示各方面都有著物件導向系統的所有優點。而 eM-Plant 有別於其他同類型模擬軟體主要的特性包括以下各點：

1. 不預設模擬建構程序以方便發展雛型系統；
2. 階層架構；
3. 繼承能力；
4. 物件概念；
5. 程式驅動對話模式；
6. 模型的可變性與可維護性；
7. 與其他資訊系統的介面與整合方式。

圖 2.7 說明了 eM-Plant 所具備之特性。

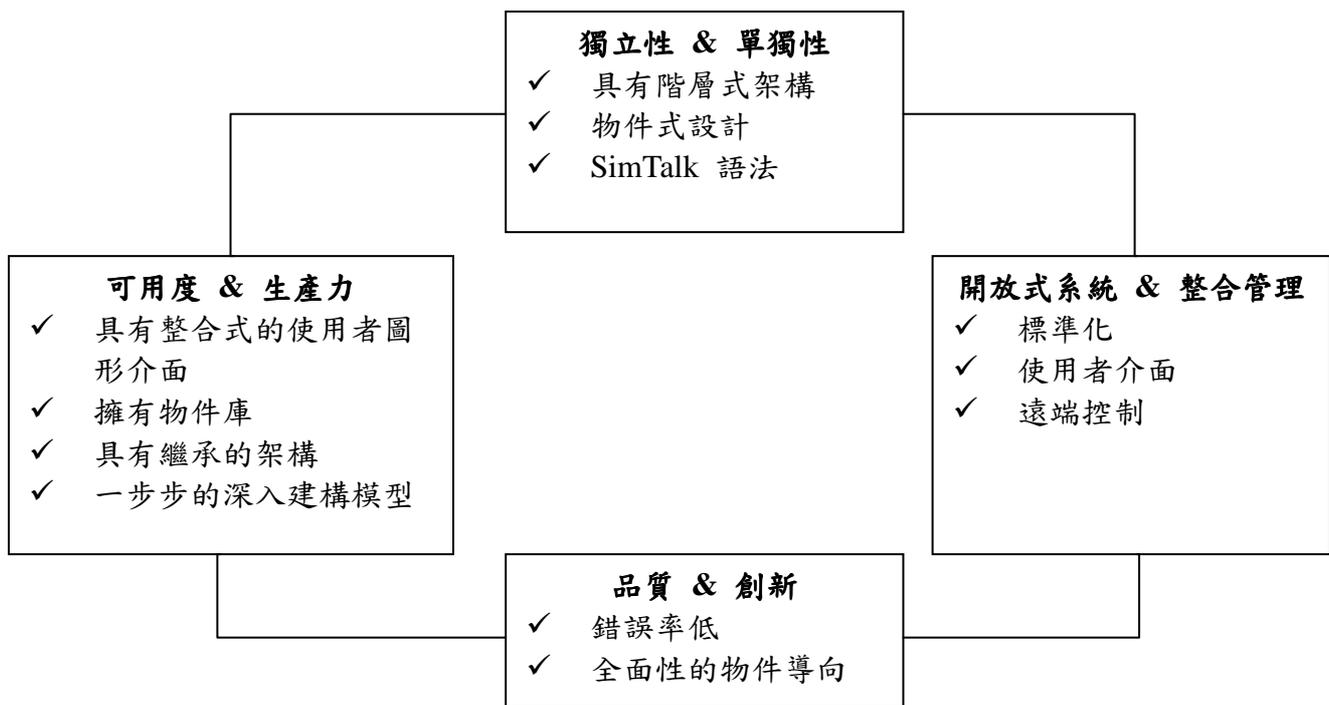


圖 2.7 eM-Plant 軟體特性

(資料來源：姜林杰祐、張逸輝等人，2001)

2.5 小結

經過以上文獻整理後，本研究發現上述先進國家之回收政策皆採納 EPR 精神，並且要求生產者承擔回收廢乾電池之責任。而生產者們也共同組成 PRO 組織來進行廢乾電池之回收與後續處理工作。因此，在本研究的政策設計過程中，將會參照上述先進國家的回收模式，在回收系統中成立一個 PRO 組織來進行廢乾電池之回收工作。

而在押金制度方面，則可以分為先行在產品售價中附加押金，待消費者回收後領回以及當消費者未持舊品購買時徵收等兩種形式。前者之實施可能會有回收品來源不一，造成回收率超過 100%，押金大幅虧損的問題(陳宇揚、張四立、林萊娣，2008)。因此，在押金制度方面，本研究將會採用當消費者未持舊品購買時徵收押金的形式來做為政策設計的依據。

因此，在經過以上文獻整理後，本研究將以我國廢乾電池回收政策為基礎，接著增加押金制度，最後加入 RPO 組織。本研究以這三個政策之回收系統來進行後續之模型建構與模擬範例。

第三章 模型建構

針對不同的廢乾電池回收政策，探討在回收率提昇的情況下，不同回收政策之成本效益為何。本論文發展的程序可以分成以下三個階段：

1. 觀察分析我國回收系統現況
2. 建立回收系統之模擬模型
3. 計算各政策回收系統之成本效益

3.1 觀察分析我國回收系統現況

3.1.1 我國回收系統現況

我國的廢乾電池目前是由行政院環保署所成立的資源回收管理基金管理委員會(簡稱基管會)負責管理回收處理。如圖 3.1 所示，相關電池製造

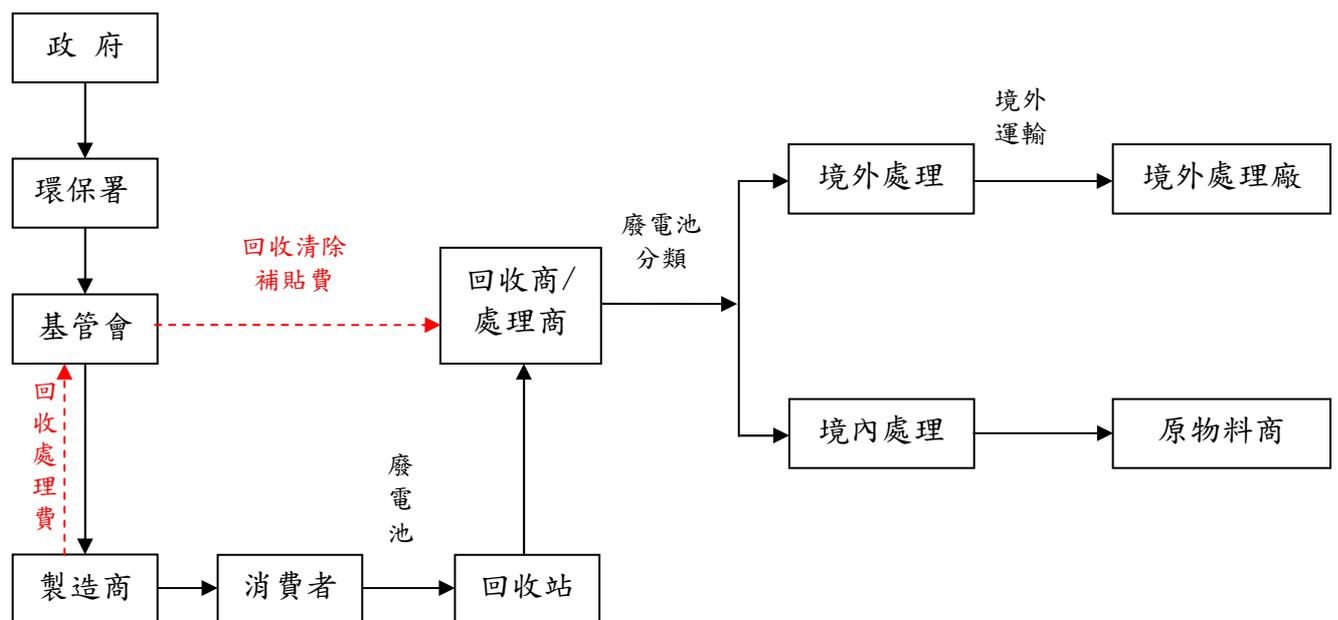


圖 3.1 我國廢乾電池回收流程

及輸入業者必須向基管會呈報每年製造或輸入的電池量，並依照環保署制定之「乾電池回收清除處理費費率」繳交回收處理費。基管會負責管理製造及輸入業者所繳交之回收處理費並依據環保署所制定之「應回收廢乾電池回收清除處理補貼費率」補貼下游之回收商以及再生處理廠。

本研究所要探討的回收系統乃是以製造商輸入新電池作為起點，消費者將使用過後的廢乾電池送由回收商收集後再轉手給境內再生處理廠資源

化的過程。其中，回收商將廢乾電池送交境外處理廠的部份則不予討論。

3.1.2 小結

在本研究中探討了國外於環境議題相關之環保指令以及目前國內外之廢乾電池回收系統現況。發現我國之廢乾電池回收系統與其他先進國家(如：德國、瑞典等)之型態大不相同。相較於國外是由責任業者主導之模式，我國之廢乾電池回收系統是由政府單位主導，並僅僅要求責任業者繳交回收清除處理費。這樣的回收系統不但沒有辦法落實「延伸生產者責任」之精神，責任業者也可以將所繳交之回收清除處理費用轉嫁到消費者身上，致使回收廢棄物的責任變相地由消費者承擔。

因此，在本研究中將會以我國之廢乾電池回收系統作為基礎架構，搭配具「延伸生產者責任」精神的經濟性工具—押金制度，並且參照廢乾電池回收成效顯著之先進國家之模式，導入回收組織(PROs)之概念，建構一個實際落實「延伸生產者」責任之回收系統，以期能夠探知不同回收系統之成本效益在回收情境的改變下會產生何種變化。

3.2 建立回收系統之模擬模型

在確定廢乾電池回收系統的現況後，本研究必須要進一步界定所要模擬分析的範圍及假設。如此一來，才能開始進行模擬模型的建立。模擬模型可以分成以下幾個步驟建立：

1. 系統描述
2. 資料收集、整理及分析
3. 建構模擬模型
4. 模型的驗證

3.2.1 系統描述

建構模型之前，必須對於系統的行為流程做一個詳細的敘述。在之前所討論的回收系統中，本研究以國內現行的廢乾電池回收系統為基礎，建構出符合所要討論政策之回收系統。

本研究主要探討面向可以分成兩方面：第一方面是電池購買行為。在系統中，本研究根據不同的回收政策擬定出不同的電池購買族群，藉此分化出系統之差異性。第二方面是成本效益分析。經過模擬模型的運作之後，探討各政策系統在不同回收條件下的成本效益變化。

3.2.2 資料收集、整理及分析

模型運作的過程當中，需要輸入模仿真實系統的參數。本論文在參數資料收集部分可以分成兩方面。其一是由過去文獻資料探得；另一方面則是由專家訪談求得。無法由過去文獻與專家訪談求得之參數則以假設方式取代。

本研究所使用的參數與政策概念乃是參照行政院環保署之一系列與廢乾電池回收有關之專案計畫而來，這些數據皆是相關領域之學術專家經過實際訪查後，多方考量精密計算後而得。使用這些數據，可以增加本研究於第一階段模擬模型的仿真性及減少第二階段成本效益分析時，與真實系統之誤差。

本研究所要探討的政策均為學術探討所用之假設情境，利用這些資料建構所要探討的政策模擬情境，以供下一步分析所用。表 3.1 為本研究相關數據及參數來源整理。

表 3.1 本研究相關資料及參數來源整理

項目	來源
電池營業量	行政院環保署基管會，引自陳宇揚、張四立、張添晉 2010
電池組成平均重量比例	陳宇揚、張四立、林萊娣，「廢乾電池及廢照明光源回收體系檢討暨成效評估計畫」，2008，行政院環保署
處理後資源物質售價	陳宇揚、張四立、張添晉，「提昇廢乾電池及廢照明光源回收處理成效暨回收清除處理成本調查專案工作計畫」，2009，行政院環保署
再生處理廠機台工時及	1. 柏雲昌、郭振明、魏國棟，「廢乾電池之危害性管制及提昇回收處理成效規劃及驗證」，2006，行政院環保署。

項目	來源
相關參數	2. 陳宇揚、張四立、張添晉，「提昇廢乾電池及廢照明光源回收處理成效暨回收清除處理成本調查專案工作計畫」，2009，行政院環保署。
相關費率	1. 行政院環境保護署，「應回收廢乾電池回收清除處理補貼費率」，2009。 2. 行政院環境保護署，「乾電池回收清除處理費費率」，2009。
再生處理廠處理成本	1. 陳宇揚、張四立、張添晉，「提昇廢乾電池及廢照明光源回收處理成效暨回收清除處理成本調查專案工作計畫」，2009，行政院環保署。 2. 陳宇揚、張四立、林萊娣，「廢乾電池及廢照明光源回收體系檢討暨成效評估計畫」，2008，行政院環保署。
基管會稽核成本	陳宇揚、張四立、林萊娣，「廢乾電池及廢照明光源回收體系檢討暨成效評估計畫」，2008，行政院環保署。
電池放電時間	消基會，市售 30 款電池檢驗結果，2006
進口商進口電池價值	財政部關稅總局統計資料庫
相關廠商毛利率	公開資訊觀測站網站
回收商收益計算	公開資訊觀測站網站

3.2.3 建構模擬模型

待資料收集完成後，本研究依照所得到的資訊，運用模擬軟體 eM-Plant8.1 建構出模仿真實系統的模擬模型，作為實驗的工具。本論文所要探討的回收政策模型共計有三個。首先是我國現行回收政策之系統模型，其次為實行押金制度之系統模型，最後是導入 PRO 組織之概念，合併實行押金制度之系統模型。圖 3.2、圖 3.3 及圖 3.4 為本研究所要探討之系統模型之概念圖，其政策內容與系統行為在第四章有進一步之詳細說明。

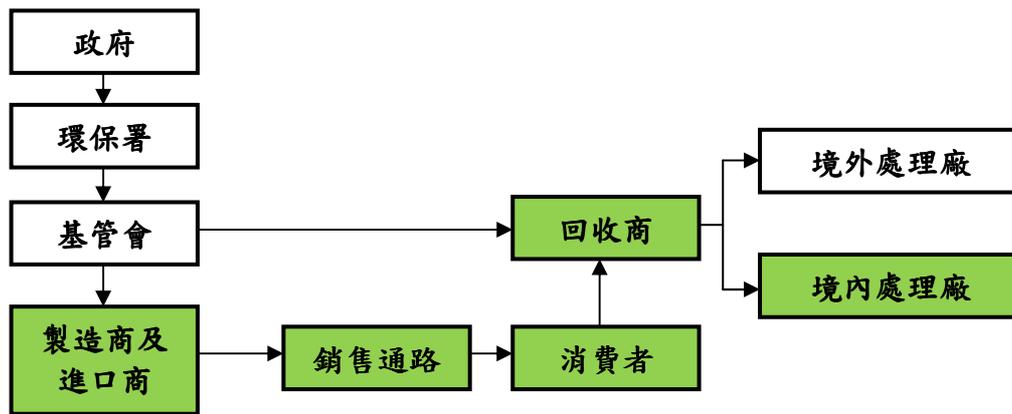


圖 3.2 我國廢乾電池回收系統現況概念圖

在第一個模擬實驗中，本研究要探討的系統成員有製造商及進口商、銷售通路、消費者、回收商及境內處理廠。新電池經由製造商及進口商配銷到銷售通路後，由消費者購買使用後，送至各地回收站，由回收商收集後轉銷至境內處理廠進行再生資源化處理。

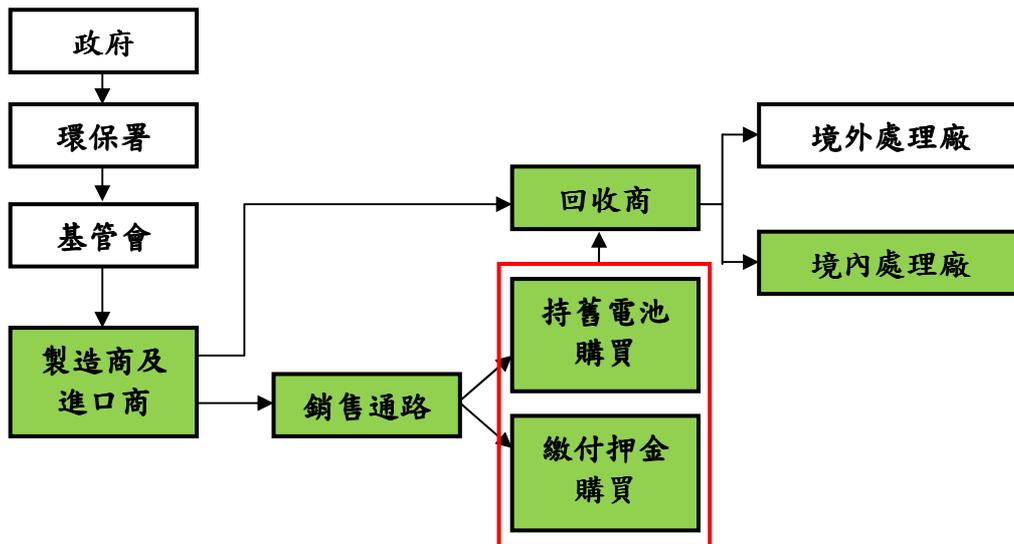


圖 3.3 實行押金制度之回收系統概念圖

在第二個模擬實驗中，本研究要探討的系統成員與第一個模擬實驗雷同。由於實行押金制度，因此消費者族群分化為「持舊電池購買」及「繳付押金購買」等兩個族群，使用過後之廢乾電池由回收商收集後轉銷至境內處理廠進行再生資源化處理。

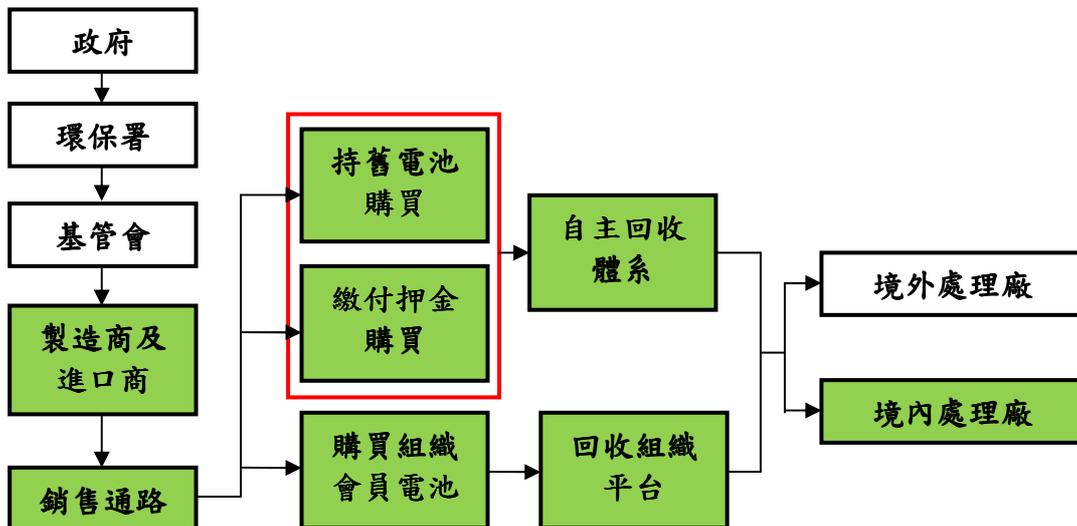


圖 3.4 PRO 組織合併實行押金制度之回收系統概念圖

在最後一個模擬實驗中，本研究所要探討的系統成員分化為更複雜的族群，消費者由「持舊電池購買」、「繳付押金購買」及「購買組織會員電池」等三個族群構成。回收商分化為「自主回收體系」及「回收組織平台」兩個。「持舊電池購買」及「繳付押金購買」兩族群的消費者使用後的廢乾

電池經由「自主回收體系」收集；「購買組織會員電池」的消費者使用後的廢乾電池則經由「回收組織平台」收集。回收商將所收集的廢乾電池轉銷至境內處理廠進行再生資源化處理。

3.2.4 模型的驗證

模擬模型建構完成之後，本研究必須對所建構的模擬模型加以驗證，藉此確認模型是否能依照本研究所假設之系統行為與定義運作。系統驗證可以分為兩個面向，一是信度（Verification）的驗證；二是效度（Validation）的驗證。

信度（Verification）的驗證是要確認模擬模型是否能正確表達預期中的目標系統內的重要行為。必須確認模型如本研究所原先所設計中的一樣。因此，本研究必須透過設計一些動畫來觀察系統行為，藉此發現系統中一些較顯而易見的模型錯誤進而改善之。

效度（Validation）的驗證主要著重在模型輸出的正確性。由於本研究所建立的模型大多為不存在之回收系統，所得之數據資料皆為模擬模型之假設性系統行為之輸出。因此，本研究透過敏感度分析來確認模型之效度。

3.3 定義各政策回收系統之成本效益

模型建構完成之後，本研究依照不同回收政策之模型進行模擬實驗，藉由系統之輸出資料來探討各政策回收系統之成本效益。

本研究所要探討之成本效益可以分為正向物流、回收物流以及監督者等三大部分。監督者為行政院環保署所屬之基管會。正向物流包含製造商及進口商、銷售通路及消費者；回收物流方面則包含回收商（含自主回收體系及組織回收平台）及再生處理廠。

所要探討的成本效益乃是以系統之總成本為分母、總收益為分子之益本比。以下就各個成員成本及收益項目做定義，在此定義外之所有外生變動成本則不納入本研究之考量。

3.3.1 基管會

基管會在現行回收制度下負責監督管理費乾電池回收之相關事項。除了管銷費用之外，較顯著的成本項目就屬補貼費率之支出以及年度之相關廠商稽核成本。在收入方面則為製造商與進口商所繳納之回收處理基金。在押金制度與 PRO 組織制度方面，基管會則僅負責監督責任，不再行稽核動作，毋須額外管理與支出相關費用。

本研究以行政院環保署所發佈之「乾電池回收清除處理費費率」以及「應回收廢乾電池回收清除處理補貼費率」作為收入以及支出之費率依據。並以陳宇揚等人於 2008 年所估算之基管會 96 年度各類乾電池稽徵成本攤提結果作為每年度稽核成本支出。

3.3.2 製造商與進口商

製造商與進口商在將電池於境內銷售時，會產生電池之製造或進口費用，另外還要付出將電池至於銷售通路上販售之廣告宣傳費用、管銷費用等。在現行回收制度下，製造商與進口商必須依照「乾電池回收清除處理費率」向基管會繳納廢電池之後端處理費。收益部分為電池售出後之收入減去成本。在 PRO 組織制度中還須向 PRO 組織繳納共同回收標誌租金。

本研究於行政院環保署所公布之「應由製造、輸入業者負責回收、清除、處理之物品貨其容器，及應付回收、清除、處理責任之業者範圍」中所找出規範之乾電池相關品項，於財政部關稅總局的統計資料庫中所找到該品項於 97 年度之進口量與價值，以此作為製造商與進口商之進貨成本。然因進口商成本結構資料取得不易，因此本研究假設製造商與進口商之毛利率與銷售通路相同。

3.3.3 銷售通路

銷售通路之成本項目為向上游廠商購買新電池之成本及相關管銷費用。收益部分則為出售新電池之收入扣除自身成本。

本研究以便利商店為銷售通路之樣本，挑選出五款其販售之乾電池平均價格作為銷售通路之收入來源，並於公開資訊觀測站中查得市佔率總和過半之兩家便利商店業者毛利率之平均值，以此求得銷售通路之成本。

3.3.4 消費者

消費者之成本項目為購買電池之費用。在押金制度與 PRO 組織制度部分則有押金收入之項目。

本研究以銷售通路之電池出售價格作為消費者之支出來源。而押金計價方式則參考我國過去寶特瓶獎勵金制度之價錢（行政院環保署，2002）。

3.3.5 回收商

回收商之收入為將混和廢乾電池轉銷予再生處理廠之所得。成本項目則為廢乾電池之庫存及相關管理費用。

本研究以行政院環保署中所登錄之某家廢乾電池回收商為樣本，並於公開資訊觀測站查得其毛利率，以此作為回收商收益與成本之計算方式。

3.3.6 再生處理廠

再生處理廠之收益項目為回收清除補貼費及出售資源物質，成本項目可以分為單位回收成本以及清除處理成本等兩項之總和。其細項如表 3.2 所示。

表 3.2 再生處理廠回收處理成本項目

單位回收成本	廢乾電池收購價格
清除處理成本	土地及廠房成本
	設備暨維修成本
	人事費用
	管銷費用

本研究以環保署所發行之乾電池相關專案計畫中所提供之再生處理廠單位處理成本作計算，並以其所提供之資源化物質比例以及出售價格作為收益計算依據。

3.3.7 PRO 組織

在 PRO 組織併同實施押金制度的政策中，PRO 組織被視為基管會所屬之廢乾電池回收處理管理單位，是由境內乾電池製造商與進口商共同成立的組織，代表其組織成員承擔廢乾電池回收相關責任。PRO 組織的主要收入為組織會員所繳納之組織共同回收標誌租金，支出項目則為補貼再生處理廠之費用。

PRO 組織為本研究進行廢乾電池回收政策可行性之假設性探討，其運作機制是參考德國 DSD 回收組織之運作方式。補貼費率是以我國行政院環保署所公布之補貼費率為依據，而回收標誌租金則是本研究進行探討目的之假設。

3.3.8 小結

以上為本研究針對回收系統之各個成員的成本項及收益項之說明與定義。各個成員在不同的回收政策中有不同的計算方式與成本收益來源。表 3.3 為本研究回收系統中各成員之支出及收入項目之整理。

在計算成本效益的過程中，必須對成本效益的數據意涵做解釋。本研究將觀察不同回收情境改變之下，回收系統之成本效益之走向。本研究將所計得之益本比解釋為：系統運作時投入的成本所能產生的效益，而所產生的效益是能夠用於鼓勵製造商或代理商從源頭思考產品之重新設計進而達到保護環境之功效。

益本比理應為一望大值，然在考量環境因素之前提下。回收率之提昇以及環境之改變不應造成益本比之大幅波動或明顯上升下降。

表 3.3 回收系統中各成員成本及收益項目整理

成員		回收現況	實行押金制	PRO 組織併同押金制度
基管會	支出	補貼費率支出	N/A	
	支出	廠商稽核成本		
	收入	回收清除處理費	N/A	
製造商	支出	回收處理費	補貼費率支出	補貼費率支出
				組織標誌租金
	乾電池製造及管銷成本			
	收入	乾電池販售盈餘		
N/A		未退還押金		
銷售通路	支出	乾電池批發成本		
	收入	乾電池販售盈餘		
消費者	支出	乾電池購入費用		
	收入	N/A	押金退還	押金退還
回收商	支出	廢乾電池管理成本		N/A
	收入	廢乾電池轉售		
再生處理廠	支出	廢乾電池回收處理成本		
	收入	再生資源物質轉售		
		補貼費率		
PRO 組織	支出	N/A		補貼費率支出
	收入			組織標誌租金
自主回收體系	支出	N/A		廢乾電池管理成本
	收入			廢乾電池轉售

第四章 執行模擬範例

4.1 系統模擬之物件說明

本研究所使用的模擬工具為 eM-Plant 8.1。此軟體可用於製造業、物料管理、交易過程、物流、配送、排程、航線均衡、過程確認及供應鏈等相關模擬。本研究透過 eM-Plant 8.1 建立所欲探討之回收系統，其系統物件說明如下。

1. 工件 (Entity)：Entity 物件是一個被動的物件，它是生產過程或物流系統中之移動物件，扮演著原料、工件、在製品或產品的角色。在本研究中 Entity 物件即是乾電池。
2. 工件來到 (Source)：主要的功用是產生工件的來源，在本研究中 Source 物件代表的就是製造商與進口商。
3. 工件出口 (Drain)：主要的功用是回收在系統中移動之工件，作為工件的出口。在本研究中代表的是乾電池的最終處理與再生處理廠的再生資源。
4. 加工機台 (SingleProc)：用來表示單一處理能力的工作站，可以自行設定工作時間、前置時間等等參數。在本研究中代表的是再生處理廠之作業機台。
5. 工作站暫存區 (Buffer)：用來暫時儲存工件以供下一階段之加工機台處理。在本研究中代表的是銷售通路、回收商以及再生處理廠之廢乾電池暫存區。

6. 平行機台 (ParallelProc)：平行機台與加工機台最大的不同點在於可以同時設定多組加工機台於同一物件中，具有處理複數個工件的功能，處理能力則可依使用者自行設定。在本研究中，本研究利用平行機台來表達消費者使用乾電池的人次，使用的時間則依照乾電池出廠之設定。
7. 工件分流 (FlowControl)：在 eM-Plant 中，此物件是屬於控制物件。可以藉著比例分配、隨機分配等不同的分流方式控制工件的流向，也可以按照工件的自定屬性控制工件流向。本研究利用工件分流來控制乾電池的回收率以及消費者族群的比例分配。表 4.1 為以上物件圖示之整理。

表 4.1 本研究模型物件圖示整理

物件	圖形
工件 (Entity)	
工件來到 (Source)	
工件出口 (Drain)	
加工機台 (SingleProc)	
工作站暫存區 (Buffer)	
平行機台 (ParallelProc)	
工件分流 (FlowControl)	

以上為本研究主要使用到的物件及在本研究所建構的模型中所代表的角色說明。在系統模型建構完成之後，便可以開始依照先前所得到的各項參數資料來進行實驗模擬操作。透過改變不同的回收情境來觀察不同回收系統之改變，並分析其成本效益。

4.2 政策說明及假設

在本節當中，本研究將以我國之廢乾電池回收系統作為模型建構基礎，依照不同的回收政策，建構出三個不同的回收系統模型。針對不同的回收率、消費者族群分配型態以及回收體系的改變，依照第三章所提出之步驟，逐步建構出模擬模型並進行成本效益分析，藉此探討廢乾電池不同回收政策之可行性。

由於乾電池使用時間短，汰換速度快，若要以微觀之方式掌握系統中各個成員之行為，所需要收集之資料將會相當龐大且難以執行。因此，本研究之目的旨在探討回收系統中不同回收率、消費族群分配型態與回收體系改變對於整體系統成本效益之影響，乃是以巨觀之方式建構模擬模型，不以微觀方式探討系統內部成員之個別行為。以巨觀方式探討廢乾電池回收系統，是將系統中成員以節點方式表現，主要觀察電池在系統中的流向以及在消費者族群中停留之個數。

目前我國之廢乾電池回收是由行政院環保署基管會負責統籌管理與監督，乾電池製造商與代理商僅需要繳交後端回收清除處理費，並沒有直接參與實際回收體系之運作。而國外早已引入「延伸生產者責任」之精神，將其納入回收法規並要求製造商與進口商必須實際盡到回收清除後端廢棄物之責任。

我國資源回收之管理模式與國外大有不同。就國內學者之觀點，我國基管會之運作機制雖然已運作多年且有相當成效，但仍有許多運作問題存在。因此，有必要探討改變現行回收管理制度方向之可行性。

在執行模擬之前，本研究首先針對各政策模型作了以下說明及假設：

1. 本研究所探討的乾電池為行政院環保署公布之「限制乾電池製造、輸入及販賣」法規中所指定之錳鋅電池及非鈕扣型鹼錳電池之一次電池。
2. 在再生處理廠方面，雖然已掌握二次電池再生處理技術，但由於尚未有二次電池處理運作實績。因此，再生處理廠部分僅討論一次電池之後端再生資源化。
3. 假設電池銷售與回收過程中，庫存及再生廠處理量皆能滿足系統所產生之電池數量。

4. 運作期間為一天 8 小時、每星期 5 天、一年 51 個星期，共運作三年 765 天。
5. 乾電池之營業量是根據國內 2002 年至 2008 年之營業量之平均而來。假設模擬時間三年過程中，是依照這段時間營業量之平均與標準差來產生電池。
6. 若按照原始營業量數據執行模擬將會造成模擬時間過長。因此本研究將原始模型縮小 300 倍後執行模擬。
7. 本研究模型假設消費者回收行為相同，不論是否因為制度之實施而改變回收行為。
8. 無論執行哪一個政策模型，所使用的參數皆相同。
9. 本研究之研究邊界為一次電池經由製造商與進口商生產後，進入銷售通路中，再由消費者購買，經使用後之廢乾電池交由回收商收集送往境內再生處理廠之範圍。

4.2.1 政策一：我國回收現況

在這個政策中，製造商與進口商將生產過後之電池送往銷售通路販售。消費者經由銷售通路購買電池後，會有百分之 25 之庫存。使用過後的電池會先送往各地之回收站，經由回收商收集之後，統一送給再生處理廠處理。再生處理廠將回收商送來之混合廢乾電池經過分類之後，將電池經過破碎處理、篩分以及磁選之後，將廢乾電池再生資源化為鐵、鋅及二氧化錳等三種資源化物質。

製造商與進口商必須向基管會繳交回收清除處理費，依照其營業量以每公斤 23.2 元的費率繳納稅金。而基管會依照回收清除處理補貼費率，以每公斤 43.5 元的費率補貼再生處理廠回收清除處理廢乾電池。再生處理廠向回收商以每公斤 28 元的價格購入混合廢乾電池，處理過後的鐵、鋅以及二氧化錳各別以每公斤 9.25 元、14.5 元以及 3 元的價格出售。另外，製造商以每公斤 104.14 元的價格進口乾電池，以總成本之 43% 做為總收益。而銷售通路以每顆電池平均 24.25 元的價格販賣，以 30% 之收入作為收益。最後，基管會每年還會額外支出 2473498 元之稽核成本。圖 4.1 為政策一之金流示意圖。

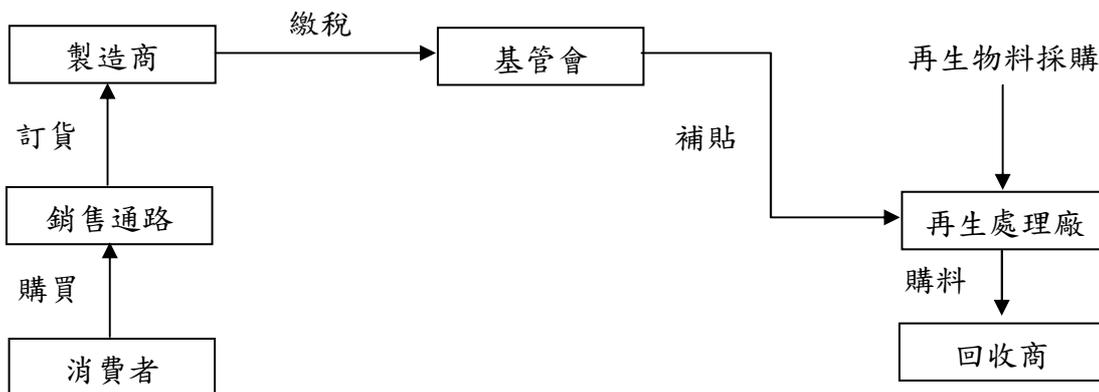


圖 4.1 我國回收現況金流示意圖

回收商以一個星期五個工作天為時間單位來收集使用過後之廢乾電池，將收集過後之乾電池送往再生處理廠處理。回收商以廢乾電池銷售收入之 68% 作為成本，以銷售收入之 32% 作為收益。

在此模型中，本研究將探討四個不同水準之回收率。模擬運作後，將收集製造商及代理商、銷售通路、消費者、回收商以及再生處理廠之進出入個數，用以計算系統之成本及收益。

4.2.2 政策二：實行押金制度

在這個政策中，基本條件大部分都與政策一相同。唯一不同的地方在於消費者族群之改變。由於政策之實行，消費者分化成「持舊電池購買」以及「繳付押金購買」兩個族群。

若消費者沒有持舊電池購買電池，則需要繳交每只電池 2 元之押金，將來若持該電池回收即可領回押金。另外，在押金制度中，補貼再生處理廠的責任由製造商與進口商負責，按照環保署所制定之費率，以每公斤 43.5 元之費率補貼再生處理廠進行後端回收清除處理之費用。圖 4.2 為政策二之金流示意圖。

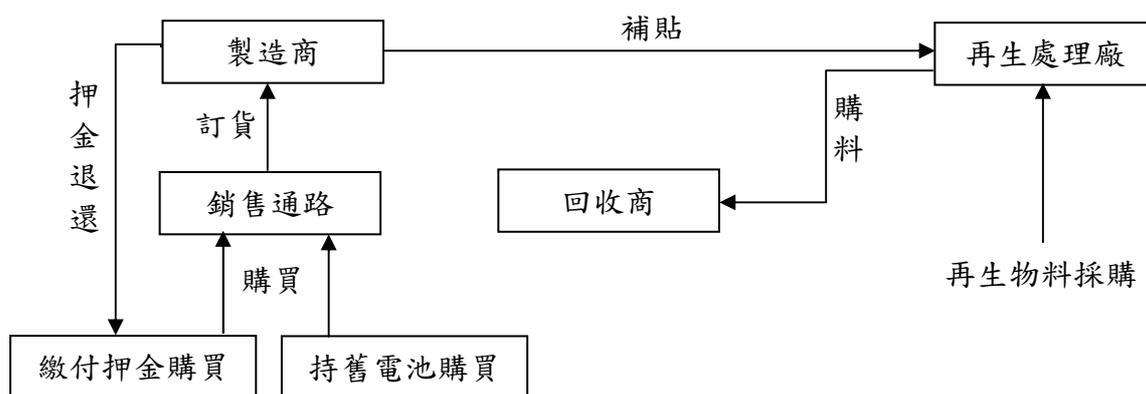


圖 4.2 押金制度金流示意圖

在此模型中，本研究將探討四個不同水準之回收率以及兩個不同水準之消費者族群比例。模擬運作後，同樣將收集製造商及代理商、銷售通路、持舊電池購買之消費者、繳付押金購買之消費者、回收商以及再生處理廠之進出入個數，用以計算系統之成本及收益。

4.2.3 政策三：PRO 組織併同實施押金制度

同樣地，在此政策中，基本條件依然與前述之兩個政策相同。不同的地方在於消費者族群之分化以及回收商體系之改變。由於政策之實行，消費者族群改變成為「繳付押金購買」、「持舊電池購買」以及「購買平台組織會員電池」等三個族群，而回收商則分化成為「自主回收體系」及「回收組織體系」等兩個系統。

加入回收組織體系之製造商與進口商以每顆電池 1 元的價格向組織註冊，用以購買組織標籤使用權。回收組織則依照環保署制定之補貼費率，扣除廢乾電池採購成本每公斤 28 元，以每公斤 15.5 元之費率補貼再生處理廠，再生處理廠則不再給付採購費用予回收組織。而未加入回收組織之製造商與進口商則依然實行政策二之押金制度。圖 4.3 為政策三之金流示意圖。

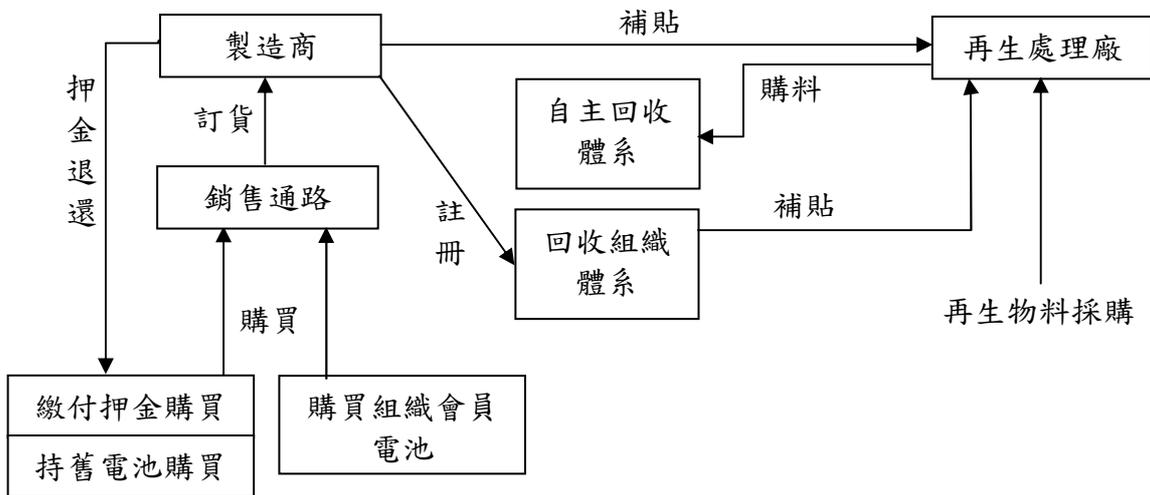


圖 4.3 PRO 組織併同實施押金制度金流示意圖

在此模型中，本研究將探討四個不同水準之回收率、四個不同水準之消費者族群比例。模擬運作後，同樣將收集製造商及代理商、銷售通路、持舊電池購買之消費者、繳付押金購買之消費者、購買組織會員電池之消費者、回收組織體系、自主回收體系以及再生處理廠之進出入個數，用以計算系統之成本及收益。

4.3 模擬模型的建立

說明完本研究三個政策之相關內容與假設之後，便是要開始針對這些內容建立模擬模型。以下針對模型的細部設計邏輯與總體模型描述。

4.3.1 模型之邏輯與描述

在本節中，本研究將針對模型之細部設計與參數相關設定做介紹。

1. 一次電池、銷售通路

在各個政策模型中，都需要有節點來表示生產商將新的電池轉進入銷售通路中販售予消費者。圖 4.4 為一次電池將電池轉入銷售通路之系統圖形。

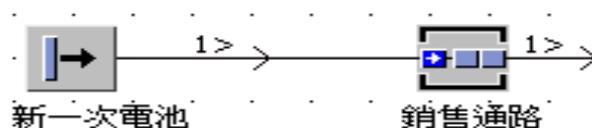


圖 4.4 一次電池進入銷售通路系統模型圖

在一次電池進入市場的設定中。本研究是依照 2002 年到 2008 年之乾電池營業量之平均與標準差來做為一次電池進入市場之參數設定。圖 4.5 為一次電池進入市場之時間設定畫面。

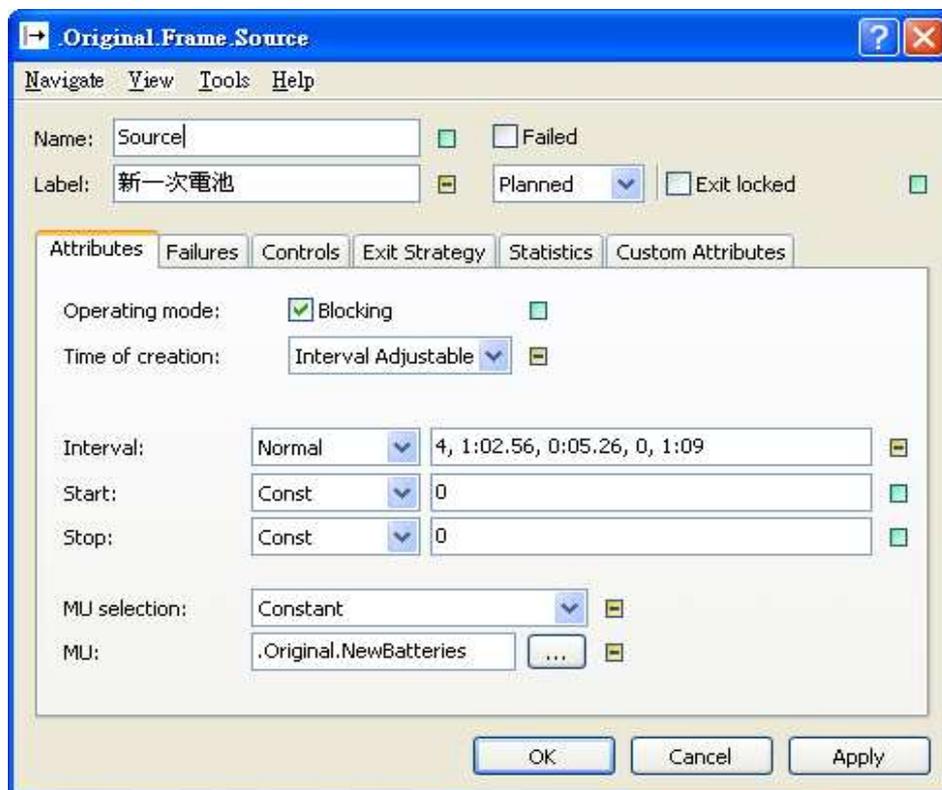


圖 4.5 一次電池進入市場時間參數設定

而在電池出廠後，由於電池使用時間都有所不同，因此需要有一個機制，直接設定好電池的使用時間。本研究按照消基會於 2006 年統計調查市售的 30 款電池之放電時間做的調查報告求出電池平均的放電時間與平均值。圖 4.6 為電池出廠時間設定之程式內容。

```
is
do
    @.worktime:=z_normal(1.13170,24.34);
    @.move;
end;|
```

圖 4.6 電池出廠時間設定

2. 消費者、回收商、回收率控制

在這個階段，消費者將由銷售通路購入後，自身保有四分之一個庫存。這樣的設定是依照目前乾電池最經常使用之產品所需要之乾電池數量之平均除以最小購買數量得來。本研究挑選出九種會使用乾電池之產品，計算出其平均需求量为3顆，而市售乾電池組合中，最小購買數量為四個一組。因此在消費者庫存與使用的分流過程中，將75%之電池直接流向消費者使用，25%則流向消費者庫存等待進入消費者使用。在消費者使用與消費者暫存中，電池停留的時間皆為電池原始出廠的設定時間。流出消費者使用中的電池則形成廢電池，直接由回收站接收。而流出消費者暫存的電池則進入消費者使用中。消費者使用完電池後，將依照本研究所設定的回收率情境，以15%、25%、45%以及60%之回收率流向回收站。圖4.7、圖4.8以及圖4.9為各政策消費者與回收商的系統圖形。圖4.10、圖4.11為消費者與回收分流之參數設定。

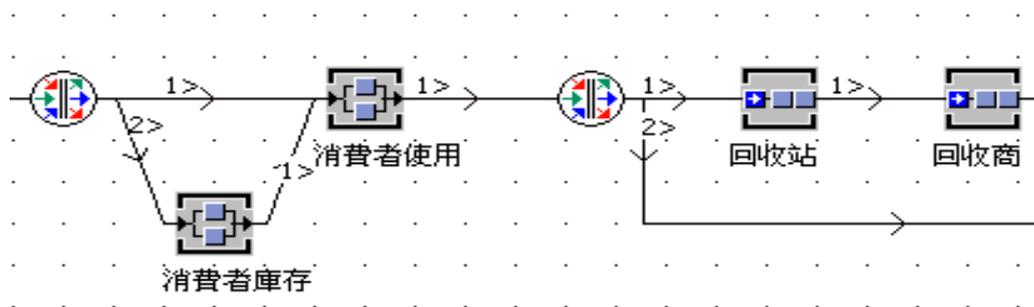


圖 4.7 回收現況之消費者與回收商系統圖形

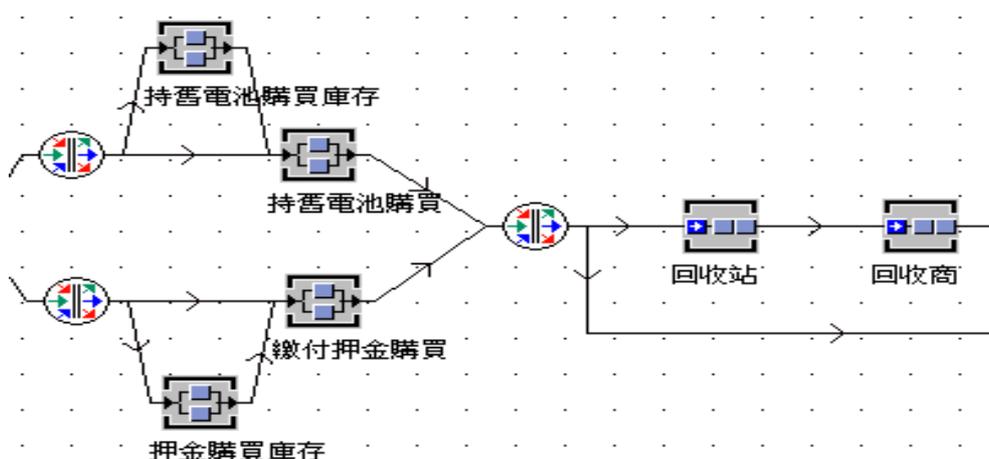


圖 4.8 實行押金制度之消費者與回收商系統圖形

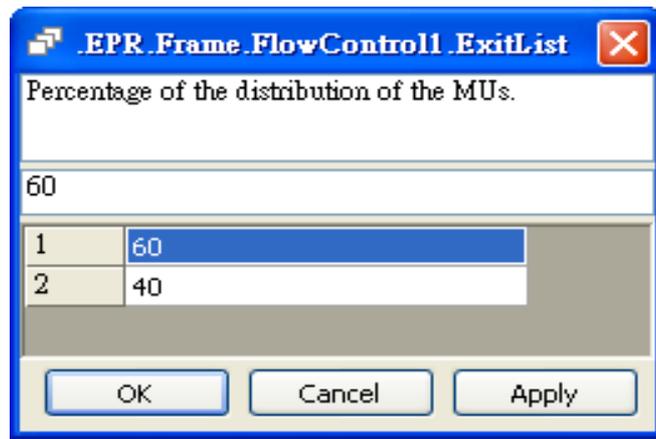


圖 4.11 消費者使用與回收分流設定

3. 回收站、回收商

流出消費者使用後之廢乾電池，會先進入回收站中儲存。回收商每天於上午九點到下午五點收集回收站中儲存之廢乾電池。回收商以一個禮拜五個工作天為時間單位，將收集之乾電池運往再生處理廠處理。圖 4.12、圖 4.13、圖 4.14 及圖 4.15 為回收商與回收站之相關設定。

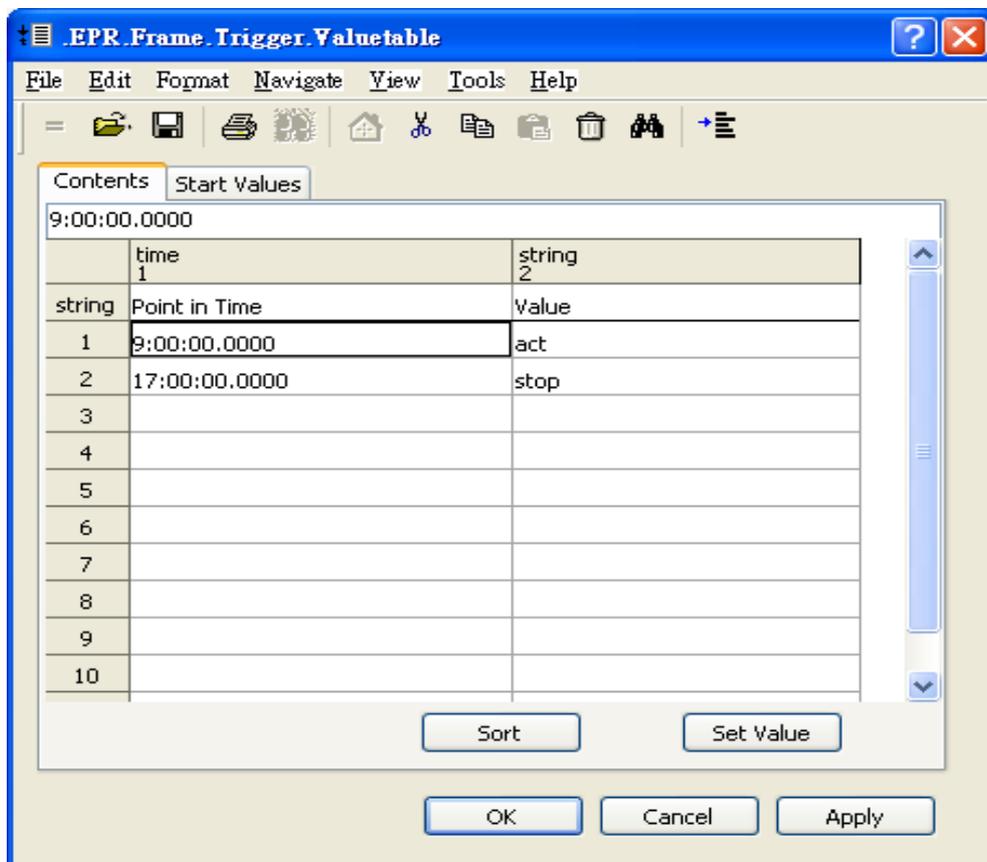


圖 4.12 回收商工作時間設定

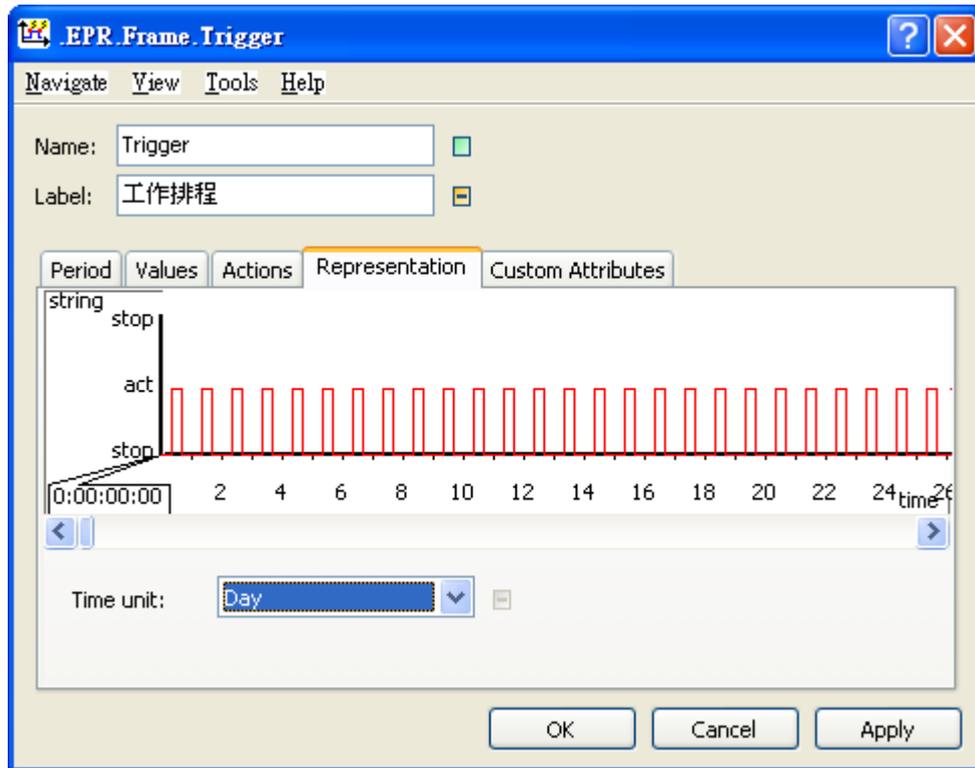


圖 4.13 回收商工作時間控制週期

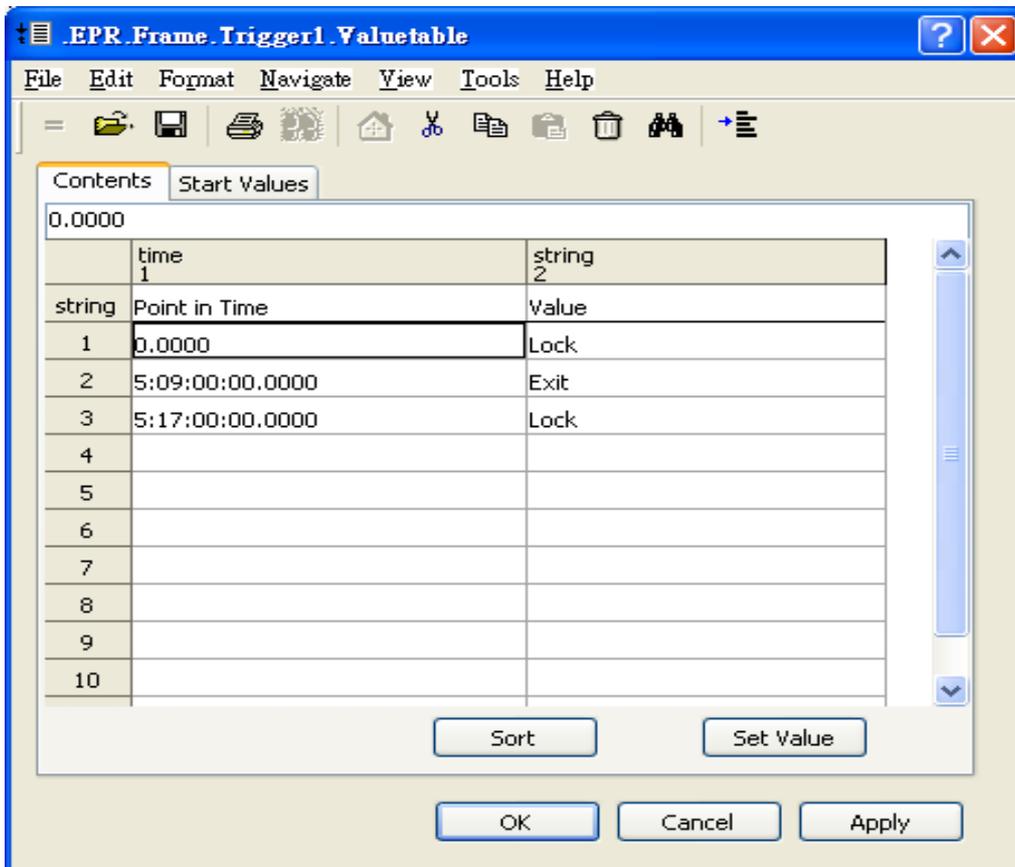


圖 4.14 回收商供貨時間設定

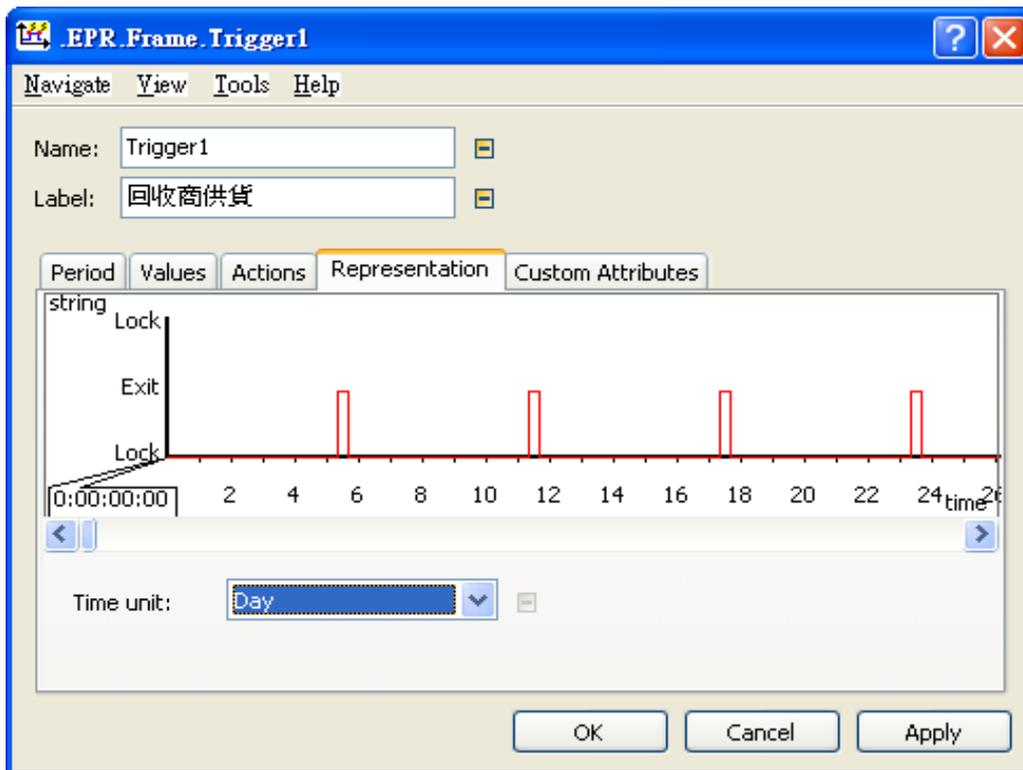


圖 4.15 回收商工作時間控制週期

4. 再生處理廠機台設定

本研究將再生處理廠以子架構的形式置於整體回收系統中。子架構的進料口為廢電池。在再生處理廠中，運作的機台為電池分選設備以及破碎分選設備。廢電池在混合廢電池中經過分選過程進入一次電池暫存。在經過破碎處理、篩分以及磁選後以鐵、鋅以及二氧化錳的形式離開系統。圖 4.16 為再生處理廠之相關機台設定。由文獻資料中得知，本研究所參照建立之再生處理廠流程於一次電池處理之機台僅有乾電池分選設備以及破碎及分選設備。因此，本研究假設破碎處理、磁選以及篩分之運作時間一致，參考粉碎及分選設備之運作時間。

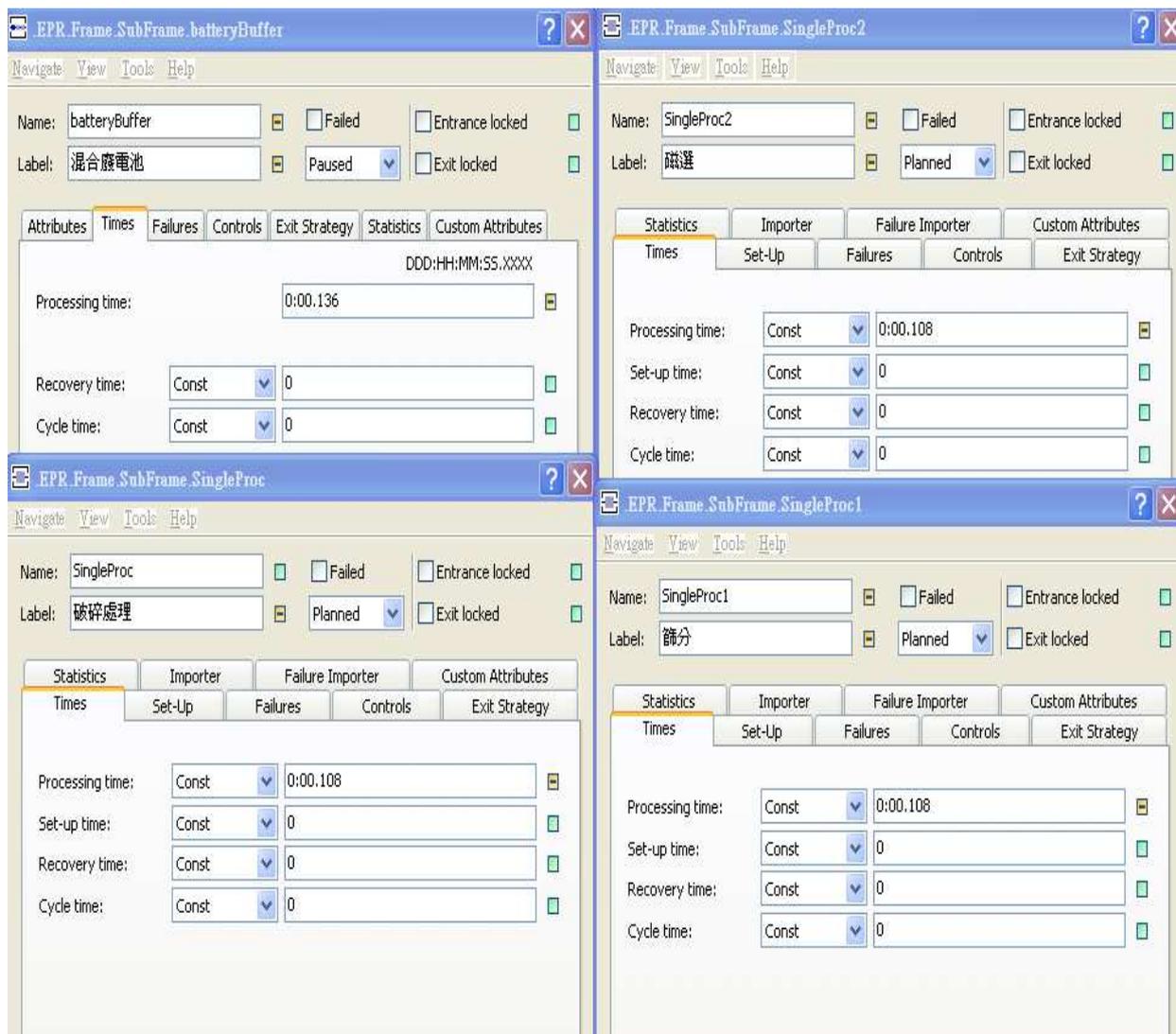


圖 4.16 再生處理廠相關機台設定

5. 廢乾電池標示

在第三個政策模型中，必須要辨識整體系統中流動的乾電池是否為購買平台會員電池的消費者族群所用。因此，需要一個機制，讓乾電池經過各個消費族群時，可以標上標籤，以供後端之分流控制器辨識其來源。圖 4.17 為設定電池辨識屬性之程式內容。

```

is
do
    if ?=.EPR.Frame.buyplatform then
        @.batteryID:="GOOD";
    else
        @.batteryID:="BAD";
    end;
    @.move;
end;

```

圖 4.17 電池辨識屬性設定程式內容

4.3.2 模型之建構

經過以上模型細部結構之邏輯與描述後，本節將針對各政策之整體模型做介紹。

1. 我國回收現況

新電池由新一次電池產生後，進入銷售通路再分別流入消費者使用以及消費者庫存，經過出廠之時間設定後，依照原先設定好之回收率分別流向非法處理及掩埋以及回收站。圖 4.18 為我國回收現況之系統模型圖。

在這個模型中，本研究會將回收率由 15% 向上調高至 25%、45% 及 60%。一共進行四個模擬實驗。模擬運作結束之後，將收集各個節點的進出入個數，供第二階段成本效益分析使用。

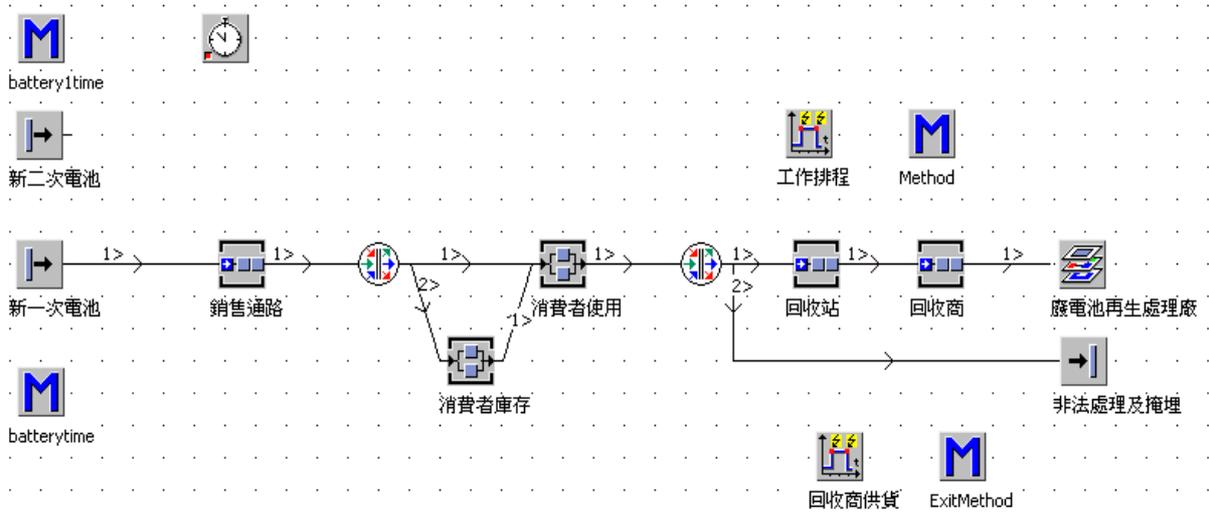


圖 4.18 我國回收現況之系統模型圖

2. 實行押金制度

在實行押金制度這個模型中，本研究將消費者族群分成兩個，藉由分流控制器之比例分配來控制持舊電池購買以及繳付押金購買兩個節點之電池進入量。圖 4.19 為實行押金制度之系統模型圖。

在這個模型中，本研究將回收率由 15% 向上調高至 25%、45% 及 60%，並且交互改變持舊電池購買以及繳押金購買之消費者族群分配比例，一共進行八個模擬實驗。同樣地，執行模擬結束後，本研究將收集各個節點的進出入個數，供第二階段成本效益分析使用。

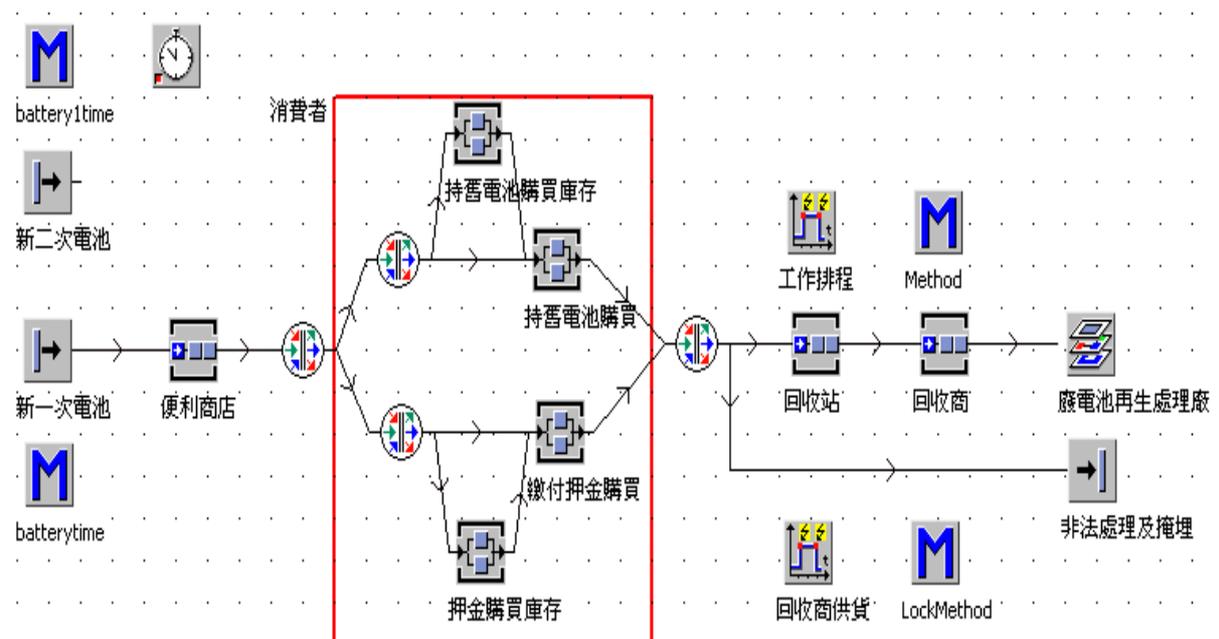


圖 4.19 實行押金制度之系統模型圖

3. 實行 PRO 組織併同實施押金制度

在實行 PRO 組織併同實施押金制度的系統模型當中，本研究將消費者族群分化成三個族群。藉由分流控制器之比例分配來控制電池進入繳押金購買、持舊電池購買以及購買平台會員電池等三個消費者族群之比例，另外，本研究將回收商分化成兩個體系，同樣藉由分流控制器來控制廢乾電池進入回收組織體系以及自行回收體系之比例。圖 4.20 為實行 PRO 組織併同實施押金制度之系統模型圖。

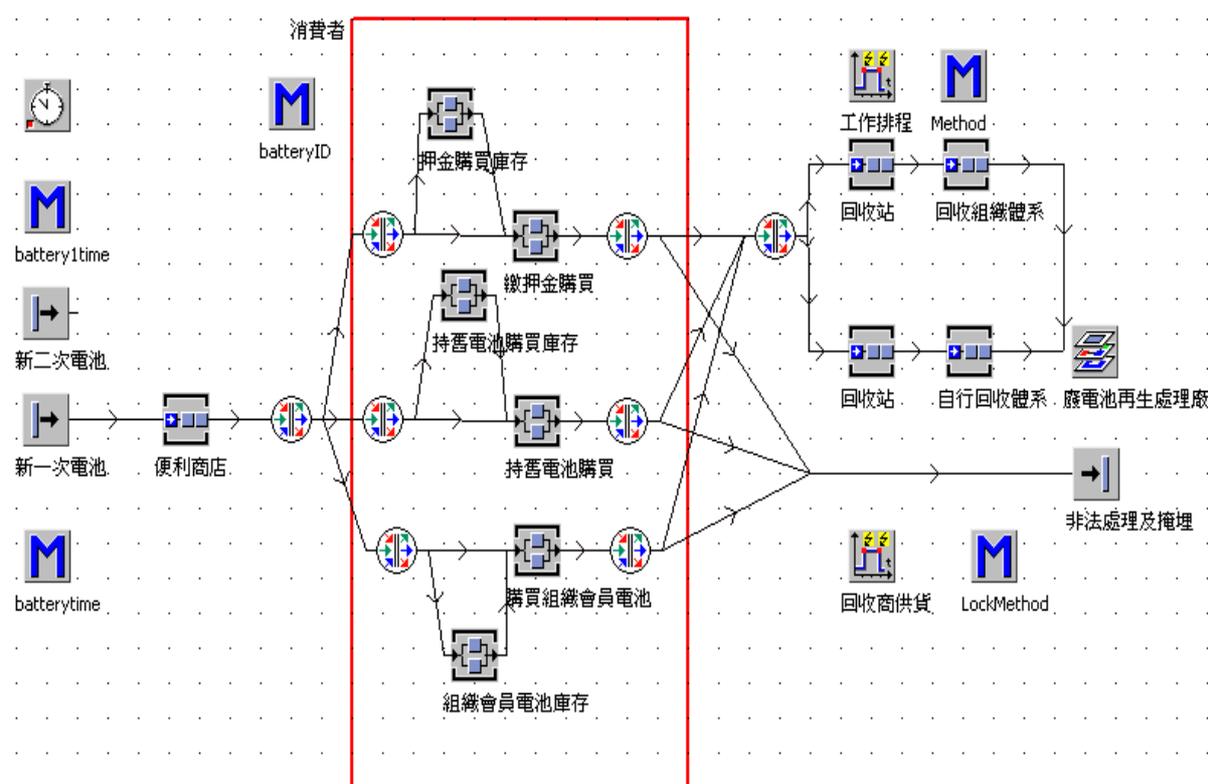


圖 4.20 實行 PRO 組織併同實施押金制度之系統模型圖

在這個模型中，本研究會將回收率由 15% 向上調高至 25%、45% 及 60%，並且搭配改變購買平台會員電池、持舊電池購買以及繳押金購買之消費者族群分配比例，一共進行十六個模擬實驗。表 4.2 為本研究三個政策所要改變的實驗參數組合整理。同樣地，執行模擬結束後，本研究將收集各個節點的進出入個數，供第二階段成本效益分析使用。

表 4.2 本研究各政策實驗參數改變組合

政策	實驗次序	回收率	持舊電池購買	繳付押金購買	購買組織平台 會員電池
回收 現況	1	15%	N/A		
	2	25%			
	3	45%			
	4	60%			
實行 押金 制度	5	15%	50%	50%	N/A
	6		70%	30%	
	7	25%	50%	50%	
	8		70%	30%	
	9	45%	50%	50%	
	10		70%	30%	
	11	60%	50%	50%	
	12		70%	30%	
實行 PRO 組織 併同 實施 押金 制度	13	15%	25%	25%	50%
	14		35%	15%	50%
	15		15%	15%	70%
	16		21%	9%	70%
	17	25%	25%	25%	50%
	18		35%	15%	50%
	19		15%	15%	70%
	20		21%	9%	70%
	21	45%	25%	25%	50%
	22		35%	15%	50%
	23		15%	15%	70%
	24		21%	9%	70%
	25	60%	25%	25%	50%
	26		35%	15%	50%
	27		15%	15%	70%
	28		21%	9%	70%

4. 再生處理廠

回收商收集後之廢乾電池將會運送至再生處理廠進行再生資源化處理。在再生處理廠中之廢乾電池，會經過分選、破碎、篩分以及磁選之過程而獲得三種再生資源。圖 4.21 為再生處理廠之處理流程模型圖。

由於目前再生處理廠尚無二次電池運作實績，因此本研究中所建立之二次電池再生處理流程乃是依據再生處理廠於環保署專案中所提供之流程圖而設計，並無參與實際運作模擬。

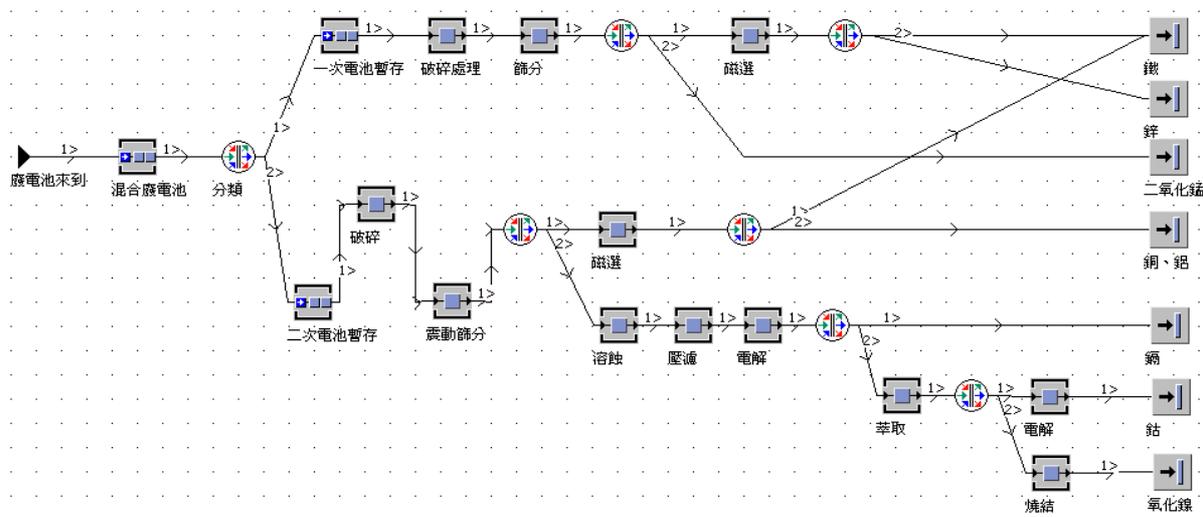


圖 4.21 再生處理廠處理流程模型圖

表 4.3 為本研究模擬模型中所使用之參數來源類型整理。

表 4.3 本研究模擬模型參數來源類型整理

項目	參數來源類型
電池生產時間	參考文獻
電池放電時間	參考文獻
消費者庫存比例	本研究估算
回收商供貨時間	本研究假設
處理廠機台時間	參考文獻及部分假設

4.3.3 模型的驗證

在模型驗證方面，由於本研究所使用之模型皆為經過假設之後而建立之模型，無法藉由真實系統中之數據資料做驗證。因此，本研究透過設計動畫的方式來觀察模型是否會按照原先所設定之方式運作。模型之動畫示意圖如圖 4.22 所示。

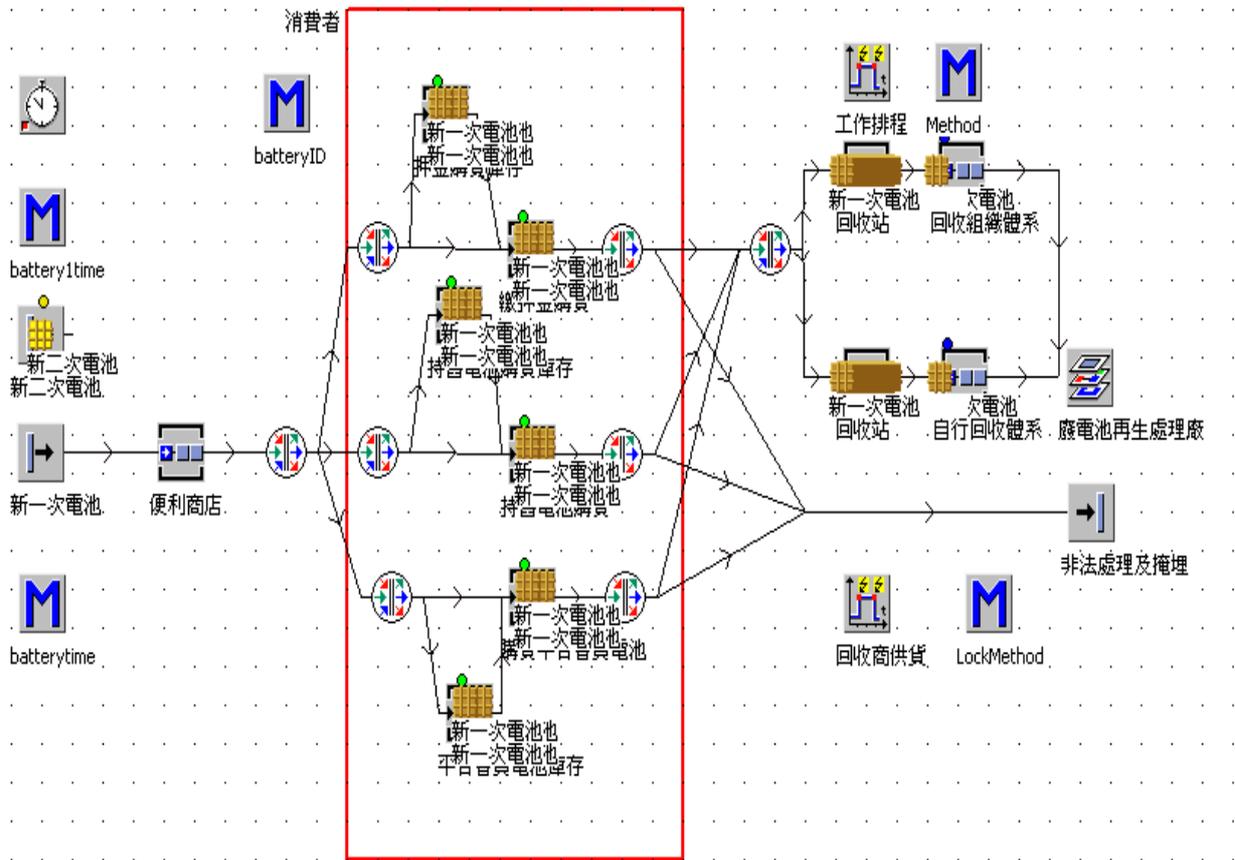


圖 4.22 模型信度測試動畫之示意圖

動畫測試的重點在於模型是否能夠正確地將電池標籤設定於電池之屬性中。因此在運作過程中，本研究點選不同回收體系中的電池，觀察其屬性是否按照原先之程式設計標上標籤。圖 4.23 及圖 4.24 為兩個回收體系中之電池屬性。

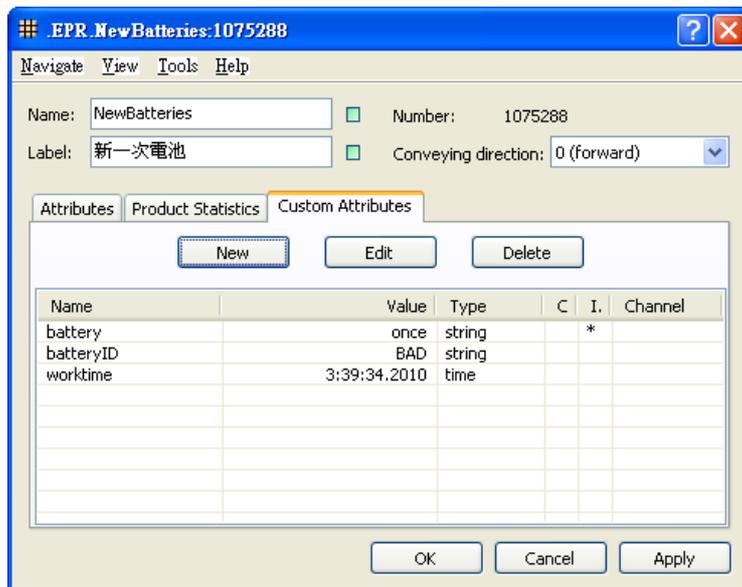


圖 4.23 自行回收體系電池屬性圖

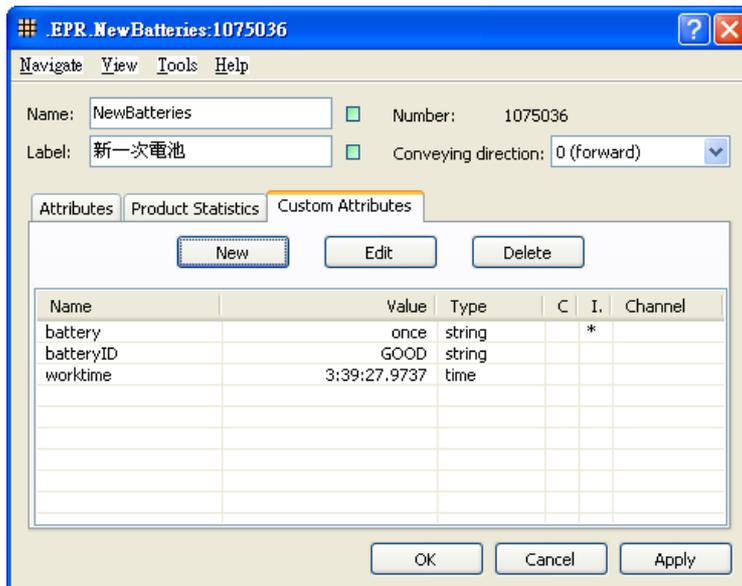


圖 4.24 共同回收體系電池屬性圖

另外，在效度測試方面，本研究使用敏感度分析之技巧來進行模型之有效性驗證。

在三個模型中，由於必須要有一個機制來表現回收站中尚有未被收集之廢電池，因此本研究假設回收商向再生處理廠供貨之時間為五天。為避免這樣的參數設定會影響到實驗之結果，本研究針對回收商供貨時間進行敏感度分析。

由於本研究中所建立之模擬模型皆是以政策一為基礎來發展，因此本研究挑選政策一之回收系統來進行敏感度分析，回收率設定為 15%。而在回收商供貨設定中，供貨時間間隔由 1 天提升到 21 天，觀察其成本效益是否會有明顯變化。表 4.4 為本研究敏感度分析後之成本效益結果。

表 4.4 敏感度分析後之成本效益結果

供貨時間 (天)	成本效益
1	0.199758612
2	0.199769617
3	0.199769617
4	0.199758612
5	0.199791413
6	0.199780569
7	0.199813380
8	0.199758612
9	0.199813380
10	0.199824389
11	0.199857205
12	0.199879122
13	0.199857205
14	0.199758612
15	0.199900989
16	0.199758612
17	0.199857205
18	0.199813380
19	0.199813380
20	0.199857205
21	0.199944832

由表 4.4 中可以看得出來回收商供貨時間由 1 天提升到 21 天的過程中，系統所表現出來之成本效益並無明顯變化。因此，在系統中，本研究將回收商供貨時間設定為 5 天並不會對實驗結果造成影響。

4.3.4 比較各政策之成本效益

在解釋完三個政策內容以及模擬模型的建構過程後，本研究將進一步分析運作完模擬模型後所得到的數據資料。以下為各個政策之數據內容分析。詳細的數據內容如附錄所示。

本研究於文獻資料中查得我國境內廢乾電池處理廠的單位回收清除處理成本，這些是相關領域之專家經過精密計算後而得到之數據。其中，處理成本的部份分為兩個級別，一是按照實際處理量情境，二是最大處理量情境。雖然本研究假設處理廠產能足以負荷系統所產生之廢電池量，但實際處理成本仍然有待商榷。因此，本研究將討論兩個不同再生處理廠之處理成本，分別為每公斤 30.96 元以及 50.23 元，其餘計算參數則不予以調整。

1. 政策一：我國回收現況

表 4.5 及表 4.6 為本研究在這個政策中所進行的四個模擬分析後之各別成本效益。

表 4.5 政策一模擬實驗之成本效益結果（處理成本：30.96 元/公斤）

實驗序次	成本效益
1	0.199791413
2	0.194395477
3	0.174712952
4	0.176199807

表 4.6 政策一模擬實驗之成本效益結果（處理成本：50.23 元/公斤）

實驗序次	成本效益
1	0.195342206
2	0.186703172
3	0.173126946
4	0.158515168

圖 4.25 及圖 4.26 為政策一之成本效益趨勢圖。

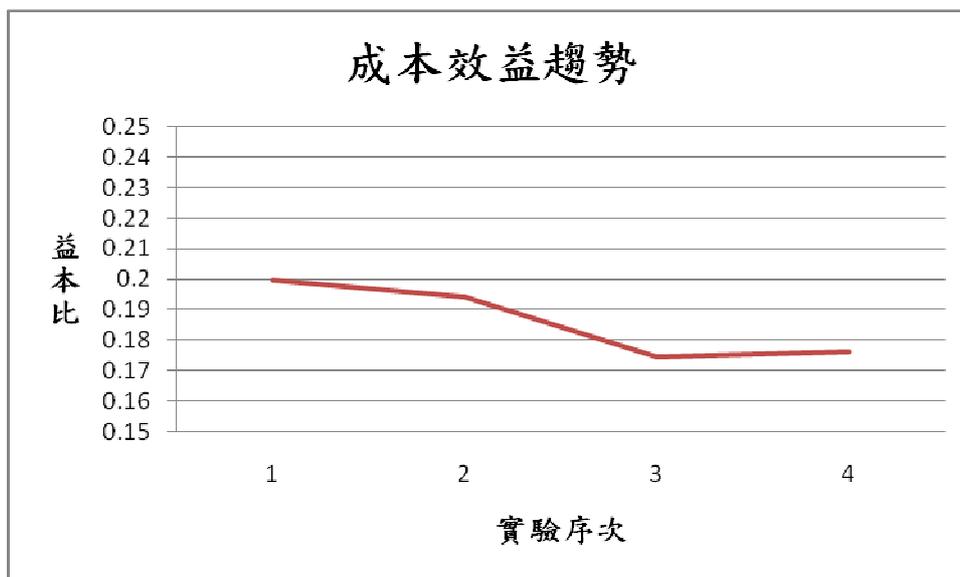


圖 4.25 我國回收現況成本效益趨勢圖（處理成本：30.96 元/公斤）

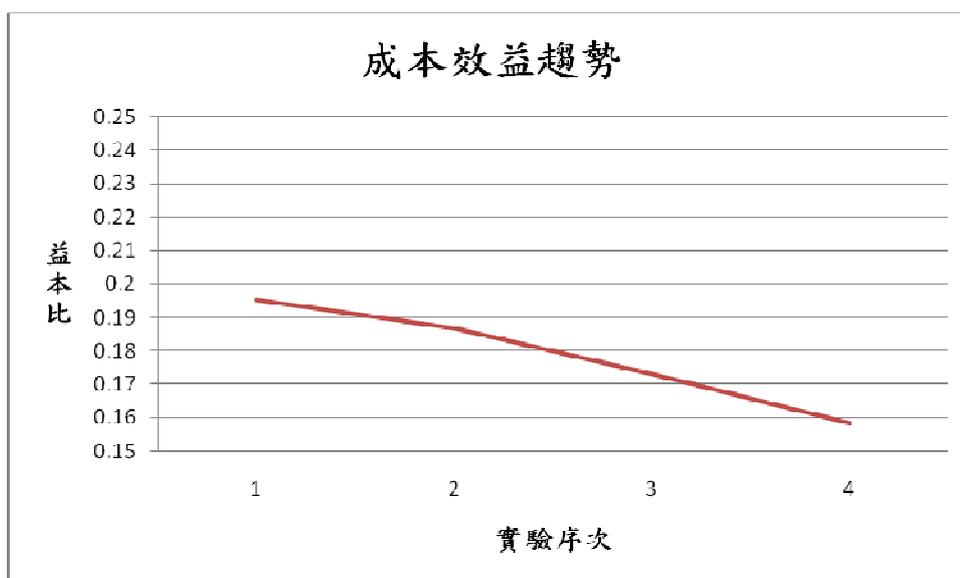


圖 4.26 我國回收現況成本效益趨勢圖（處理成本：50.23 元/公斤）

經過四次模擬實驗以及成本效益計算之後。可以看得出來，在回收率提昇以及兩個不同處理成本之情境下，成本效益皆有逐步下降之趨勢，且在處理成本為每公斤 50.23 元時下降幅度更為明顯。這顯示在此回收系統中，回收率之提昇會確實造成整體系統之效益降低。

2. 政策二：實行押金制度

表 4.6 及表 4.7 為本研究在此政策中所進行的八個模擬後所分析之成本效益。

表 4.7 政策二模擬實驗之成本效益結果（處理成本：30.96 元/公斤）

實驗序次	成本效益
5	0.245183502
6	0.216731353
7	0.216283251
8	0.210447252
9	0.204287346
10	0.199023122
11	0.195754472
12	0.190724095

表 4.8 政策二模擬實驗之成本效益結果（處理成本：50.23 元/公斤）

實驗序次	成本效益
5	0.239966357
6	0.211587797
7	0.207946661
8	0.202066838
9	0.189936707
10	0.184582092
11	0.177237153
12	0.172071876

圖 4.27 及圖 4.28 為政策二之成本效益趨勢圖。

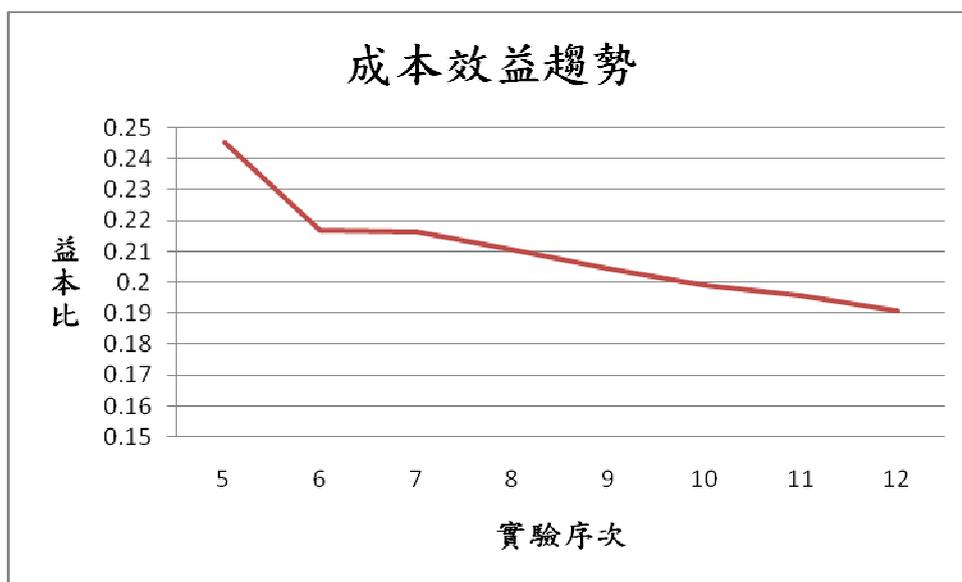


圖 4.27 實行押金制度成本效益趨勢圖（處理成本：30.96 元/公斤）

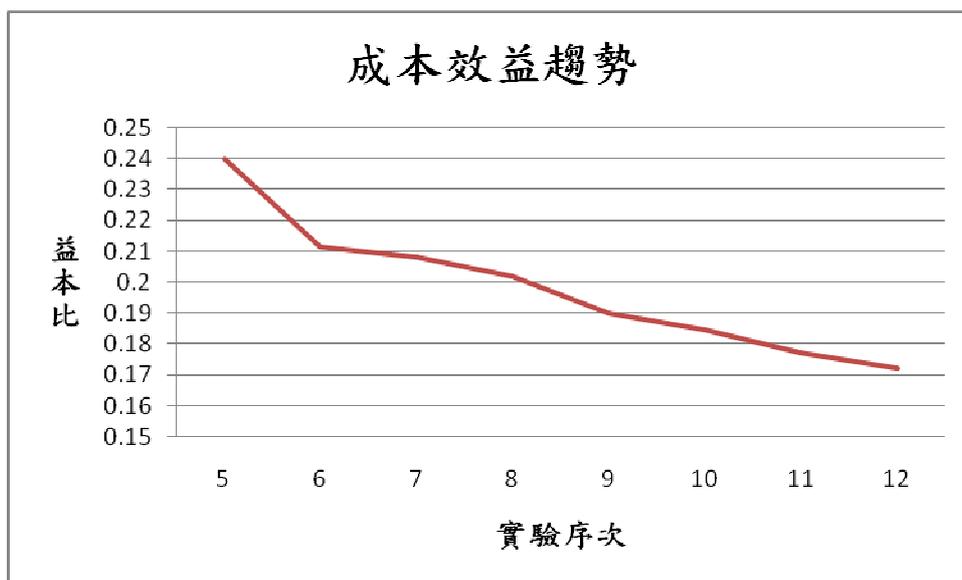


圖 4.28 實行押金制度成本效益趨勢圖（處理成本：50.23 元/公斤）

經過八次模擬實驗以及成本效益計算之後。可以看得出來，在回收率提昇以及兩個不同處理成本之情境下，成本效益仍然還是保有逐步下降之趨勢。且在處理成本為每公斤 50.23 元時下降幅度更為明顯。這顯示在此回收系統中，回收率之提昇會確實造成整體系統之效益降低。

這樣的趨勢表示實行押金制度政策下，系統所投入之成本會伴隨著回收率之提昇而遞減。成本效益的降低表示系統所投入之成本無法造成足夠的效益。

3. 實行 PRO 組織併同實施押金制度

表 4.9 及表 4.10 為本研究在此政策中所進行的 16 個模擬後所分析之成本效益。

表 4.9 政策三模擬實驗之成本效益結果（處理成本：30.96 元/公斤）

實驗序次	成本效益
13	0.2170355
14	0.2250316
15	0.2238030
16	0.2240422
17	0.2243596
18	0.2216996
19	0.2233618
20	0.2217555
21	0.2176901
22	0.2152014
23	0.2187675
24	0.2172626
25	0.2128343
26	0.2104611
27	0.2153932
28	0.2139655

表 4.10 政策三模擬實驗之成本效益結果（處理成本：50.23 元/公斤）

實驗序次	成本效益
13	0.2118868
14	0.2200886
15	0.2189090
16	0.2190933
17	0.2162531
18	0.2135735
19	0.2152124
20	0.2135943
21	0.2034973
22	0.2009637
23	0.2044087
24	0.2028764
25	0.1942924
26	0.1918506
27	0.1965479
28	0.1950777

經過 16 次的模擬實驗及計算後，發現在回收率的提升之下，系統成本效益仍然可以維持在一定區間之內，不會因為回收率之提升而有如前述兩個系統之大幅下降之趨勢。圖 4.29 及圖 4.30 為政策三之成本效益趨勢圖。

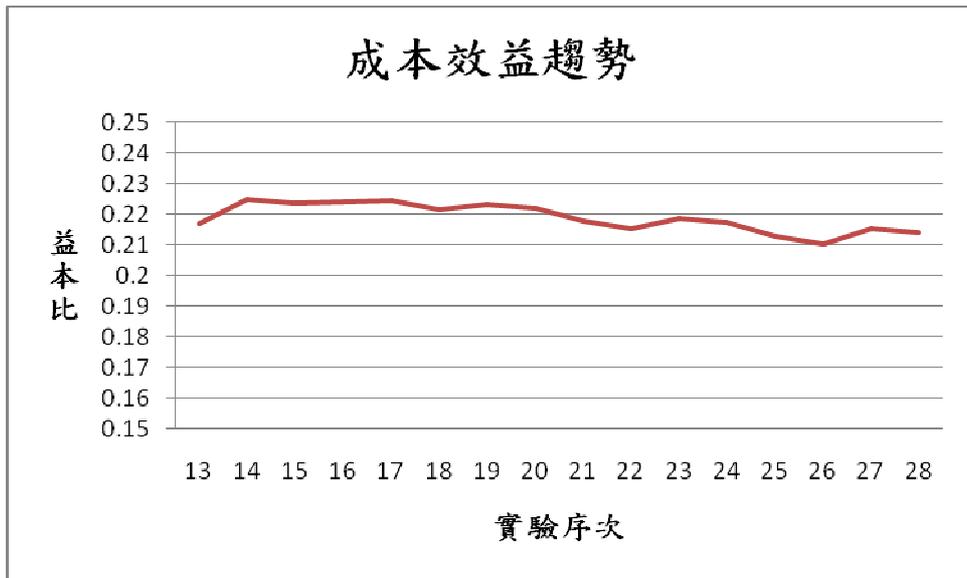


圖 4.29 實行 PRO 組織併同實施押金制度成本效益趨勢圖(處理成本:30.96 元/公斤)

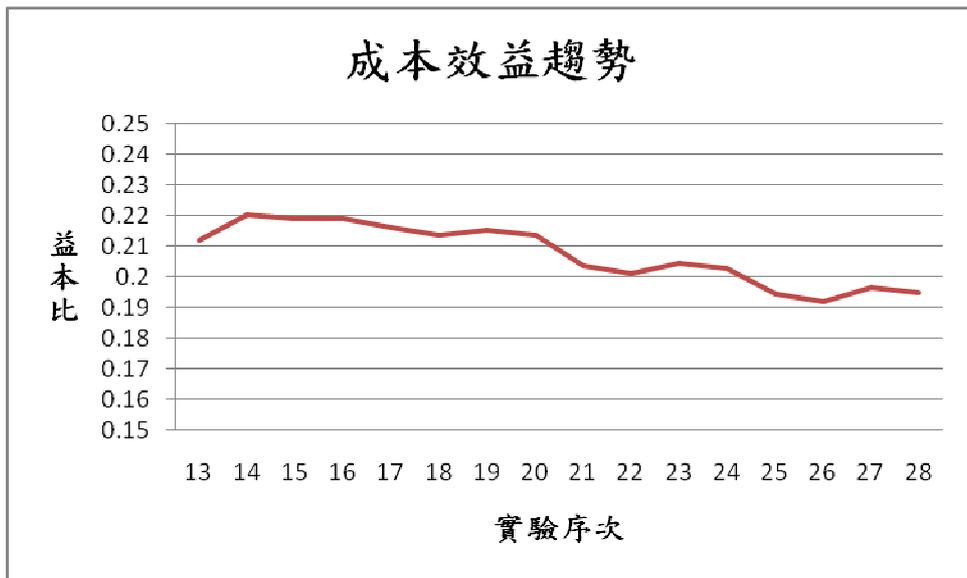


圖 4.30 實行 PRO 組織併同實施押金制度成本效益趨勢圖(處理成本:50.23 元/公斤)

這樣的趨勢表示在實施 PRO 組織併同實施押金制度下，整體系統能夠適應不同回收情境之改變，無論是回收率之提升或是消費族群之改變，系統都能夠確實地將成本效益維持在一定的水準之上。

第五章 結論與建議

5.1 結論

目前我國的廢乾電池回收是由資源回收管理基金管理委員會所負責管理。不同於國外的資源回收管理模式，我國以政府主導之回收模式仍存在許多運作問題。從國外立法以及趨勢來看，導入「延伸生產者責任」為未來我國政府應思考之資源回收管理之中心概念。因此，本研究透過文獻探討整理出部分先進國家之廢乾電池回收制度以及實施現況，並嘗試透過系統模擬方法來建構不同回收政策之回收系統，透過改變不同的回收情境來收集系統之運作數據。最後，配合成本效益分析，進一步來求出三個不同回收系統之整體成本效益。

經過相關文獻整理後，本研究選出三種不同回收政策，並且針對該政策可能呈現之回收系統進行模擬實驗。在假設情境下，發現三個不同的回收系統之成本效益，在不同回收情境改變之下而各有不同的改變趨勢。本研究發現，三個模擬系統當中，系統成本效益趨勢以實行 PRO 組織併同實施押金制度之模型表現最穩定。不同於另外兩個系統，PRO 組織併同實施押金制度能夠表現出較相對穩定之成本效益趨勢，不會因為回收率之提升而有明顯變動。反觀其他兩個系統，成本效益趨勢皆伴隨著系統回收率之提升而有下降之趨勢。

本研究透過系統模擬方法來示範如何建構出不同回收制度之巨觀模型，並在本研究所假設之情境下，利用這些模型，針對不同回收政策系統之可行性進行探討，並配合使用成本效益分析來探究各別系統之效益。本研究提供了一個不錯的工具來模擬這些系統可能反映於真實世界中的情況，此為一學術探討性質的案例示範。

5.2 本研究貢獻

本研究以我國廢乾電池回收系統作為研究標的，針對實施不同的回收制度所可能呈現的回收系統進行一系列的假設性探討並提供了一個基礎的模型架構。

首先，本研究透過過去文獻整理出部分先進國家之廢乾電池回收制度以及實施方式，從中擬定政策設計之方向。接著，本研究透過系統模擬方法來示範如何建構不同回收制度之模擬模型，並在本研究所假設之情境下進行不同情境之模擬實驗。最後，透過成本效益分析來觀察不同回收系統之成本效益趨勢，藉此作為評估不同回收政策可行性之依據。

本研究所得的研究結果可供政府未來實行廢乾電池回收政策時作為參考。

5.3 未來研究與建議

本研究所建構之模型是透過模擬軟體 eM-Plant8.1 來建構，所建構之模型僅作為探討廢乾電池回收政策之可行性所用，未來研究者可以進一步地善用軟體中更多的功能來增加模型的不確定性，藉此增加其研究價值。本研究針對後續研究者提供以下幾點建議：

1. 廢棄物資源回收議題不僅止於廢乾電池，未來亦可透過不同參數的輸入以及物件調整來模擬不同回收項目之回收系統。
2. 模型中所建立之二次電池再生處理過程為本研究依照再生處理廠之運作流程所建構之模型，可供未來有運作實績後納入模擬考量中，再生處理廠亦可進階到一對二或一對多。
3. 進一步探討系統中物件的運送物流機制與消費行為。

參考文獻

1. 王金蘭(2007),「歐盟廢電機電子設備指令(WEEE)與我國電子資訊產業及資源回收制度發展趨勢之研究」,國立台北大學,公共事務學院自然資源與環境管理研究所碩士論文。
2. 王家祥、張添晉、張四立(2009),「廢輪胎、廢鉛蓄電池及廢潤滑油回收體系調查分析暨成效檢討評估」,行政院環保署。
3. 行政院環保署網站(<http://www.epa.gov.tw/>)
4. 行政院環保署(2002),「取消寶特瓶回收獎勵金政策說明」,環保新聞,線上檢索日期:2010年5月1日。網址:
<http://ivy5.epa.gov.tw/enews/Newsdetail.asp?InputTime=0910830120226&MsgTypeName=%B7s%BBD%BDZ>。
5. 阮永漢(2002),「系統模擬與基因演算法於完全相同機台排程之應用」,元智大學,工業工程與管理學系碩士論文。
6. 林年慶(2000),「系統模擬方法在人力與區位資源配置改善之研究」,中興大學,農產運銷學系碩士論文。
7. 林則孟(2001),「系統模擬理論與應用」,台中:滄海書局。
8. 柏雲昌、郭振明、魏國棟(2006),「廢乾電池之危害性管制及提昇回收處理成效規劃及驗證」,行政院環保署。
9. 范珈綸(2009),「軟性顯示器生產線品質績效指標初探」,東海大學,工業工程與經營資訊學系碩士論文。
10. 姜林杰佑、張逸輝、陳家明、黃家祚(2001),「系統模擬 eM-Plant (SiMPLE++) 操作與實務」,台北:華泰文化事業公司。
11. 消費者文教基金會(2006),「市售 30 款電池檢驗結果記者會」,消費新聞發佈,線上檢索日期:2010年5月1日。網址:
<http://www.consumers.org.tw/unit412.aspx?id=719>。
12. 陳雄文、蘇國澤、鄭祖壽(2002),「法德國考察資源回收制度-廢棄物管理及相關處理技術出國報告」,行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書。

13. 陳宇揚、張四立、林萊娣(2008)，「廢乾電池及廢照明光源回收體系檢討暨成效評估計畫」，行政院環保署。
14. 陳宇揚、張四立、張添晉(2009)，「提昇廢乾電池及廢照明光源回收處理成效暨回收清除處理成本調查專案工作計畫」，行政院環保署。
15. 陳宇揚、張四立、張添晉(2010)，「提升廢乾電池及廢照明光源回收處理成效暨重金屬含量抽驗調查專案工作計畫」，行政院環保署。
16. 陳怡君(2009)，「台灣電子公司因應歐盟環保指令及綠色供應鏈管理規範之採購作法探討」，國立清華大學，工業工程暨工程管理研究所碩士論文。
17. 張四立(2004)，「生產者責任到延伸性生產者責任」，環保共識會議，環保議題專業論壇，線上檢索日期：2010年4月23日。網址：
<http://www.ier.org.tw/phpBB2/viewtopic.php?t=47&start=0&postdays=0&postorder=asc&highlight=>
18. 張添晉、鄭光炎(2010)，「廢容器回歸市場機制自主管理先期輔導計畫及廢容器通路開發研究」，行政院環保署。
19. 黃英傑、梁富麗(2003)，「企業永續經營之利器—延長生產者責任制度」，永續發展雙月刊，8，9-16。
20. 楊玉潔(2007)，「雙占微分賽局下EPR誘因機制之分析」，國立高雄第一科技大學，運籌管理系碩士論文。
21. 資源回收管理基金管理委員會網站
(<http://recycle.epa.gov.tw/Recycle/index2.aspx>)
22. 劉子衙(2005)，「歐盟電機電子業環保新規定及對產業的影響」，兩岸經貿月刊，線上檢索日期：2010年5月1日。網址：
http://www.seftb.org/mhypage.exe?HYPAGE=/03/03_content_01.asp&wee kid=72&idx=5
23. 鄭元婷(2004)，「以模擬方法進行包裝容器之逆向物流系統設計與分析」，國立成功大學，製造工程研究所碩士論文。
24. 謝育錚(2008)，「捷運車站人行系統模擬模式之建立」，國立交通大學，交通運輸研究所碩士論文。

25. 鐘仁雄(2009),「廢容器資源回收制度之比較研究-從 EPR 觀點出發」, 國立東華大學, 環境政策研究所碩士論文。
26. Cheng, L, and Duran, M, A (2004). Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control, *Computers and Chemical Engineering*, 28, 897-911.
27. Duarte, A. T., Dessuy, M. B., Silva, M. M., Vale, M. G., Welz, B. (2010). Determination of cadmium and lead in plastic material from waste electronic equipment using solid sampling graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Microchemical Journal*, doi:10.1016/j.microc.2010.02.008
28. European Commission (2003). Directive 2002/96/EC waste electrical and electronic equipment (WEEE), *Official Journal of the European Union*, L37, 24-38.
29. European Commission (2003). Directive 2002/95/EC on the restriction of use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS), *Official Journal of the European Union*, L37, 19-23.
30. European Commission (2006). Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC, *Official Journal of the European Union*, L266, 1-14.
31. Gempesaw, C. M., Albay, F., Bason J., Corman J. and Narayanan, S. (1994). Free trade and broiler growout returns: The case of Canadian and U.S. farms, *Poultry Science*, 73,1370-1380.
32. Harrell, C., Ghosh, B. and Bowden, G. (2003), *Simulation Using ProModel*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill.
33. Lindhqvist, T. (2000). *Extended Producer Responsibility in Cleaner Production*, doctoral dissertation, Lund University, Sweden.
34. OECD (2001). *Extended Producer Responsibility: A GUIDANCE MANUAL FOR GOVERNMENTS*, France.
35. OECE (2002). *THE POLLUTER-PAYS PRINCIPLE AS IT RELATES TO INTERNATIONAL TRADE*, France.
36. Schwartz, J. and Gattuso, D. J. (2002). Extended Producer Responsibility: Re-examining its role in environmental progress. *Policy study* No.293.

37. Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1, 7-14.

附錄一、回收現況模型實驗數據

回收現況									
回收率 15%									
	一次電池	銷售通路	消費者使用	消費者暫存	回收站	回收商	鐵	再生處理廠 鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075682	1075682	1075628	268921	161312	161251	42826	34800	82991
個數 Exit	1075682	1075682	1075414	268867	161251	160617	42826	34800	82991
回收率 25%									
	一次電池	銷售通路	消費者使用	消費者暫存	回收站	回收商	鐵	再生處理廠 鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075649	1075649	1075595	268912	268845	268743	71375	57998	138313
個數 Exit	1075649	1075649	1075379	268858	268743	267686	71375	57998	138313
回收率 45%									
	一次電池	銷售通路	消費者使用	消費者暫存	回收站	回收商	鐵	再生處理廠 鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075793	1075793	1075740	268948	483986	483802	128493	104410	248998
個數 Exit	1075793	1075793	1075525	268895	483802	481901	128493	104410	248998
回收率 60%									
	一次電池	銷售通路	消費者使用	消費者暫存	回收站	回收商	鐵	再生處理廠 鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075834	1075834	1075780	268959	645339	645089	171330	139219	332010
個數 Exit	1075834	1075834	1075565	268905	645089	642559	171330	139219	332010

附錄二、押金制度模型實驗數據

押金制度											
回收率 15%、舊電池 50%、押金購買 50%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075596	1075596	537771	134450	537771	134450	161299	161238	42823	34797	82985
個數 Exit	1075596	1075596	537663	134423	537663	134423	161238	160605	42823	34797	82985
回收率 15%、舊電池 70%、押金購買 30%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075558	1075558	752852	188223	322652	80667	161294	161232	42822	34796	82981
個數 Exit	1075558	1075558	752701	188185	322587	80651	161232	160599	42822	34796	82981
回收率 25%、舊電池 50%、押金購買 50%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075670	1075670	537808	134459	537808	134459	268851	268748	71377	58000	138170
個數 Exit	1075670	1075670	537702	134432	537701	134432	268748	267694	71377	58000	138170
回收率 25%、舊電池 70%、押金購買 30%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075835	1075835	753047	188271	322735	80688	268892	268790	71388	58009	138340
個數 Exit	1075835	1075835	752898	188234	322670	80672	268790	267737	71388	58009	138340

回收率 45%、舊電池 50%、押金購買 50%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075687	1075687	537817	134461	537816	134461	483939	483754	128480	104401	248975
個數 Exit	1075687	1075687	537710	134434	537709	134434	483754	481856	128480	104401	248975
回收率 45%、舊電池 70%、押金購買 30%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075651	1075651	752919	188239	322679	80674	483922	483738	128476	104397	248967
個數 Exit	1075651	1075651	752768	188202	322615	80658	483738	481840	128476	104397	248967
回收率 60%、舊電池 50%、押金購買 50%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075537	1075537	537742	134443	537742	134442	645162	644914	171282	139181	331919
個數 Exit	1075537	1075537	537635	134416	537635	134416	644914	642382	171282	139181	331919
回收率 60%、舊電池 70%、押金購買 30%											
	一次電池	銷售通路	持舊電池 購買	持舊電池 購買庫存	繳付押金 購買	押金購買 庫存	回收站	回收商	再生處理廠		
									鐵	鋅	二氧化錳
個數 Entry	1075634	1075634	752907	188236	322674	80673	645219	644972	171299	139194	331950
個數 Exit	1075634	1075634	752755	188199	322610	80657	644972	642443	171299	139194	331950

附錄三、PRO 組織制度模型實驗數據

EPR制度															
回收率15%、平台50%、舊電池25%、押金購買25%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075760	1075760	268927	67235	268927	67235	537854	134470	80662	80632	80662	80632	42830	34803	82999
個數Exit	1075760	1075760	268874	67222	268874	67222	537746	134444	80632	80316	80632	80316	42830	34803	82999
回收率15%、平台50%、舊電池35%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075593	1075593	376439	94115	161331	40335	537770	134449	80650	80619	80650	80619	42823	34797	82985
個數Exit	1075593	1075593	376364	94096	161299	40327	537663	134423	80619	80302	80619	80303	42823	34797	82985
回收率15%、平台70%、舊電池15%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075608	1075608	161333	40336	161334	40336	752887	188232	112911	112868	48392	48372	42825	34798	82987
個數Exit	1075608	1075608	161301	40328	161301	40328	752736	188194	112868	112426	48372	48184	42825	34798	82987
回收率15%、平台70%、舊電池21%、押金購買9%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075577	1075577	225860	56468	96797	24201	752867	188226	112908	112865	48390	48372	42823	34797	82984
個數Exit	1075577	1075577	225815	56457	96778	24196	752716	188189	112865	112422	48372	48182	42823	34797	82984

回收率25%、平台50%、舊電池25%、押金購買25%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075743	1075743	268923	67234	268923	67234	537845	134468	134435	134384	134436	134384	71382	58003	138327
個數Exit	1075743	1075743	268869	67221	268870	67221	537738	134442	134384	133856	134384	133856	71382	58003	138327
回收率25%、平台50%、舊電池35%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075685	1075685	376471	94123	161345	40339	537815	134461	134427	134376	134428	134376	71378	58000	138320
個數Exit	1075685	1075685	376395	94104	161313	40331	537708	134434	134376	133849	134376	133849	71378	58000	138320
回收率25%、平台70%、舊電池15%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075752	1075752	161355	40341	161355	40341	752989	188257	188210	188139	80662	80632	71383	58004	138329
個數Exit	1075752	1075752	161323	40333	161323	40333	752840	188220	188139	187400	80632	80316	71383	58004	138329
回收率25%、平台70%、舊電池21%、押金購買9%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075612	1075612	225868	56470	96800	24202	752890	188232	188185	188113	80651	80621	71373	57997	138310
個數Exit	1075612	1075612	225821	56459	96781	24197	752739	188194	188113	187376	80621	80304	71373	57997	138310

回收率45%、平台50%、舊電池25%、押金購買25%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075760	1075760	268927	67235	268927	67235	537854	134470	241986	241894	241986	241894	128490	104409	248994
個數Exit	1075760	1075760	268874	67222	268874	67222	537746	134444	241894	240946	241984	240947	128490	104409	248994
回收率45%、平台50%、舊電池35%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075604	1075604	376442	94116	161333	40336	537775	134451	241951	241859	241951	241859	128472	104394	248958
個數Exit	1075604	1075604	376368	94097	161301	40328	537668	134424	241859	240912	241859	240912	128472	104394	248958
回收率45%、平台70%、舊電池15%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075644	1075644	161339	40337	161339	40337	752913	188238	338744	338616	145176	145122	128477	104397	248967
個數Exit	1075644	1075644	161307	40329	161307	40329	752764	188201	338616	337289	145122	144552	128477	104397	248967
回收率45%、平台70%、舊電池21%、押金購買9%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075769	1075769	225901	56478	96814	24205	753000	188260	338782	338653	145192	145137	128490	104409	248995
個數Exit	1075769	1075769	225854	56467	96796	24200	752848	188222	338653	337325	145137	144569	128490	104409	248995

回收率60%、平台50%、舊電池25%、押金購買25%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075754	1075754	268925	67235	268926	67235	537850	134470	322645	322523	322644	322523	171317	139209	331986
個數Exit	1075754	1075754	268871	67222	268871	67222	537850	134443	322523	321256	322523	321256	171317	139209	331986
回收率60%、平台50%、舊電池35%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075533	1075533	376418	94110	161322	40333	537739	134442	322580	322457	322580	322457	171283	139181	331919
個數Exit	1075533	1075533	376343	94091	161290	40325	537634	134415	322457	321192	322457	321191	171283	139181	331919
回收率60%、平台70%、舊電池15%、押金購買15%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075733	1075733	161352	40340	161352	40340	752975	188254	451694	451522	193584	193510	171315	139207	331982
個數Exit	1075733	1075733	161320	40332	161320	40332	752824	188216	451522	449752	193510	192752	171315	139207	331982
回收率60%、平台70%、舊電池21%、押金購買9%															
	一次電池	銷售通路	持舊電池購買	持舊電池購買庫存	繳付押金購買	押金購買庫存	購買平台會員電池	購買平台會員電池庫存	回收站	回收組織體系	回收站	自行回收體系	再生處理廠		
													鐵	鋅	二氧化錳
個數Entry	1075682	1075682	225881	56474	96807	24203	752939	188245	451674	451502	193575	193500	171307	139200	331965
個數Exit	1075682	1075682	225837	56462	96788	24198	752790	188207	451502	449730	193500	192742	171307	139200	331965