

逢 甲 大 學
工 業 工 程 與 系 統 管 理 學 系
碩 士 論 文

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例
**Analysis of Carbon Footprint in Recycling Systems –
Case Study of Second-Hand Clothes**

指導教授：劉浚明
研 究 生：黃偉銓

中 華 民 國 一 百 年 六 月

逢

甲

大

學

工業工程與系統管理學系
碩士學位論文

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例

Analysis of carbon footprint in recycling system – case
study of second-hand clothes

研究生：黃偉銓

經碩士學位考試合格特此證明

評審委員

劉志仁

劉俊明

楊銀勳

指導教授

劉俊明

所 長

李忠

考試日期：中華民國 一 百 年 五 月 二 十 六 日

致謝

寫致謝的同時也代表著學生的身分從此結束，首先感謝我的家人，給予經濟上的支持，再來是住在北京的姨丈與阿姨，感謝他們給我的照顧與不一樣的視野，研究所期間我非常感謝我的指導老師-劉浚明 教授，是個溫文儒雅會聆聽學生的心聲且給予適當指導的好老師，當然還有兩位口試老師盧明勳老師與才智絕佳的逍遙門掌門人蕭堯仁老師。

再來就是感謝工 308 的學長姐國輝、小廖、泡泡與工 313 的學長姐培培、常先、小家榆、碰轟、阿 Bird 在碩一的時候分享難以忘懷的喜怒哀樂，還有同梯的阿猴、東東、浩文、阿期、小凌、小明、皮皮、小不點、學府、蛋蛋、雅文、米賊、玫羽、小黃，大家有緣一起戰鬥，也感謝學弟妹們柯柯、佳芬、小賴、拋兒、正琦、廷瑜、小胖、神手帶給我無限的歡樂，謝謝各位。

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例

研究生：黃偉銓

指導教授：劉浚明 博士

逢甲大學工業工程與系統管理學系

摘要

節能減碳是目前環境保育運動中受到重視的一種觀念與做法，要能確實做到節能減碳的效果，其中一種比較有效的方法是從物流系統中去分析各種活動之碳足跡，瞭解各種活動所排放之氣體的數量，才能進一步採取有效的措施達到節能減碳之目的。

舊衣服回收系統是整個物流回收系統中不可忽略之一環，其系統至少包含三種分類回收方式：回收再利用、回收再處理、與回收焚化。本研究首先針對舊衣服回收系統之三種分類回收方式進行分析，瞭解其中相關之活動與處理過程。接著提出三種溫室氣體，即二氧化碳 CO₂、甲烷 CH₄、與氧化亞氮 N₂O，之排放計算公式，利用所提出之溫室氣體排放公式，進一步建立舊衣服回收系統三種分類回收方式之溫室氣體排放模式，以推估不同回收方式之溫室氣體排放數量與作為碳足跡分析之依據。

本研究蒐集一家日本的舊衣服回收廠商之資料，透過當地回收業者的運作，將回收的衣服分為：1. 將舊衣服打包後販售到第三世界、2. 舊衣服製作成抹布、與 3. 焚化等三種不同作業方式，利用本研究所建立之溫室氣體排放模式進行溫室氣體排放分析與探討。透過個案公司的工廠中一年的舊衣服回收量來推算三種不同作業方式的三種溫室氣體排放量，並且進行碳足跡分析與比較。研究結果顯示出舊衣服焚化所排放的三種溫室氣體對地球環境所造成的負擔是最大的，其次是回收再處理方式，影響最小的是回收再處理。此外，本研究結果也顯示一些其他的經濟效益與影響，值得環保單位與團體作為環境保育決策之參考。

關鍵字：舊衣服回收、溫室氣體排放模式、碳足跡分析。

Analysis of Carbon Footprint in Recycling Systems – Case Study of Second-Hand Clothes

Student : Wei-Chuang Huang

Advisor : Dr. Chiun-Ming Liu

Department of Industrial Engineering and Systems Management

Feng Chia University

ABSTRACT

Carbon reduction is the conservation movement in the attention of a concept and practice. To be able to really achieve the effect of carbon reduction, one of the more effective method is to analyze the carbon footprint of various activities from logistics system. To understand a variety of activities release the amount of gas emissions, taking further effective measures to achieve the purpose of saving energy and reducing carbon emissions.

Second-hand clothes system is a ring that can not be ignored in the entire logistics system. This system contains at least three kinds of recycling method: recycling and using again, recycling and processing and incineration. In this study, First thing is to analyze three categories of second-hand clothes recycling system. Understand which activities associated with the process. Then proposed the calculating formula of three greenhouse gases, namely carbon dioxide, CO₂, methane CH₄, and nitrous oxide N₂O, further establish a gas emissions model of the three categories of second-hand clothes recycling system. Finally estimate the amount of greenhouse gas emissions and be a basis of carbon footprint analysis.

This case studying is based on a manufacture of recycling in Japan. Through out the operations of this company collect data needed. And separate recycling system to 3 different way: 1. Package the second-hand clothes and sell them to Third world. 2. Clothes make into wiper. 3. Incineration. Using the established model to analyze and investigate greenhouse gas emissions. Conclusion refers to incineration is the most carbon emission in the three procedures of second-hand clothes industry. And this

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例

case-study also present effects of economic. It is worth a visit for environmental group to make decision as a reference of conservation units.

Keywords: Recycling systems, second-hand clothes, reverse logistic



目錄

中文摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 問題背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	2
1.3 研究架構.....	3
第二章 文獻探討.....	5
2.1 地球暖化.....	5
2.1.1 生態系統.....	6
2.1.2 糧食.....	7
2.1.3 海岸線.....	7
2.1.4 工業、居住環境和社會.....	7
2.1.5 健康.....	8
2.1.6 水和氣候變化.....	8
2.2 逆物流的定義.....	9
2.3 廢棄物與資源回收.....	10
2.4 日本舊纖維的歷史.....	12
第三章 研究方法.....	14
3.1 舊衣服回收體系之分析.....	14
3.1.1 舊衣服回收再利用的分析.....	20
3.1.2 舊衣服回收再處理分析.....	23
3.1.3 舊衣服回收焚化處理.....	25
3.1.4 不同回收處理的比較方法.....	28
3.2 溫室氣體排放計算.....	28
3.2.1 舊衣服回收再利用的氣體排放分析.....	30
3.2.2 舊衣服回收再處理的氣體排放分析.....	31
3.2.3 舊衣服回收焚化的氣體排放分析.....	32
第四章 個案研究.....	34
4.1 回收廠商的前段回收處理.....	34
4.2 舊衣服回收再利用的氣體排放分析.....	39
4.3 舊衣服回收再處理的氣體排放分析.....	45
4.4 舊衣服回收焚化處理的氣體排放分析.....	47
4.5 三種回收方式之分析與比較.....	52

第五章 結論與建議.....	56
5.1 結論.....	56
5.2 未來研究方向與建議.....	56
參考文獻.....	58



圖目錄

圖 1- 1、研究架構.....	4
圖 2- 1、地球上升 0~5°C 時的變化.....	6
圖 2- 2、逆物流機制.....	9
圖 2- 3、垃圾的流動圖.....	11
圖 3- 1、舊衣服回收的流程圖.....	15
圖 3- 2、舊衣服回收再利用的流程圖.....	20
圖 3- 3、二手衣製作抹布流程圖.....	23
圖 3- 4、焚化的衣服種類.....	26
圖 3- 5、焚化爐流程模擬示意圖.....	26
圖 4- 1、二手衣回收處理廠平面圖 1F.....	35
圖 4- 2、衣服壓縮機.....	36
圖 4- 1、壓縮後的衣塊.....	36
圖 4- 4、2009 年貨櫃數量之概略圖.....	38
圖 4- 5、回收再利用物流距離圖.....	39
圖 4- 6、回收再利用各據點在地圖上的位置.....	40
圖 4- 7、“WAN HAI 301”（通春）.....	40
圖 4- 8、電氣使用量和燃料使用量的計算式.....	44
圖 4- 9、舊衣服回收再利用的運送距離.....	46
圖 4- 10、舊衣服剪裁機.....	46
圖 4- 11、舊衣服焚化處理的運送距離.....	48
圖 4- 12、舊衣服焚化處理各據點在地圖上的位置.....	48
圖 4- 13、各種垃圾的平均含碳率.....	50
圖 4- 14、溫室氣體排放係數管理表.....	52
圖 4- 15、各溫室氣體的全球暖化潛勢.....	52
圖 4- 16、舊衣服回收再利用的溫室氣體排放量.....	53
圖 4- 17、舊衣服回收再處理的溫室氣體排放量.....	54
圖 4- 18、舊衣服回收焚化處理的溫室氣體排放量.....	55

表目錄

表 4- 1、K 公司的基本資料.....	34
表 4- 2、一個衣塊的平均完工時間.....	36
表 4- 3、2009 年 6 月份 K 公司舊衣服貨櫃出口 (單位：噸).....	37
表 4- 4、2009 年 7 月份 K 公司舊衣服貨櫃出口(單位：噸).....	37
表 4- 5、2009 年的出貨數量(櫃).....	38
表 4- 6、最大搭載量和搭載率的輸送每 T-KM 的燃料使用量.....	44
表 4- 7、工廠/物流據點的三大排放係數.....	44
表 4- 8、主要衣服纖維的含水率.....	50
表 4- 9、三種方法的溫室氣體排放結果.....	55



第一章 緒論

1.1 問題背景

近年來，地球暖化的議題持續不斷發燒，各國在節能減碳上也開始計畫執行，從 1997 年 12 月，149 個國家和地區的代表在日本京都舉行的「京都協議書」到去年(2008 年)北海道洞爺湖所舉辦的 G8 Summit 高峰會(日、美、英、德、法、義、加、俄、EU)及最近 2010 年的 G20 高峰會對地球暖化提出對策，計畫出各國限制溫室氣體排放量，以改善氣候變遷越來越不正常的地球。

節能減碳的方法有很多種，比較高科技的方式就是研發及尋找替代能源的特殊材料或設備(例如現有的照明設備換成低功率高效能的 LED 照明，或是環保電動車來降低過往需要依賴大量石油的汽車)，而較常見的方法就是透過 3R、Reduce(減量)、Reuse(再利用)、Recycle(循環回收)，將現在使用的所有產品做一個經濟循環，以達到物盡其用、消除浪費的最高指導原則。

2010 年上海世界博覽會(Shanghai Expo/ The World Exposition Shanghai China 2010)中，台灣館以市區無線上網及資源回收兩項成效做為主題，據媒體報導成效良好，台灣對地球環境盡一份心力這方面實在值得嘉許，只不過，資源回收這方面，不論是宣導、執行、成效方面，日本在這個地方已經下了多年的工夫，甚至在購買使用任何商品之前以及在使用完丟棄以後是否會對地球產生不好的影響這觀念已經在日本國民間成為一種習慣，更不用說是家庭垃圾的徹底分類了，台灣要確實成為一個循環社會(circle society)實在還有非常多小細節需要跟日本借鏡。

資源回收(Material Recycle)在台灣已經行之有年，分類之繁雜很難一語以畢之，大宗回收物大致上有金屬(鐵、銅、錫、鋁…等)、玻璃、寶特瓶、紙類、塑膠、衣服…等等，且這些材料的價格，近年來也因為中國大陸的快速崛起(2010 年正式超越日本成為全球第二大經濟體)，內陸重大建設，家電下鄉計劃等等，

¹ 逢甲大學 e-Theses & Dissertations (99 學年度)

不僅帶動原材料的價格上升，甚至廢材的回收材料的價值也跟著水漲船高，以廢紙類為例，曾經由一公斤 0.1 元台幣漲到一公斤 10 元台幣，目前價格還是有一公斤 5 元台幣左右，由此可見，資源回收儼然成為一個非常有經濟價值的經濟產業。

而在所有的回收項目當中，無論在論文數量或者是研究方面之中，牽涉到二手衣回收的議題實在不多，國內眾所皆知的二手衣回收設置箱大多由慈善機構設置、運送、回收、處理、國外輸出，然而實際上的運作是如何呢？是由慈善機構來運作呢？或者是由營利企業來執行呢？其中的運作，老實說是非常不透明的。而在日本的舊衣服回收產業中，因為小有接觸，希望在綠色議題發燒的現代，將日本橫濱市(Yokohama City)舊衣服回收的現況以節能減碳的實際成果上來做一個討論。

1.2 研究動機與目的

本研究是以在日本實際運作的舊衣服回收廠 K 公司作為基礎，描繪出整個舊衣服的回收架構，從市民將舊衣服丟棄到臨時集中場後，再由市政府回收車或者是回收業者的回收車進行回收，載到處理廠之後，利用壓縮機將衣服壓成一個個衣塊後裝入貨櫃賣出到第三國(非洲、馬來西亞等國)做最後的循環利用。

另一方面，隨著金磚四國 BRIC(巴西、蘇俄、印度、中國)的崛起，擁有豐富礦產原料國家(巴西、蘇俄)資源擴大開採以及人工便宜的世界工廠(印度、中國)的大量製造，尤其是紡織品，自從工業革命以來，紡織業的興衰由歐洲移到美國然後到日本再到台灣，到現在的中國大陸、印度、越南、泰國...等等，勞力集中和人工便宜的結果促使商品價格越來越便宜。這雖然在絕大多數的意義上是一件好事，但這個利多也衝擊了二手衣的市場的平衡，尤其是在非洲各國(例如坦尚尼亞)的二手衣市場(包括就業市場、經濟)。

最後，因應現在地球暖化現象，節能減碳的議題發燒，可望在研究中展現出這些原本該被焚化或掩埋的二手衣經由回收、處理、再利用之後，替地球環境節

省了多少能源，降低了多少碳排放量。在日本回收的衣服最終處理分為三類：(一)焚化、(二)壓縮打包送至第三國、(三)纖維裁剪做成抹布。探討假若這些原本應該被焚毀的舊衣服經過貿易管道送往至第三國家再做一次經濟利用，不僅可以創造經濟價值又可以節省垃圾燃燒成本與二氧化碳的排放，計算其節省的炭排放量並加以比較分析。

因此，本研究的目的如下：

1. 分析舊衣服回收系統的三種分類回收方式。
2. 依照三種分類回收方式分別進行溫室氣體排放分析。
3. 利用日本一家廠商所提供的資料進行個案分析。再以這家公司的研究數據為背景探討三種回收方式的氣體排放量。

1.3 研究架構

本研究的流程與方法敘述如下：

1. 問題發掘：

針對現有市場發掘問題並延伸討論。

2. 蒐集相關文獻：

蒐集有關於資源回收的相關資料，尤其是二手衣的部份或是纖維業的資訊以及環境變遷報告書等等。

3. 焚化、回收販賣、製作抹布三種方法分析

探討焚化、回收販賣至第三國、以及製作成抹布這三種方法的細部描述，然後再針對經濟效應與碳排放的議題上面做討論。

4. 成果分析與討論

根據資料和計算結果進行分析與討論。

5. 結論與未來展望

將研究的成果作成論文，並提出對未來研究方向的想法與建議。

本研究的結構圖如圖 1.1 所示：

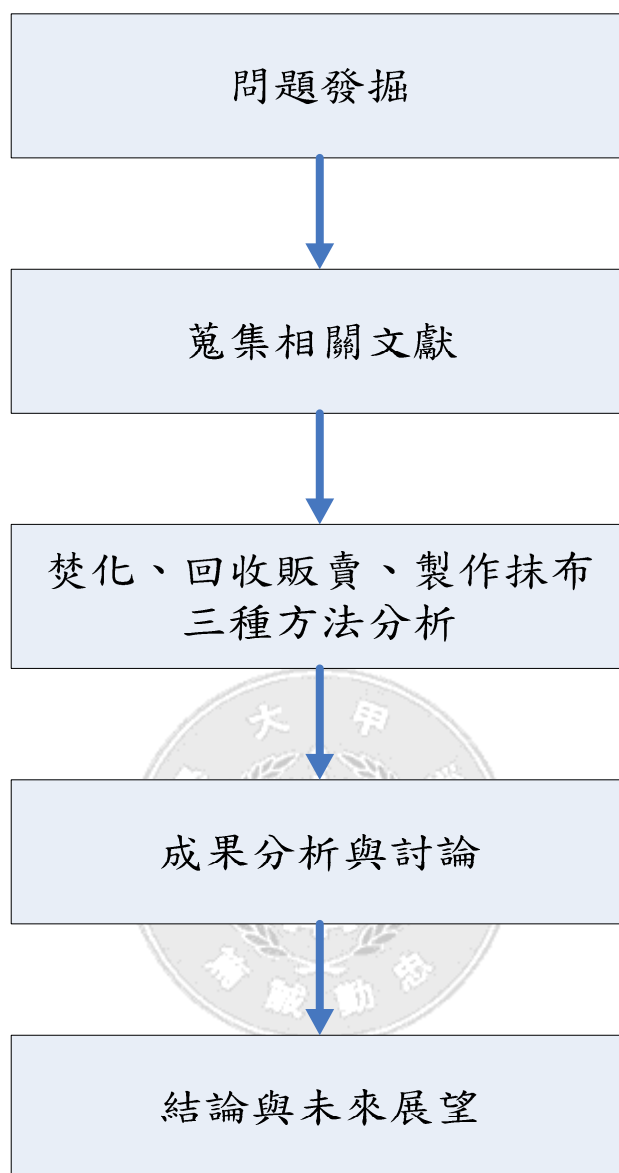


圖 1-1、研究架構

第二章 文獻探討

2.1 地球暖化

地球主要是藉由吸收太陽能的光熱能來維持地表溫度，另外有一部分的熱能是吸收由宇宙所散發出來的輻射能，且大氣中的二氧化碳(CO₂)和甲烷(Methane)又被稱為「溫室效果的氣體」，其效果可以使從宇宙吸收到的熱能保持一定時間，不要讓熱能這麼快的散發出去。假如缺少了這些「溫室效果的氣體」，地球的溫差將會變的非常大，生物也將難以生存下去。熱的吸收和釋放與保溫的平衡時，地球的平均溫度將會保持在攝氏 15°C 左右，可是當「溫室效果的氣體」不斷增加且地球本體無法消化到平衡值的時候，大氣圈中的熱能就越來越難散發到宇宙去，而使得地球的平均溫度越來越高，這種氣候的變動便稱為「地球暖化現象」。

1988 年世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)和聯合國環境規劃署(United Nations Environmental Program, UNEP)所提出的「氣候變遷評估報告書(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)」中指出，地球暖化已經有越來越危險的跡象，且 IPCC(2007)在第四次評估報告書中發表，人為因素促使地球暖化近百年(1906 年~2005 年)的溫度線性趨勢為 0.74°C，海平面上升的速率為 1.8 毫米/年，北極的年平均冰原面積以每十年 2.7%(2.1%~3.3%)的速率退縮，假若以這種速度發展下去，全球的氣候在 2050 年將會失去控制，各地將會出現暴雨，大雪，乾旱，洪水等重大災害。下圖 2.1 為 IPCC 所發表的地球平均溫度上升 0~5°C 時，環境會造成什麼變化：

溫度	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C
水	在熱帶潮濕地區和高緯度地區.可用水增加 在中緯地區和半乾旱低尾地區.可用水減少.乾旱增多 數億人口面臨更嚴重的供水壓力				
生態系統	珊瑚白化增加 物種分佈遷移和野火風險增大 高達30%的物種絕跡風險 大多珊瑚白化 大範圍珊瑚死亡 約40%生物系統受到影響 經緯翻轉環流減弱引起的生態系統變化 全球範圍顯著滅絕				
糧食	農民和漁民受到複雜的、區域的不利影響 低緯地區穀類產量降低 中高緯地區穀類產量增長 低緯地區所有農作物產量降低 某些地區穀類產量下降				
海岸線	洪水和風暴所造成的損失擴大 每年有幾百萬人遭受海嘯洪水 全球30%海岸消失				
健康	營養不良、腹瀉、心肺急病和傳染病負擔加重 熱浪、洪水和乾旱導致發病率及死亡率上升 某些疾病傳播媒介的分布發生變化 衛生機構負擔加重				

圖 2-1、地球上升 0~5°C 時的變化 (資料來源：IPCC2007 年第四次報告書)

2.1.1 生態系統

- 許多生態系統的適應彈性可能會因為氣候變遷而產生擾亂(如洪水、乾旱、野火、蟲害、海水酸化等)。
- 陸地生態系統的碳淨吸收可能在 21 世紀中葉之前達到高峰，隨後減弱甚至出現逆轉，進而對氣候變化起放大作用。

- 如果地球平均溫度增幅超過 1.5°C ~ 2.5°C ，目前評估的 20%~30%的動植物極可能面臨滅絕的風險。
- 地球平均溫度超過 1.5°C ~ 2.5°C 時，並伴隨著大氣二氧化碳的濃度增加，載生態系統結構與物種的生態相互作用、物種的地理活動範圍等預估會產生重大變化，尤其在水和糧食的供應方面產生不利的後果。

2.1.2 糧食

- 在中高緯度地區假如局部地區平均溫度上升 1°C ~ 3°C ，預估農作物生產力會略有提高，而某些區域如果升溫超過一個幅度後，農作物的生產力則會降低。
- 在低緯地區，特別是季節性乾燥的地區和熱帶區域，即使溫度僅有小幅增加 (1°C ~ 2°C)，預估農作物生產力也會降低，這會增加飢荒的風險。
- 在全球範圍內，隨著局部地區平均溫度提昇 1°C ~ 2.5°C ，預估糧食生產力會增加，但若超過這個範圍後，糧食生產力會降低。

2.1.3 海岸線

- 由於氣候變化和海平面上升，海岸沿岸預計會遭受更大風險，包括海岸帶侵蝕。這種影響將會因人類對海岸帶地區的壓力而加劇。
- 到了 21 世紀 80 年代，由於海平面的上昇，預估數千人口遭受洪水之苦，亞洲和非洲人口稠密的低窪三角洲所受影響的人數將會是最多，而小島嶼則會更加脆弱。

2.1.4 工業、居住環境和社會

- 位於海岸線和河江平原地區將是脆弱的工業和居住環境，其經濟與氣候敏感關係密切的地區是氣候事件亦發生的地區，特別是快速發展的都市會地區。
- 貧窮社區最為脆弱，尤其是那些集中在高風險地區的貧窮社區。

2.1.5 健康

- 預估數百萬人的健康狀況將會受到影響，其原因如下：營養不良增加，因極端天候事件導致死亡、疾病和傷害增加、腹瀉疾病增加，由於與氣候變化相關的臭氧濃度增加，心肺疾病的發生率上升，以及某些傳染病的空間分佈發生改變。
- 預估氣候變化在溫帶地區將會帶來某些效應，如因寒冷所造成的死亡減少，氣候變化還會產生一些綜合影響，如瘧疾在非洲的傳播範圍，總體上這些效應預計將會被溫度升高所帶來的負面影響所抵消，特別是發展中國家。
- 直接影響人類健康的重要因素：如教育、衛生保健、公共衛生計畫和基礎建設以及經濟發展。

2.1.6 水和氣候變化

- 氣候變化將會對山地積雪、冰河和小冰帽對可用淡水起關鍵作用，預估近幾十年的冰川物質普遍損失，積雪削減的速率會在 21 世紀期間加快，進而減少可用水量、降低水力發電的能源製造。
- 降水和溫度的變化導致逕流和可用水量產生變化，在高緯度地區和某些潮濕的熱帶地區，包括人口密集的東亞和東南亞地區，根據可靠的預估，到 21 世紀的中葉河川流量會增加 10%~40%，而在某些中緯度和乾燥地區，由於降水減少河川流量會減少 10%~30%。這將會對許多行業產生不利影響(如農業、供水、能源生產和衛生)，從區域層來看，由於氣候變化，灌溉用水的需求將會出現大幅度的增加。
- 許多地區暴雨事件顯著增多，包括那些預估平均降雨量會下降的地區，洪水的增加會給社會、經濟、基礎建設和水質帶來挑戰。且海平面的上昇將會加劇水資源的緊缺。

2.2 逆物流的定義

產品的逆物流系統是指執行產品回收、儲存、處理、再造之系統管理，主要強調範圍在產品回收、廢棄物處理、有害物質管理及再生、再利用及再製造等活動，因此現今的產品都已經在設計的初期就必須考慮到如何有效率回收及再造等問題，國外也有幾位學者如 Liu et al. (2002)、Wu and Dunn(1995)、Beamon(1999)等學者，也提出在傳統的供應鏈中，應包括逆向物流的管理活動，也就是產品到最終處理階段的流程中必須考慮到產品的再回收、物料(零件)的回收再利用、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, CLM)研究報告指出，逆物流之定義是「以廣義的觀點說明產量減產(Source reduction)、再生(Recycling)、替代(Substitution)、再利用(Reuse)與廢棄處理(Disposal)等方法進行之物流活動，在物流活動中扮演產品退回、維修與再製、物品處理、物品再生、廢棄物處理(Waste disposal)及有害物質(Hazardous material)管理的角色。Fleischmann (2000)認為根據上述的逆物流之定義，將其架構圖以下圖 2.2 表示。

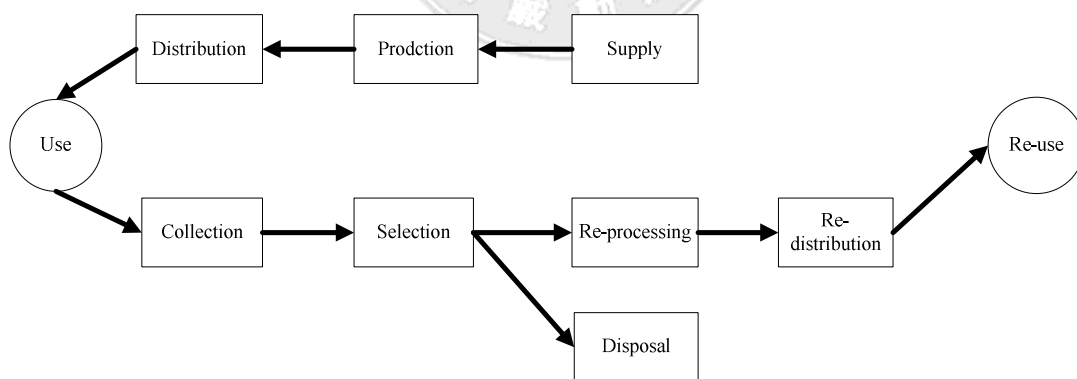


圖 2-2、逆物流機制(資料來源：Fleischmann (2000))

逆向物流與正向物流相互比較之下：其中有四點極為明顯的差異性，如下所述：

1. 逆向物流產生的地點、時間與數量是難以預測的，反之，正向物流的數量、發貨地點與準時是基本要求。
2. 逆向物流產生的地點較為分散、沒有一定的規則，也不可能一次集中向接受點進行轉移。
3. 逆物流發生的原因，通常與產品的物質與數量異常有關。
4. 逆物流的系統與作業方式，通常比正向物流來的多樣且複雜。

2.3 廢棄物與資源回收

衣服回收的時候就必須提及垃圾分類及回收，山口瑛子 (2007)提出在循環社會中，資源回收系統是最不可或缺的一個角色，圖 2.3 可清楚表示大部分的垃圾分類後的流向，以及處理方式。



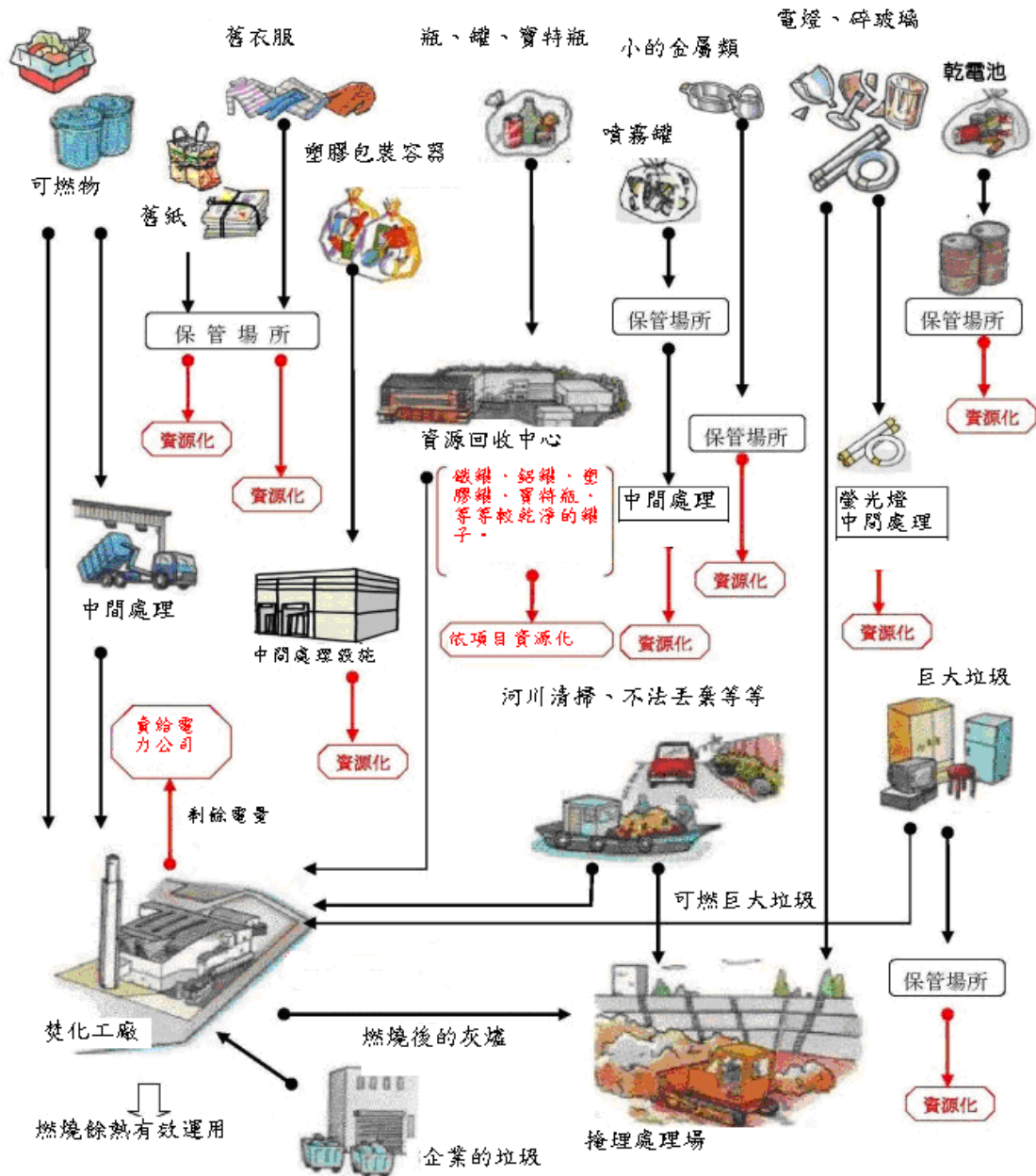


圖 2-3、垃圾的流動圖(出處：橫濱市環環資源局)

由上圖可了解到大部分的垃圾的流動方向，垃圾的終點有：

一、垃圾資源化：凡是可回收、處理、再利用的資源經由物理處理及化學處理成基礎原料(如金、銀、銅、鐵、錫、玻璃、塑膠等等)。

二、送到焚化廠：焚化處理的垃圾必須為可燃、且低污染的垃圾，焚化爐的主要效益：降低焚化後垃圾的體積，減少衛生掩埋的清運費用。焚化爐的邊際

效益：燃燒發熱的發熱量可提供發電之用，可補貼燃燒能源的損耗，但能源回收率的高低決定於垃圾的種類。

三、送到掩埋處理廠：垃圾掩埋的處理對象有兩個部分，第一個部分是不可焚化的部分（包括可回收、不可回收），第二個部分為焚化過後，無法再利用的爐渣。

蔡碧月（2004）在關於日本的廢棄物處理的研究中提出，有效的提高資源回收率最重要的關鍵點是在於國民的教育，從小學生就開始就灌輸正確的教育，再由小學生對環境的關心來喚起每個家庭對地球的關心，劉娜（2009）也指出中國與日本的資源回收系統最大的不同點就是：中國是利用獎勵制度，也就是有價值的資源回收效率才會提高，而日本是注重對環境的教育、思想、文化上，故在成效上日本遠遠超過亞洲的所有國家。王文芳（2006）與李坤陸（2003）則指出台灣地區的資源回收績效屬於前段班的原因是我國的回收方式比較多元化，此方式的優點是可以保持適當的市場競爭性，但須注意市場的惡性競爭與特定業者壟斷性等問題。

2.4 日本舊纖維的歷史

關於日本的舊衣服(舊纖維)回收的歷史，從江戶時代就有其蹤跡，不過當時的回收業者並沒有現代的專精分工，吉川みどり(2004)提及直到二十世紀初期，日本工業開始蓬勃發展，擦拭機械油污的抹布的需求大量增加以後，舊衣回收產業逐漸形成，為何擦拭油污的抹布大都是用舊衣服做成呢？其最大的原因並不是環保意識，而是利用價值，綿製品的纖維經過反覆洗滌之後吸水性和吸油性會大幅提高。第一次世界大戰時候歐洲為主戰場，需要大量的舊纖維物品，日本從這個時候第一次開始海外輸出，到了第二次世界大戰時，全國所有物資包括舊纖維製品都為日本軍方掌控，回收業者也大幅被精簡編入軍方管控單位，戰爭結束

後，日本全力發展經濟，回收業者也漸漸回升，到了 1950 年韓戰爆發，美軍為主力的國聯軍參戰，日本成為物資補給國家，舊纖維產業成為了纖維史上最好的景氣時期，之後日本進入了高度成長期，重工業的成長造成抹布的大量需求，榮景持續到第一次石油(1973 年)危機後開始步入景氣低迷的狀態，其原因不外乎日本的人事費攀升到世界屬一屬二的高峰，加上石化纖維的出現，舊衣服分類這種高度勞力密集的工作已經不合乎經濟效益，另外，隨著產業外移，需要大量抹布的汽車業等重工業紛紛離開日本，需求也開始壓縮，直到二十世紀末期開始，環保意識增加，多年的家庭垃圾分類教育也深植人民的心中，大大減少地方政府所需要付出的垃圾分類費用，另外慈善事業的推廣促成二手衣輸出第三國家販賣，再加上中國的經濟成長使的所有的原物料上漲，舊纖維產業的活動也開始些微復甦。另外小川さやか(2007)在坦尚尼亞二手衣市場的研究中指出先進國家的二手衣在該國大大改變了生活，促進了真正的沒有政策干預的真正的自由市場，因此我們可以了解舊衣服回收產業最終確實實現了它本身的意義。



第三章 研究方法

3.1 舊衣服回收體系之分析

目前主要的回收處理方式分為三種：回收再利用、回收再處理、回收後進行焚化處理。

1. 回收再利用：將大眾所丟棄的衣物進行收集消毒後，壓縮打包運送至海外給需要衣服穿的人們。
2. 回收再處理：將衣服回收後裁剪成抹布，其用途主要是用在重工業的油污擦拭，其餘無法成為抹布的碎片將收集作為緩衝材料。
3. 回收後進行焚化處理：將其視為垃圾進行焚化處理。

下圖 3.1 就是介紹衣服從家庭丟棄後到最後處理的流程圖。



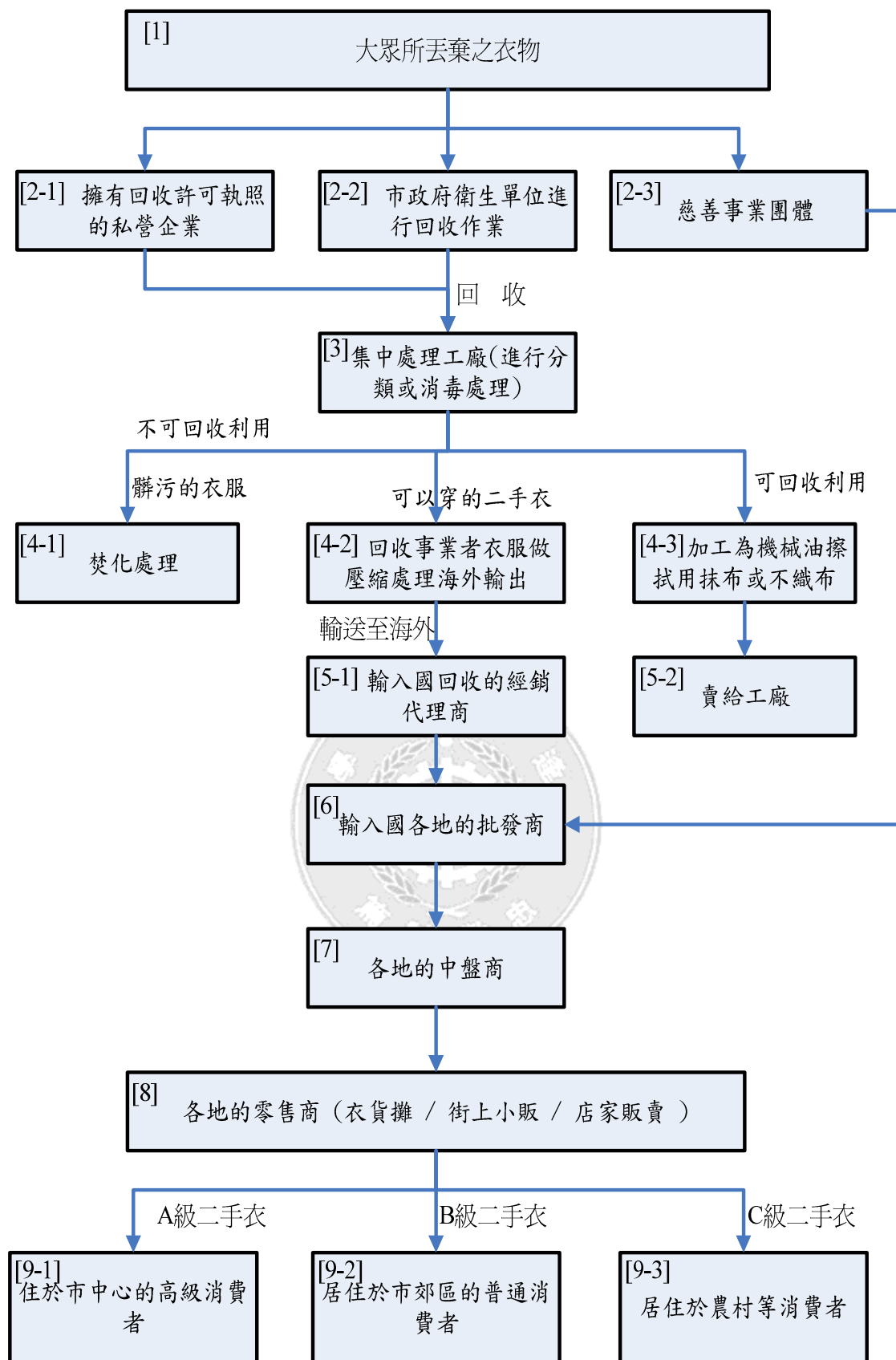


圖 3-1、舊衣服回收的流程圖

衣服回收流程圖的說明：

[1]大眾所丟棄之衣物：

依地區的不同，舊衣服的回收日期和收集區也有所不同，以較常見的例子是大概都為一個月兩次收集日，丟棄之衣物就會在指定的地區被回收車載走。

[2-1] 領有市政府回收許可執照的私營企業：

而前來收集的回收車中，部分都是領有市政府回收許可執照的私營企業，這些企業自己擁有車隊去回收，也有處理機器，通常依照政府的指令在所規劃的地區進行回收任務。

[2-2] 市政府的回收：

市政府的回收車輛主要是收受市民丟出的所有垃圾，與私營企業專收可回收物品的車輛是有點不一樣，除了主要住宅區外很多地區都委託私營企業進行回收。

[2-3] 慈善機構事業：

慈善機構也會在各處宣傳衣服收集日及收集地點，用自己的車隊去進行回收、處理，在運送到海外去。

[3] 分類處理廠進行初步的分類與消毒。

被送到分類處理廠的衣服中主要分為兩種：可回收再利用的衣物和不可回收再利用的衣物，可回收的基本上會做簡單的消毒與目視分類，太髒的會挑起來。而可回收再利用的衣物又大致上分為三個部份：(1)可以直接穿的二手衣 (2)無法當作二手衣售出(衣服上有明顯地小破洞)，狀態還可以的衣服 (3)衣服有明顯地破損，且無法裁剪成抹布的衣服。

[4-1] 焚化處理。

其中無法回收再利用的衣服就是指衣服上有明顯髒污(油垢、污垢、等)的衣服，這些衣服都被當作可燃垃圾進行焚化處理。

[4-2]可直接穿的二手衣：

這些衣服是有經濟價值的衣物，主要銷往未開發國家或開發中國家，這些衣服經過簡單的消毒後，集中在一區讓其他自營的回收廠商來競標。

[4-3]狀態還可以的衣服：

這些衣服無法當作二手衣進行拍賣，但是可以裁剪作為機械燃油的擦拭抹布，經過加工後通常就直接賣給工廠。

自營業的回收事業者跟市政府競標後，利用自己的運輸車將這些有經濟價值的二手衣載回自己的工廠進行壓縮加工，所謂壓縮加工是利用大型的油壓加壓機將投入的衣服壓縮成一個個易於堆疊搬運的四方塊狀的衣塊，這是方便放進去貨櫃運送至海外的必要處理。

[5-1]輸入國回收的經銷代理商：

貨櫃一旦進入了輸入國的以後，都會由經銷代理商來做整體的進貨、開櫃、檢查動作。然後進行招標。

[6]輸入國各地的批發商：

各地的批發商在碼頭競標後，標到的貨櫃就直接載回據點進行拆櫃、給中盤商做衣塊的競標動作。

[7]各地的中盤商：

各地的中盤商就會跑去招標的地方以自己的經驗來對未開封的衣塊進行競標，中盤商標到的衣塊就會運送到自己的工廠雇用大量的人力來對衣服進行等級的分類，大致上衣服的依品質和流行來區分等級可分為為 S、A、B、C 四個等級，衣服的等級分配：

S 等級的衣服：正名牌的衣服或是以明星代言過衣物為主。這類衣服通常非常稀少，也是二手衣中擁有最大利潤的產品，1 公噸的衣服當中出現 1~2 件 S 級的衣服其利潤就可以抵過成本了。

A 等級的衣服：主要是以仿名牌的衣服，或是有符合流行潮流的衣服，這些衣服可以在當地賣出比便宜的新衣服還要貴一點點的價錢，大概有

8%~10%左右，是整個二手衣的主要利潤來源。

B 等級的衣服：品質上還可以，流行性稍嫌不足的衣服，售出價錢會比便宜的新衣服還要在低三分之一左右，其數量大概佔 25~35%左右不等

C 等級衣服：品質和流行性不足的衣物，是所有二手衣數量最龐大的，也是最沒有經濟利益的衣服，多半是賣到農村去或者是當成垃圾處置。

[8] 零售商(衣貨攤/街上小販/店家販賣)：

零售商就會到中盤商那邊批貨，通常零售商的資金都非常地有限，以坦尚尼亞(非洲的小國家)為例，一個零售商的資金頂多只能買 A 等級的衣服接近 10 件左右，但是中盤商會因為要消除 B 等級和 C 等級的庫存，會利用有形和無形的壓力讓零售商不能單單只買 A 等級的衣服。

[9-1] 住於市中心的高級消費者

零售商會把 A 等級的衣服販賣給住於市中心的高級消費者。

[9-2] 居住於市郊區的普通消費者

零售商會把 B 等級的衣服販賣給居住於市郊區的普通消費者。

[9-3] 居住於農村的消費者。

零售商會把 B 等級的衣服販賣給居住於農村的消費者。

雖然二手衣的目的是送到第三國家的市場，但是並非所有的國家的二手衣貿易商可以在中間獲取利潤，通常只有已開發國家(例如歐、美、日本等等)的二手衣貿易商才有辦法在這個產業中存活，原因是歐美的消費習慣盛行，家庭所丟出的二手衣沒穿過幾次的衣服也不算少數，甚至一次都沒穿過的也普遍存在，另外因為生活水準比較高，所以丟出來的衣物裡面 S 等級的衣服(名牌衣服)相對比例也比開發中國家多很多，而二手衣貿易商最大的獲益來源就是倚靠這些 S 等級的衣物，而通常這些衣物也鮮少出現在第三世界國家的一般平民百姓之中，在先進國家衣服收集處裡時已經大部分都被挑選出來賣到專收品牌二手衣的專賣店了，尤其在日本市場，許多歐美國家的二手衣收集商，例如美國最大的二手衣貿易商(超越美洲貿易公司 Trans-Americas Trading Company)都把有價值的衣物

(例如 Levis 牛仔褲、運動紀念 T 桖、米老鼠 T 桖等等)以極高的價錢賣到日本，因為日本年輕人追求流行對這個市場有非常大的需求，尤其是已穿過的但是已經絕版的 Levis 牛仔褲，其價錢在日本商店可以翻一倍以上。

而開發中國家所丟出來的舊衣服(例如台灣、中國、泰國等)，因為國民普遍都還保留勤儉特性，故所丟出來的衣服通常都是穿過好幾次、洗過好幾次的衣服，而這種衣服最適合拿來裁剪當成抹布，雖然以二手衣產業的利潤不大，但是開發中國家抹布的需求也是最多的，所以在抹布產業當中也是有利可圖的。



3.1.1 舊衣服回收再利用的分析

舊衣服經過回收送到工廠在透過壓縮處理後送入貨櫃在經由港口送到國外的客戶手中即是舊衣服回收再利用的流程，由下圖 3.2 所示。

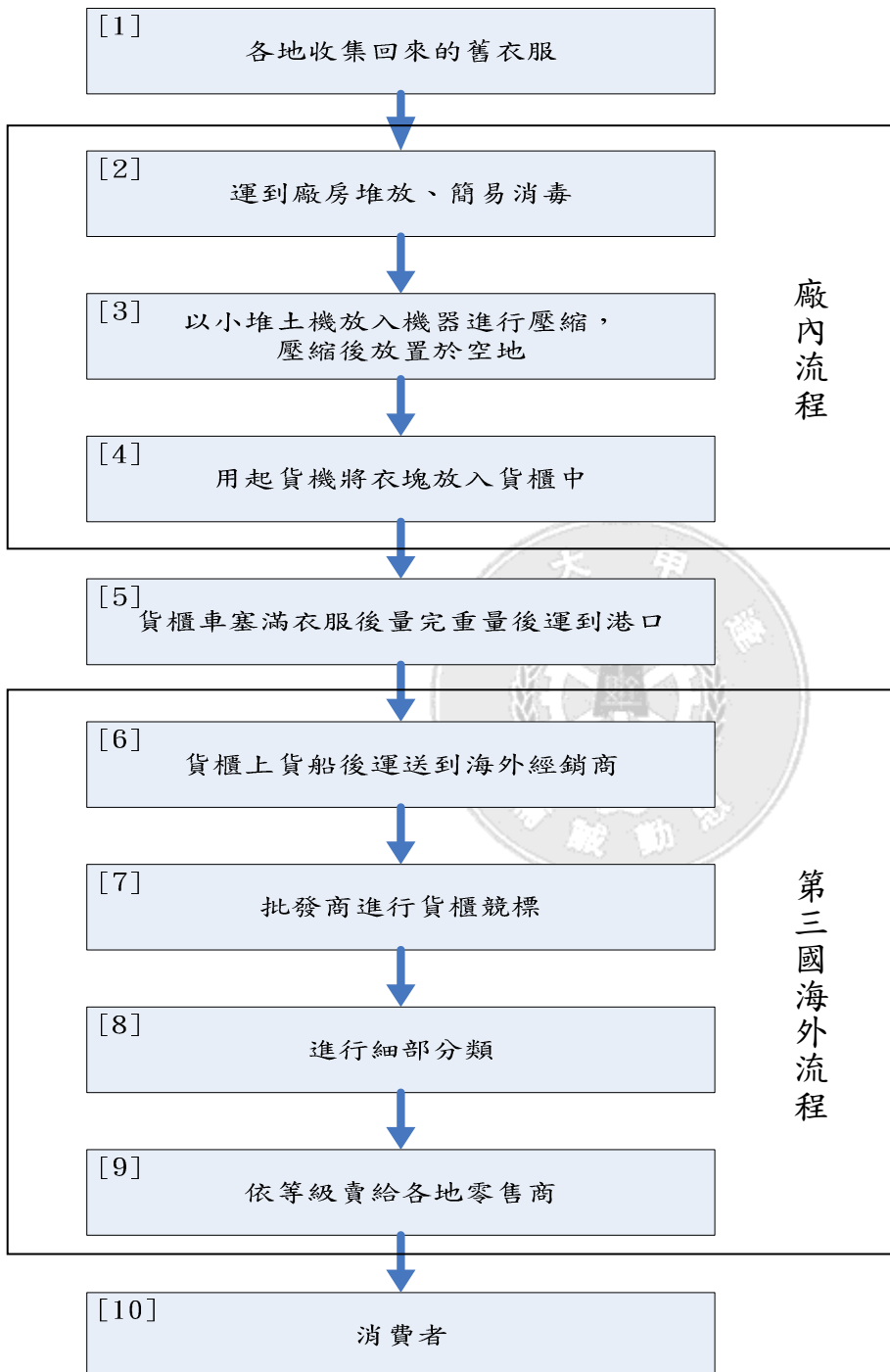


圖 3-2、舊衣服回收再利用的流程圖

此流程的說明如下：

[1]各地收集回來的舊衣服：

除了依據各回收業者所擁有的回收路線進行回收外，另外還有跟市政府競標大量的市政府回收的舊衣服，市政府會將回收的衣服集中在某幾區的倉庫，由各大回收業者來進行競標，此一好處是節省到處去回收的時間與燃料費，但是如果競爭太過激烈有可能會不合乎成本。而通常從市政府的倉庫運衣服之前，那邊的衣服都已經事先處理過了。

[2]運到廠房置放，並做簡易消毒：

通常從市政府那邊下標回來的衣服都是已經經過處理消毒的，而業者自行到市區蒐集回來的衣服在進廠後，都會用稀微的消毒水給與簡單的消毒，消毒水量不能太多因為衣服太潮溼會產生黴菌。

[3]將衣服放入機器進行壓縮：

利用小推土機將送進來的舊衣服放入油壓機中進行壓縮，放進去衣服的量不能太多也不能太少，因為太多的話會把捆包的繩索給壓破，量如果太少的話不但不合乎效率，如果不能盡量塞滿貨櫃只會浪費空間、浪費金錢。

通常一個衣塊的重量大概會控制在 450Kg~500Kg 左右，經過工廠測量計算之後一個衣塊平均是 470Kg 左右。

[4]用起貨機將衣塊放入貨櫃中：

當衣塊堆疊到一定的數量以後，會叫空貨櫃來把這些衣塊利用起貨機一個一個裝入貨櫃，一個貨櫃通常可以塞上 38~42 個衣塊，平均塞滿後的貨櫃大概淨重 20 公噸左右。

[5]貨櫃車量完重量後運送到港口：

通常這些舊衣服處理工廠都會設置在距離港口最近的地方，派遣過來的空貨櫃會在進廠的時候用地磅量測完後裝入舊衣服，裝滿之後再秤完一次重量後就開往港口。

[6]貨櫃上貨船運到海外經銷商：

貨櫃上貨船後就是交給海運公司，通常運到海外的客戶都是以 FCA 方式運送，賣方(K 公司)只需要負責出口報關，交給馬來西亞的買家之後，後續開櫃費、EDI 鍵輸費、進出費、理貨費等等均由買方來負責。

[7]批發商進行貨櫃競標：

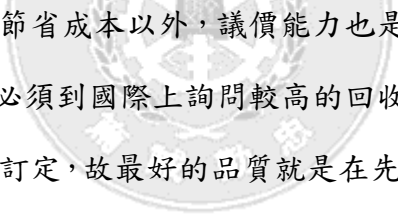
各地的大型批發商會在主要進貨港口內等著競標貨櫃，得標的貨櫃迅速送往批發商的倉庫，在拆櫃後讓各地的中盤商以衣塊為單位來競標。

[8]拆櫃進行分類：

得標的中盤商就以數以百名的員工依照衣服的質料、樣式、牌子、種類、等等進行非常細部的分類。

[9]依等級賣給各地零售商：

零售商會以自己所服務的客户需求去跟中盤商購買衣服。最後才送達到消費者手上。



這個產業重心除了在節省成本以外，議價能力也是最受矚目的，除了擴大在日本的回收數量以外，也必須到國際上詢問較高的回收價格，而較高的回收價格通常都是由產品的品質來訂定，故最好的品質就是在先進國家中完全沒有處理過的衣服，也就是沒有事先被挑過的衣服，一旦買方多次發覺來的貨櫃中有價值的 S 級衣服越來越少的時候願意收購的價格就會越低。另外衣服的來源區也是很重要的，世界各地都一樣，富裕住宅區丟出來的衣服都是品質比較好的物品。能掌握這些區域就等於是掌握了商機。

3.1.2 舊衣服回收再處理分析

抹布主要的功能是用來吸水吸油，舊衣服製作成抹布的流程如圖 3.3 所示：

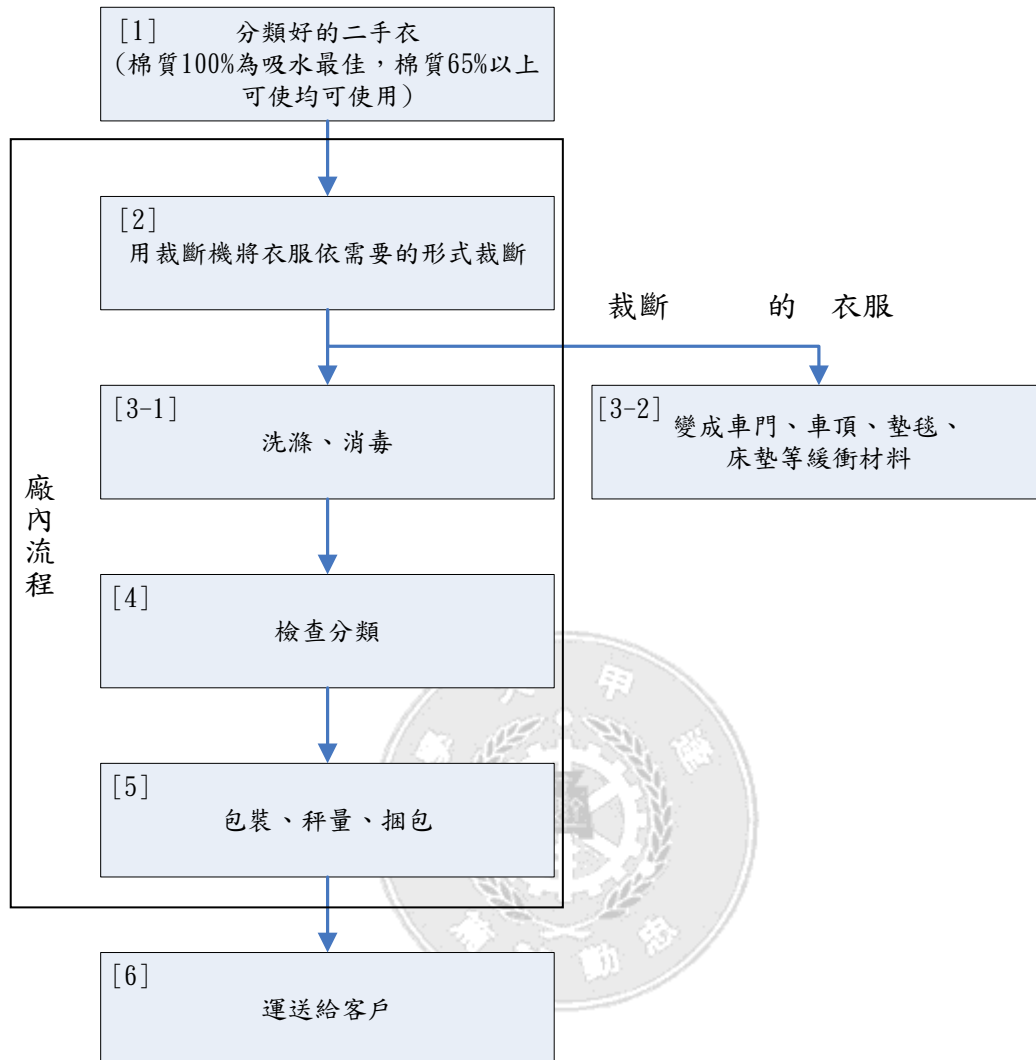


圖 3-3、二手衣製作抹布流程圖

[1]二手衣到抹布：

是由家庭所丟棄的二手衣來再生製作而成的產品，主要功用是用來擦拭，尤其是工廠裡清潔機器或擦拭油污等廣泛的被大量使用，抹布的製成通常都是客戶要求的四角型，但因為主要功用僅僅是用來擦拭油污的，即使產品不是正四方形也是會被客戶所接受，回收的舊衣服裡，以木棉成分 100%的衣服為最佳素材，棉的成分越高吸水吸油的性質就越好，然而，現今的衣服也不

少尼龍成分或是人造纖維等衣服，故含 65% 木棉成分且衣服的完整性良好的衣服也可以用來製作抹布。另外最近許多旅館的丟棄寢具及換洗毛巾等等也多數被用來再生抹布。

[2]裁斷機：

使用高速轉輪的裁斷專用機器，把衣服上的飾品或者鈕釦拆掉後，先將袖口等地方切開，再以衣服為中心以有效的面積剪裁成抹布。

[3-1]洗滌和消毒：

利用工業用大型洗滌機將剪裁好的抹布和洗衣精放入，用高溫蒸氣進行洗滌及消毒，之後放進工業用大型分離器的脫水機脫水後用乾燥機來烘乾。

[3-2]裁斷後剩下的衣服：

裁減後零碎的部份再做細切，變成車門、車頂、墊毯、床墊、坐墊、等的材料，這個部份經濟價值非常微小，量的部份也相對些微，如果沒有需求的話會變成可燃垃圾丟去焚燒。

[4]檢查分類：

將裁好的抹布做檢查，看有沒有破洞或者是製造不良等現象，將不良品挑出。

[5]包裝和捆包：

將烘乾的抹布利用自動袋裝機有效率地將抹布進行包裝。標準規格化(例如 1 公斤 1 袋或 2 公斤 1 袋)。再利用自動捆包機將 5 袋為一單位進行捆包後封箱。

成品樣本及參考價格

內容物：大多是由回收的襯衫、T 恤、寢具襯布、POLO 衫、毛巾等等，種類非常多樣。

功用：適用於油污、溶劑、塗料等擦拭，抹布的吸收率依照回收的衣服的特性不同有所差別，含棉率 100% 的二手衣為最佳，另外衣服的質地特性也有所差別，質地柔軟的衣服相對比粗糙的衣服擁有更良好的吸收率。

適用場所：各種印刷工廠、汽車整備工廠、建築塗裝、機械製造工廠等幾乎大

多數的輕、中、重工業都適用。

樣品的棉比率：1、棉 100%。2、棉 90%、化學纖維 10%。3、棉 65%、化學纖維 35%。大多用上述吸收率較高的素材來製造。

標準大小：四方形 60~70cm，但是依照客戶要求也有 30cm、40cm、50cm 四方形的樣式可供選擇。

1Kg 張數：以 60~70cm 四方標準型來說，1Kg 約有 12 張。

上表列述了簡單幾項重要規格之價格外，還有很多種類的價格尚未列出，每一大項裡面的棉質含量的不同，價格也會多少有所變動，例如素質為白色的襯衫與 T 恤棉質 100%的價格是 458.5 元/kg，棉質 90%的價格是 430 元/Kg，棉質 60%的價格是 400 元/kg。當然這只是某一家公司的參考價錢，依照公司不同，核心能力的不同，出售的價格也會不一樣，但是經過多家比較以後發現最便宜的抹布價格 1Kg 都幾乎在 200 元以上。

3.1.3 舊衣服回收焚化處理

在日本，因為掩埋場地稀少(山多平原少)，故一般垃圾有 65%以上都會經過焚化處理(其餘的經由資源回收與直接掩埋處理)，再將燒毀後的灰燼進行掩埋，不少被當成可燃垃圾的二手衣以及做抹布後剩下的衣料最後也是丟去焚化爐做最後處理。如下圖 3.4 所示

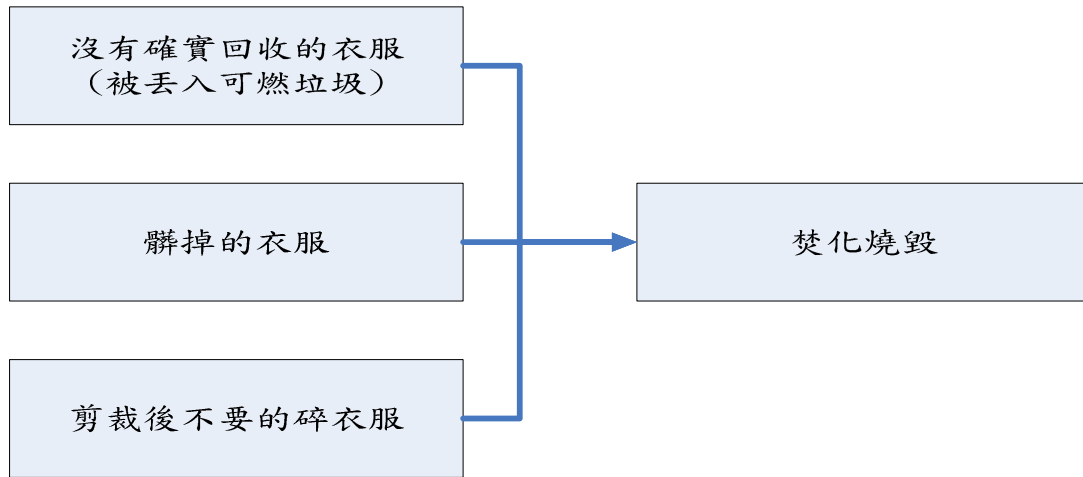
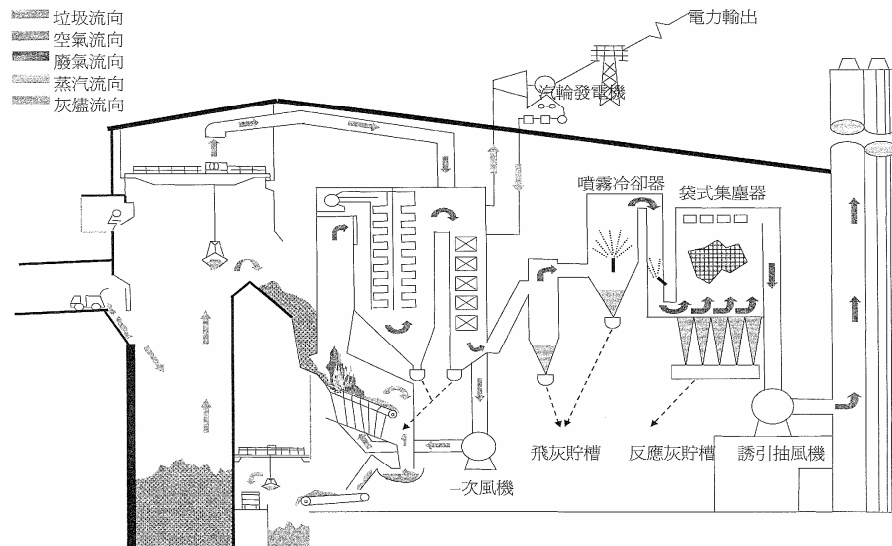


圖 3-4、焚化的衣服種類

日本因為人口密集且土地狹小，所以不能像台灣一樣到處放一個舊衣服回收箱，另外舊衣服回收日期也比較少且特定，故有不少家庭可能急著出清就直接把衣服當作可燃垃圾丟棄，另外髒掉的衣服還有做成布被裁剪的衣服也都是當成可燃垃圾丟棄，最後都進入焚化爐焚毀。焚化處理流程如下圖 3.5 所示：



1

圖 3-5、焚化爐流程模擬示意圖

焚化處理的流程說明如下：(參考圖 3-5)

1. 垃圾收受：

垃圾車進廠都經過地磅秤重，隨後進傾卸區將垃圾到入儲存槽，槽內的垃圾再利用吊車抓取，投入爐體上的進料斗。

2. 進料焚化：

進料斗的垃圾進入爐內後，再由爐床動作使垃圾鬆動、翻攪，目的是使之完全燃燒，且維持燃燒溫度達到 1000°C 以上，使有害物質完全分解。燃燒空氣依功能分為一次空氣及二次空氣，一次空氣提空爐床垃圾之燃燒，通常由垃圾坑內抽取，以保持坑內為負壓狀態，減少臭氣外洩。二次空氣則是抽取廠區周圍的空氣，目的是增強廢棄流動，使燃燒反應更加完全。其垃圾流動方向對照圖 3-5 的垃圾流動。

3. 廢氣處理：

廢氣離開鍋爐後，經旋風集塵器初步去除後即進入噴霧冷卻塔以降低廢氣溫度，之後噴霧冷卻塔出口處噴入消石灰和活性碳粉來中和、吸附廢氣中的氯化氫、硫氧化物等酸性氣體、重金屬和微量有機污染物。接著透過濾過性集塵器去除所有粉塵變成乾淨的廢氣，再由抽風機使其從煙囪排出，排出的廢氣皆由連續監測系統偵測其不透光率、一氧化碳、氮氧化物、氯化氫、硫氧化物等污染物濃度，同時與環保局系統監視連線。廢氣的處理對照於圖 3-5 的廢氣流動。

4. 廢熱回收：

垃圾焚化所產生的高溫廢氣，由鍋爐冷卻並回收其熱能，產生蒸氣，由鍋爐產生的蒸氣主要提供蒸汽渦輪發電機來發電，部分供廠內附屬設備使用，蒸氣渦輪發電機所產生的電力，供廠內使用外剩餘的電力回賣給電力公司。蒸氣回收對照圖 3-5 的蒸氣流動。

5. 灰渣處理：

垃圾經過焚化後，爐渣經由爐內排出到出灰器，經水冷方式冷卻後，再

由機械裝置連續排出至輸送機，將爐渣存於爐渣儲存坑，之後再用卡車運至指定的衛生掩埋場進行掩埋。灰渣處理對照圖 3-5 的灰渣流動。

3.1.4 不同回收處理的比較方法

隨著長期回收下來，舊衣服所回收的數量會趨近一個穩定的狀態，以往日本回收舊衣服大多為了製造抹布的需求，裁剪後零碎的部份再做細切，變成車門、車頂、墊毯、床墊、坐墊、等的材料，只不過這個部份經濟價值非常微小，量的部份也相對些微，故不在此論文的討論之中。然而隨著產業外移，抹布的需求已經萎縮許久，以日本的高人事成本來看，製作抹布已經幾乎快到沒有利潤的狀態，而以往回收的舊衣服都是直接丟入焚化爐轉換成能源，但是也相對的製造出大量的二氧化碳，因此本論文的重點在於：以成本考量來分析舊衣服回收的三種方法(1.焚化、2.二手衣再利用、3.轉換抹布再利用)，假若這些應該被焚毀的舊衣服全部拿去第三國家市場販賣，不僅創造了產業經濟，又可以減碳(省下燃燒費用與大幅減少二氧化碳的排放)，再以節能減碳的議題來討論。

3.2 溫室氣體排放計算

影響地球的溫室氣體最主要有三種：二氧化碳 CO₂、甲烷 CH₄、氧化亞氮 N₂O，主要是依據來自日本經濟產業省及國土交通省(2009)發表的物流系統相關活動 CO₂ 排放測定方法 (ロジスティクス分野における CO₂ 排出量算定方法 Ver. 3.0) 來進行計算，依照資訊的掌握程度可利用五種不同的基本公式來計算。

1. 燃料法：是屬於一種標準手法，在燃料的消耗量能充分掌握的情況下使用。

根據燃料的使用量來算出 CO₂ 的排放量：

CO₂ 的排放量 = 燃料使用量 × CO₂ 的排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

其中 GWP 值是指全球暖化潛勢，可由查表產生。

從燃料的使用量來算出 CH₄ 的排放量：

CH_4 的排放量 = 燃料使用量 \times CH_4 的排放係數 \times CH_4 的 GWP 值

從燃料的使用量來算出 N_2O 的排放量：

N_2O 的排放量 = 燃料使用量 \times N_2O 的排放係數 \times N_2O 的 GWP 值

2. 燃料費用法：是屬於第一種替代手法，在無法掌握燃料的消耗量，但可掌握燃料費用的情況下使用此方法。

基本上是利用輸送距離和燃料費用等兩種因素來算出 CO_2 的排放量：

CO_2 的排放量 = 輸送距離 \div 燃料費用 \times CO_2 的排放係數 \times CO_2 的 GWP 值

從輸送距離和燃料費用來算出 CH_4 的排放量：

CH_4 的排放量 = 輸送距離 \div 燃料費用 \times CH_4 的排放係數 \times CH_4 的 GWP 值

從輸送距離和燃料費用來算出 N_2O 的排放量：

N_2O 的排放量 = 輸送距離 \div 燃料費用 \times N_2O 的排放係數 \times N_2O 的 GWP 值

3. 噸位距離法：是屬於第二種替代手法，在無法掌握燃料消耗量與燃料費用的時候，但擁有貨物運送輸送量的情況下使用。

根據車輛的種類與搭載率所產生貨物的輸送量來計算 CO_2 的排放量：

CO_2 的排放量 = 輸送量 \times 噸位距離法 CO_2 排放原單位 \times CO_2 的 GWP 值

從車輛的種類與搭載率、貨物的輸送量來計算 CH_4 的排放量：

CH_4 的排放量 = 輸送量 \times 噸位距離法 CH_4 排放原單位 \times CH_4 的 GWP 值

從車輛的種類與搭載率、貨物的輸送量來計算 N_2O 的排放量：

N_2O 的排放量 = 輸送量 \times 噸位距離法 N_2O 排放原單位 \times N_2O 的 GWP 值

4. 輸送區間貨物重量法：是屬於第三種替代方法，此方法適用於短程運送，尤其是用在委託物流公司運送的時候。又稱為地域區間矩陣 (Matrix) 法。

根據不同車輛和不同地域區間的貨物重量來計算 CO_2 的排放：

CO_2 的排放量 = 區間貨物重量 \times 區間 CO_2 排放原單位 \times CO_2 的 GWP 值

從不同車輛和不同地域區間的貨物重量來計算 CH_4 的排放

CH_4 的排放量 = 區間貨物重量 \times 區間 CH_4 排放原單位 \times CH_4 的 GWP 值

從不同車輛和不同地域區間的貨物重量來計算 N_2O 的排放

N_2O 的排放量=區間貨物重量 × 區間 N_2O 排放原單位 × N_2O 的 GWP 值

5. 運送費用法：是屬於第四種替代方法，同樣是運用在委託物流公司運送貨物的運送費用，此方法的精確度最低。

利用運送的費用來計算 CO_2 的排放量：

CO_2 的排放量=運送費用 × 運送費用法 CO_2 排放原單位 × CO_2 的 GWP 值

從運送的費用來計算 CH_4 的排放量

CH_4 的排放量=運送費用 × 運送費用法 CH_4 排放原單位 × CH_4 的 GWP 值

從運送的費用來計算 N_2O 的排放量

N_2O 的排放量=運送費用 × 運送費用法 N_2O 排放原單位 × N_2O 的 GWP 值

註：全球暖化潛勢(Global warming potential, GWP)：是衡量溫室氣體對全球暖化的影響。是將特定氣體和相同質量二氧化碳比較之下，造成全球暖化的相對能力。二氧化碳的全球暖化潛勢定義為 1。全球暖化潛勢是溫室效應的影響因子之一。

3.2.1 舊衣服回收再利用的氣體排放分析

舊衣服回收再利用之氣體排放分析需要考慮運輸能源耗用與物流倉儲內能源耗用等兩種部分。

運輸能源耗用部分：

依照上述的特性，本論文陸運和海運的部分使用替代手法 B 來計算，其算式特性是把貨卡車的最大搭載率中細分下的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的原排放係數來乘於輸送量，其計算公式由下表示：

CO_2 的排放量= 輸送量($t \cdot km$) × (1/1000) × CO_2 的排放係數($t \cdot CO_2/k1$) × CO_2 的 GWP 值

CH_4 的排放量= 輸送量($t \cdot km$) × (1/1000) × CH_4 的排放係數($t \cdot CH_4/k1$) × CH_4 的 GWP 值

N_2O 的排放量= 輸送量($t \cdot km$) × (1/1000) × N_2O 的排放係數($t \cdot N_2O/k1$) × N_2O

的 GWP 值

另外，為了符合個案的計算，以下的單位搭載率計算公式是替代手法 B 的附屬公式，主要是考慮到貨車裝運貨物時的積載率所衍生出來的公式，其公式如下：

單位搭載率的每 t-km 的燃料使用量：由下列的公式為基礎：

$$[\text{汽油車}] : \ln y = 2.67 - 0.927 \ln(x/100) - 0.648 \ln z$$

$$[\text{柴油車}] : \ln y = 2.71 - 0.812 \ln(x/100) - 0.654 \ln z$$

y：輸送每 t-km 的燃料使用量(L)

x：搭載率(%)

Z：最大搭載量(Kg)

海運的部份因為也是利用柴油的緣故，故也是利用單位搭載率的計算公式計算，而不同的是，貨櫃的搭載率無法像貨櫃一樣有這麼高的水準。通常一個滿的貨櫃實際上所利用的空間只在 80% 左右。

物流倉儲據點的能源耗用部份：

物流中心、倉庫、工廠、店鋪等有保管、包裝、進出貨、產品加工等等活動者，運用標準計算式來計算電氣使用量和燃料使用量。

電器設備的 CO₂ 的排放量：電力使用量(KWh) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

用水設備的 CO₂ 的排放量：用水使用量(KWh) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

壓縮用機油與堆高機燃料油的氣體排放量：

燃料油的 CO₂ 的排放量：燃料油使用量(L/年) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

燃料油的 CH₄ 的排放量：燃料油使用量(L/年) × CH₄ 排放係數 × CH₄ 的 GWP 值

燃料油的 N₂O 的排放量：燃料油使用量(L/年) × N₂O 排放係數 × N₂O 的 GWP 值

化糞池氣體的 CH₄ 的排放量：活動數據(人數) × CH₄ 排放係數 × CH₄ 的 GWP 值

3.2.2 舊衣服回收再處理的氣體排放分析

舊衣服回收再處理之氣體排放計算需要考慮運輸能源耗用與與處理工廠能源耗用。

運輸能源耗用部分：

運輸部分所使用的公式一樣是使用替代方案 B 的單位搭載率噸位公里法，唯回收在處理並不需要運用到海運，故只有陸運，其公式為下：

$$[\text{柴油車}] : \ln y = 2.71 - 0.812 \ln(x/100) - 0.654 \ln z$$

處理工廠能源耗用的部份：

工廠等有儲存、包裝、進出貨、抹布剪裁等等活動者，運用標準計算式來計算電氣使用量和燃料使用量。

電器設備的 CO₂ 的排放量：電力使用量(KWh) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

用水設備的 CO₂ 的排放量：用水使用量(KWh) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

堆高機燃料油的氣體排放量：

燃料油的 CO₂ 的排放量：燃料油使用量(L/年) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

燃料油的 CH₄ 的排放量：燃料油使用量(L/年) × CH₄ 排放係數 × CH₄ 的 GWP 值

燃料油的 N₂O 的排放量：燃料油使用量(L/年) × N₂O 排放係數 × N₂O 的 GWP 值

化糞池氣體的 CH₄ 的排放量：活動數據(人數) × CH₄ 排放係數 × CH₄ 的 GWP 值

3.2.3 舊衣服回收焚化的氣體排放分析

舊衣服回收焚化之氣體排放計算涉及運輸能源耗用與焚化場能源耗用

運輸能源耗用部分：

運輸部分所使用的公式一樣是使用第二替代方案的單位搭載率噸位公里法，唯回收在處理並不需要運用到海運，只有陸運，另外，和回收再處理與回收再利用不同的地方在於運送的距離，其公式為下：

$$[\text{柴油車}] : \ln y = 2.71 - 0.812 \ln(x/100) - 0.654 \ln z$$

其中 y 是指每噸公里所消耗之燃料使用量，單位是公升，x 是指裝載率，z 是指卡車噸位 (Kg)。

焚化爐能源耗用部分：

焚化爐燃燒時必須利用燃料油來持續將溫度提高至 1,000°C 以上才能有效地

將垃圾較完全地燃燒，因此光是靠垃圾來提高溫度是不可能的，燃燒過程中還必須加入大量的燃料油來燃燒，故焚化爐(柴油燃燒溫室氣體當量)為下表示：

(1) 燃料油燃燒溫室氣體排放量=

焚化爐燃料油年度使用量 x 燃料油燃燒 CO₂ 的排放係數 x CO₂ 的 GWP 值

+

焚化爐燃料油年度使用量 x 燃料油燃燒 CH₄ 的排放係數 x CH₄ 的 GWP 值

+

焚化爐燃料油年度使用量 x 燃料油燃燒 N₂O 的排放係數 x N₂O 的 GWP 值

(2) 纖維布類焚化處理的 CO₂ 排放量=

纖維布類處理量 x 纖維布類燃燒 CO₂ 排放係數 x CO₂ 的 GWP 值

(3) 化糞池 CH₄ 的排放量=

化糞池氣體的 CH₄ 的排放量：活動數據(人數) x CH₄ 排放係數 x CH₄ 的 GWP 值



第四章 個案研究

4.1 回收廠商的前段回收處理

本論文將以一家擁有 150 輛卡車的回收集團 K 公司來做為資料的依據，並以該公司一年間所回收的舊衣服數量為出發點來計算三種處理方式的溫室氣體排放量。

表 4-1、K 公司的基本資料

K 公司的基本資料		
社長：	小塚敏文	
資本額：	1000 萬円	
事業內容：	舊紙、水銷、舊衣服及舊紙製品的買賣。	
設備：	大卡車 140 輛、叉架起貨機 14 台、計重機 4 台、壓縮機 4 台。	
現況：	回收業和批發商同時進行，舊紙類約 6 成(2000 噸/月)、舊衣服全數(最大 800~900 噸/月)海外輸出。	
廠址	本廠	橫濱市都筑區東方町 XXX 番地
	橫濱廠	橫濱市磯子區新磯子町 XX 番地
	富士廠	靜岡縣富士市富士岡 XXX 番地
	清水廠	靜岡市清水區谷津町 1 丁目 XXX 番地

K 公司創立於 1992 年，歷來都是以回收紙類作為主要行業，到了 2007 年開始跨足回收二手衣產業，憑藉著擁有大量的運輸工具和回收經驗，二手衣開始回收的隔年就創造年回收量約 4,300 噸/年，2009 年的回收量預估可以上看 5,500 噸/年。紙業的回收也是以 2,000 噸/月的速度穩定成長。下圖 4.1 為 K 公司在橫濱磯子廠的廠房平面流程圖，廠房設立於港口距離不到十分鐘的車程，以工廠配

置的角度而言是最佳的收集處理廠。

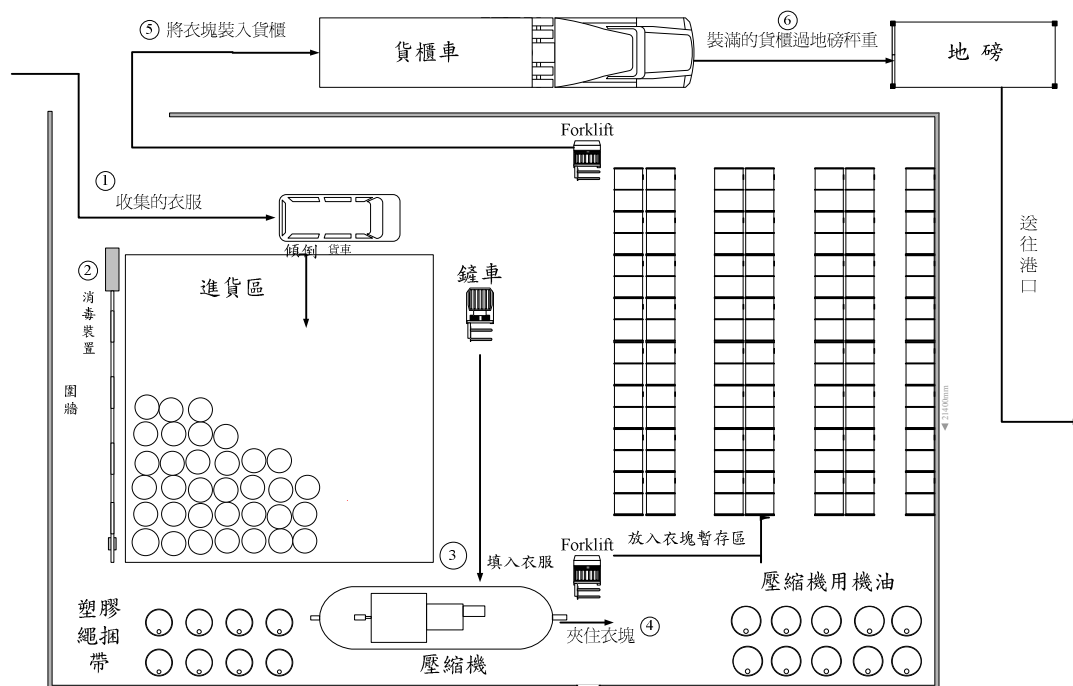


圖 4-2、二手衣回收處理廠平面圖 1F

廠房流程解釋如下：

- 1、由公司卡車從外面回收或是從市政府下標的衣服運送回到工廠，到指定的地點傾倒。依照一年的觀察之下，卡車的噸數大多屬於 20 噸大貨車，淡季時候一天卡車進入約 10 次左右，而旺季的時候一天可以進入高達 30 幾次，載重噸數則是衣卡車之總重量加上一成的重量，例如： $20T=(空車噸數+載重噸數)=20+2(一成)=22T$ 。
- 2、當衣服傾倒以後，消毒水會以霧狀噴灑，時間大概持續 15 秒左右，時間不會太長，主要是不要讓衣服太溼。
- 3、利用鏟車將衣服填入機器內，填入的數量大概是 4~5 次左右，製成衣塊的重量大約是 450~550Kg 左右。經過量測以後，鏟車每次填入的時間約 3 分鐘左右。
- 4、在機器將衣服加壓以後，利用人工將塑膠繩帶穿入衣塊的上下左右部分，這個部份為比較耗時間的人工作業，需要兩個人配合，工人以長鐵竿將塑膠繩套住穿過壓縮衣塊的對面前後左右包起來要繞八次，平均作業時間大約 9~10

分鐘左右，之後機器鬆壓後會讓塑膠捆帶緊實地包住衣塊後推出機器外，再利用插車(Forklift)將衣塊夾住放到衣塊暫存區。此作業時間花的時間較少，約 2 分鐘以內就可以將衣塊放在暫存區。



圖 4-3、衣服壓縮機



圖 4-4、壓縮後的衣塊

表 4-2、一個衣塊的平均完工時間

鏟車填入衣服時間	機器壓縮與工人捆綁作業時間	插車搬運衣塊到暫存區時間	總和 (一個衣塊平均完工時間)	衣塊平均重量
3 分鐘	10 分鐘	2 分鐘	15 分鐘	450~550Kg

5、等到暫存區的衣塊超過 40 個以後就會叫貨櫃車來裝貨，此時一樣用夾車(Forklift)將壓縮後的衣塊一個一個裝入貨櫃車。

6、每個貨櫃車裝滿之後會經過地磅秤重，量測完重量後即往港口運送。因為廠址位於橫濱港口附近不到十分鐘車程，故貨櫃車的聯絡與運送都是非常的迅速。

在計算溫室氣體排放量之前，首先必須擁有的資訊就是舊衣服的回收量與舊衣服的運送距離，下面列舉 K 公司 2009 年 6、7 月的二手衣出貨量：

表 4-3、2009 年 6 月份 K 公司舊衣服貨櫃出口 (單位：噸)

貨櫃編號	重量(噸)	貨櫃編號	重量(噸)
1	20.135	13	20.961
2	19.824	14	20.446
3	20.561	15	19.456
4	19.793	16	21.005
5	20.068	17	20.761
6	20.889	18	20.156
7	19.924	19	19.846
8	19.994	20	20.264
9	20.145	21	20.791
10	20.339	22	20.246
11	20.458	23	19.554
12	19.697	24	19.358

總計：484.671 噸

表 4-4、2009 年 7 月份 K 公司舊衣服貨櫃出口(單位：噸)

貨櫃編號	重量(噸)	貨櫃編號	重量(噸)
1	21.153	9	19.997
2	20.667	10	20.345
3	20.598	11	20.149
4	20.321	12	21.801
5	21.250	13	20.997
6	20.125	14	20.465
7	19.789	15	20.557
8	20.841	16	20.198

總計：329.253 噸

(資料來源：K 公司)

除了這兩個月份的資料是明確的以外，四月和十月是最大量的季節，除了是夏季與冬季的交接的原因，在日本四月是屬於一年的開始，學校的開學或者是職務的轉勤或者轉職等等，會因為搬家的原因大量出清巨大垃圾和二手衣服，而二手衣服的出貨櫃量 4 月、5 月、10 月、11 月的平均都可以達到一天 1~2 個貨櫃，也就是說大概 30~40 左右，而淡季的時候往往一個月只有 5~8 個貨櫃出貨。

假若要看一年的大約數量利用下表來表示。

表 4-5、2009 年的出貨數量(櫃)

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
10 個	7 個	5 個	20 個	40 個	24 個	14 個	8 個	6 個	23 個	37 個	21 個

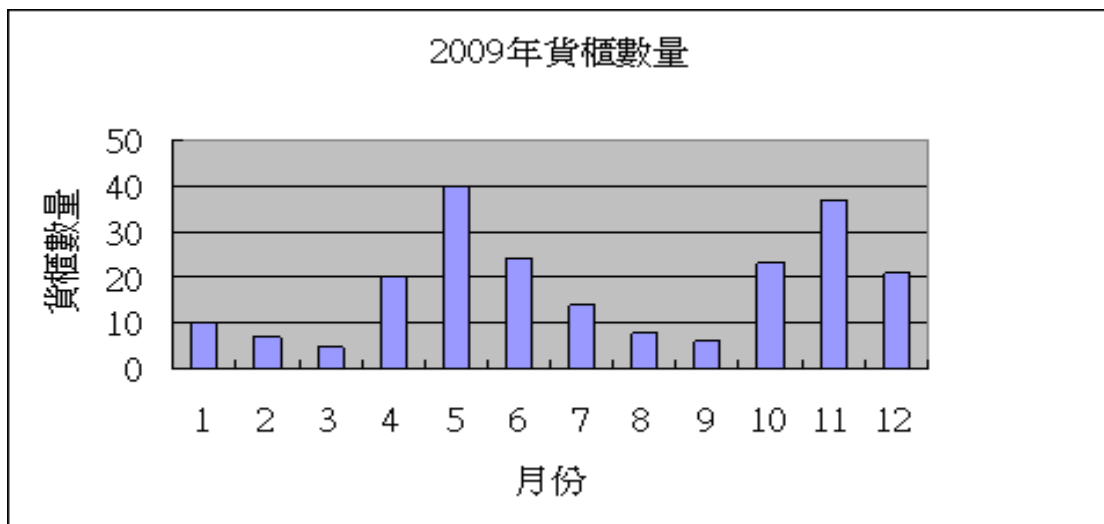


圖 4-5、2009 年貨櫃數量之概略圖

回收的衣服經過擠壓後每一個衣塊淨重大約在 450~550Kg，經過工廠測量計算之後一個衣塊平均是 470Kg 左右。且塞滿一個貨櫃大蓋能塞上 38~42 個衣塊，故平均一個塞滿二手衣的貨櫃淨重大概 20 噸左右。

以粗略的算法來計算，K 工廠所出廠的一年份二手衣服重量大約在

$$215 \text{ 個} * 20 \text{ 噸} = 4300 \text{ 公噸}$$

4.2 舊衣服回收再利用的氣體排放分析

碳排放量的計算之中，除了生產的時候使用的原料、機械、設備、照明等等的能源消耗必須計算以外，而在這其中炭排放量佔產品最大的一部份莫過於運輸的部份，而要計算碳排放量之前必須知道運輸的起點與終點的距離，因此利用 GOOGLE MAP 來模擬卡車及貨船實際運送的距離，以算出運輸時所造成的炭排放量。

K 公司所收集來的舊衣服大致上分為兩種，一種是跟市政府的回收中心下標後，再用自營的貨車到指定的回收中心去裝載舊衣服回工廠處理，此收集方法的收集量佔 K 公司的大部分的量，另一種就是在收集廢紙的時候，遇到市民丟出來的舊衣服就會順便回收，這種量佔極少部份，因此在運送距離計算中不予於考慮，故從回收中心到運送到海外國家的距離計算由下圖 4.6 所示：

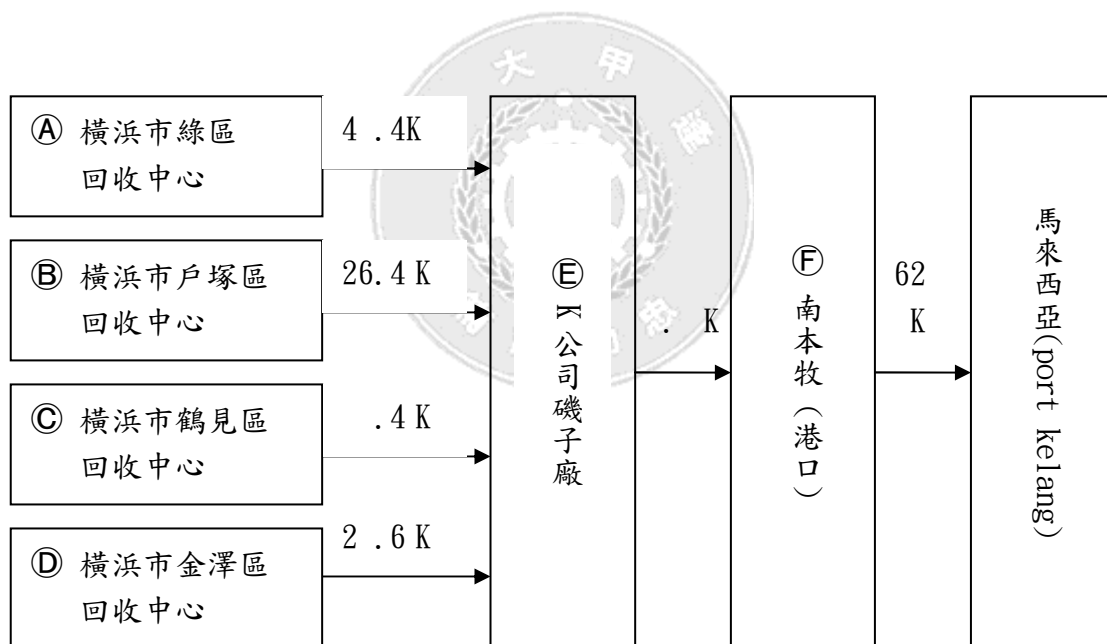


圖 4-6、回收再利用物流距離圖

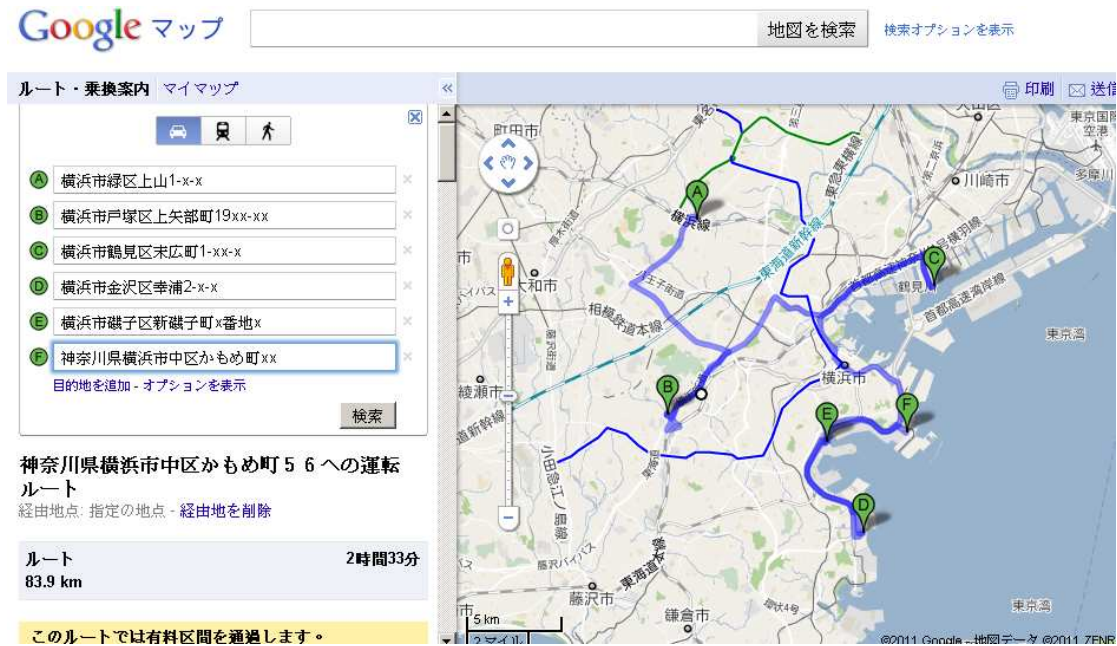


圖 4-7、回收再利用各據點在地圖上的位置(Google Map)

相對於陸運部分可利用 google map 求出各據點的距離，海運的部份依照海運公司的不同，使用貨輪的不同，航行路徑不同，運輸距離也相對難以精確地掌握，K 公司的舊衣服海外運輸是委託萬海海運公司，公司主要航向馬來西亞的 Kelang 港口的船隻以 WanHai301 為例，途中會在香港停靠卸貨裝載，再航向馬來西亞 Kelang 港，轉航的距離就會比直航的距離多出上百公里，因此研究上就以 WanHai301 的航行為例，從日本橫濱港到香港再到馬來西亞 Kelang 港所需距離約為 6200Km。下圖 4.8 為 WanHai301 和它的基本資料。



圖 4-8、“WAN HAI 301”（通春）

規格：

IMO：9238155

船籍：新加坡

總噸數：26,681

全長：199.90m

全寬：32.20m

吃水：10.90m

引擎：MAN-B&W 7S70MC-C

出力：21,735kw

速度：22.0kt

TEU：2,496

建造：內海造船

完工：2001年

(註：TEU=Twenty-feet Equivalent Units，即20英尺貨櫃的單位)

運輸能源耗用部分：

以下的單位搭載率計算公式是替代手法B的附屬公式，主要是考慮到貨車裝運貨物時的積載率所衍生出來的公式，其公式如下：

單位搭載率的每 t-km 的燃料使用量：由下列的公式為基礎：

$$[\text{柴油車}]：\ln y = 2.71 - 0.812 \ln(x/100) - 0.654 \ln z$$

y：輸送每 t-km 的燃料使用量(L)

x：搭載率(%)

Z：最大搭載量(Kg)

(例)：以搭載率 95%、最大搭載量 8 噸的柴油卡車、總共運送 1075 公噸的舊衣服，運送距離從橫濱市綠區的回收中心到 K 公司的礮子廠共 47.4Km 的計算如下
單位搭載率的每 t-km 的燃料使用量如下：

$$Y(95\%) = \exp(2.71 - 0.812 \times \ln(95/100) - 0.654 \times \ln(8000)) = 0.04389 \text{ l/t} \cdot \text{km}$$

$$\text{輸送噸位公里 } T = 1075 \text{t} \times 95\% \times 47.4 \text{km} = 48407.25 \text{ t} \cdot \text{km}$$

故可以算出 CO₂ 的排出量 Q 為：

$$\begin{aligned} Q &= T \times Y(95\%) \times \text{柴油 CO}_2 \text{ 的排放係數} \times \text{CO}_2 \text{ 的 GWP 值} \\ &= 48407.25 \times 0.04389 \times 2.606 \times 1 \end{aligned}$$

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例

$$= 5536.69249 \text{ Kg} \cdot \text{CO}_2 = 5.537 \text{ t} \cdot \text{CO}_2/\text{年}。$$

其中，柴油 CO_2 的排放係數=原 C 係數 x 碳氧化率 x 單位發熱量 x 柴油熱值 $\times 10^{-6}$

$$\begin{aligned} &= 20.2 \times 44/12 \times 4.1868(\text{J/cal}) \times 8400 \times 10^{-6} \\ &= 2.606(\text{t} \cdot \text{CO}_2/\text{k1}) \end{aligned}$$

同理，利用上述的公式，將 CH_4 的排放係數代入即可計算出 CH_4 的排放量，其中

$$\begin{aligned} \text{柴油 } \text{CH}_4 \text{ 的排放係數} &= 3.0 \times 4186.8 \times 10^{-9} \times 10^{-3} \times 8400 \\ &= 0.000106(\text{t} \cdot \text{CH}_4/\text{k1}) \end{aligned}$$

所以 CH_4 的排放量 Q 為：

$$\begin{aligned} Q &= T \times Y(95\%) \times \text{柴油 } \text{CH}_4 \text{ 的排放係數} \times \text{CH}_4 \text{ 的 GWP 值} \\ &= 48407.25 \times 0.04389 \times 0.000106 \times 25 = 0.006 \text{ t} \cdot \text{CH}_4/\text{年} \end{aligned}$$

N_2O 的計算也是利用此公式，其中 N_2O 的排放係數為 $= 0.6 \times 4186.8 \times 10^{-9} \times 10^{-3}$
 $\times 8400 = 0.000021(\text{t} \cdot \text{N}_2\text{O}/\text{k1})$

故 N_2O 的排放量 Q 為：

$$\begin{aligned} Q &= T \times Y(95\%) \times \text{柴油 } \text{N}_2\text{O} \text{ 的排放係數} \times \text{N}_2\text{O} \text{ 的 GWP 值} \\ &= 48407.25 \times 0.04389 \times 0.000021 \times 298 = 0.013 \text{ t} \cdot \text{CH}_4/\text{年} \end{aligned}$$

以此類推，海運的部份差別就在於貨櫃的積載率預設 80%，故以 CO_2 的計算為例

CO_2 的排出量 Q 為：

$$\begin{aligned} Q &= T \times Y(80\%) \times \text{柴油 } \text{CO}_2 \text{ 的排放係數} \times \text{CO}_2 \text{ 的 GWP 值} \\ &= 163056 \times 0.02395 \times 2.606 \times 1 \\ &= 1331.376 \text{ t} \cdot \text{CO}_2/\text{年}。 \end{aligned}$$

然而，參考數據可參考表 4.6 為代表性的最大搭載量和搭載率的輸送每 t-km 的燃料使用量。

表 4- 6、最大搭載量和搭載率的輸送每 t-km 的燃料使用量

車種	燃料	最大搭載量(kg)	輸送每 t-km 的燃料使用量(L/t-km)						
			中央值	搭載率(%)					
				10%	20%	40%	60%	80%	100%
輕、小型貨車	汽油	輕貨車	300	2.74	1.44	0.758	0.521	0.399	0.324
		~1999	1000	1.39	0.730	0.384	0.264	0.202	0.164
		2000 以上	2000	0.886	0.466	0.245	0.168	0.129	0.105
普通或卡車	柴油	~999	500	1.67	0.954	0.543	0.391	0.309	0.258
		1000~1999	1500	0.816	0.465	0.265	0.191	0.151	0.126
		2000~3999	3000	0.519	0.295	0.168	0.121	0.095	0.08
		4000~5999	5000	0.371	0.212	0.120	0.086	0.068	0.057
		6000~7999	7000	0.298	0.170	0.096	0.069	0.055	0.045
		8000~9999	9000	0.253	0.144	0.082	0.059	0.046	0.039
		1 萬~11999	11000	0.222	0.126	0.071	0.051	0.041	0.034
		1 萬 2 以上	14500	0.185	0.105	0.060	0.043	0.034	0.028

(資料來源：ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法 Ver. 3.0)

工廠/物流據點能源消耗部分的部份：

物流中心、倉庫、工廠、店鋪等有保管、包裝、進出貨、產品加工等等活動者，運用下圖 4.8 的標準計算式來計算電氣使用量和燃料使用量。

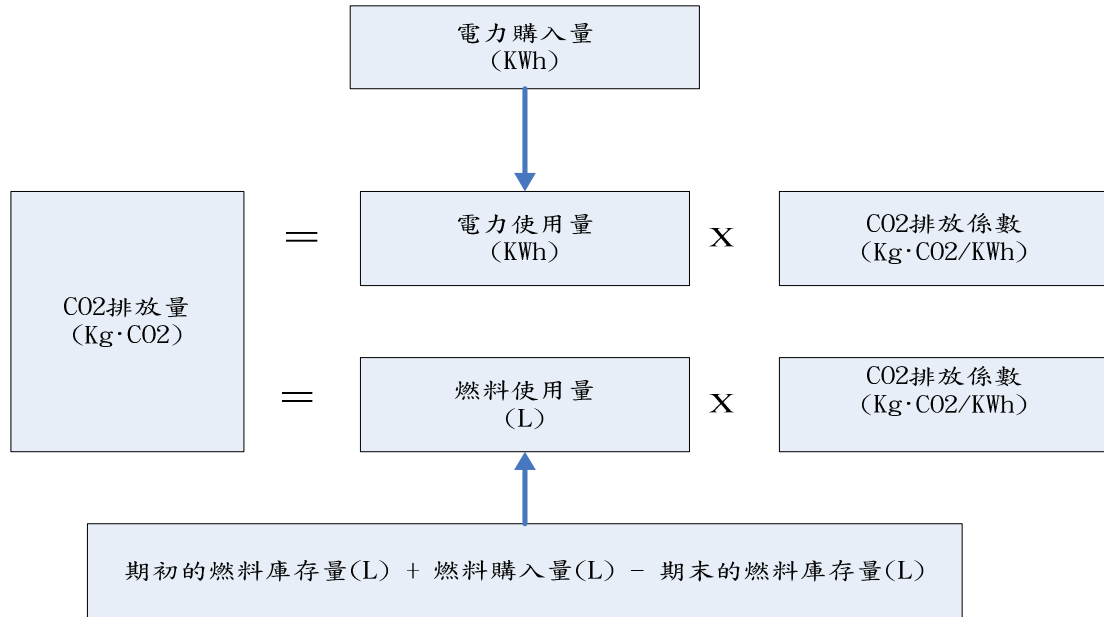


圖 4-8、電氣使用量和燃料使用量的計算式

表 4-7、工廠/物流據點的三大排放係數

No.	燃料、電力種類	單位	CO ₂ 的排放係數	CH ₄ 的排放係數	N ₂ O的排放係數
1	汽油	L	2.263 kgCO ₂ /L	0.000098 KgCH ₄ /L	0.00002 KgN ₂ O/L
2	柴油	L	2.606 kgCO ₂ /L	0.000106 KgCH ₄ /L	0.000021 KgN ₂ O/L
3	機油	L	2.946 kgCO ₂ /L	0.000121 KgCH ₄ /L	0.000024 KgN ₂ O/L
4	自來水	L	0.197 kgCO ₂ /L	--	--
5	電力	kWh	0.555kg CO ₂ /MJ/KWh	--	--

(資料來源：IPCC2007 第四次評估報告書)

K 公司礮子廠的年排放量根據會計部提供的用電與用水量的數據，一年所排放的溫室氣體如下：

$$\begin{aligned}
 \text{電器設備的 CO}_2\text{的排放量} &= \text{電力使用量(KWh)} \times \text{CO}_2\text{排放係數} \times \text{CO}_2\text{的 GWP 值} \\
 &= 685760(\text{度/年}) \times 0.555(\text{kgCO}_2/\text{度}) \times 1 \\
 &= 380596.8 \text{ kgCO}_2/\text{年} = 380.5968 \text{ t-CO}_2/\text{年}
 \end{aligned}$$

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例

用水設備的 CO₂ 的排放量：用水使用量(KWh) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值
= 2200 × 0.197 × 1 = 433.4 kgCO₂/年 = 0.4334 t-CO₂/年

堆高機燃料油的氣體排放量：

燃料油的 CO₂ 的排放量：燃料油使用量(L/年) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值
= 9800 × 2.606 × 1 = 25538.8 kgCO₂/年 = 25.5388 t-CO₂/年

燃料油的 CH₄ 的排放量：燃料油使用量(L/年) × CH₄ 排放係數 × CH₄ 的 GWP 值
= 9800 × 0.000106 × 25 = 25.97 kgCO₂/年 = 0.02597 t-CO₂/年

燃料油的 N₂O 的排放量：燃料油使用量(L/年) × N₂O 排放係數 × N₂O 的 GWP 值
= 9800 × 0.000021 × 298 = 61.3284 kgCO₂/年 = 0.0613284 t-CO₂/年

化糞池氣體的 CH₄ 的排放量 = 活動數據(人數) × CH₄ 排放係數 × CH₄ 的 GWP 值

其中化糞池的 CH₄ 排放係數為 BOD 排放因子 0.6 × 平均污水濃度 200

/100000000(mg/L) × 工作天數 277.426(天) × 每人每天工作時間 8(小時) × 每人每小時廢水量 15.625(公升/小時) × 化糞池處理效率 85% × 1000 公斤 =
3.537182 kg CH₄/人。

4.3 舊衣服回收再處理的氣體排放分析

舊衣服回收再處理的工廠目前尚未訂定於明確的地方，K 公司礮子廠是屬於一個合理地點，礮子是屬於橫濱市的工業重鎮，距離港口又相當近，所以本論文一樣將舊衣服回收再處理的地點假設在 K 公司的礮子廠，其運送距離如圖 4.9 所示：

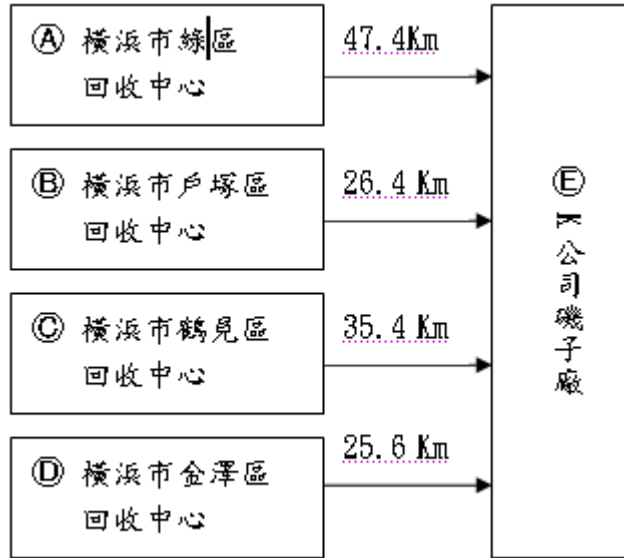


圖 4-9、舊衣服回收再利用的運送距離

運輸能源耗用部分：

因為假設回收再處理的製作工廠也是假設在 K 公司的礮子廠，從市政府的收集場到 K 公司的工廠距離是一樣的以外唯一不一樣的就是沒有海運的部份。

工廠/物流據點能源消耗部份：

舊衣服裁剪成抹布所使用的機器如下圖 4.10 所示，



圖 4-10、舊衣服剪裁機

其規格如下：

回收系統碳足跡分析-以舊衣服回收為例

- 1、 最大裁斷力 1000 kw
- 2、 沖裁速度 0.2 m/s
- 3、 電機功率 15 kw
- 4、 工作檯面 1100 x 1200 mm
- 5、 外型尺寸 2000 x 2100 x 2400 mm (資料來源：タマリ機工)

基本上廠房的水使用、工作人數、都參照礮子廠會計部所提供的數據，不一樣的地方就是抹布剪裁機器處理所耗費的電力計算，其計算如下。

剪裁機平均 1 小時可以剪裁 300 公斤的抹布，故 4300 公噸的舊衣服需要 $4300\text{t}/0.3\text{t}=14333.33$ 人工小時來完成，且電機功率為 15 kw，故將 4300 公噸的舊衣服剪裁成抹布需要 $14333.33 \times 15=214999.95$ 度電。

用電所排放的 CO₂ 的排放量 = 電力使用量(KWh) × CO₂ 排放係數 × CO₂ 的 GWP 值

$$=214999.95(\text{度}/\text{年}) \times 0.555(\text{kgCO}_2/\text{度}) \times 1$$
$$=119325 \text{ kgCO}_2/\text{年} = 119.325 \text{ t-CO}_2/\text{年}$$

4.4 舊衣服回收焚化處理的氣體排放分析

焚化廠位於橫濱市保土谷區，其地理位置也相當不錯，剛好位於四個回收中心的中央，橫濱市的焚化爐共有五座，本論文就列舉保土谷的焚化爐將需要焚毀的舊衣服都運送到該區進行焚毀，即距離如下圖 4.11 所示，地圖上的地理位置如下圖 4.12 所示。

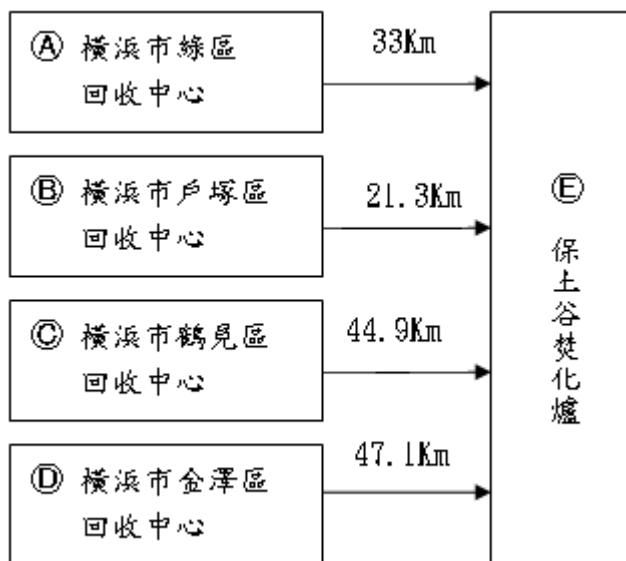


圖 4-11、舊衣服焚化處理的運送距離



圖 4-12、舊衣服焚化處理各據點在地圖上的位置(Google Map)

運輸能源耗用部分：

運輸部分的計算公式與回收再利用和回收再處理的運算方法是一樣的，唯一不一樣的地方是運送距離，距離是從各地的市政府回收廠到焚化爐。

焚化爐能源消耗部分：

焚化爐燃燒時必須利用燃料油來持續將溫度提高至 1,000°C 以上才能有效地將垃圾較完全地燃燒，因此光是靠垃圾來提高溫度是不可能的，燃燒過程中

還必須加入大量的燃料油來燃燒，故焚化爐(柴油燃燒溫室氣體當量)為下表
示：

(1) 燃料油燃燒溫室氣體排放量=

焚化爐燃料油年度使用量 x 燃料油燃燒 CO₂ 的排放係數 x CO₂ 的 GWP 值 +

焚化爐燃料油年度使用量 x 燃料油燃燒 CH₄ 的排放係數 x CH₄ 的 GWP 值 +

焚化爐燃料油年度使用量 x 燃料油燃燒 N₂O 的排放係數 x N₂O 的 GWP 值

其中 CO₂ 的原始 C 排放係數為 20.2(kgC/GJ)、CH₄ 的原始 C 排放係數為

3.0(KgCH₄/TJ)、N₂O 的原始 C 排放係數為 0.6(kgN₂O/TJ)

燃料油 CO₂ 的排放係數=原 C 係數 x 碳氧化率 x 單位發熱量 x 燃料油熱值 x 10⁻⁶

$$=21.1 \times 44/12 \times 4.1868(\text{J/cal}) \times 9600 \times 10^{-6}$$

$$= 3.111(\text{t} \cdot \text{CO}_2/\text{kl})$$

燃料油 CH₄ 的排放係數=3.0 x 4186.8 x 10⁻⁹ x 10⁻³ x 9600

$$=0.000121(\text{t} \cdot \text{CH}_4/\text{kl})$$

燃料油 N₂O 的排放係數=0.6 x 4186.8 x 10⁻⁹ x 10⁻³ x 9600

$$=0.000241(\text{t} \cdot \text{N}_2\text{O}/\text{kl})$$

(2) 纖維布類焚化處理的 CO₂ 排放量=纖維布類處理量 x 纖維布類燃燒 CO₂ 排放
係數 x CO₂ 的 GWP 值

其中，纖維布類燃燒 CO₂ 排放係數= Cc x 44/12 x 50%

$$= 0.49 \times 44/12 \times 50\% = 0.898 (\text{t} \cdot \text{CO}_2/\text{t})$$

Cc 為原始纖維中 C 係數 0.49, 50% 為 IPCC 所公佈的垃圾中纖維類的含碳量有 50%

由下圖 4.13 可得知：

MSW component	Dry matter content in % of wet weight ¹		DOC content in % of wet waste		DOC content in % of dry waste		Total carbon content in % of dry weight		Fossil carbon fraction in % of total carbon	
	Default	Range	Default	Range	Default	Range ²	Default	Range	Default	Range
Paper/cardboard	90	36 - 45	40	36 - 45	44	40 - 50	46	42 - 50	1	0 - 5
Textiles ³	80	20 - 40	24	20 - 40	30	25 - 50	50	25 - 50	20	0 - 50
Food waste	40	8 - 20	15	8 - 20	38	20 - 50	38	20 - 50	-	-
Wood	85 ⁴	39 - 46	43	39 - 46	50	46 - 54	50	46 - 54	-	-
Garden and Park waste	40	18 - 22	20	18 - 22	49	45 - 55	49	45 - 55	0	0
Nappies	40	18 - 32	24	18 - 32	60	44 - 80	70	54 - 90	10	10
Rubber and Leather	84	(39) ⁵	(39) ⁵	(39) ⁵	(47) ⁵	(47) ⁵	67	67	20	20
Plastics	100	-	-	-	-	-	75	67 - 85	100	95 - 100
Metal ⁶	100	-	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
Glass ⁶	100	-	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
Other, inert waste	90	-	-	-	-	-	3	0 - 5	100	50 - 100

¹ The moisture content given here applies to the specific waste types before they enter the collection and treatment. In samples taken from collected waste or from e.g., SWDS the moisture content of each waste type will vary by moisture of co-existing waste and weather during handling.

² The range refers to the minimum and maximum data reported by Dehoust *et al.*, 2002; Gangdonggu, 1997; Guendehou, 2004; JESC, 2001; Jager and Blok, 1993; Würdinger *et al.*, 1997; and Zeschmar-Lahl, 2002.

³ 40 percent of textile are assumed to be synthetic (default). Expert judgement by the authors.

⁴ This value is for wood products at the end of life. Typical dry matter content of wood at the time of harvest (that is for garden and park waste) is 40 percent. Expert judgement by the authors.

⁵ Natural rubbers would likely not degrade under anaerobic condition at SWDS (Tsuchii *et al.*, 1985; Rose and Steinbüchel, 2005).

⁶ Metal and glass contain some carbon of fossil origin. Combustion of significant amounts of glass or metal is not common.

圖 4- 13、各種垃圾的平均含碳率(資料來源：IPCC 2006 vol.5 Ch2 Table2.4)

焚化爐燃燒的基本原理是將爐內的溫度保持在 1,000°C 以上，以避免因為燃燒不完全而產生戴奧辛等有毒物質，而焚化爐在開始燃燒之前會在爐內噴上燃燒油，點燃火以後溫度高達 1,000°C 以上便不需要再添入燃燒油，可是丟入焚化爐的垃圾幾乎都是含有水分的，而水分会降低爐子裡面的溫度，因此焚化爐還是需要大量的燃料(例如：柴油、煤、天然氣、重油、燃燒油等等)來維持溫度，而 4,300 公噸的舊衣服進行焚化需要消耗多少燃燒油就取決於衣服纖維的含水率，而衣服纖維的含水率則可由下表 4-8 得知

表 4-8、主要衣服纖維的含水率

纖維的種類	公定含水率(%)	纖維的種類	公定含水率(%)
羊毛	15.0	棉	8.5
絹	12.0	三醋酸纖維	6.5
麻	12.0	奈龍	4.5
莫代爾纖維	11.0	氨綸	1.0
銅氨纖維	11.0	聚酯纖維	0.4

(資料來源：日本規格協會 JIS L 1030-2:2005)

雖然得知了各主要纖維的含水率，但從堆積如山的舊衣服當中來查詢每件衣服、每件褲子的纖維成分並計算其總纖維含水率幾乎是不可能的事情，且並沒有像 IPCC 此種具有公信力的國際團體提供舊衣服的含水率，因此本研究只能假設以舊衣服回收量最大的 T 恤來當作指標，而 T 恤的含量中又以棉的含量是佔最大的，故暫定這 4,300 公噸的衣服的含水率就以綿的含水率來計算，也就是含水率 8.5%。

(3) 焚化 4,300 公噸所需要的燃料油計算

故 4,300 公噸的舊衣服中會有 $4,300 \times 8.5\% = 365.5$ 公噸的水分存在，而讓 1Kg 的水上升 1°C 所需要的熱量則是 1Kcal。理論上在氣溫 0°C 的環境下 1Kg 的水完全蒸發則需要 640kcal。所以要將這 365.5 公噸的水分完全蒸發則需要 $365,500(\text{公斤}) \times 640 \text{ kcal} = 233,920,000 \text{ Kcal}$ 的熱量。但是不論如何表面的放熱等熱損失是一定會發生的，實際上的熱量必須比原本計算的熱量還要多，熱損失係數越少的焚化爐就代表越優秀的焚化爐，根據石川禎昭(2004)所著作的「ごみ焼却炉の選定と導入」所言，熱損失係數 1.6 程度的焚化爐是個非常優秀的裝置，故考慮到熱損失的發生， $233,920,000 \text{ Kcal} \times 1.6 = 374,272,000 \text{ Kcal}$ 的熱量是必須的。

根據 IPCC2006 的固定排放源的燃燒係數中，燃燒油 1L 可以產生 9,600Kcal 的熱量，故焚化 4,300 公噸的衣服則需要 $374,272,000 / 9,600 = 38,987$ 公升的燃料油。

4.5 三種回收方式之分析與比較

首先利用 Excel 將上述的三種方法的溫室氣體排放係數表列出來如下圖

4.14 所示，各活動係數的生成在本論文 4.3 均有介紹。

溫室氣體排放係數管理表							
設施/活動	排放源	溫室氣體種類	排放係數		資料來源		
			數值	單位			
用電設備(照明、壓縮機)	外購電力	CO ₂	0.555	KgCO ₂ /Mj/K Wh	東京電力平成20年度電力排放係數表		
用水設備	自來水(電力)	CO ₂	0.197	KgCO ₂ /Mj/K Wh	東京都水道局平成20年水力排放表		
壓縮機用機油	潤滑油	CO ₂	2.946	KgCO ₂ /L	ロジスティクス分野におけるCO ₂ 排出量算定方法Ver.3.0		
		CH ₄	0.000121	KgCH ₄ /L			
		N ₂ O	0.000024	KgN ₂ O/L			
堆高機,貨車,貨櫃車,海運	柴油	CO ₂	2.606	KgCO ₂ /L	ロジスティクス分野におけるCO ₂ 排出量算定方法Ver.3.0		
		CH ₄	0.000106	KgCH ₄ /L			
		N ₂ O	0.000021	KgN ₂ O/L			
焚化爐	燃料油	CO ₂	3.11	KgCO ₂ /L	ロジスティクス分野におけるCO ₂ 排出量算定方法Ver.3.0		
		CH ₄	0.000121	KgCH ₄ /L			
		N ₂ O	0.0000241	KgN ₂ O/L			
纖維布類燃燒	焚化爐	CO ₂	0.898	TCO ₂ /T	IPCC2006 Vol.5 Ch.2		
化糞池	化糞池	CH ₄	3.537182	KgCO ₂ /人	CH ₄ 排放係數=BOD排放因子0.6×平均污水濃度200/100000000(mg/L)×工作天數277.426(天)×每人每天工作時間8(小時)×每人每小時廢水量15.625(公升/小時)		

圖 4-14、溫室氣體排放係數管理表

再將 IPCC 所發布的各溫室氣體的全球暖化潛勢用 Excel 列出來如圖 4.15 所示。

溫室氣體化學式	預設 GWP 值		
	IPCC 第二次評估報告 (1995)	IPCC 第三次評估報告 (2001)	IPCC 第四次評估報告 (2007)
CO ₂ 二氧化碳	1	1	1
CH ₄ 甲烷	21	23	25
N ₂ O 氧化亞氮	310	296	298
HFC-23/R-23 三氟甲烷, CHF ₃	11,700	12,000	14,800
HFC-32/R-32 二氟甲烷, CH ₂ F ₂	650	550	675
HFC-41 一氟甲烷, CH ₃ F	150	97	-
HFC-125/R-125, 1,1,1,2,2-五氟乙烷, C ₂ H ₂ F ₅	2,800	3,400	3,500
HFC-134, 1,1,2,2-四氟乙烷, C ₂ H ₂ F ₄	1,000	1,100	-
HFC-134a/R-134a, 1,1,1,2-四氟乙烷, C ₂ H ₂ F ₄	1,300	1,300	1,430
HFC-143, 1,1,2-三氟乙烷, CHF ₂ CH ₂ F	300	330	-
HFC-143a/R-143a, 1,1,1-三氟乙烷, C ₂ H ₃ F ₃	3,800	4,300	4,470
HFC-152, 1,2-二氟乙烷, CH ₂ FCH ₂ F	-	43	-
HFC-152a/R-152a, 1,1-二氟乙烷, C ₂ H ₄ F ₂	140	120	124
HFC-161, 一氟乙烷, CH ₃ CH ₂ F	-	12	-
HFC-227ea, 1,1,1,2,3,3,3-七氟丙烷, CF ₃ CH ₂ CF ₃	2,900	3,500	3,220
HFC-236cb, 1,1,1,2,2,3-六氟丙烷, CH ₂ FCF ₂ CF ₃	-	1,300	-
HFC-236ea, 1,1,1,2,3,3-六氟丙烷, CHF ₂ CH ₂ CF ₃	-	1,200	-
HFC-236fa, 1,1,1,3,3,3-六氟丙烷, C ₃ H ₂ F ₆	6,300	9,400	9,810
HFC-245ca, 1,1,2,2,3-五氟丙烷, CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	560	640	-
HFC-245fa, 1,1,1,3,3-五氟丙烷, CHF ₂ CH ₂ CF ₃	-	950	1,030
HFC-365mfc, 1,1,1,3,3-五氟丁烷, CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	-	890	794
HFC-43-10mee, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-十氟戊烷, CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₃	1,300	1,500	1,640
HFC-22, CH ₂ F ₂	-	1,700	1,500

圖 4-15、各溫室氣體的全球暖化潛勢

舊衣服回收再利用的數據結果：

這個部份主要是以 K 公司的實際數據來計算，因此廠內的資料來源充足，用電量和用水量直接由 K 公司會計部擷取，貨運的部份從回收中心收到工廠主要是委託聯合企業大興運輸來運送，因此無法得知實際上柴油的耗用量，故利用替代手法 B 來計算溫室氣體排放量，而因為運輸的物品是舊衣服，可以擠壓裝載，故進廠的舊衣服都可以到達貨車的高滿載率(90~99%)，故取其中間值 95%作為貨車的積載率。海運的部份也是如此，20 呎貨櫃的最大載貨淨重假設 25 公噸，貨櫃的衣塊裝載率則為 80%，基本上計算方法都是依照 IPCC 所發表的計算公式：

$$\text{CO}_2\text{的排放量} = \text{燃料使用量} \times \text{CO}_2\text{的排放係數} \times \text{CO}_2\text{的 GWP 值}$$

其計算結果如下圖 4.16 表示：

A							B			C			D			E			F			G			H			I			J		
1 舊衣服回收再利用活動表											溫室氣體排放量(T-CO2/年)																						
2 運輸部分		起點		終點		距離(Km)		積載率		運送重量(km)		燃料使用量(1/t-km)			CO ₂			CH ₄			N ₂ O												
3 陸上運輸		橫濱市綠區		K公司		47.4		90%-99%		1075		0.043894047			5.537			0.006			0.013												
4 (從中心到工廠)		橫濱市戶塚區		磯子廠		26.4		(預設95%)		1075					3.084			0.003			0.007												
5		橫濱市鶴見區				35.4				1075					4.135			0.004			0.010												
6		橫濱市金澤區				25.6				1075					2.991			0.003			0.007												
7 貨櫃運輸		K公司		橫濱		7.7		80%		4300		0.023953899			1.653			0.002			0.004												
8 海運		橫濱南本牧港		馬來西亞 port Kelang		6200		80%		4300		0.023953899			1331.376			1.354			3.197												
9 廠內製程											溫室氣體排放量(T-CO2/年)																						
10 設施/活動		排放源		使用量		單位		排放係數		單位		GWP全球暖化潛勢			CO ₂			CH ₄			N ₂ O												
11 用電設備		CO ₂		685,760		度/年		0.555		KgCO ₂ /度		1			380.5968			0			0												
12 用水設備		CO ₂		2,200		度/年		0.197		KgCO ₂ /度		1			0.4334			0			0												
13 壓縮用機油		CO ₂		400		L/年		2.946		KgCO ₂ /L		1			1.1784			0.00121			0.0028608												
14		CH ₄						0.000121		KgCH ₄ /L		25																					
15		N ₂ O						0.000024		KgN ₂ O/L		298																					
16 堆高機		CO ₂		9,800		L/年		2.606		KgCO ₂ /L		1			25.5388			0.02597			0.0613284												
17		CH ₄						0.000106		KgCH ₄ /L		25																					
18		N ₂ O						0.000021		KgN ₂ O/L		298																					
19 化糞池		CH ₄		15		人/年		3.537182		KgCH ₄ /人		25			0			1.3264433			0												
20 總計											1756.524 2.725 3.303																						

圖 4-16、舊衣服回收再利用的溫室氣體排放量

由結果可知，舊衣服經回收後再送到馬來西亞所排放的溫室氣體排放量：

CO₂有 1756.524 公噸/年、CH₄有 2.725 公噸/年、N₂O 有 3.303 公噸/年。

舊衣服回收再處理的數據結果：

本論文假設舊衣服回收再處理一樣在 K 公司的礮子廠內處理，故從市政府的回收中心到礮子場的距離是一樣的，故假設工廠的人數不變，用水量也是根據 K 公司的實際數據，裁剪機所需的電費則是依照機器功率和舊衣服數量來計算，所計算的結果如下圖 4.17 所示：

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	舊衣服回收再處理活動表							溫室氣體排放量(T-CO2/年)			
2	運輸部分	起點	終點	距離(Km)	積載率	運送重量	貨車積載率每 T-km 的燃料使用量 (l/t-km)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
3	陸上運輸 (從中心到 工廠)	橫濱市綠區	K公司 礮子廠	47.4	90%-99% (假設 95%)	1075	0.043894047	5.537	0.006	0.013	
4		橫濱市戶塚區		26.4		1075		3.084	0.003	0.007	
5		橫濱市鶴見區		35.4		1075		4.135	0.004	0.010	
6		橫濱市金澤區		25.6		1075		2.991	0.003	0.007	
7	設施/活動	排放源	使用量	單位	排放係數	單位	GWP全球暖化潛勢	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
8	用電設備 (剪裁機)	CO ₂	215,000	度/年	0.555	kgCO ₂ /度	1	119.325	0	0	
9	用水設備	CO ₂	2,200	度/年	0.197	kgCO ₂ /度	1	0.4334	0	0	
10	化糞池	CH ₄	15	人/年	3.537182	kgCH ₄ /人	25	0	1.3264433	0	
11	堆高機	CO ₂	9,800	L/年	2.606	kgCO ₂ /L	1	25	25.5388	0.02597	0.0613284
12		CH ₄			0.000106	kgCH ₄ /L					
13		N ₂ O			0.000021	kgN ₂ O/L	298				
14	總計							161.0443	1.368	0.099	

圖 4-17、舊衣服回收再處理的溫室氣體排放量

由結果可知，舊衣服經回收後再剪裁成抹布所排放的溫室氣體排放量：

CO₂有 161.0443 公噸/年、CH₄有 1.368 公噸/年、N₂O 有 0.099 公噸/年。

舊衣服回收焚化處理的數據結果：

本論文假設回收的舊衣服統一送到橫濱市保土谷的焚化爐去進行焚毀，保土谷有 150 名員工，故化糞池排放 CH₄ 的數量就以 150 人來算，另外因為焚化爐火力發電的原因，所使用的電力都是自給自足，甚至還賣回電力公司作有效電力的利用，故垃圾焚化時所耗的電力不予計算，單純計算舊衣服的含碳量因燃燒產生二氧化碳，所計算的結果由下圖 4.18 所示：

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	舊衣服焚化處理活動表						溫室氣體排放量(T-CO2/年)			
2	運輸部分	起點	終點	距離(Km)	積載率	運送重量(t)	km的燃料使用量 (l/t-km)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
3	陸上運輸 (從中心到 工廠)	橫浜市綠區	K公司 織子廠	33.00	90%-99% (預設95%)	1075	0.043894047	3.855	0.004	0.009
4		橫浜市戶塚區		21.30		1075		2.488	0.003	0.006
5		橫浜市鶴見區		44.90		1075		5.245	0.005	0.013
6		橫浜市金澤區		47.10		1075		5.502	0.006	0.013
7	焚化部份									
8	設施/活動	排放源	使用量	單位	排放係數	單位	GWP全球暖化潛勢	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
9	纖維布類 焚化	CO ₂	4,300	公噸/年	0.898	tCO ₂ /t	1	3861.40	0	0
10	燃料油消耗	CO ₂	38,987	L/年	3.11	KgCO ₂ /L	1	121.25	0.117936	0.279997
11		CH ₄			0.000121	KgCH ₄ /L	25			
12		N ₂ O			0.0000241	KgN ₂ O/L	298			
13	化糞池	CH ₄	150	人/年	3.537182	KgCH ₄ /人	25	0	13.26443	0
14	總計							3999.740	13.400	0.321

圖 4- 18、舊衣服回收焚化處理的溫室氣體排放量

由結果可知，舊衣服經回收後再送到焚化爐焚化所排放的溫室氣體排放量：
CO₂有 3999.74 公噸/年、CH₄有 13.4 公噸/年、N₂O 有 0.321 公噸/年。

下表 4-9 為三種方法的溫室氣體排放結果

表 4-9、三種方法的溫室氣體排放結果

	Co2(T/年)	CH4(T/年)	N2O(T/年)	額外效益
回收再利用	1756.524	2.725	3.303	再次成為商品販賣
回收再處理	161.0443	1.368	0.099	衣服成為抹布販賣
焚化處理	3999.740	13.400	0.321	電力回饋

由上表可看出，4300 公噸的舊衣服以焚化處理的方式所產生的溫室氣體是最多的，對地球的危害是最大的，然而回收再利用因為有包括海運這個部份(運送到客戶端)所以溫室氣體排放量會比回收再處理多。另外，額外效益的部份若是在追溯下去可以以碳交易的構想給予經濟回饋，但需要的時間、人力、物力相對非常龐大，故在此不予討論。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本論文的舊衣服回收的探討僅限定在日本國內的流程作業，以 K 公司一年所回收的舊衣服數量為基礎分別討論了三種不同的舊衣服處理方案所分別造成的溫室氣體量的計算與比較，除了回收再利用是依據 K 公司會計部所提供電力燃油消耗數據來計算其排放量，其它兩種方法也依據了參考資料來計算其處理的溫室氣體排放，結果反應出舊衣服焚毀是造成地球負擔最大的一個方法(4300 公噸的舊衣服一年排放了 3999 公噸的 CO₂)，也證實了目前 3R(再回收、再處理、再利用)的重要性，至於舊衣服經過三種不同的處理方法後產生的多大的經濟價值，這是一個非常複雜的領域，所牽涉的不只是國內產業經濟，除了焚化所提供的電力是供應給該國，做成的抹布也大多都銷往開發中工業市場較大的國家，其中最複雜的就是舊衣服回收再利用，這些衣服到了馬來西亞會作一次徹底的分類，之後再根據非洲國家的需要依品質來變賣銷售，而非洲市場二衣服並非只有日本而已，早期歐洲、美洲到現在的新加坡、韓國、台灣等等的二手衣都有參與到這個市場，對我們這些生活在相對富裕的國家裡，二手衣回收的產業可以說是幫助了貧窮國家有衣服穿，也讓這些原本是垃圾的纖維物品可以再一次利用，減輕了地球的負擔。

5.2 未來研究方向與建議

在溫室氣體排放量的議題上，本論文還可以追溯到下游去，只不過相對搜尋資料所需要花的時間和精力會遠超過於想像，到了馬來西亞的二手衣又會經過分類再裝櫃，然後再運送到非洲國家，到了那邊的衣服還會經過貨車的運送，送到顧客手中以前這些動作所要花的人力、物力、機械、燃料都必須計算溫室氣體排放才是一個完整的資料，越末端所分支的資料量越龐大也越難掌握，故這是一個相當大的挑戰。

另外、在成本的估計也是這個產業的另一個有探討價值的議題，在皮翠拉、瑞沃莉所著作的「一件T恤的全球經濟之旅」中就有提到，任何有關舊衣服的活動包括創世紀基金會的慈善事業等等，到最後一定都會有商業行為，這是一個無法避免的趨勢，也只有這樣透過舊衣服回收才看的到真正的自由市場，然而自由市場所要面對的不僅僅是各國相擁而來的舊衣服，因世界工廠而著名的中國與印度的廉價品也悄悄地打入了非洲各國市場，一旦新衣服的價格和二手衣的價格在自由市場下價錢相差不遠的時候，舊衣服一定在短期內又會變成一個棘手的垃圾問題，最後可能只剩下焚毀這個造成大量溫室氣體排放量的選擇。而這個維持市場平衡的成本計算也是一個非常重要議題可供後來的研究者來討論研究。



參考文獻

- 洪世民，2006，「一件 T 桖的全球經濟之旅」，日月文化出版有限公司。
- 蔡碧月，2004，「日本廢棄物處理及資源回收之研究」，碩士論文，淡江大學。
- 郭文俊，2001，「台灣地區資源回收制度設計與誘因機制研究」，碩士論文，台北大學。
- 黃慨郁，2006，「供應鏈網路中考量回收機制之主規劃排程演算法」，碩士論文，台灣大學。
- 王文芳，2006，「臺灣地區資源回收績效之研究」，碩士論文，中原大學。
- 李坤陸，2003，「我國與世界主要國家資源回收制度之比較研究」，碩士論文，台北科技大學。
- 吉川みどり，2004，「衣服の廃棄の実態とリサイクルの提言」，CiNii 国立情報学研究所論文情報ナビゲータ，神戸文化短期大学研究紀要 25，105-120。
- 山口瑛子，2007，「循環型社会のためのリサイクルの役割」，CiNii 国立情報学研究所論文情報ナビゲータ。コンバーテック，31(3)，22-27。
- 劉 娜，2009，「循環型社会のためのリサイクルの現状—日本と中国の比較」，地域政策研究，12(1)，111-130。
- 小川さやか，2007，「タンザニア都市古着商人の商慣行の変容に見られる平等性と自立性（特集地域研究の前線）」，京都大学学術情報リポジトリ，アジア・アフリカ地域研究(Asian and African area studies)，6(2)，579-599。
- 石川禎昭，2004，「ごみ焼却炉の選定と導入」，オーム社。
- 経済産業省，国土交通省，2009，ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法共同ガイドライン，Ver. 3.0。
- 財団法人 日本規格協会，2005，繊維製品中に混用されている繊維の混用率を

求める試験方法について規定。JIS L 1030-2:2005。

Al-Salem, S.M., and Lettieri, P. 2009. Life cycle assessment (LCA) of municipal solid waste management in the state of Kuwait. *European Journal of Scientific Research*, 34, 3, pp. 395-405.

Baden, S. and Barber, C. 2005. The impact of the second-hand clothing trade on developing countries. Oxfam.

Beamon, B. M., 1999. Designing the green supply chain, *Logistics Information Management*, Vol. 12, No. 4, pp. 332-342.

Fleischmann, M., Jacqueline M. Bloemhof-Ruwaard, Dekker, R., Erwin van der Laan, Jo A.E.E. van Nunen and Luk N. Van Wassenhove, 1997. Quantitative models for reverse logistics: A review, *European Journal of Operational Research*, 103, pp.1-17.

Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC),2007. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4)*.

Liu, Z. F., Liu, X. P., Wang, S. W. and Li, G. F., 2002. Recycling strategy and a recyclables assessment model based on an artificial neural network, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 129, pp. 500-506.

Ogawa, Sayaka, D.R., 2005. The trade of second-hand clothes in the local mega city Mwanza, Tanzania: With special reference to the social networks of malikauli transaction. Kurenai : Kyoto University Research Information Repository.

Skordilis, A. 2004. Modeling of integrated solid waste management systems in an island. *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 3, pp. 243-254.

Williams, I.D. and Kelly, J. 2003. Green waste collection and the public's recycling behavior in the Borough of Wyre. England. *Resources, Conservation and Recycling*, 38, 2, pp. 139-159.

Wu, H. J. and Dunn, S., 1995. Environmentally responsible logistics systems.
International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 25,
No. 2, pp. 20-38.

