

# 出國報告（出國類別：研習）

## 垃圾高溫氣化再利用技術

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：蕭清郎 專門委員

楊銀杉 薦任技士

李庭柱 技士

派赴國家：日本

報告日期：97年1月21日

出國時間：96年12月16日至12月22日

## 目錄

第一章 前言.....	1
一、研習目的.....	1
二、研習內容.....	1
三、研習行程.....	2
第二章 參訪及拜會過程.....	3
一、參訪 Mizushima Eco-works Co. Ltd.....	3
二、參訪 Japan Recycling Corporation.....	9
三、參訪 JFE-Bigadan Biogas 甲烷醱酵系統.....	14
第三章 日本垃圾處理技術研析.....	19
一、日本建構循環型社會.....	19
二、日本垃圾處理狀況.....	24
三、日本與我國垃圾處理比較.....	30
四、Thermoselect 系統之評估.....	33
五、Bigadan Biogas 甲烷醱酵系統之評估.....	39
第四章 研習心得及建議事項.....	40
附錄 參訪及拜會資料	

## 行政院及所屬機關出國報告書摘要

### 公務出國報告摘要

報告名稱：垃圾高溫氣化再利用技術

主辦機關：行政院環境保護署

出國人員：

蕭清郎 行政院環境保護署 環境督察總隊 專門委員

楊銀杉 行政院環境保護署 環境督察總隊 薦任技士

李庭柱 行政院環境保護署 環境督察總隊 技士

出國地點：日本

出國期間：民國 96 年 12 月 16 日至 12 月 22 日

報告日期：民國 97 年 1 月 21 日

分類號/目：

內容摘要：本次赴日本研習垃圾高溫氣化再利用技術，探討熱選擇-氣化及熔融處理系統（Thermo-select Gasification & Melt treatment）之原理及效益，及提供作為我國未來垃圾處理技術之可行性。本署研習成員為環境督察總隊 3 人，研習期間從民國 96 年 12 月 16 日至 12 月 22 日，參訪倉敷市及千葉市二座回收廢棄物處理相關設施及其運作情形，一座 JFE-Bigadan Biogas 甲烷醱酵系統設施及其運作情形，瞭解有機廢棄物厭氧醱酵之原理及效益。本報告內容蒐集垃圾高溫氣化處理及有機廢棄物甲烷醱酵技術和流程，並分析其資源循環再利用的經濟效益，針對日本現況資源再利用及垃圾處理方式和國內處理方式提出比較分析，作為未來國內垃圾焚化廠陸續除役後，廢棄物資源再利用及最終處理方式之參考。

## 第一章 前言

### 一、研習目的

本次赴日本研習垃圾高溫氣化再利用技術，探討熱選擇-氣化及熔融處理系統（**Thermo-select Gasification & Melt treatment**）之原理及效益，及提供作為我國未來垃圾處理技術之可行性。國內目前垃圾處理以焚化為主，已營運中焚化廠將於未來 5 至 10 年後起陸續除役，因應環保意識日益高漲及物質循環永續利用之理念，我國未來垃圾處理技術及污染防治設施之選擇應更嚴謹，以符合環境永續發展之目的。研習中蒐集垃圾高溫氣化及有機廢棄物甲烷醱酵技術，也針對日本現況資源再利用及垃圾處理方式和國內處理方式提出比較分析，作為國內廢棄物資源再利用及最終處理方式，期能減少處理廠用地、提高能源再利用、降低最終處置場址污染的目標，使垃圾處理更能符合生態、能源、回收、經濟面的最佳效益。

### 二、研習內容

1. 研習倉敷市及千葉市回收廢棄物處理（垃圾高溫氣化再利用技術）相關設施及其運作情形，瞭解設廠經費、營運收入及效益，生成合成氣體供作鋼鐵廠燃料使用。
2. 參訪有機廢棄物甲烷醱酵系統相關設施及其運作情形，探討產生甲烷氣體供作鋼鐵廠燃料之效益。
3. 探討日本推動循環型社會及垃圾處理情形，作為我國規劃垃圾處理計畫之參考。
4. 蒐集垃圾高溫氣化再利用操作及運轉參數，作為日後研討垃圾處理技術之參考。

### 三、研習行程

日期	行程	內容摘要	接待陪同人員	備註
12/16 (星期日)	桃園至廣島	啓程，出發至廣島		
12/17 (星期一)	廣島至岡山 縣倉敷市	參訪倉敷市熱選擇- 氣化及熔融處理系統 (Thermo-select Gasification & Melt treatment) 之演進、原理及效益，並參訪倉敷市回收廢棄物處理相關設施及其運作情形，然後進行意見交換。	水島 Eco-works 株式會社總務部 長石原直人	
12/18 (星期二)	廣島至東京	路程		
12/19 (星期三)	東京至千葉 縣千葉市	參訪千葉市熱選擇- 氣化及熔融處理系統 (Thermo-select Gasification & Melt treatment) 之原理及效益，並參訪千葉市回收中心相關設施及其運作情形，然後進行意見交換。	Japan Recycling 株式會社社長向 後九及掛長中 野健一	
12/20 (星期四)	東京至千葉 縣千葉市	有機廢棄物厭氧醱酵之原理及效益，並參訪 JFE-Bigadan Biogas 甲烷醱酵系統設施及其運作情形，然後進行意見交換。	Japan Recycling 株式會社千葉 Biogas 中心主任佐野純也	
12/21 (星期五)	東京	日本處理技術研討		
12/22 (星期六)		返程		

## 第二章 參訪及拜會過程

### 一、參訪 Mizushima Eco-works Co. Ltd.

- (1) 日期：96 年 12 月 17 日（星期一）
- (2) 參訪地點：位於日本岡山縣倉敷市水島川崎通 1 丁目 14-5（JFE 鋼鐵 Thermo-Select Method Gasification & Melt Treatment System）
- (3) 接待人員：水島 Eco-works 株式会社總務部長石原 直人
- (4) 參訪內容

本次主要參訪 Mizushima Eco-works Co. Ltd. 位於倉敷市 Thermo-Select Method Gasification & Melt Treatment System（以下簡稱 Kurashiki 廠）如圖 1，本署一行 3 人到達工廠時，由該廠總務部長 石原 直人 親自接待及進行簡報如圖 2，針對該廠推動廢棄物資源循環再利用環保理念及垃圾高溫氣化後產生可性氣體、附加產品之處理流程作詳細介紹如圖 3。



圖 1 Kurashiki 廠高溫汽化廠全景 圖 2. Kurashiki 廠總務部長石原 直人講解該廠垃圾高溫氣化再利用



圖 3. Kurashiki 廠廢棄物高溫氣化及資源循環再利用流程圖

Kurashiki 廠由 JFE 承包興建，佔地 33,000m<sup>2</sup>，氣化熔融爐 185tone/日、3 座，2002 年 1 月 21 日開始建廠，並於 2005 年 4 月 1 日開始營運操作，所有權屬 JFE 鋼鐵公司和當地地方政府，交付 JFE 鋼鐵公司負責營運操作。在進行營運操作之前，仍須依當地政府訂定之環保法令規定取得處理一般廢棄物及事業廢棄物相關設置及操作許可或認定後，始得正式營運。倉敷市政府現行環保法令規定，未經提出申請許可，本廠不得越區處理其他縣市廢棄物。Kurashiki 廠主要集資股東為 JFE38%、倉敷市政府 20%、岡山縣政府 10%、中國電力 10% 等，全部資本額約 23 億日圓，本廠設備為高溫氣化爐 3 爐，每爐日處理量 185 公噸，整廠日處理廢棄物能力 555 公噸，與倉敷市政府訂有 20 年長期處理該市廢棄物的契約，主要處理該市一般家戶垃圾、焚化灰渣、下水處理場產生污泥及事業可燃性廢棄物。

倉敷市人口約 50 萬人，所產垃圾原送入垃圾焚化廠處理，但因民眾質疑焚化廠會有排放 Di oxin 之疑慮，所以垃圾改採高溫氣化處理方式，並由倉敷市政府每年編列預算支付高溫氣化處理經費，每噸家戶垃圾處理

經費約 20,000 日圓、每噸事業廢棄物收取處理費約 23,000 日圓。  
Kurashi ki 廠現有員工人數約 80 人，據總務部長石原 直人表示整廠員工人數將精簡，朝向 50 人為目標。截至目前該廠已經運轉操作約 2 年半時間，平均每年處理廢棄物的營業收入約 32 億日圓，扣除支出加上合成氣體收入，每年收益約 6 億日圓。

Kurashi ki 廠垃圾高溫氣化再利用處理流程如圖 3，設計廢棄物的熱值約 10~14MJ/Kg，進廠廢棄物種類及熱值如下：燒却灰熱值 0、一般家戶廢棄物熱值約 2,000Kcal/Kg、產業廢棄物熱值約 4,000 Kcal/Kg，平均進廠廢棄物熱值約 2,000~3,000 Kcal/Kg。不同廢棄物經由不同形式的垃圾清運車，各式廢棄物清運的車型如圖 4，載回進廠後經過地磅稱重，投入設有脫臭設備的貯坑，貯坑上方設有 13.5m<sup>3</sup> 容量之抓斗，可抓取垃圾容量約 8.5 m<sup>3</sup>，重量大約 3 公噸。垃圾投入壓縮設備，壓縮體積至約 1/5 同時將垃圾中之水分乾燥及空氣排除，以提升其熱傳導效率。



圖 4. 各式廢棄物清運車輛模型

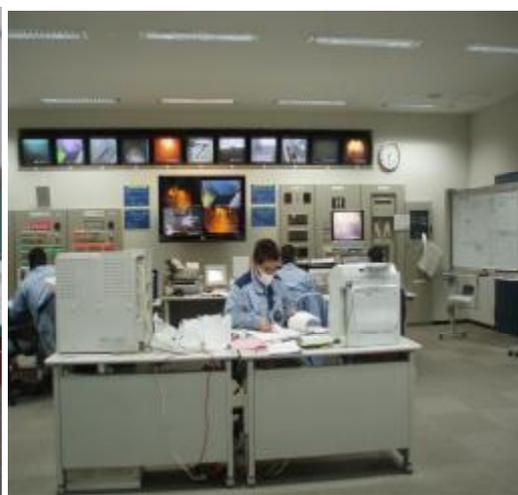


圖 5. Kurashi ki 廠控制室

在參訪過程中 Kurashi ki 廠的 2 號爐剛好進行保養工作，只有 1、3 號爐進行運轉，每爐平均運轉 300 天。本廠設有控制室負責監控各項操作單元及設備的參數（如圖 5），處理過程係將垃圾送至脫氣及乾燥設施，

將垃圾壓縮脫氣後，再依序將垃圾推送入高溫氣化反應爐。反應爐爐體直徑 3,260mm，內有特殊耐火材料襯裏（推測應為氧化鋁等類似材質）250mm，爐體長度 7,270 mm。壓縮後之垃圾塊進入高溫氣化反應爐，反應爐由外部提供高濃度  $O_2$  送入爐內及底渣熔融燃燒器（burner），以提高反應爐高溫熱分解有機碳等物質及促使灰渣高溫熔融。高溫反應爐火炬處最高溫度達 2,000°C，爐內最高溫度約 1,600°C 將可燃性及不燃性廢棄物如：灰渣及其他金屬鹽類等藉由均質化爐（Homogenization Chamber）完全成均質化的流體狀態，再以水冷卻後成為金屬（Metal）、金屬鹽類和爐渣（Slag）。Dioxin 等衍生物經高溫反應爐可完全分解，爐體燃氣出口溫度約 1,200°C，氣化產生的可燃氣體經過急速冷卻及酸洗淨化（High-speed gas cooling/acid cleaning），溫度由 1,200°C 經急冷後降至 70°C，以抑制 Dioxin 之再合成及控制飛灰的產生。急速冷卻後之水可回收再利用，廢水處理設備可將廢水中之鹽類、金屬分離後進行回收再利用，所以本廠幾乎沒有熱能回收等設施，圖 6 為 Kurashi ki 廠模型。



圖 6. Kurashi ki 廠模型

可燃氣體經濕式洗滌塔脫硫及去除水分精製成乾淨之合成氣體（Syngas），平均每噸廢棄物經高溫氣化後產生 700~1,000m<sup>3</sup>N 氣體量，

氣體成分主要為  $H_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ ，約各佔三分之一，販售至煉鋼廠作為燃料使用，每年燃氣販賣收入約 2 億日圓，佔整廠營業利潤約 30%。

**Kurashi ki** 廠每噸廢棄物經高溫均質化後急速冷卻分離的產物分別為金屬（約 1~6Kg）、金屬鉛及鋅等氫氧化物（約 4Kg）、混合鹽類（約 10Kg）、底渣（約 60Kg）、硫磺（約 0.5Kg）、冷卻水（約 600~900Kg）等物質，其中底渣佔有量約 97%，平均每日約 60 至 70 公噸，底渣亦應符合日本政府規定溶出試驗程序（TCLP）標準值，始得進行底渣再利用計畫。至於底渣由該廠自行製造成地磚等建築材料，金屬類經回收後送外熔融精練成銅板，金屬氫氧化物經回收熔融製成非鐵金屬物質，鹽類回收作為工業用鹽、硫磺精練作成工業硫酸、冷卻水回收再使用，充分達到廢棄物處理資源物質百分之百收再利用率目標，如圖 7、8。

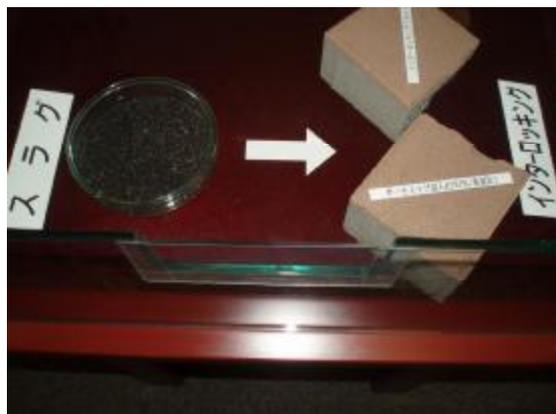


圖 7. 底渣再利用作為地磚



圖 8. 金屬及金屬鹽類再利用製成銅片及鉛塊

#### (5) 參訪心得

1. **Kurashi ki** 廠廠區環境乾淨，廢棄物進廠動線順暢及各項物品、工具堆置整齊、廠區內勞工安全衛生宣導及措施完善，尤其該廠對於勞安的重視，均值得學習。對於此次接待人員親切的專業解說，留下良好印象（如圖 9）。

2. 本廠適合處理各式廢棄物，不同廢棄物以專用清運車輛載運入廠、便

於區分，且進場車輛外表整潔，讓人感覺很清新。

3. 本處理流程可將廢棄物完全資源化及再利用，廢棄物經高溫氣化產生合成氣體可以作為燃料使用，無機成分可以回收硫份、金屬及爐渣等資源。由於廢棄物幾乎都被破壞，經重組後不會產生有害氣體，所以不必裝設空氣污染防治設施，也看不到煙囪，同時也看不到污水處理設施。
4. 本廠資源回收產生能源得以再利用及只有微量 **Dioxin** 排放，可視為環境友善設施，民眾接受度高。

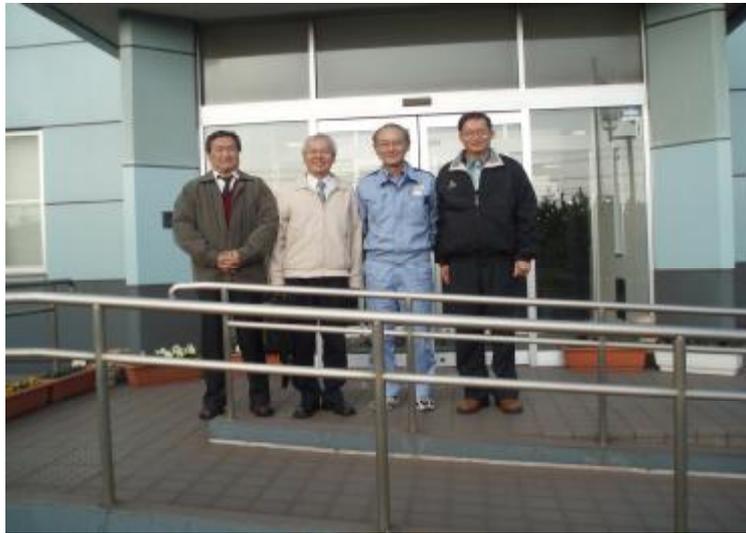


圖 9. 總務部長石原 直人與本署參訪人員合照

## 二、參訪 Japan Recycling Corporation (千葉市垃圾高溫氣化廠)

- (1) 日期：96 年 12 月 19 日 (星期三)
- (2) 參訪地點：位於日本千葉縣中央區川崎町 1 番地 (川崎鋼鐵廠區內)
- (3) 接待人員：Japan Recycling 株式会社社長向後 九及掛長中野 健一
- (4) 參訪內容

到達本廠後由該廠社長向後 九、掛長中野 健一，詳細介紹垃圾高溫氣化廠 (以下簡稱 Chi ba 廠) 處理流程如圖 10。

Chi ba 廠為日本地區設置第一座垃圾高溫氣化再利用廠，基地面積 17,365<sup>m</sup><sup>2</sup>，廢棄物倉庫容積 1175.5 m<sup>3</sup>，設計日處理量 300 公噸，有 2 座爐，處理量 150 公噸/爐，設廠期間 1998~1999 年，由川崎鋼鐵公司承包，1999 年 9 月由 Japan Recycling Corporation 負責營運操作，至今已運轉 8 年，所有權屬 JFE 公司。設計廢棄物熱值約 7~13MJ/Kg，主要收受廢棄物種類為產業廢棄物、都市垃圾及污泥，進場廢棄物熱值和 Kurashi ki 廠類似。

本廠人員操作方式採 4 班 3 輪方式，每班人數 4~5 人，1 人於控制室負責 1 爐的監控及操作情形，其他 2~3 人於現場巡視及操作。垃圾清運車從外面運送垃圾包進入廠區經過地磅稱重，垃圾包每塊重約 300 公斤如圖 11，再送入垃圾倉庫進行垃圾包之拆解。



圖 10. Thermoselect 系統講解意見交換



圖 11. 壓縮打包成塊的廢棄物

Chi ba 廠垃圾高溫氣化處理各項單元，其處理流程及原理與 Kurashi ki 廠類似，本廠各項單元處理設備流程及模型、廠房外貌如圖 12、13。



圖 12. Chi ba 廠處理流程圖



圖 13. Chi ba 廠模型

各項處理單元說明如下：

1. 垃圾貯坑：一般廢棄物、產業廢棄物、污泥傾入具有脫臭設備的貯坑如圖 14。

2. 壓縮設備：垃圾進行壓縮至原體積的 1/5，以利排除垃圾中之空氣，提升其熱傳導效率，如圖 15、16。



圖 14. 廢棄物進入貯坑



圖 15. 廢棄物壓縮設備



圖 16. 垃圾壓縮設備

3. 乾燥及脫氣：將垃圾送至脫氣及乾燥設備，垃圾推送入高溫氣化反應爐，反應爐外觀如圖 17。



圖 17. 垃圾高溫反應爐



圖 18. 金屬分選設備

4. 氣化及熔融：高濃度之氧氣吹入反應爐內，高溫熱分解碳，並促使灰渣高溫熔融。
5. Slag/Metal 均質化 (Homogenization Chamber)：經過 1,600°C 高溫熔融後以水冷卻，被熔化之碎石、金屬及其他物質和氧氣及裂解碳產生熱反應，經由均質槽冷卻後可以獲致金屬及礦渣 (Slag)。
6. 可燃氣改質：在高溫 1,200°C 熱分解，持續 2 秒以上，Dioxin 及 Tar (焦油) 經熱分解去除。
7. 可燃氣之急冷及酸洗淨化：燃氣從 1,200°C 經急冷後降至 70°C，可抑制 Dioxin 之再合成，且不產生飛灰。
8. 合成燃氣精製：回收後之可燃氣經脫硫去除水分，精製成乾淨之合成燃氣 (Syngas)，氣體組成比例：H<sub>2</sub> 35%、CO 25%、CO<sub>2</sub> 35% 及硫份。
9. 水處理：急速冷卻後之水循環使用，水處理設備將廢水中之鹽類、金屬取出後，水再循環使用，取出物則採再利用，如圖 18、19。



圖 19. 精練後之金屬氧化物及硫磺

#### (5) 參訪心得

1. 本廠接待人員社長向後久原來在 **Kurashi ki** 廠擔任社長後來調至本廠服務，他的態度親切並詳細介紹熱選擇-氣化及熔融處理系統（**Thermo-select Gasification & Melt treatment**）之處理原理及技術研究過程，技術引進日本設廠後各廠操作情形及效益，使參訪人員對於本項再利用技術有更進一步的瞭解。據表示此技術原由德國人發明，因瑞士設廠相關稅金較便宜，所以在瑞士設廠，而 **Chi ba** 廠為日本第一座設廠，但其規模和設備不及 **Kurashi ki** 廠。
2. 進入廠區參觀各處理單元及設備，廠區內不易聞到廢棄物溢散出的臭味，工廠內噪音量低，環境乾淨，值得學習。
3. 從千島市收集到的垃圾壓縮塊，進入廠區拆包後送入氣化處理，從清運方面，可節省垃圾清運費及減少運輸車次。從處理方面，將增加壓縮塊拆包及垃圾搬運工時。垃圾是否壓縮打包再進廠處理，值得進一步評估分析。

### 三、參訪 JFE-Bi-gadan Biogas 甲烷醱酵系統

- (1) 日期：96 年 12 月 19 日（星期四）
- (2) 參訪地點：位於日本千葉縣中央區川崎町 1 番地（川崎鋼鐵廠區內）
- (3) 接待人員：Japan Recycling 株式会社千葉 Biogas 中心主任佐野純也
- (4) 參訪內容

本廠將有機物質經過生物發酵處理（Biogas）後產生甲烷氣（ $\text{CH}_4$ ）回收作為燃料使用，達到資源循環再利用的目的，本廠廠房廢棄物清運車輛入口外觀如圖 20，以下作一簡單介紹：



圖 20. 甲烷醱酵廠清運車輛入口

此流程利用微生物將有機物質經由發酵作用產生可燃性氣體的中間處理方式，本項處理技術發源於丹麥，主要用來處理畜牧業產生的糞尿發酵處理。後來日本利用此技術設廠，本廠設計處理容量每日約 30 公噸，其有機物質固形物濃度約 30%，主要處理廢棄物種類係從千葉市收集回來的過期食品如牛奶、餅乾等、動植物性剩餘殘渣、污泥及廢棄食用油，進廠處理費每公噸收取約 50,000 日圓。另外，千葉市有一社區自治團體正在嘗試將廚餘分類回收後送入本廠處理，預計每星期有 2 公噸的廚餘送入再利用。

JFR 廢棄物清運車輛將每天從各地收集到的過期有機物及食品等紙

裝或罐裝廢棄物運送至本廠如圖 21。清運車輛全部將整罐或整箱物品傾入貯坑，貯坑設有脫臭設備，混合廢棄物經由破碎機將液態有機物、紙類、塑膠袋等破碎如圖 22，再經由磁選機分離出紙類和塑膠袋等非有機性雜物。紙類及塑膠袋收集後另外支付處理費送外處理。液態有機物送入混合槽混合及調整槽進行固形濃度調整，濃度由 30% 調整至 10%，調整後液體經過低溫熱交換器→中溫熱交換器→高溫熱交換器再送入滅菌設備進行 70°C，1 小時滅菌工作，以去除病原細菌。消化槽以中溫 37°C 進行攪拌消化，消化時間約 20 天，消化過程產生之甲烷送入脫硫塔進行精練回收，脫硫回收的硫化物再製成硫化氫（H<sub>2</sub>S）出售，相關處理設備照片如圖 23、24、25、26、27、28、29。

生物發酵產生的可燃氣體，其氣體成分組成爲 60~70% CH<sub>4</sub>、30~40% CO<sub>2</sub>，一般而言，回收的可燃性氣體熱值約 7,000Kcal/Kg，煉鋼廠煉焦熱值約 4,000~5,000 Kcal/Kg，所以經生物發酵產生可燃氣體因熱值高，可以全部送入氣體貯槽後販售至煉鋼廠供作燃料使用，至於消化後的殘渣經由脫水乾燥後製程污泥餅，送至其他處理場予以回收再利用。



圖 21. 過期食品



圖 22. 過期食品及有機物質



圖 23. 調整槽及消化液貯留槽



圖 24. 可燃性氣體貯存槽

本項生物發酵處理因清運車輛將有機廢棄物質整箱或整罐送入廠內混合後破碎分離，所以在前處理過程會有大量的紙類及塑膠袋、消化後殘渣及污泥等不能發酵雜物，需要支付經費送外處理，發酵處理過程亦會產生污水需要污水處理廠處理經費。所以本廠每年收入約 15 億日圓，扣除其他支出，每年所得利潤收益約 1 億日圓，嚴格來說，本廠收支只能達到平衡，但為達到廢棄物資源回收及能源再利用的目標，具有環境保護正面宣導的意義。



圖 25. 活性炭脫臭設備



圖 26. 滅菌處理設備



圖 27. 醱酵產氣脫硫設備



圖 28. 熱交換器設備



圖 29. 有機廢棄物消化槽

#### (5) 參訪心得

1. 利用有機廢棄物經由生物產氣以回收甲烷氣，雖然廠方所獲得營業利潤不高，但畢竟它是屬於能源回收再利用方式，和目前國內廚餘回收再利用類似，均對環境保護有正面意義，在能源缺乏及高油價時代來臨，值得推廣本項處理技術。
2. 本廠廢棄物進廠時都是整箱（瓶）過期食品或是廢棄有機物，進廠後再進行破碎及分離工作，徒增許多發酵處理經費及分離雜質後續處置

費用。若廢棄物進廠時，能先行將過期食品及廢棄有機物，經由前處理分類回收包裝紙類或塑膠袋，再將過期食品或廢棄有機物等液、固體物送廠處理，則可減輕本廠前處理費用及增加處理效率。

3. 日本有機廢棄物處理現階段仍採堆肥處理為主，利用生物發酵產氣的比例不高，但不管用何種處理方式，有機廢棄物（包含廚餘）所含量過高的氮鹽，亦是處理過程較不易克服的難題。

### 第三章 日本垃圾處理研析

#### 一、日本建構循環型的社會

日本政府鑑於近年來生活日趨富裕，廢棄物產生量與年俱增，演變為「大量生產、大量消費、大量廢棄」的經濟社會活動，廢棄物最終處置掩埋場的使用年限日趨飽和，並落實「環境基本計畫」(2002年12月實施)與「環境基本法」(1996年8月實施)的理念與政策目標，同時為實現永續發展，將現有的社會變成能有效利用資源的循環型社會。故於2000年6月制定「循環型社會形成促進基本法」，並自2001年1月全面施行，希望藉由此法之施行將日本社會由廢棄物單向通行的社會轉型為循環型的社會。2003年3月制定「循環型社會形成推進基本計畫」，日本政府目前正依據該計畫綜合且也計畫的推動循環型社會的形成。

依據前述「循環型社會形成促進基本法」之定義，所謂循環型社會之定義係指：「藉由抑制產品成為廢棄物、促進屬於可循環資源產品進行適當的產品循環，以及確保已經無法再回收的可循環資源進行適當處理，使得其自然資源的消耗受到限制，環境負荷儘可能降低。」。該法指出循環型社會要減少廢棄物產生，加速再生資源的適當利用，適當處置無法循環利用的廢棄物，以減少天然資源的消費並減輕環境負荷。同時該法亦指出這是國家、地方政府、製造廠商以及消費者的共同責任，內容列出國家要規劃完善的再生利用通路，鼓勵再生利用業者，率先實施綠色採購。而地方政府除了要比照國家執行政策外，還要有計畫的推動符合地區自然和社會條件的再生事業。公司行號與一般消費大眾則應該減少廢棄物的量，致力於重複使用、再生利用與適當的處置。相對的製造業者有責任在產品的設計階段考量到耐久性與再生利用性，並有整備再生系統等的回收責任。

日本循環型社會形成促進的法治體系如圖 30 所示，整個體系以「環境基本法」為上位，並以「循環型社會形成促進基本法」做為基本原則，其下分為廢棄物的適當處理以及再生利用的促進兩部份，分別為「廢棄物處理法」與「資源有效利用促進法」；另依照個別產品特性，分別訂定「容器包裝再生利用法」(2000年4月實施，2006年6月修正)、「家電再生利用法」(2001年4月實施)、「食品

再生利用法」(2001年5月實施)、「建築廢棄物再生利用法」(2002年5月實施)、以及「汽車再生利用法」(2005年1月5實施)等個別產品之再生利用法。此外，為促進再生產品的銷售管道，自2000年4月開始實施「綠色採購法」，規定政府應積極採購對環境友善的商品。

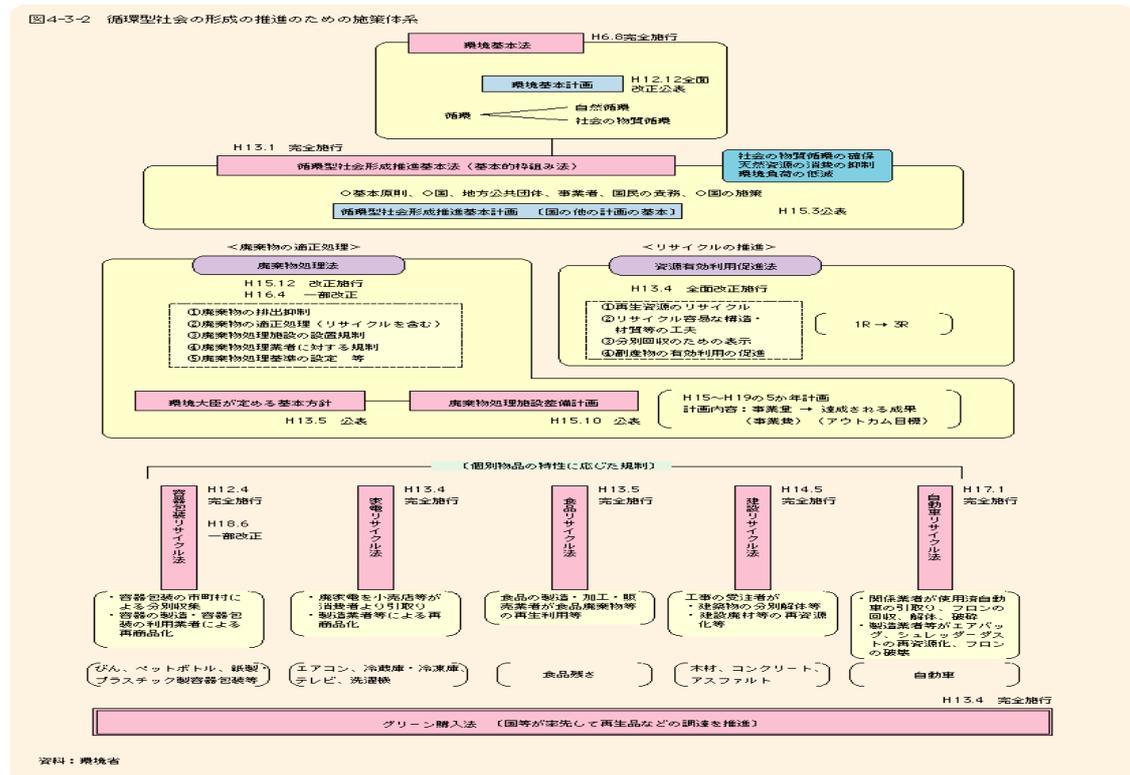
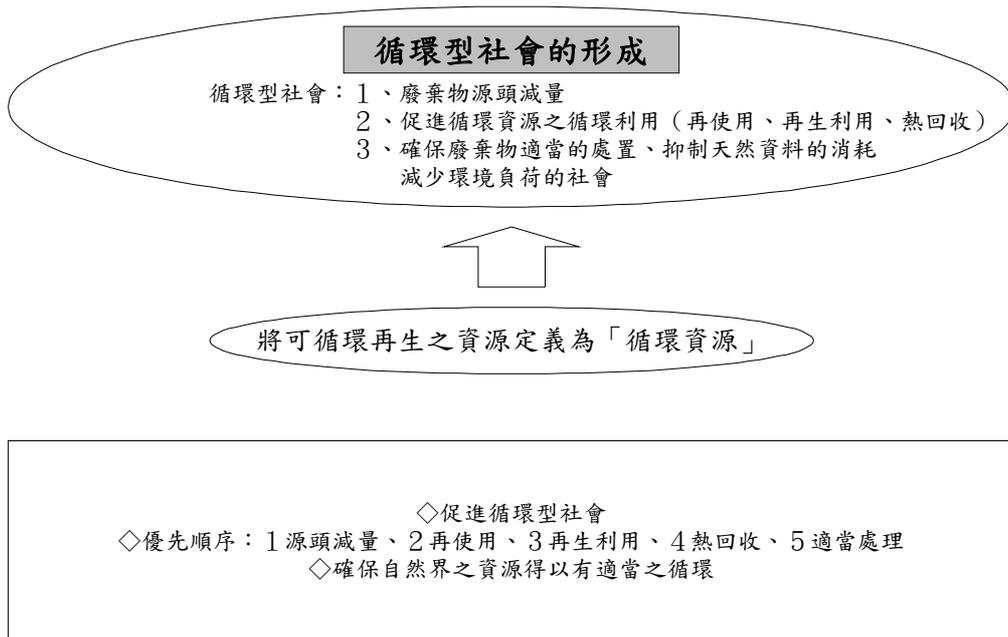


圖 30. 日本循環型社會形成促進的法治體系

循環型社會的基本原則包含：1. 廢棄物源頭減量。2. 促進可再生資源的循環再利用（再使用、再生利用、熱回收）。3. 確保廢棄物的適當處理，以達成抑制天然資源消耗，減低環境負荷的社會。該法之精神，主要是確保自然界之資源得以有適當的循環，所以，廢棄物處理依該法之精神訂定優先順序為：減量→再使用→再生利用→能源回收→適當處置。該法之架構如圖 31 所示。



**圖 31. 循環型社會形成基本架構**

由圖 32 日本政府為推動循環型社會，補助廢棄物處理經費著重在資源再生利用及能源的回收等設施，諸如：熱回收設施、飛灰熔融設施、垃圾堆肥、飼料及甲烷化設施、包裝容器回收設施、垃圾燃料化設施、水肥淨化設施等。可燃垃圾經由焚化產生熱能及灰渣，熱能可以供給發電或提供公共設施暖氣或熱水等，灰渣經由熔融可以產生爐渣。生垃圾經由堆肥化、飼料化、甲烷化，分別可以產生堆肥、飼料及甲烷等資源。資源垃圾經由分選，可以回收鐵、鋁、玻璃及紙類等資源。

図10-3-1 循環型社会形成推進基本計画の概要と主要な取組

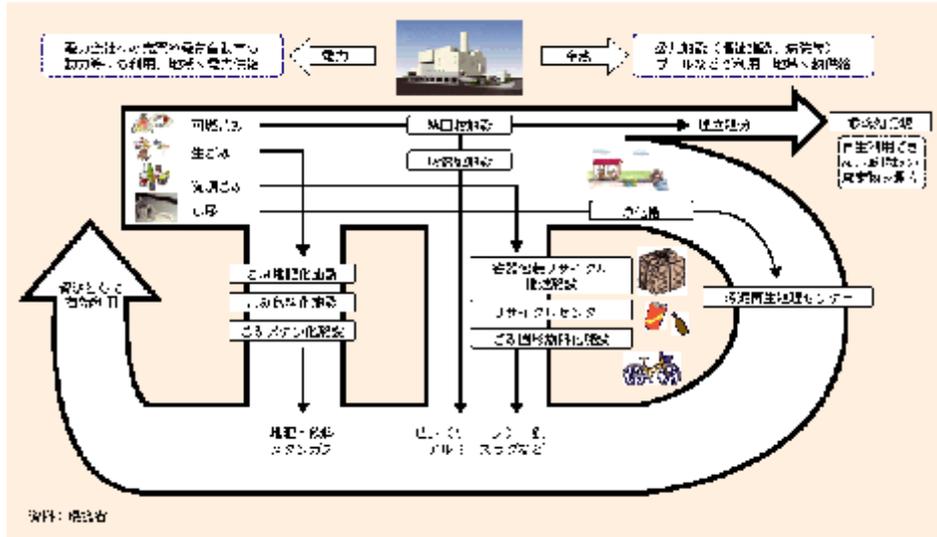


圖 32. 循環型社會補助對象及主要設施

日本政府 2007 年(平成 19 年)計編列 2,868.84 億日圓經費推動此項計畫，分別編列於各相關部門，其預算項目及經費如表 1 所示，比起 2006 年編列 2,714.47 億日圓增加 5.4%。

表 1 日本推動「循環型社會形成推進基本計畫」預算編列情形

表 4-2-1 主な循環型社会形成推進基本法関係予算

	H19年度	H18年度
1 自然界における物質循環の確保	286,884	(271,447)
○地域バイオマス利活用交付金(農林水産省)	143,964	(115,275)
○地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発(農林水産省)	14,346	( 0)
○木質バイオ燃料製造技術開発促進事業(農林水産省)	1,500	( 0)
○森林環境保全整備事業(内閣府、農林水産省、国土交通省)	30	( 0)
2 ライフスタイルの変革	103,621	( 98,313)
○環境教育推進グリーンプラン(文部科学省)	976	( 891)
○私立学校エコスクール整備推進モデル事業(文部科学省)	90	( 94)
○こどもエコクラブ事業費(環境省)	90	( 90)
○地方環境パートナーシップ推進費(環境省)	88	(108)
○地方環境パートナーシップ推進費(環境省)	94	( 87)
○ゴミゼロ型社会推進事業費(環境省)	15	( 45)
3 循環型社会ビジネスの振興	843	(1,978)
○国等におけるグリーン購入推進経費(環境省)	14	( 18)
○グリーン購入推進効果評価等経費(環境省)	2	( 3)
○産業廃棄物処理業優良化推進事業費(環境省)	56	( 56)
○資源有効利用促進等資金利子補給補助金(経済産業省)	10	( 4)
○環境経済統合推進等経費(環境省)	7	( 8)
4 安全で安心な廃棄物等の循環的利用と処分の実現	13,421	(12,746)
○食品循環資源経済的処理システム実証事業費(農林水産省)	70	( 0)
○循環型社会形成総合情報収集・集積システム構築事業(環境省)	14	( 7)
○省資源・再資源化政策推進(経済産業省)	570	( 631)
○副産物用途開発等有効利用調査・開発事業費補助金(経済産業省)	111	(113)
○電子マニフェスト普及促進事業費(環境省)	90	( 98)
○港湾環境整備事業・海洋環境整備等(国土交通省)	2,688	( 3,096)
○産業廃棄物不法投棄等原状回復措置推進費補助(環境省)	3,970	( 3,970)
○産業廃棄物越境移動対策(環境省)	12	( 16)
○アジア資源循環推進ネットワーク形成事業費(環境省)	5	( 3)
5 循環型社会を支えるための基盤整備	127,680	(140,556)
○循環型社会形成推進交付金(内閣府、国土交通省、環境省)	51,521	( 48,383)
○下水道事業費補助(内閣府、国土交通省)	645,995	(682,855)
の内数	の内数	
○農業集排水事業(農林水産省、国土交通省、内閣府)	18,846	( 20,940)
○産業廃棄物処理施設の効率的な整備推進に関する調査(環境省)	31	( 31)
○省資源・再資源化政策推進(経済産業省)	570	( 631)
○次世代廃棄物処理技術基盤整備事業(環境省)	403	( 403)
○循環型社会推進等経費(環境省)	83	(102)
○環境カウンセラー活用推進事業(環境省)	18	( 22)

※下水道事業費補助等、内数で計上している経費については合計金額から除く。  
資料：環境省

資料來源：平成 19 年環境・循環型社會白書

日本 2004 年（平成 16 年）總物質投入量 19.4 億噸（含國內資源 8.9 億噸、輸入資源 8.0 億噸及循環再用資源 2.5 億噸），其中變為建築物及社會基礎設施 8.3 億噸、能源消耗 4.6 億噸、食物消耗 1.2 億噸、輸出 1.5 億噸以及變成廢棄物 6.1 億噸。其中 6.1 億噸廢棄物經過中間處理減量 2.4 億噸、自然還原 0.9 億噸、再生利用量 2.5 億噸以及最終處分 0.4 億噸。詳見圖 33。

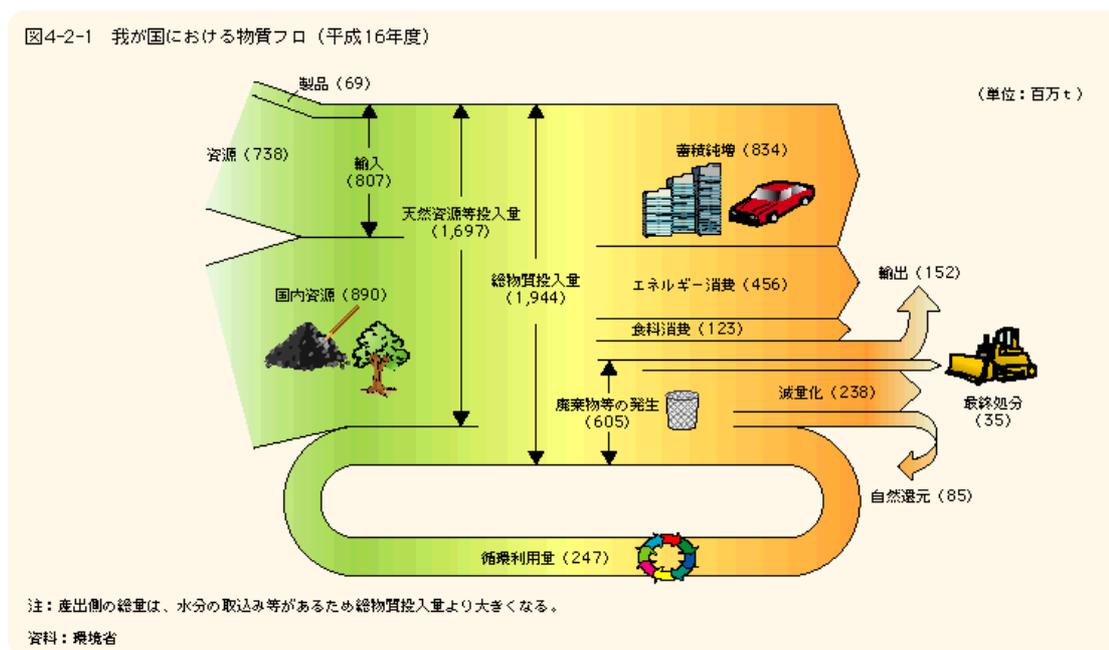


圖 33. 日本物質流動流程（2004 年）

日本政府推動此項計畫依據物質的流動、利用循環以及國內生產毛額訂定 3 個評估指標，各指標平成 2、12、16 年達成值以及平成 22 年設定目標值，詳如表 2：

表 2 日本推動「循環型社會形成推進基本計畫」執行成效

	平成 2 年 (1990 年)	平成 12 年 (2000 年)	平成 16 年 (2004 年)	平成 22 年 (2010 年)
資源生產率 (萬日圓/公噸)	21	28	33.6	39
循環利用率 (%)	8	10	12.7	14

最後處理量 (百萬公噸)	110	56	35	28
-----------------	-----	----	----	----

備註：1. 資源生產率 = GDP / 天然資源投入量

2. 循環利用率 = 循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源投入量)

3. 最後處理量 = 廢棄物的填平量

4. 資料來源 (平成 19 年環境・循環型社會白書)

由表 2 得知日本推動循環型社會基本計畫，其成效逐年提高。平成 2 年資源生產率 21 萬日圓/公噸，平成 16 年提高至 33.6 萬日圓/公噸；循環利用率平成 2 年 8%，平成 16 年提高至 12.7%；最後處分量平成 2 年 110 百萬公噸，平成 16 年降至 28 百萬公噸。平成 22 預定達成目標如下：1. 資源生產性於平成 22 年 (西元 2010 年) 達每噸 39 萬日圓，較平成 12 年 (西元 2000 年) 增加四成。2. 循環利用率於平成 22 年達 14%，較平成 12 年增加四成。3. 最終處置量於平成 22 年達 28 百萬噸，為平成 12 年處置量之一半。

## 二、日本垃圾處理現況

日本廢棄物分為由市町村負責處理的一般廢棄物和由事業排放的產業廢棄物，近年來廢棄物排放量雖然沒有增加，只保持一定的量，但是依然仍須面對一些課題，諸如最終處置場剩餘容量接近飽和值、非法棄置的不當處理以及各地區對廢棄物跨區運輸及處理設施的設置存在對立的現象。

為了解決有關廢棄物的各項問題，2004 年日本對於有關廢棄物處理及清掃的法令進行修訂，增加了強化國家作用及對廢棄物不當處理的處罰等措施。

### (一) 推動再生利用的工作

#### 1. 包裝容器再生利用法的推進

玻璃瓶和塑膠瓶等包裝容器廢棄物佔一般廢棄物容積的六成左右、重量約二至三成。為了有效的處理這些廢棄物，1995 年制定有關包裝容器分類收集及再生商品化的法令 (容器包裝再生法)，其中規定消費者要做好分類排放、市町村分類收集和事業負擔再生利用的機器，從 2000 年 4 月起

全面實施。

## 2. 家電再生利用的推進

根據特定家庭用機械再商品化法，從 2001 年 4 月開始，冷氣機、電視機、冰箱和洗衣機的製造廠家等開始依法進行再生利用。2004 年度在日本全國指定交易場所回收的四種廢舊家電數量達到 1,121.6 萬台，2005 年回收四種廢舊家電數量達到 1,162 萬台，從目前況看來實施況良好。此外從 2004 年 4 月起，除了冰箱外又新增冷凍櫃品目。平成 17 年度（2005）的再商品化實際成績（括號內是法定再商品化率）：調節空氣，84 %（60% 以上）；電視，77 %（55% 以上）；雪櫃以及冷庫，66 %（50% 以上）；洗衣機 75%（50% 以上）。

## 3. 食品再生利用的推進

食品製造、流通和消費途中所產生的食品廢棄物，佔一般廢棄物排放量的三成，而用於飼料和肥料等的再生利用率只有二成，因此從 2001 年 5 月開始實施有關促進食品循環資源再生利用等的法律。除了食品製造通路銷售外，外食業者與飯店等亦為管制對象，食品廢棄物的再生率於 2006 年要提高到 20%。平成 17 年（2005）度食品廢棄物的再生利用的實際實施率如下：食品製造業 81%（前年度 72%）；食品批發業 61%（前年度 41%）；食品零售業 31%（前年度 28%）；外賣產業 21%（前年度 17%）。食品產業共計 52%（前年度 45%）。

## 4. 建築再生利用的推進

建築施工所廢棄的木材及混凝土等建築廢棄物佔產業廢棄物排放量的二成，佔最終處理量的二成，佔非法拋棄量的九成（2004）。因此從 2002 年 5 月開始實施有關建築施工資材資源化等的法律，該法律規定只要目就是要減少這類建築廢棄物的產生，並有效活用資源，建築施工承包者有義務對產生建築廢棄物進行再生利用。平成十七年（2005）資源再次利用率如下：瀝青・混凝土塊 98.6%；混凝土塊 98.1%；建設發生木材 90.2%。

## 5. 汽車再生利用的推進

日本爲了防止汽車以及解體殘渣被非法棄置，2002年7月制定有關報廢汽車在資源化等的法律，該法律從2005年1月起正式實施該法律規定以汽車製造業者或進口業者負責廢棄車輛的再資源化與處理，再生費用由使用者負擔。

### (二) 日本垃圾處理

日本2005年度垃圾總排出量爲5,273萬公噸，比前一年減少1.2%，其中生活系垃圾排出量爲3,648.7萬公噸，事業系垃圾爲1,624.3萬公噸。日本總人口數爲1億2,771.2萬人，清運總人口數爲1億2,765萬人，每人每日排出約1.131公斤。自從2000年度每人每日排出約1.185公斤，達到最高點後逐年遞減。

有關垃圾的產出及處理狀況如下述：

#### 1. 垃圾排出狀況

依據日本垃圾總排出量的統計(如圖34)，日本垃圾總排出量及每人每天的垃圾排出量在平成12年(2000)達到最高點後逐年減少。2000年日本垃圾總排出量5,483萬噸，2005年垃圾總排出量5,273萬噸，減少3.83%。2000年每人每天的垃圾排出量1.185公斤，2005年每人每天的垃圾排出量1.131公斤，減少4.56%。

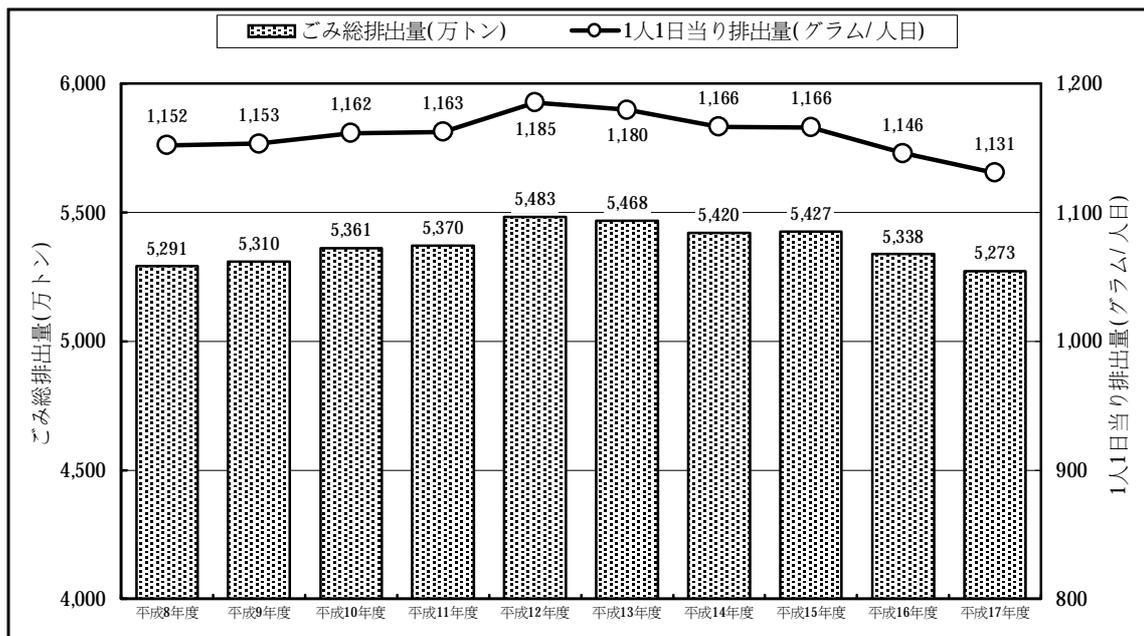


圖 34. 日本垃圾總排出量統計

〔圖 33-38 資料來源：日本の廃棄物処理（平成 17 年度）（2005 年）〕

## 2. 垃圾處理狀況

日本平成 17 年（2005）垃圾總排出量為 5,273 萬噸，其中 300 萬噸為集團回收、計畫處理量為 4,973 萬噸；計畫處理量 4,973 萬噸中，直接資源化 254 萬噸、中間處理量 4,578 萬噸、直接最終處分 144 萬噸；中間處理部分減量化量 3,540 萬噸、處理殘渣量 1,038 萬噸；處理殘渣量經過再生利用量 449 萬噸、處理後最終處分量 589 萬噸。所以，日本平成 17 年（2005）垃圾總排出量為 5,273 萬噸經過回收處理後其流向為總資源回收量（集團回收 + 直接資源化 + 處理殘渣量經過再生利用量）1,003 萬噸（19.0%），最終處分量（直接最終處分 + 處理後最終處分量）733 萬噸（13.9%），餘 3540 萬噸（67.1%）中間處理減量（詳圖 35 所示）。

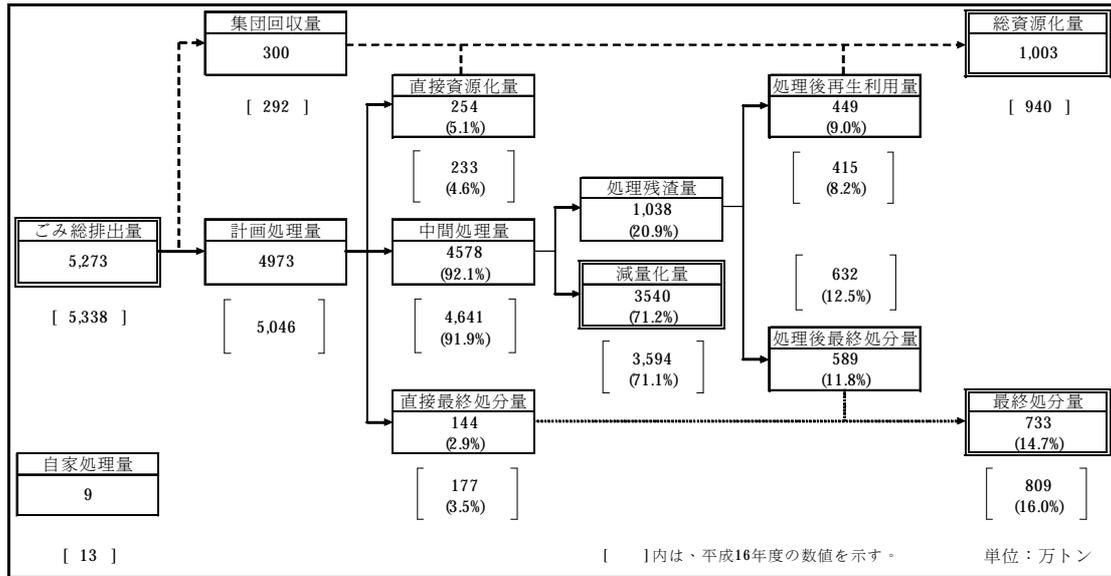


圖 35. 日本垃圾處理的流向

由圖 36 日本垃圾處理方式統計，日本平成 8 至 17 年垃圾中間處理以焚化處理為主，約占 77~79%。資源化的中間處理由 12.4% 略增加至 14.6%；直接資源化比例於平成 9 年為 0、平成 17 年增加至 5.1%；直接最終處分量於平成 9 年為 10.2%、平成 17 年減少至 2.9%。由上述得知日本垃圾處理以焚化處理量略減，直接資源化的量增加中，相對地直接最終處分量減少中。

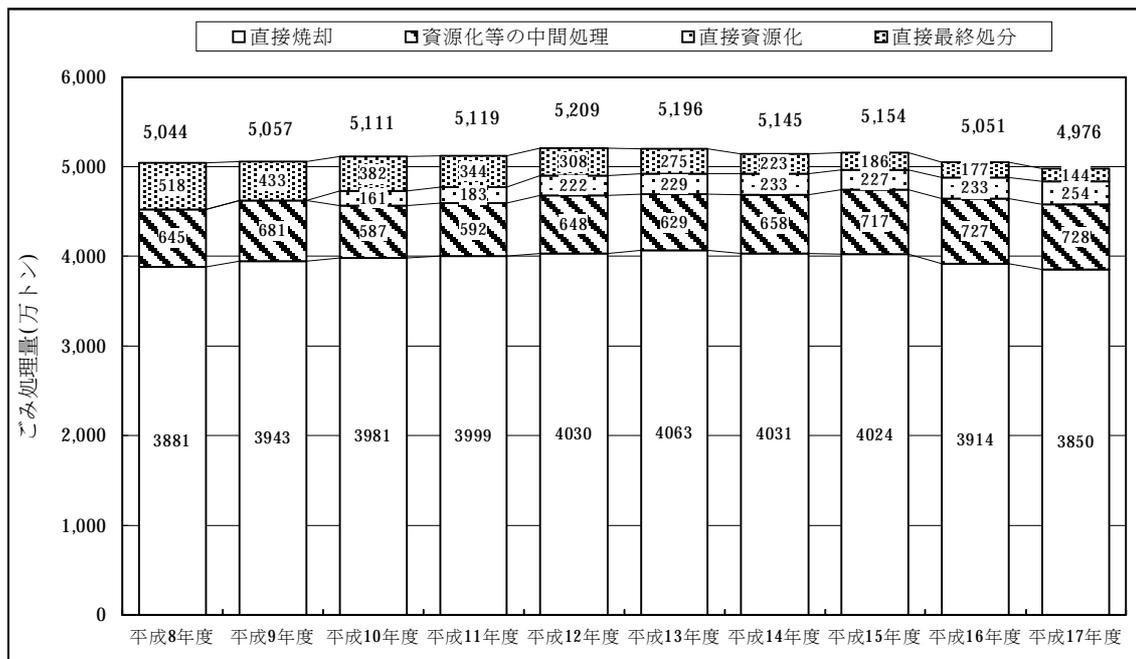


圖 36. 日本垃圾處理方式統計

日本最終處分量係由直接最終處分量加上中間處理後最終處分量，於平成 8 年 1,309 萬噸（如圖 37 所示），至平成 17 年降至 733 萬噸。其中直接最終處分量由 518 萬噸降至 144 萬噸最為顯著。換算為每人每天處分量由 285 公克降至 157 公克，而且仍繼續減少中。

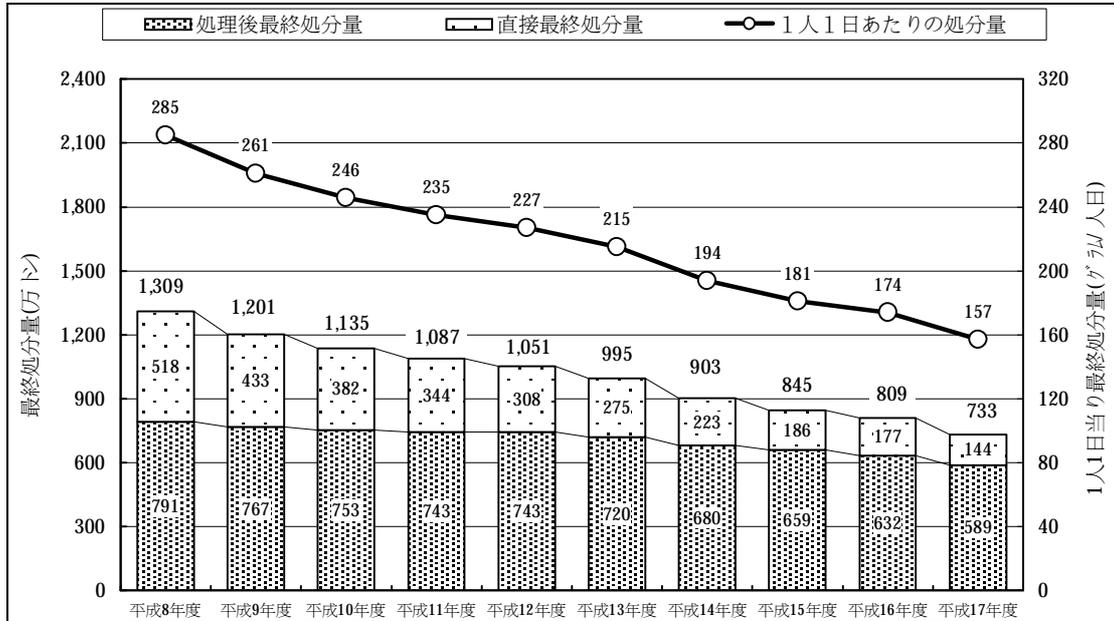


圖 37. 最後處分量的推移

在日本平成 17 年計畫處理量 49,733 千噸垃圾，垃圾大致分混合（4,029 千噸）、可燃（32,052 千噸）、不燃（2,568 千噸）、資源（5,010 千噸）、其他（260 千噸）、巨大（721 千噸）及直接搬入（5,093 千噸）等種類。垃圾經由直接資源化及中間處理後再生再利用，可以得到資源化量 7,030 千噸，其種類及數量如圖 5 所示，其中以紙張最多、金屬類、玻璃類次之；熔融爐渣、固形化燃料、其他類分佔 6%、5%、12%。可見日本資源回收除了一般瓶瓶、罐罐、紙張回收，有部分回收資源係從焚化以外的中間處理技術得來，諸如：巨大垃圾處理設施（644 千噸）、垃圾堆肥設施（61 千噸）、垃圾飼料設施（0.02 噸）、甲烷化設施（16 千噸）、垃圾燃料化設施（424 千噸）、其他資源設施（2,506 千噸）等（詳見圖 38）。

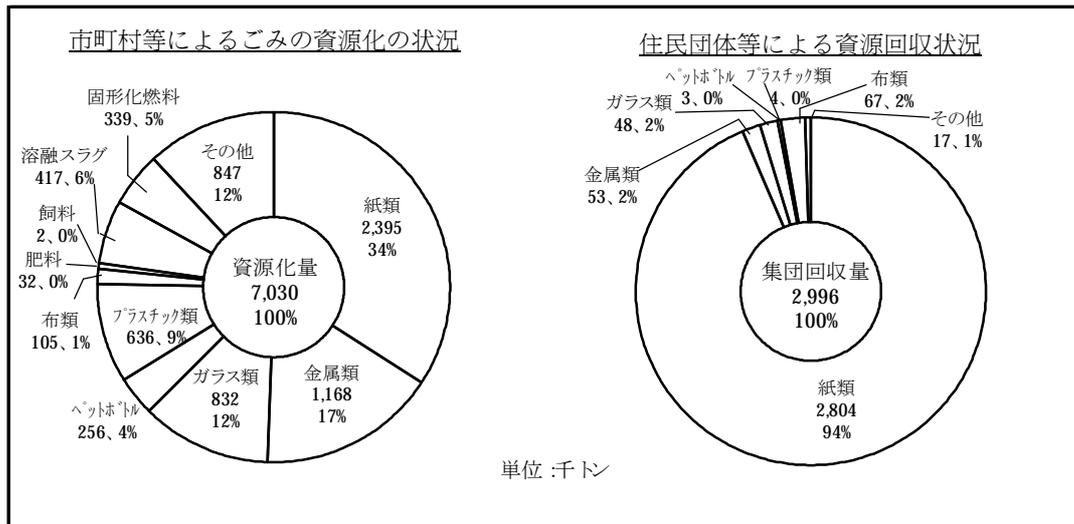


圖 38. 資源化物品種類分類明細

循環回収率係總資源化量除以總垃圾排出量，總資源回收量係指直接資源化量 + 中間處理後再生再利用量 + 集團回收量。日本循環回收率由平成 8 年 10.3 %、提高至平成 17 年 19.0%，由圖 39 得知日本總資源化量及日本循環回收率均逐年上升。

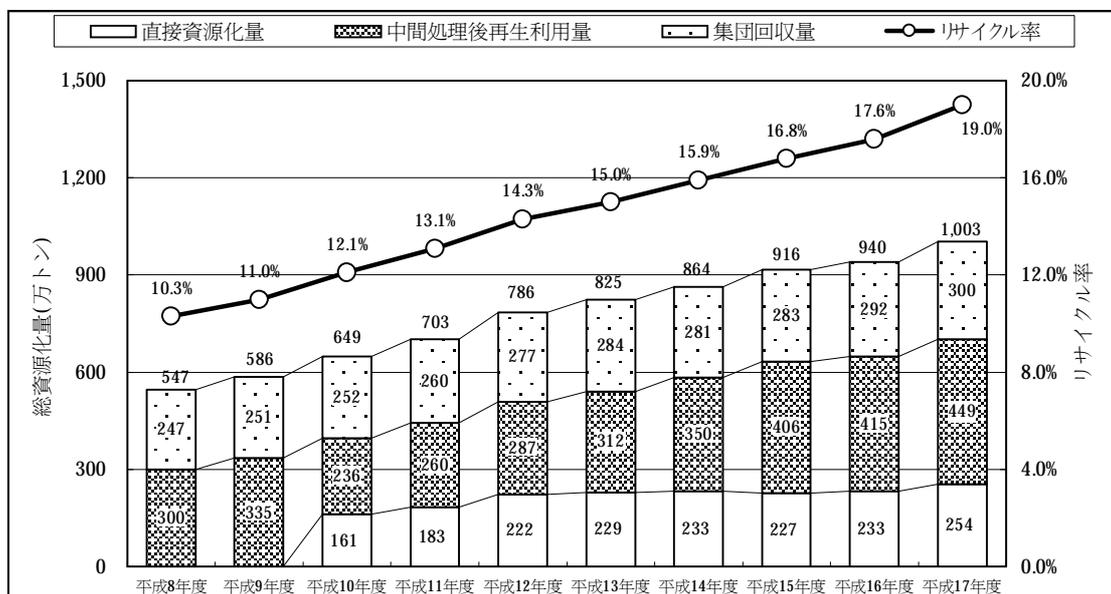


圖 39. 總資源化量和循環率的推移

### 三、日本與我國垃圾處理比較

日本 2005 年垃圾總排出量為 4,976 萬公噸、平均每人每日排出 1.131

公斤（大於 50 萬人之都市平均為 1.27，小於 1 萬人之鄉村平均為 0.884），自從 2000 年平均每人每日排出 1.185 公斤達到最高值後，逐年略減。台灣 2006 年垃圾總排出量為 773.8 萬公噸、平均每人每日排出 0.93 公斤，自從 1998 年平均每人每日排出 1.149 公斤達到最高值後逐年略減。日本與台灣垃圾處理情形比較如表 3 所示：

表 3. 日本與台灣垃圾處理情形比較（單位：千噸）

		日本（2005 年）	台灣（2006 年）	
垃圾 總 處 理 量	直接焚化量	38,495 (77.36%)	4,164 (53.80%)	
	資 源 化 中 間 處 理	巨大垃圾處理	2,589 (5.20%)	29 (0.37%)
		垃圾堆肥化	99 (0.20%)	113 (1.46%)
		垃圾飼料化	0.02 (0.00%)	453 (5.85%)
		甲烷化設施	21 (0.04%)	
		垃圾燃料化	755 (1.52%)	
		其他資源化	3,618 (7.27%)	5 (0.07%)
		其他設施	202 (0.41%)	
	直接資源化量	2,541 (5.11%)	2,107 (27.23%)	
	直接最終處分量	1,444 (2.91%)	867 (11.20%)	
	合計	49,765	7,738	
	減量處理率 (%)		97.09	88.80
		直接焚化率 (%)	77.36	53.80
中間處理率 (%)		19.73	35.00	
	直接掩埋率 (%)	2.91	11.20	
資 源 回	直接資源化量	2,541	2,107	
	中間處理後再生利用量	4,489	475	
	集團回收量	2,996		

收 量	小 計	10,026	2,582
資源回收率(%)		19.00	33.36
最 終 處 分 量	焚化殘渣	4,549	751
	焚化以外中間處理殘渣	1,339	11
	直接最終處分量	1,444	867
	小 計	7,332	1,639
最終處分率(%)		13.90	21.18

資料來源：1. 日本の廃棄物処理（平成 17 年度）（2005 年）

2. 中華民國環境保護統計年報 96 年版

由表 3 得知，日本的垃圾 77.36% 直接以焚化方式處理，這個比例在先進國中相當高，資源化中間處理比例達 14.64%，直接掩埋率只有 2.91%，顯示日本垃圾除了以焚化處理外，亦重視資源化中間處理之推展。台灣垃圾 53.8% 直接以焚化方式處理，直接掩埋率 11.2%，但資源回收率達 33.36% 比日本高很多，顯示台灣推動「垃圾全分類零廢棄」政策績效很好，尤其是資源與廚餘的回收。若台灣垃圾扣掉資源回收量，則直接焚化比例高達 74%，所以台灣垃圾處理模式與日本相近。

但在廢棄物經過中間處理資源化產生燃料氣體販賣或供本身使用，日本比例約有 1.6%，國內目前尚無此垃圾處理方式，在能源資源有限及循環再利用現況下，日本垃圾處理各式新穎技術較國內先進。

日本在推動循環型社會同時也考慮地球環境問題，並針對廢棄物與地球溫暖化之關係提出對策，致力於推動廢棄物 3R (Reduce、Reuse、Recycle) 行動計畫，採取減少廢棄物的產生、減少製造原料使用量、

變更製程、替代能源及減少掩埋量等措施，以減少廢油、塑膠類的焚化、能源消耗、化石燃料的消耗及掩埋場甲烷氣的產生，期望減少溫室效應氣體的排出量。本次前往研習垃圾高溫氣化再利用及生物發酵處理技術，就是將垃圾處理方式改變並產生替代能源（合成氣體、甲烷等）及減少垃圾焚化所產底渣最終掩埋數量。

#### 四、Thermoselect 系統之評估

Thermoselect 系統是一項新的廢棄物處理程序，藉由裂解氣化（Pyrolysis gasification）和氣體重組（Gas reforming）技術，可以回收燃料氣體和金屬及其化合物等資源。這項系統包括 4 項主要技術：壓縮（Compaction）、裂解（Pyrolysis）、氣化（Gasification）和氣體淨化（Gas clean）。歐洲地區於 1985-1992 年發展垃圾高溫氣化技術，義大利於 1992-1999 年期間設置日處理量 110 噸氣化廠。1999 年德國亦完成一座日處理量 792 噸氣化廠，後因涉及訴訟糾紛而於 2004 年暫時停止運轉。日本方面於 1990 年由 JFE 公司（由 Kawasaki 及 NKK 合併）取得專利，於東京千葉市設置第一座垃圾高溫氣化廠，2003 年於 Mitsu 完成第二座，2005 年起又興設 4 座，2006 年於 Yorii 完成第七座設廠。日本地區共有垃圾高溫氣化廠 7 廠 15 爐，其日處理量約 1,910 公噸，主要處理廢棄物種類為都市垃圾及工業廢棄物，日本興建 7 座垃圾高溫氣化廠，其相關資料如表 4 所示。

表 4. 日本垃圾高溫氣化廠相關資料

興建地點	啓用時間	處理容量 (T/D)	爐數	處理廢棄物	合成氣體 用途
Chi ba	1999. 09	300	2	MSW、IW、S、 FA	Export

Mitsu	2003. 04	140	2	MSW	Gas. eng
Osaka	2004. 11	95	1	塑膠、IS	Boiler
Kurashi ki	2004. 12	555	3	MSW、BW、FA、S	Export
Nagasaki	2005. 04	300	3	MSW、BW	Gas. eng
Tokushi ma	2005. 06	120	2	MSW、BW、IS、IW	Gas. eng.
Yori i	2006. 06	400	2	MSW、IW、FA	Boiler

備註：MSW (municipal solid waste)、IW (industrial waste)、S (sludge)、IS (industrial sludge)、BW (bulky waste)、FA (fly ash)。

Thermoselect 系統將廢棄物有機成分經由 1, 200°C 裂解再重組及精煉程序，可以獲致純淨的合成氣體 (synthesized gas) (組成比例：H<sub>2</sub> 35%、CO 25%、CO<sub>2</sub> 35%) 及硫份，冷卻水經由水處理設施處理後可以獲致可用之回收水、混合塩類及金屬氫氧化物。戴奧辛成分在 1, 200°C 被完全破壞，由於 1, 200°C 氣體在很快速度降至 70°C (Shock cooling)，所以阻斷戴奧辛再合成的機制，同時不會產生飛灰排放。廢棄物無機部份經由注入高濃縮氧氣溫度可以提高至 2, 000°C，被熔化之碎石、金屬及其他物質和氧氣及裂解碳產生熱反應，經由均質槽冷卻後可以獲致金屬及礦渣 (slag)。

國內營運中垃圾焚化廠共 22 座，以下僅就日本高溫氣化及國內焚化廠處理情形及效益作比較，如表 5。

表 5. 我國焚化爐與日本高溫汽化爐之比較

	日 本 (高溫汽化爐)	台 灣 (焚化爐)
處理方式	高溫氣化方式。	高溫焚化方式。
廢棄物種類	在高溫 1,600°C 將廢棄物氣化，無機部份在 2000°C 熔化，可將工業及家戶所產適燃性廢棄物及不適燃性廢棄物如金屬類、陶瓷類、玻璃類、塑膠類、橡膠類等完全均質化後分離出礦渣及金屬，進廠前廢棄物分類工作不重要。	1. 焚化溫度約 950°C，只能將適燃性廢棄物焚化，但因往往焚化效率不佳，仍有部分適燃性廢棄物無法完全焚化。 2. 不適燃性廢棄物表面只有氧化，廢棄物甚至完好如初，無減積作用，焚化產生灰渣量多。相對的進廠前廢棄物分類工作非常重要。
能源利用	合成氣體作為燃料使用。	熱能發電。
廢棄物產生灰渣量	約 60 (Kg/噸)	約 200 (Kg/噸)
灰渣處理費	直接再利用	底渣處置費 1,600 元/噸，飛灰固化處理費 10,000 元/噸，每噸廢棄物產生約 0.2 公噸灰渣 (約含 4 份底渣、1 份飛灰)。每噸廢棄物另需額外增加灰渣處理費約 650 元，尚未包含掩埋後長期污染防治及監測費用等。
灰渣最終處理場所	只有少量無法再利用物質須送入最終處置場所處理，所需	1. 產生大量底渣及穩定化衍生物，穩定化衍生物進行固

	用地小、建造成本低，廢水處理費用低。	化後送入進行最終處置場所，所需掩埋場用地大、設施嚴謹及建設經費高，廢水處理費用高，以防止重金屬二度溶出造成污染。 2. 灰渣掩埋場需長期進行地下水及土壤監測工作。
<b>Dioxin</b> 排放量	約 0.001 ng I-TEQ/m <sup>3</sup> N	低於 0.1 ng I-TEQ/m <sup>3</sup> N
空氣污染防治及監測	沒有煙囪，沒有空氣污染問題。	需要具備處理 NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、Dioxin、TSP 等排放污染物的設備及連續監測設備，費用高。
民眾接受度	Dioxin 排放量低，可降低民眾疑慮及減少抗爭。	Dioxin 排放量高，常為民眾抗爭訴求的對象。

從表 5 比較得知，以垃圾高溫氣化再利用處理廢棄物和焚化方式相比，高溫氣化方式屬環境友善設施，可降低廢棄物對環境的污染負荷，灰渣最終處置場關建場數，長期防止污染物質外滲的監測及處理經費等，可促使達成資源循環永續再利用的目標。同時亦可避免掩埋場因處置不當變成污染場所，而須額外負擔龐大污染場址清理或整治經費。

Thermoselect 系統基本上是一項對環境友善的設施，可以處理多種類廢棄物，經過商業運轉證實可行，根據相關資料所示，其效益可以從四個面向分析：

(一) 生態面向：傳統焚化爐規定 Dioxin 排放標準為 0.1 ng-TEQ/m<sup>3</sup>N，

而 **Thermoselect** 系統 **Di oxin** 排放濃度可達 **0.001 ng-TEQ/m<sup>3</sup>N**、遠低於規定標準 **1/100**。由於快速冷卻與純化氣體過程，灰塵及其他污染物質將會被完全去除，在氣體排放中各項污染物排放濃度均遠低於規定值（諸如：懸浮微粒：**0.01g/m<sup>3</sup>N**；**HCl**：**10ppm**；**N<sub>0x</sub>**：**30ppm**；**S<sub>0x</sub>**：**10ppm**），因此，不需要濾袋及煙囪等設施，**Thermoselect** 系統大大降低空氣污染物排放量，減少酸雨貢獻量，和焚化爐排放污染物危害性相比較，高溫氣化系統對自然生態物種及其生存環境的衝擊可降至最低。

（二）能源面向：純淨的合成氣體（**synthesized gas**）可以廣泛應用作為能源，諸如：當作燃料氣體（**fuel gas**），應用於燃料電池、氣體引擎、氣體渦輪機、鍋爐及工業燃料等；亦可當作化學物質，諸如：製造氫氣，當化工燃料等。高溫汽化廠基本上利用所回收合成氣體當作能源是可以自足。國內垃圾焚化爐產生熱量供發電使用，同樣達到能源利用的目的，但基本上，高溫氣化所產生的燃料其用途較廣泛且具有彈性。

（三）回收面向：**Thermoselect** 系統可以接受各種廢棄物，諸如：家庭廢棄物、辦公室廢棄物、工業廢棄物、受污染污泥及焚化飛灰等；廢棄物經過處理後會變成有用的資源，諸如：純淨的合成氣體可以產生熱量、發電及當作化學物質，硫份可以產生硫酸及其他物質，回收水可以當作工廠冷卻水，混合鹽類可以當作碳酸鈉工廠原料，金屬氰化物提煉非鐵金屬，金屬顆粒可以提煉金屬，礦渣可以當作建築材料。**Thermoselect** 系統接受廢棄物粒徑只要求小於 **700mm**，因此，不需要前處理設施。國內部份垃圾焚化爐於廠區內雖設有金屬磁選設備，但卻不能完全回收金屬，大部分金屬均夾雜灰渣送往最終處理場掩埋，形成資源無法回收再利用，極為可惜。現階段灰渣少部分再利用，但

因技術尚未臻成熟及相關再利用產品通路無法通暢情況下，大部分灰渣仍以掩埋為主，形成資源浪費，建議應從制度面及法令面積極尋求解決對策。

- (四) 經濟面向：藉由壓縮程序可以獲致三點特色：由於沒有戴奧辛或飛灰產生，所以不必設置廢氣處理設施，諸如濾帶及大型煙囪；由於使用高濃度氧氣，所以比較使用空氣之程序產生氣體較少；壓縮設施與裂解系統與高溫反應爐結合，讓 **Thermoselect** 系統變成較小尺寸的設施。所以 **IWA** 公司認為 **Thermoselect** 系統所需整體費用比傳統焚化加上飛灰融熔費用低，同時也消除掩埋處置之需求，不必建造管理維持掩埋場之費用。相對於垃圾焚化爐必須具有空氣污染物處理、灰渣最終處置掩埋場、滲出水處理等設備及監測系統，所需的處理及監測經費就非常高，如就環保設施用地及考慮環境長期污染追蹤等經濟因素，垃圾高溫氣化再利用較垃圾焚化處理為優。

本次研習參訪倉敷市及千葉市兩座垃圾高溫氣化廠，運作都非常良好，產生合成氣體直接輸送至 **JFE** 公司煉鋼廠當作燃料。倉敷市廠工作人員 80 位，倉敷市政府送入的廢棄物每噸收取處理費約 20,000 日圓。千葉市廠工作人員 80 位，每噸事業廢棄物收取處理費約 23,000 日圓。據倉敷市廠主管表示日本為了焚化廠戴奧辛的問題，在 10 年前全面將焚化廠設施更新，所以焚化廠尚可使用一段時間，但由焚化爐興建數 1998 年 1,760 座至 2005 年減為 1,231 座，其他方式（諸如飛灰融熔、氣化融熔、碳化及其他）由 5 座增加為 88 座，又依據日本「物質循環」理念、戴奧辛排放及掩埋場潛在污染等問題，認為在未來垃圾高溫氣化廠仍有其發展市場。若台灣垃圾焚化廠 10 年後將屆齡陸續除役，台灣未來垃圾處理方向應慎重評析，其中垃圾

高溫氣化廠替代垃圾焚化廠的處理技術應是一項很好的選項。

## 五、Bigadan Biogas 甲烷醱酵系統之評估

本次研習參訪 JFE-Bigadan Biogas 甲烷醱酵系統設施，運作正常，該廠針對回收有機性廢棄物進行中溫厭氧醱酵，接受事業有機廢棄物每噸收取處理費約 50,000 日圓，產生氣體組成  $\text{CH}_4$  佔 60~70%、 $\text{CO}_2$  佔 30~40%，產生氣體直接輸送至 JFE 公司煉鋼廠當作燃料，產生的污泥送至垃圾高溫氣化廠處理。該廠主管認為厭氧醱酵自古就被利用的技術，但是面對焚化、掩埋產生污染的問題，針對下水道污泥、畜產廢棄物、廚餘高濃度等廢棄物進行有效的利用是可以期待的，若是有一套能滅菌、熱效率高、運轉安定生物能能源系統應該可以符合日本政策所需。

台灣地區推動廚餘多元化再利用工作不遺餘力，以南投縣某鎮設置廚餘回收處理廠，興建費約 710 萬元，設計處理量 10 噸/日，採委外經營方式，由操作廠商向鎮公所價購廚餘每噸 100 元，廚餘再經生物處理製成液肥販賣，每日成品產量約 1 噸，每噸銷售 6,000 元，平均每月收入約 15 至 20 萬元，利潤不高，但對整體環境保護及自然生態有正面助益。我國內從 96 年至 101 年計編列約 13 億元，預期至 101 年底廚餘回收再利用量達 2,100 公噸/日，全年廚餘回收再利用量達 74 萬公噸。廚餘回收再利用成品包含堆肥、液肥、動物飼料、生質能源等，可用於植栽作物、公園綠美化、飼養禽畜、再生能源、增加農地生產力等優點，若與日本相比較，國內在廚餘回收的技術較多元化及成品通路順暢，但是日本厭氧甲烷醱酵技術亦值的參考。

#### 第四章 研習心得及建議事項

1. 日本垃圾處理統計資料非常詳實，包括垃圾排出狀況、垃圾處理狀況、資源化的狀況、最終處分的狀況、垃圾處理流程（含質量平衡）、推動 3R 績優單位、垃圾焚化設施配備狀況、資源化設施配備狀況、巨大垃圾處理設施配備狀況、最終處分場配備狀況、垃圾委託處理狀況、垃圾處理收費狀況、垃圾收集狀況等，此項做法值得我國學習參考。
2. 日本推動「循環型社會形成推進基本計畫」，計畫目標明確，非常有計畫的推動，不但統計全國所投入總資源，還分國內、國外輸入及再生循環等，更將資源細分很多種類，然後逐項訂定削減量或再生率之目標。同時政府編列預算由各相關部門執行推動，期望逐年提高資源生產率及循環利用率，此項做法值得我國學習參考。
3. 日本鑒於垃圾採用焚化處理，其產生飛灰須加以固化或是熔融處理後，仍有掩埋的問題，排放氣體中含有戴奧辛的問題，同時考量日本政府所推「循環物質理念」，採用除了焚化以外多種的中間處理方法（諸如：垃圾飼料、垃圾堆肥、垃圾甲烷化、垃圾燃料化、飛灰熔融、氣化熔融、碳化及其他），本次研習參訪之垃圾高溫氣化法亦是很好選項之一，雖然台灣推動「垃圾全分類零廢棄」政策績效不錯，對於台灣未來垃圾處理導向為何，實有必要未雨綢繆深入研究。