

廢棄物處理工學

福本 勤著

賴耿陽 編譯

廢棄物處理工學

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻印必究

(1985) 民國七十四年十一月初版發行

平裝132元 精裝170元

著 者： 福 本 勤

編 譯 者： 賴 耿 陽

發 行 者： 吳 主 和

經 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

門市：台南市林森路二段63號

電話：(06)2370003·2386937

郵政劃撥帳戶 0032104 - 6 號

No.28. LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA

TEL:(06)2370003·2386937

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

F8701/62 (中3-14/2)

廢棄物處理工學

BG000260

序

隨產業經濟活動的急速擴大，各種產業排出的廢棄物成指數函數增大，性質複雜而多樣化。另一方面，因環境保護的必要性，強化環境規制，也強化廢棄物的處理規制，但廢棄物處理體制的建立却相對顯得遲緩。廢棄物的處理問題成爲產業經濟活動的瓶頸，漸成嚴重的政治、社會問題。

著者與筆者長年在京都大學、九州大學、日立造船（株）、一貫研究、開發、計劃、設計包括廢棄物處理技術的環境污染防治技術，參與各種研究會、委員會的討論。著者能對當今最緊急的廢棄物處理、資源化，編著出工學上的優秀鉅作，誠慶得時宜。

著者爲真摯的研究者，且是充滿創意的技術者，一九七三年即將涉及多種學科而易混淆的廢棄物處理技術建立體系化，推出「產業、都市、放射性廢棄物處理技術」（共立出版社。3年後修訂成「廢棄物資源化技術」），大獲迴響。其後，廢棄物處理技術進步，期望建以產業廢棄物處理爲中心的處理工學體系，著者再向此充滿困難的工作挑戰、奉獻成果。

遍讀本書，處處充滿著者獨創的研究成果，立於廣濶的視野，利用龐大的文獻、資料，以一貫的思想詳述廢棄物的總合處理，廢塑膠、污泥、廢油、廢酸、廢鹼等各種廢棄物的處理，廢棄物的堆肥化等產業廢棄物處理、資源化技術的所有分類，提供前所未有的創見。特別是產業廢水、都市下水的處理及其他廢棄物處理時發生的殘渣、污泥處理，及回歸有機農業的必要性、廢棄物處理、資源化的必要性，懇切論述廢棄物的堆肥化。

敘述明快、平易、採用多種圖表，容易瞭解，成爲廣義，價值高的豐富內容。術語的解說簡潔、正確、理論與實際諧調、不偏不倚。此乃拜著者經驗豐富之賜。

本書爲廢棄物處理、資源化技術的經典、解說書、設計指南，在

選定裝置時，大學、產業界、政府機關等的研究者、技術者、實務者可引為參考，當有助於廢棄物處理問題的解決。

1982年2月

京都大學名譽教授・工學博士 岩井重久

譯者 賴耿陽

國立成功大學工程科學系人

自序

缺乏資源的日本在戰後從外國廉價輸入大部份資源，大量生產各種製品、大量消費、輸出，達成高度經濟成長，但在加工、生產過程大量排出產業廢棄物（1970～1974年每年排出約3億2千萬噸），在製造過程排出的一般廢棄物，尤其是對前者的處理不大關心，不處理或處理不當，造成環境污染問題。

日本反省此種經濟成長的惡果，並漸接受污染者負擔費用的PPP概念，一九七〇年十二月全面修訂原來的清掃法，制訂「廢棄物處理及清掃法律」，一九七六年六月修正，次年三月施行，PPP的概念更明確化，增加對產業廢棄物處理的投資。

在面臨經濟低成長時代，盡量減少對廢棄物處理的投資，一九七三年石油危機後，一度減少的廢棄物再度增加，性質也多種多樣，需要高度處理技術，也有地區居民的反對建廠運動，漸漸只以PPP令各事業體或處理業者實行廢棄物處理。需要公共參與的產業廢棄物處理事業（共同處理等），但此種廢棄物處理體制的建立却很緩慢，不斷發生不法、不當處理，產業廢棄物問題日趨嚴重，在政治、社會上造成重大問題。

在此情勢下，業者要求技術上、經濟上優良的廢棄物處理技術，本書網羅各種產業廢棄物的處理技術，必要時在各處重點詳細說明，也論及一般廢棄物的處理技術。

第1章參考（社）日本廢棄物對策協會的調查研究，記述中小企業發生的各種廢棄物集中一處有效處理的總合處理。

第2章敘述廢塑膠的區分、熔融固化、熱分解、焚燒技術。

第3章有系統詳述污泥的濃縮、消化、調整、過濾、脫水、乾燥、焚燒、熱分解、固化等處理技術。

第4章為油水分離、廢油的焚燒處理、有效利用技術，5章敘述廢酸、廢鹼的各種處理、回收技術。

第 6 章從最近回歸有機農業、廢棄物資源化的兩觀點，詳述廢棄物的堆肥化。

本書可供產業界、政府廢棄物處理有關人員，各種研究機關的研究人員，欲研習廢棄物處理工學的人士，關心廢棄物處理問題的一般人士參考，若有助於廢棄物的處理，資源化問題的解決，實值竊喜。

本書內容為力求無誤，3.3 節的污泥消化，6 章廢棄物的堆肥化委託京都大學農學部講師小林達治博士校閱，謹此致謝。

1980 年 4 月

工學博士 福本 勤

日立造船株式會社技術開發本部

目 錄

1.廢棄物的綜合處理.....	1
1.1 綜合處理的意義、目的、機能、計劃要點.....	1
1.2 綜合處理系統的分類.....	4
1.3 綜合處理系統的概念設計.....	5
1.3.1 焚燒型綜合處理系統.....	9
1.3.2 熔融型綜合處理系統.....	111
1.3.3 資源化型綜合處理系統.....	13
1.4 綜合處理中心的實施例.....	15
2.廢塑膠的處理.....	19
2.1 前言.....	19
2.2 區分.....	20
2.3 熔融固化.....	21
2.3.1 傳統法.....	21
2.3.2 區分、定配合熔融固化法.....	24
2.3.3 區分熔融固化法.....	25
2.3.4 熱媒體熔融固化法.....	25
2.3.5 與污泥混合熔融固化的方法.....	26
2.3.6 熔融固化再生中心.....	27
2.4 熱分解.....	28
2.4.1 前言.....	28

2.4.2	熔融液槽法	29
2.4.3	流動層法	30
2.4.4	螺旋押出法	33
2.4.5	管蒸餾法	34
2.5	焚燒	34
3.	污泥的處理	38
3.1	前言	38
3.2	濃縮	41
3.2.1	重力濃縮法	42
3.2.2	空氣浮上濃縮法	43
3.2.3	離心濃縮法	43
3.3	消化	44
3.3.1	嫌氣性消化	44
3.3.2	好氣性消化	52
3.4	污泥中水分的舉動	54
3.5	調整	55
3.5.1	前言	55
3.5.2	洗淨	56
3.5.3	藥品添加法	56
3.5.4	熱處理	58
3.5.5	凍結融解	61
3.6	過濾、脫水	64
3.6.1	前言	64
3.6.2	真空過濾	68
3.6.3	加壓過濾	78

3.6.4	離心分離	97
3.6.5	其他機械性過濾、脫水	103
3.6.6	乾燥床	105
3.6.7	Lagoon	106
3.7	乾燥	107
3.7.1	前言	107
3.7.2	乾燥裝置	108
3.8	焚燒	118
3.8.1	基本事項	118
3.8.2	焚燒裝置、系統	121
3.8.3	焚燒熔融裝置	141
3.9	熱分解	146
3.10	固化處理	148
3.10.1	前言	148
3.10.2	水泥固化法	149
3.10.3	瀝青固化法	151
3.10.4	塑膠固化法	152
3.10.5	水玻璃固化法	153
3.10.6	燒結法—玻璃化法	155
3.11	處置	159
4.	廢油的處理	161
4.1	廢油的發生量、種類、處理概觀	161
4.2	油水分離	164
4.2.1	重力浮上分離	164
4.2.2	過濾	171

4.2.3	吸着	172
4.3	焚燒	173
4.4	有效利用	181
5.	廢酸、廢鹼的處理	189
5.1	前言	189
5.2	廢酸的處理	189
5.2.1	中和法	189
5.2.2	蒸發濃縮法	191
5.2.3	真空蒸餾法	193
5.2.4	冷卻法	197
5.2.5	溶媒抽出法	197
5.2.6	焙燒法	199
5.3	廢鹼的處理	200
5.3.1	中和法	201
5.3.2	真空蒸發濃縮法	201
5.3.3	與油性污泥的流動層合併處理法	201
6.	廢棄物的堆肥化	204
6.1	緒論	204
6.1.1	前言	204
6.1.2	堆肥化的定義、歷史、問題、未來	204
6.1.3	堆肥的功能、效用	209
6.1.4	堆肥的原料	211
6.1.5	堆肥應具備的條件	213
6.1.6	發酵	214

6.2	堆肥化製程	215
6.2.1	工程各論	215
6.2.2	各種醱酵槽與堆肥系統	22
6.2.3	好氣性填埋半高速堆肥化	267
附錄 1	美國都市垃圾堆肥化設施一覽表	270
附錄 2	日本都市垃圾堆肥化設施一覽表	271
附錄 3	堆肥腐熟度的測定	273

1. 廢棄物的綜合處理

1.1 綜合處理的意義、目的、機能、計劃要點

對中小企業期待適當個別處理分散各處的中小工廠發生的廢棄物，在技術上及資本上都具有困難。今後，規制的污染物種類增加或強化規制的話，難題更多。故有必要高效率綜合處理技術、資本均弱的中小企業工廠產生的各種廢棄物（但實際上，不只由中小企業負擔廢棄物處理必要的資金全額或大部份，需要大資本家參與）。

所謂綜合處理是將廣範圍中小發生源產生的各種廢棄物集中一處，有效利用各廢棄物特性及各廢棄物處理過程所得物質和能量的集中化技術。將各過程結合成系統，有效處理、減少最終廢棄物量、減少污染物質放出量而防止地域污染、防止二次公害分散化、減低處理費、有效利用資源（綜合處理的目的）。集中廢棄物於一處而量多的話，有時可資源化，有效利用資源物，可增高處理系統的經濟性。

為達成綜合處理的以上目的，須先決定綜合處理效果大的處理對象廢棄物，滿足排出污染物質的濃度，絕對量規定值——無公害基準的處理系統。

綜合處理效果大而影響環境污染的廢棄物——含有害物質的廢棄物（含有有害物質的污泥、PVC等）、燒毀或熱分解處理時會發生有害氣體的塑膠類、廢油、廢溶劑等。

直接影響污染者——例如玻璃、金屬類、陶器屑、建設廢材、焙渣、燃渣、煤塵等若不含特殊成分，不需要綜合處理者，不易成爲綜

處理的對象。

綜合處理系統為發揮其機能，達成上述目的，須有可靠性，且對廢棄物處理特有的大幅輸入變動，須有足夠的對策。

處理設備即使設計成多少可追隨輸入變動，追隨性也有限度，不可能追隨任何輸入變動，因而，須設法減少輸入的變動幅度。

輸入變動幅度因廢棄物的收集方式及混合程度而增減，例如各廠排出不同種類廢棄物有五十廠，每日排出定量定質的廢棄物時，若每天收集五十廠排出的廢棄物而完全混合，輸入不可能變動。但是，將五十廠分兩批，每廿五廠隔日收集時，輸入以2日為周期變動。但後者若貯藏二日份而完全混合，即可消除變動。

計劃綜合處理廠時應注意的問題之一為有關污染物排出的問題。排出污染物質時，濃度須滿足排出規定值，不過，滿足規定值即夠的話——例如用最經濟的稀釋法即可滿足規定值的話，在環境容量即環境基準保持上，須盡量減少排出（總）量。並非將污染物質的排出濃度抑制為排出規定值以下，就對生物全無不良影響。這只不過衡量排出規定的正效用（減少生物學的不良影響）與負效用或不利（所需能量增大、成本增高、物價高等），從平衡點決定經濟上、社會上認可容許的值。技術進步的話，應再將此值降低。特別是重金屬放出而經長期間擴散後，會污染環境或危害人體，到時候就無法挽回。重金屬類的舉動仍有很多不明點，問題量只為ppm級的微量，其除去技術的可靠性不高。計劃廢棄物的綜合處理時，須詳慮這些項目。排出總量異於排出濃度，極難定量評定價值。

計劃綜合處理設備時，應留意、檢討的重要問題之一為廢棄物資源化問題，資源化程度當然宜高，但須寫明處理成本、減少污染物質排出量、回收物、能量品質、利用法、市場性、自家消費等。

也須檢討綜合處理對象的廢棄物種類、量、性狀、組成、物性及它們的變動幅度，往廢棄物綜合處理場的運送形態，處理場的地理條件、氣象條件等。

另一重要問題是多種廢棄物要分類個別處理，或一起混合處理。

一般而言，處理廠的設備費正比於處理能力的0.6次方（0.6次方律），設備費隨處理能力的增大而降低，所以，混合處理若是允許，與其各廢棄物設小容量的處理設備，不如混合處理較經濟。

但是，以下情形混合處理反而不經濟、不適當。

(1)含有有害重金屬的少量廢棄物與不含的大量廢棄物，或少量高位放射性廢棄物與大量低位放射性廢棄物混合處理的情形：個別處理時，只將含少量重金屬的廢棄物或高位放射性廢液高級處理即可，混合處理時，却須將兩者合成的大量廢棄物高級處理。

(2)以轉窯混合處理熱軟化性廢棄物與熱非軟化性廢棄物混合處理的情形：前者常包入後者而成塊，燃燒時間長。前者含大量灰分時，塊表面形成灰層而阻礙燃燒。

(3)以爐篋焚燒爐混合處理熱可塑性廢塑膠之類熱，熔融性廢棄物與熱非熔融性廢棄物的情形：熔融液通過爐篋通氣孔而落下，在其下部燃燒，會使爐篋或其驅動裝置等過熱而熔融、變形、切斷或腐蝕損傷等，或熔融液碳化而導致通氣孔堵塞。

但在(2)及(3)的情形，熱軟化性或熱熔融性廢棄物量少的話，混合處理對經濟較有利。

(4)處理裝置、機器內的廢棄物滯留時間短的情形：通常廢棄物大都是固體狀，將它們混合處理時，其混合均質化不容易，輸入短時間內大幅變動。

反之，在以下情況以混合處理較有利。

(1)含水率高而不能自燃的廢棄物混合高發熱量的廢棄物，當成可自燃的廢棄物而焚燒處理的情形。

(2)焚燒之際，發生氨之類鹼基性氣體的廢棄物與發生氯化氫或硫化物之類酸性氣體的廢棄物混合焚燒處理的情形。

綜合處理的對象廢棄物、社會環境，最終處分地等外在條件將來必會變化，不易預測何時會如何變化，與其設較高級的處理裝置，增大融通性而長期間使用，不如設符合現在條件的裝置，將來條件變化的話，再改造成新設，較為實際。

依據以上的觀念、規範而設計，計劃者、設計者都須細心檢查設置的過程，檢查重點在量、性狀都變化的廢棄物對策、閉塞、腐蝕、磨耗、熱膨脹、收縮，對有害物質的對策、運轉的難易、省力化（操作人員的數與質）等。

1.2 綜合處理系統的分類

綜合處理過程的範圍受限於以綜合處理場為中心的排出源及最終處分的方法，場所等外在條件。根據（社）日本廢棄物對策協會的調查研究，綜合處理系統可分為焚燒型、熔融型、資源化型三系統。

1 焚燒型 焚燒處理法所致廢棄物的減量率大，殘渣安定化、安全化，也可適用於廢棄物性狀不易掌握而可能因時間變化大的情況，所以廣泛於各種可燃性廢棄物的處理。累積的實績及技術很豐富，技術可靠性最高，但燃燒之際發生有害物質時，需很多費用除去，並須充分監視。

2 熔融型 這是廢棄物在 $1400^{\circ}\text{C} \sim 1650^{\circ}\text{C}$ 的高溫，以同一過程同時燃燒（或部份燃燒）和熔融不燃分後，冷卻固結，最終（填埋）處分之際，變換為最安全的燒結物。以不同過程進行燃燒與熔融的處理系統不屬此型。

填埋處分時，填埋物最好不含有機物，惡臭成分。高密度化而填埋時，灰塵不飛散，填埋後不溶出有害物質。燒結物大致滿足這些條件，燒結物通常為 10 mm 以下的黑色砂礫狀粒子（粒狀都市礦石），體積密度約為灰燼的 4 倍，減容比極大，可用為建材、骨材等的製造原料，道路鋪裝材、纖維等。

灰分及重金屬含量多的廢棄物利用此法可發揮威力，但高溫時擴散大量有害物質時會減低其威力，比起焚燒型，以低空氣過剩率運轉，氮氧化物（ NO_x ）發生量少，氣體處理裝置可小。也可得燃料氣體，但氣體品質不高。

3 資源化型 在工業區工廠密集地域，將排出的廢棄物資源化

，就地消化回收品一建立該地域單位的閉路再循環系統化（closed recycle system）。但此型異於焚燒型，須能事前適確把握廢棄物的性狀、組成，瞭解廢棄物的組織是否隨時間而變動或何時如何變動，否則，回收品的品質可能變化極巨。

有機性廢棄物熱分解而回收燃料氣體時，熱量回收效率常約 60%，廢棄物的發熱量高，而且灰分少時，此型的益處愈大。

焚燒或熔融型之類溫度不高，不必擔心空氣中的氮氧化成氮氧化物或重金屬揮散。

1.3 綜合處理系統的概念設計

大規模綜合處理設施已由公共團體提出若干計劃，但幾無實施者，原因有①預估的處理對象廢棄物種類過多，量也過大，建設投資額龐大，財政負擔困難，②以納稅人的稅款投資事業者排出廢棄物的處理設施，受人物議，③居民恐怕污染環境或交通複雜而反對提供用地，④由不特定多家事業體排出的廢棄物質與量不易把握，又無法分別運送，質與量難免變動，無法高效率處理。

但排出源限為特定地域的特定系列事業體時，較易把握運送廢棄物的質與量，已有若干民間實施例。但除了後述一例之外，處理對象物只限於一系列的廢棄物，難說是真正的綜合處理。但若無公共團體的參與，不易解決中小企業排出的廢棄物處理問題，或建立把握廢棄物質和量，回收物用途動向等的情報管理系統。

以下的研究例是考慮上述種種，將川崎市選為模型地區，以全國性視野計劃產業廢棄物處理模型系統。

選定川崎市的理由並非其有全國平均產業構造，而是其為日本的代表性重化學工業都市，該市產業中分類 26～28 的石化工業與中分類 30～37 重工業佔全工廠數的 3/4，而且，電氣機械器具製造業，石油製品製造業、化學工業、輸送用機械器具製造業、鐵鋼業、一般機械器具製造業為產業的主力，廣泛網羅相關的各種產業。以此包

含各種污染物質的廢棄物排出源為模型地域而計劃設計，可解決很多問題，提供較多的線索，而且該市已有產業廢棄物排出源或處理實態的預備調查結果（川崎市產業廢棄物實態調查報告書（一九七四年調查，翌年報告）），地理上也適於追蹤調查，很適為模型地域。

根據該調查結果，川崎市的產業廢棄物種類，發生量及處理率如表 1 - 1 所示。處理的比率因廢棄物而異，有燃渣、陶器屑、建設廢材、雜物等處理分上不必特別考慮者、廢油、礦渣、煤塵、廢塑膠、金屬屑、玻璃屑、動物性殘渣等可再利用者，可不必集中處理者。這些廢棄物中，迫切要求對策的有廢油、污泥、PVC、複合塑膠。

表 1 - 1 川崎市產業廢棄物的種類，發生量，處理率（1974 年調查）

廢棄物	發生量 (t / m)	處理率 (%)
廢酸	1068923	99.93
廢鹼	352994	99.88
排水	2586447	97.9
污泥	25192	90.8
廢油	15729	84.0
礦渣	61751	0
燃渣	3	0
煤塵	8563	0
廢塑膠	919	14.8
橡膠屑	158	17.7
紙屑	2453	36.0
木屑	589	29.0
金屬屑	8386	0
玻璃屑	4423	14.7
陶磁器屑	64	0
建設廢材	2164	0
纖維屑	44	86.4
動植物殘渣	80	36.3
動物屍體	5	0
動物糞尿	13	1.0
雜物	220	0.3
其他	1	0
混凝土固化物	0	—
計	4139121	

計劃設計此模型系統時，為防止破壞環境、資源化及行政上的需要，處理對象廢棄物取為不能再利用或出售的纖維素系一般廢棄物、廢油、廢塑膠、橡膠、有機性污泥、含有有害物質的無機性污泥，問卷調查排出者委託集中處理的預估量及性狀（川崎市產業廢棄物的實態與對象廢棄物（一九七六年 3 月）），據而作成表 1 - 2 的設計基礎數值，1 日（廿四小時）處理量 = 問卷委託預估量（每月）× 12 ÷