

## <特集>

# ごみ処理技術の展望

## Perspective of Solid Waste Treatment Technologies

武田信生 \*

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

Nobuo Takeda\*

Dep. of Urban & Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

### Abstract

Considering the perspective of solid waste treatment technology, history of solid waste management was reviewed concisely. Construction of the system for conservation of resources and energy is most important to fulfill the requirement of "circulating society".

**Key Words** : MSW treatment technology, sustainable society, circulating economy

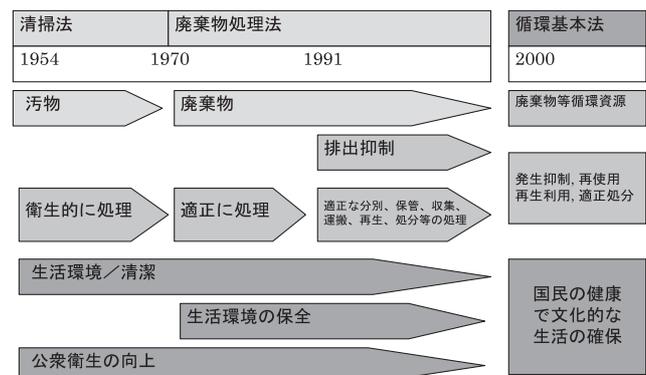
### 1. 緒言にかえて一廃棄物処理小史

わが国ごみ処理の近代史は、およそ百年前の 1900 年に遡るといいであろう。明治維新によって諸外国への門戸を開いた政府は、伝染病の流入という事態に直面する。1877 年から 1879 年にかけてのコレラの大流行では約 10 万人が死亡したと記録されており、社会的に大きな不安を与えたことは容易に想像できる。明治の文明開化は西欧の新しい文化の流入とともに、経験したことのない伝染病の流入という負の問題を抱え込むこととなったのである。そのため、19 世紀末には伝染病予防のための方策が次々とうたれることになった。1897 年には「伝染病予防法」が、1900 年には「汚物掃除法」が施行されることになった。この「汚物掃除法」は公衆衛生の向上によって伝染病の予防を図ろうとするもので、この法律において汚物（ごみと尿尿）の処理責任は市町村にあるとされた。

わが国では衛生的処理の方法としては、焼却処理が最も優れた方法であると早くから観念されていたようであり、そのことと各市町村に処理責任がおかれたことが、小規模焼却炉が数多く建設される下地となったものと考えられる。

第二次世界大戦によって壊滅的打撃を受けたわが国の都市や産業も、朝鮮戦争特需をきっかけにした急速な戦後復興によって急成長を遂げる。この間、農山漁村からは若い労働力が陸陸と都市部へ流入する。戦後の廃棄物分野を規定してきた法律の目的等の変遷を示したのが図 1 である。都市への急激な人口集中は必然的に生活環境の劣化を招来することになる。清潔の保持・生活環境の保全を目的として汚物掃除法に替わる「清掃法」が 1954 年に施行され、1965 年の生活環境整備第一次五ヵ年計画から、ごみの全量焼却に向けて積極的な施策が展開されていくことになった。

この時期のわが国の経済発展は主として第二次産業の



(小林康彦編著：「廃棄物政策概論」より)

図 1 廃棄物基本法の目的の変遷と循環基本法

\* 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町  
TEL: 075-753-5161 FAX: 075-753-5170  
E-mail: takeda@epsehost.env.kyoto-u.ac.jp

成長によるものであって、急激な発展に基づく産業廃棄物の発生が大きな課題となってきた。そこで1970年のいわゆる公害国会において清掃法は廃止されて、あらたに「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法)」が制定された。この法律の特徴は、あらたに「産業廃棄物」というジャンルを設けたこと、公衆衛生の確保に加えて廃棄物の適正な処理を目的に加えたことであるといえる。二度にわたる石油危機の直後には、一時的な経済の翳りとともに廃棄物量の減少が見られたこともあったが、基調的には廃棄物量は増加の一途を示し、その質も複雑化を続けた。1991年の廃棄物処理法の改正では、適正処理の前に「減量化」、「再生利用」を優先する、いわゆる3Rの考え方が導入された。

筆者は1990年以前と1991年以降でのわが国の廃棄物行政には画然とした違いがあると考えている。1990年以前、廃棄物問題は全くドメスティックな問題であり、国内だけを視野に入れて対策されるだけで済んでいた。1987年「国連環境と開発に関する世界委員会」においていわゆるブルントラント・レポート(“Our Common Future”)が発表され、1992年の地球サミットにおける環境と開発に関するリオデジャネイロ宣言によって持続的発展のための27の原理が報告されるという流れの中で、わが国においても環境基本法が1993年に制定されることになった。総じて1991年ころから、地球環境問題という大きな国際的潮流の中で廃棄物問題が扱われなければならない状況が生まれてきたのである。このような流れが2000年制定の「循環型社会形成推進基本法」と繋がっていくのである。

もう1つ廃棄物処理において時代を画す課題はダイオキシン問題である。廃棄物処理、とくにわが国で主流となっている廃棄物の焼却に伴うダイオキシン類の発生問題は以前から何度か取り上げられてきたのではあるが、決定的なエポックを画することになったのは所沢市周辺で行われていた小型産業廃棄物焼却炉の集中問題や大阪府能勢町にあった豊能美化センター周辺における土壤汚染問題に端を発する高濃度ダイオキシン汚染問題である。1997年1月、当時の厚生省は廃棄物焼却によるダイオキシン排出に関していわゆる「新ガイドライン」を発表し、緊急的対策が必要な排ガスレベルとして80 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>を提示した。そして全国の一般廃棄物焼却炉排ガス中のダイオキシン濃度の測定結果を順次公表した。豊能美化センターでの2度の測定結果は180および150 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>と発表され、周辺住民の要求によってこの焼却施設の操業は停止され、周辺環境の調査が始まった。二次にわたる周辺土壌等の調査結果により周辺表層

土壌の重篤な汚染が明らかとなり、厚生省は焼却施設そのものの調査を行った。その結果、焼却炉における不完全な燃焼によるダイオキシン類の生成と、焼却・排ガス処理システムにおける濃縮の繰り返しにより、高濃度に汚染された水がクーリングタワーから周辺に飛散したことが近傍の表層土壌の汚染の主な原因であることが明らかにされた。一方、当時の労働省の調査により焼却炉まわり、とくに飛灰処理に携わっていた労働者等の血中ダイオキシン濃度が高いことが明らかにされた。このような事実が連日テレビで取り上げられ、新聞紙上を賑わすこととなり、ダイオキシン対策に関する世論はいやが上にも盛り上がりを見せた。ついに政府はダイオキシン対策関係閣僚会議を数次にわたり開催し重要課題として取り組みをはじめ、一方、国会では議員立法で「ダイオキシン類対策特別措置法」を1999年に成立させた。

このような流れによって、「持続可能社会」、「循環経済」が時代のキーワードとなり、廃棄物のうち資源化が可能なもの(循環資源)は可能な限り資源化・エネルギー回収をはかり、資源化が困難なもののみを適正に処理するということが求められるようになってきた。

## 2. わが国の物質収支と廃棄物処理

わが国の物質の流れを示したのが図2である。約6.9億トンの資源および約6千万トンの製品が輸入され、国内資源の約11.7億トンと合わせ、約19.3億トンが天然資源投入量とされ、循環利用量約2.1億トンとの合計、約21.4億トンが総物質投入量となっている。廃棄物の発生量は約5.9億トンであり、循環利用される量および減量化される量を除いた約5千万トンが最終処分されている。

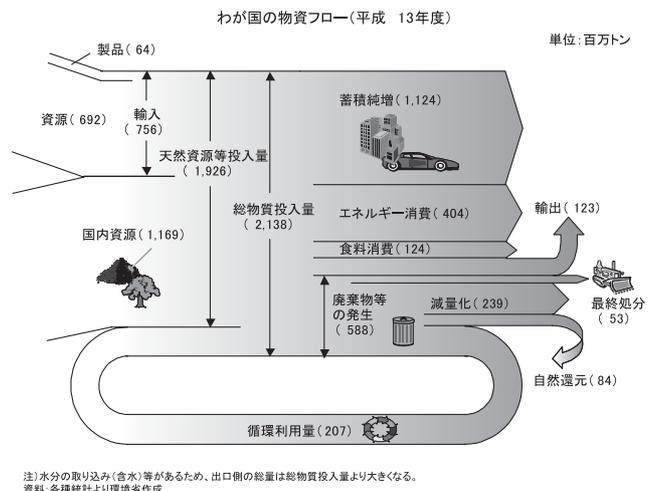


図2 わが国の物質フロー (2001年度)

循環型社会への達成度を評価するために、物質の入口・出口および内部循環に関して指標が提案されており、それらは以下のようになっている（2001年度）。

- ①入口指標；資源生産性 = GDP / 天然資源等投入量  
目標；約39万円/t(2020年), 実績；約28万円/t(2001年)
- ②循環指標；循環利用率 = 循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源等投入量)  
目標；約14% (2020年), 実績；約10% (2002年)
- ③出口指標；最終処分量  
目標；約28百万t(2020年), 実績；約53百万t(2001年)

わが国の都市ごみ処理方法の推移を示したのが図3である。約50年前の1958年における都市ごみ排出量は現在の約10分の1である。経済発展に伴って、石油危機の影響のあった年を除いて、排出量は年々増加し、近年では約5千万トンが都市ごみ排出量である。これらの都市ごみのうち約80%が焼却処理されており、この焼却率は、人口が極めて少ない国を除けば第一位であり、わが国は焼却処理大国といえることができる。このように焼却が主流を占めてきた理由としては前述したように伝染病予防対策として都市ごみ処理が位置づけられてきたこととともに、減容化によって埋立処分量を最小化しようとしてきた努力の現われであるともいえる。現に不燃物等と焼却灰を合わせた埋立処分量は年々減少し、年間約1千万トン、一人一日当たり埋立処分量は200グラムの水準に近づきつつある。

わが国の都市ごみ焼却処理システムにおいて特異的なのは、小規模焼却炉が多くある点である。これは、前述したようにごみ処理の目的が公衆衛生の向上に、そしてごみ処理の責任が市町村におかれたことに起因しているといっているであろう。図4に示したように、プラント数で見ると、65%のごみ処理プラントがバッチ式（1日8時間運転）および准連続式（1日16時間運転）であることに現れている。ただし、連続式焼却炉は一般に規模

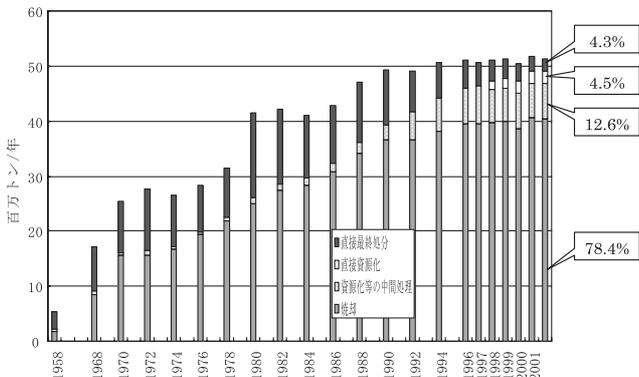


図3 ごみ処理方法の推移

が大きいために処理容量で見ると約80%の都市ごみは連続式焼却炉によって焼却されていることになる。小規模、非連続式焼却炉の欠点は、十分な環境対策が行いにくく、燃焼制御が困難であることからダイオキシン問題に象徴されるように、厳しい環境規制に対応しにくいことにある。また、省資源・省エネルギーの時代を迎えて熱回収とその利用が重要であるにもかかわらず十分な対応ができないことにある。国の施策として、ごみ処理の広域化や小規模市町村におけるRDF（ごみ燃料）化と大規模RDF発電が推奨されてきた所以である。

### 3. ごみ処理技術の新しい展開

先述したようにわが国の都市ごみ処理は焼却を中心に進められてきた。そして、主に西欧から導入されたストーカ式焼却炉がその主流技術を占めてきた。西欧から導入された炉も国内で開発されてきた炉も、わが国の厳しい環境規制、とくに大気汚染防止に関する規制に対応するために独自の技術を加え成長してきた。たとえば、表1は大気環境規制に対応して組み込まれてきた大気汚染防止システムの変遷を示している。全く大気規制がなかった時代にはマルチサイクロン程度の設備であったものが、最近では乾式スクラバー、バグフィルター、湿式スクラバー、触媒脱硝設備といった重装備の大気汚染防止設備によってばいじん、塩化水素等の酸性ガス、窒素酸化物、ダイオキシン類の抑制を極限にまで進めている。

わが国特有の事情からくる間欠運転（1日8時間や16時間運転）に対応しやすい流動床焼却炉も一世を風靡し

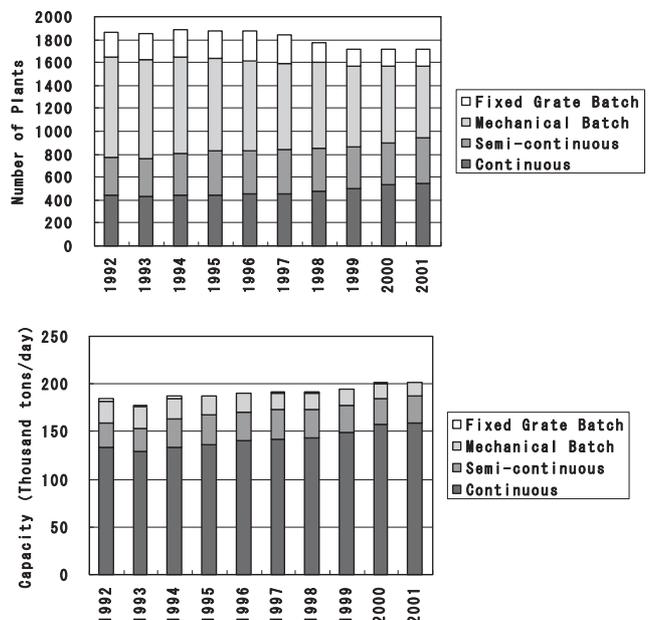


図4 わが国におけるごみ焼却炉の構成

表1 排ガス規制の強化と排ガス処理システムの対応

大気規制の変遷	排ガス規制項目	対応排ガス処理システム
S.37 (1962) 年以前	未規制	MC
S.37 (1962) 年ばいじん規制法	ばいじん	ESP+MC
S.43 (1968) 年大気汚染防止法公布	ばいじん, SO <sub>x</sub>	ESP (高性能 ESP)
S.52 (1977) 年大気汚染防止法改定 塩化水素追加	ばいじん, SO <sub>x</sub> HCl	DS+ESP ESP+WS
S.56 (1981) 年大気汚染防止法改定 窒素酸化物総量規制対応 その後, 上乗せ規制対応	ばいじん, SO <sub>x</sub> HCl, NO <sub>x</sub>	NSCR+ESP+WS ESP+WS+SCR
H.2 (1990) 年ダイオキシソガイドライン, 集じん温度低下, 高効率集じん 最近の高度処理要求に対応	ばいじん, SO <sub>x</sub> HCl, NO <sub>x</sub> , ダイオキシソ ばいじん, SO <sub>x</sub> HCl, NO <sub>x</sub> , ダイオキシソ	DS+BF+SCR DS+BF+WS+SCR DS+BF+SCR DS+BF+WS+SCR

除去設備	除去対象物質
MC; マルチサイクロン	ばいじん
ESP; 電気集じん器	ばいじん
DS; 乾式有害ガス除去設備	HCl, SO <sub>x</sub>
WS; 湿式有害ガス除去設備	HCl, SO <sub>x</sub> , Hg
NSCR; 無触媒脱硝	NO <sub>x</sub>
SCR; 触媒脱硝	NO <sub>x</sub>
BF; バグフィルター	ばいじん, HCl, SO <sub>x</sub> , Hg

たが、ごみ焼却の大規模化、連続運転化が求められるようになり新設されることは少なくなった。一方、ダイオキシソ対策や一層の減量化・安定化、灰の有効利用の観点から熔融技術がわが国特有の技術として発展し、灰熔融炉も多く建設されてきた。灰熔融炉には熱源として燃料を使用する燃料式と電力を利用する電気式がある。

また、ごみを直接熱分解して熔融する、熱分解熔融炉も近年わが国で成長し多く建設されるようになってきた。熱分解熔融炉が有効であると見られた特色は次の点にある。①熱分解に必要な温度は焼却に比べて低く、また、酸素希薄条件下で行われるためにアルミニウムの熔融、鉄や銅の酸化を避けることができ、非鉄金属や鉄をより有利な条件で回収できる可能性があること、②固体燃焼にくらべ気体燃焼は低い空気比で操作できるために排ガスを少なくできるとともに、窒素酸化物を抑制する燃焼制御がやりやすいと考えられる、③熱分解段階で金属を回収できるのでダイオキシソ類の *de novo* 合成を促進する触媒作用をもった金属のばいじん中濃度を低下できる可能性があること、などである。廃棄物研究財団を中心とした開発研究も 1998 年には終了し、各地で熱分解ガス化熔融炉が建設されている。一方のストーカ炉もこれに刺激され、低空気比・高温燃焼が可能なシステムが開発されてきている。高温燃焼を軸とした次世代ストーカ炉技術の要点を整理して図5に示した。

時代の要請は環境への対応と同時にエネルギーの有効

な利用に向かっており、ボイラー条件の高温・高圧化による高効率発電が求められるようになっている。さらに、容器包装リサイクル法によって容積において大きな割合を占めてきた容器包装廃棄物について一定のリサイクルシステムができた現段階では、厨芥類の処理を焼却に委ねるのか否かが大きな課題として浮上してきている。水分を多く含む発熱量が低い厨芥類を焼却することは熱工学的観点からは否定的な見方がされるであろうが、一方、腐敗性に富み、伝染病を媒介する鼠族昆虫や微生物の発生を防止するための衛生的処理の観点からは厨芥類を熱

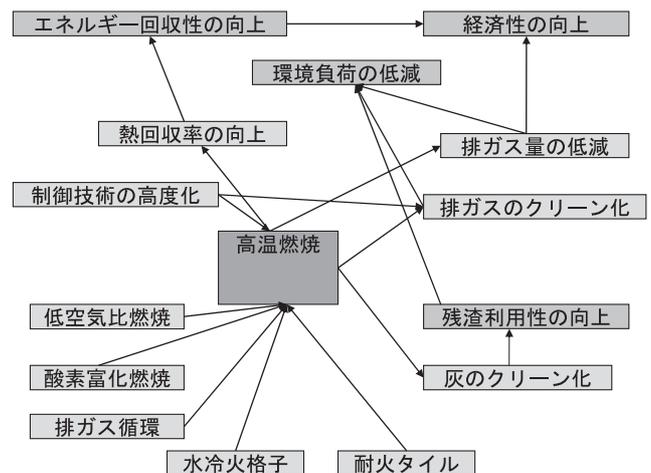


図5 高温燃焼を軸とした次世代ストーカ炉技術

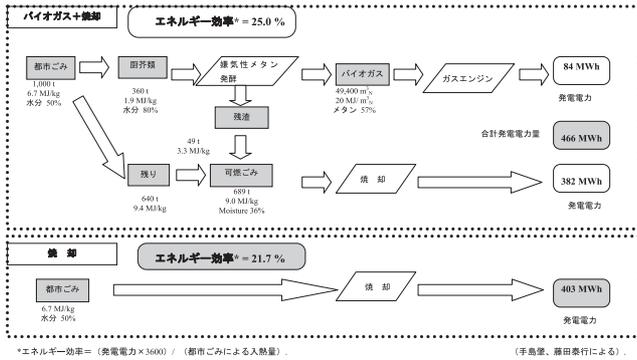


図6 バイオガスシステム導入によるエネルギー効率の向上

的に処理することは望ましい方法であると考えられるのである。都市ごみ中の厨芥類をコンポスト化することは歴史的にも長く試みられてきて、現在も実施されているところは存在する。しかしながら、一旦都市ごみとして排出された厨芥類には多くの異物が含まれていることや、コンポストの需要が極めて限られていることから、主流の技術とはなり得ないのも事実である。このような中において、厨芥類のメタン発酵技術はこの問題を解決できる可能性の高い技術として注目を浴びている。すなわち、少々異物があってもメタン発酵には支障は来さないこと、発酵残渣は必ずしもコンポスト化などによらなくとも、焼却することができるのである。焼却とメタン発酵を併用して都市ごみを処理することはエネルギー的にも魅力的なものになってきている。図6は全量を焼却した場合と厨芥の一部をおおまかに分別してメタン発酵に委ねた場合のエネルギー収支の試算例である。6.7 MJ/kgの発熱量を持つ都市ごみ1,000トンを基準にして、全てを焼却処理した場合の発電電力量は403 MWh、厨芥類360トンを一旦メタン発酵処理しバイオガスを得てガスエンジンによる発電を行い、残りの都市ごみとメタン発酵残渣を焼却発電した場合の合計発電量は466 MWhと算定されている。すなわち、バイオガスプロセスの導入によって約16%の発電量増加に繋がっていることが分かる。都市ごみからの厨芥類の分別等、検討するべき要素は残されているものの、バイオマス利用によるエネルギー回収の一環として次世代において活かされるべきシステムであると考えられる。

#### 4. 結言にかえて—埋立処分ゼロを目指して

廃棄物処理を循環型システムに変えていくことが望まれている現在、廃棄物からの資源回収・エネルギー回収は重要であるが、さらに一歩進んで最終処分(埋立)に

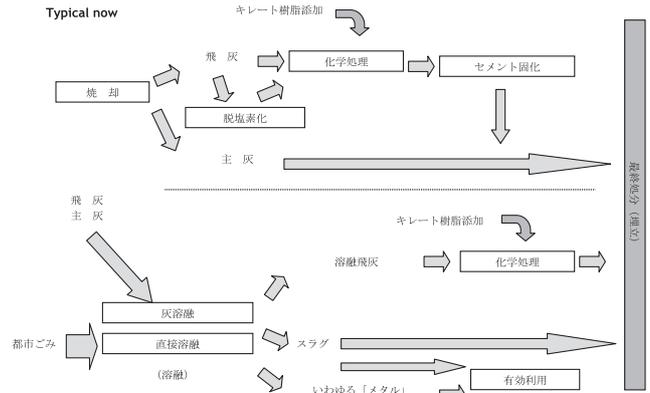


図7(a) 現在の典型的なごみ焼却・溶融システム

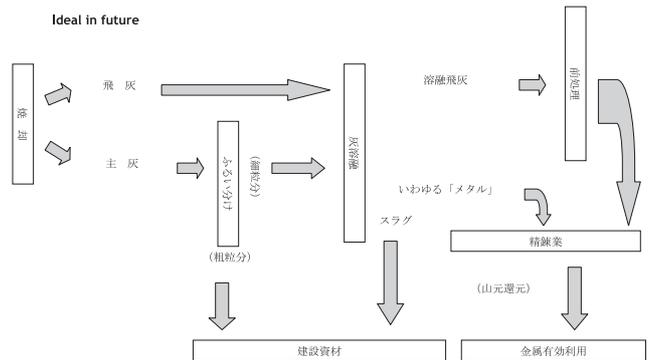


図7(b) 埋立処分によらないごみ焼却・溶融システム

よらないシステムを構築していくことも重要な方向性であると考えられる。図7には現行の典型的な焼却/溶融システム(図7(a))と筆者が考える埋立処分に頼らないシステム(図7(b))を示した。現在、焼却飛灰のほとんどと溶融飛灰の多くは重金属の安定化を図った上で埋立処分されている。溶融スラグが有効利用されている場合でも溶融飛灰だけは埋立に頼っている例が多い。焼却飛灰および主灰のうち微細粒子はダイオキシンや重金属濃度が高いことはよく知られたことである。粗粒分はエージングその他の方法によれば十分な管理下において土木資材として利用することが省エネルギー的観点からも望ましいと考えられる。主灰の細粒分と焼却飛灰を溶融することとすれば全量溶融に比較してはるかに少量の溶融で済むはずである。然るのちに重金属類が高濃度に濃縮された溶融飛灰を山元還元し金属資源として利用するようになれば埋立処分に頼らず、また、金属資源の保全にとっても有効なシステムを構築することができる。このような方向の技術開発や社会システムの構築が切に望まれるところである。