

## 廃棄物処理技術の最近の動向

横 田 勇\*

### 1. はじめに

そもそも廃棄物の処理とは何だろうかと最近とくに考えさせられる。ゴミを焼けばたしかに量は減るし、無機物化するのだから腐敗する心配もなくなる。しかし、焼却によって発生する燃焼ガスは大気を汚染する。その汚染を防ごうとすれば、膨大な金がかかる。現在、廃棄物処理法(正確には「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」という)に定められた廃棄物の最終処分形態としては、埋立処分と海洋投入処分があるが、大気処分や河川放流処分がとくに明記されていないのは、大気汚染防止法、水質汚濁防止法などの排出規制法によって厳しい排出抑制の基準があるからであって、もし内陸処分規制法とか海洋投入規制法という法律ができれば、廃棄物処理法の中で最終処分形態まで規定しなければならない理由はないのではなからうか。そう考えると話は簡単で、廃棄物の処理基準などというものは、ほとんど不要となる。なぜならば、中間処理の基準の多くは最終処分の基準をベースとしてつくられているからである。ここで、中間処理とか処理基準という言葉について恐らく土木工学を専門とする多くの諸兄は耳新しいものと感じられると思うので簡単に解説しておきたい。例えば、市町村がゴミを集めて(収集)ゴミ焼却施設まで車で運び(運搬)、そこで焼却処理することが中間処理であって、焼いても灰や不燃物は残るので、これをどこかへ運んで埋立処分しなければならない。この最後の埋立処分が最終処分と呼ばれるものである。生ゴミ(生魚と同じ連想でよい。何の加工も処理もされていない“ゴミ”の意)は当然腐敗性の有機性物質を含んでおり、そのまま埋め立てれば悪臭やメタンガス等が発生し、また、そこへ侵入した雨水は高濃度のBOD物質を含んで地下水等を汚染する。もちろん、これらに対する対策は現在技術的に解明されており、いわゆる衛生埋立て(Sanitary Landfill)の範疇に属するものである。しかし、多くの市町村で衛生埋立てを完全に遂行することは技術的にも財政的(用地の確保も含めて)にも困難であり、焼却によって腐敗物を少なくしてから埋立処分することが通例となっている。そ

\* 厚生省環境衛生局 水道環境部計画課

こでどの程度の腐敗物含有量であれば無造作に(衛生埋立てでなくてもの意)埋め立てられるかが最終処分の基準として熱しゃく減量(Ignition Loss)15%以下ならよしとしているわけで、これをベースとして焼却処理施設の基準(維持管理基準)が設定されているのである。つまり、ごみの焼き方に制限が賦与されたわけである。以上を数学記号で整理すると理解し易いと思う。今、廃棄物を  $X$ 、廃棄物が最終処分される際に要請される場所の廃棄物のあるべき姿を  $Y$  とすれば、 $X$  を  $Y$  に変換させる作用素  $f$  がすなわち中間処理である。

$$X \xrightarrow{f} Y \text{ または } f(X) = Y$$

と表現する。廃棄物処理という処理基準とは、この作用素  $f$  について、種々の制約を設けたものにほかならない。したがって、最終処分段階における  $Y$  なるものさえ、公害規制法でしっかりおさえておけば、 $f$  についての条件は必然的に導き出されるわけであり、冒頭に述べたように、廃棄物の処理基準を改めて定める必要はほとんどなくなる。説明がやや長くなったが、本論へもどろう。「処理基準がほとんど不要」とは何を意味するだろうか。エチレンを製造するあるレジンメーカーがある。このメーカーは、エチレンの製造方法についてある制約条件をつけられるであろうか。もちろん、そんな馬鹿げたことはあり得ない(公害防止のためにする施設の設置あるいは、工程の一部変更等は別としてである)。ここで、ある人はいかもしれない。廃棄物を処理すること、物を生産することは全く異質のものであるから、このような対比をすることがそもそもおかしいと。しかしその議論は廃棄物のもつ二面的性格を忘れている。廃棄物はたしかに環境破壊の因子であり、ひいては人の健康を脅かすかも知れないやっかい者であるからして、環境保全の見地から強い関心が払われるべきであるが、他方これは人間が苦心してつくり上げた製品が最終の消費者の価値判断(個人差によるばらつきはきわめて大)によって廃棄されたものにほかならない。後者の性格を強調すれば、廃棄物はまだ“物”の資格を十分に持ちうる。昨秋以来まき起こった資源危機の世界的なキャンペーンは廃棄物に対するこの考え方を一段と強める結果となった。

## 2. 資源回収のフィージビリティ

現在、市町村の一般廃棄物処理事業の中での資源化利用はほとんど行われていないに等しく、わずかにごく一部の都市においてゴミの焼却処理段階における熱回収による自家発電がなされている程度である。一方、ゴミが都市のゴミ処理システムに入る以前に行われる古紙、空びんの回収は、現在ある程度の回収率を得ているがこれらのルートによる回収では経済的にペイし得ないような質の紙くず、ガラスくず、金属くず、その他の有価物は、そのまま、あるいは焼却工程を経て埋立て処分されることによって廃棄されている。コンポスト（高速堆肥化処理）も資源の有効利用という点からみて優れた方法の一つであるが、わが国では昭和40年ころをピークに下火となっている。ちなみに、昭和40年にはコンポストプラントの設置数は30（全国レベル）であったが49年5月現在稼働しているものは、このうちの8プラントにすぎない。この衰退の理由としては、次のようなことが考えられる。

① 低廉かつ効率的な化学肥料の普及により、コンポストの需要が減少したこと。

② コンポストプラントから発生する悪臭が地域住民から嫌われるため、人口密集地域におけるプラントの立地が困難であること。

③ 焼却施設と比較して、より広い用地面積を必要とすること。

④ 焼却処理と比較して、ゴミの減量する割合が小さいこと（焼却処理の場合、減量率80~90%、コンポストの場合は50%程度）、したがって、処分地をより多く必要とすること。

⑤ 分別収集（ゴミの種類に応じて別々に収集・運搬すること）を徹底しない限り、ガラス、プラスチック類が混入し、その選別に手間がかかること。

コンポストにとって以上の不利なイメージは現在徐々に解消されつつある。①については、化学肥料一歩ばりの従来の農法は、土壌微生物数の減少による地力低下をもたらしており、コンポストが土壌改良剤として役立つのではないかと考えられるようになった。②については、あらかじめ、厨芥類（食堂、台所等から出される食料品かすなどの水分含有率の高いゴミをいう）を脱水処理することによって含水率を下げ、かつ、エアレーションすることによって好気性状態で堆肥化のプロセスを行わせるなどの方法が開発されており、これによって悪臭プラントのイメージをぬぐい去る可能性もでてきた。

③については、まだ解決の糸口がみつかっていないが、④、⑤については、コンポスト需要をおおるとか、地域

住民の協力を得て分別収集システムの確立を図るにより解決される問題である。都市ゴミは一般にかなりの可燃物を含んでおり、昭和47年度における東京23区のゴミ分析結果によると、およそ82%が紙、繊維類、プラスチック類、厨芥類等の可燃物であり、残り18%が金属くず、ガラス・陶磁器くず等の不燃物である。

ゴミの可燃分由来する実発熱熱量（工学的には低位発熱熱量という）は、全国平均的にみて1000~2000 kcal/kgであり、単位重量あたり重油の1/10~1/8の熱エネルギーを有している。実発熱量は、ゴミ中の水分含有率によって大きく支配され、わが国のごみでは40~60%が標準的な値であるため上記のような発熱量となるが、水分の少ない欧米のゴミは<sup>a)</sup>、例えばパリのゴミのように可燃分は70%以下であるが、水分が20~30%であるために、実発熱量は2000 kcal/kgを越えている。

ここで、都市ゴミの持つエネルギーについて若干の試算を行ってみたい。現在、1人1日あたりのゴミ排出量は平均1kgであるから、わが国の総人口を1億人とすると、1日あたり10万tの都市ゴミが排出されることになり、1年では3600万tとなる。これらの都市ゴミはエネルギー換算で1/10~1/8の重油に相当するので、重油の比重を1.0とすれば、年間およそ360万~450万klの重油に相当するものとなる。ちなみに、わが国の昭和47年度における原油の輸入量は約2億5000万klである。

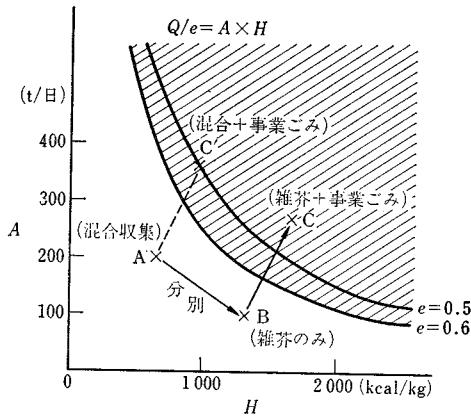
都市ゴミの焼却に伴って生ずる熱エネルギーを地域暖防等の目的に利用する場合、その必要熱量をQ kcal/日、熱回収率を1/e (e<1)、都市ゴミの実発熱量をH kcal/kg、収集量をA t/日とすると、次式が成立する。

$$\frac{Q}{e} = 1000 AH$$

今、Qを所要の熱量としてfixし、A、Hを変動要素とすると、図-1に示すように、A点では熱エネルギーが不足している。これを分別収集システムに切り替えて雑芥類（都市ゴミから厨芥類を除いたもの）のみを焼却したとすると、図の例では、ゴミ量が200tから100tと半分に減るが、雑芥の発熱量が高いので、B点に移動する。しかし、これでも所要の熱量Q/eには到達できないので、さらに事業系のゴミを収集することによってC点に達したとすると、これは図の斜線領域の中に入っているため、熱エネルギー的にみて十分であることがわかる。また、回収率1/eが低下すれば、斜線領域は上へ上へと移動してゆくことになる。

現在、都市ゴミ処理における各種資源システムの開発

a) 家庭ゴミのみを比較すれば、日本と欧米ではそれほど水分含有量が異なるわけではなく、違っている点は、事業系のゴミ（家庭ゴミに比べて水分が少ない）の混入割合であるという報告もある。



図一 都市ゴミの収集システムと発熱量の関係

は活発に行われており、合州国においては EPA (環境保護庁) が、わが国においては工業技術院が中心となって調査研究が進められている。各種システムの分類は図一 2 のとおりであるが、わが国で実施可能と考えられるシステムの数例について述べる。

### (1) 熱分解 (油化) システム

このシステムは、都市ゴミを微粉碎し、乾燥後空気分級機にかけ金属 (鉄, その他), ガラスを回収し、残りを熱分解炉において固型炭素 (チャー) および燃料油を回収する。この場合、ゴミ 1t について、実発熱量約 6 000 kcal/kg (重油の 60% の発熱量) の低いおう油 130 kg および実発熱量 5 000 kcal/kg のチャー 20 kg を生

ずるものである。

### (2) 熱分解 (ガス化) システム

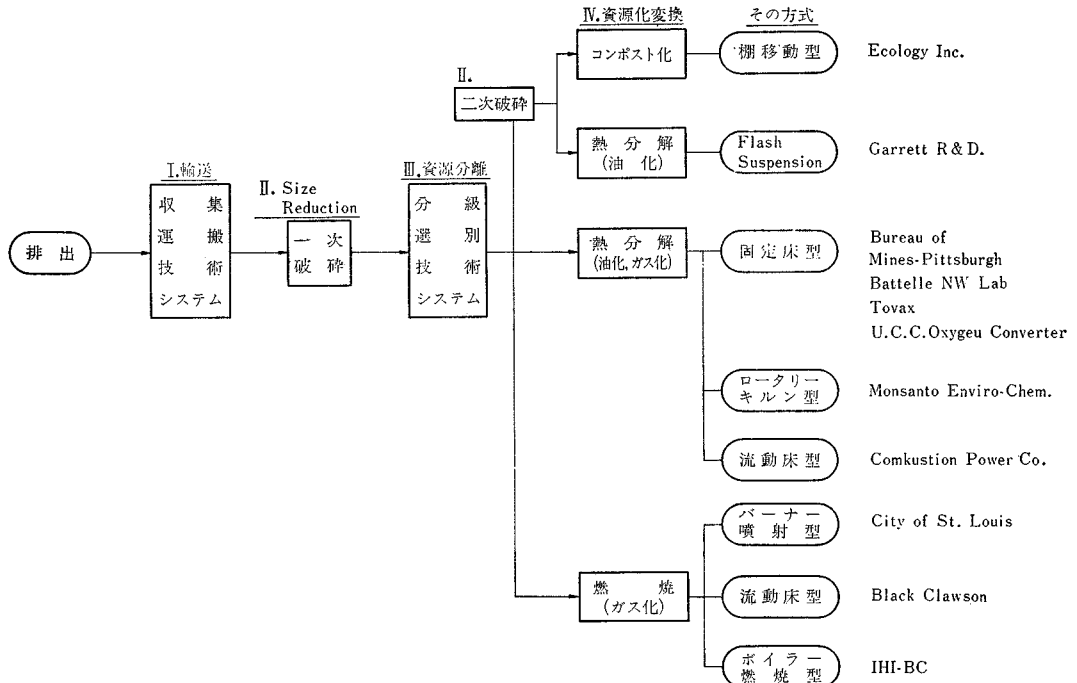
このシステムは、都市ゴミを破砕し、ロータリーキルンにおいて熱分解し、金属、ガラスを回収し、発生した乾留ガスはガス中の有害成分を除去したのち燃焼し、ボイラーで熱回収を行い、発電その他熱利用施設に供給する。この場合、ゴミの実発熱量が 1 500 kcal/kg 程度であれば、熱バランスがとれ、これを越えると系外へのエネルギー供給が可能になる。

### (3) 燃焼 (ガス化) システム

このシステムは、都市ゴミを水中破砕し、繊維質を分離し、次にプラスチック、金属 (鉄, 非鉄), ガラス (有色, 無色) その他の不燃物に分離回収し、可燃物はボイラーで燃焼、電力を回収するものである。この場合、ゴミ 1t について、360 kWh の発電が可能であり、そのうち 120 kWh を自家消費し、240 kWh は外部へ供給できるものである。

## 3. し尿処理の問題点

わが国における人のし尿の処理は、基本的には水洗便所による下水処理と、汲取便所によるし尿そのものの処理とに二分される。水洗便所の使用人口は、昭和 48 年 3 月末現在で総人口の約 24% (公共下水道 12%, 浄



図二 都市ゴミ処理における各種資源化システム

化槽 12%) にすぎず、全国的に見ればまだ大部分が汲取便所を使用している。汲取便所からバキューム車で市町村が収集したし尿は、し尿処理施設で処理される。し尿処理施設は現在約 5000 万人分のし尿を処理しているが、公共下水道整備の遅れや都市と農村との間の人口の移動、観光地における季節的人口集中、し尿海洋投棄の停止等を考慮に入れると、まだまだ相当量の施設整備が必要である。

現在、各市町村で普通に行われているし尿処理技術を概観すると次に示す 5 つのタイプがある。

### (1) 嫌気性消化・活性汚泥処理プロセス

このプロセスは、現在最も普及している標準的プロセスである。嫌気性消化に 30 日を要し、嫌気性分解による発生ガス(メタン)を消化槽の加温に使用する。消化槽の建設費が高いこと、ガス処理( $H_2S$ )が面倒なことなどが欠点とされているが、消化汚泥の脱水性が良く、維持管理も容易な、確立されたプロセスである。

### (2) 好気性消化・活性汚泥処理プロセス

近年開発されたプロセスであるが、新規整備についてはこの方式を採用するところが多くなり、標準プロセスの一つとなっている。第一曝気槽で希釈しないもの、若干希釈するもの、特殊な気液接触方式を用いるものなど種々の変法がある。好気性消化日数は普通 10~20 日である。嫌気性消化より施設がコンパクトになり、ガス処理工程が不要であるため、プロセスが簡単になることが利点とされている。

### (3) 直接活性汚泥処理プロセス

1929 年に、すでに京都市で実施されているが、その後あまり普及していない。ただし、下水道による合併処理はこのプロセスに相当する。プロセスは簡単であるが曝気槽が大型になること、汚泥の脱水性が悪いことが短所とみられる。

### (4) 化学処理プロセス

吹田市、清水市などで実施されているが、実施例は少なく、新規整備はほとんどない。消化に代わる一次処理として、鉄塩、石灰によるし尿の化学凝集を行うもので固液分離が短期間ででき用地が狭いことが利点である。しかし、プロセスが複雑となり、機械装置の維持管理面での困難があること、薬品類の使用量が多いことが欠点とされている。

### (5) 湿式酸化処理プロセス

川崎市、浜松市、ソウル市など数箇所で行われている。

Zimmerman プロセスと称される湿式空気酸化法を一次処理に取り入れたものである。50~80 kg/cm<sup>2</sup> の加圧下、240~300°C、約 1 時間で化学的に空気酸化される。したがって、高温高压を取り扱う化学プラントに類する施設であり、これに対応する維持管理技術を必要とする。

以上、5 つの処理プロセスを物質の分離および転換機能としてみると、これらは次のような類似した機能をもつものである。

- ① し尿に含まれる SS を分離する。
- ② 有機物の一部をメタン、CO<sub>2</sub> 等のガスに転化して分離する。
- ③ 有機物の一部を微生物体に固定して分離する。
- ④ 無機塩類および残部の有機物、SS を希釈水とともに水系に排出する。
- ⑤ し尿中の大腸菌、病原菌を滅菌する。

こうして、① および ③ は埋立て処分により大地へ、② は大気へ、④ および ⑤ は放流水として公共用水域へ排出される。このうち最もやっかいなのは、処理水として水系に放流される液相に残った成分の除去である。

従来、し尿処理プロセスの評価は、主として次の 4 点にしぼられている。すなわち

- ⑥ し尿臭の除去、
- ⑦ BOD 成分の除去(河川の嫌気状態の防止)、
- ⑧ SS の除去(目で見た汚濁感の防止)、
- ⑨ 回虫卵、病原菌の除去、

などであるが、今日的水系環境保全の視点からすると、さらに

- ⑩ COD または TOC の除去
- ⑪ N, P 成分の除去、

をつけ加える必要があろうし、さらに水の農業利用あるいは再利用の立場からすると、

- ⑫ NaCl 等の含有塩類の除去、

を考えなければならない場合も生じてくる。

COD 除去についていえば、先に述べた 5 つの処理プロセスのうち湿式酸化(除去率 70%)を除いてはその除去機能は不十分であり(除去率は 30~50%)ほとんど希釈のみに頼っているといえる。N 除去についてはいずれも無力に近く、P 除去は、化学凝集処理を行う化学処理がよく(除去率 95% 以上)、他は 60% 程度の除去率である。

し尿処理のみならず、下水処理も含めて、上述した困難性に対する種々の技術的対応が行われつつある。表 1 は、実用段階に近づきつつある高度処理技術についてまとめたものである。しかしながら、これらのプロセスは吸着剤の再生に費用がかかりすぎたり、大量のエネルギーを必要としたり、維持管理に高度な技術を必要とす

表-1 し尿高度処理の単位プロセス

対象物質	処理方法	処理機能	開発状況	経済性・操業性その他
有機物 (COD, SS)	① 凝集沈殿	SS に有効, COD 除去は小	確立されている	実用性あり 活性炭処理の前処理として用いられることが多い 活性炭費, 再生費の負担が大きい 熱を必要とする。設備は多重効用蒸発缶であり高度化される
	② ろ過			
	③ 活性炭吸着	COD にある程度有効	パイロットプラント	
	④ 蒸発	SS, COD に有効	CG プロセスが実用化段階にある	
糞	① 酸化溝式生物脱 N	家畜糞尿, 下水については 60~90% 約 80% NH <sub>3</sub> -N の 90%以上	パイロットプラント (家畜糞尿は実用化段階)	広い敷地を必要とするが, 簡単なプロセスである プロセスはかなり複雑となる ゼオライトが用いられ, 再生薬品を必要とする
	② 活性汚泥式生物脱 N			
	③ アンモニアストリッピング		パイロットプラント	
	④ 選択イオン交換		パイロット→実用化	
リン	① Fe, Al による化学凝集	1ppm 以下まで除去可能	確立されている パイロットプラント	スラッジの脱水以外は問題ない アンモニアストリッピングと組み合わせて用いられる
	② 石灰による化学凝集			

るなど、今後の解決に待つべき点は多い。アメリカ合州国ミシガン州マスキガン郡では、都市下水を生物処理、貯留散水灌漑することによって飲料水の水準まで戻すという大規模かつ野心的な事業が 1971 年以来実施されつつある。国土面積の豊かな合州国ならではの話かもしれないが、わが国においても、近年まではし尿の農地還元という伝統的な技術体系が存在していたのであり、放流処分だけに固執することなく、再度この古くて新しい大地還元(=し尿の資源化)を見直してみるべき時期に到来しているように思われる。

#### 4. むすび

現在、役所は昭和 50 年度の予算要求書づくりに追いまくられており、その合間をぬって書き下ろしたこの拙文は、廃棄物処理の動向という大きな標題にしては、氷山の一角を突いたものとなってしまった。土木学会誌

編集委員会から要求された最初のテーマには、このほかに上水道の汚泥処理が含まれていたが、散漫さをいっそう強調することにもなるかと思ひ、割愛させていただいた。廃棄物の狭い意味での処理<sup>b)</sup>と資源化との関係は微妙に入り組んでおり、どこまでが処理でどこまでが資源化かを合理的に割り切ることには難しい。廃棄物の多様化に応じて、 $f(X)=Y$ なる  $f$  は無限の可能性を秘めつつ拡大してゆくように思われる。 $X$ なる廃棄物が、そこになんらかの価値を見出したとき、もはや  $X$  は  $Y$  の資格をもつともいえるわけで、この意味で価値の発見= $f$ そのもの、すなわち、真の廃棄物処理技術の発見といつてよいかも知れない。

終わりに、本稿を執筆するにあたり、森下忠幸氏(厚生省産業廃棄物対策室長)に多大のご指導をいただいた。ここに深く謝意を申し述べる次第である。

b) 廃棄物処理法でいう処理の意。

土木学会下水汚泥の処分方法に関する編集小委員会編

## 下水汚泥の処理処分および利用に関する研究

建設省、東京都、札幌市、大阪府、藤沢市などより委託を受けた土木学会が、各界の権威を網羅して調査研究を行った成果を、委託者側の諒解を得て再印刷した貴重な文献である。農業利用、海洋処分、脱水など詳細な研究成果を収録した。

記

43 年度報告書	B 5・232	1 200 円 (〒 140)	
45 年度報告書	B 5・200	1 500 円 (〒 140)	
46 年度報告書	B 5・322	2 000 円 (〒 170)	
47 年度報告書	B 5・278	2 000 円 (〒 170)	新刊