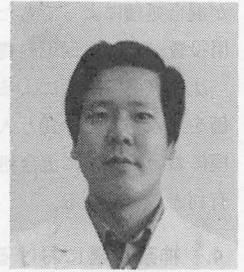


## ■ 解 説 ■

# 都市ごみ、下水汚泥の混合処理による 熱エネルギー有効利用システム

安 田 憲 二\*  
Kenji Yasuda



## 1. はじめに

近年、下水道整備が進められるにつれて、下水処理場からの汚泥の発生量が年々増大している。これら汚泥の処理、処分については難問をかかえており、種々の角度からの研究、アプローチがなされている。

現在検討されている種々の処理、処分法の中で、焼却処理は熱回収および灰の埋立処分を前提とした減量化、安定化の手段として各所で採用されつつある。しかし、この焼却処理方法は脱水汚泥中の含水率が高いため、多量の助燃料油が必要となり、地方自治体にとって燃料費が大きな負担となってきた。

一方、都市ごみ焼却施設では、生活水準の向上に伴って都市ごみの発熱量が急速に上昇してきており、しだいにエネルギー過剰気味になってきている。したがって、昭和48年の第1次石油ショック以来の省資源・省エネルギー意識の高まりとともに、焼却廃熱を蒸気として回収し発電に利用したり、蒸気や温熱水として地域還元するなど、余剰エネルギーの有効利用が重視される傾向にある。ここで発電利用に関しては、都市ごみのもっている発熱量の電気エネルギーへの変換率が10~20%程度であるから、蒸気利用と組み合わせることができれば、総合的な熱回収率は高くなる。

このような状況を背景にして、エネルギー不足型の下水処理設備と、エネルギー過剰型の都市ごみ焼却施設を組合わせた省エネルギー型混合処理方式と、その際得られる廃熱の利用システムについて種々提案されている。

そこで本稿では、混合焼却システムにおける熱エネルギー利用に関して、その概要を紹介し、一事例として神奈川県で検討した同システムについて述べてみたいと思う。

## 2. 混合焼却システムの分類<sup>1)</sup>

都市ごみの保有する余剰エネルギーを利用して、汚泥を処理する場合、大きく分類して、次の2つの処理方式に分類される。

### 2.1 同時焼却処理

脱水汚泥を都市ごみ焼却炉に直接投入し、都市ごみと同時に焼却処理するシステムであり、流動層式焼却炉および一部の熱分解炉などで、その実用化が研究されている。

### 2.2 乾燥焼却処理

都市ごみ焼却炉の余剰エネルギーで脱水汚泥またはスラリー汚泥を乾燥したのち、都市ごみ焼却炉あるいは、汚泥専焼却炉で焼却処理するシステムである。

乾燥焼却システムには、下水処理場やし尿処理場から都市ごみ焼却場へ搬入された汚泥を、ごみ焼却炉の余剰熱で乾燥処理後、ごみ焼却炉内で焼却処理する方式（1炉方式）と、ごみ焼却炉の余剰熱で乾燥処理された汚泥を汚泥専焼却炉で焼却処理する方式（2炉式）の2つの方式がある。

すでに金沢市<sup>2)</sup>では気流乾燥・ストーカ上燃焼の形で混焼を行うためのハードが完成しており、京都市<sup>3)</sup>および神戸市<sup>4)</sup>においても、この乾燥焼却処理システムについて実用化を目的とした技術的検討が行われている。また、都市ごみ熱分解炉で下水汚泥と都市ごみの混合熱分解の実験も行われている。

## 3. 混合焼却システムの経済性<sup>5)</sup>

流動層炉による混合焼却処理と分散処理（都市ごみは流動層焼却、下水汚泥は堅型多段炉熱分解）の処理単価を比較すると、分散処理、混合処理のいずれの場合においても、熱利用方式としては、ボイラー+背圧タービンの方式の経済性が最もよく、ついでボイラーのみによる蒸気利用が有利となっている。分散処理と

\* 神奈川県公害センター大気部大気科主任研究員  
〒241 横浜市旭区二俣川1-87-1

混合処理を比較すると、約20～40%の処理単価の低減が混合処理によってもたらされる。これは後者の場合、用役費（とくに助燃料費）の節減が大きいためである。

次に堅型多段炉による混合熱分解システムの処理単価を比較すると、10万人～100万人の間のいずれの規模においても常に混合処理の方が汚泥単独処理よりも有利となっている。

#### 4. 神奈川県における事例

ここでは都市ごみ、下水汚泥の混合処理による熱エネルギー利用システムに関する事例検討結果と、それに付随する大気汚染問題について言及した。

なお、本稿で示した各数値は、昭和55年度のデータをもとに算出したものである。

##### 4.1 調査方法

###### 4.1.1 調査手順

県内の一地域をモデルケースとして選定し、そのモデルについて混合処理による熱エネルギー有効利用システムと大気汚染問題を定量的に調査、検討した。

###### 4.1.2 調査地点

- (1)平塚市大神環境衛生センター(連続式焼却炉90t/日×3炉)
- (2)茅ヶ崎市環境美化センター(連続式焼却炉75t/日×2炉)
- (3)四之宮下水処理場(相模川流域下水道右岸処理場)

###### 4.1.3 調査項目

- (1)平塚市(人口約22万人)、茅ヶ崎市(同約18万人)の両市における都市ごみの処理状況と生ごみの平均組成
- (2)下水処理場における汚泥の排出量と電力使用実態
- (3)都市ごみからの可燃物の分別方法
- (4)都市ごみ(可燃物)の輸送方法
- (5)都市ごみ(可燃物)・下水汚泥の混合処理における熱エネルギー有効利用システムと経済性
- (6)廃棄物の混合処理における大気汚染問題

#### 4.2 結果

##### 4.2.1 調査地点の地理的条件

平塚市大神環境衛生センター、茅ヶ崎市環境美化センターおよび四之宮下水処理場の所在地を図-1に示す。

図-1から明らかなように、両市の焼却場と四之宮下水処理場は最大3km程度しか離れていないため、都市ごみと下水汚泥を一緒に処理する際に、廃棄物の輸送コストなどの点で有利となる。

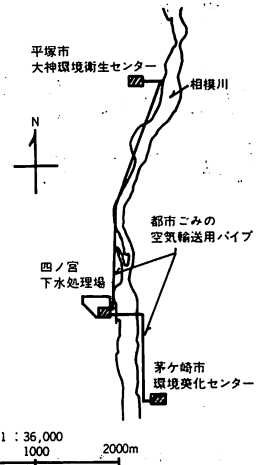


図-1 平塚市、茅ヶ崎市の両焼却場および四ノ宮下水処理場の所在地と都市ごみ空気輸送用パイプの敷設状況

##### 4.2.2 平塚市、茅ヶ崎市の両市における都市ごみの処理状況等

昭和55年度の平塚市、茅ヶ崎市の両市における都市ごみの総焼却量および生ごみの平均組成を表1に示す。

両市の焼却場における廃熱の利用状況は、10%弱と極めて低い<sup>6)</sup>。

##### 4.2.3 下水処理場における汚泥の排出量と電力使用実態

昭和55年度の四之宮下水処理場における汚泥(脱水ケーキ)の年間総排出量は16,371t(含水率59%)である。また、同年度での電力使用量は約1,134万kWh/年となっている(このうち自家発電量は、わずかに1,800kWh/年である)。下水処理場では、ポンプやブロワーを多数使用するため、当然のことながら電力消費量が極めて多い。

##### 4.2.4 都市ごみからの可燃物の分別方法

表1 都市ごみの総焼却量および生ごみの平均組成 (昭和55年度)

施設名		平塚市大神環境衛生センター	茅ヶ崎市環境美化センター
総焼却量		56,095 t/年	37,407 t/年
ごみの種類・組成	紙・布類	34.3%	44.9%
	ビニール・合成樹脂類	12.9%	12.1%
	ゴム・皮革類	3.2%	4.2%
	木・竹・わら類	36.3%	29.2%
	ちゅう芥類	10.4%	7.1%
	その他	2.8%	2.5%
ごみの成分	水分	64.7%	64.1%
	可燃分	31.9%	25.7%
	灰分	3.4%	10.2%
低位発熱量(計算値)		1,043 kcal/kg	772 kcal/kg
"(実測値)		1,120 kcal/kg	1,405 kcal/kg

平塚市、茅ヶ崎市の両市では、ごみ収集の過程で不燃物を分別している。しかし、表1に示したように、収集されたごみの中には、まだ10%内外の不燃物が含まれており、しかも含水率の高い（したがって発熱量の低い）ちゅう芥類が多量に混入している。そこで、このシステムでは分別装置によって都市ごみからちゅう芥類、不燃物を分別し、残りの可燃物を燃料として利用する方法を採用した。また、分別したちゅう芥類はコンポスト化し、不燃物中からは鉄を回収する。

これらの処理は、両市の現焼却場で個々に行うものとし、これを都市ごみ資源化センターとして位置づける。

#### 4.2.5 都市ごみ（可燃物）の輸送方法

今回検討したシステムでは、燃料化した都市ごみを下水汚泥と混合処理するため、都市ごみ（可燃物）を下水処理場まで輸送する必要がある。輸送する方法としては、①車輛による輸送、②パイプラインによる空気輸送、の2つの方法がある。しかし前者の場合は、1ヶ所（下水処理場）に多数の車輛が集中するため、大気汚染、騒音、振動などの交通公害を引起す可能性がある。また、都市ごみの空気輸送は、現在大阪市森の宮第2市街地住宅など3ヶ所で実施されており、技術的に実用化の段階にある。

そこで、このシステムではパイプラインによる空気輸送方式を採用した。

#### 4.2.6 都市ごみ・下水汚泥の混合処理における熱エネルギー有効利用システムと経済性

##### (1)混合処理の方式

混合処理の方式としては、

- ①分別した都市ごみ（可燃物）を四之宮下水処理場に集めて一括処理する。
  - ②都市ごみと下水汚泥を平塚市、茅ヶ崎市のどちらか一方の処理場に集めて一括処理する。
  - ③下水汚泥を両市の処理場へ別々に送るか、またはどちらか一方の処理場に送って個別に処理する。
- の3方式が考えられる。

前記したように、下水処理場では電力の消費量が多いので、廃熱の利用方法としては発電が最も効果的である（ただし、発電を行うためには、現在よりも廃棄物の処理量を多くする必要がある<sup>6)</sup>）。さらに経済性からみると、輸送距離が短いほど有利となる。

以上の点を考慮すると、②の方式は輸送距離の面で（図-1より）、また③の方式では処理量の面で、それぞれ①の方式にくらべて不利になる。したがって、こ

のシステムでは①の方式を採用した。

なお、廃熱の利用効率を高めるために、下水汚泥は蒸気を利用した汚泥乾燥機により含水率が25%になるまで乾燥し、低位発熱量を高めた後に都市ごみと混合処理する。

##### (2)省エネルギー効果

廃棄物が自燃するためには、低位発熱量が1,000～1,200kcal/kg以上であることが必要となる。しかし、下水処理場から排出される下水汚泥は低位発熱量が約440kcal/kgであるため、補助燃料を使用しなければ焼却処理ができない。

混合処理システムでは、補助燃料として化石燃料の代りに都市ごみを利用するため、燃料の節約ができる。

汚泥の単独焼却の場合、焼却排ガスの再加熱まで含めると、重油の消費量は約110ℓ/t・ケーキとなる。四之宮下水処理場から排出される汚泥の量は16,371t/年であるから、都市ごみとの混合処理によって、年間約1,800kl（金額に換算すると約1億4,000万円）の燃料が節約されることになる。

##### (3)熱エネルギーの利用方法

熱エネルギーの利用については、①都市ごみ、下水汚泥を混合焼却し、焼却廃熱により発電を行う ②都市ごみ、下水汚泥の混合物を熱分解し、生成したガスを用いてガスタービンにより発電を行う この2つの方法を検討した。

##### ①都市ごみ、下水汚泥の混合焼却

###### (ア)混合物の平均発熱量

焼却炉の年間稼働日数を300日、24時間運転とすると、1時間あたりの焼却量は、都市ごみが8.11t(Hℓ≒1,400kcal/kg)、下水汚泥（含水率が25%として）が1.3t(Hℓ≒1,880kcal/kg)となる（混焼率は8.11:1.3=6.2:1）。したがって、焼却物の平均発熱量（低位）は1,466kcal/kgになる。

###### (イ)蒸気発生量

効率70%の廃熱ボイラーで圧力19kgf/cm<sup>2</sup>、温度315℃の蒸気を発生させる場合、蒸気発生量は1.44t/t-混合物となる。したがって、上記の条件における1時間あたりの蒸気発生量は約14t/hである。

発生させた蒸気は全量発電に利用するが、タービン出口側の蒸気を使って下水汚泥の乾燥（含水率59%→25%）を行う。この場合、水分の蒸発に必要な熱量は約4.63×10<sup>5</sup>kcal/hである。

###### (ウ)廃熱利用による発電

発電には背圧タービン（出口側蒸気圧力1.5kgf/cm<sup>2</sup>）

を使用するが、この場合の発電効率は10%程度であるから、1時間あたりの発電量は約1,600 kWh/hである。

また、混合焼却施設で消費する電力量は約1,000 kWh/hであるから、発電による余剰電力は600 kWh/hにもなる。

四之宮下水処理場で消費する平均電力量は、1,295 kWh/hであるから、この余剰電力によって下水処理場で消費する電力の約50%を賅うことができる。

なお、焼却施設の設備概要および設備フローをそれぞれ表2、図-2に示す。

②都市ごみ、下水汚泥の熱分解  
 (ア)生成ガスの総熱量

混合物のガス化熱分解率は約60%であるから、生成ガスの総熱量は約 $8.28 \times 10^6$  kcal/hとなる。

(イ)ガスタービンによる発電

ガスタービン発電の熱効率を33%と仮定すると、1時間あたりの発電量は約3,170 kWh/hである。

また、熱分解施設で消費する電力量は、焼却施設の場合とほぼ同じであるから、発電による余剰電力は2,170 kWh/hにもなり、下水処理場で消費する電力を

表2 混合焼却施設の設備概要

焼却炉の型式	流動層炉(廃熱ボイラー式)
焼却能力等	120t/日×3炉(1炉は予備)
蒸気条件	19kgf/cm <sup>2</sup> , 315℃, 蒸気量14t/h
余熱利用設備	1,800kw, 背圧タービン発電機 汚泥乾燥装置 (背圧タービン出口側蒸気使用)
排ガス処理	乾式電気集じん装置 脱硝設備(アンモニア水噴霧式) スクラバー装置(NaOH溶液使用)
排水中の重金属処理	フェライト法
焼却残灰	埋立

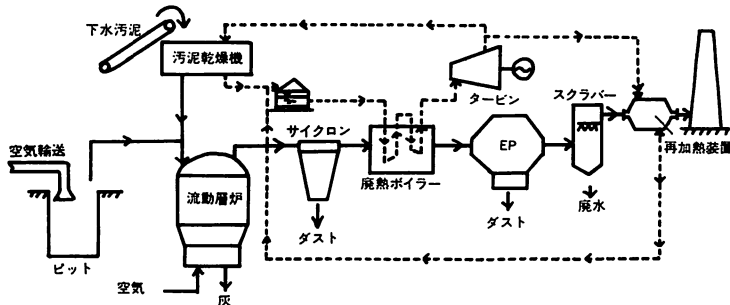


図-2 都市ごみ・下水汚泥の混合焼却施設の設備フローシート

100%賅ってなお余る。

さらに、この方式ではガスタービンの廃熱を利用して蒸気を発生させ、その蒸気を使って下水汚泥の乾燥(含水率59%→25%)を行う。

(4)経済性の検討

下水汚泥の単独焼却、混合焼却および混合物の熱分解の3方式について、建設費、運転費の算定(概算値)を行った。結果を表3に示す。表3から明らかなように、建設費、運転費とも熱分解方式が最も高くなっている。ただし、混合焼却、熱分解については、熱エネルギーの利用による発電によって経費の節減が計れる。特に熱分解は、発電量が3,170 kWh/hと一番多く、余剰電力の利用により混合焼却の場合とくらべて更に52.8万円/日も経費が節約できる。

経済性を評価するためには、現行の処理方式および混合処理システムについて、それぞれ実質処理費用を算出して比較検討する必要がある。しかし今回の調査ではコストの算定に必要な資料の収集が十分に行えなかったため、現段階においてどの方式がもっとも経済的であるかを判定することはできない。

4.2.7 廃棄物の混合処理による大気汚染問題

(1)混合焼却に伴う大気汚染

①重金属の排出

各方式における重金属の排出データに基づいて、混合焼却した場合、現行方式(都市ごみ、下水汚泥の単独焼却)に対してどの程度排出量が増減するのかを検

表3 各方式におけるコストの比較

方式	汚泥* 単独焼却	混合焼却	熱分解
コスト			
建設費(百万円)	1,140	6,840	10,800
運転費(万円/日)	45	45	226

(注) \* 焼却能力60t/日の流動層炉で焼却するものと仮定して求めた。(炉以外の設備は混合焼却の場合と同じ)

討した。その結果を表4に示す。

表4から、混合焼却の場合、現行方式よりも排出量が約20%（水銀については約80%）減少することが判明した。

なお、重金属の排出量を推測する際に、重金属の揮散率は表5に示した値<sup>7)</sup>を、電気集じん装置による除却効率については95%（ただし、水銀は10%<sup>8)</sup>）の値をそれぞれ用いた。

②有害ガス（NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、HCl）の排出

重金属の場合と同様に、混合焼却による排出量の増減を調べてみると、表6に示したように、混合焼却によってNO<sub>x</sub>が60%、SO<sub>x</sub>およびHClが約80%、それぞれ現行方式よりも排出量が減少している。

(2)混合物の熱分解に伴う大気汚染

熱分解における分解温度は650～750℃であり、焼却の場合（750～950℃）よりも低い温度で廃棄物を処理するため、重金属およびNO<sub>x</sub>の排出量は混合焼却の時より少なくなる。また、SO<sub>x</sub>、HClについても混合焼却の場合と同様に、排ガス処理装置によって除去される。

表4 混合焼却をした場合の重金属排出量の増減

重金属名	現行方式に* おける排出量 (g/h)	混合焼却に よる排出量 (g/h)	混合焼却
			現行方式
総水銀	24.1	5.60	0.23
カドミウム	3.18	2.56	0.81
鉛	65.8	52.7	0.80
銅	9.92	8.39	0.85
亜鉛	104	88.1	0.85
ヒ素	0.31	0.26	0.84

(注) \* 都市ごみ、下水汚泥の単独焼却時における総排出量（合計した値）

表5 重金属の揮散率<sup>7)</sup>

重金属名	水銀	カドミウム	鉛	銅	亜鉛	ヒ素
揮散率	96%	60%	30%	25%	60%	80%

表6 混合焼却をした場合の有害ガス排出量の増減

物質名	現行方式に おける排出量 (g/h)	混合焼却に* よる排出量 (g/h)	混合焼却
			現行方式
NO <sub>x</sub>	10.26	4.10	0.40
SO <sub>x</sub>	3.72	0.81	0.22
HCl	22.91	5.06	0.22

(注) \* 脱硝装置(アンモニア水噴霧)によるNO<sub>x</sub>除去率を60%、またSO<sub>x</sub>、HClの除去率を90%と仮定して求めた。

したがって、熱分解の場合にも重金属および有害ガスの排出量が現行方式より大幅に減少するものと考えられる。

以上のことから、混合処理システムは大気汚染防止の面からも有効であることが確認された。

4.3 まとめ

熱エネルギーの有効利用を推進する一方法として、都市ごみ中の可燃物と下水汚泥の混合処理による熱エネルギー有効利用システムについて定量的に検討した。その結果、以下のことが判明した。

- ①混合処理を行った場合、補助燃料が不要となるので、年間1,800kl（金額に換算すると約1億4,000万円）の燃料が節約できる。
- ②混合処理では、熱エネルギーの利用による発電が可能となるので、下水処理場への電力の供給などにより、諸経費を大幅に節減できる。
- ③混合処理システムの場合、現行方式にくらべて重金属の排出量が約20%（水銀については80%）減少する。
- ④有害ガスの場合についても、混合処理によってNO<sub>x</sub>は60%、SO<sub>x</sub>およびHClは約80%、それぞれ現行方式よりも排出量が減少している。

文 献

- 1) 国広武志, 吹春峯男, 宝角 公, 掛田健二, 藤井達宏; ぐみと汚泥の混合焼却処理技術, PPM, vol.13, No.10, 38~48 (1982)
- 2) 金沢市生活環境部工場建設室; 都市ごみと下水汚泥の混焼実施について, 月刊廃棄物, vol. 6, No.69, 82~85 (1980)
- 3) 米田 孝; 京都市における都市ごみと下水汚泥の混焼実験について, 日米下水処理技術委員会会議録, vol. 8 th, 33~49 (1981)
- 4) 中道民広; 下水汚泥処理はごみ焼却電力で, 月刊廃棄物, vol. 8, No.86, 65~70 (1982)
- 5) 武田信生; 都市ごみと下水の総合処理システム, 資源循環と省エネルギー (エネルギー・資源研究会), 35~42 (1981)
- 6) 安田憲二; 廃棄物の総合エネルギー利用システムに関する調査研究(1), 廃熱の有効利用技術調査・研究, 神奈川県, 4~26 (1980)
- 7) 斉藤幸雄, 島田一成, 野比舜介, 西本義英; 都市固形廃棄物処理における重金属の挙動と処理条件, 環境技術, vol. 9, No. 5, 359~365 (1980)
- 8) 安田憲二; 汚泥焼却に伴う重金属の排出, 第18回大気汚染学会 (講演要旨集), p.456 (1977)