

## 特集

## 非金属廃棄物の再資源化

## 都市ごみ・汚泥処理の実施例(1)

——京都市清掃局東清掃工場,  
京都市下水道局石田処理場(熱相互利用)——

武田 信生\*

Nobuo Takeda

## 1. 背景

環境質に対する都市住民意識の高まりとともに、都市環境施設整備の重要性が強く認識されるようになり、都市ごみ焼却工場と下水道施設の充実が年々はかられてきたことは誠に好ましいことではあるが、一方においてこれらの施設の維持・管理に要する費用は増大しており、市民の負担もそれに応じて大きくなってきている。処理の高度化が進むにつれて必然的に施設のエネルギー消費は増大するため、都市環境施設におけるエネルギー源の確保や省エネルギーは重要な課題である。現在は一時の石油危機の時のような危機的状況ではないものの、長期的に見れば省エネルギーの重要性は基本的には変わっていないと考えるのが妥当であろう。

ここで、都市ごみと下水汚泥の発生概況とその処理方法についてみる。都市ごみの発生量は図-1に見るように一時的には石油ショックの影響はあったものの年々確実に増加し、1984年度では一人あたり発生量は833g/日であり、全国で約10万トン/日となっている。これに対するごみ焼却施設の容量は設計ベースで約158,000トン/日(1984年度)となっており、総容量的にはすでに発生量を越えている。もちろん、総設計容量が常に運転されるわけではなく、実際の都市ごみ焼却比率は全国ベースでは72%となっている。このように、国土の狭隘なわが国では都市ごみの衛生的処理を目指して焼却処理法が積極的に普及されたために、大都市においては焼却率100%のところも珍しくはない。一方、下水道の普及が遅れているわが国では、1985年現在の人口普及率は約43%であり、現在までの処理下水量の推移は図-2に示すようになっている。処

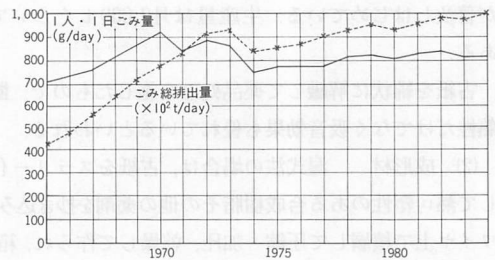


図-1 ごみ排出量の推移



図-2 下水処理量と下水汚泥量の推移

理下水量の増加に伴って発生下水汚泥量は増加の一途を辿り、1985年には年間2億トン近くとなっている。下水汚泥の焼却率は1983年の統計によれば44%となっている。

下水処理場と都市ごみ焼却工場を比較するとき、前者はエネルギー不足型であり後者はエネルギー過剰型であるといわれる。たしかに、下水処理場では大量の電力を消費し、とくに汚泥の焼却を行う場合には、補助燃料を必要とすることが多い。都市ごみ焼却施設では従来から余熱利用が盛んで、1977年度の厚生省の調査によっても大都市では100%、中都市で約50%、小都市で約20%が余熱利用を実施していることになって

\* 京都大学工学部衛生工学教室講師  
〒606 京都市左京区吉田本町

表1 下水処理に消費する電力・燃料<sup>2)</sup>

	わが国文献値	わが国A市実績	米 国
二次処理	0.143 kWh/m <sup>3</sup> ・下水	0.1 kWh/m <sup>3</sup> ・下水	
脱 水	0.062 kWh/m <sup>3</sup> ・下水	0.061 kWh/m <sup>3</sup> ・下水	
焼 却		0.044 kWh/m <sup>3</sup> ・下水	
計		約30kWh/人・年*	33~50kWh/人・年
		約10ℓ-Oil/人・年*	7.75ℓ-Oil/人・年

注) \* 400ℓ-下水/人・日と仮定した。

おり、その後はもっと普及しているものと考えられる。代表的な余熱利用方法は発電であり、施設内で利用するほか電力会社への売電も一般化してきた現状である。ある都市の1工場の実績では、低位発熱量1,550kcal/kgのごみで約180kWh/トンごみの発電量であり、焼却施設内で使用する60kWh/トンごみを差し引いて、120kWh/トンごみが余剰電力となっている。

下水処理に要する電力や燃料の量のおおよその値は表1に示したようである。焼却に要する補助燃料量は汚泥の性状によることはいままでのないが、重油にして0.1kg/kg-脱水汚泥程度必要となることもある。最近の高分子凝集剤を用いた汚泥脱水技術の進歩は、補助燃料量の減少に役立っており、また、乾燥-焼却システムによる省エネルギー化によって補助燃料なしの焼却(自燃)も可能になってきている<sup>1)</sup>。

都市ごみと下水汚泥を混焼する場合のだいたいの熱的バランスを見ておくと、1人・1日あたりのごみ排出量を1kg、同じく1人・1日あたりの汚泥発生量を80gとし、汚泥中の有機物含有量を60%、有機物発熱量を5,000kcal/kgと仮定すれば、汚泥含水率が85%程度でも自然領域の熱バランスは成立する。

筆者は都市ごみ焼却施設と下水処理場の結合による省エネルギーに早くから注目し提唱をしてきたが、後に述べるように京都市においてたまたま両施設が隣あわせに立地するという好条件に恵まれ、両者の結合を構想し、計画・立案に協力する機会を得ることができた。本稿では、研究の経過やシステムの実際について簡単に報告する。

## 2. 研究経過

京都市においては、都市ごみ焼却能力の増強のために、とくに人口増加が著しい市東部において焼却工場を建設する計画が検討され実施に移された。この計画には京都市廃棄物処理研究協議会が技術指導にあたり、

表2 焼却設備ならびに余熱利用設備の概要

焼却能力	600 t / 24 h (200 t / 24 h × 3 基)
破砕能力	180 t / 5 h
発電出力	8,000 kW (4,000 kW × 2 基)
余熱利用センター	
	温水プール
	図書館
	老人保養センター

筆者もその一員として協力した。

焼却設備ならびに余熱利用設備の概要は表2に示すとおりである。最初、焼却設備を計画する段階では、下水汚泥との混焼をする計画はなかったのであるが、隣接する京都市石田下水処理場で発生する汚泥をこの東清掃工場で処理する提案が急に具体化することとなり、前記の京都市廃棄物処理研究協議会と京都市清掃局ならびに下水道局が共同して研究を行うこととなった。

東清掃工場で採用された焼却炉は回転火格子式であり、この形式の焼却炉ではすでに西ドイツKrefeldにおいて下水汚泥の混焼が行われていた。この混焼設備は当時世界最大規模を誇るものであった。このプラントはEssenにおけるエムシャー河の炭泥と下水汚泥・都市ごみの混焼の経験を参考にして考えられたものである。この混焼プラントは、都市ごみ30万人分、下水汚泥60万人分を対象とするものであり、焼却炉は2系列で都市ごみ12トン/時間、乾燥汚泥7トン/時間の設備である。濃度5%の生汚泥は、隣接する下水処理場から焼却工場へポンプで送られ、高分子凝集剤薬注-遠心脱水により含水率75%まで脱水される。脱水汚泥は炉ボイラ放射域頂部から取り出された800°Cの排ガスを使って気流乾燥され、含水率10%程度で粉状となった汚泥は、400°C程度になった乾燥排ガスとともに炉に吹き込まれ浮遊燃焼する。乾燥過程の大部

表3 研究プログラム

1977年度	下水汚泥前処理法の検討
1978年度	下水汚泥処理プロセスのラボテスト 実焼却炉を用いた混焼実験
1979年度	下水汚泥の形状と燃焼性の検討
1981年度	下水汚泥前処理プロセスの実験と 混焼システムの総合的検討

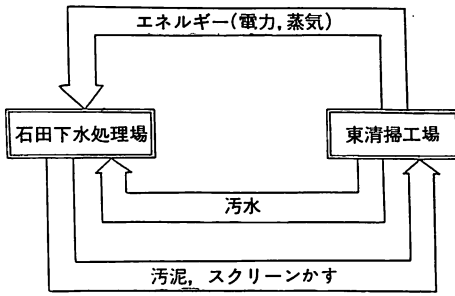


図3 両工場の機能相互利用

分は乾燥機構底部のミルとファンの中で行われるが、汚泥の均一な供給と解砕に工夫が必要であったようである。すなわち、汚泥がミルに一度に入ったのでミルがうまく機能しなかったのであるが、その後の改良によって汚泥は蒸気を利用した2流体ノズルで噴霧し、均一な供給に成功している。6.5トン/時間の汚泥量に対し蒸気量は1.8トン/時間である<sup>9)</sup>。

炉形式がこのKrefeldと同じであるため、当初、このようなシステムとすることも考慮したが、主として以下の2つの理由から独自の方式を考えることとした。

①焼却施設の設計段階では混焼を考慮していなかったために、汚泥の脱水・乾燥設備を焼却炉設備内に設置するには、空間的に無理があること、

②行政的には下水道局と清掃局のそれぞれの任務は画然としており、下水道は汚泥の処理まで責任をもって行うことが原則であり、清掃局側へ濃縮汚泥を送るだけで仕事が終わってしまうようなシステムは好ましくないこと。

東清掃工場と石田下水処理場を結合する際の基本的な概念は相互に機能を利用し合い、エネルギーと資源の有効な活用を目指すものであって、これを簡単に図示すると図-3のようになる。すなわち、石田下水処理場で発生するスクリーンかすと下水汚泥は東清掃工場で焼却し、東清掃工場で発生する電力および熱(蒸気)の一部を石田処理場で利用する。また、東清掃工場で発生する汚水については、化学的処理を中心とした前処理を東清掃工場において行った上で生物処理の部分は下水処理場で行うことである。このような機能の相互利用と合理的な配分によってエネルギー・資源の節減が図れるとともに機械設備等に対する重複投資も避けられると考えられるのである。

京都市における混焼システムは独自のものとするこ

ととなったために、下水道側の汚泥処理システムを考案する必要が出てきた。このシステムが具備すべき条件は次のようなものであった。

①汚泥処理システムから出てくる汚泥の性状は都市ごみのそれと類似していること。

②都市ごみ焼却システムおよび汚泥処理システムはそれぞれ独自に運転でき、お互いのシステムを妨害するようなことが起こらないようなものとする。

③それぞれの処理責任範囲が明確で、かつ確実に果せるものであること。

このような条件のもとで1977年度から表3に示すようなプログラムにしたがって研究を進めた。研究の各段階で得られた成果は次のようなものである。

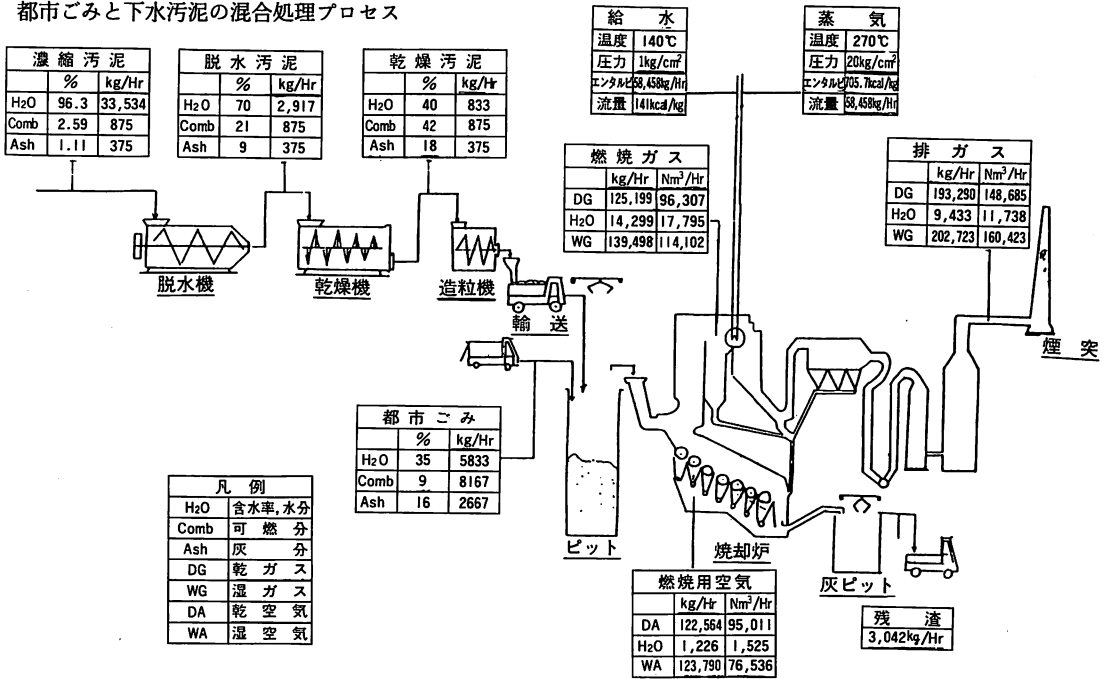
(1) 欧米諸国ですでに都市ごみと下水汚泥の混焼が試みられていたが、文献調査の結果によれば、下水汚泥を脱水汚泥の状態でごみ焼却炉に投入する方式はいずれも実験段階で良好な結果を得ていない。これは、都市ごみと下水汚泥の平均的な発熱量をもとにした机上の計算では熱収支は満足されるのであるが、実際の炉操作という点からみると、汚泥が投入された時に炉温が急激に下がるなどの影響により安定な燃焼の継続が困難になるためである。

(2) 上記の結果から、下水汚泥は高分子凝集剤の添加によって脱水する場合には乾燥した上で成形加工を、熱処理脱水した場合にはすでに脱水汚泥の含水率が低いために成形加工のみをすることによって、いずれの場合にも汚泥の仕上がり品は都市ごみとその燃焼特性が類似したものとする必要がある。

(3) 熱処理脱水を採用する場合には、清掃工場の定期点検等で蒸気の供給を受けられない場合には脱水出来なくなるため大規模な汚泥貯留槽を設けるか、補助ボイラの設置が不可欠となる。

(4) (2)に示した前処理を施した汚泥の性状は都市ごみと同程度であり、10%および20%の汚泥混焼比率で行った実炉における燃焼実験では燃焼状態は良好であり、NO<sub>x</sub>濃度や排ガス中ダスト濃度に顕著な悪影響は見られなかった。

都市ごみと下水汚泥の混合処理プロセス



都市ごみのみの処理プロセス

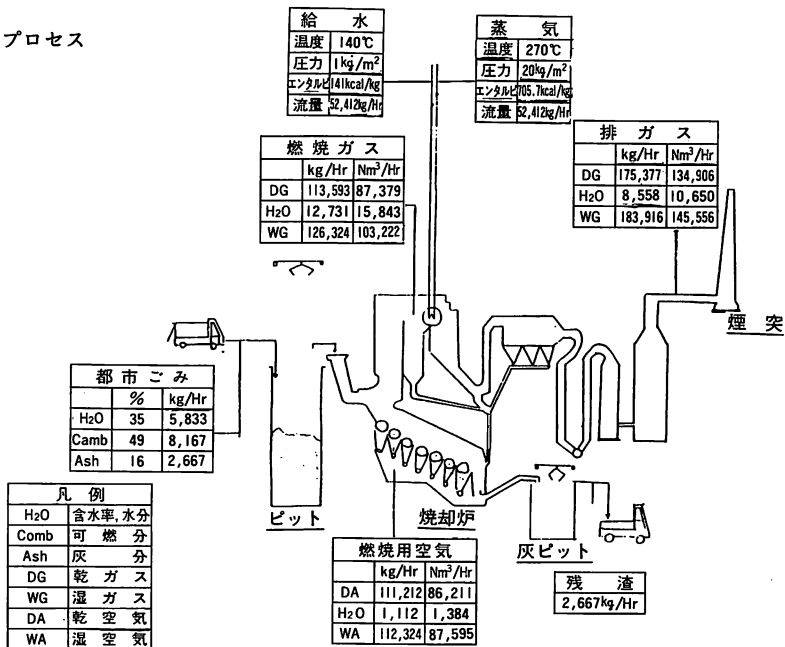


図-4 都市ごみのみの焼却と混焼の場合の物質収支

- (5) さらに、30mmφ×(30-40)mm(含水率30%)の円筒型および30mm×30mm×(15-20)mm(含水率40-60%)の平板型試料によって変形や破壊に対する抵抗性の試験を行った結果によれば、両者に大きな差はなく、また、実験室における燃焼試験でも問題はなかった。
- (6) 高分子凝集剤添加による加熱・加圧脱水、蒸気間

接加熱による乾燥、成形機による成形の実験を行ったところ、混焼に適した乾燥成形汚泥が得られることが確認された。

- (7) 実験データ等をもとに下水処理場および清掃工場における物質収支・熱収支を検討したところ、十分にフィージブルな結果が得られることが判明した。最終

目標であるごみ焼却量400トン/日、下水汚泥30トン/日の量に対して清掃工場の物質収支の計算値を示したのが図-4である。この図に示されている通り、下水汚泥の投入によってむしろ廃熱ボイラでの蒸気の発生量は約10%増加していることが分かる。

(8) 経済性の検討においては、下水汚泥を単独処理する場合には清掃工場から電力と管理棟への蒸気供給のみに限られるとし、混焼する場合には前に記したような結合が図られるものとして比較を行った。この結果、汚泥処理の側の建設コストは混焼により約15%節減となること、維持管理コストは約18%節減できることが計画段階で明らかとなった。

以上の結果をふまえて、京都市は汚泥と都市ごみの混焼システムを採用するところとなったのである。

### 3. システム

京都市東清掃工場と石田下水処理場の結合システムを分かりやすく図示したのが図-5である。結合の要点は

#### ① 共同受電設備

清掃工場側に置かれた特高受電設備で両プラント用の電力を受電し、清掃工場が発電した電力は両プラントで使用し、余りがあれば、電力会社に売却する。

#### ② 余熱(蒸気)の利用

清掃工場で発生した蒸気は清掃工場内で使用する他、タービン発電機で発電するとともに、下水処理場でも使用する。下水処理場での利用は、汚泥脱水のための加熱ならびに汚泥乾燥の熱源および管理棟における空

調である。この蒸気利用システムでとくに配慮されているのは、ボイラー給水の汚れなどのトラブルを防止するために、清掃側と下水側の両方に熱交換器を置き、その間を高温水で結んでいる点である。

#### ③ 清掃工場の廃水処理

清掃工場の廃水は清掃工場で前処理を行った上で家庭廃水とともに石田下水処理場で処理する。

#### ④ 下水汚泥の清掃工場での混焼

石田処理場で発生する汚泥は脱水・乾燥・成形のちトラックで清掃工場のピットに運び、都市ごみとともに混焼する。

### 4. 実績

混焼施設の完成後、燃焼状況、大気汚染物質、臭気について調査が行われた。この調査はごみに対する乾燥汚泥の比率20%で行われた。その結果、①燃焼室温度はごみ専焼の場合と大差なく安定に保たれ、灰の熱灼減量も2.9~3.7%と良好であった、②ばいじん濃度は0.001g/Nm<sup>3</sup>(基準値0.15)、いおう酸化物3ppm(同、約60)、窒素酸化物66ppm(同、250)、塩化水素2ppm(同、430)であり、いずれも十分に基準をみたすものであった、③敷地境界線における臭気濃度は基準値よりはるかに低かった、という結果を得た。

省エネルギーの点から電力と蒸気の利用状況はつぎの通りである。

図-6は1984年度における年間のごみ焼却工場と下水処理場での電力の消費状況を、図-7は電力の供給源を示している。両施設の合計電力消費量は30,643×10<sup>3</sup>kWHであり、内79%を清掃工場が21%を下水処理場

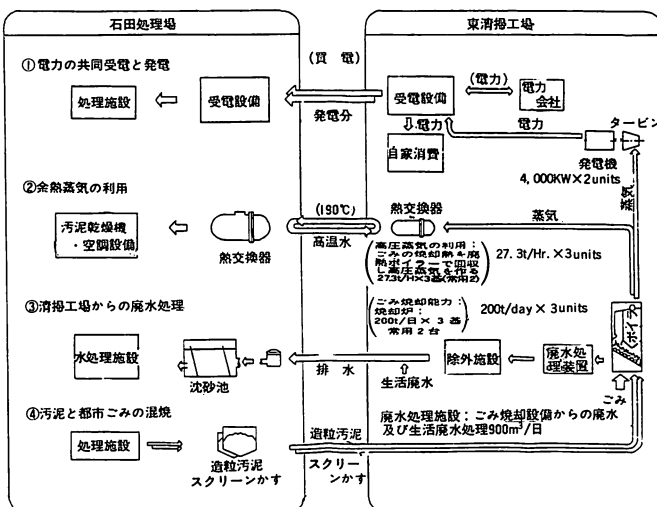


図-5 東清掃工場と石田下水処理場の結合フロー

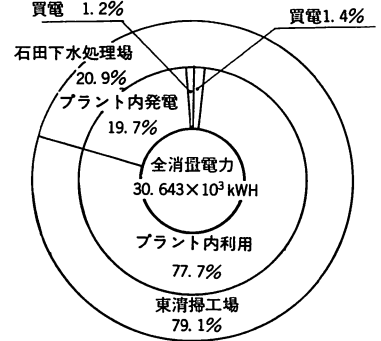


図-6 電力需要の内訳(1984年度)<sup>3)</sup>

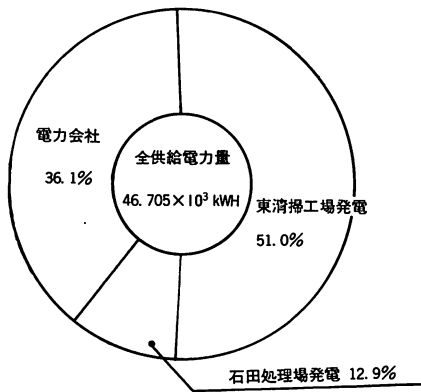


図-7 電力供給の内訳 (1984年度)<sup>3)</sup>

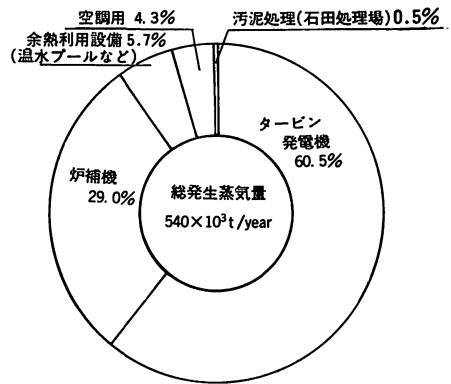


図-8 蒸気利用の内訳 (1984年度)<sup>3)</sup>

表 4 石田処理場処理実績 (1985年度)<sup>4)</sup>

項目	年 計	日 平 均	備 考
流入汚水量	15,776,580 m <sup>3</sup> (BOD:120mg/l, SS:81mg/l)	43,196 m <sup>3</sup>	
放流水量	16,172,580 m <sup>3</sup> (BOD:8.3mg/l, SS:14mg/l)	44,308 m <sup>3</sup>	
電力使用量	9,807,050 kWh	26,869 kWh	清掃工場発電電力比率 90.4% 買電使用比率 9.5% 場内発電比率 0.1%
内: 清掃発電電力	8,873,096 kWh	24,310 kWh	
内: 関西電力	927,804 kWh	2,542 kWh	
内: 場内発電電力	6,150 kWh	17 kWh	
脱水汚泥量	39,500 m <sup>3</sup>	(暦日) 108 m <sup>3</sup>	清掃工場搬出量
脱水ケーキ量	2,233 t	(暦日) 6.1 t	
ケーキ含水率	(平均) 37.8 %		
スクリーンかす量	25.8 m <sup>3</sup>	0.1 m <sup>3</sup>	
蒸気使用量	7,355 t	(暦日) 20.1 t	

が使用している。これらの使用量のうち約97%は自給しており約3%弱を買電しているにすぎない。なお、清掃工場における発電量は使用電力量の約1.5倍の46,705×10<sup>3</sup>kWhであり64%は両施設で使用し36%は売電している。このシステムが一方で買電をしながら一方で売電しているのは、もちろん、発電量、電力使用量に時間的変化があるためであり、これを調整する意味では電力会社がバッファとして果たしている役割は大きい。

図-8は1985年度における年間の蒸気の発生と利用を示している。この年に焼却されたごみの量は約170,000トンであり、蒸気発生量は540×10<sup>3</sup>トンである。内、約60%は発電に、29%は炉の補機に6%は余熱利用設備(温水プール等)に4%は空調設備に使われた。汚泥の処理は1985年10月から始まったので、統計上からは少量の蒸気利用となっているが、汚泥処理量の増加に

伴って増大する。実際、1985年の流入下水量は平均33,772m<sup>3</sup>/日であったが、1988年には43,196m<sup>3</sup>/日に増加し、電力消費量、蒸気使用量等の数値は表4に示すように変化している。

参 考 文 献

- 1) 酒井伸一, 平岡正勝, 武田信生; 松内孝夫; 汚泥処理システムのエネルギー最適化に関する研究, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp.207-216 (1987)
- 2) 武田信生; 汚泥・都市ごみの混焼による省エネルギー, 汚泥研究年報1981, pp.142-150, 理工新社 (1980)
- 3) T.Kobayashi; Full-Scale Co-Combustion System of Municipal Waste with Sewage Sludge, 日米下水道委員会報告
- 4) 広瀬勇一郎, 青山康男, 野口國夫, 田宮敬三; 下水汚泥と都市ごみの混焼システムについて, 京都大学環境衛生工学研究会第9回シンポジウム講演論文集, pp.350-355 (1987)