

汚泥用流動焼却システム

Fluidized Incineration System for Sewage Sludge

岸上邦男* Kunio Kishigami

近年、下水道施設の整備拡充に伴い、下水汚泥の発生量はますます増加の一途をたどり、多量の汚泥の処理・処分に関する問題の解決は、各自治体の最も重要な急務の一つとされている。汚泥の処理・処分の実施に当たり、二次環境汚染発生防止はもとより、最近の厳しい油燃料環境から、この種プラントの省エネルギー化に関する要求は極めて強いものがある。

このような背景をもとに、本稿では微粉炭を利用した下水汚泥の脱水と焼却、焼却に際しての二次環境汚染防止、既存脱水法の微粉炭脱水への切換え、及び熱量過剰形の都市ごみと熱量不足形の下水脱水ケーキの混合流動焼却について述べる。

基礎実験の結果、微粉炭は脱水助剤、助燃剤として有効であり、またNO_x及びCr⁶⁺化合物の生成抑制効果も認められた。下水汚泥焼却に対し、都市ごみの破砕物は油に替わる有効な補助燃料であることも合わせて確認された。

1 緒言

下水汚泥に代表される有機性汚泥の処理の基本は、減容化、安定化及び無害化である。このような目的を比較的容易に満足できる処理方法の一つに、汚泥の脱水、焼却処理が挙げられる。

しかし、汚泥の焼却処理には多量の補助燃料を必要とし、また焼却過程で発生する排ガス中のNO_x(窒素酸化物)、SO_x(硫黄酸化物)、粉塵、臭気などの除去、焼却灰からのCr⁶⁺(6価クロム)化合物溶出防止といった難しい問題をひかえている。

本稿では、汚泥の焼却処理を前提とした場合の脱水工程として微粉炭と高分子凝集剤を利用するプロセスについて述べ、またこの微粉炭によるNO_xあるいはCr⁶⁺化合物の発生抑制効果などについても述べる。更に、下水汚泥と同じく生活環境から排出され、各地方自治体で処理・処分される都市ごみは、熱量過剰形の廃棄物であり、これと熱量不足形の汚泥脱水ケーキとを混焼処理することは省エネルギーの立場から極めて望ましい処理方式である。

パイロットプラントによる下水汚泥と都市ごみの混合流動焼却実験結果についても触れた。

2 汚泥処理の背景と問題点

2.1 背景

従来、一般的に行なわれてきた下水汚泥の処理法は、汚泥を濃縮、消化し、凝集剤を加えて脱水し、脱水ケーキにしてから処分する方法である。脱水ケーキは一部乾燥されてから、緑農地への還元利用も図られたが、大部分は埋立処分されてきた。

しかし、埋立処分には悪臭の発生、浸出水による地下水などの汚染、あるいは市街化の進行に伴う処分地の遠隔化といった点から、様々な問題が生じてきた。

汚泥の焼却処理は、汚泥中の有機分を燃焼分解して、大気へ還元し、無機分を焼却灰として回収し、処分する方法であり、埋立処理に代わり多くの都市で採用されるようになった。

しかし、焼却処理には多量の補助エネルギーの消費あるいは二次的な環境汚染など、多くの問題がある。

2.2 脱水処理

汚泥の脱水には、後続する焼却過程も含めて考えると、次に述べるようなことが要求される。

- (1) 含水率が低いこと。少しでも脱水ケーキの燃料的価値が高いこと。
- (2) 脱水装置の性能、価格、運転の容易性についてバランスが取れていること。
- (3) 焼却時に有害ガスが発生しないこと。
- (4) 焼却灰量を少なくするような凝集剤が望ましいこと。
- (5) 焼却灰からの重金属溶出、特にCr⁶⁺発生を避ける凝集剤を使用すること。

汚泥の機械脱水については、従来から消石灰、塩化第二鉄など無機性凝集剤を用いる真空濾過機、加圧濾過機が利用されてきたが、最近になって高分子凝集剤を用いる脱水方法にも著しい進歩がみられる。

2.3 焼却処理

汚泥の焼却処理を行なう上で、特に留意しなければならない条件を列挙すれば、次のようになるであろう。

- (1) 一般に下水汚泥脱水ケーキは含水率が65~80%と高く、発熱量も低い上、粘着性が強いいため、燃焼性が極めて悪い。したがって、ケーキの解砕を行ないながら、迅速に乾燥し燃焼に至らせる炉形式が望まれる。
- (2) ケーキを低温で乾燥させると腐敗性有機物が分解し、強い悪臭を伴う未燃ガスが発生する。このためガスをいったん750℃以上に加熱して、臭気を分解する必要がある。ガス加熱には多量の補助燃料を要するが、最近の油燃料環境からみて、省エネルギー対策の確立あるいは安価な代替補助燃料の開拓は重要課題の一つである。
- (3) ケーキの可燃性有機物中には硫黄、窒素などがかなりの量で含有され、これらは燃焼時酸化されて、SO_x、NO_xに変化し二次環境汚染源となる。特に汚泥焼却時に発生する窒素酸化物はFuel NO_x(燃料起源窒素酸化物)であり、800~900℃という比較的低温燃焼でも、ケーキ中の窒素含有量に応じてNO_xも生成されることに注目したい。

* バブコック日立株式会社横浜工場

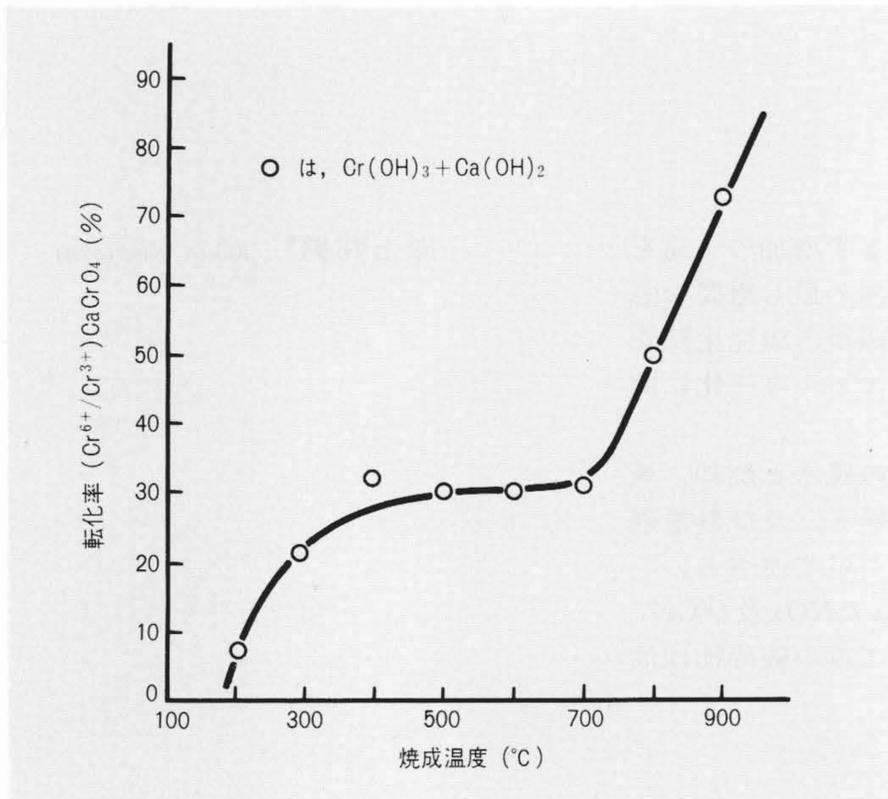


図1 CaCrO₄生成量と温度の関係 流動層は通常800°C程度で運転されるから、温度制御でCr⁶⁺(6価クロム)の生成を避けることは不可能である。

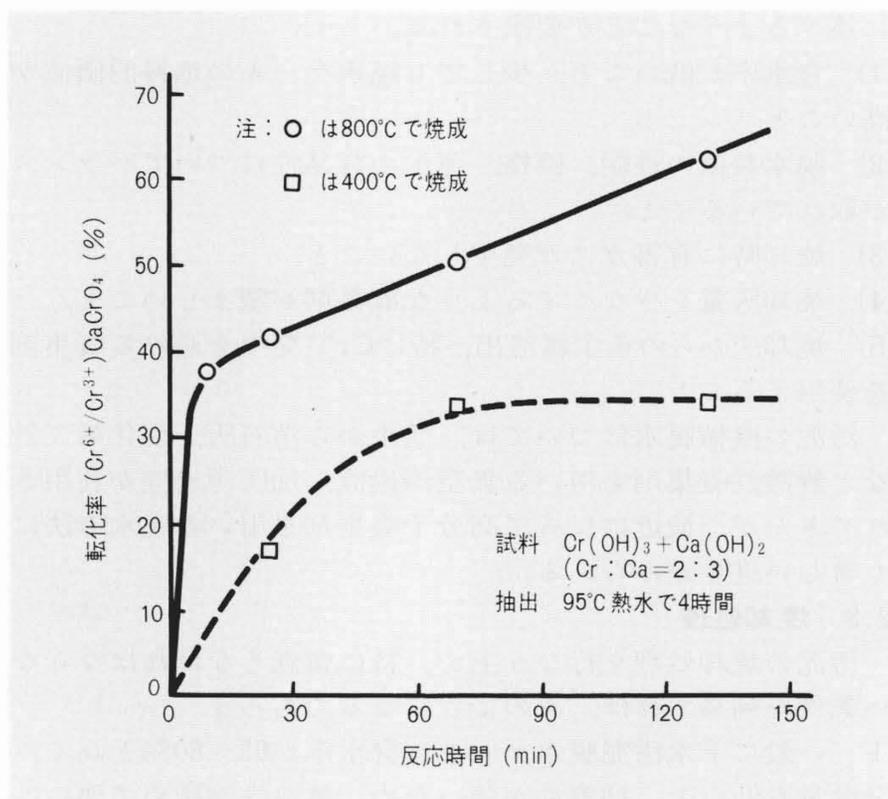


図2 CaCrO₄生成量と時間の関係 流動層炉は、投入された脱水ケーキが燃焼して炉外へ排出されるまでに数分しか必要とせず、ほか形式炉の10程度の滞留時間である。Cr⁶⁺転化率低減からも有利である。

(4) 焼却処理に係る新しい問題として、焼却灰からの重金属化合物、特にCr⁶⁺溶出がある。下水中には通常Cr³⁺(3価クロム)の形で存在するが、焼却時の高温酸化雰囲気及びカルシウムのようなアルカリ系金属の存在がCr⁶⁺への酸化に関与する。またこのような雰囲気下の滞留時間も関係する。柏原の基礎研究の一部を図1, 2に示した¹⁾。

3 微粉炭を利用した汚泥処理

下水汚泥の焼却処理について、微粉炭の応用は三つのケースが考えられる。一つは汚泥脱水工程から用いる方法で、凝集剤として高分子凝集剤か塩化第二鉄、汙過助剤として微粉炭を添加し脱水・焼却する方法である。次に現在発生してい

る脱水ケーキに微粉炭を機械的に混練してから焼却する方法である。最後に、既設の脱水設備で消石灰、塩化第二鉄の代わりに微粉炭と高分子凝集剤を添加する方法に変換することである。

3.1 微粉炭の多目的利用

(1) 燃料として利用

脱水工程あるいは混練工程で添加された微粉炭は、従来から用いられてきた油燃料に代わる補助燃料として作用し、ケーキに自燃性をもたせることも可能である。自燃性をもったケーキは、流動層内で熾(おき)燃焼するので燃焼効率も良く、低酸素燃焼制御も行ないやすくなる。

(2) 還元剤として利用

微粉炭を添加した場合のNO_x還元反応を、単純化して示すと次式のようなになる。

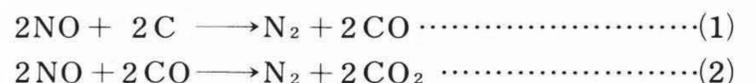


図3に、焼却炉出口での排ガス中の酸素濃度とNO_x濃度の関係についてまとめた。

焼却灰中の重金属として特に問題となるのはクロムであるが、3価から6価への酸化を単純化して示すと次式に示すようになる。



表1に、汚泥の種類や脱水方法を変えて、微粉炭添加によるCr⁶⁺生成抑制効果について検討した結果を示した。いずれにしても溶出規制値1.5mg/lから比較して、極めて低い値である。

また埋立後の安全を確認するため、溶出液のpHを変化させた場合の重金属の溶出を調べた結果を図4に示す。酸性域では若干の溶出量の増加がみられたが、規制値内であり特に問題はないと考えられる。

(3) 脱水助剤として利用

従来から、消石灰や塩化第二鉄などの無機凝集剤を用いてきたが、(a) 不燃分の割合が増えるので、焼却灰量が増加し、脱水ケーキの発熱量が低下すること、(b) 消石灰中のCaが焼却時にCr⁶⁺生成に寄与することなどの欠点があった。微粉炭の添加量は石灰と同等かやや多い程度であり、石炭中の灰分は15%程度であるから、焼却灰量は半減するという利点大きい。

3.2 微粉炭による脱水・焼却

焼却を前提とした脱水方法として、フィルタプレスに高分子凝集剤、脱水助剤として微粉炭を添加する方法を採用した。図5に高分子凝集剤の添加率、微粉炭添加率、脱水ケーキの含水率の関係について一例を示した。高分子凝集剤及び微粉炭の添加率は、汚泥固形分中のVTS(可燃分)が高くなるほど

表1 焼却灰からのCr⁶⁺溶出量 消石灰で脱水したケーキ(番号2)はCr⁶⁺が生成されやすい。

番号	汚泥種類	脱水機種類	脱水助剤	Cr(VI)溶出量 (mg/l)
1	A市濃縮	フィルタプレス	高分子凝集剤+微粉炭 ¹⁾	0.02以下 ²⁾
2	A市濃縮	フィルタプレス	消石灰+塩化第二鉄	0.02以下~0.19
3	A市消化	ベルトフィルタ	消石灰+塩化第二鉄	0.02以下
4	A市消化	遠心脱水機	高分子凝集剤	0.02以下
5	B市濃縮	ベルトプレス	高分子凝集剤	0.02以下

注:(1) 番号1では、脱水時に微粉炭添加、他は脱水ケーキに微粉炭混練
(2) 0.02mg/lは定量限界

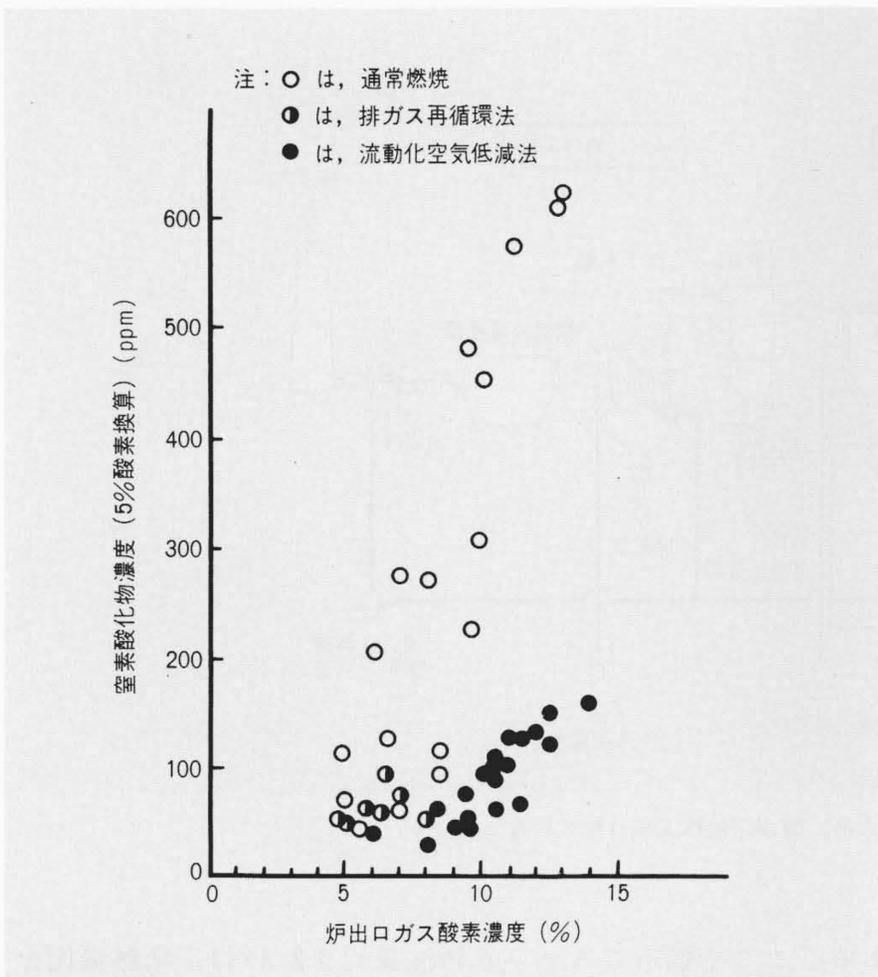


図3 燃焼方法によるNOx発生量の相違 低O₂燃焼させることにより、NOxを低くすることが可能である。

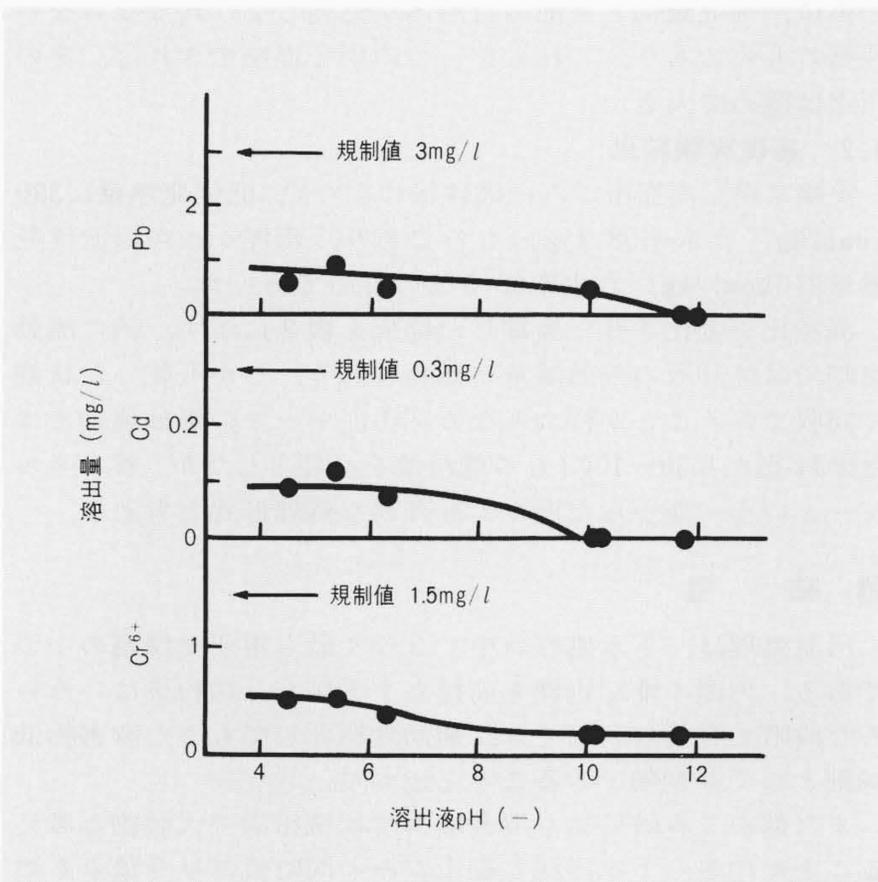


図4 溶出液pHと重金属溶出量の関係 焼却灰の埋立地で、遠い将来、酸性の降雨などの影響について調査したものである。

増加する傾向が見られる。

常温の燃焼空気を用いて、流動層炉で自燃させるに必要な脱水ケーキ低位発熱量は約900kcal/kgである。図5にこの自燃限界との関係も示してある。

3.3 微粉炭混練焼却

微粉炭の混練焼却は、無機凝集剤を主として用いる既設の脱水装置からのケーキに、乾いた粉炭を機械的に混練し、自

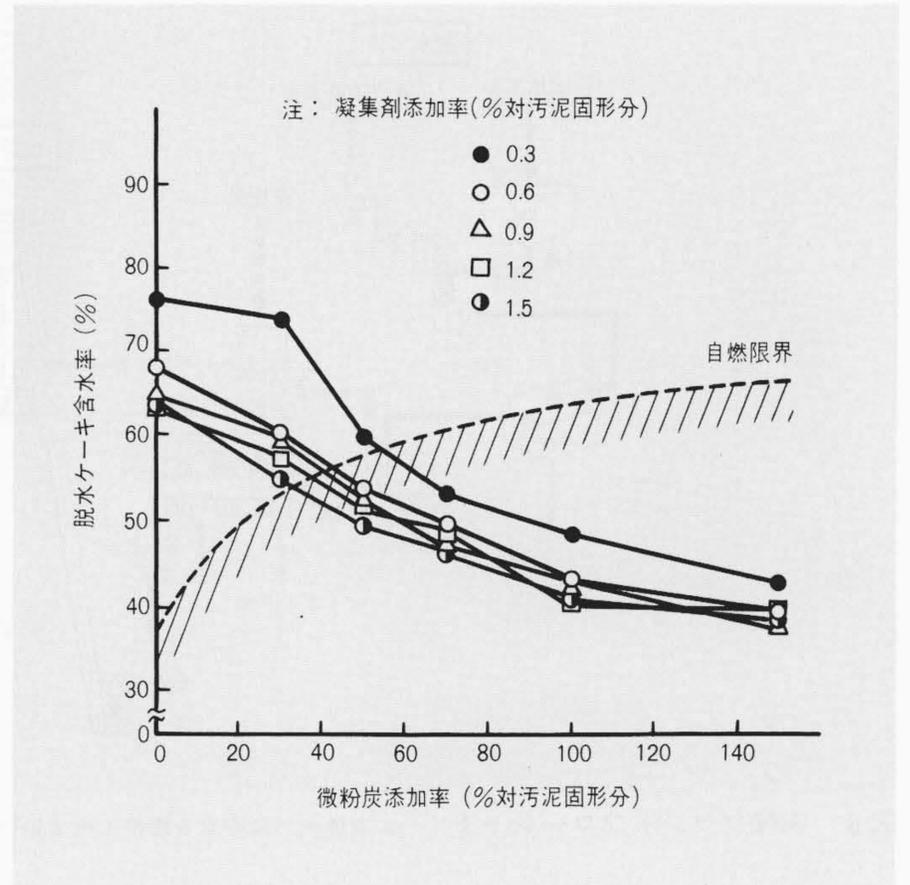


図5 濃縮汚泥の脱水 自燃限界を示す点線から下の添加率が望ましい。

燃するまで熱的価値を高めてから流動焼却する。この方法は、本来燃焼性の全くなかった脱水ケーキを、微粉炭という代表的な燃料の混練により自燃する姿にして、焼却炉へ供給するわけであるから、技術的には最も無理のない方法と言える。

脱水・焼却、混練・焼却とも一連の実験は、図6に示す系統のプラントで行なった。流動層炉の焼却能力は10t/dであり、自燃ケーキに対する最適火床負荷は450~550kg/m²・hであった。以上の実験は、横浜市下水道局との共同研究で行なった²⁾。

3.4 微粉炭脱水法への改造

最近の油燃料環境の悪化、CaとCr⁶⁺の関係、焼却灰量低減志向といった面から、既存の脱水装置で使用されてきた消石灰と塩化第二鉄を微粉炭と高分子に変換して脱水し、自燃ケーキを得ようとする要求もある。現有の装置の改造をほとんど行なうことなく、添加剤を変換することによって微粉炭脱水を行なうものである。実験を行なった二例の結果の概要について次に述べる。

(1) O市実機テスト

実験に供した脱水機は真空圧500mmHg、汙過面積33m²の真空脱水機である。

高分子凝集剤添加率については、TS(汚泥固形分)当たり0.3%程度が適量で、微粉炭添加率はTS当たり40%で消石灰添加時と同等のケーキ厚が得られた。含水率は77%で、はく離性も極めて良好であった。また、微粉炭添加率70%程度で自燃性ケーキが得られたが、そのときの含水率は約70%であった。実験を通じてケーキ厚さは6~7mmであった。

ちなみに消石灰の場合は、消石灰添加率60%、塩化第二鉄添加率7%であり、ケーキ含水率は77%である。

(2) H市実機テスト

実験に用いた脱水機は前述のO市のものと同じ仕様である。この実験では、塩化第二鉄と微粉炭という組合せで行なった。

塩化第二鉄添加率は消石灰のときと同じく10%とし、微粉炭添加量は30~80%まで変化させた。ケーキはく離性は微粉炭添加率30%以上であれば良好であった。ケーキ含水率は微

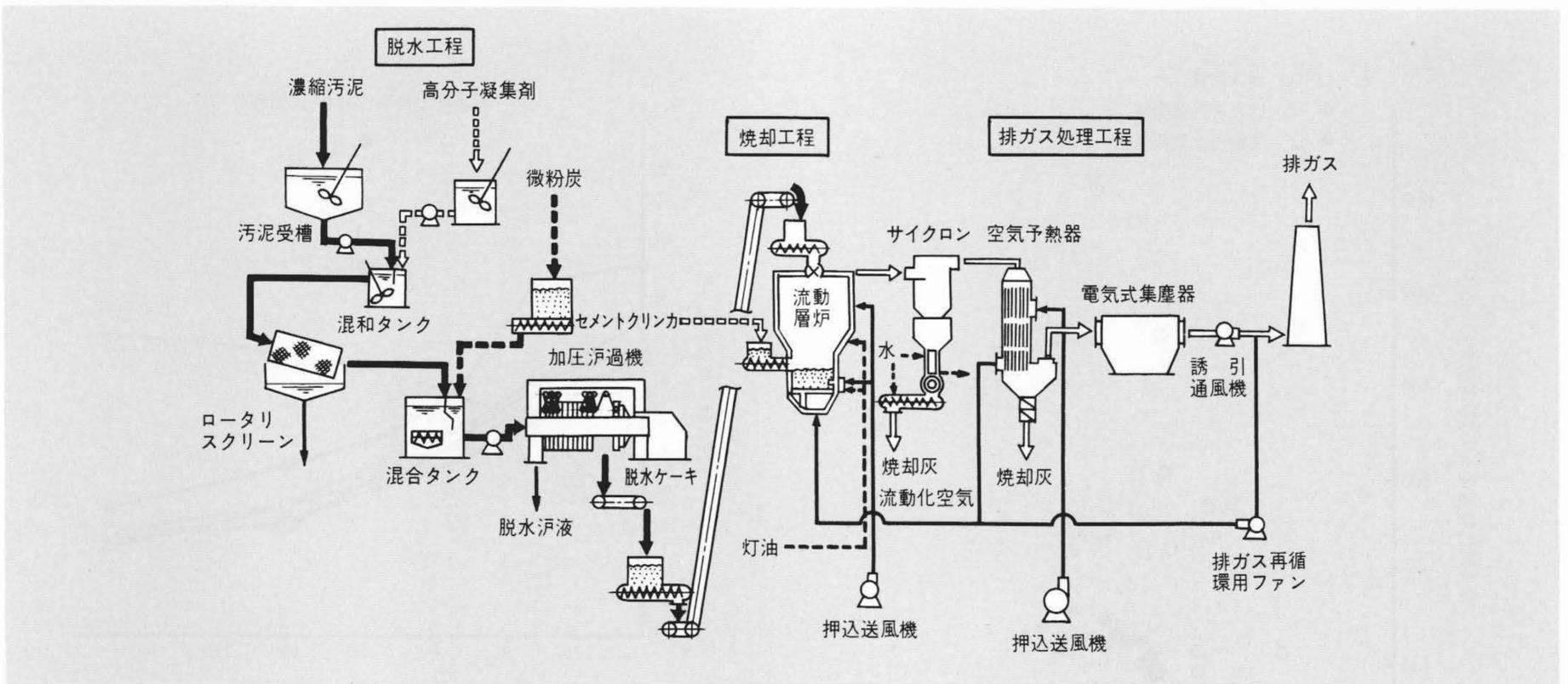


図6 実験プラントフローシート 二次環境汚染要素を燃焼工程で処理するため、排ガス処理工程は乾式になっている。

粉炭30%で66%，50%で65%，70%で64%であったが、自燃のためには微粉炭添加率は約50%が必要であった。ただし、このテストの場合は凝集汚泥、汚液ともにpHが5～6まで低下するので、腐食に対する注意が必要である。

4 都市ごみと汚泥の混合焼却

4.1 混合処理の利点

両廃棄物を発生量的にみると、都市ごみは1人1日当たりで800～1,100g，下水脱水ケーキで300～400gといわれている。汚泥に対してごみは、2～3倍量排出される³⁾。

発熱量からみると、都市ごみは1,000～2,000kcal/kg，脱水ケーキは100～400kcal/kgの低位発熱量をもつ。換言すれば都市ごみは熱量過剰形，下水汚泥は熱量不足形の廃棄物で

ある。ここで都市ごみと下水汚泥量比を2.5対1，発熱量比を1,500kcal/kg対300kcal/kgとして混合平均すると、混合物の低位発熱量は1,160kcal/kgとなり、高い燃料価値をもつ。ちなみに流動層炉は、一般に900kcal/kg以上の低位発熱量であれば良好な自燃焼却を維持することができる。

更に、両廃棄物とも地方自治体が処理しなければならない性格のものであり、これらを一つの炉で混焼できれば、その利点は極めて大きい。

4.2 基礎実験結果

実験に供した都市ごみは破碎後のもので、低位発熱量1,390kcal/kg，含水率58.1%のものであり、汚泥ケーキは低位発熱量210kcal/kg，含水率60.5%のものであった。

混練比を変化させて焼却した結果を表2に示す。特に流動焼却では焼却灰の強熱減量が極めて低く、しかも乾いた状態で回収できることが特徴となる。汚泥ケーキの単独焼却では従来1t当たり50～100lもの燃料油を必要としたが、省エネルギーという一面からだけみても有利な処理形式と考える。

表2 都市ごみ，下水汚泥の混焼結果 ごみ単独焼却の場合は、汚泥中の凝集剤Ca(OH)₂がないためSO_x濃度が高い。

項目	単位	1:1	2:1	3:1	ごみ単独
焼却量	kg/h	130	140	140	160
火床負荷	kg/m ² h	460	495	495	565
油助燃量	l/h	4	0	0	0
流動空気量	N・m ³ /h	250	250	250	250
二次空気量	N・m ³ /h	150	150	200	300
流動層温度	°C	770	790	750	700
空塔部温度	°C	770	800	850	860
炉出口温度	°C	760	790	850	860
流動下部風圧	mmAq	650	650	660	660
炉内風圧	mmAq	-20	-20	-20	-20
排ガス分析O ₂	%	7	8	5	5
CO	ppm	50	25	50	95
NO _x	ppm	100	80	30	80
SO _x	ppm	20	20	30	150
HCl	ppm	2.0	4.3	22	36
灰強熱減量	%	0.31	1.07	0.45	1.47
Cr ⁶⁺ 溶出	ppm	0.02以下	0.02以下	0.02以下	0.02以下

注：O₂濃度は流動層上部の分析値である。

5 結 言

汚泥処理は、下水処理の中でも今や最も重要な課題の一つである。汚泥の焼却処理を前提とする場合、微粉炭はいろいろな段階で有効に利用でき、補助燃料としてもまた有害物低減剤としても有効であることを述べた。

また都市ごみ破碎物も混合焼却では微粉炭の代替物と考えることができ、下水汚泥と都市ごみの同時焼却は今後とも更に研究されなければならない課題と考える。現在混合焼却については科学技術庁から研究補助金を得て、基礎実験を推進中である。

参考文献

- 1) 柏原：クロムを含む廃水およびスラッジ処理に関する研究，学位論文（1975）
- 2) 佐藤：微粉炭を利用した下水汚泥の脱水および流動焼却実験，下水道協会誌，Vol. 16, No. 177（1979-2）
- 3) 平岡，外：都市ごみと下水汚泥の混合流動焼却，都市と廃棄物，Vol. 9, No. 3（1979-3）