

汚泥処理設備

Sludge Treatment Equipment

水資源確保の面より、上水道設備の広域化及び下水道の整備、並びにこれらシステムの変遷に伴い、新たな問題の一つとして提起された汚泥処理について、その代表的システムの一つである濃縮、脱水、乾燥及び焼却といった一連のシステムを取り上げ、それらの構成機器の中で濃縮設備として「日立ラメラシックナ」、脱水機「日立ラインフィルタ」、乾燥設備、及び焼却設備に関する日立グループのもつ汚泥処理技術の特長と内容について紹介するとともに、これら設備の運転結果の解析及び説明を行なうものである。

伊藤 隆* *Itô Takashi*
 高田正紹** *Takada Masatsugu*
 中山泰一*** *Nakayama Taiichi*
 伊藤誠一**** *Itô Seiichi*
 岸上邦男***** *Kishigami Kunio*

1 緒 言

近年、水の使用量の増大に伴い、水資源の確保が急務とされるに至った。それに付随して新たな問題が発生してきたが、なかでも汚泥処理の分野にあっては、発生する膨大な汚泥の処理が問題となってきた。特に最近、急速な市街地化と、法規制の強化に伴い、その最終処分の方法、手段などをめぐる環境問題が生じているが、本稿では汚泥処理システムの各種方式のうち、濃縮、脱水、乾燥、あるいは焼却方式につい

て取り上げ、それぞれ、それら各単位装置に基づく特徴のある機器について述べる。

2 汚泥処理システム

汚泥処理システムは、(1)濃縮と(2)処分とに大別され、処分工程には、脱水工程、乾燥工程、焼却工程などがある。図1に汚泥処理システムの標準フローシートを示す。

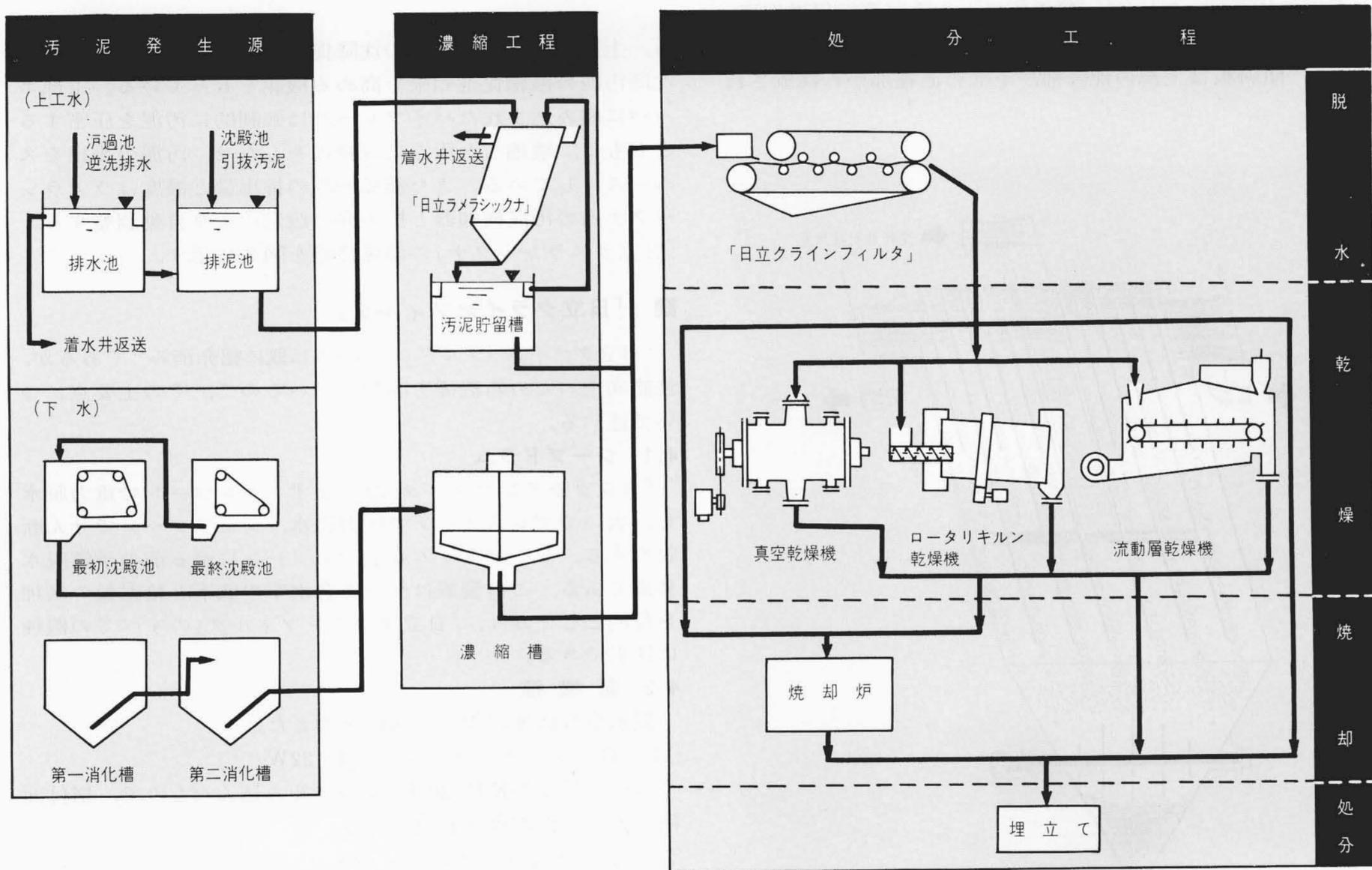


図1 汚泥処理システムの標準フローシート 処分工程の負荷低減のため、汚泥は濃縮工程を経て脱水され、あるいは更に乾燥、焼却されて処分される。

* 日立製作所機電事業本部 環境技術本部 ** 日立プラント建設株式会社 *** 日立金属株式会社熊谷機装工場
 **** 日立化成工業株式会社結城工場 ***** バブコック日立株式会社横浜工場

上水汚泥処理システムでは、浄水処理プロセスに従って集泥した沈殿池汚泥、及び急速汚過池汚泥は、脱水設備以降の設備規模をできるだけ小さくするための濃縮設備として「日立ラメラシクナ」がある。一般に濃縮後の汚泥は有機物の含有量が少ないため、脱水処理し埋立処分を行なっている。この脱水設備として「日立ラインフィルタ」が適用できる。しかし、最近に至り埋立地の減少、法規制の強化に伴って、乾燥又は焼却処理し処分をする方法も採られ始めた。この乾燥設備又は焼却設備は、後述のとおり幾つかの処理方式、設備があり、目的、処理物及び運転条件などを考慮して最適なシステムを選定する必要がある。

下水汚泥処理システムでは、濃縮工程として重力沈降濃縮法及び浮上濃縮法がある。また有機質を多量に含有するため濃縮工程に加え、発生汚泥の安定化、減量化を目的として消化工程を採用する場合があるが、近年の立地条件の悪化に伴って、その採用が減少する傾向にあり、その代わりとして焼却設備の採用が多くなってきている。しかし、消化後脱水してそのまま埋立処分を行なっている下水処理場が多いのが現状で、いずれにしても汚泥の含水率を低下させることが重要な点であるから、脱水工程のニーズはなお多くなってきていると言える。

次に濃縮工程及び処分工程での各種設備の概要、運転結果などについて紹介する。

3 「日立ラメラシクナ」

「日立ラメラシクナ」は、傾斜板による汚泥濃縮促進作用、振動による汚泥圧密作用を応用したもので、**図2**にその原理を示す。傾斜板は上部の沈降部、下部の濃縮部から構成され

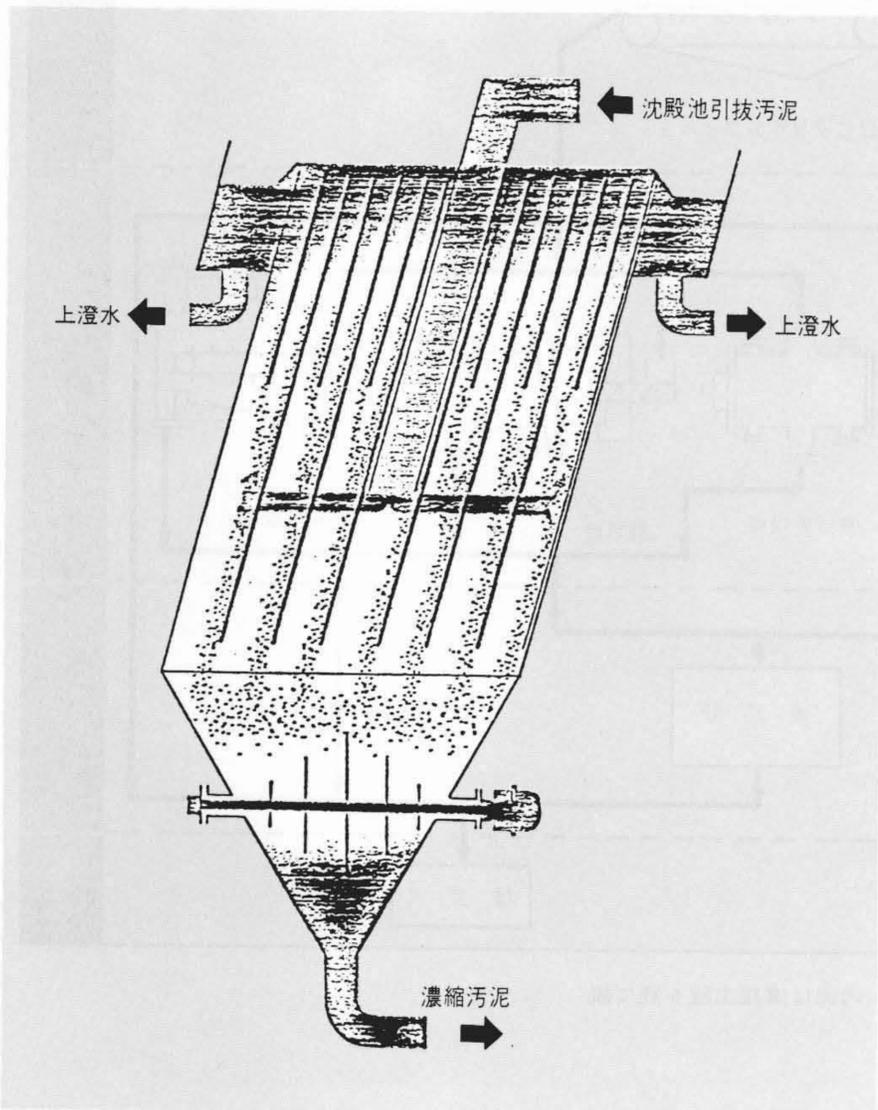


図2 「日立ラメラシクナ」原理図 汚泥は傾斜板により沈降、濃縮を促進され、パイプレータにより圧密され排出される。

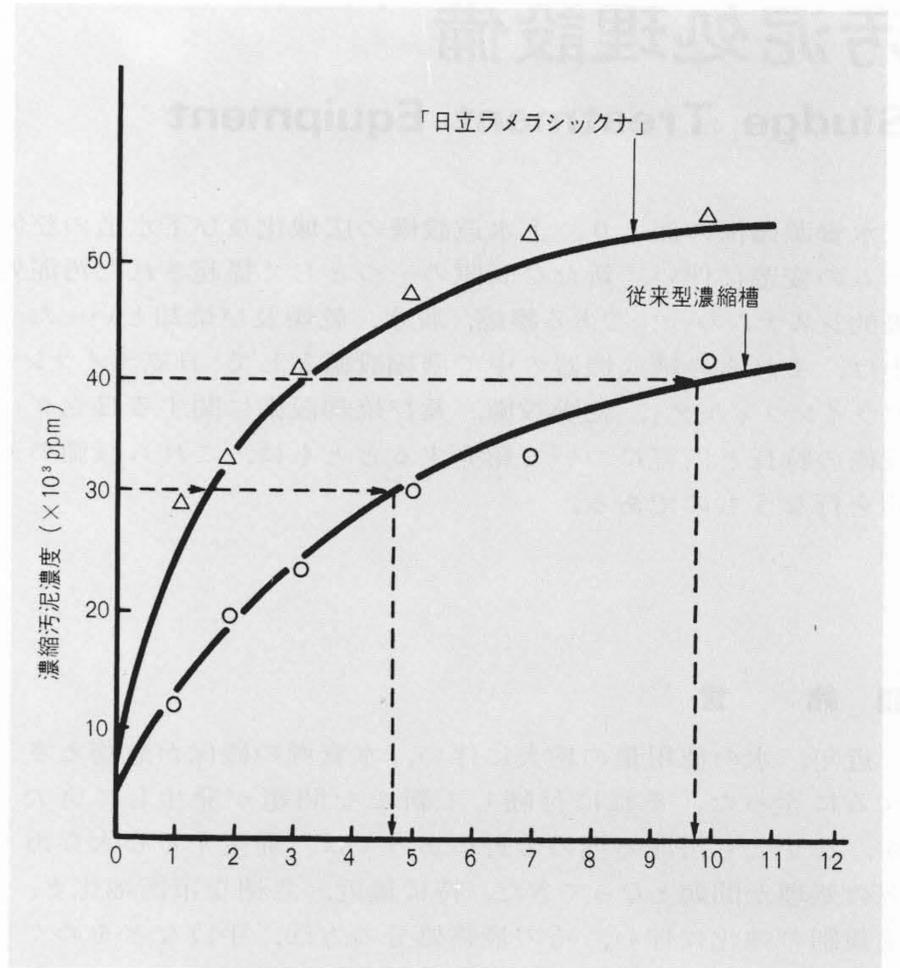


図3 従来型濃縮槽と「日立ラメラシクナ」との比較 K浄水場 (日立プラント建設株式会社納入)での実験値を示す。

る。上部の傾斜板は汚泥の沈降促進機能を、下部の傾斜板は沈降汚泥の濃縮促進効果を高める機能をもっている。下部ホッパに組み込まれたパイプレータは強制的に汚泥を圧密するとともに、濃縮した汚泥に流動性をもたせ、汚泥の排出をスムーズにしている。また濃縮汚泥の排出量と濃度はラメラシクナ内の汚泥検知器と排出弁の設定により自動調整する。「日立ラメラシクナ」の濃縮性能を**図3**に示す。

4 「日立ラインフィルタ」

「日立ラインフィルタ」については既に紹介済み¹⁾であるが、性能向上のため新機種を開発しているため、その主要点について述べる。

4.1 シーブドラム

「日立ラインフィルタ」は、まずドレンゾーンで重力脱水し、次いでプレスゾーンで圧力脱水、シェアゾーンでせん断脱水する。シードラムはドレンゾーンに至る前の予備脱水装置である。この装置はケーキ含水率の低下と給泥量の増加を目的としており、「日立ラインフィルタ」のすべての機種に採用できる。

4.2 新機種

従来型5機種に次の2機種を加えた。

(1) 「日立ラインフィルタKF-22W」

本機は従来型KF-20Wを2段に組み込んだもので、据付面積が限定された場合有効である。

(2) 「日立S型ラインフィルタ」

本機は上下2枚のフィルタベルトを各種径のプレスローラの中にS字状に掛けて脱水するものである。多量の汚泥処理が可能であり、低含水率が得られる。

以上のほか、「日立ラインフィルタ」のコンパクト化、操作の簡便性を利用して、移動式脱水車の製作も行なっている。

表1に「日立ラインフィルタ」の運転結果を示す。

表1 「日立クラインフィルタ」運転結果 標準機種KF-20Wの汙過面積は12.8m²、ベルト速度は0.6~6.6m/minである。

項目	納入先	A 浄水場	B 下水処理場	C 下水処理場
形式		KF-20W	KF-20W	KF-20W
台数		2	1	1
納入年月日		昭和50年3月	昭和51年4月	昭和52年3月
運転汚泥		上水汚泥	嫌気性消化汚泥	生汚泥
汚泥含水率(%)		93	93.2	95.3
給泥量(m ³ /h)		3	7.6	7.5
凝集剤		アコフロックA110	プレストール444K	プレストール444K
凝集剤濃度(%)		0.1	0.1	0.1
凝集剤注入率(%) (容積比)		14	10.2	4.7
凝集剤注入率(%) (固形物比)		0.14	0.15	0.1
ケーキ含水率(%)		61	69.8	65.2
汙過速度(kg/m ² ・h)		36.1	33.1	30

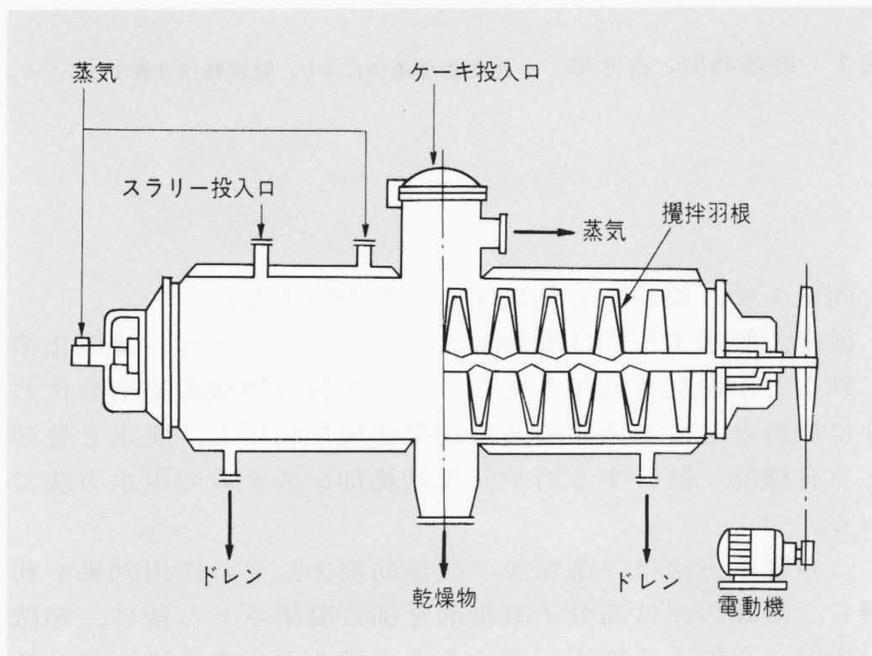


図4 真空乾燥機 汚泥は円筒伝熱面、シャフト及び攪拌羽根の伝熱面より加熱され、乾燥される。

5 真空乾燥機

5.1 概要

真空乾燥法は物質を減圧下におくと、沸点が低下し真空度に応じて低沸点で蒸発する原理を応用したものであり、低温で製品化するものの乾燥に適している。図4に真空乾燥機の構造を示す。内筒にスラリー又は脱水ケーキを満たし、内部を減圧して外筒と内筒との間に蒸気などの熱源を導き乾燥させるもので、その性能を左右する要素は加熱熱量、真空度、攪拌効果、伝熱面積などであるが、特に伝熱面積は処理物の乾燥機への充填率や乾燥工程での性状変化に影響を受ける。充填率は約50~60%が最適であり、常時この状態を保つような運転方法が望まれる。

5.2 処理工程

図5は処理工程の一例を示すもので、真空乾燥機、コンデンサ、真空発生装置としてのエジェクタ及び汚泥供給装置で構成されている。

スラリー、脱水ケーキなどは、ポンプ又はスクリーフフィーダにより乾燥機本体へ供給され、円筒伝熱面、シャフト及び攪拌羽根の伝熱面より加熱され含有水分を放出する。

発生した蒸気は、臭気や有毒物質などの二次汚染の可能性がある場合には、サーフェスコンデンサで、またその他の場合にはバロメトリックコンデンサで冷却、凝縮する。減圧装置としては水又は蒸気エジェクタを使用するが、コンデンサで完全に凝縮できなかった蒸気は、水エジェクタで凝縮する。冷却水はクーリングタワーで冷却し、循環使用する。

熱源は通常2kg/cm²G以下の蒸気を使用するが、熱水を使用することもできる。運転真空度は160~20mmHg、蒸発温度は20~50℃であり、低温のため汚泥中の蛋白質などの熱変性が少なく、また装置の寿命も長い。

5.3 乾燥特性

一般的に活性汚泥などの有機性活性汚泥は、粘度が高く限界含水率が高い。また攪拌により造粒を起こしやすく伝熱面との接触面積が変動するため、一定の蒸発速度が得られない。また脱水ケーキのように同一汚泥でも、使用した脱水助剤の性質により乾燥特性が若干左右される。したがって、機種を

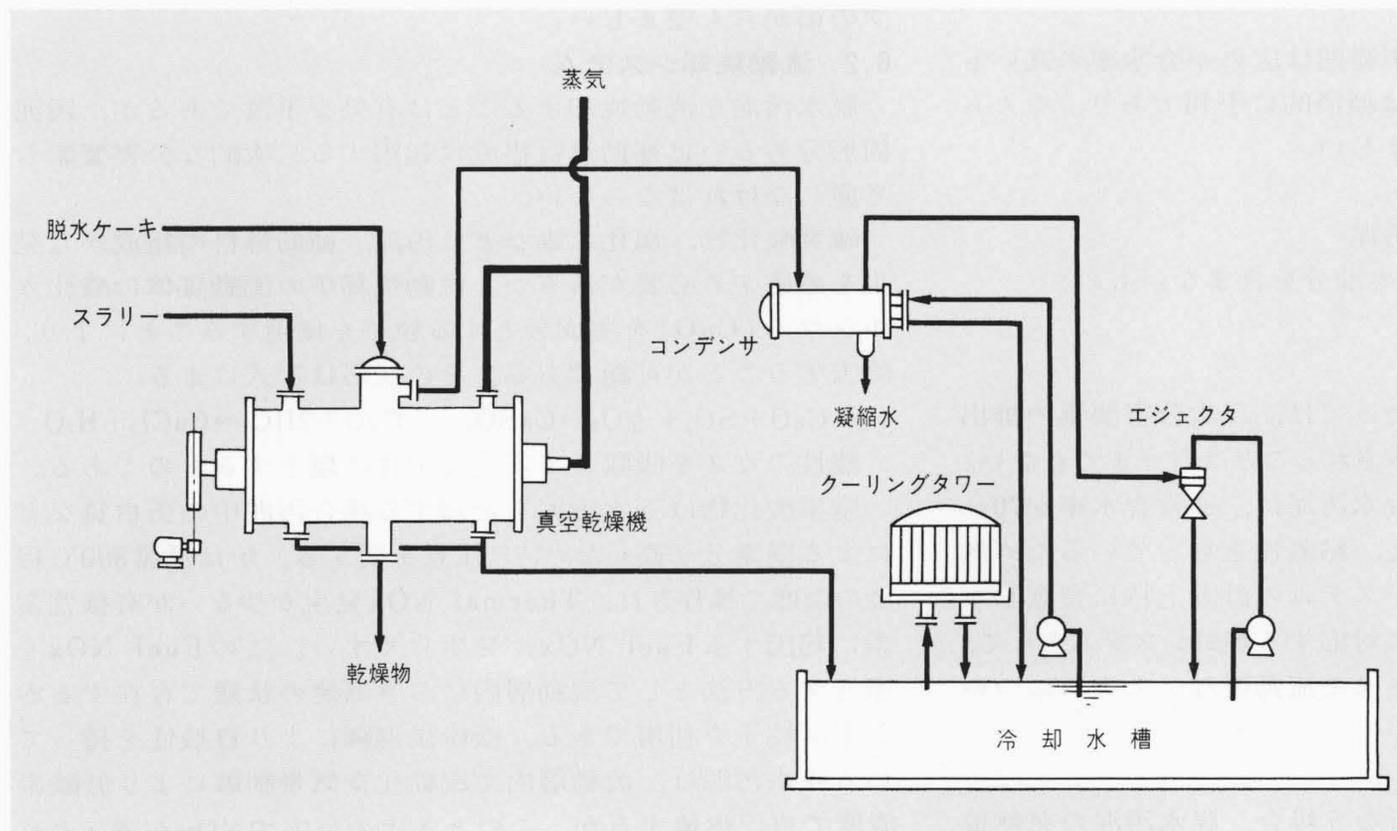


図5 汚泥乾燥フローシート 真空乾燥機で発生した蒸気は、コンデンサで冷却凝縮され、更にエジェクタで完全凝縮される。

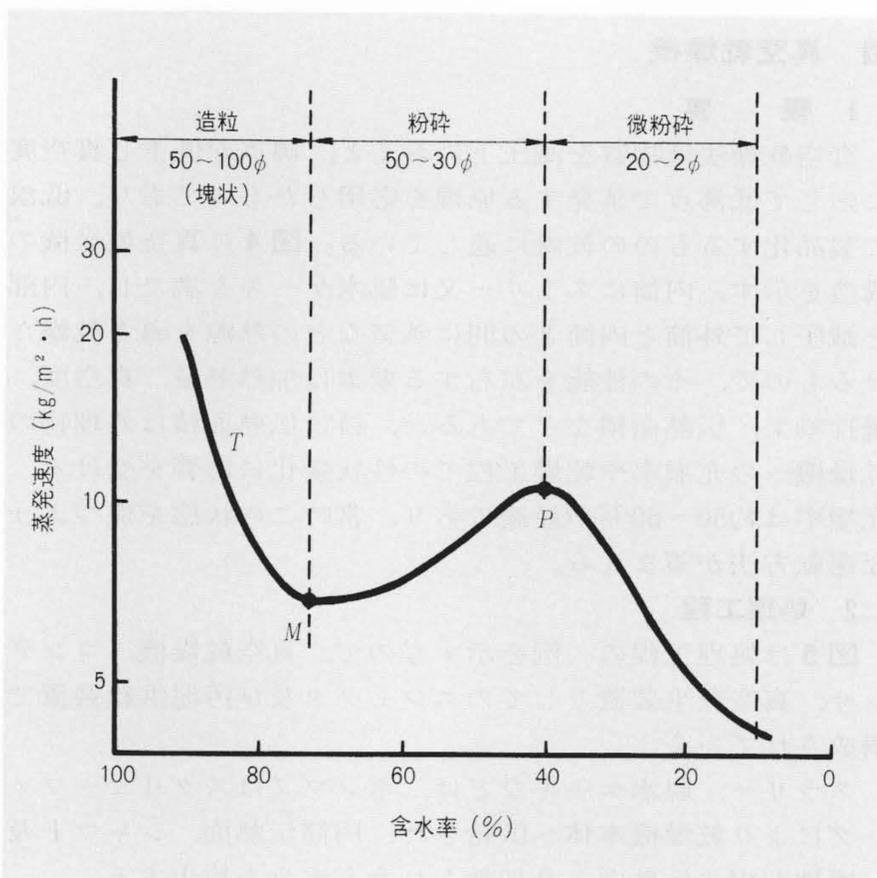


図6 活性汚泥の乾燥特性 造粒の最大となる点Mまでは造粒により蒸発速度は低下し、その後点Pまでは造粒されたものが粉碎されるため、一時的に蒸発速度が大きくなる。

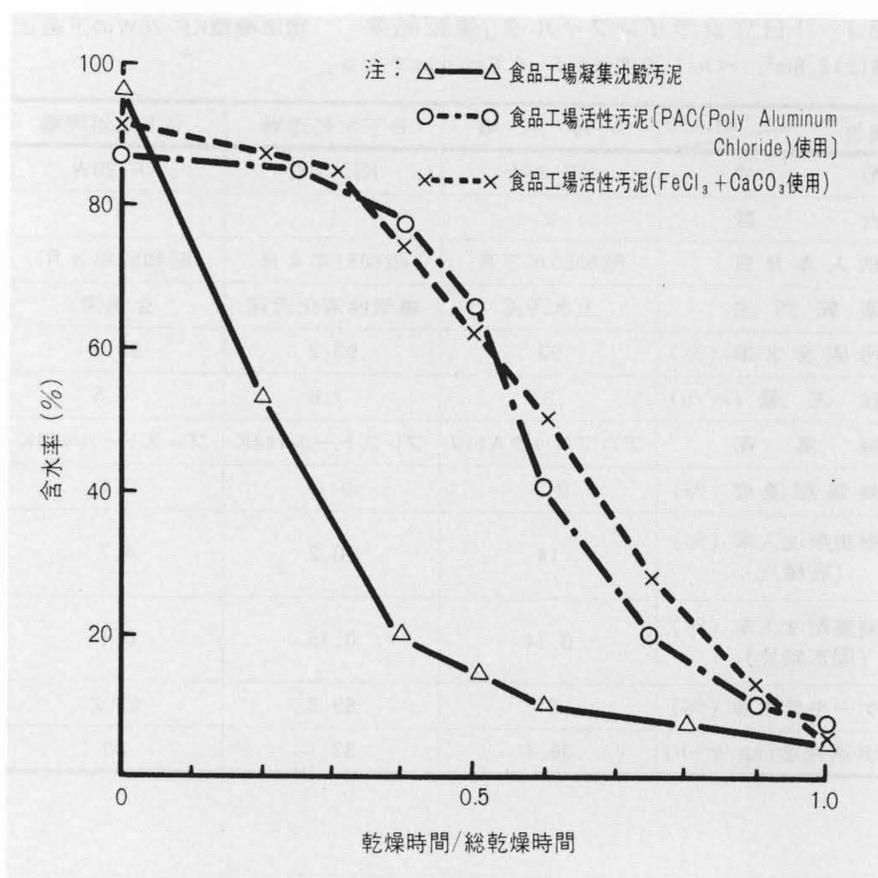


図7 乾燥時間と含水率 汚泥生成条件により、乾燥特性は異なってくる。

決定する際にはモデル実験を行ない、特性を正確に把握する必要がある。

図6に活性汚泥の乾燥特性の一例を示す。乾燥特性曲線Tは汚泥生成の諸条件、例えば排水の種類、処理方式、脱水助剤などにより異なってくる。点Mは造粒が最大になったとき蒸発速度が一時的に落ちることを示し、その後点Pまでは造粒されたものが粉碎され伝熱面との接触面積が増えるため蒸発速度が大きくなることを示している。図7に運転結果を示す。

5.4 特長

- (1) 単蒸発であり、装置が簡単で維持管理が容易である。
- (2) 低温乾燥のため、乾燥物の熱変性が少なく肥料化には最適である。
- (3) 廃蒸気、廃熱水の利用が可能である。

5.5 応用範囲

下記の三つの汚泥など、応用範囲は広いが含水率の高いもの(例えば99%以上)については経済的に不利であり、なんらかの予備濃縮を行なうのが望ましい。

- (1) 活性汚泥装置の余剰汚泥
- (2) 凝集沈殿装置からの引抜汚泥
- (3) 含油汚泥(ただし、低沸点の油分を含まないもの)

6 流動焼却システム

汚泥焼却処理を行なうに当たっては、二次公害要素の排出防止、維持管理の経済性が要求されることは言うまでもない。しかし、下水処理汚泥などの脱水汚泥は、通常含水率が70~85%であり、発熱量が低いうえ、粘着性をもっているため燃焼性が極めて悪く、汚泥焼却システムの計画上特に留意しなければならない。このニーズに対応する焼却システムとして、脱水と焼却とを有機的に結合させた流動焼却システムについて次に紹介する。

6.1 脱水システム

最終処分として焼却処理を行なう場合、脱水汚泥の発熱量

を向上させ、焼却を容易にすることが望ましい。

従来、脱水工程では凝集剤として消石灰、あるいは塩化第二鉄などが使用されてきた。この不燃性の無機凝集剤の代わりに燃料としても価値のある超微粉炭を利用し、脱水と焼却とを有機的に結合するのが、流動焼却システムの脱水方法である。

この脱水方法は、微粉炭の凝集助剤としての作用効果を利用し、濃縮汚泥に高分子凝集剤を加え凝集させた後に、超微粉炭粒子を加えて加圧濾過するものである。これにより、従来用いられた重油、灯油と熱量的に等価の微粉炭を添加混練し、脱水汚泥自己燃焼に必要な発熱量まで熱量を向上させ、焼却操作を非常に容易にすることができる。

脱水汚泥に自然性を持たせることは焼却炉のスケールアップの面からも望ましい。

6.2 流動焼却システム

脱水汚泥を流動焼却することは有効な手段であるが、汚泥固形分あるいは補助燃料組成に起因する二次的な公害要素も考慮しなければならない。

硫酸化物、塩化水素などは汚泥、補助燃料の組成から発生を考慮する必要があるが、流動焼却炉の流動媒体に酸化カルシウム(CaO)を主成分とする粒子を使用することにより、除去することが可能である。その反応は次式による。



酸性のガスを吸収して安定な中性の塩とするものである。

窒素酸化物は下水汚泥を焼却する場合汚泥中の蛋白質などによる窒素分が高いため特に注意を要する。炉は通常800°C程度の温度で操作され、Thermal NOx発生が少ないが有機性窒素に起因するFuel NOxが発生しやすい。このFuel NOxを還元する方法として流動層内におき燃焼の状態が存在する赤熱炭素粒子を利用できる。微粉炭混練により自然性を持っている脱水汚泥は、流動層内で流動化空気量制御により低酸素濃度で自己燃焼するが、このとき次の反応でNOxが還元され

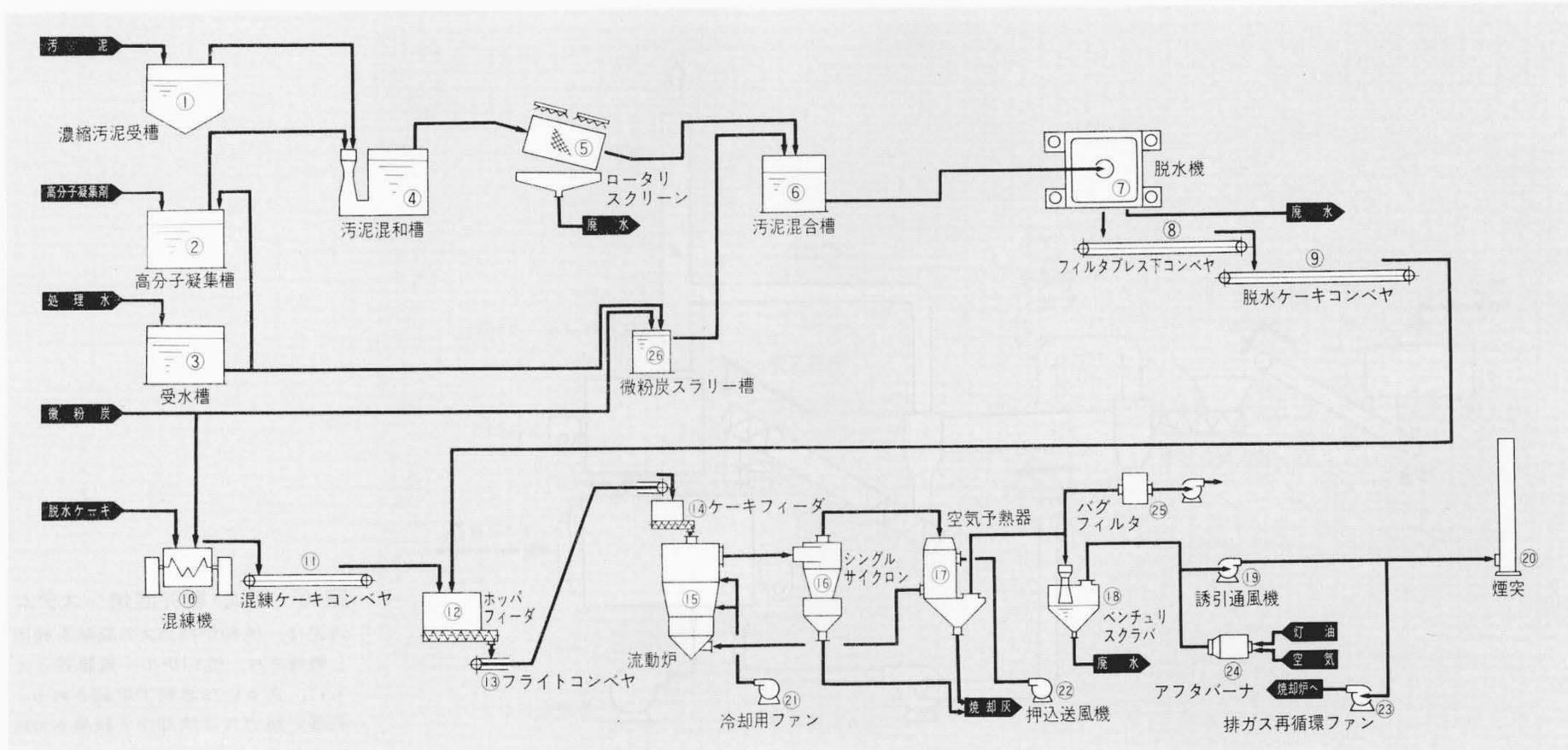
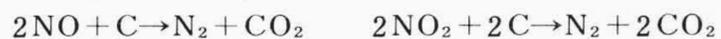


図8 流動焼却システムフローシート 濃縮汚泥は、微粉炭と高分子凝集剤とを混合したのち脱水され、自然性脱水ケーキとなり流動炉で焼却される。従来方式の低発熱量脱水ケーキは、微粉炭を混練し自然性脱水ケーキとして流動炉で焼却される。

るものと考えられる。



更に、ガス再循環によって還元率を高めることができる。

新しい問題として産業廃水に起因する灰の重金属溶出も考慮する必要がある。特に六価のクロムはカルシウムの存在によって生成されやすいといわれるが、クロム化合物の存在があっても六価に移行させないで、三価の化合物で取り出す方法の検討が必要である。流動焼却炉は焼却物の炉内滞留時間が非常に短いこと、及び微粉炭を共存させることによってクロム化合物の六価への移行を防止することが可能である。

以上のような特長を基礎に図8のフローシートに示すシステムについて横浜市港北下水処理場内にテストプラントを設置し、同市下水道局と共同開発研究を実施している。

7 「日立乾燥焼却システム」

流動焼却炉のほか汚泥焼却炉としては、従来立て形多段炉が使用されてきており、特に大容量、連続運転の場合にその特長を発揮してきたが、比較的小量の汚泥を発生する地方都市には必ずしも適していない。このような場合に多段炉の特長を生かしたシステムとして、図9に示すロータリキルン乾燥炉と回転攪拌式単段炉とを組み合わせた「日立乾燥焼却システム」がある。本システムの特長を次に述べる。

(1) 断続運転が可能

乾燥炉に耐火物がなく、焼却炉の煉瓦、キャストブルは断続運転に支障のない構造となっている。昇温時間は約1時間である。

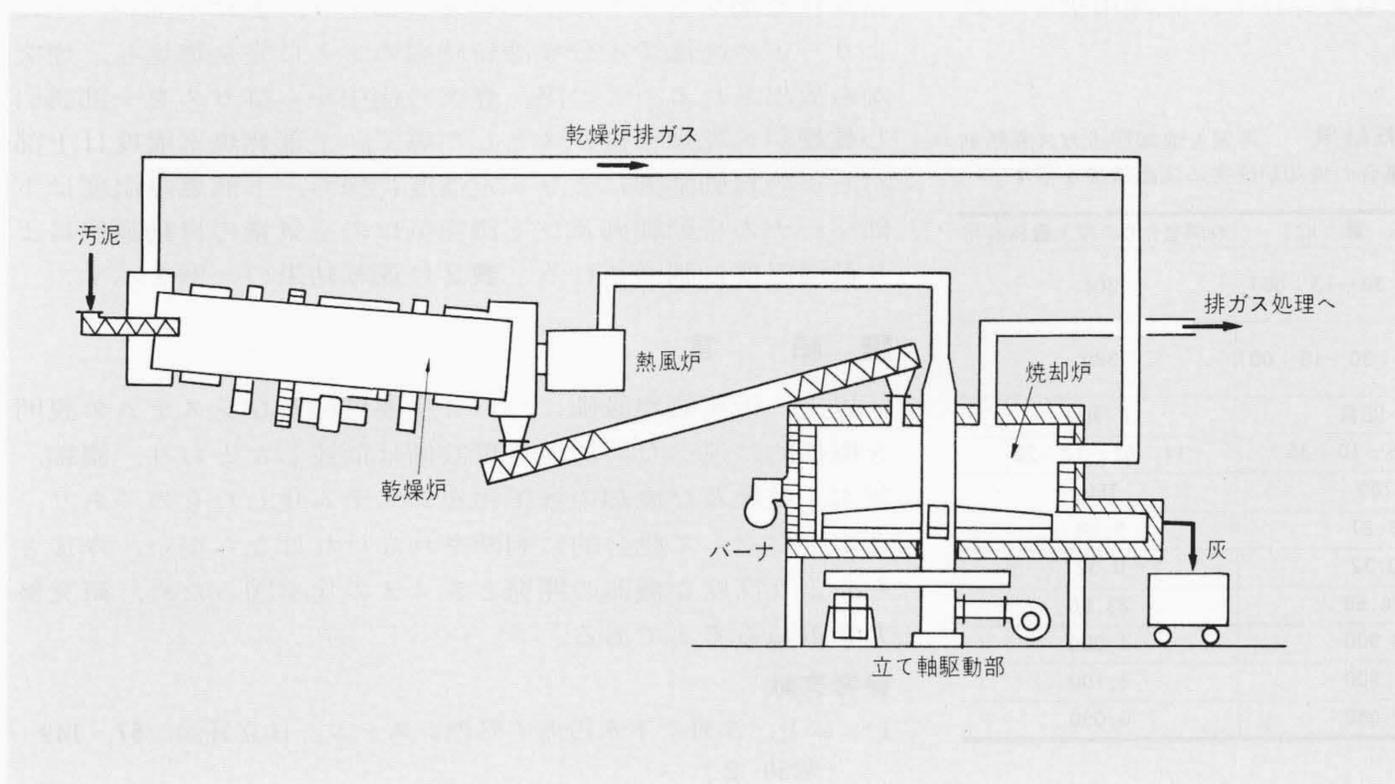


図9 「日立乾燥焼却システム」 汚泥は乾燥炉出口ガス温度を制御して最適温度条件で乾燥され、焼却炉で回転攪拌アームにより攪拌され効率よく焼却される。

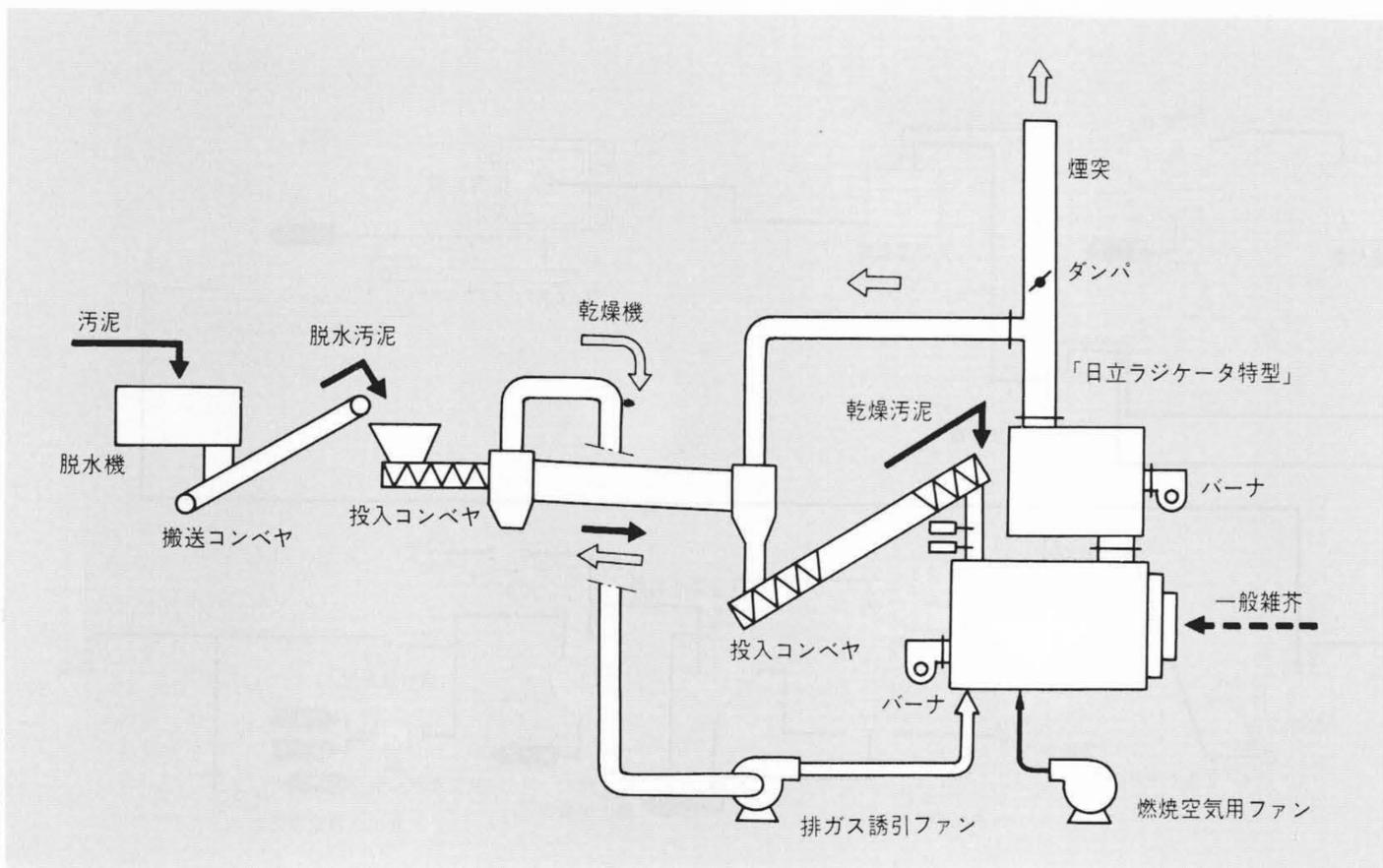


図10 汚泥・雑芥混焼システム
汚泥は、焼却炉排ガスの廃熱を利用し乾燥され、焼却炉で一般雑芥とともに、あるいは単独で焼却される。乾燥炉排ガスは焼却炉で脱臭され放出される。

(2) 脱臭装置が不要

乾燥炉から出る臭気成分は焼却炉に入り、燃焼脱臭され、炉より放出されるので臭気はない。

(3) システムバッファが大きい。

乾燥炉と焼却炉が分離しているため、汚泥性状によっては乾燥炉だけの取出しも可能であり、システムダウンした場合の対応も容易である。

8 汚泥・雑芥混焼システム

最近では、燃焼性の非常に異なる、汚泥と一般雑芥の混焼炉が要望されており、これにこたえるのが汚泥・雑芥混焼システムである。本システムは図10に示すように、雑芥焼却用の「日立ラジケータ」を改良した焼却炉と廃熱利用型のロータリキルン乾燥炉とで構成される。

乾燥炉は焼却炉排ガスの廃熱を乾燥熱源とし、脱水処理汚泥の含水率を85%から50%以下に乾燥する向流式ロータリキルン方式である。乾燥炉の制御は、乾燥炉出口ガス温度を200～220℃となるよう、煙突ダンパを自動操作し、乾燥用排ガス量

を調節している。また焼却炉排ガスを利用するため、残存酸素は7～10%程度であり、乾燥が過剰になっても燃焼することはない。ロータリキルンの構造は、攪拌効果を考慮し円周12等分位置に攪拌羽根を内部全長にわたり設けており、外部は熱放散防止のため断熱材で施工している。

乾燥に使用された排ガスは、脱水汚泥から発生した水蒸気と臭気とともに排ガス誘引ファンにより導かれ、焼却炉へ戻り、燃焼室で一定高温のもとに無臭の高温排ガスとなり、大気中へ放出される。

焼却炉は、上下2段の横型円筒形燃焼室から成り、乾燥汚泥は投入コンベヤで下部燃焼室に上部から、一般雑芥は自動投入機などにより下部燃焼室に側部からそれぞれ供給される。空気は強制通風により給気され、下部燃焼室で炉床にある下側空気口、上側空気口、下部バーナ及びエアカーテンに分かれ、上部燃焼室では上部バーナに二次空気として供給される。廃棄物は下部バーナで着火され、下側空気により熱分解される。分解されたガスは、上側空気口及びエアカーテンより補給された空気とともに上部燃焼室に上り、更に上部バーナにより一定の高温で十分な滞留時間のもとに完全燃焼し、煙突から放出される。この際、煙突の途中から排ガスを一部誘引し乾燥炉へ乾燥用排ガスとして導く。上部燃焼室温度は上部バーナの自動制御により一定温度に保ち、下部燃焼温度は下部バーナの自動制御及び下側空気口の空気量の自動調整により最適温度に制御される。表2に運転結果の一例を示す。

9 結 言

以上、汚泥処理設備について主要機種及びシステムの説明を概括的に述べた。汚泥処理設備は前述したとおり、濃縮、脱水、乾燥及び焼却の各工程をシステム化したものであり、その上に立って総合的に判断されなければならない。今後とも、より高度な機器の開発とシステム化を図るため、研究努力を重ねる考えである。

参考文献

1) 岸上、深野：下水汚泥の処理システム、日立評論、57、149 (昭50-2)

表2 汚泥・雑芥混焼システム運転結果 汚泥を焼却炉排ガス廃熱利用により乾燥し、一般雑芥と混焼した場合の焼却炉煙突の煤塵濃度を示す。

焼却量	項目	投入量 (kg)	時間当たりの投入量 (kg/h)
		紙屑・廃プラスチック その他	765 (10:30~13:00)
量	活性汚泥脱水ケーキ 含水率87%	950 (10:30~13:00)	380
排ガス測定結果	測定時間	1回目 10:05~10:35	2回目 11:52~12:20
	平均温度 (°C)	780	760
	平均流速 (n/s)	9.27	9.38
	平均静圧 (mmAq)	-0.32	-0.32
	平均水分量 (Vol)	24.50	23.66
	湿りガス流量 (Nm³/h)	3,900	4,000
	乾きガス流量 (Nm³/h)	2,900	3,100
	平均煤塵濃度 (g/Nm³)	0.082	0.090