

汚泥の高温燃焼技術

汚泥スラリー化と予熱噴霧燃焼との組み合わせによる方法 -

東京都新宿区大京町 21 - 25
株式会社 ケー・イー・エム
電話 (03) 3225 - 4344
FAX (03) 3353 - 2857

1. 従来の汚泥燃焼技術と当社開発技術(汚泥スラリー化+スラリー予熱噴霧燃焼技術)との比較

廃水を活性汚泥により処理する際に発生する汚泥は、日本国内で年間4億 m³(含水率98%)におよび、下水道の普及とともに増えています。この汚泥の殆どは、高分子凝集剤を加えられ80%含水率まで濃縮され脱水汚泥として年に約3百万m³が排出されています。現在、この脱水汚泥の39%が埋め立て処理されています。都市近郊では、焼却処理が行われていますが、設備費が高く、全国的に普及するに至っていません。近年、環境保全だけでなく、未利用資源の有効活用の観点から、これら汚泥の燃焼技術が検討されていますが、小規模から大規模までに至る広範囲に利用可能な燃焼技術が確立されていません。この小規模から大規模までに至る広範囲に利用可能な燃焼技術が、当社の開発した汚泥スラリー化+スラリー予熱噴霧燃焼技術です。

1.1 従来の流動層式燃焼技術

汚泥は、脱水により水分70~80%程度になると固化し取り扱いが難しくなります。従来、このような高い含水率の汚泥を処理するには、現状の800~830の燃焼処理温度で、2~4万円/ton程度の燃料や電力費用などの処理費がかかると言われています。今後、温暖化物質である一酸化二窒素の削減対策のために900程度の高温焼却が義務付けられると、処理費用はさらに増大すると考えられています。

現在使用されている1基100t/日以上以上の大型流動層燃焼システムの設備概要を図1に示しました。

図1の流動層汚泥焼却システムを導入している自治体に対して、財団法人エネルギー総合工学研究所が実施した、汚泥1トン进行处理するのに必要な消費エネルギー量のアンケート調査結果{出典：バイオマスエネルギー高効率転換技術開発「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」平成15年度中間報告書 IAE-CO328(未公開)平成16年3月}から、表1に示す消費エネルギー量をベースに、買電単価を1KW・h当り23円、A重油価格を1k当り69,300円とすると、汚泥1トン当りの消費エネルギー価格は、最大34,354~45,063円(電力費44,758円に最小燃料エネルギー費用305円を加えた値)、平均で8,760円となります。

図1 下水汚泥の流動層焼却設備概要

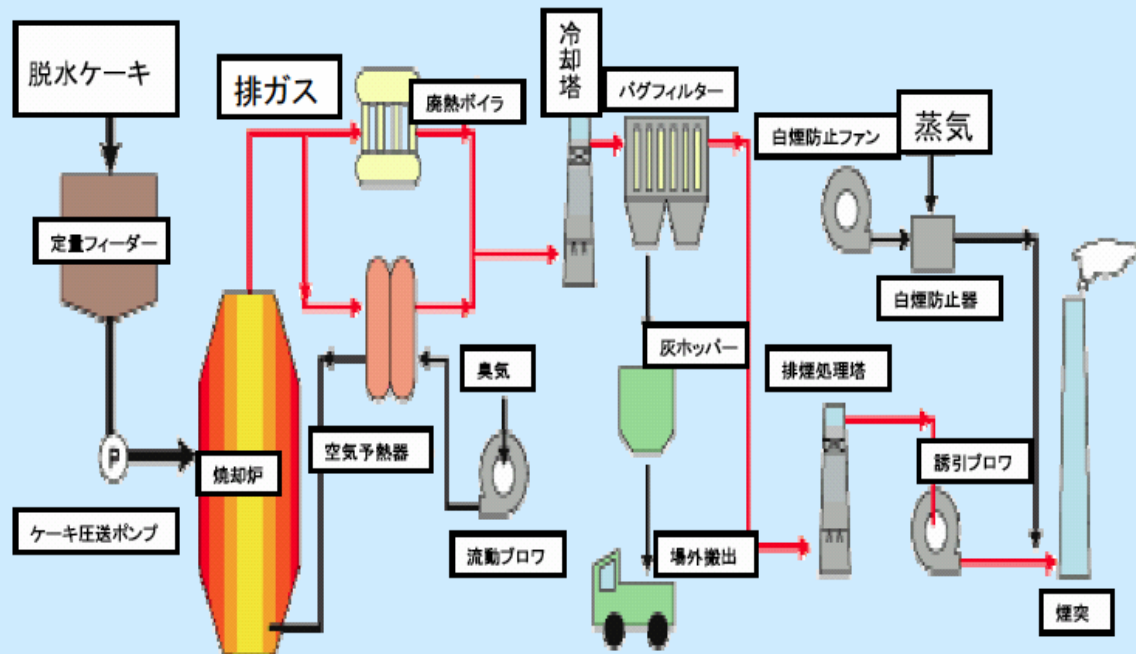


表1 汚泥の流動床燃焼方式の消費エネルギー量と価格

	汚泥の脱水+焼却方式	処理費用
平均汚泥処理量(80%脱水汚泥)	202 ton/日	—
処理場数	46 箇所	—
平均買電力のエネルギー変換値(KW・h/ton)	345 KW・h/ton	7,935 円/ton
最小買電力のエネルギー変換値(KW・h/ton)	70 KW・h/ton	1,610 円/ton
最大買電力のエネルギー変換値(KW・h/ton)	1,946 KW・h/ton	44,758 円/ton
平均燃料エネルギー(Mcal/ton)	119 Mcal/ton	825 円/ton
最小燃料エネルギー(Mcal/ton)	44 Mcal/ton	305 円/ton
最大燃料エネルギー(Mcal/ton)	1,157 Mcal/ton	8,018 円/ton
平均外部投入総エネルギー(Mcal/ton)	464 Mcal/ton	8,760 円/ton
最小外部投入総エネルギー(Mcal/ton)	153 Mcal/ton	2,461 円/ton
最大外部投入総エネルギー(Mcal/ton)	2,143 Mcal/ton	34,354 円/ton

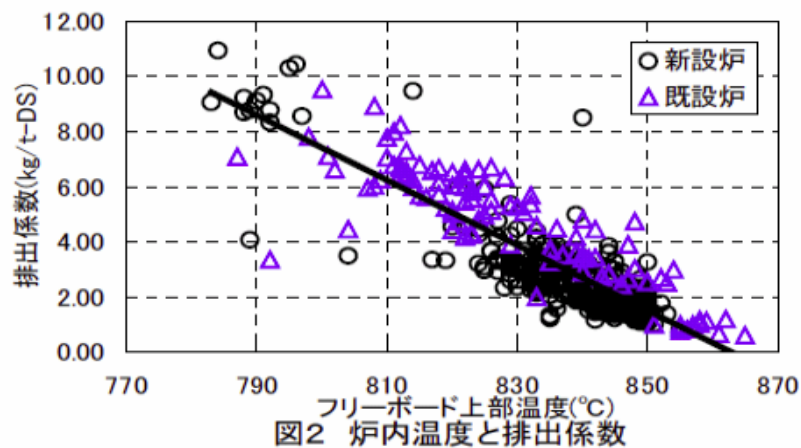
注：電気料金は1KW・h当り23円、A重油1KL当り169,300円とした。

1.2 当社の技術による処理方式

当社の技術の特徴は 次の2点に集約されます。

高い燃焼効率の達成と高温燃焼による熱回収効率の向上及び温暖化防止（一酸化二窒素削減）効果

一酸化二窒素の地球温暖化係数は二酸化炭素の310倍で、図2から燃焼温度を将来の目標値である850とすると、乾燥汚泥の二酸化炭素排出量は、ほぼ1550kg/乾燥汚泥1tです。このときの一酸化二窒素の排出量は1.5kgとなる。これを二酸化炭素に置き換えると465kgの二酸化炭素に匹敵します。これは、乾燥汚泥1トンに対して排出される二酸化炭素量が30%増量されることとなります。



出典：<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/gijyutou/gn14/nenpou2002/REPORT64.pdf>

当社の燃焼技術による900以上での燃焼では、この一酸化二窒素に由来する30%増量分の二酸化炭素をゼロとすることが出来ます。

設備投資の低コスト化

当社の汚泥スラリー化+高温燃焼システムの建設費は、従来の流動層燃焼システムの半額です（図4参照）。

1.2.1 エネルギー効率と温暖化防止効果

従来技術と比べて、当社の技術は、燃焼温度が900以上で、焼却量100t/日以上大型処理装置同様5t/日程度の小型焼却設備においても若干エネルギー消費量が多くなるものの従来方式よりも消費電力量が少ないために外部からの投入エネルギー費用が少ないというメリットがあります。

5t/日の処理設備の概要を図3に示しました。

汚泥を先ずスラリー化処理し、出来上がったスラリーを、スラリー予熱噴霧燃焼設備を用いることによって、スラリーを蒸気と乾燥汚泥の気固2相状態で燃焼させるため未燃分が少なく、

高い燃焼効率が得られます。汚泥焼却量 5 t / 日と小型ながらも、表 2 に示すようにエネルギー消費量が大型の流動層燃焼方式の平均値 416 Mcal / ton と略互角の 542 Mcal / ton で、消費エネルギー価格は、汚泥 1 トン当り 8,360 円となり、大型流動層燃焼方式の平均値である 8,760 円よりも安価となっております。大型化すれば、熱効率が向上するために消費エネルギー量はさらに減少します。また、本技術は、今後予測される温暖化防止のため規制（一酸化二窒素の削減）に必要な 900 以上の高温燃焼ができる点も大きなメリットとなります。

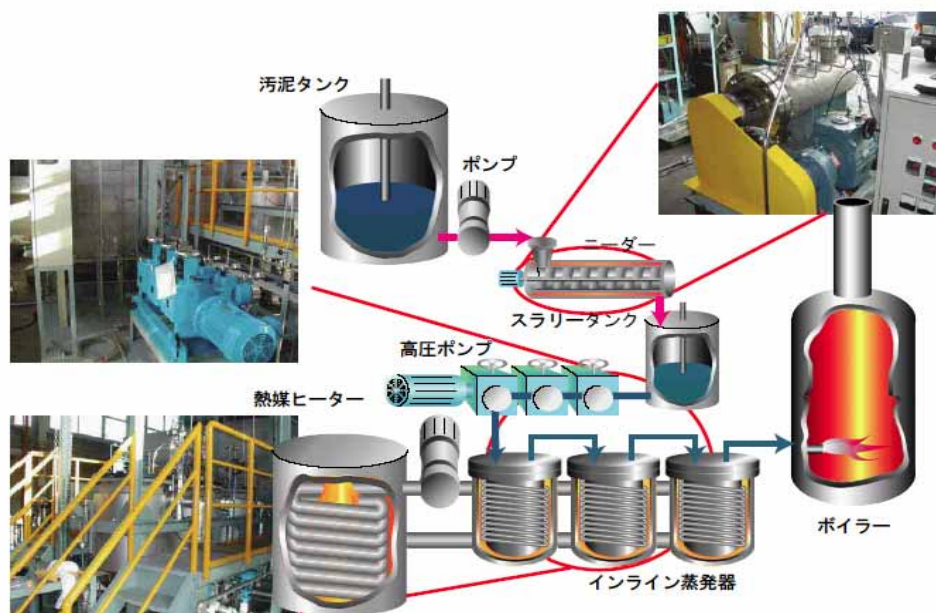


図 3 汚泥スラリー化 + スラリー予熱噴霧焼却設備の概要

表 2 汚泥の流動床燃焼方式とスラリー化 + 噴霧燃焼方式の消費エネルギー量の比較

	汚泥の脱水 + 焼却方式	脱水汚泥のスラリー化 + 噴霧燃焼方式
平均汚泥処理量(80%脱水汚泥)	202 ton/日	5 ton/日
処理場数	46 箇所	
平均買電力のエネルギー変換値(KW・h/ton)	345 KW・h/ton	270 KW・h/ton
最小買電力のエネルギー変換値(KW・h/ton)	70 KW・h/ton	KW・h/ton
最大買電力のエネルギー変換値(KW・h/ton)	1,946 KW・h/ton	KW・h/ton
平均燃料エネルギー(Mcal/ton)	119 Mcal/ton	310 Mcal/ton
最小燃料エネルギー(Mcal/ton)	44 Mcal/ton	Mcal/ton
最大燃料エネルギー(Mcal/ton)	1,157 Mcal/ton	Mcal/ton
平均外部投入総エネルギー(Mcal/ton)	416 Mcal/ton	542 Mcal/ton
最小外部投入総エネルギー(Mcal/ton)	153 Mcal/ton	Mcal/ton
最大外部投入総エネルギー(Mcal/ton)	2,143 Mcal/ton	Mcal/ton

建設コスト

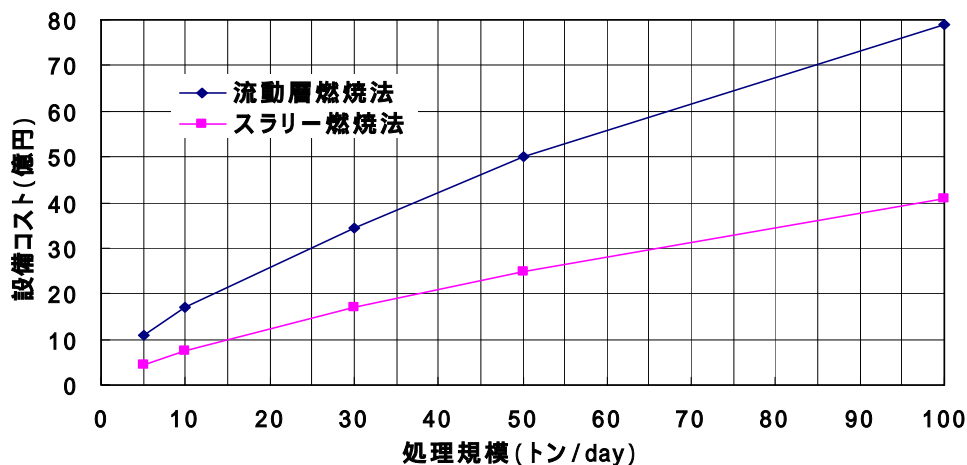
ここでさらに建設コストについて比較したところ、表3に示すような結果が得られました。比較データとして、新潟市中部下水処理場汚泥焼却設備の建設費 34.5 億円をベースとして、プラントコスト算出に一般的に用いられている、規模に対する 0.65 乗則を用いて各規模に対しての建設コストを求めました。

表3 汚泥焼却設備の建設費比較

汚泥の脱水+焼却方式			
	設備規模	設備コスト	備 考
ベース	30 ton/日	34.5 億円	新潟市中部下水処理場
計算1	100 ton/日	79 億円	0.65乗則で計算
計算2	50 ton/日	50 億円	"
計算3	10 ton/日	17 億円	"
計算4	5 ton/日	11 億円	"
汚泥の脱水スラリー化+予熱噴霧焼却方式			
見積1	3 ton/日	3.0 億円	ベース見積
見積2	5 ton/日	4.5 億円	ベース見積
見積3	10 ton/日	7.5 億円	ベース見積
見積4	20 ton/日	13 億円	単体機器の組合せの為 0.75乗則で計算
見積5	30 ton/日	17 億円	
見積6	50 ton/日	25 億円	
見積7	100 ton/日	42 億円	

この計算結果から、当社の汚泥スラリー化+予熱噴霧燃焼は、現在主流を占める流動層燃焼方式と比べ安価であるといえます。また、処理規模別の設備コストの試算例を図4に示した。図4に示されているように、従来の流動層燃焼技術と比べて燃焼温度が 900 以上にキープできるにも関わらず、設備コストが大幅に軽減されることが示されています。

図4 処理規模と設備コストの関係



2. 当社の技術の詳細

高温高压下において高剪断力を発生させる特殊ニーダー（日本システム化研㈱の発明による特殊羽根を利用）の使用によって汚泥をスラリー化し、片山の発明によるスラリーの予熱噴霧技術により燃焼させる方法が、平成14年度から経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境対策室からの補助金により実用化できるようになりました。汚泥スラリーを乾燥汚泥と蒸気の混合物にして気固2相状態でボイラ燃焼させ且つ熱回収を行い、汚泥スラリー化処理と予熱噴霧装置の熱源として利用するので、消費エネルギー量が少なく済みます。

2.1 高剪断力ニーダー

処理対象物を、高剪断力ニーダーで 200~250 程度に 30分~1時間保持することにより、汚泥の凝集に使用された有機系凝集剤を分解させ、且つ汚泥中に含まれる髪の毛やセルロースなどの繊維を 0.1mm 以下に裁断し且つ細胞膜をも破壊し、含水率 80%程度の汚泥スラリーとすることができます。

写真1(a)、(b)に高剪断力を発生する装置を示します。

写真1(a) 羽根の形状と剪断力のテスト用ニーダー（常温、常圧、実効容量 200 ）



写真1(b) サンプル試験用ニーダー（剪断力 0.8~1.0 MPa 処理温度 = 最高 300℃、
処理圧力 = 最高 3 MPa、実効容量 20 ）



写真1 (b)、図5 概念図に示すニーダーは、高剪断力を与えることができる攪拌羽根を備えた高温高圧型のニーダーです。

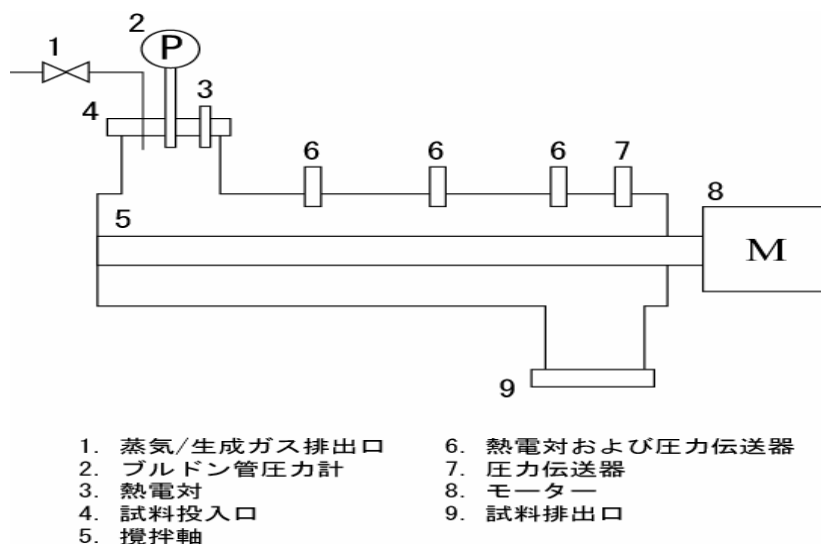


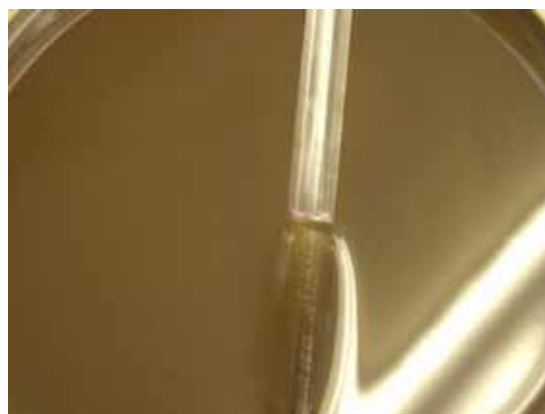
図5 高剪断力、高温、高圧ニーダー概念図

汚泥スラリーの製造試験を、反応温度 220、30 分の条件にて実施しました。実験に使用した脱水汚泥の水分量は、81.7(上部)~87.1(下部)%であり、平均的な中間部での値は82.8%でした。粘度は、株式会社エー・アンド・デイ社製振動式粘度計SV-10を用いて測定したが測定限度の12 Pa・sを超えており測定不能でした。広島県大崎町のスラッジプラントで処理された脱水生汚泥(写真2a)を用いた220/30分の反応条件では、汚泥の有機系凝集剤の分解が十分に行われたため、得られたスラリー(写真2b)は、17 mPa・sとトマトジュース並みの低粘度でした。

写真2a 大崎脱水生汚泥



写真2b 脱水汚泥スラリー
220 - 30分処理品



2.2 スラリー予熱噴霧装置

本スラリー予熱噴霧技術は、石炭ガス化技術の一環として開発が開始された技術です。石炭水スラリーの予熱式ガス化炉の開発において、石炭水スラリー中の水分の蒸発は、核となる技術であると言えます。ところが、この技術に関する研究は少なく、成功している例もほとんど在りません。

Roffeらは、ガスタービン用石炭水スラリー燃焼装置の前処理として水分の蒸発を試み、40-60 wt%の石炭水スラリーで予熱管の閉塞を確認しています。伝熱管と石炭水スラリージェットの間にはスチームを吹き込むことにより安定した気固混相流を得たと報告しています。Novackらは、石炭水スラリーの流れ方向に管径を変化させた伝熱管中で石炭水スラリー中の水分を蒸発させたと報告しているが、実験条件や管径に関する詳細は報告されていません。薄井らは、同様にスチームを補助的に吹き込むことによる石炭水スラリー中の水分の蒸発を試み、予熱管の閉塞無しに石炭水スラリーを供給することに成功しましたが、水分の蒸発量が低く、得られた粒子もかなり凝集すると報告されています。そこで当社の片山（当時 I A E の研究理事、プロジェクトリーダー）は、圧力 $120\text{kg}/\text{cm}^2$ 、秒速 10m 以上の高流速で連続的に長時間運転できる $5\text{t}/\text{日}$ 規模の石炭水スラリー（含水率 50%）の連続噴霧装置を開発しました。このスラリー予熱噴霧装置を水分量の多い汚泥燃焼用に対応できるように設計し直し、製作した汚泥スラリー $2\text{t}/\text{日}$ の装置が写真 3 の装置です。

装置の概観写真および概念図を写真 3 および図 6 にそれぞれ示しました。本装置はスラリー供給部、加熱部、蒸発槽およびボイラからなっております。



写真 3 スラリー予熱噴霧装置全景（前橋試験センター内）

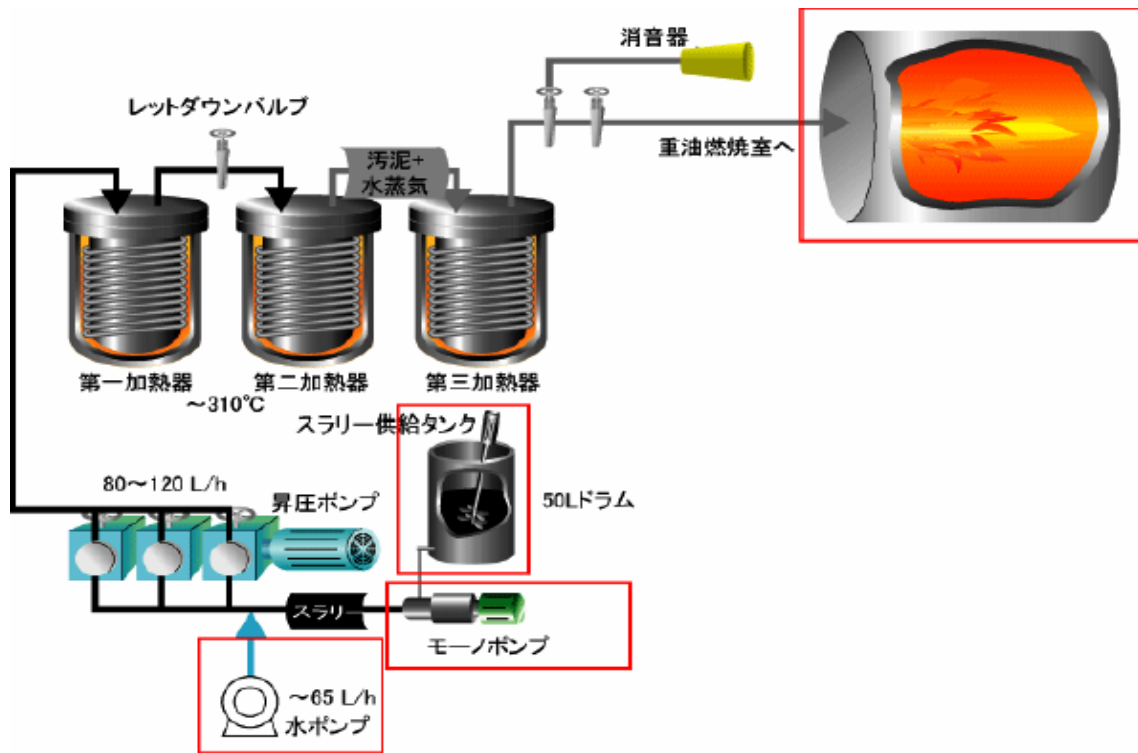


図6 スラリー予熱噴霧装置概略図

スラリー噴霧燃焼装置を用いての燃焼状況の確認を行い、写真4 (a) 蒸気のみ噴霧 (パイロットバーナー燃焼中)、(b) 製紙汚泥スラリーの噴霧燃焼 状況を示しました。含水率87%の高水分含有量の製紙汚泥スラリーが炎を上げて良く燃えていることが確認された。



(a) 蒸気のみ噴霧 (パイロットバーナー燃焼中)



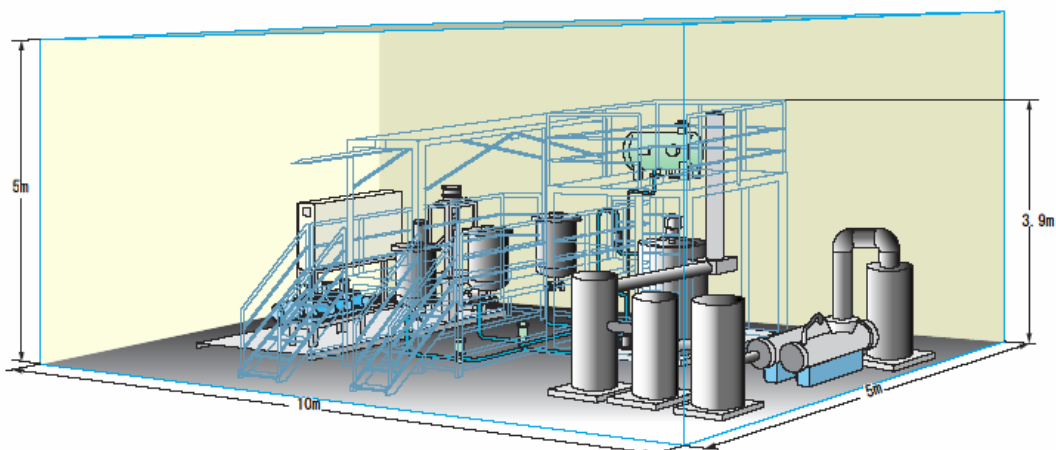
(b) 製紙汚泥スラリーの噴霧燃焼

写真4 燃焼状況

2.3 全体設備概要

図3のイラストにある5t/日規模の汚泥スラリー化+スラリー予熱噴霧焼却設備の概要を元に、脱水汚泥処理量2~3t/日規模の設備配置概略図を作成し図7に示しました。

図7 汚泥スラリー化・スラリー噴霧焼却処理設備設置概略図（処理量2~3t/day 規模）



2.4 処理費用の試算結果

汚泥処理費用について、従来法である流動層燃焼方式と当社の開発による汚泥スラリー化・スラリー噴霧燃焼方式との比較を行い、その結果を図8に示しました。

図8 汚泥1トン当りの処理費用

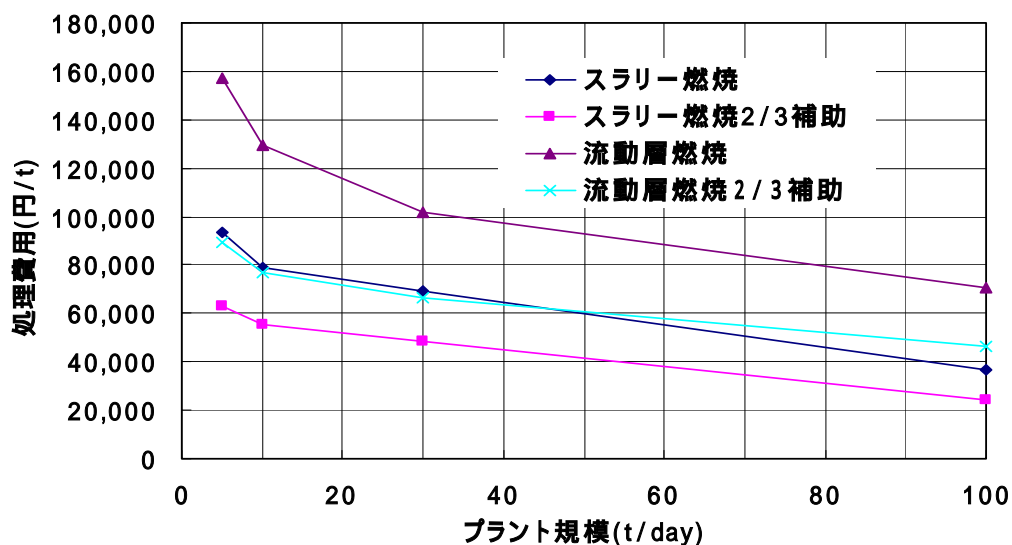


図8に示されているように、汚泥のスラリー化・スラリー噴霧燃焼方式は、処理コストが低く、5 t / 日の小型設備においても処理費用が10万円 / tを下回っています。従来方式である流動層燃焼方式は、今後一酸化二窒素の更なる削減が義務付けられると、処理コストが増えるためにスラリー化・スラリー噴霧燃焼方式の2 / 3補助を受けられないケースの処理コストに近い値となると考えられます。

このように当社の開発した汚泥処理システムは、環境規制が厳しくなる現在にマッチしたシステムと言えます。

以上