

(解説)

無害化とリサイクル性に優れた廃棄物溶融技術の開発

東 康夫(工博)*・吉ヶ江武男**・笠井利雄**・鈴木富雄(工博)***・田頭成能***・清水由章***

*技術開発本部・機械研究所 **都市環境・エンジニアリングカンパニー・装置技術部 ***都市環境・エンジニアリングカンパニー・開発部

Waste Melting Technologies for Environmental Preservation and Recycling

Dr. Yasuo Higashi・Takeo Yoshigae・Toshio Kasai・Dr. Tomio Suzuki・Shigeyoshi Tagashira・Yoshiaki Shimizu

Kobe Steel developed a swirl-flow melting technique for sewage sludge and, based on this technique, delivered a 40ton cake/day plant in 1990, and a large-scale 120ton cake/day plant in 1996. Kobe Steel has also developed a plasma melting technique for municipal solid waste incineration fly ash; the first 5ton ash/day plant based on this technique was built in 1997. Both of these melting technologies are considered to be effective solutions for reducing the load on landfill sites and transforming harmful materials into harmless, and stable matter. The usefulness of both of these systems was confirmed through active and long-term commercial plant operation.

まえばき = 下水道整備の推進にともなう汚泥発生量の増加に対し、処分地の確保が年々困難となっている。この結果、減容化、無害化さらに資源化が可能となる溶融処理が注目され、現在、国内で 20 基以上の下水汚泥溶融炉が稼働している。いっぽう、都市ごみ焼却残渣に対しても環境負荷の最小化とリサイクル推進の観点から、下水汚泥同様にその減容化と無害化が強く求められている。焼却工場より排出される飛灰中には、重金属類およびダイオキシンといった有害物が多量に含まれることから、溶融処理は廃棄物の減容化と無害化・安定化が同時に達成可能な技術として注目されている。

本稿では、当社における下水汚泥焼却灰の旋回流溶融炉、および都市ごみ焼却灰プラズマ溶融炉の開発経緯、研究成果と商業プラントについて紹介する。

1. 旋回流溶融炉

1.1 開発経緯

当社は製鉄プロセスの微粉炭燃焼技術をベースとして 1986 年に旋回流溶融炉による下水汚泥溶融技術の開発に着手し、実証プラント(50ton/day)による技術実証ののち、1990 年 4 月に脱水ケーキ処理能力 40ton/day の 1 号プラントを滋賀県琵琶湖湖南中部浄化センターに納入した。その後、1991 年から大規模処理量に対応した大形炉の開発をおこない、その知見を生かして 1996 年 9 月には脱水ケーキ処理能力 120ton/day の国内最大級のプラントを同センターに納入した。以下に、その間の経過について列記する。

- 1984：石炭ガス化炉、旋回流溶融炉の調査研究を開始
- 1986：旋回流溶融炉による下水汚泥溶融技術の開発着手
- 1986：実証炉設置
- 1987：実証炉における連続運転
- 1990：滋賀県琵琶湖湖南中部浄化センターに 1 号プラント(40ton/day)を納入
- 1991：大形実証炉の設置および運転
- 1996：滋賀県琵琶湖湖南中部浄化センターに 2 号プラント(120ton/day)を納入

1.2 旋回流溶融炉の概要

当社の旋回流溶融炉は、焼却灰を旋回流方式で炉内に導入・溶融する旋回流溶融炉である、炉の外観を写真 1 に示す。溶融スラグの円滑な出滓をおこなうために、縦型の円筒形としている。炉内は燃焼空気により強い旋回流が形成され、補助燃料の燃焼により焼却灰の融点より 100 以上高温に維持される。焼却灰は燃焼空気とともに固気 2 相流として旋回を与えられて炉内に吹込まれ、瞬時に加熱されて溶融し、遠心力によって炉壁に衝突して炉壁を融液状で流下し排出される。

本炉の特徴は、燃焼空気を炉頂から旋回羽根によって旋回を与えて供給する一次空気と、炉側壁部から円周接線方向に供給する二次空気に分し、その空気量配分を調節することにより、炉内フローパターンおよび燃焼特性の最適化を図り、高いスラグ化率を達成している点にある¹⁾。

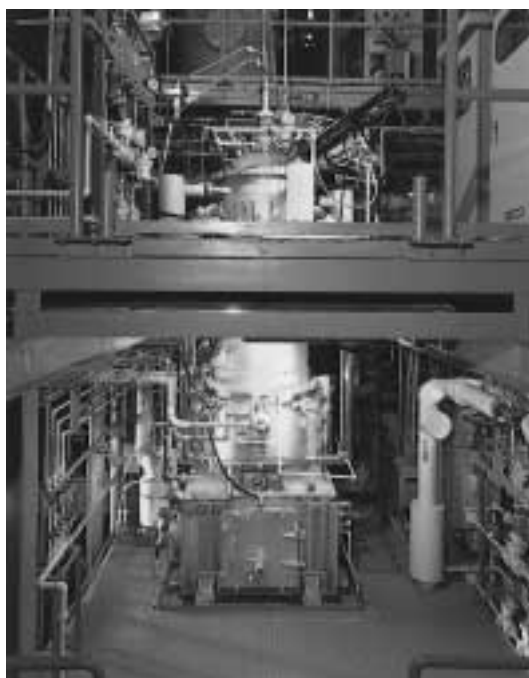


写真 1 旋回流溶融炉

Photo 1 Swirling-flow melting furnace

1.3 大形化

数値解析，コールドモデル，および実証運転でえられた結果から，最適な溶融炉寸法，一次・二次の空気量配分，一次空気の巡回角度や吹込み流速を決定し，それを40ton/dayの1号プラントに適用したが²⁾，さらに大規模な溶融システムに対応するため，大形実証炉を製作し試験をおこなった。本試験では，焼却灰の処理量が溶融部内容積に対して限界以上となると，スラグはポーラスで強度の低いものとなるという知見をえた。したがって，スケールアップの方法は溶融部内容積を焼却灰処理量に比例させて大きくする容積基準を採用することにした。

1.4 大形プラントの概要

大形実証炉でえられた知見を生かして，国内最大級の規模である脱水ケーキ処理量120ton/dayの2号プラントを納入した。120ton/dayプラントの外観を写真2に，フローシートを第1図に示す。石灰系凝集剤を添加した加圧脱水汚泥は流動床式熱分解炉へ供給される。無機分は熱分解炉で微粒子状の灰となって排ガスとともに炉外に排出され，サイクロンおよび電気集塵機で捕集後，旋回流溶融炉へ供給されスラグ化される。溶融炉排ガスは熱分解炉排ガスと混合し，二次燃焼室で完全燃焼させ，燃焼空気予熱器，白煙防止空気予熱器で十分な熱回収をおこなった後，乾式電気集塵機で除塵し，排煙処理塔でSO_x，HClなどを吸収除去したうえで煙突から大気放散する。

1.5 大形プラントの運転データ

120ton/dayプラントの定格運転時における運転データを40ton/dayプラントのデータと比較して第1表に示

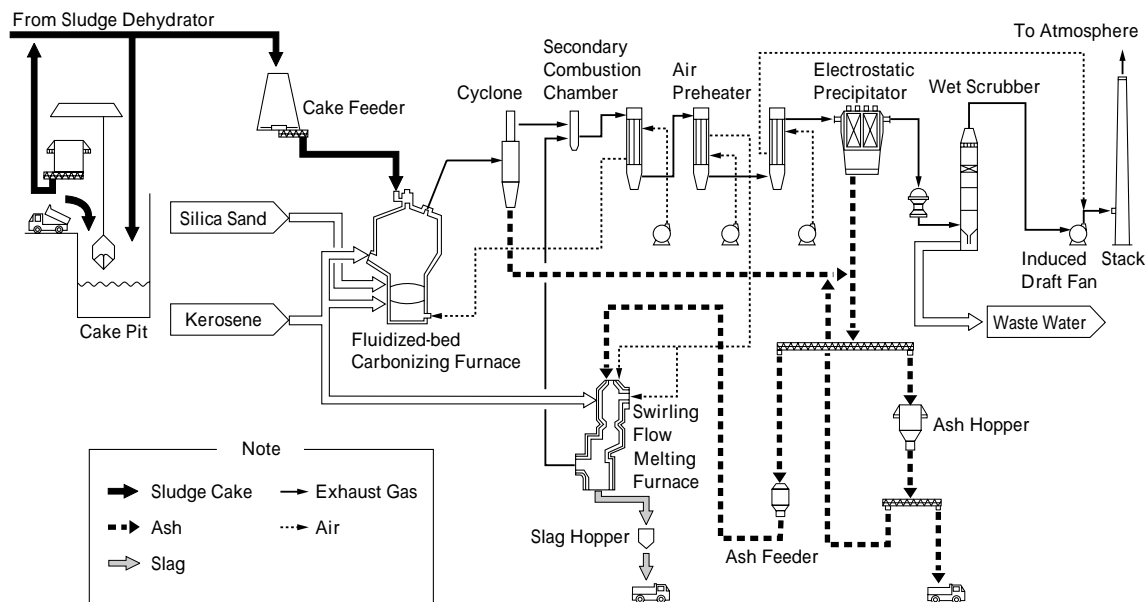


写真2 120ton/day 下水汚泥熱分解+溶融プラント全景
Photo 2 Appearance of 120ton/day sewage sludge melting plant

す。

ケーキ1tonあたりの補助燃料使用量，電力消費量は40ton/dayプラントにくらべてそれぞれ39%，12%低減されスケールアップの効果があらわれている。

120ton/dayプラントの溶融稼働率は平均90%の高率を達成している。溶融設備では，溶融排ガス中の低沸点物質が下流設備で再凝縮，付着し，閉塞などのトラブルの原因となることがある。このため，溶融炉直後に水冷ダクトを接続し，強制的に溶融排ガスを冷却して低沸点物質を除去する対策を講じている。しかし，40ton/dayプラントでは，水冷ダクトでの定期的な清掃作業が稼働率低下の原因となっていた。120ton/dayプラントでは，



第1図 下水汚泥熱分解+溶融プラントフローシート
Fig. 1 Flow sheet of sewage sludge melting plant

第1表 運転データ
Table 1 Operating data

Item	40ton/day Plant	120ton/day Plant	
Dewatered Cake Feed Rate	ton/day	40	120
Generated Slag	ton/day	4.4	22.0
Kerosene	l/ton-cake	13	1
Carbonizing Furnace		83	58
Melting Furnace		96	59
Electric Power	kWh/ton-cake	174	153

インテリジェント制御³⁾などを利用した溶融炉の温度管理と灰の塩基度調整の最適化により低沸点物質の揮散を抑えるとともに、水冷ダクトに自動ブラスト装置を設け清掃作業を自動化しこの問題を解決した。さらに、40ton/day プラントでは溶融炉耐火物の改修などのため年3回の定期点検をおこなっていたが、耐火物材質を改善し、120ton/day プラントでは年2回とした。

1.6 スラッグの有効利用

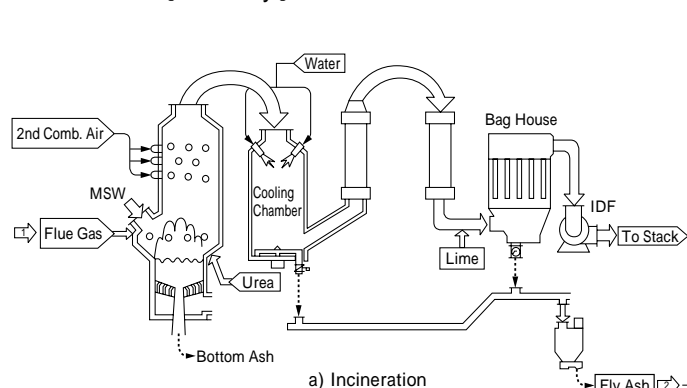
滋賀県琵琶湖南中部浄化センターでは1990年に40ton/day プラントが稼働して以来、1996年の120ton/day プラントの稼働開始を経て1997年までに合計約15,000ton/年間では1997年度の実績で約4,500tonのスラッグが発生している。これらスラッグは滋賀県、地元企業、当社の3社共同による用途開発により、全量が路盤材およびインターロッキングブロックやヒューム管などのコンクリート骨材として有効利用されている⁴⁾。

2. プラズマ溶融炉

2.1 開発経緯

プラズマ溶融炉の特徴は、焼却灰の加熱に際して、ごみ発電エネルギーを有効に活用できることにある。開発に先だて、1989年には国内外の電気加熱技術について調査をおこない、焼却灰溶融の熱源としてプラズマ方式を選定した。当社のプラズマ溶融炉は、下水污泥処理における旋回流溶融炉の完成と並行して、1991年よりその開発を開始した。開発においては、プラズマ出力300kW、溶融処理能力300kg/hの実証試験装置を活用し、各種都市ごみ焼却施設から発生する焼却灰ならびに飛灰の溶融試験をおこなってきた^{5)~7)}。そして溶融性能、ダイオキシン分解など技術実証の後、1997年3月に処理量5ton/dayの商業1号機を徳島県美馬環境整備組合に納入した。本設備の特徴は、一般にその処理が困難といわれている焼却飛灰の単独溶融を可能としたことあり、現在順調に運転を継続している。以下にその間の経過を列記する。

- 1989：電気加熱技術の調査研究を開始
- 1991：プラズマ溶融炉による都市ごみ焼却灰溶融技術開発に本格着手
社内実証試験設備の設置
- 1997：徳島県美馬環境整備組合に商業1号機を納入（5ton/day）



第2図 都市ごみ焼却・溶融プロセスフローシート
Fig. 2 Process flow diagram of MSW incineration and melting

2.2 プラズマ溶融設備の概要

第2図に商業1号機における都市ごみの焼却・灰溶融設備のプロセスフローを示す。また、写真3にプラズマ溶融炉の概観を示す。

焼却施設は36ton/day（現状1日8時間運転）の流動床焼却炉を2系列有し、排ガスはガス冷却室、空気予熱器、白防用空気加熱器を経て、消石灰を吹き込んだ後、ろ過式集塵器にて処理される。流動床焼却炉底部より発生する主灰は、クリーンな性状を有するため、ガス冷却室およびろ過式集塵器で捕集される飛灰のみを溶融対象物としている。飛灰プラズマ溶融設備の能力は5ton/dayであり、作動ガスとして空気をもちいるプラズマ発生装置の最大出力は600kWである。

飛灰定量供給器により溶融炉へ投入された飛灰は、プラズマトーチから発生する高温のプラズマ炎で加熱されて溶融スラッグとなり、排ガス抜き出し口を兼ねたオーバーフロー式出滓口より連続的に排出される。溶融スラッグはスラッグ冷却装置で冷却・固化された後、スラッグパンカ

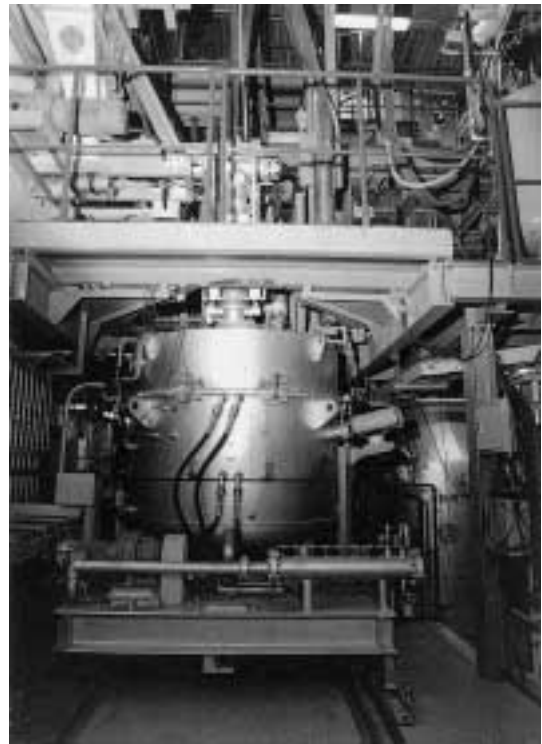
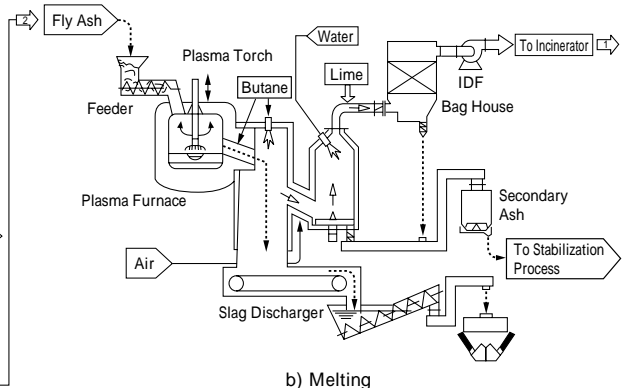


写真3 プラズマ溶融炉
Photo 3 Plasma melting furnace



第2表 溶融処理能力

Table 2 Performance of ash melting furnace

Item		Lime 1	Lime 2
Si	%	10.65	10.4
Ca	%	21.14	15.5
T-Al	%	6.43	-
CaO/SiO ₂	-	1.30	0.97
Capacity of Melting	kg/h	360	460
Required Energy	kW	490	400
Consumption of Energy	kWh/kg-ash	1.36	0.87

第3表 スラグ溶出試験結果およびダイオキシン類濃度

Table 3 Slag leaching test results and Dioxin concentration

Item		Leaching Value	Environment Standard for Soil Contamination
pH		9.9	
Cd	mg/l	<0.001	0.01
Pb	mg/l	<0.001	0.01
Cr ^{*6}	mg/l	<0.005	0.05
As	mg/l	<0.001	0.01
Hg	mg/l	<0.005	0.0005
Se	mg/l	<0.001	0.01
Dioxin	ng-TEQ/g	α (<0.0016ng-TEQ/g)	—

に貯留して定期的に搬出される。溶融炉から発生するガスは、排ガス抜き出し口（出滓口兼用）へのブタン吹き込みにより NO_x を低減した後、二次燃焼室で完全燃焼し、空気混合および水噴霧で冷却した後にバグフィルタで処理され焼却炉へ吹き込まれる。焼却炉では尿素水をもちいた無触媒脱硝により、溶融排ガス由来の NO_x を低減することで脱硝触媒を使用しないで規制値を満足できるシステムとなっている。

2.3 溶融運転実績

2.3.1 稼動状況

これまでの稼動状況では、焼却炉からの飛灰発生量は月に 25～45ton 程度であり、飛灰のほぼ全量を溶融処理している。焼却炉からは、焼却灰発生量の約 37% が主灰と鉄分として、残り 63% が飛灰として発生する。流動床焼却炉に溶融を組合わせた場合、焼却炉で発生する主灰および鉄分は無害で溶融の必要がないため、主灰・飛灰の全量を溶融対象とするプロセスと比較して溶融必要量は約 6 割となる。また、焼却施設より発生した飛灰は、なんら前処理をおこなうことなく溶融炉へ投入しており、前処理施設は不要となる。

2.3.2 飛灰性状と溶融処理性能

都市ごみ焼却排ガスをバグフィルタによって処理する場合、消石灰の添加量が飛灰性状に影響を与え、飛灰性状は溶融炉の操業に大きな影響を与える。第2表は排ガス処理用に特号消石灰（Lime 1）を使用した場合と、高比表面積消石灰（Lime 2）を使用した場合の飛灰性状と溶融処理性能を示したものである。特号消石灰から高比表面積消石灰への変更により飛灰塩基度（CaO/SiO₂）は 1.3 から 0.97 まで変化しており、これにより溶融処理速度が向上しプラズマ電力元単位は 1.36 から 0.87 へと大幅な低減が可能となった。

いっぽう、溶融スラグは溶融炉からオーバーフロー出滓され、モールドコンベヤに受けて冷却する方式を採用している。第3表にスラグの溶出試験結果を示す。重金属類の溶出値は目標基準である土壌環境基準を満足しており、有効利用可能な性状を有していることを確認した。

2.4 大形化

都市ごみ焼却炉の大量処理にとれない、灰溶融炉においても 1 基あたりの処理量増加に対する大形化が望まれている。大形化に関しては溶融炉内部のプラズマ流と溶融スラグの流動・温度分布を熱流体解析により予測し実証試験および実機での運転データと対比させ精度向上をおこなった⁸⁾。現在 50ton/day 規模まで大形化しており、今後は大形商業機における運転データの蓄積と解析により、さらなる精度向上を図り、所定性能を満足する効率的な溶融炉設計に活用する予定である。

むすび＝「旋回流溶融炉」および「プラズマ溶融炉」は、いずれも当社における燃焼技術をベースに開発を進めてきたものであり、すでに商業機として安定運転を達成している。溶融技術は下水汚泥、都市ごみは当然のこと、それ以外の廃棄物処理を考える上でも重要技術の一つであり、今後はさらに運転実績を蓄積することで、引き続きより環境負荷の小さなシステム実現に向けて努力していく所存である。

参考文献

- 1) T. Suzuki et al. : Combustion Science and Technology, Vol.93, No.1-6 (1993) p.111.
- 2) 笠井利雄ほか : R&D 神戸製鋼技報, Vol.41, No.4(1991) p.119 .
- 3) 岡崎浩二ほか : R&D 神戸製鋼技報, Vol.46, No.1(1996) p.73 .
- 4) 滋賀県, (財)滋賀県下水道公社 : 下水汚泥溶融スラグ有効利用マニュアル
- 5) 東 康夫ほか : 廃棄物学会第4回研究発表講演論文集 2, (1993) p.731.
- 6) T. Suzuki et al. : Dioxin 93, Vol.12 (1993) p.65.
- 7) 東 康夫ほか : 廃棄物学会論文集, Vol.7, No.4(1996) p.193.
- 8) Y. Higashi et al. : Kobelco Technology Review, No.22(1999), p.33.