

大形下水汚泥溶融プラント

宮本博司*・松田正夫*・吉ヶ江武男*・笠井利雄*・鈴木富雄(工博)**

*都市環境本部・環境エンジニアリングセンター **技術開発本部・機械研究所

Operation Result of Large-scale Sewage Sludge Melting Plant

Hiroshi Miyamoto・Masao Matsuda・Takeo Yoshigae・Toshio Kasai・Dr. Tomio Suzuki

Kobe Steel has developed a technique for melting sewage sludge cake using a swirling-flow melting system after carbonizing. It delivered a large-scale 120t-cake/d plant in 1996. In that plant the fuel consumption rate is 76l/t-cake and the power consumption rate is 110kWh/t-cake, which is a decrease of 26% when compared to the 40t-cake/d plant delivered in 1990. The generated slag can be used as construction materials because heavy metals in the slag leachate meets soil contamination standards.

まえがき = 快適な水環境の保全を目的として着実に下水道整備が進められているが、それにともない下水処理過程で発生する汚泥量は増加を続けており、スラリー状で年間3億 m³を超えている。これらは濃縮・脱水処理によって半固体状の脱水ケーキとなり、さらにそのうち60%程度が焼却処理され、1994年度現在、最終的に発生汚泥の7割程度(発生時の乾燥重量ベース)が埋立処分されている¹⁾。

しかし、近年処分地の確保が困難になってきているため、それらの資源化・再生利用を進めることによって処分地の延命化を図ることが求められている。地域によっては脱水ケーキを堆肥化させて、緑農地で積極的に利用しているが、汚泥発生量の多い都市部においてはその需要がほとんど見込めないため、建設資材としての利用の拡大を図ることが有効である。脱水ケーキや焼却灰を建設資材の原料として利用している例もあるが、溶融処理によってえられるスラグは、より安全かつ衛生的なうえ、取扱いが容易であるため、近年各地で下水汚泥溶融炉の導入が進んでおり、1997年現在、国内で約20基が稼働している。

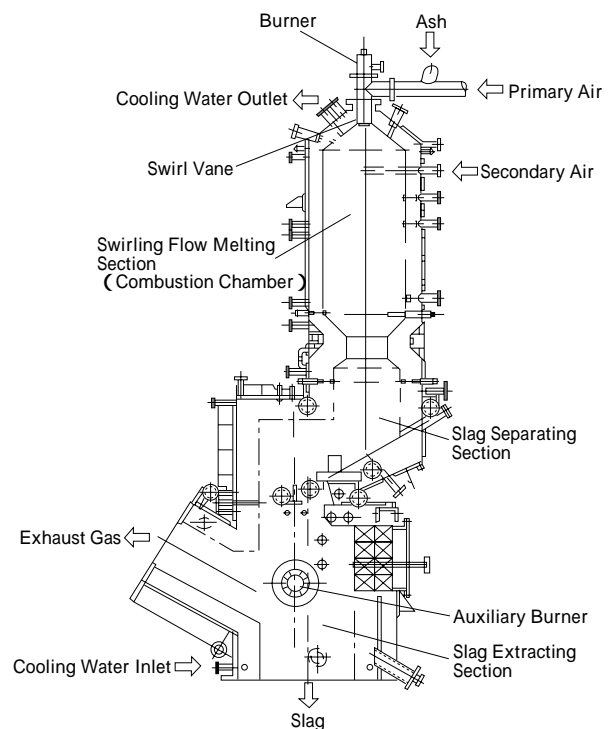
当社においては1986年度に溶融炉の開発に着手し、1990年4月に脱水ケーキ処理能力40t/dの商用第1号プラントを納入している。その後、大規模処理量に対応した大形炉の開発をおこない、その知見を生かして1996年9月には脱水ケーキ処理能力120t/dの国内最大級のプラントを納入した。本稿では当社における下水汚泥溶融炉の開発経緯と大形プラントにおける運転実績を報告する。

1. 下水汚泥溶融炉の概要

当社の開発した溶融炉は焼却灰を旋回流方式で炉内に導入し溶融する旋回流溶融炉であり、構造を第1図²⁾に示す。スラグの円滑な出滓をおこなうために円筒型としており、上部から旋回流溶融部、スラグ分離部、スラグ拔出部の順に構成されている。炉内は燃焼空気によって強い旋回流が形成されるとともに、補助燃料の燃焼によって灰の融点より100℃以上高温に維持されている。焼

却灰は燃焼空気とともに固気二相流として旋回を与えられて炉内に吹込まれると、瞬時に溶融し、旋回による遠心力によって炉壁に衝突する。その後、炉壁を融液となって流下し、スラグ分離部を通過する間に十分脱泡されたのち、炉下部から排出される。スラグはその冷却方法によって水砕スラグ、空冷スラグまたは徐冷スラグとして排出される。通常は空冷スラグを製造しているが、温度を制御しながら徐々に冷却することによって、岩石状に結晶化した徐冷スラグも実験的に製作している。

本炉の特長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とに分流し、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。



第1図 旋回流溶融炉の構造
Fig. 1 Schematic of swirling flow melting furnace

2. 大形化の方法

数値解析, コールドモデル, および脱水ケーキ処理量 50t/d (灰処理量 250~300kg/h) の実証プラントでえられた結果から, 最適な溶融炉内径, 一次・二次の空気配分, 一次空気旋回角度を決定し, それを商用 1 号の 40 t/d プラントに適用したが, さらに大規模な溶融システムに対応するため, 灰処理量 1 200kg/h の大形実証炉で試験をおこなった²⁾. 250kg/h 規模の実験において, 被溶融物処理量が溶融部容積に対してある値以上になると, スラグはポラスで強度の低いものになるという知見をえていたため, 溶融部容積を被溶融物処理量に比例させて大きくすることとし, 溶融部内径を 900mm に決定した。

炉内径が大きくなるほど粒子にはたらく遠心力が小さくなるため, とくに 2 μm 程度の微粒子では炉壁に衝突せず, 排ガスに随伴して炉外に飛び出す割合が増加し, スラグ化率が低下することが予想されたが, 数値解析の結果, 大形化による影響は少なく, スラグ化率の低下は数%程度にとどまることが予測された。そして, 実証試験においても 93.4% のスラグ化率がえられることが確認された。

3. 大形プラント運転データ

灰処理量 1 200kg/h の実証試験でえられた知見を生かして納入した, 脱水ケーキ処理量 120t/d の大形プラ



写真1 設備全景

Photo.1 Appearance of sewage sludge melting plant

トの運転データについて以下に述べる。

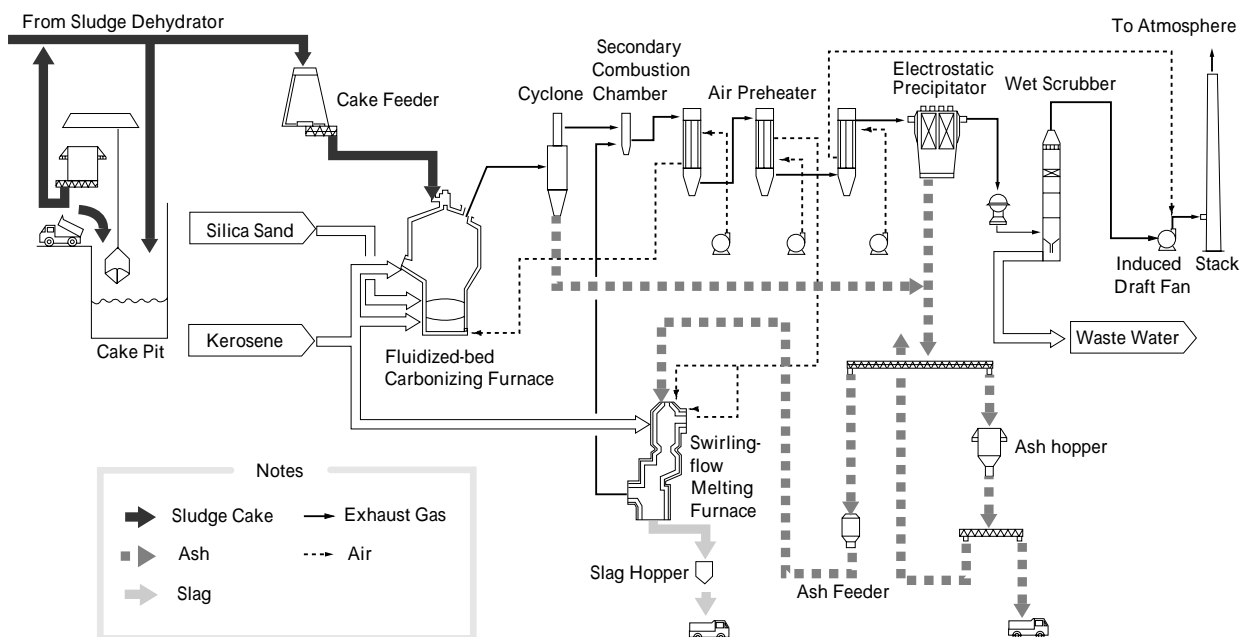
3.1 プラントの概要

120t/d プラントの外観を写真 1 に, フローシートを第 2 図に, 設備の仕様を第 1 表に示す。脱水ケーキはケーキホッパに貯留され, 定量的に切り出されて流動床式熱分解炉 (流動熱分解炉) へ供給される。熱分解炉では無機分は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, 溶融炉へ供給される。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

第 1 表 設備仕様

Table 1 Specification of plant

System	Swirling-flow Melting System after Carbonizing
Sludge	Filter-pressed Cake
Capacity	120t-cake / d (42t-DS / d)
Carbonizing Furnace	Fluidized Bed
Melting Furnace	Vertical Type Swirling-flow Furnace
Volume of Melting Section	1.48m ³
Size of Melting Section	950mm (I.D.)
Fuel	Kerosene
Slag	Air-cooled or Water-cooled



第 2 図 下水污泥溶融資源化プラントフローシート

Fig. 2 Schematic Diagram of sewage sludge melting plant

除去したうえで、煙突から大気放散する。

本プラントにおいては、乾燥させた脱水ケーキを溶融炉に供給する乾燥 - 溶融方式ではなく、熱分解 - 溶融方式を採用しているため、溶融の前処理は脱水ケーキの乾燥ではなく流動床炉での熱分解となる。そのためケーキの性状変動は熱分解炉で吸収され、溶融炉の安定な運転が可能となるほか、臭気の発生源である乾燥機が不要となる。また、本プラントにおいては灰の全量処理が可能であり、系外搬出の不要なシステムとなっている。

3.2 汚泥性状

本プラントでは、石灰系凝集剤を添加した加圧脱水汚泥を処理しており、その性状を第2表に示す。融点が高く、そのままでは溶融が困難であるため、融点の指標である塩基度(CaO/SiO₂)が0.8~1程度になるように、熱分解炉において珪砂を塩基度調整剤として添加している。

3.3 運転データ

本プラントの定格運転時における運転データを40t/dプラントのデータ³⁾と比較して第3表に示す。原単位はケーキ1tあたり、灯油76l、電力110kWh、塩基度調整剤(珪砂)63kgであった。補助燃料の使用量は同程度であったが、電力消費量は40t/dプラントにくらべて26%削減され、スケールアップの効果があらわれた。塩基度調整剤に関しては、安定な溶融状況を保つために脱水ケーキに対して6.3%添加しているが、現在その低減をめざして取り組んでいるところである。

本プラント全体における熱収支を第3図に示す。熱分解炉において脱水ケーキは補助燃料なしで燃焼しており、灯油による熱量の供給は溶融炉のみである。熱分解炉において必要な熱量のうち16%を、溶融炉において

第2表 汚泥性状

Table 2 Composition of sludge cake

Moisture Content	% WS	67.7
Combustible Content	% DS	67.51
Ash Content	% DS	32.49
Higher Calorific Value	kcal/kg DS	3170
SiO ₂	% DS	3.68
CaO	% DS	9.97
Al ₂ O ₃	% DS	4.80
Fe ₂ O ₃	% DS	5.71
MgO	% DS	2.97
Na ₂ O	% DS	0.46
K ₂ O	% DS	0.14
P ₂ O ₅	% DS	3.28
Melting Point		1576
Melt-flowing Point		1580
Basicity (CaO/SiO ₂)		2.7

第3表 運転データ

Table 3 Operating condition

		40t-cake/d Plant	120t-cake/d Plant
Fuel	l / t-cake	72	76
Electric Power	kWh / t-cake	150	110
Silica Sand	kg / t-cake	43	63

は14%をそれぞれ排ガスからの熱回収でまかなっており、燃料の節減を図っている。

3.4 排ガス性状

排ガス性状を第4表に示す。煙突排ガスは各項目とも目標値を十分に下まわっている。NO_xに関しては、熱分解炉を低空気比で、溶融炉も空気比1.2程度で運転し、二次燃焼室で未燃焼分を含んだ排ガスをトータルの

第4表 排ガス性状

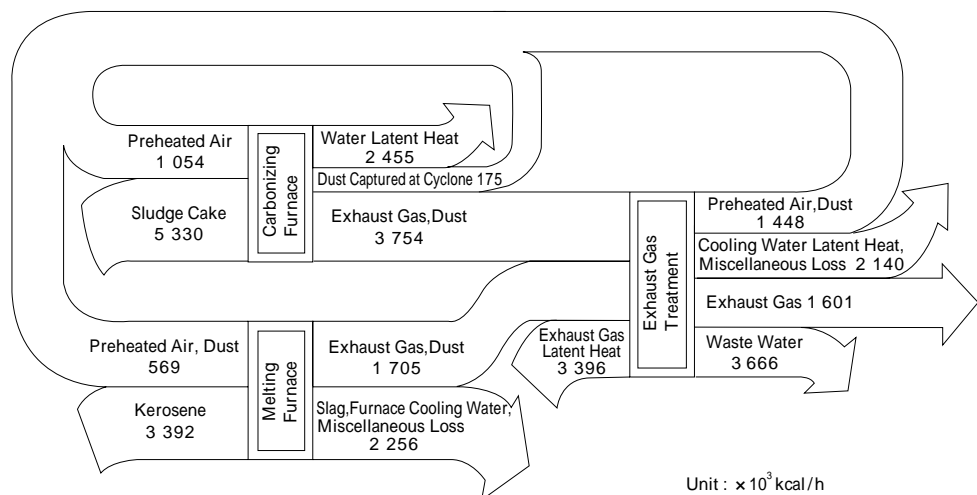
Table 4 Exhaust gas properties

	Carbonizing Furnace	Melting Furnace	Secondary Combustion Chamber	Stack
Dust g/m ³ * O ₂ 12%	15.1	2.61	5.06	0.004
NO _x ppm O ₂ 12%	32	84	54	55
SO _x ppm	14	984	21	12
HCl mg/m ³ * O ₂ 12%	120	313	189	<5
NH ₃ ppm	2.9	1.3	1.0	<0.5
HCN mg/m ³ *	0.3	<0.2	<0.2	<0.2
N ₂ O ppm	158	3	126	28
CO ppm O ₂ 12%	55	58	30	21

* at 0, 1013hPa

第3図 熱収支

Fig. 3 Heat balance



空気比 1.3 で緩慢に完全燃焼させているため、脱硝装置を設けずに、100ppm 以下 (O₂ 12% 換算値) を達成している。

3.5 溶融炉での重金属の挙動

汚泥に含まれている重金属は溶融処理によって大部分がスラグ中に固定される。第 4 図に溶融炉における重金属類の移行率を示す。

移行率 (%) =

$$\frac{\text{各成分ごとの溶融炉排ガスまたはスラグ中の総量(B)}}{\text{各成分ごとの被溶融物中の総量(A)}}$$

(A) : (被溶融物中の各成分濃度) × (被溶融物量)

(B) : (排ガス/スラグ中の各成分濃度) ×

(排ガス/スラグ発生量)

カドミウム、セレンなどの低沸点金属は大部分が揮散するが、銅、クロムなどは大部分がスラグ中に固定される。また、水銀に関しては溶融炉排ガスからは検出されたものの焼却灰中の濃度が検出限界以下であったため図中には表示していないが、全量が排ガス中に揮散すると考えられる。

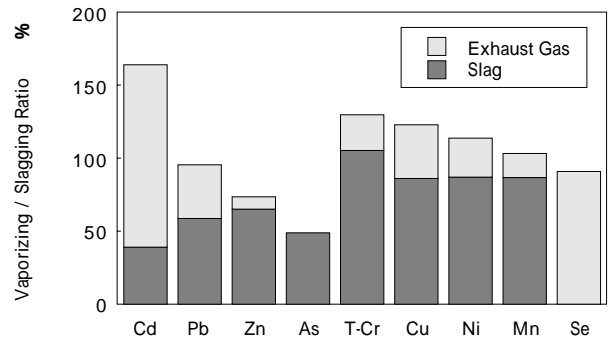
3.6 スラグ性状

第 5 表に環境庁告示 46 号にしたがって分析したスラグの溶出試験結果を示す。各項目とも土壌環境基準値以下となっており、一般土壌中における再生資材としての利用が可能であることが確認された。本施設で発生する空冷スラグは既報⁴⁾で述べたとおり、ヒューム管、インターロッキングブロックなどのコンクリート二次製品での利用が可能で、全量が有効に利用されている。

3.7 画像監視による制御

溶融炉の安定した運転を確保するためには、温度などのプロセス計測値だけでなく、溶融炉下部におけるスラグの流下状況の把握も重要であるため、本施設では「インテリジェント制御システム」⁵⁾⁶⁾を組んでいる。これは、スラグの流下状況の画像を取込みその特徴量を抽出し、プロセスデータと組み合わせることによって、溶融炉への燃料供給量あるいは被溶融物供給量を操作するものである。これによって、過剰な燃料の供給を防ぎながら、安定なスラグの排出を維持する効果があることが確認できている。

むすび = 当社の流動熱分解・溶融プロセスによって、下水汚泥は有価物であるスラグへと変換され、全量の資源化が可能となった。資源循環型社会を構築するためには廃棄物の発生抑制を第一に考えるべきであるが、下水汚



第 4 図 溶融炉での重金属の挙動

Fig. 4 Behavior of heavy metals in melting furnace

第 5 表 スラグ溶出試験結果

Table 5 Results of leaching test of slag Unit: mg/l

Item	Measured Value	Standard for Soil Contamination
Cd	< 0.01	< 0.01
Pb	< 0.01	< 0.01
Cr ⁶⁺	< 0.02	< 0.05
As	< 0.001	< 0.01
T-Hg	< 0.0005	< 0.0005
Se	< 0.005	< 0.01

泥は主として人間の生活にともなって排出されるものであるため、他の廃棄物と異なり発生の抑制が困難である。したがって、廃棄物を容易にリサイクル可能な形態へと転換する本プラントの果たす役割は大きいと考えている。今後は燃料および塩基度調整剤の原単位の低減に取組み、より一層環境負荷の低いプラントをめざしていきたい。

最後に、本開発の着手以来、関係各位から多大なご指導とご協力をいただいていることに対して深く感謝するものである。

参考文献

- 1) 平成 8 年日本の下水道, 建設省都市局下水道部 (1996) .
- 2) 吉ヶ江武男ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.43, No.2 (1993), p.71 .
- 3) 笠井利雄ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.43, No.2 (1993), p.67 .
- 4) 片山 学ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.46, No.3 (1996), p.27 .
- 5) 岡崎浩二ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.46, No.1 (1996), p.73 .
- 6) 前田知幸ほか: 第 34 回下水道研究発表会講演集, (1997), p.1019 .