ごみ焼却残渣溶融設備

金藤 紘一郎*

Ash Melting System and Reuse of Products

Koichiro Kinto

Synopsis

To form a resource recycling society , to extend the life of landfill sites and to decompose the PCDDs/DFs (Dioxins) , the melting process of municipal waste incinerator residue is estimated to be the best way of recycling products as resources.

This paper presents a recent application of an arc melting system and utilization of its products, and briefly introduces a fly ash melting technology by oxygen burner.

The arc melting process of fly ash mixed with bottom ash has been certified , and produced slag has been utilized as a fine aggregate of asphalt concrete.

【 1 . はじめに 】

ごみの焼却残渣(焼却灰および飛灰)は、現状ではほとんどが埋め立て処分されているが、1)埋立地の永続的確保が物理的に困難、2)埋立地の開設のための住民同意取付けが困難、3)埋立地の跡地利用のための地質の安全性確保が必要、4)平成6年度の埋立基準強化により、焼却灰でも鉛の溶出基準を達成できない場合があるなどの理由により、埋立処分には行き詰まりが見られるようになった。

また、特管物である集じん灰やその他ばいじん(以下飛灰と称す)も、セメント固化や薬剤処理では長期的な重金属の溶出防止効果には疑問が投げかけられており、飛灰に多く含まれているダイオキシン類(以下DXN's)

の無害化(期待値ごみ1t当たり5μg-TEQ以下)¹⁾と合せて、焼却残渣の溶融処理に期待がかけられている。

溶融固化法にはさまざまな方式があるが、実機が長期間経済的に、かつ安定運転できる方式を選定すべきである。さらに溶融生成物の資源化再利用が行えて、資源循環型社会の形成に役立つ方式が望ましい。本稿では、まず灰溶融方式の動向について概観した後、電気溶融で最も実績の多い当社のアーク式灰溶融固化技術と生成物資源化の現状、および最近開発した酸素バーナによる飛灰溶融固化技術について述べる。

1997年7月16日受付

* 大同特殊鋼(株)機械事業部(Machinery Div., Daido Steel Co., Ltd.)

2. 灰溶融方式の動向

2.1 ごみ焼却 + 灰溶融方式

2.1.1 熱源

従来は焼却量200t/日以下の焼却工場の灰溶融は、空気バーナを用いた燃焼溶融が多く用いられてきたが、燃料を多く用いることや、溶融温度が低くスラグ利用上の強度不足などの問題点が指摘され、酸素を用いるなどしてもっと高温で溶融する必要性への認識が高まっている。さらに、ごみのエネルギー利用促進の1つの形態(サマールリサイクル)として、発電高効率化開発が進められ、ごみ焼却量200t/日以上であれば、ごみ発電が可能になってきたので、新施設では電気溶融に主力が移ってきている。

電気溶融には、熱源の形態としてアーク炉、抵抗式、プラズマ式、誘導式などの方式があるが、単に熱源だけでなく、その他のプロセス条件(灰投入方法、炉内雰囲気、使用電極、作動ガス、溶融物排出および冷却固化法)との組合せによって、その方式の安全性、安定運転性、耐久性、運転維持コストなどが決まる。アーク式を除くその他方式の大部分は、いまだ実証および建設段階のものが多く、実機運転後でないと評価は定まらない。

2.1.2 溶融対象物

当初は、埋立処分地の延命のため焼却灰のみがほとんどであったが、飛灰が特管物およびDXN's抑制対象になったことから、飛灰と焼却灰の混合溶融が主流になりつつあり、流動床炉飛灰の単独溶融も実機が稼動を始めた。

また容器リサイクル法で引取先のない廃プラスチックや、粗大ごみ処理センターで発生する破碎ごみや、回収したフロンなどの焼却処理も溶融炉でというニーズも出てきており、この面で燃焼式溶融が見直されたり、ごみの熱分解溶融に期待がかけられたりしている。ごみの熱分解残渣溶融は、現在旋回流溶融方式を採っているメーカーが多い。

2.2 ごみ熱分解・溶融方式

最近再び各社でごみの熱分解と溶融を併せて行う方式の開発が進められており、回転ドラム式熱分解と旋回流溶融の組合せ方式は、実機化の段階に達している。この方式は、ごみの持つエネルギーの利用効率が高く、鉄やアルミのリサイクル率も大きいので、将来伸びてくると思われる。

3. アーク溶融プロセスの概要

アーク溶融は、鉄スクラップ溶解・精錬炉に使用されてきた製鋼用アーク炉を灰溶融に応用したものであるが、用途や取り扱うものが全く異なるため、設備や運転法は相当違っている。アーク式灰溶融では金属分の比較的多い焼却炉はもちろん、ストーカ炉や流動床炉の飛灰と焼却灰の混合灰も、連続的に安全・安定かつ低コストで処理できる。

3.1 アーク炉の構造と灰溶融方式

炉の構造をFig.1に示す。耐火物で内張りした炉に乾

燥した焼却残渣を投入し、人造黒鉛電極と溶融スラグの間に、3000～5000 のアークプラズマを生成し溶融する。1400～1600 の溶融スラグは連続的に出滓口堰から越流し水砕固化する。炉内には空気を吹き込み、DXN'sや未燃分を燃焼させるため、約1000～1300 の酸化雰囲気とし、排ガスは冷却後バグ集じんする。溶融スラグ上の灰厚みは薄く(灰カバリング無し)かつ、炉内雰囲気温度を高くして低沸点重金属や塩類を積極的に揮発させる。すなわち、スラグ中の低沸点重金属や塩類の含有量を極力少なくする溶融方式である。

3.2 灰の溶融過程

出滓口から離れた電極近傍に投入された灰は、アーク熱、炉内輻射熱、溶融物からの伝熱により加熱され、脱水、ガス化を経て焼結し、溶融へと進む。この間に低沸

点重金属や塩化物は気化（一部は溶融塩化）し、灰中の未燃分はガス化し炉内の空間で吹き込まれた空気により燃焼する。液相内では、灰中の化合物や各元素同士が酸化・還元しあって安定相へ移行し、比重の大きい金属はスラグ中を沈降しメタルに移行する。溶融した灰はスラグと称され、メタルと共に出滓口を経て自然流下する。灰層は上下から加熱され速やかに溶けるので、塩の蒸発が妨げられず溶融塩は生じにくい。揮散した低沸点重金属や塩は、排ガスの冷却と共に凝縮し溶融飛灰となり、バグフィルタで捕集される。

3.3 溶融方式の特徴

抵抗式やプラズマ式と異なり、灰処理を中止して溶融メタルを間欠的に抜き出さなくても安定運転でき、焼却灰と飛灰の混合溶融に適する。

電極が複数で熱分散が良く、灰カパリング層も薄いので、灰の加熱・溶融が速やかで、スラグに含まれる重金属や塩類が少ない。

熱慣性の大きい溶融プールを持ち、スラグの滞留時間がとれるので、スラグ組織の安定化がはかり易い。

3.4 溶融炉内雰囲気

還元雰囲気を採用すると、黒鉛電極の消耗率を半分以下に低減できるが、COやH₂Sを多量に含む有害ガスの漏洩や、炉内爆発の危険性があるため、あえて酸化性雰囲気としている。高温酸化性には、DXN'sを酸分解しやすい利点と、灰中の金属アルミの酸化熱を熱源として利用できるし、灰中に酸化鉄が残存してスラグの粘性が下がるので、出滓安定化のためにわざわざ石灰を添加する必要がない利点もある。

3.5 被溶融物の条件

原則として次のように制限している。これは、エネルギー使用量の低減、運転安定性の確保、搬送トラブルの低減、耐火物寿命の確保および良質のスラグ生成などのためである。

- ・水分：5%以下 ・粒度：30～100mm以下
- ・未燃分：3%以下 ・脱塩：飛灰の水洗不要
- ・メタル分：20%以下 ・塩基度：調整不要
- ・混合灰中の飛灰混合率

ストーカ炉で石灰使用の多い飛灰：30%以下

ストーカ炉で石灰使用の少ない飛灰：45%以下

流動床炉飛灰：75%以下

上記のようにアーク式では、飛灰の脱塩不要で、メタル分および飛灰混合率の許容値が大きい特長がある。

3.6 設備能力

乾灰換算で15～150t/日/基と適用範囲は広く、設備容量30/45/60/80/100/150t/日に標準化している。

3.7 運転操作性と管理

炉内に溶融物（スラグとメタル）のプールがあり、多少の灰質や灰量の変化があっても安定している。投入電力は投入灰量に応じた設定で運転し、消耗型熱電対を用いた間欠的なメタル測温により補正を加えている。メタル抜きや溶融塩を抜く操作は不要であるので、連続運転できる。

3.8 電源および電力制御

製鋼用スクラップ溶解用アーク炉は、バッチ処理で生産能力を重視し短時間で大電力を投入する。特に溶解期は、アークと短絡、解放の繰り返しで雷鳴音が大きく、フリッカ制御が必要である。しかし灰溶融炉は、連続的に灰が供給され、低電力でアーク切れの少ないフラットバス通電なので、炉前でも全くアーク音は聞こえず、電源フリッカも小さい。従って、特高受電であればもちろん、高圧受電であっても受電容量が特に小さい場合を除いては、フリッカ制御設備は不要である。

また、アーク式ではアークギャップのアーク抵抗の変化で、スラグの温度変化による通電抵抗変化を補償・吸収するため短絡が発生しにくいし、強いプラズマ風によってスラグが押しつけられてメタルが露出する状態も生じないので、通電不安定化や灰溶融効率低下の欠点もないため、間欠的にメタルを抜く必要はない。

溶融電力制御は、製鋼用アーク炉と同じく、負荷インピーダンス制御による電力制御であるが、スクラップ溶解と異なり、被溶融物の位置が急変しないので、電極速度、応答性などを緩和した小容量かつ簡単な装置でよい。

〔4. アーク式ごみ焼却灰溶融固化設備〕

4.1 実績

当社の実績をTable 1に示す。現在稼働中のものが5基、建設中のものは2基の計7基で、設備規模では最大シェアを占めている。稼働中のプラントは安定運転を続け、定期保全もルーチン化している。耐火物は、炉蓋以外はすべて空冷としているが、スラグラインが1～2年、炉床は2年、その他は4年以上の寿命があり、長期間休止しないで運転している。

1995年度の暦年ベース稼働率は、大田が63%、大宮が

Table 1. Bottom ash melting equipment of arc process.

	Customer	Actual operation start up	Incinerator capacity (t/d ×)	Melter capacity (t/d ×)	Melted materials
1.	OHTA IN TOKYO METROPOLITAN GOVERNMENT	1991. 4	1200 (200t/d × 6)	250 × 2	Bottom ash of combustible and incombustible waste
2.	OHMIYA SEIBU IN SAITAMA PREFECTURE	1993. 3	300 (100t/d × 3)	75 × 1	Bottom ash of combustible and crushed imcombustibles
3.	KOSHIGAYA IN SAITAMA PREFECTURE	1995.10	800 (200t/d × 4)	80 × 2	Bottom ash of combustible waste
4.	TAMAGAWA EISEI IN TOKYO METROPOLITAN GOVERNMENT	1998. 4	450 (150t/d × 3)	25 × 2	Bottom ash of incombustible waste

88%であった。大田は設備規模が大きく定修期間が長いのが、稼働率の低い主原因となっている。発生灰の溶融処理率は、大田は2炉を持つ強みを発揮し100%，大宮（1炉）で92%と高い。

用役の主要なものは電力と電極で次のようである。

電力使用量：溶融電力原単位は550～800kwh/乾灰トンで、スケールアップ効果が現れ、大田清掃工場が最も良い。

電極使用量：6～12kg/乾灰トンと、炉の定格容量に対する実運転量により差がある。

4 . 2 設備構成

一例として、大田清掃工場のものをFig.2に示す。設備は焼却灰の粉碎，磁選，乾燥，投入，溶融水砕，排ガス処理，溶融飛灰安定化，搬送，貯留，電源，制御および計装から成るプラントである。

5 . ごみ焼却飛灰溶融固化設備

5 . 1 飛灰の種類と性状

飛灰は焼却灰に比べ粒子が細かく、塩素・硫酸・低沸点重金属・ダイオキシン類の濃度が高い。

ごみ焼却施設の飛灰の種類は、当社調査によると大まかに次に示す三つに分類され、ごみ1t当たりの発生量もおのの異なる、従って性状も違う。

のストーカ炉の石灰吹き込み飛灰は、集じん機上流で石灰を吹き込みHClを中和するため、発生量と未反応石灰の含有量が増える。の湿式飛灰は集じん後HClを中和するため焼却施設からの発生分に等しく、塩基度は低い。の流動床飛灰は石灰に加え、本来焼却灰となるべきものが、流動のため吹き上げられて焼却灰より量が多くなっている。

ストーカ炉乾式脱HClは、未反応石灰分が多いため溶流点が高く溶融しにくい傾向があるが、ストーカ炉湿式脱HCl飛灰と流動床炉飛灰は比較的溶融しやすい。また、国内の焼却施設の割合は、> の順となっている。

Fig.2. Components of ash melting equipment.

なお、最近ダイオキシン対策などで導入されているバグフィルター灰は、EP灰より石灰分が多くなる傾向にあるが、公害規制の厳しい施設でのEP灰も同様に石灰分が多い。しかし、石灰の多用は飛灰溶融エネルギーを増大させるので、高比表面積消石灰への転換や、湿式排ガス処理を採用し、発生量と塩基度を低減することが望ましい。

5.2 飛灰と焼却灰の混合溶融

焼却灰は飛灰に比べ量が多いことから、埋立処分地の延命のため溶融固化し、資源化利用することは既に行われてきた。一方、飛灰に関しては、特管物対象の集じん灰のみならず、ボイラ灰にも相当の重金属が含まれるので、併せて無害・安定化することが望ましい。焼却灰と飛灰を混合溶融した方が、DXN's抑制などによる環境保全の面や、埋立処分地の水処理費用の低減や、埋立跡地の利用用途の拡大につながる便益も得られるというコンセンサスを得られつつあり、東京都は1997年5月に灰溶融施設導入検討委員会でこの方向を打出した。

5.3 アーク式混合溶融

5.3.1 プロセス条件

基本的には焼却灰溶融時と同じであるが、スラグを清浄にするため低沸点重金属や塩類の揮散促進をさらに強化している。

5.3.2 実証試験結果^{2), 3)}

Fig.3に示す能力3t/日の試験設備で、前出のすべての

飛灰について数ヶ月単位の連続運転(延べ6200h)により、焼却灰との混合溶融における物質・熱収支、排ガス性状、スラグ性状、設備耐久性などを確認した。

その結果、次の事項が実証できた。

珪酸分が多く含まれる焼却灰と、石灰分の多い飛灰を混合溶融すると、 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ などの共有化合物を生じ融点が下がり、溶融エネルギーの低減や耐火物寿命面でも効果がある。

混合灰中の飛灰混合率は、ストーカ炉乾式脱HCl飛灰では30%程度、ストーカ炉湿式脱HClでは45%程度、流動床炉飛灰では75%程度まで連続安定運転が可能である。

スラグへの重金属や塩素の含有量は、焼却灰単独時と変わらず、スラグの物理的強度も同等以上で、アスファルト加熱混合物細骨材などの土木資材に使えるめどが付いた。

溶融電力は、飛灰混合率30%時に約10～15%程度増加するのみで、電極、薬品などを含む運転費は焼却灰単独に比べ、約15%程度の増加に止まる。

排ガスの酸性ガス濃度は、焼却灰単独時の数百～数千倍となり、HClで10000ppm(O_2 12%換算)のオーダに達することもある。またClと SO_4^{2-} を多く含む飛灰の場合には、NaClからのHCl生成促進が確認された。

排ガス冷却に伴い析出する溶融飛灰によるダクト閉塞問題は、空気吹き込みによる希釈とクリーナ機構の工夫

Fig.3. Certifying equipment for fly ash melting with bottom ash.

により解決できた。

灰中のダイオキシン類は、Table 2に示すように、99%以上熱分解でき、スラグには皆無で溶融飛灰にもほ

Table 2. Reduction of PCDDs/DFs by Arc Melting

RUN	4	9
Ash (TEQ-ng/g)	1.03	2.5
Slag (TEQ-ng/g)	0.00	0.00
Condensate (TEQ-ng/g)	0.001	0.003
Outlet Gas of Bag-filter (TEQ-ng/m ³ N)	0.31	0.40
Efficient of Decomposition (%)	99.16	99.67

note : Ash is a mixture of 30%wt bag-filter ash and 70% bottom ash from municipal incinerator.

とんど含まれないので、有効利用する際にも安心である。

灰中に含まれる主要元素の溶融固化による移行率の例をFig.4に示す。これは、ストーカ炉飛灰30%と焼却灰

Fig.4. Transfer ratio of elements.

70%を混合溶融した時のもので、各元素がスラグ、メタル、溶融飛灰(ダスト)および排ガスにどのように分配されたかを示すものである。Ca, Si, Al, Mgはほとんどがスラグへ、Fe, Cu, Pはメタルとスラグへ、Na, K, Cl, S, Pb, Znは大部分が溶融飛灰へ移行する。このよ

うに灰溶融は一種の元素分離操作を行うプロセスともいえ、特に温度により移行率が支配される。

5.3.3 実機試験結果

能力75t/日の実機で、1997年4月中旬から約3ヶ月間、消石灰添加のないEP集じん灰約12%と焼却灰の混合溶融連続を行い、焼却灰単独溶融用に設計した設備への影響を調査した。まだ詳細な解析はできていないが、溶融電力やスラグと溶融飛灰発生率には余り変化がなく、排ガスダクトの詰まりは発生せず、排ガスHClは180ppm(O₂ 12%換算)以下であることなどが分かっている。

5.4 酸素バーナ式飛灰単独溶融

5.4.1 プロセスの概要

ごみ焼却施設規模が小さく、アーク溶融のためのごみ発電電力が確保できない場合や、特管物である集じん灰(飛灰)のみを溶融固化して、減容化と環境への負荷低減を図るニーズに応えるため、燃焼式でかつ高温溶融できる方式として開発したものである。Fig.5に1.2t/日実験設備のフローを示す。飛灰は輸送ラインへの詰まり予防のため、目開き1.6mmの振動篩を通った後、定量切出装置底部から飛灰用に日本酸素(株)と共同で開発した酸素バーナに気流輸送され、火炎中を通過しつつ溶融し、底部のプール内で溶融を完結後排出され水砕スラグになる。排ガスは炉出口で空気を吹き込み急冷し、生成した溶融飛灰をバグフィルタで捕集した後、苛性ソーダによる排ガス洗浄装置でHCl, SO_x, Hgを吸収している。燃料は主として灯油とし、液化酸素を気化させた酸素を用いた。

5.4.2 試験結果

溶融状況

従来溶融困難とされていた融点1500 超の消石灰の多い飛灰も溶融できた。しかし、高塩基度のため少し温度が下がると粘性が上がるので、高温維持が必要であった。一方、消石灰量を低減した飛灰は融点、溶流点とも大幅に下がったので、余り高温にしなくても出滓性は良好であった。なお、バーナ火炎中でCa化合物が揮散したためか、飛灰に比べてスラグの塩基度が下がり、溶融を容易にする方向に働いていることが分かった。

物質収支

マクロ的な物質収支はTable 3のようになり、スラグを全量有効利用すると減容比は約1/10になる。

Fig.5. Components of fly ash melting equipment.

Fly Ash	IN	OUT		
	Fly Ash	Slag	Condensate	Gas
Stoker F'ce	100	56	28	Bal.
Fluidized Bed	100	69	18	Bal.

熱原単位
このテスト炉での熱原単位は300万kcal/灰tであるが、20t/日の実機では150万kcal/t以下になると推定される。
DXN'sの熱分解率
2000 以上の火災中を通過するため、飛灰中のDXN'sは99.7%分解され、Table 4に示すように溶融生成物中の

Table 4. Reduction of PCDDs/DFs by Oxygen

	Fly Ash	Slag	Condensate	Gas
DXN's,TEQ-ng/g	3.0	0.00019	0.012	2.6
				TEQ-ng/m³N
(Mass Balance)	100	0.00	0.11	0.19

残存量は極めて少なく、環境への蓄積防止に役立つ。排ガス中DXN'sの低減が今後の課題である。

6 . アーク式溶融での溶融生成物の資源化利用

6 . 1 溶融生成物の種類と発生量
溶融生成物には、スラグ、メタルおよび溶融飛灰(溶融炉排ガス冷却時に析出し、ダクトや集じん機で捕集された微粒粉じん)、排ガスおよび排水処理汚泥がある。スラグ(メタルを含む)と溶融飛灰の発生比率は、灰成分

や飛灰混合率により変わるが、実証試験データでは Fig.6のようになった。

Fig.6. Slag and dust production ratio.

6 . 2 溶融スラグの資源化利用
6 . 2 . 1 発生量

稼動中の実機の1996年度の水砕スラグ発生量をTable 5に示す。ただし、スラグ重量には約10%の水砕メタルが含まれている。

Table 5. Slag production and ratio.

Plant	Production(t/y)	Slag/ash(%)
Ohta	51,730	about 90
Ohmiya Seibu	7,410	about 92

note : production contains about 10% metals.

6 . 2 . 2 資源化利用の状況
今までに試行された溶融スラグの利用先をTable 6に示す。当初はPR効果の大きいタイルやブロックなどの二次製品からスタートし、次第に需要量の大きいアスフ

Trial purposes			used plant
figure	purposes	products	
precast product for civil or construction work	precast concrete	Interlocking block Asphalt block Cement concrete plate Resin concrete plate tetrapod	Ohta , Ariake incine. plant Ohta incine.plant Nanasato final disposal site Front area of Ohmiya station Wakasu sea shore
	sintered product	Permeable plant	Nanasato final disposal site
raw material for civil or construction work	road bed	Lower sub base	Kohtoh incine. plant
	asphalt pavement	Fine aggregate of asphalt concrete	Setagaya incine. plant Nanasato final disposal plant
	geologic improvement	sand pile,sand drain	Nakasio bridge
	sewage piping fill in	Fill in aggregate	Ohmiya Seibu incine. Plant
others	cement material	silica , clay and iron oxide alternative	A certain company

ァルト舗装材などの土木資材一次製品(砂の代用)としての利用へ向かっている．いずれの試行も問題は発生していない．

有効利用試行量は，1994年度で大田清掃工場が7810tである．大宮市西部環境センターは1995年度で3330tである．

6．2．3 水砕スラグの物理性状

Table 7にストーカ炉飛灰を30％混合溶融した水砕スラグを磁選および粉砕加工したものの性状を示す．磁選によりスラグ中のメタルは，0.5％以下になり，針状スラグも粉砕されスラグ粒子自体の強度も上がるので，アスファルト用細骨材の25％程度はスラグで置換できる．

6．2．4 スラグの化学的安定性

Table 8に当社の実証試験炉での飛灰混合溶融時の重金属の溶出試験データを示す．アーク溶融では飛灰混合溶融スラグは焼却灰単独溶融スラグと同等の化学的安定性を示し，規制値をクリアーしている．ただし，十分な電力投入を行う必要がある．

6．3 溶融メタルの資源化利用

6．3．1 メタルの発生量

メタルは，本来はごみ焼却前に完全な分別回収が望ましいが，実際には相当の金属分が焼却灰に含まれ，焼却灰中のメタル分は分別ごみでは約25％，一般可燃ごみでも5～15％に達する．実機では水砕メタルの発生量は出滓量の5～15％程度である．

Table 7. Physical test result.

Fly ash rate	30%
Apparent S. Gravity(-)	3.015
Surface S. gravity(-)	1.006
Buck density(-)	3.003
Water adsorption(%)	0.13
Metal content(%)	0.30
Passing weight(%)	
19 mm	-
13.2 mm	-
9.5 mm	-
4.75 mm	100
2.36 mm	98.5
1.18 mm	81.2
0.60 mm	46.1
0.30 mm	22.2
0.15 mm	8.2
0.075 mm	3.3
Fineness modulus(%)	2.44
Modified CBR	26

Index of particle size.
(The smaller, the finer.)

Table 8. Elution test result.

Method	Notice 46 by EPA, Japan		Notice 13 by EPA, Japan	
Fly ash rate	30%	0%	30%	0%
Pb (mg/l)	0.001	0.001	0.009	0.014
Zn (mg/l)	<0.01	<0.01	0.04	0.04
Cu (mg/l)	<0.01	<0.01	0.22	0.16
Cr ⁺⁶ (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cd (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

6．3．2 資源化利用の状況

溶融メタルの主成分は，Fe，Cu，Siで，Feが70％強，Cu，Siがおのおの数％～10％程度含まれ，他にC，P，S，Ni，Crなどが少量含まれる．資源化利用は**Table 9**に示すように，現状は重錘用が主であるが，将来は製錬原料

Purpose		Conditions	Situation
Present	Balance weight of Construction machine (Concrete with cement)	figure : granular unit weight : 3.0over	In actual use Small particle is better
Future	Iron material for lead electic.	Cu : 10% under figure : granular	Applicable but reduce efficiency Need to improve Cu recovery in waste
	Iron material for copper converter	Cu : 10 under figure : 30cm under	Applicable but reduce efficiency Need to improve Cu recovery in waste

へも適用したいので、引き続き非鉄製錬メーカーの協力をお願いしている。

6.4 溶融飛灰の資源化利用

6.4.1 溶融飛灰の発生量と成分

溶融飛灰の発生量は、投入灰（乾灰）1tに対し、焼却灰単独溶融時約0.04tで、飛灰混合率が上がるにつれ発生比が増え、飛灰混合率30%では0.06～0.10t程度となる。

成分は手持ちのデータではNa, K, Cl, SO_4^{2-} , Zn, Pb, Cu, Si, Al, Ca, Mgなどが含まれ、Na：10～20%、K：5～16%、Cl：2～40%、 SO_4^{2-} ：1～15%、Pb：1～6%、Zn：3～19%と相当ばらつきがある。

6.4.2 溶融飛灰の資源化利用研究状況

溶融飛灰には、PbやZnが多く含まれ、これを埋立処分する際には安定化と埋立後の管理に注意を払う必要がある。将来的には埋立よりも資源化リサイクルにより、人間の管理下で使用する方が望ましいので、非鉄製錬原料への資源化研究を行っている。

すべての製錬所では、目的とする金属以外は不純物扱いとなり、この不純物除去工程に大きな負担をかけることは許されず、また塩素などのハロゲンは設備を腐食するため低レベルに押さえる必要がある。従って、資源化プロセスは、Pb, Znを分離して濃縮し、得られた産物中の塩素濃度を許容値以下にできるものを採用する必要がある。一例として、アーク式で飛灰と焼却灰を混合溶融し、その溶融飛灰から同和鉱業（株）が開発した湿式処理法にてPb, Znを分離回収する方式がある。

第一段階の溶融プロセスは揮散促進で、飛灰中の塩素を利用して灰溶融炉で低沸点重金属を塩化揮発し、排ガスを冷却して析出した溶融飛灰をバグフィルターにて捕集する方式である。

次の段階の湿式処理は、Fig.7に示すもので、初めに酸溶液で溶融飛灰を浸出し、Zn, Cuなどを液相に移行し、難溶性のPb化合物を固液分離後、次の中和工程でZn, Cuなどを水酸化物化、残りを硫化物とし固液分離し、排水中への重金属移行を抑える方式である。

この方式の実験プラントで溶融飛灰を処理した結果、生成した鉛に富む産物と、亜鉛に富む産物は原料としてリサイクルが可能であり、排水は基準値をクリアするという成果が得られている。

7. 今後の技術開発課題

7.1 ごみ処理施策全体からの最適化への取組み

灰溶融はごみ焼却過程、さらにはごみ分別収集形態の影響を強く受け、最終処分へ影響を及ぼす位置にあり、ごみ処理施策全体から最適化を考慮すべき施設である。

すなわち、経済的に安定した灰溶融を行うために、溶融施設やその生成物理由面から望ましい焼却施設や、ごみ収集形態を考えるべき段階に来ているといえよう。

特に、飛灰溶融に当たっては、焼却灰と飛灰の分離排出、焼却灰の乾灰取り出し、焼却排ガスの湿式脱HCl法などが、運転費や設備費の低減に必要である。また、ダイオキシン低減のため集じん前への活性炭吹き込みや、珪藻土などの添加が行われようとしているが、これらは飛灰に入ってくるので、これらが必須であるか十分に検討すべきである。さらにRDFにおいても、その焼却残渣溶融固化が必要と思われるので、添加する石灰を最小限にしないと、溶融量が増え不経済になるので注意が必要である。

7.2 飛灰溶融処理システムの確立

アーク式および酸素バーナ式の実機化によりシステムを確立したい。溶融処理システムは、単に安全かつ安定的に溶融処理するだけでなく、溶融生成物の再利用を含めた形で確立する必要がある。従って、生成するスラグ、メタルの有効利用のための加工技術の最適化のみならず、溶融飛灰からの重金属回収プロセスの確立とそのコスト低廉化が必要である。なお、溶融生成物利用については、リサイクルを制度的に促進する助成システムの構築も併せて作り上げる必要がある。

また、本稿ではハードの方は触れなかったが、基本計画で焼却灰単独溶融で設計・製作した施設は、特に排ガス処理系が飛灰混合溶融へは容易に転換できないと思わ

れるので、計画時に十分な情報が自治体側にインプットされるようにしたい。

8 . おわりに

灰溶融技術はさらに改良・改善すべき点が残っており、今後とも自治体や関係機関、関連メーカーのご協力により、技術の向上と溶融生成物利用促進を図りたいと考えている。また、ごみの持つエネルギーを最大限利用できる熱分解・溶融技術に取り組みたいと考えている。

(文 献)

- 1) 厚生省水道環境部環境整備課：ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止などガイドラインについて(1997.1.23)
- 2) 古角雅行，金藤紘一郎 他：廃棄物学会第7回研究発表会講演論文集(1996)，451
- 3) 古角雅行，比屋根均 他：廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集(1995)，384