

[調査報告]

焼却残渣の処理及び有効性に関する考察

Consideration on processing of incineration ashes and their availability

古保里 俊夫*、土 谷 光重*

Toshio KOBORI, Mitsushige TSUCHIYA

【要 約】焼却残渣の処理及び有効性について、近年の取り組みの現状を調査するとともに課題を抽出し、将来動向について考察した。

現在まで、「溶融固化」を主体とした処理及び有効利用システムの構築が進められてきたが、溶融スラグの資源化の進捗と共に、「焼結」、「養生」、「洗浄」、「エコセメント」、「山元還元」等の新しいシステムも試行又は実用化されている。

今後は、環境JISの制定により溶融スラグやエコセメントを中心とした処理・資源化が主体となると考えられるが、将来的には溶融スラグの供給過剰、建設系廃棄物との競合により、地理的には需給バランスが悪化する恐れがあること、環境負荷や地球環境保全の面から、将来的にエネルギー多消費型（高温加熱型）リサイクルから省エネルギー型（低温型）リサイクルへの移行へのニーズが高まることが予想される。このため、今後、焼却残渣の処理システムの導入を検討する場合は、導入可能な種々の処理システムについて環境負荷、経済性、地理的特性、リサイクルの進捗状況及び再利用先の安定性等を総合的に比較・検討し、地域に最も適したシステムを単独又は組合せて構築することが必要になると考えられた。

キーワード：焼却残渣、溶融スラグ、焼結、養生、洗浄、エコセメント、山元還元

1.はじめに

一般廃棄物の焼却残渣（焼却灰、飛灰）の処理については、従来、焼却灰は直接埋立処分し、飛灰は薬剤処理等を行った後に埋立処分する方法が主体であったが、近年は最終処分場の立地難や安全性への不安の高まりなどを背景として、溶融固化を主体とした施設整備が進められてきた。一方、

- ・溶融スラグの有効利用が必ずしも順調ではないこと
- ・溶融コストが高く且つエネルギー使用量が多いため、溶融固化までは必要ないのではないかという考え方もあること

を背景として、溶融固化以外の方法についても、様々な新しい取り組みが試みられている。それらの概要是図-1にまとめたとおりである。

「溶融固化」については、灰溶融による場合とガス化溶融による場合があるが、今回、筆者らが実施

したメーカアンケート調査によると、平成19年度竣工予定までの累計では施設数はほぼ同程度になると予想されるが、灰処理能力に換算してみると、灰溶融炉の方がガス化溶融炉より4倍程度多くなると予想される（図-2参照）。

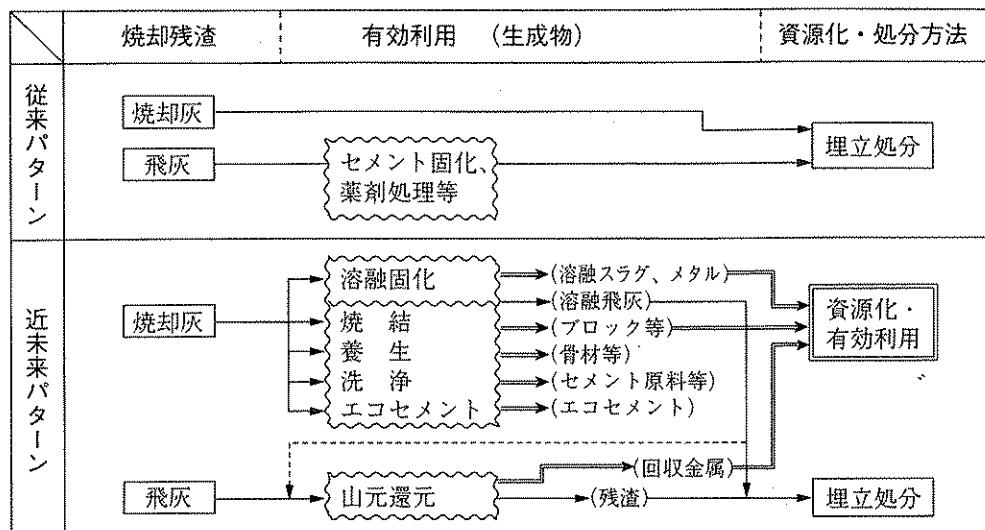
スラグ発生量については、「エコスラグ利用普及センター」が、平成26年度までのスラグ発生量を予測しているが、平成12年度では約14万t／年、平成26年度では約100万t／年に達するとしている（図-3参照）。

なお、焼却炉、ガス化溶融炉の建設動向（受注件数）は、図-4のとおりであり、平成12～14年度にかけてはガス化溶融炉の受注件数が、焼却炉と同程度になっている。

「エコセメント」については、平成14年7月にエコセメントに関するJIS規格が制定され、需要の増加が期待されるとともに、市原市（千葉県）、熊谷市（埼玉県）でエコセメント工場等が稼働を開始しており、三多摩地域廃棄物広域処分組合（東京都）においても建設設計画が進行中である。

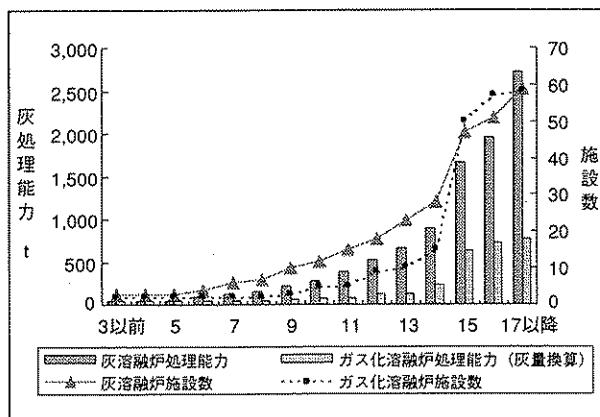
「焼結」については、船橋市（群馬県）で焼却灰を焼結ブロック化している実績があり、実用化に

* (財)日本環境衛生センター西日本支局環境工学部
Dept. of Environmental Engineering, West Branch,
JESC



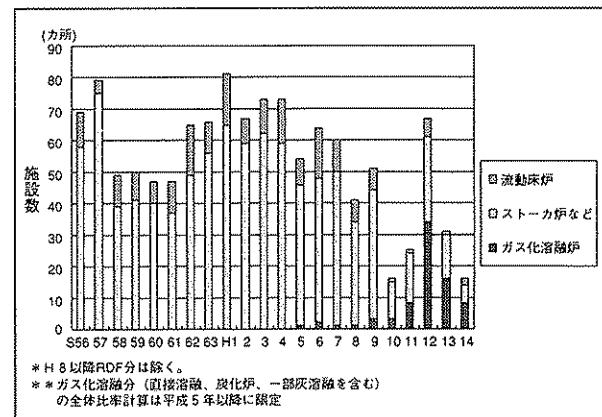
※1) 溶融固化には、焼却灰を対象とする灰溶融方式と直接溶融するガス化溶融方式がある。

図一1 従来パターンと近未来パターンの比較

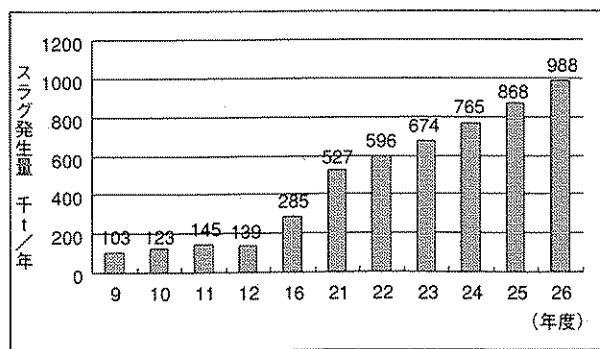


図一2 灰処理施設能力及び施設数の累計

※) メーカアンケート調査結果よりガス化溶融施設能力（灰量換算）は、施設規模に灰分8%相当を乗じて算出した。



図一4 焼却炉、ガス化溶融炉の建設動向（受注件数）²⁾



図一3 溶融スラグ発生量の予測¹⁾

向けた試験・研究も行われている。

その他、「養生」、「洗浄」等についても実用化に向けた試験・研究が行われている。

飛灰については、既存の精錬工場を活用した「山元還元」が実用化の段階に入っており、最終処分場の立地が困難な自治体から注目されている。

本稿では、これらの焼却残渣の処理及び有効利用について、近年の取り組みの現状と課題を述べることとする。

2. 溶融固化

2.1 システムの概要

焼却残渣を概ね 1,200°C 以上の高温で加熱処理し溶融固化する技術であり、処理方式としては従来型の焼却施設に灰溶融炉を設置する場合と、ガス化溶融炉で直接溶融する場合がある。これらは、電気や燃料の熱エネルギー源や炉形式により幾つかの方式に区分される。また、溶融スラグは、製造方法や冷却方式により水碎スラグ、空冷スラグ、徐冷スラグに分類され、その特徴は表-1 及び以下のようにある。

(利点)

溶融固化の利点としては、以下の点が知られている。

- ・ダイオキシン類総排出量が低減できること
- ・溶融スラグを有効利用することにより最終処分場の延命化を図ることができること

(課題)

溶融固化の課題としては、以下の点が上げられる。

- ・灰溶融炉、ガス化溶融炉の建設により、溶融スラグの過剰供給の恐れがある。^{3), 4)}
- ・公共事業等需要サイドに対する季節変動への対応が必要になる。^{3), 5)}
- ・安全性の確保の面から、溶融スラグ中重金属類の長期的な溶出防止対策、溶出した場合の安全対策の確保が必要である。⁶⁾
- ・溶融スラグ中の重金属類含有量の減少に関する検討も必要である。
- ・エネルギー多消費型のプラントであるため、エネルギー消費量の更なる減少に向けた技術開発が必要である。

なお、灰溶融炉、ガス化溶融炉を建設しているプラントメーカーにアンケート調査を実施した結果、上記以外に得られた課題は次のとおりである。

表-1 溶融スラグの製造方法と有効利用に当たっての特徴¹⁾

		水碎スラグ	空冷スラグ	徐冷スラグ
製造方法		・水碎スラグは、溶融スラグを冷却水槽に直接落下させ急冷固化、細粒化して製造する。	・空冷スラグは、溶融スラグを鉄製の搬送コンベヤまたはモールドに受け、空気中で放冷して作られる。	・徐冷スラグは、溶融スラグを一定量モールドに受け、保温室を経由して排出することにより作られる。
冷却方法		・溶融スラグを水中に直接投入して急冷・固化する。	・溶融スラグを大気中に放置して自然冷却・固化する。	・溶融スラグの冷却温度を制御して充分な時間を取り、結晶化を促進させる。
有効利用に当たっての特徴	長 所	①砂状のため、ハンドリングが容易である。 ②スラグとメタルの分離がよい。 ③水碎スラグのまま、あるいは磁選、破碎処理等により土木建築分野で細骨材の代替材として利用可能である。	①スラグとメタルが溶融状態で冷却前に分離している場合が多く、空冷後メタルを分離する必要がない。 ②高温から冷却するため、水碎スラグに比べて強度が大きい。 ③破碎した後、粒度調整すれば路盤材等の再利用が可能となる。	①高温から保温することにより結晶化が進んでいるので、空冷スラグに比べて強度が大きい。 ②高温から徐冷するため、天然骨材とほぼ同等の物性をもつ徐冷スラグが製造でき、再利用用途も広がると言える。
	短 所	①急冷固化するため水碎スラグはガラス質であり、ひび割れが認められ天然砂と比較して脆い。 ②溶融液の粘性が高い場合や溶融炉内温度が低い場合に、水碎スラグの一部が針状になる。	①比較的粒度が粗く、細骨材や砂の代用として利用するためには破碎処理を必要とする。	①常に同一結晶度を持ったスラグを製造することは困難である。
外 観 (調整前)				

設備の耐久性、メンテナンス性、
水質管理、スラグの整形、粒度調整、
金属類（鉄、銅等）の分離

2. 2 有効利用の現状

溶融スラグの有効利用の現状について、プラントメーカーに対してアンケート調査を実施した結果は表-2のとおりである。溶融スラグを全量再利用又は一部再利用している施設数は、灰溶融炉が 59 施設中 12 施設、ガス化溶融炉が 57 施設中 33 施設となっている。このことから灰溶融炉の溶融スラグの再利用は必ずしも順調とは言えない状況である。

なお、本アンケート調査の概要は以下のとおりである。

対象：灰溶融炉又はガス化溶融炉の建設実績・受注実績のあるプラントメーカー 14 社を対象とし、そのうち 13 社より回答が得られた。
調査期間：平成 14 年 10 ~ 11 月
調査項目：
 ①溶融固化施設の建設実績、受注実績
 ②溶融スラグ再利用の有無、再利用用途の現状
 ③スラグ冷却方法に関する考え方
 ④今後の技術開発・取り組み

表-2 溶融固化施設の建設実績、受注実績とスラグ再利用の有無

		開発機種数 (メーカー数)	施設数 ※1) <下段: うち空冷スラグ>			再利用の有無 ※1, 2) <下段: うち空冷スラグ>			
			~ H15. 3 竣工	H15. 4 ~ H19. 3	計	全量	一部	無し	検討中
灰溶融炉	燃料	灯油（重油）溶融	6 <->	20 <1>	1 <1>	21 <->	1 <->	1 <->	14 <1>
		コークス溶融	1 <->	1 <->	- <->	1 <->	1 <->	- <->	- <->
		その他燃料溶融 (酸素等)	2 <->	- <->	- <->	- <->	- <->	- <->	- <->
	電気	プラズマ加熱 (アーク加熱を含む)	7 <6>	23 <->	10 <->	33 <6>	4 <->	3 <1>	12 <->
		電気抵抗加熱	1 <2>	3 <2>	1 <->	4 <2>	2 <2>	- <->	1 <->
		小計	17 (11 社)	47 <8>	12 <1>	59 <9>	8 <2>	4 <1>	27 <->
ガス化溶融炉		シャフト式	5 <->	25 <->	3 <->	28 <->	14 <->	2 <->	1 <->
		キルン式	3 <->	10 <->	- <->	10 <->	4 <->	- <->	3 <->
		流動式	6 <->	15 <->	3 <->	18 <->	13 <->	- <->	1 <->
		ガス化改質	1 <->	- <->	1 <->	1 <->	- <->	- <->	1 <->
小計		15 (13 社)	50 <->	7 <->	57 <->	31 <->	2 <->	5 <->	19 <->
合計		32 (13 社)	97 <8>	19 <1>	116 <9>	39 <2>	6 <1>	32 <->	38 <6>

※1) メーカー調査結果：一般廃棄物を対象とした溶融固化施設を集計した。

<> 内の数値は、溶融スラグ中の空冷スラグを示す。空冷スラグを差し引いた数値が水碎スラグとなる。なお、各社とも徐冷スラグの実績はない。

※2) 再利用の有無については、確定しているものののみ集計し、現在未定のものは検討中とした。

表-3 溶融スラグ再利用用途の現状（施設数、複数回答）

再利用用途		灰溶融炉	ガス化溶融炉	計	標準化
一次 資 材	路盤材・路床材	9	4	13	-
	アスコン骨材	4	5	19	(道路用溶融スラグ骨材)
	コンクリート骨材	4	3	7	(コンクリート用溶融スラグ細骨材)
	埋戻・覆土・盛土材	3	5	8	-
	その他	6	6	12	-
二次 資 材	インターロッキングブロック	2	17	19	-
	コンクリート平板	1	9	10	-
	ブロック材	-	13	13	-
	ヒューム管	-	1	1	-
	その他	3	6	9	-

※) メーカアンケート調査結果：表中の数値は回答のあった施設数（複数回答）を示す。

2. 2. 1 溶融スラグの規格化及び標準化

溶融スラグの再利用を促進させるためには、社会制度的に受け入れられるように規格化及び標準化を行うことが必要である。

溶融スラグの標準化については、下記の2つが平成14年7月20日に標準報告書（TR）として制定され、TRの制定から3年後にはJIS規格化される予定である。このほかに、現在、日本工業標準調査会の専門WGでスラグ使用時における安全性を評価することを目的とした「スラグの化学物質試験評価方法⁷⁾」が平成16年度の制定に向けて検討されている。

標準報告書（TR）に規定された溶融スラグの性状については、溶出特性の面からの規格値は表-4、有効利用、強度の面からの規格値は表-5のとおりである。資源化する場合には用途に応じた規格値に適合させることが必要になる。

なお、国・自治体の溶融スラグの有効利用に係る指針等の溶出基準等の設定状況をまとめると表-6のとおりであり、東京都、埼玉県は重金属の溶出量だけでなく含有量についても規定している。

<標準報告書：TR（テクニカルレポート）>

一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いた
コンクリート用細骨材
(コンクリート用溶融スラグ細骨材)
TR A 0016:2002
MS：細骨材（一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化施設
より有効利用を目的に算出される溶融物を冷却固
化し、粒度調整したもの）

一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いた
道路用骨材
(道路用溶融スラグ骨材)
TR A 0017:2002
SM：単粒度溶融固化骨材（徐冷固化物）
FM：溶融固化細骨材（水碎固化物、徐冷固化物）
MM：粒度調整溶融固化骨材（徐冷固化物）
CM：クラッシャラン溶融固化骨材（徐冷固化物）

表-4 溶融スラグ溶出特性の面からの規格値

項目	コンクリート用溶融スラグ細骨材		道路用溶融スラグ骨材			
	MS		SM	FM	MM	CM
溶出量	カドミウム mg/l	0.01 以下		同左		
	鉛 mg/l	0.01 以下		同左		
	六価クロム mg/l	0.05 以下		同左		
	ひ素 mg/l	0.01 以下		同左		
	総水銀 mg/l	0.0005 以下		同左		
	セレン mg/l	0.01 以下		同左		

※) 「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について」(平成 10 年 3 月 26 日厚生省通知、生衛発第 508 号)における一般廃棄物の溶融固化物に係る目標基準の設定値と同値である。

表-5 溶融スラグ有効利用、強度の面からの規格値

項目	コンクリート用溶融スラグ細骨材		道路用溶融スラグ骨材			
	MS		SM	FM	MM	CM
外観	-		良			
化学成分	酸化カルシウム (CaO) %	45.0 以下				-
	全硫黄 (S) %	2.0 以下				-
	三酸化硫黄 (SO ₃) %	0.5 以下				-
	金属アルミニウム %	モルタルの膨張率 2.0 以下				-
	金属鉄 (Fe) %	1.0 以下			同左	
	塩化物量 (NaCl) %	0.04 以下				-
粒度分布 (呼び名を示す)	MS5, MS2.5, MS1.2, MS-5-0.3		SM-20 SM-13 SM-5	FM-2.5 MM-30 MM-25	MM-40 CM-30 CM-20	CM-40
絶乾密度 g/cm ³	2.5 以上		2.45 以上			-
吸水率 %	3.0 以下		3.0 以下			
安定性 %	10 以下					-
粒形判定実積率 %	53 以上					-
微粒分量 %	7.0 (5.0) *1) 以下					-
粗粒率 %	購入契約時に定められた粗粒率の ± 0.20 以下					-
アルカリシリカ反応性	モルタリバー法 迅速法	試験を行った場合のみ、判定結果を A 又は B を記入する。				-
単位容積質量 kg/l	-		-		1.5 以上	
修正 CBR %	-		-		() *2)	
すりへり減量 %	-		30 以下	-	50 以下	-

*1) コンクリートの表面がすりへり作用を受けるものは 5.0% 以下とする。

*2) 受渡当事者間の協定によって、検査の一部を省略できる。

表一 6 国・自治体の溶融スラグ有効利用に係る指針等の溶出基準等設定状況

	溶出基準 (単位:m g/l)	含有量基準 (単位:mg/kg)																					
① 環境省(旧厚生省) 一般廃棄物の溶融固化物の 再生利用に関する指針 (H10.3.26)	<table border="1"> <tr><td>カドミウム</td><td>0.01以下</td></tr> <tr><td>鉛</td><td>0.01以下</td></tr> <tr><td>六価クロム</td><td>0.05以下</td></tr> <tr><td>砒素</td><td>0.01以下</td></tr> <tr><td>総水銀</td><td>0.0005以下</td></tr> <tr><td>セレン</td><td>0.01以下</td></tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> ・測定頻度：4回／年程度 但し、稼働1年目は少なくとも1回／月 	カドミウム	0.01以下	鉛	0.01以下	六価クロム	0.05以下	砒素	0.01以下	総水銀	0.0005以下	セレン	0.01以下										
カドミウム	0.01以下																						
鉛	0.01以下																						
六価クロム	0.05以下																						
砒素	0.01以下																						
総水銀	0.0005以下																						
セレン	0.01以下																						
② 廃棄物研究財団 スラグの有効利用マニュアル (H11.11.25発行)	<ul style="list-style-type: none"> ・溶出基準は、①と同様 ・試験頻度は、①と同様 																						
③ 東京都 溶融スラグ資源化指針 (H13.3.23)	<ul style="list-style-type: none"> ・溶出基準は①と同様 ・試験頻度：1回／月 	<table border="1"> <tr><td>カドミウム</td><td>9以下</td></tr> <tr><td>鉛</td><td>600以下</td></tr> <tr><td>ヒ素</td><td>50以下</td></tr> <tr><td>総水銀</td><td>3以下</td></tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> ・測定頻度：1回／3ヶ月 	カドミウム	9以下	鉛	600以下	ヒ素	50以下	総水銀	3以下													
カドミウム	9以下																						
鉛	600以下																						
ヒ素	50以下																						
総水銀	3以下																						
④ 埼玉県 溶融スラグ有効利用指針 (H9.4)	<table border="1"> <tr><td></td><td>ケースA</td><td>ケースB</td></tr> <tr><td>カドミウム</td><td>0.01以下</td><td>同左</td></tr> <tr><td>鉛</td><td>0.01以下</td><td>0.05以下</td></tr> <tr><td>六価クロム</td><td>0.05以下</td><td>同左</td></tr> <tr><td>ヒ素</td><td>0.01以下</td><td>同左</td></tr> <tr><td>総水銀</td><td>0.0005以下</td><td>同左</td></tr> <tr><td>セレン</td><td>0.01以下</td><td>同左</td></tr> </table> <p>A : 焼結固化、セメント固化を伴わない用途 への利用の場合 B : 焼結固化、セメント固化を伴う用途への 利用の場合 ・試験頻度：記載なし</p>		ケースA	ケースB	カドミウム	0.01以下	同左	鉛	0.01以下	0.05以下	六価クロム	0.05以下	同左	ヒ素	0.01以下	同左	総水銀	0.0005以下	同左	セレン	0.01以下	同左	<ul style="list-style-type: none"> ・含有量基準は③と同様 ・試験頻度：ロット(1000m³、1ヶ月以内) ごと。
	ケースA	ケースB																					
カドミウム	0.01以下	同左																					
鉛	0.01以下	0.05以下																					
六価クロム	0.05以下	同左																					
ヒ素	0.01以下	同左																					
総水銀	0.0005以下	同左																					
セレン	0.01以下	同左																					
⑤ 千葉県 溶融スラグ利用促進指針 (H8.4.1)	<ul style="list-style-type: none"> ・溶出基準は、④ケースBと同様 ・スラグが基準を超えても、二次製品が溶出基準を満たすときは、二次製品として利用可能 ・試験頻度：定期的に実施 																						
試験方法	溶出試験の方法は、「土壤の汚染に係る環境基準について（平成3年環境庁告示46号）」に定める方法	含有量試験の方法は、「重金属等に係わる土壤汚染調査・対策指針（平成6年環境庁水質保全局）」に定める方法																					

2. 2. 2 溶融スラグの冷却方法

溶融スラグの冷却方法については、現在、殆どの溶融固化施設が水碎方式であり、空冷方式は灰溶融炉で9施設あるのみであった。徐冷方式は溶融スラグの結晶化まで行う必要があるため、本アンケート調査では確認できなかった。(表-2参照)

将来の展望については、今後も現状の水冷スラグ強度における再生利用方法の開発を進めるとの回答が13社中11社と最も多かった。次に空冷方式に関する技術開発を進めるとの回答は13社中6社

であった。これらのことから、今後の溶融スラグの再利用にあたっては、水碎方式を中心開発が進められ、再利用先の要求に応じて、空冷方式の採用も検討されるものと考えられる。

なお、徐冷方式については、結晶化され品質面では再利用先の要求を満足するが、粒度調整、角取り等の手間が必要になること、設備が大規模になり溶融コストが高くなるため、今後も技術開発の動きは鈍いと考えられる。参考として、空冷方式を採用している灰溶融炉を表-8に示す。

表一 7 今後の技術開発目標

技術開発目標		回答
水 碎	水碎式によるスラグ強度強化に関する技術開発	2社
	現状の水冷スラグ強度における再生利用方法の開発 (改質:セメントとの接触向上・重金属溶出防止、鉄類の除去)	11社
空 冷	空冷式に関する技術開発 (中破碎、角落し、丸み付け、粒度調整、モールドコンベヤ等実機開発)	6社
その 他	粒度調整技術の確立	2社
	銅粒子の分離技術の確立	1社
	間接冷却方式(水冷式金属ドラム)の技術開発	1社

※) メーカアンケート調査結果よりまとめた。

表一 8 空冷方式を採用している灰溶融炉

所管・施設名	所在地	型式	規模	竣工
八王子市戸吹清掃工場	東京都	電気抵抗溶融	18t/24h・1炉	H10.3
いわき市南部清掃センター	福島県	プラズマ加熱	40t/24h・1炉	H12.3
横浜市環境事業局金沢工場	神奈川県	電気抵抗溶融	60t/24h・1炉	H13.4
下関市環境センター奥山工場	山口県	プラズマ加熱	41t/24h・1炉	H14
高知市新清掃工場	高知県	プラズマ加熱	40t/24h・1炉	H14.3
射水地区広域圏事務組合 ごみ処理施設	富山県	プラズマ加熱	12t/24h・1炉	H15
加古川市新クリーンセンター(仮称)	兵庫県	プラズマ加熱	30t/24h・1炉	H15
広島市中清掃工場	広島県	プラズマ加熱	48t/24h・1炉	H15.12
鳥取県西部広域行政管理組合	鳥取県	燃料(灯油)溶融	17t/24h・2炉	H16.3

※) メーカアンケート調査結果よりまとめた。

3. 焼結

焼結とは、灰の融点以下かつ重金属の沸点以上の温度で処理を行うことにより、焼却残渣で問題となる重金属を焼却残渣中から分離・排出するとともに、ダイオキシン類を分解するための技術である。

システム構成は、灰の溶融炉とほぼ同じであるが、システムの中心となる炉の構造はロータリーキルンタイプが用いられることが多く、これは、セメント工場における技術の転用と考えられる。

環境事業団がまとめた平成13年度次世代廃棄物処理技術基盤整備事業成果報告書によると、実証施設におけるロータリーキルン温度は灰の排出口付近で1,000~1,100℃となること、焼結灰について土壤環境基準全項目を遵守できること、ダイオキシン類についてほぼゼロにまで低減できることなどが

報告されている。

(利点)

利点としては、以下の点が上げられる。

- ・焼結と溶融の大きな違いは炉の温度であり、溶融炉が焼却灰の融点以上の温度で処理を行うのに対し、焼結炉では、焼却灰の融点以下、重金属の沸点以上で処理を行えること。
- ・溶融に比べエネルギー的に有利であり、経済性に優れていること。

(課題)

課題としては、以下の点が上げられる。

- ・排出物(焼結灰)の強度が溶融スラグに比べると小さいことから、路盤材など強度が求められる用途には利用しにくい面があり、有効利用の用途が限られる。
- ・フィールド試験の試験期間が短いため、今後

も利用状況の把握や品質の安定性等について長期的に確認試験を行うことが必要である。⁸⁾
・溶融固化に比べエネルギー的に有利であるが、他方式と比べるとエネルギー多消費型であるため、エネルギー消費量の更なる減少に向けた技術開発が必要である。

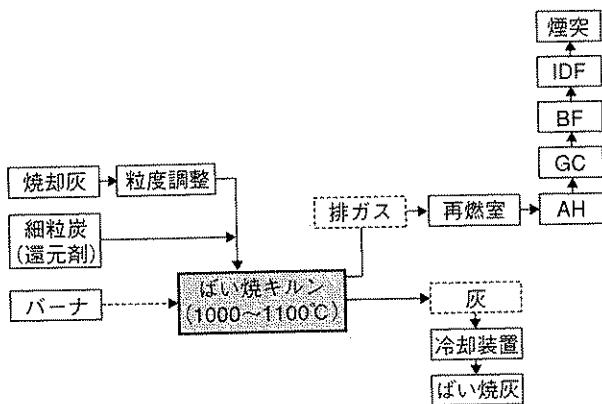


図-5 焼成システムフローの例
(三菱重工業株式会社)

4. 養生

養生は、焼却残渣に薬剤など添加物を混入後、蒸気等に一定時間さらすことにより重金属を固定し、溶出しないよう安全化するための技術である。

原理としては、焼却残渣に消石灰などのアルカリ剤を加え、蒸気養生することにより、焼却残渣中の CaO, Al₂O₃, SiO₂ が水和反応を起こし、重金属類を固定するものである。

プラントメーカ資料によると、平成13年度に実施した蒸気養生（水和固化）を利用した焼却残渣の再

生利用に関する実証試験では、本方式により RDF 燃焼灰の有害重金属溶出量を土壤環境基準以下にできること、土木資材（下層路盤材規格相当品以上）の品質を得られることが報告されている。

（利点）

利点としては、以下の点が知られている。

- ・溶融処理などの熱利用に比べエネルギー使用量が少ない。
- ・重金属の溶出を抑制し安定化させることが可能である。

（課題）

課題としては、以下の点が上げられる。

- ・蒸気養生による水熱処理では、ダイオキシン類が分解できない。
- ・長期的に確認試験を行うことが必要である。

5. 洗浄

洗浄システムとは、水を利用し人为的に焼却残渣を洗浄し、重金属や塩類、ダイオキシン類など有害な物質と無害な物質に分離するシステムである。

まず、焼却残渣を洗浄装置へ投入し、焼却残渣など核になる粒子の表面に付着している物質を分離する。この洗浄には機械式洗浄処理、浸漬式通液洗浄処理、摩擦処理などの方法がある。その後分級機を用いて質量の大きい核と質量の小さい表面付着物を分離し、表面付着物は水とともに水処理システムで処理されたのち脱水ケーキとして排出され、質量の大きい核の部分は無害化物として再利用される。

（利点）

利点としては、以下の点が上げられる。

- ・無害化した焼却残渣を埋め立てることにより、

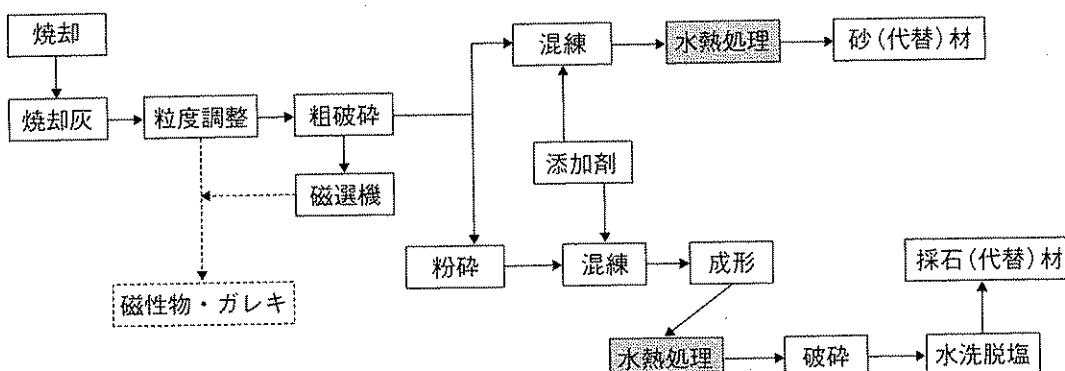


図-6 養生システムフローの例（川崎重工業株式会社）

最終処分場の早期安定化が図れ、最終処分場閉鎖後の水処理経費の削減及び早期跡地利用が可能となる。

- ・溶融などの高温処理に比べ投入エネルギーが少なく、コスト的にも安価となる可能性が高い。
- ・無害化した焼却残渣をセメント原料、土木資材原料などに再利用できる可能性がある。

(課題)

課題としては、下記の点が上げられる。

- ・処理水と脱水ケーキの無害化処理方法及び分離した塩類や重金属の無害化処理・有効利用方法の技術開発が必要である。

6. エコセメント

エコセメントについては、従来からセメント原料として焼却残渣の利用に関する研究が行われてきた

が、塩素の混入による品質の低下及び製品の需要が少ないと等により普及が困難であった。このような状況の中、実用化に向けた準備が着々と進められ、平成14年7月にエコセメントに関するJIS規格が制定されるとともに、今後のグリーン購入法による公共事業での活用が検討されており、需要量の増加が期待されている。

現在の取り組みについては、表-9、表-10に示すとおり、千葉県市原市及び山口県徳山市でエコセメント工場が建設され、埼玉県熊谷市で灰水洗システムが採用されている。また、三多摩地域廃棄物広域処分組合で建設計画が進められている。

課題としては、以下の点が上げられる。

- ・既存のセメント工場の立地等地理的に制約される場合が多い。
- ・エコセメント製品の需給バランス、セメント工場の経営状態に左右される。

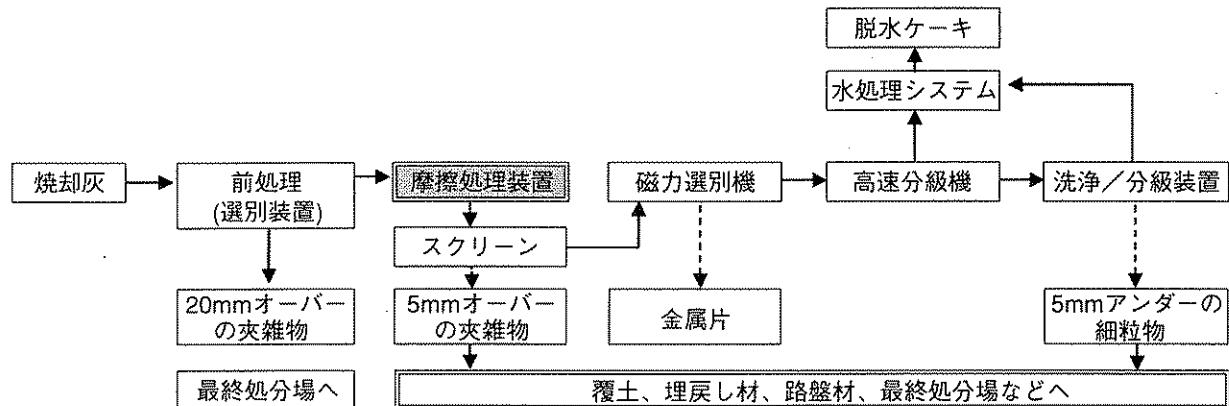


図-7 洗浄システムフローの例（株式会社熊谷組 韶灘環境技術研究所）

表-9 エコセメント等の設置事例

	エコセメント			灰水洗システム
設置者名	市原エコセメント(株)	東京都三多摩地域廃棄物広域処分組合	山口エコテック(株)	太平洋セメント(株) 熊谷工場
所在地	千葉県市原市八幡海岸通1-8	—	山口県徳山市晴海町7-46	埼玉県熊谷市大字三ヶ尻5310
稼動開始	2001年4月～	2005年(予定)	2002年4月～	2001年7月～
廃棄物の処理量	都市ごみ焼却灰等一般廃棄物：62,000t/年 燃えがら、汚泥等産業廃棄物：28,000t/年	焼却残渣等：約330t/日	焼却灰：50,000t/年	焼却灰：48,000t/年 飛灰：15,000t/年
エコセメントの処理量	110,000t/年	普通エコセメント ：約520t/日	(既存のトクヤマ・宇部興産セメント製造工程で普通ボルトランドセメント製造)	—

表-10 太平洋セメントの取り組み

		エコセメント	灰水洗システム
処理システム		専用の工場において、焼却残渣を原料として活用しエコセメントを製造する。	既存のセメント工場を活用して、焼却残渣を普通セメント原料として再資源化する。
前処理 ばいじん (飛灰)	そのままセメント原料へ		水洗して脱塩、セメント原料へ(水を添加し攪拌して脱塩、ろ過後脱水ケーキをセメント原料に)
焼却灰	異物除去の上セメント工場へ		異物除去の上、そのままセメント原料へ(磁選、スクリーンにより金属、ガラを除去)
処理割合	エコセメント 1t を製造するのに 500kg の焼却残渣を原料として利用		セメント原料の 3%程度
塩素の除去	二次ダストして除去		水洗により塩素除去 排水は下水道へ放流(塩回収については検討中)
重金属の除去	焼却残渣に含まれる重金属類は、バグフィルターで二次ダストとして捕集した後濃縮処理し、亜鉛、鉛、銅を精錬原料として回収。		キルン排ガスを排水に吹き込むことにより CO ₂ による中和作用と炭酸化によって鉛、亜鉛を沈殿回収。 これら重金属を回収し山元還元を検討。
生成物	エコセメント(普通セメント、速硬セメント)		普通セメント
適用	大規模都市(50万人規模) 近接地にセメント工場がない場合		5~10万人規模の中小都市でも可能。 近接地にセメント工場がある場合
開発の経緯	(1994~1996) 通産省の「生活産業廃棄物等高度処理・有効利用技術研究開発」の一環として、エコセメントの実証研究を実施。	(1998) 埼玉県「彩の国倍増プラント化計画」の一環として熊谷工場で実証試験を開始。1999.3. 結果が報告される。	

7. 山元還元

山元還元とは、重金属が濃縮されている飛灰から、有用な金属を回収するとともに、飛灰を安全化するための技術である。飛灰から重金属を回収するためには、飛灰の重金属濃度が高い方が有利であるため、焼却飛灰より溶融飛灰の方が山元還元には向いている。

通常は、飛灰中より主として亜鉛・鉛・銅の回収を行うが、これらの金属を回収するためには回収する金属の濃度を順次上げていく精錬技術が必要であるため、主として非鉄精錬会社で行われている。近年では市町村で生じた飛灰を引き受ける精錬所も増えてきており、飛灰の有効利用方法として注目されている。

課題としては、以下の点が上げられる。

- ・飛灰の吸湿性や固化法を考慮した貯留方法の確立、安全且つ効率的な輸送方法の確立、多用な品質への対応が必要である。^{9), 10)}
- ・飛灰の処理先として精錬所が必要になるため、地理的に制約される。
- ・長期的な処理先の確保については、精錬所での

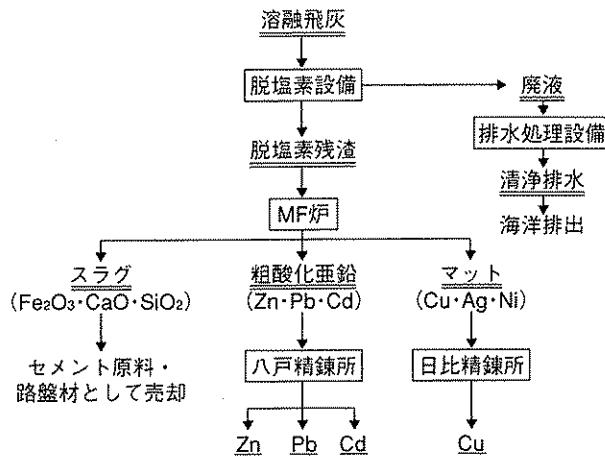
表-11 山元還元の事例

光和精錬(株)	製鐵集じんダストをから焼成ペレットを製造する施設を利用して溶融飛灰を処理し、Zn、Pb、Cuを回収する。北九州市と協同で実証試験をしているが、すでに実用段階に入っている。また、塩化揮発法により塩化ビニルの処理が可能としている。
同和鉱業(株)	金属製錬業で培った湿式製錬技術により、溶融飛灰からZn、Pb、Cuを濃縮・回収し、製錬減量化するシステムを提案している。
三井金属鉱業(株)	低品位の亜鉛を含む廃棄物から亜鉛原料を回収する目的で開発された濃縮炉(MF炉)を活用し、溶融飛灰からZn、Pb、Cd、Cu等を回収するシステムの実証試験に取り組んでいたが、すでに実用段階に入っている。同社では八戸精錬所と三池精錬所で溶融飛灰の処理が可能としている。
三菱マテリアル(株)	「エコランドなおしまプラン」の一環として、香川県直島町に溶融飛灰資源化施設(1,300t/月)を建設し、市町や県の溶融施設から排出される溶融飛灰を脱塩素化処理し、既設直島精錬所において銅、鉛・亜鉛などを回収している。

(参考資料) 各社技術説明書又は HP

製品（精製物）の需給バランス、精錬所の経営状態に左右される。

- ・処理コストが他の方式と比べて高いので、低減化が望まれる。



図一8 山元還元フローの例
(三井金属鉱業株式会社 三池精錬所)

8. まとめ

以上、焼却残渣の処理及び有効利用に関して現状と課題を概観してきた。

今後は、環境JISの制定により溶融スラグやエコセメントを中心とした処理・資源化が主体となると考えられるが、将来的には溶融スラグの供給過剰、建設系廃棄物との競合により、地理的には需給バランスが悪化する恐れがある。

また、環境負荷や地球環境保全の面から、将来的にエネルギー多消費型（高温加熱型）リサイクルから省エネルギー型（低温型）リサイクルへの移行へのニーズが高まることも予想されるため、今後、焼却残渣の処理システムの導入を検討する場合は、導入可能な種々の処理システムについて環境負荷、経済性、地理的特性、リサイクルの進捗状況、再利用先の安定性等を総合的に比較・検討し、地域に最も適したシステムを単独又は組合せて構築することが必要になるものと考えられる。

9. 参考文献

- 1) 「スラグの有効利用マニュアル」(財)廃棄物研究財団
- 2) 都市と廃棄物、Vol.32、No.7

表一12 焼却残渣の処理及び有効利用の課題

課題	
①需給バランス	<ul style="list-style-type: none"> ・全国的には需要バランスがとれる場合でも、地域的にみた場合には再利用先が確保できない場合がある。 ・再利用先との距離が長い場合は、運搬コストが大きく加算されるため、再利用に係る経費が増大する。 ・長期に亘る安定的な需要バランスの確保のためには、焼却残渣の有効利用方法、再利用先を複数確保することが必要である。 ・今後、焼却残渣を有効利用して製造する一次製品及び二次製品は、建設系廃棄物（副産物）と競合する可能性があるため、一層の処理コストの低減が必要になる。
②品質の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的な試験結果がないため、安全対策には留意することが必要。 ・焼却残渣を有効利用して製造する一次製品、二次製品の品質確保のため、現状よりも残渣の発生率が増える恐れがある。 ・再利用先からの品質に対する要求がある場合には、自治体で品質調整が必要になるため、施設整備、予算の確保、運転体制の確保等の問題がある。
③エネルギー消費量	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー多消費型のリサイクルは、エネルギー消費量の更なる減少に向けた技術開発が必要である。

- 3) エコスラグ普及利用センター資料
- 4) 長田昭一、大迫政浩、武田信生、大島康司、八木美雄：溶融スラグ有効利用状況調査 都市清掃 第55巻 第247号（平成14年5月）pp.29～32
- 5) 金谷健、溝口真太郎、黒河肇：需給バランスからみた都市ごみ溶融スラグの道路路盤材へのリサイクル可能性 第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集（2000）pp.229～231
- 6) 「環境JISの策定促進のアクションプログラムについて」（参考資料5）環境JISに関する調査結果の概要 日本工業標準調査会、環境・資源循環専門委員会戦略WG（平成14年4月16日）pp.49
- 7) 長尾光義：焼結（固化法）による焼却灰の有効利用 都市清掃 第51巻 第227号（平成10年12月）pp.16～21
- 8) 長崎英範：「溶融飛灰の山元還元」について 都市清掃 第51巻 第227号（平成10年12月）pp.59～64
- 9) 金津努：フライアッシュの有効利用 環境技術 Vol.30 No.4 (2001) pp.40～44