
プラズマ熔融技術による焼却灰の資源化技術

Material Recycle Technology for Incinerated Ash Using Plasma Melting System

山下 繁昭(Shigeaki Yamashita) 菊地 亨(Toru Kikuchi) 菅原 英世(Hideyo Sugawara)

要旨：

出力 240 kW のプラズマ式熔融炉を用い、焼却飛灰を単独で熔融し、無害化、再資源化する試験を行った。高塩基度の飛灰は 5% 以上の成分調整剤を添加することで円滑な熔融、排滓が可能であった。物質収支、熱収支および電力原単位を明らかにし、実機基本設計データが得られた。飛灰中のダイオキシン類は炉内の高温を通過することで 99% 以上分解することを確認した。熔融処理により有害重金属などは揮発するため、スラグから溶出せず無害化されていることが確認できた。スラグはアスファルトコンクリート表層材、路盤材などに再利用できることを確認した。今回のデータを用いて基本設計を行った全国で初の飛灰単独熔融炉（京都市殿向け）を 2001 年 4 月から稼働する予定である。

Synopsis：

The fly ash of a stoker type incineration furnace was melted by the use of a plasma melting furnace of 240 kW power to make the fly ash harmless and recyclable. The high basicity fly ash was melted and flowed by adding over 5% of basicity control agents. A basic plan data for the construction of an actual plant was obtained by the experiments through which the material balance, the energy balance and the minimum consumption of electric power per ton of the ash were made clear. More than 99% of the dioxin in the fly ash was decomposed by passing a high temperature gas in the melting furnace. The melting process changed the fly ash into slag without any toxic problem because the harmful heavy metals in the fly ash were vaporized. The slag was able to be used as aggregate of asphalt concrete and subbase. On the basis of experimental results shown above, the commercial plasma arc melting system to treat only the fly ash is planned to start operation in April 2001 for the first time in Japan.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Material Recycle Technology for Incinerated Ash Using Plasma Melting System



山下 繁昭
Shigeaki Yamashita
環境事業部 環境技術
部 主査(掛長)



菊地 亨
Toru Kikuchi
環境事業部 環境技術
部 主査(課長)



菅原 英世
Hideyo Sugawara
環境事業部 環境技術
部 主査(部長補)

要旨

出力 240 kW のプラズマ式溶融炉を用い、焼却飛灰を単独で溶融し、無害化、再資源化する試験を行った。高塩基度の飛灰は 5% 以上の成分調整剤を添加することで円滑な溶融、排滓が可能であった。物質収支、熱収支および電力原単位を明らかにし、実機基本設計データが得られた。飛灰中のダイオキシン類は炉内の高温を通過することで 99% 以上分解することを確認した。溶融処理により有害重金属などは揮発するため、スラグから溶出せず無害化されていることが確認できた。スラグはアスファルトコンクリート表層材、路盤材などに再利用できることを確認した。今回のデータを用いて基本設計を行った全国で初の飛灰単独溶融炉(京都市殿向け)を 2001 年 4 月から稼働する予定である。

Synopsis:

The fly ash of a stoker type incineration furnace was melted by the use of a plasma melting furnace of 240 kW power to make the fly ash harmless and recyclable. The high basicity fly ash was melted and flowed by adding over 5% of basicity control agents. A basic plan data for the construction of an actual plant was obtained by the experiments through which the material balance, the energy balance and the minimum consumption of electric power per ton of the ash were made clear. More than 99% of the dioxin in the fly ash was decomposed by passing a high temperature gas in the melting furnace. The melting process changed the fly ash into slag without any toxic problem because the harmful heavy metals in the fly ash were vaporized. The slag was able to be used as aggregate of asphalt concrete and subbase. On the basis of experimental results shown above, the commercial plasma arc melting system to treat only the fly ash is planned to start operation in April 2001 for the first time in Japan.

1 緒 言

日本では都市ごみを焼却する場合、ストーカ炉を用いるのが主流であり、このとき焼却灰の約 10% が焼却飛灰として排出され、これまでは焼却灰と同様に管理型の最終処分場に埋め立てられていた。しかし、これらの焼却飛灰中には有害重金属類が含まれており、埋め立て基準値を超える濃度で溶出する可能性があるため 1997 年、「特別管理一般廃棄物」に指定された。したがって未処理での埋め立てはできなくなり、溶融固化法、セメント固化法、薬剤処理法、酸その他の溶媒による安定化法のいずれかで処理することが義務づけられた。¹⁻⁴⁾

これらの焼却飛灰は有害重金属類を含有していることは上述したが、近年問題となっているダイオキシン類についても高濃度に含有しているため、上述した処理法の中では高温で処理が行える溶融固化法が最も有効な手段と考えられる。また、当社が開発を行ってきたプラズマ式溶融炉は溶融固化法の中でも特に以下の特長を持って

おり、焼却飛灰処理を行う上で最も有効な手段のうちの一つだと言える。

- (1) 炉内ガス温度が高く、ダイオキシン分解能力が高い。
- (2) 溶融スラグ温度が高く、未溶融分がないため、重金属類の安定性が高い。

また焼却飛灰を溶融処理する際、自治体によっては焼却灰と焼却飛灰とを混合して溶融する場合と飛灰単独で溶融する場合とがあり、本報では処理がより困難と考えられる飛灰単独溶融について報告する。

ここで飛灰単独溶融を行う場合、大きく以下の 2 点に留意する必要がある。本報では特に溶融特性、物質収支、熱収支およびダイオキシン収支などの基礎的データ、およびスラグの再資源化技術について記述し、飛灰単独溶融についての今後の展望を予測する。

- (1) 溶融特性：塩基度が高いため焼却灰と比較し、スラグ化が困難である。
- (2) 排ガス処理：原料中にダイオキシン類、揮発成分を多く含むため、ダイオキシン再合成防止対策、ダスト付着対策が必要である。

*平成12年9月25日原稿受付

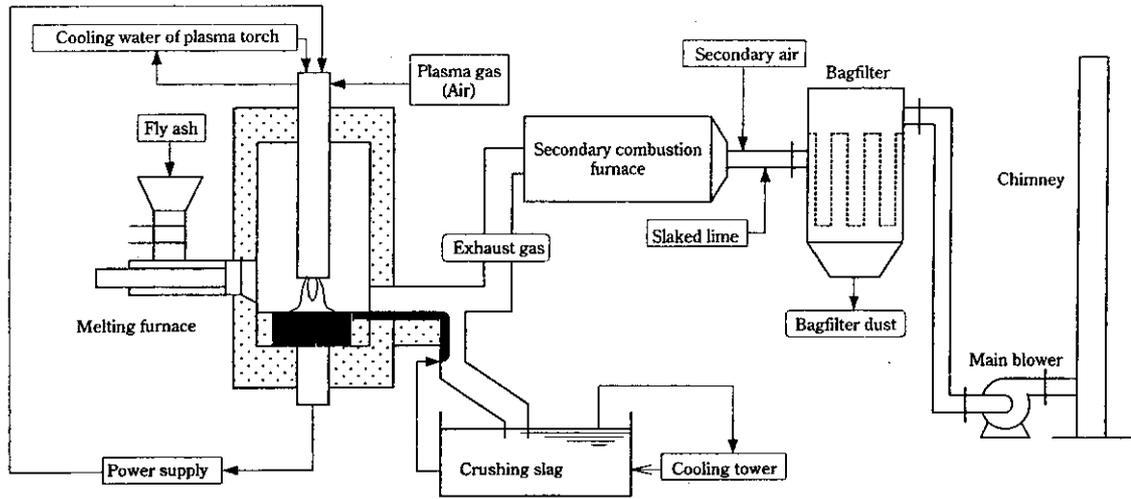


Fig. 1 Schematic flow diagram showing ash melting process

2 プラズマ溶融炉の特長

焼却飛灰は燃焼成分をほとんど持たないため、溶融させるには何らかの外部エネルギーが必要であり、ガス化溶融方式では処理が困難であると考えられる。外部エネルギー供給方式にはいくつかの方法が考えられるが、その供給方式によって大きく3方式に分けられる。油、ガスを用いるバーナ方式、コークス供給方式、電力供給方式である。この中で、電力供給方式は容易に高温が得られ溶融スラグの品質が安定する点、出力調整などの操作が容易である点およびガス量が少ないため設備がコンパクトになるなどの点で他方式に比べ優れている。さらに電力供給方式はアーク加熱、抵抗加熱、低周波誘導加熱、プラズマ加熱に大別できる。このなかで当社のプラズマ式溶融炉の特長を以下に示す。

- (1) 当社が採用しているプラズマシステムは電離度1%程度の弱電離プラズマで、その中心温度は2~3万°C、外周温度においても3千°Cにも達し、容易に高温が得られる。
- (2) 高温溶融および非接触加熱のため原料の選別、破碎などの事前処理が基本的に不要である。
- (3) 高温溶融により低沸点重金属は溶融飛灰として排ガス側へ移行するため、スラグの有害重金属含有量が極めて少なく、スラグの安全性が高い。
- (4) トランスファ型プラズマシステムを採用しているため、プラズマフレームによる輻射熱およびスラグが持つ電気抵抗によるジュール加熱が期待でき、溶融効率が高い。
- (5) 溶融層は比重差によりスラグ、メタルに2層分離されるため資源化に適している。
- (6) 高温溶融のため、焼却飛灰等の高融点物においても安定溶融が可能である。

上述した特長により、当社プラズマシステムは高塩基度、高融点である焼却飛灰においても安定溶融が可能であり、有効な手段であるといえる。

3 飛灰単独溶融試験

今回の試験は、当社のプラズマ式灰溶融炉を用い、ストーカ焼却炉より発生する焼却飛灰の単独溶融実験を行い、基礎的データの把握およびスラグの安全性について確認した。

Table 1 Specification of the ash melting laboratory plant (at Naganuma)

Melting capacity		200 kg-ash/h
Main facilities	Plasma capacity	240 kW
	Charging method of raw material	Pusher-type
	Melting furnace	Water jacket type Capable of tilting of 27°
	Slag treatment	Water-jet crushing
	Exhaust gas treatments	Reduction of NO _x by addition of reduction material Combusting chamber for CO Cooling by secondary air Bagfilter

3.1 試験設備

今回の試験に用いた試験設備の仕様を Table 1 に、溶融システムの概略フロー図を Fig. 1 に示す。本設備の処理能力は 200 kg/h (都市ごみ焼却灰溶融時) で、プラズマ定格出力は 240 kW である。また、プラズマシステムは米国 Plasma Energy Corporation 社製の直流式プラズマトーチ (電極は水冷式中空銅電極) を用い、作動ガスには入手が容易で安価な空気を使用した。

3.2 供試飛灰特性

都市ごみ中に存在する塩化物によって、ストーカ式焼却炉より発生する排ガスは塩化水素を多量に含有する。その対策として、石灰分をガス中に吹き込み塩化カルシウムの形態で固体化し、焼却飛灰として集塵機で捕集する方式が一般的に用いられている。ただし、この塩化物濃度は大きく変動する可能性があり、結果焼却飛灰中のカルシウム含有量も変動する。このカルシウムの含有量によって塩基度変動し、飛灰の溶融特性も大きく変動する。したがって今回の試験では、

- (1) 低塩基度：消石灰噴霧無しの電気集塵器灰 (EP 灰)
 - (2) 高塩基度：消石灰噴霧有りのバグフィルタ灰 (BF 灰)
- の2種類を供試飛灰とすることで、上述した塩基度の変動を模擬した。供試飛灰の成分分析値を Table 2 に、塩基度・流動度測定値 (傾斜燃焼ボード法による) を Table 3 に示す。

Table 3 より、EP 灰の場合は 1500°C (焼却灰溶融時の炉内の標

Table 2 Chemical compositions of fly ash

	Elements (wt%)															Basicity
	Si	Ca	Al	Fe	Mg	Zn	Na	K	Cu	T-P	Pb	T-Cr	Cl	SO ₄	Ig-Loss	
EP ash	11.8	12.2	7.17	1.61	2.55	1.18	3.02	4.09	0.1	0.63	0.28	0.031	7.14	4.93	6.23	0.68
BF ash	5.27	19.4	3.43	0.74	1.17	0.44	1.95	2.31	0.041	0.33	0.12	0.021	14.4	2.04	12.5	2.41

Table 3 Analysis of basicity and liquidity

	Temperature (°C)	Mixing ratio		Basicity	Liquidity (%)
		Ash	Silicon sand		
EP ash	1450	100	0	0.88	76
	1500	100	0		100
BF ash	1450	100	0	3.59	54
	1500	100	0		50
	1500	100	5	1.88	100
	1500	100	10	1.27	100
	1500	100	20	0.77	100

準温度)まで昇温することで流動度は100%に達するのに対し、BF灰の場合は単独では1500°Cでも流動度が100%に達せず、100%とするには塩基度調整(BF灰100に対して珪砂5以上)が必要であるという結果を得た。そこで、溶融試験は以下の3条件について試験を行った。

- (1) RUN1: EP灰 (塩基度 0.68)
- (2) RUN2: 塩基度調整を行ったBF灰 (塩基度 1.10)
- (3) RUN3: BF灰 (塩基度 2.41)

なお、塩基度調整材として今回は珪砂を使用した。ガラスカレットのようなリサイクル品でも代用は可能と考えられる。また、これら供試飛灰は溶融炉内投入時における飛散防止対策として、加湿造粒処理(10φ×30mm程度)を施した。

3.3 運転状況

RUN1~RUN3は共に供給量60kg/h、プラズマ出力200kWで統一した。また、プラズマ作動ガス(空気)より発生するサーマルNO_x濃度を低減するため還元材として焼却飛灰量の約20%のコークスを投入した。

溶融状況を比較すると、RUN1およびRUN2は炉内の周囲まで容易に溶融したがRUN3は溶融に時間を要し、外周部は半溶融状態であった。

連続排滓についてはRUN1ではおおむね良好であり、RUN2ではRUN1と比較し極上で凝固する頻度がやや多かったものの排滓は可能であった。RUN3では周囲まで完全に溶融できなかったため、排滓は短時間しか確認できなかった。

各試験終了時、炉内に残った溶融物は炉体傾動装置にて別途取り出し、空冷スラグとした。

3.4 物質収支および元素収支

RUN1~RUN3における物質収支をTable 4に示す。スラグ化率(=スラグ重量/(焼却飛灰重量+塩基度調整剤重量))はRUN1で90%程度、RUN2、RUN3では70%程度であった。この差は、後述する供試灰中の塩化物含有量がEP灰とBF灰で異なることに起因すると考えられる。

元素収支をFig. 2に示す。RUN1に対しRUN2、RUN3では低沸点物質であるNa、K、Zn、Pbのほとんどが溶融飛灰へ移行しており、これが上述したスラグ化率に差が生じた原因であると考えられる。溶融飛灰への移行については、BF灰に含まれる脱塩反応生成物(CaCl₂)中に含まれる塩素による塩化揮発によるものと考えられる。

3.5 スラグ特性

スラグの成分分析値をTable 5に、溶出試験(環境庁告示46号に基づく)結果をTable 6にそれぞれ示す。水冷および空冷スラグで成分の差は認められなかった。溶出値については、水冷、空冷スラグともに全項目について土壤環境基準値を満足した。供試灰中にはPbなどの有害重金属類が含まれているが、これら重金属は低沸点のため溶融飛灰へ移行し、スラグ中の含有量は著しく減少する。またスラグに微量に残留する有害重金属類は、溶出試験によってはまったく溶出せず安定化されている。したがって、焼却飛灰溶融ス

Table 4 Material balance

		RUN1	RUN2	RUN3
In put	Ash	100	100	100
	Moisture	12	25	29
	Ig. loss	7	12	14
	Cokes	19	21	23
Out put	Slag	93	69	73
	Bagfilter dust	6	18	19
	Exhaust gas	38	58	66
	Others	1	14	8

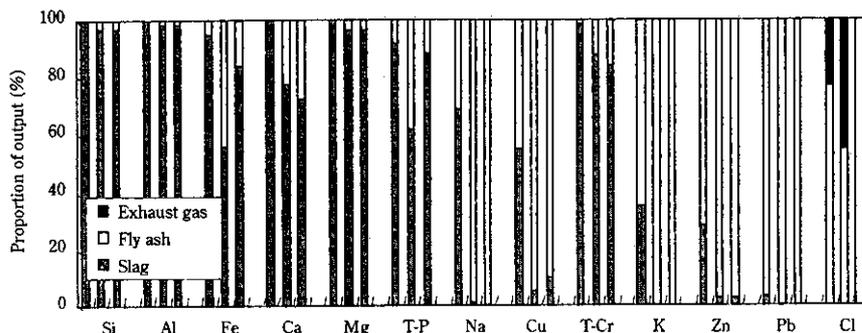


Fig. 2 Elements distribution to gas, ash, and slag (left bar: RUN1, center bar: RUN2, right bar: RUN3)

Table 5 Chemical composition of slag

		Elements (%)														Basicity	
		Si	Ca	Al	Fe	Mg	Zn	Na	K	Cu	T-P	Pb	T-Cr	Cl	SO ₄		Ig-Loss
Crushing slag (Water quench)	RUN1	17.4	17.8	9.78	2.33	3.9	0.21	1.64	0.8	0.04	0.85	0.006	0.16	<0.001	0.05	<0.1	0.67
	RUN2	15.8	27.3	7.48	0.69	3.41	0.03	0.05	0.02	0.01	0.38	<0.003	0.26	0.03	0.01	<0.1	1.13
	RUN3	11.1	32.4	6.96	0.79	3.17	0.04	0.06	0.02	0.01	0.77	<0.003	0.31	0.21	0.05	<0.1	1.91
Tilting slag (Cooling in the air)	RUN1	17.3	17.2	9.81	2.5	3.85	0.19	1.75	0.87	0.03	0.79	0.005	0.17	<0.001	0.04	<0.1	0.65
	RUN2	15.8	27.3	7.16	1.02	3.53	0.02	0.04	0.02	0.01	0.35	<0.003	0.33	0.06	0.02	<0.1	1.13
	RUN3	10.9	32.6	7.01	1.39	3.29	0.03	0.01	0.01	0.01	0.77	<0.003	0.14	0.17	0.15	<0.1	1.96

Table 6 Results of leachate test for slag (mg/l)

		T-Hg	Cd	Pb	Cr ⁶⁺	As	Se
Crushing slag (Water quench)	RUN1	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
	RUN2	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
	RUN3	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
Tilting slag (Cooling in the air)	RUN1	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
	RUN2	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
	RUN3	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
Upper limit by the law		<0.0005	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01

Table 7 Chemical compositions of bagfilter dust

		Elements (%)													
		Si	Ca	Al	Fe	Mg	Zn	Na	K	Cu	T-P	Pb	Cd	Cl	SO ₄
RUN1			0.70	0.60	1.29	0.14	5.47	9.21	18.8	0.29	0.79	1.99	0.12	39.5	4.00
RUN2	0.84	14.7	0.22	1.55	0.24	2.80	8.76	12.8	0.22	0.43	0.53	0.04	27.5	10.5	
RUN3	0.49	24.4	0.14	0.74	0.25	2.12	6.16	7.61	0.14	0.20	0.47	0.02	23.7	7.55	

Table 8 Chemical compositions of exhaust gas

	Temperature (°C)	Moisture (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	CO (%)	H ₂ (%)	HCl (ppm)	SO _x (ppm)	NO _x (ppm)	Dust (g/Nm ³)
RUN1	1013	6.6	6.8	13.2	80	0.011	<0.01	1660	47	9560	21.3
RUN2	1055	10.8	6.5	13.6	80	0.002	<0.01	7070	15	8800	37.3

ラグは資源として再利用する上で極めて安全なものと考えられる。

3.6 溶融飛灰特性

溶融飛灰の成分分析値を Table 7 に示す。ただし、RUN1 についての各数値は排ガスサンプリング中ダストによる分析のため参考値とする。ここで、低沸点物質である Zn, Pb は溶融飛灰中に濃縮された結果となっており、溶出する可能性があるため、薬剤処理などを行うのが一般的であるが高濃度に含まれていることから、有用金属として回収できる可能性がある。

3.7 排ガス性状

炉出口排ガス分析値を Table 8 に示す。排ガス主成分については各 RUN ともにほぼ同じである。コークス投入による還元雰囲気運転を目指したが、炉出口で排ガス中の酸素濃度が 10% 以上有ることおよび窒素酸化物が約 1% 程度であることから、予測した量を超えた空気が炉内に侵入したことによって炉内は酸化性雰囲気であったと考えられる。そこで、今回の試験後にシールを強化し同様の試験を行ったところ、窒素酸化物は十分に低減が可能であった(酸素 12% 換算値で 100 ppm 程度)。また、塩化水素、ダストについては炉出口では高濃度であるが、従来技術によって十分低減可能である。

Table 9 Dioxin balance (%)

	Input	Output			Decomposition
	Ash	Slag	BF dust	Exhaust gas	
RUN2	100	0	0.23	0.31	99.46

3.8 ダイオキシン収支

RUN2 におけるダイオキシン類収支を Table 9 に示す。これより、供試飛灰中のダイオキシン類は溶融炉内の高温にさらされることにより、99% 以上分解され、スラグ側へも移行しないことが確認できた。また、ガス冷却過程で再合成することが懸念されるが、適正な冷却を行うことで再合成量を低減できることを今回の試験後に同様の試験を行い、確認済みである。

3.9 熱収支

Table 10 に RUN ごとの熱収支および溶融熱(水砕水の温度上昇分によって推定)を示す。湿灰の溶融熱は入熱に対し 7~9% 程度と効率が悪いが、これは今回の試験は昼間のみ運転形態を取っていたため炉体の蓄熱に熱を消費されていることが原因であると推

Table 10 Energy balance

			RUN1	RUN2	RUN3
Input	Electric power (%)		80.7	81.1	81.3
	Heat of combustion (%)		19.3	18.9	18.6
Output	Heat of exhaust gas (%)		15.2	24.3	25.4
	Heat of cooling water (%)		44.6	49.1	51.2
	Heat of accumulation of furnace (%)		33.0	17.5	14.8
	Heat of ash melting (%)		7.1	9.0	8.7
Heat of ash melting (kcal/kg)			430	540	500

定される。ただし、今回の試験より飛灰の溶融熱は EP 灰で 430 kcal/kg、BF 灰で 500 kcal/kg 程度という結果を得ており、これは焼却灰の溶融熱 (420 kcal/kg)⁹⁾ と比較しほぼ同程度と考えられるため、熱的に定常状態に達すると炉体の蓄熱分がほぼ全量溶融熱に使用できるため、焼却灰溶融時とほぼ同程度の溶融効率が得られるものと考えられる。

4 スラッグの再資源化技術

上述したように飛灰溶融スラッグは極めて安定した安全なものであり、積極的な再資源化が望まれる。しかし、現在飛灰単独溶融は実験機レベルであり、排出量が極めて少ないため、再資源化した実績はないに等しい。そこで、同様の基準を満足している焼却灰溶融スラッグの再資源化およびその安全性について、2000 年時点での再資源化状況を Table 11 に示し、その中で代表的な再資源化方法 (1) アスファルト舗装、(2) 路盤材) についておこなった試験方法とその試験結果について述べる。⁹⁾

4.1 アスファルト舗装への利用

4.1.1 試験方法

アスファルトコンクリートの細骨材の一部を水砕スラッグに置き換え、配合試験を行った。Table 12 に試験配合と標準配合の配合比

を示す。試験配合は細目砂、篩いかすの一部を水砕スラッグに置換したものである。それぞれの配合につき、アスファルト量を変化させた供試体を制作し、各マーシャル特性値を測定した。さらに今回の試験配合のアスファルトコンクリートを用い当社千葉製鉄所内の道路において試験舗装を行った。

4.1.2 試験結果

試験配合と標準配合それぞれの供試体についてマーシャル試験結果を Fig. 3 に示す。水砕スラッグを含有する試験配合は、標準配合と比較し密度が高く空隙率が減少するため、最適アスファルト量が減少する。試験配合は全体的に安定度が低くなるが、基準値に対して十分余裕がある。試験配合はマーシャル特性値のそれぞれの基準値を満足している。また、マーシャル試験の結果から最適アスファルト量を求めると標準配合の 5.3% (5.0% 以上, 5.6% 以下) に対し 4.9% (4.6% 以上, 5.2% 以下) となる。この試験配合により舗装した千葉製鉄所内の試験舗装道路を Photo 1 に示す。

4.2 路盤材への利用

4.2.1 試験方法

路盤材骨材として規格化された鉄鋼スラッグ路盤材 CS-40 (高炉徐冷スラッグ 100%) と、これに水砕スラッグを約 5% 置き換えた路盤材で粒度分布、突き固め試験、修正 CBR などについて比較試験を行った。

4.2.2 試験結果

鉄鋼スラッグ路盤材 (CS-40) と水砕スラッグ混合路盤材の評価試験結果を Table 13 に示す。その結果、スラッグ混合路盤材 (5%) は CS-40 と比較しすべての試験においてほぼ同等であり、路盤材に使用してもまったく問題はない。また、基準値を満足する最大配合率は粒度分布より計算上約 8% 程度と推測される。

4.3 その他の再資源化方法

上述した再資源化方法のほかに焼成タイル、インターロッキングブロック、セラミックス舗装道、地盤改良材などへの利用が可能で

Table 11 Recycle fields of slag

Use	Situation	Place	Slag mixing percentage (%)	Area (m ²)	Amount of slag (t)	Date
Lower subbase	Actual execution	Chiba Works, Kawasaki Steel	10	6 000	340	Jun. 99
Upper subbase	Actual execution	Chiba Works, Kawasaki Steel	10	6 000	250	Jun. 99
Asphalt concrete	Actual execution	Chiba Works, Kawasaki Steel	10	400	4	Oct. 94
		Chiba City	10	600	6	Nov. 95
		Chiba Works, Kawasaki Steel	7~20	6 800	160	Jun. 99
Adiator	Demonstration		25		1 000	Apr. 99
Tile for wall	Demonstration		35			
Tile	Actual execution	Chiba City	33	80	2.4	Oct. 99
			33	50	1.5	Oct. 99
Interlocking block	Demonstration	Chiba City	10~20	600	8	Mar. 00
Sand compaction	Demonstration		100			
Sand drain	Demonstration		100			

Table 12 Mix proportion of aggregates

Material	S-20 ^a	S-13 ^b	S-5 ^c	Sand	Screenings ^d	Slag	Mineral powder
Standard	18	27	10	14	26	—	5
Test	18	27	10	11	18	11	5

^aCrushed aggregate: nominal size 20-13 mm

^bCrushed aggregate: nominal size 13-5 mm

^cCrushed aggregate: nominal size 5-2.5 mm

^dCrushed aggregate: nominal size 2.5-0 mm

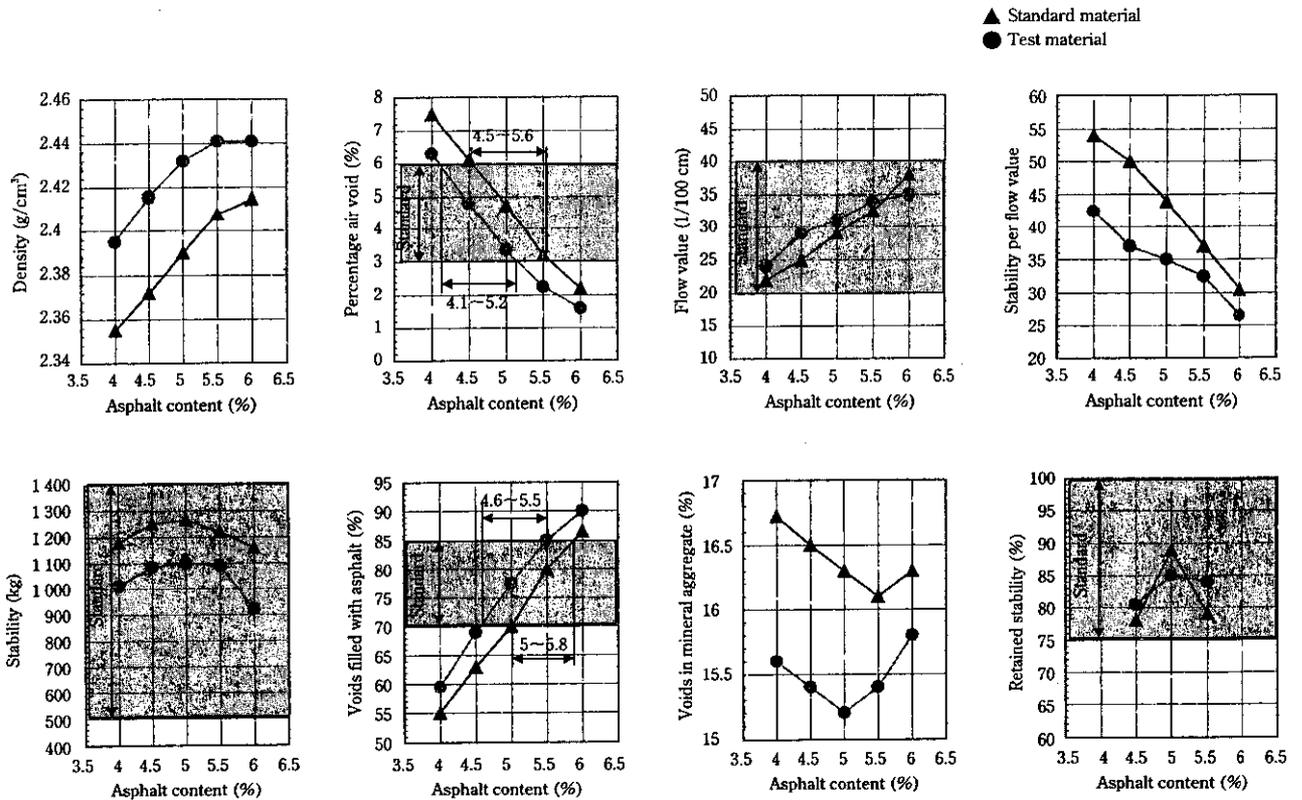


Fig. 3 Results of marshall tests

Table 13 Result of bottoming test for mixed slag

Test items	Method of test	Limit by the law	Test	Standard
Density (g/cm³)	JIS A 1104	>1.5	1.754	1.751
Optimum water mixing ratio	JIS A 1210	—	7.5	7.6
Maximum density after drying		—	2.177	2.179
Modified CBR	JIS A 1211	>30	170	167
Expansion rate in water	JIS A 5015	<1.5	0	—
Particle size distribution	JIS A 1102	100	100	100
		95-100	100	100
		50-80	70.5	69.6
		30-65	39	38.3
		5-25	21.5	19.9



Photo 1 Road paved with asphalt concrete containing slag

あり、それぞれ試験を行った結果すべて基準値を満足しており、使用上まったく問題がないことを確認している。

5 結 言

プラズマ式灰溶融炉を用いて、ストーカ式焼却灰より発生する飛灰の単独溶融試験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 焼却飛灰の単独溶融は可能であったが、高塩基度の場合、連続排滓は困難であり、5%以上の塩基度調整剤を添加することで可能になる。
- (2) スラッグ率は70-90%程度で、焼却飛灰中に含まれる重金属類の含有量によって変動する。
- (3) 排出される溶融スラッグは土壌環境基準をすべて満足し、安全性が確認できた。
- (4) 溶融処理において飛灰中のダイオキシン類は99%以上が分解された。
- (5) 灰溶融熱は430-500 kcal/kg程度で焼却灰のそれと比較しわずかに高いものの、焼却灰溶融時と遜色ない溶融効率が見られるめどが立った。
- (6) 溶融スラッグはアスファルトコンクリート骨材、路盤材、焼成タイル骨材、インターロッキングブロック骨材、セラミック舗

道板、軟弱地盤改良材などで再資源可能であることが確認できた。

以上の結果から、プラズマ式灰溶融炉による飛灰単独溶融処理における重金属類やダイオキシン類に対する無害化効果が確認でき、灰溶融熟など実機設計への基本データの一部を得ることができ、またスラグの再資源化のめどを立てることができた。

これらの知見を生かし、1998年日本で初めての飛灰単独溶融炉を川崎重工業(株)殿(京都市殿向け)より受注、現在建設中であり、2001年4月より操業を開始する予定である。また、焼却飛灰の処理問題は今後一層深刻化することが懸念され、ニーズが高まることが予想されるため、実機データの収集などにより、さらなる技術の向上を図っていく。

参 考 文 献

- 1) 林 昭彦, 木下勝雄, 赤秀公造, 山崎統康: 川崎製鉄技報, 25 (1993)3, 17-21
- 2) 木下勝雄, 中野建治, 有明紘治, 加賀 彰, 下山統康, 井上 宏: 川崎製鉄技報, 27 (1995)1, 12-18
- 3) 松岡義人, 戸村秀人, 菊地 亨, 山下繁昭, 下山統康: 第6回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1995), 450-453
- 4) 加賀 彰, 柴田泰典, 松岡義人, 戸村秀人, 田中幸二, 菊地 亨, 山下繁昭, 古角雅行: 第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1996), 439-441
- 5) 山本 彰, 松岡義人, 戸村秀人, 井手健一: 第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1998), 772-774
- 6) 菊地 亨: エレクトロヒート, (1997), 40-51