

都市ゴミ焼却灰のプラズマ溶融処理

神保 元* 竹中 伸也* 雨宮 俊郎*
宮村 彰** 三村 耕司*** 南條 道夫****

Melting of Incinerator Residue by Plasma Arc Furnace. By Hajime JIMBO, Shinya TAKENAKA, Toshiro AMEMIYA, Akira MIYAMURA, Kouji MIMURA and Michio NANJO.

Incinerator residue from the incinerating of municipal solid wastes is, in most cases, disposed of by burying it underground. However, due to the difficulty of obtaining land for landfill disposal, it became extremely important to develop a treatment for reducing its volume and making it harmless. Melting treatment is expected to be available for solving these demands.

In this work, plasma arc melting of the residue has been examined using a pilot-plant-scale 240kW DC plasma arc furnace developed for treating of the residue. Air was used as the plasma generating gas. With air-plasma-arc heating, the residue was perfectly melted above 1500 °C and resulted in two phases separated into molten slag and molten metal. As a result, power consumption was approximately 0.88 kWh/kg of the residue at a feed rate of 182 kg/h. Therefore, this melting process is considered to be useful for the practical melting of the residue. Also, the residue was reduced in volume by 1/2 and was made completely harmless. The slag produced by melting the residue is, therefore, expected to be reused as roadbase materials, etc. (Received June 18, 1990)

Keywords : *incinerator residue, plasma arc melting, plasma furnace, landfill, waste disposal, recycle, environmental engineering.*

1. 緒 言

国民生活の向上，産業構造の変化に伴い都市ゴミの発生量は年々急増傾向にある。厚生省の発表によると昭和62年度の都市ゴミの排出量は4644.8万トンにも達する¹⁾。一方，ゴミ処理方法は焼却処理，直接埋立処理，コンポスト化処理等に大別できるが，全計画処理量の72.6%が焼却処理され，年間約530万トンの焼却後の灰（通称，焼却灰）が最終処分場に埋め立てられている。

焼却法がゴミ処理の主流である理由は，衛生的で安定化に効果があるとともに，減容率が95%程度と高く，国土が狭い我が国にとって最終処分場の延命に効果があるからである。しかし，近年大都市圏を中心として，焼却処理の徹底化を図ったとしても，なお最終処分場の確保が困難になりつつある。従って，減容化をさらに進め最終処分場の延命化を図ることが急務である。また，焼却灰中には重金属類に代表される有害物質が含まれ，最終処分場における二次公害の防止対策が新たな問題となっている。

このような事情を背景に，近年焼却灰を溶融固化し，減容化をさらに図ると共に無害化する方

選鉱製錬研究所報告 第1769号 資源・素材学会平成元年度秋季大会にて一部発表

* 荏原インフィルコ株式会社

** (株) 荏原総合研究所

*** 東北大学選鉱製錬研究所

**** 東北大学選鉱製錬研究所 (平成2年5月26日逝去)

法が注目されている。また、溶融固化スラグは土木、建築材料として再利用（資源化・リサイクル）も期待でき、溶融処理により廃棄物を有価物に転換することも可能であり、優れた溶融処理技術の確立は日本の将来にとっても重要な課題と言える²⁾。

著者らは以上の現状認識に基づき焼却灰の溶融処理に関する研究を開始し、その加熱源として熱プラズマに着目し、パイロットプラント規模のプラズマ溶融炉を試作・設置後、焼却灰のプラズマ溶融処理を試みた。焼却灰の溶融に熱プラズマを用いた報告はなく、本研究では焼却灰プラズマ溶融の妥当性、適した溶融条件、得られた溶融固化スラグの性状などにつき検討した。

2. プラズマ溶融処理の有用性

熱プラズマは優れた高温加熱源として、金属製錬、溶解、溶接などの領域で利用が広がりつつあり³⁾、例えば南ア共和国では高炭素フェロクロム製造用に大型の40MVA 直流プラズマ炉が稼働している⁴⁾。また、リサイクル関連では、鉄鋼・製鋼ダストからの有価金属の回収⁵⁾、低 Zn 含有二次資源（ダスト、スラグ）からの Zn 回収⁶⁾、自動車廃触媒からの貴金属回収⁷⁾、Ta コンデンサスクラップからの金属 Ta 回収⁸⁾、Ti, Ti 合金スクラップの再溶解⁹⁾などの研究が進められ、一部は実用化段階にあり、実用的な高温加熱源として各種領域での応用が展開されている¹⁰⁾。

一方、焼却灰の溶融処理に関しては、現在まで油・ガス等を利用したバーナー炉および電気炉（主にサブマージドアーク炉）による方法が検討されてきた。しかし、これらは最高加熱温度、操作性等に問題がある。例えば、バーナー炉による被加熱物の加熱最高温度は1400°C程度であり、焼却灰中に10~20%含まれる鉄製空缶等金属類の完全溶融は困難である¹¹⁾。また、アーク炉は溶融温度は高く、既に実用化段階にあるが¹²⁾、電気ノイズ、フリッカ現象を抑制し連続安定操作を行うには前処理として金属類の除去が必要と言われる。これらに対し、安定した高温が得られるプラズマ溶融では金属類の選別除去等の前処理が不要であり、Fig. 1に示すように処理工程の単純化が可能と期待される。

以下、焼却灰のプラズマ溶融に関し期待される特長を簡単にまとめて示す。

- ①高温（1500°C以上）が容易に得られるため、再利用性の高い均質なスラグと金属が回収可能。
- ②電気ノイズ、フリッカ現象がないため安定した連続操作が可能。
- ③温度制御が容易で、被加熱物の電気伝導度等の相違にも余り影響されず操作が簡単。
- ④被加熱物への熱伝達速度が大きく、小型装置でも大量処理が可能。
- ⑤排ガス量が少なく、システム全体のコンパクト化が可能。
- ⑥プラズマガスの選択により、不活性、酸化性、還元性の各雰囲気下での溶融処理が可能。

（例えば、還元雰囲気溶融処理では有害な六価クロムを無害な三価クロムに変換可能。）

なお、プラズマプロセスは電力多消費型となる問題点があるが、都市ゴミ焼却場では焼却熱による発電を行っており¹³⁾、その余剰電力を焼却灰の溶融に有効利用でき、合理的なプロセスの構

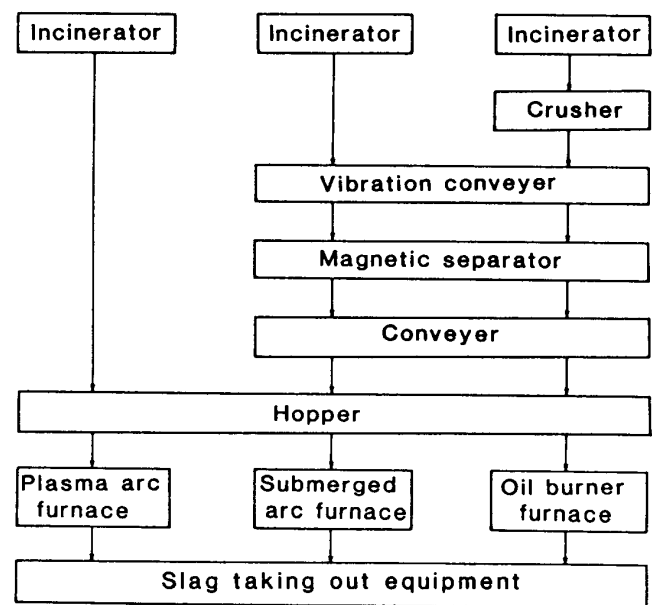


Fig. 1 Flowsheets of the practical melting processes of incinerator residue.

築が可能である。

3. 実験プラントおよび実験方法

3.1 プラズマ溶融装置

3.1.1 装置の構成：実験プラントの全体像をFig. 2に示す。また、プラズマ溶融炉の外観をPhoto. 1に、その仕様をTable 1に示す。本プラントはプラズマ発生装置（プラズマトーチ）、

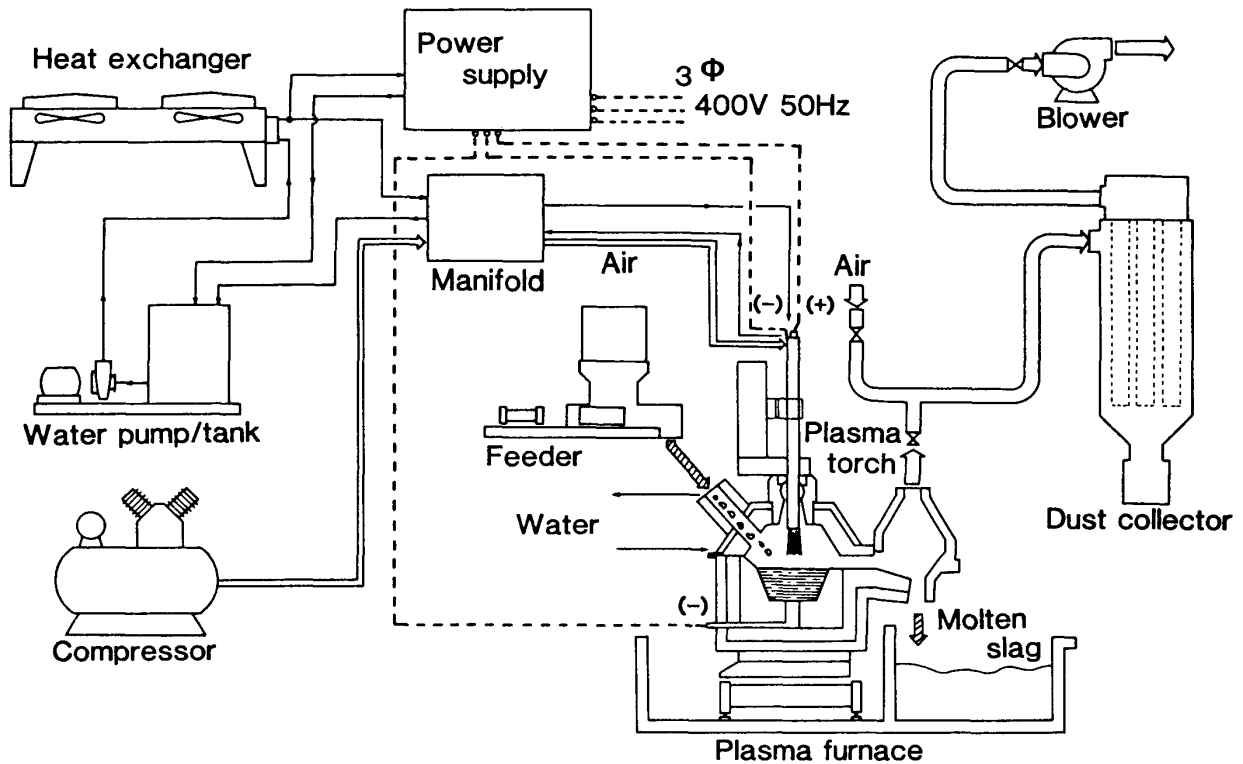


Fig. 2 Schematic drawing of the plasma arc melting process of incinerator residue.

Table 1 Specification of the plasma furnace.

Plasma torch	DC transferred-arc type
Plasma power	Max. 240kW
Feeding rate of the residue	Max. 200kg/h
Bath dia. × Height	500mmφ × 200mm
Bath volume	0.032m ³
Plasma gas (Air)	13.6 ~ 30.5Nm ³ /h

焼却灰供給装置、炉本体、スラグ排出系、排ガス処理系および冷却水循環系から構成されている。炉の焼却灰処理能力は最大200 kg/hを目標に設計されており、炉内溶融部の容積は約0.032 m³である。また、炉体の耐火物には高品位アルミナを使用し、炉蓋は水冷構造とした。炉底電極には黒鉛を用いている。焼却灰はプッシャー式供給装置により炉斜め上から連続的に供給される。排ガス系にはバグフィルタを用い、溶融時に発生する粉塵、蒸発物等は誘引ファンを介して集塵される。溶融スラグの排出は通常溢流方式で連続的に行われるが、実験終了後炉内に残留している溶融スラグを完全に排滓するため炉体には傾動装置が設けられている。

3.1.2 使用プラズマトーチ：プラズマトーチは米国の Plasma Energy Co. 製で，最大出力は240 kW である．トーチ先端部の電極交換により，移送式および非移送式の両方が使用可能であるが，本研究では熱効率が良好な移送式を主に用いた．移送式プラズマトーチによる加熱溶融の概略図を Fig. 3 に示す．先端部は水冷された陽極，ガス導入部，コリメータから成り，コリメータの中心孔を通して安定したプラズマフレームが被加熱物に向けて噴出される．このプラズマトーチの特徴は銅合金製の円筒状電極にある．電極内に導入するプラズマガスの圧力を一定の幅で振幅させ，アーク発生部を電極内表面に一様に走らせることで局所的な電極損傷を防止する工夫がなされている．従って，プラズマガスに空気を使用することが可能である*．空気プラズマ使用はコスト面から大きな長所である．トーチへの空気供給はコンプレッサで行った．空気供給量は13.6～30.5 Nm³/h の範囲とし，その供給圧は2.5～6.3 kgf/cm² の幅で振幅させた．また，効率的な溶融を行うために，プラズマトーチは上下への昇降及び前後方向への傾動が可能である．

3.2 溶融処理方法

プラズマトーチを炉内の所定の位置まで挿入した後，トーチ内の電極と炉底電極間に約700 V の直流電圧を印加し，高周波放電でアークを発生させ，次いでアークの周囲に空気を流入しプラズマを噴出させる．炉内の温度は出力（電圧または電流）を変えて調整されるが，今回は電流を約300 A 一定，電圧を400～530 V の範囲とし，プラズマ出力120～160 kW で溶融処理を行った．炉内雰囲気温度が1000°C 近くまで上昇した時点で，原料ホッパーから炉内への焼却灰の供給を開始し，以後炉内温度の上昇に応じて順次焼却灰の供給速度を増加した．炉内溶融スラグ浴の液面が徐々に上昇し排滓口のレベルに到達後，一定の焼却灰供給速度に保ち，排滓口より連続的に溶融スラグを流出させた．流出した溶融スラグは鉄製の取り鍋に受け，徐冷固化後回収した．焼却灰の供給速度は90～180 kg/h とし，スラグの溶融状態，プラズマの安定性，炉内雰囲気温度，冷却水温度，排ガス温度等を逐次モニターした．

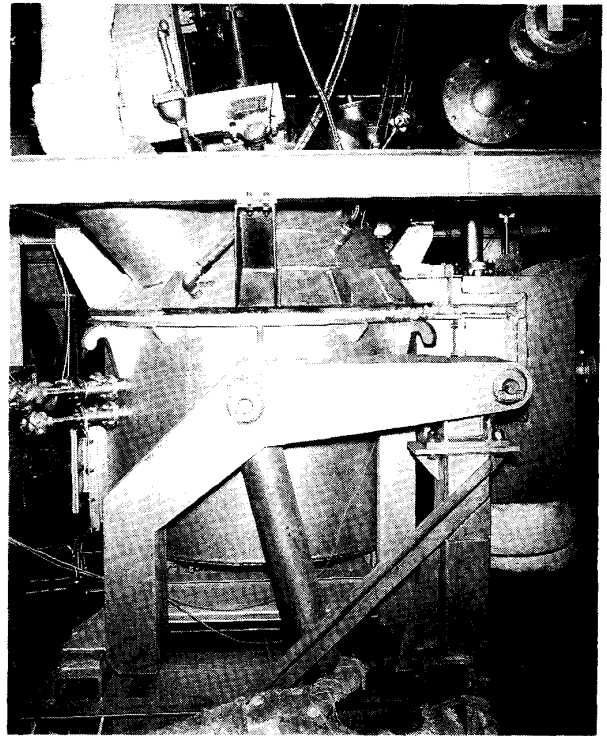


Photo. 1 External view of the plasma furnace used in present work.

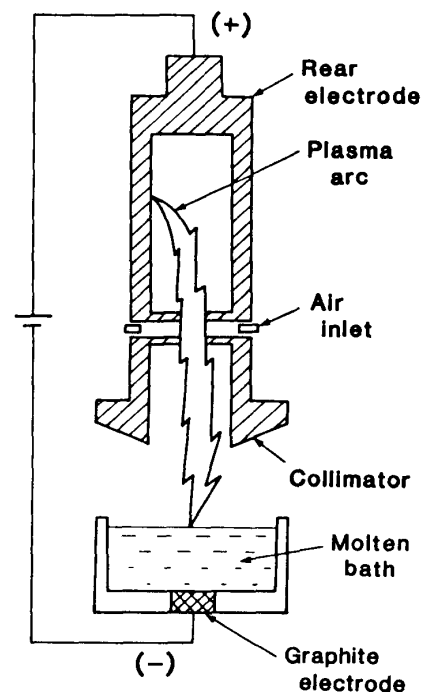


Fig. 3 Schematic drawing of the transferred-type plasma torch.

* 通常プラズマトーチの電極材はWであるが，プラズマガスに酸素が含まれると高蒸気圧の WO_3 等が生成するため，W電極での空気プラズマ使用は不可能である．

4. 実験結果および考察

4.1 原料焼却灰および溶融固化スラグの性状

4.1.1 焼却灰の分析結果：都市ゴミ焼却炉の燃焼温度は800~900°C程度であり，鉄製空缶等は殆ど酸化されず原型に近い形で焼却灰中に残存する．今回原料とした焼却灰は連続式焼却炉から乾式にて取り出したもので*，鉄製空缶等を除いた後の焼却灰分析結果を Table 2 に示した．焼

Table 2 Analyses of incinerator residues.

Residue		A	B
Element			
moisture	(wt%)	0.94	0.76
organic matter	(%)	3.80	3.79
SiO ₂	(%)	39.9	33.2
Al ₂ O ₃	(%)	16.5	16.8
CaO	(%)	11.7	16.9
Fe ₂ O ₃	(%)	7.1	6.2
MgO	(%)	4.5	4.0
Na ₂ O	(%)	2.6	3.4
K ₂ O	(%)	2.4	3.1
Zn	(wt ppm)	1600	2700
Pb	(%)	700	990
Cu	(%)	3900	4510
Mn	(%)	2100	2020
Cr	(%)	900	740
Ni	(%)	500	277
Cd	(%)	ND	<1
Total	(wt%)	90.4	89.3

却灰の組成は採取時期によって変動するが，ほぼ主成分は SiO₂ 35~40%，Al₂O₃ 10~20%，CaO 10~20%，Fe₂O₃ 5~10% で MgO, Na₂O, K₂O が各 1~5% 程度，さらに少量の Zn, Cu, Cr などの金属類が含まれている．この他に，鉄製空缶等の金属類が10~20%程度含まれることになる．また，Photo. 2 (A) には鉄製空缶等を除いた後の焼却灰を示すが，陶器小片や針金なども散見される．

4.1.2 焼却灰の熱分析結果：

金属片，小塊状物などを除去した焼却灰を微粉碎し，約600°Cの焼成により水分等を除いた後，JIS-M 8801法（石炭灰の溶融性試験方法）によ

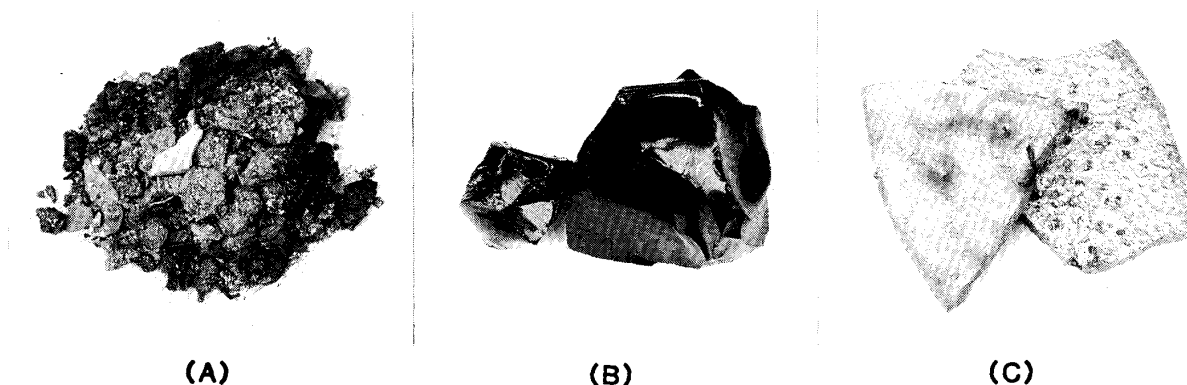


Photo. 2 Incinerator residue (A), the slag (B) and the metal block (C) obtained by the plasma arc melting of incinerator residue.

り焼却灰の軟化点，溶融点および流動点を測定した．焼却灰組成の小幅な変動による影響は余りなく，軟化点は1140~1160°C，溶融点は1170~1180°C，流動点は1210~1220°Cであった．しかし，前述したように焼却灰中には陶器の破片や鉄製空缶等の金属類が10~20%含まれ，これらの溶融点は1450°C以上である．従って，融点の高い物質も含めて完全溶融状態を形成するには1500°C以上の高温が必要となる．

また，示差熱分析，熱重量分析から求めた焼却灰の融解熱は，組成によって若干異なるが，50 kcal/kg 程度であった．

* 通常，焼却灰は飛散等を防止するため，焼却炉から排出される際に水を掛けられ，多量の水分を含んでいる．

4.1.3 溶融固化スラグおよび回収金属の分析結果： プラズマ加熱により焼却灰は完全に溶融状態となり、比重差により上部の溶融スラグ相と炉床部の溶融金属相の二相に分離した。溶融スラグは流出し炉外にて回収され、溶融金属は溶融実験終了直後に炉を傾動し残存溶融スラグと共に取り鍋にて回収された。回収後の両者の化学組成を Table 3 と Table 4 に示す。

溶融固化スラグを機械的に破碎して得た小塊の外観を Photo. 2 (B) に示すが、黒色を帯び均質なガラス状物質である。その組成は焼却灰とほぼ同様で SiO_2 , Al_2O_3 , CaO を主成分とし、微量の重金属を含有している。なお、 MgO , K_2O は蒸発により若干の減少が認められた。また、 Fe_2O_3 の増加は殆ど認められず、空缶等からの Fe はほぼ全量が金属層に移行したと言える。また、焼却灰に較べ溶融固化スラグでは Cu, Pb, Cr, Ni の減少が認められ、これらの一部は Fe と共に金属層に移行したと考えられる。

一方、回収された金属塊の小片を Photo. 2 (C) に示すが、茶褐色を帯び金属光沢を呈している。その主成分は金属鉄であるが Fe 量は70%台であり、その他 Cu, Si など種々な金属および非金属元素が含有されていた。現時点では鉄源としての利用は困難と言えるが、最近注目されている鉄リサイクル技術 (Cu など有害元素の分離技術) の発展により資源化も可能と考えられる¹⁴⁾。

4.1.4 溶融固化スラグの溶出および安定性試験結果： 焼却灰を溶融処理する目的の一つは最終処分場での二次公害防止にあり、総理府令第5号で定められた「産業廃棄物の埋立処分に係る規準」* に従い溶出試験を行った。具体的には、pH5.8

～6.3の塩酸水溶液に重量体積比10%で溶融固化スラグ (粒径0.5～5mm に粉碎後) を混合し、常温(20℃)で6h連続振とう(振とう回数毎分200回、振とう幅40～50mm)し、孔径1 μm のグラスファイバー製濾紙にて濾過後、濾液中の Hg, Cd など有害金属の定量分析 (JIS K-0102「工場排水試験方法」による) を行った。その結果を Table 5 に示す。全ての溶融固化スラグは

Table 3 Analyses of the slags obtained by the plasma arc melting of incinerator residue.

Slag		A	B	C
Element				
SiO_2	(wt%)	39.1	39.2	39.4
Al_2O_3	(")	21.1	21.9	19.8
CaO	(")	20.9	20.8	13.3
Fe_2O_3	(")	6.17	6.00	5.45
MgO	(")	2.31	2.33	2.43
Na_2O	(")	4.57	4.58	4.33
K_2O	(")	1.33	1.33	1.14
Zn	(wt ppm)	2120	2220	2700
Pb	(")	82	106	184
Cu	(")	630	660	1010
Mn	(")	1890	1790	2080
Cr	(")	595	579	746
Ni	(")	55	60	33
Cd	(")	<1	<1	<1
Total	(wt%)	96.0	96.7	86.5
CaO/SiO_2		0.53	0.53	0.34

Table 4 Analyses of the metal phase obtained by the plasma arc melting of incinerator residue. (wt%)

Metal phase		A	B	C
Element				
Fe		73.2	73.1	76.8
Cu		10.2	10.1	9.07
Si		9.94	11.3	8.87
Ti		0.57	0.39	0.31
Ni		0.54	0.53	0.44
Sn		0.51	0.14	0.18
Cr		0.42	0.50	0.36
Mn		0.37	0.48	0.40
Zn		0.20	0.19	0.21
Al		0.050	0.110	0.059
Pb		0.083	0.013	0.065
P		2.79	2.37	1.91
C		0.19	0.31	0.56
S		0.033	0.006	0.018
Total		99.1	99.5	99.3

* 昭和48年2月17日 制定

「判定規準」を十分に満たし、溶出量は1/10~1/100と小さく無害化されていることが確認された。

Table 5 Results of the leaching test of the slag obtained in present work and the upper limit specified in the law.

Element	Slag			upper limit in the law
	A	B	C	
total-Hg	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.005
Cd	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.3
Pb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 3
Cr ⁶⁺	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 1.5
As	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 1.5
CN	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 1

次に、溶融固化スラグの物理的な安定性を、「骨材の安定性試験方法 (JIS A-1122)」に従い検討した。安定性試験とは降雨、日照、凍結融解など気象作用に起因して風化劣化する度合を調査するもので、JIS A-1122 試験法は簡易法として硫酸ナトリウムの晶析時の結晶圧の破壊作用を利用し、試料の破壊状況 (崩壊、割れ、はげ落ち、ひび割れ等) を損失質量%で数値化している。Table 6 に溶融固化スラグの安定性試験結果を安山岩、碎石の標準値と共に示す。スラグの損失質量は何れの場合も1%以下であり、安山岩、碎石などに比較しても極めて小さく、溶融固化スラグの良好な安定性が実証された。

Table 6 Results of the test for soundness (JIS A-1122) of the slag obtained in present work.

	Slag			Andesite	Crushed stone
	A	B	C		
Weight loss (%)	0.1	0.6	0.2	0.15 ~ 0.31	0.4 ~ 44.0

4.2 溶融処理条件の解析

焼却灰溶融時のプラズマ条件および運転データを基に、本研究で用いたプラズマ溶融装置の諸特性を解析し、実用化に向けての指針を検討した。代表的な運転データを Table 7 示す。Table 中の処理時間とは、焼却灰の供給開始から溶融終了までの時間である。焼却灰供給速度、プラズマ出力、炉内雰囲気温度等は処理時間内の平均値を示す。ただし、Table 最下段の溶融スラグ温

Table 7 Operation data on the plasma arc melting of incinerator residue.

Conditions	Test No.	1	2	3	4
	Operating time (h)		5.8	5.2	5.4
Feeding rate (kg/h)		87.6	133.2	144	182
Plasma arc voltage (V)		419	492	507	504
Plasma arc current (A)		300	302	302	302
Plasma power output (kW)		126	147	153	160
Power consumption (kWh/kg)		1.44	1.11	1.06	0.88
Atmosphere temp. in the furnace (°C)		1359	1308	1217	1210
Temp. of the wall of furnace (°C)		174	140	162	180
Temp. of molten slag (°C)		1540	1530	1530	1510

度は、プラズマアーク停止（溶融終了）直後に炉下部本体を炉蓋から離し横方向に移動させた後、ランス型熱電対を溶融スラグ内に直接浸漬して測定した値である。

4.2.1 処理能力： Fig. 4には平均プラズマ出力126 kW，焼却灰供給速度87.6 kg/hで溶融処理を行った際の，溶融時間に対する炉内雰囲気ガス，排滓口周辺ガスおよびバグフィルタ前の排ガスの各温度変化の一例（Table 7のテスト No.1の結果）を示す。焼却灰供給時においても炉内雰囲気温度は徐々に上昇し，1400°C程度の高温に達することから，供給速度87.6 kg/hが過少であることが示唆された。そこで，テスト No.2以降は焼却灰の供給速度とプラズマ出力をさらに上げ，本プラズマ溶融炉における処理能力の限界を追求した。

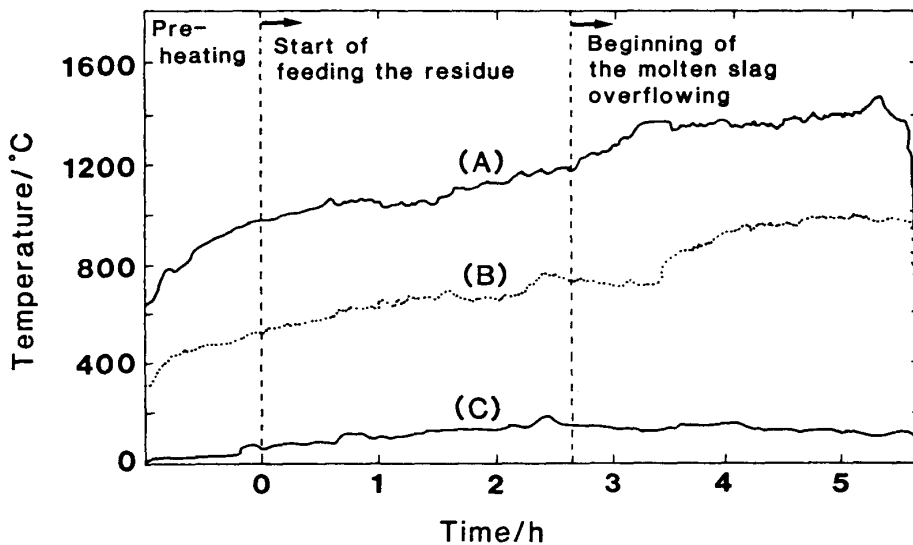


Fig. 4 Change in the gas temperature at surrounding each position in the plasma arc furnace with melting procedure of incinerator residue on Test No.1. (A) atmosphere gas temperature in the furnace, (B) exit gas temperature around the molten slag overflowing, (C) exhaust gas temperature in front of the bag filter.

Table 7に示すように，テスト No.4は焼却灰供給速度を増大し182 kg/hとした時の結果であるが，炉内雰囲気温度は1200°C以上に維持され，溶融スラグの温度も1500°C以上に保持でき，連続排滓が十分に可能であることが確認された。この時の電力原単位は0.88 kWh/kgであった。なお，本実験プラントは実用プラントの1/10～1/20のスケールであり，炉体からの熱放散等の防止に対して充分には配慮されていない。従って，実用プラントにおいて設備全体からの熱放散量を軽減することにより，0.7 kWh/kg以下の電力原単位が達成可能と予測され，経済的にも優れた焼却灰溶融プロセスと期待される。

4.2.2 物質収支と減容効果： Fig. 5は実験結果から得られた物質収支の一例を示す。焼却灰には鉄製空缶などの金属類が10～20%混入していたが，溶鉄として炉底部に溜り，金属塊として分離回収された。一方，焼却灰の主成分である各酸化物は溶融固化スラグとして均質なガラス状物質として回収された。その見掛比重は1.8であり，焼却灰に較べ約2倍となり，容積は約1/2に減容化された。従って，本研究目的の一つである減容化に，プラズマ溶融法が有用なことが確認された。

4.2.3 熱収支： 一例として，テスト No.4の運転データから算出したプラズマ溶融炉の入出熱をTable 8に示す。入熱の項には，焼却灰中の未燃物の燃焼による発熱量を加えた。出熱に関しては，目的とする焼却灰の溶融に約50%が投入され，本実験プラント程度の溶融炉では妥当

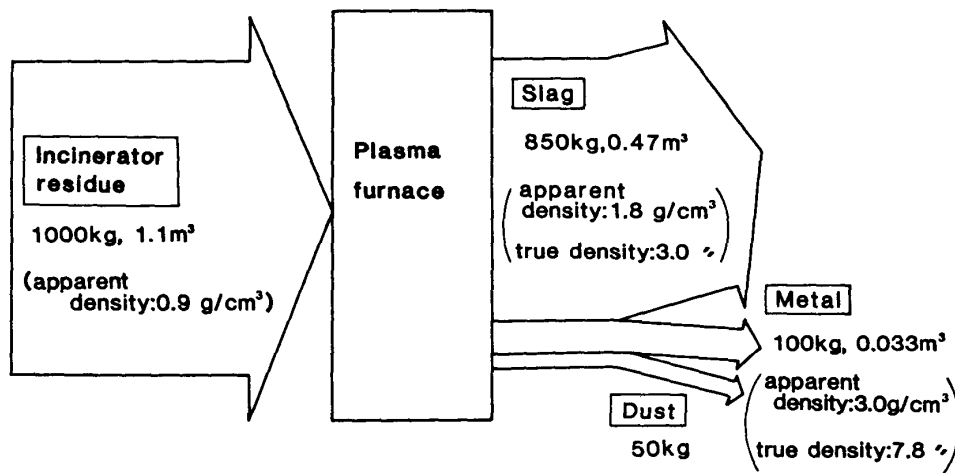


Fig. 5 Typical material balance on the plasma arc melting of incinerator residue.

Table 8 Typical heat balance on the plasma arc melting of incinerator residue.

Input-heat from subject			Output-heat to object		
Subject	(kWh/kg)	ratio (%)	Object	(kWh/kg)	ratio (%)
① Electric power	0.88	80.7	① Molten bath	0.57	52.2
② Heat of combustion in the residue	0.21	19.3	② Exhaust gas	0.10	8.9
			③ Radiation from the furnace	0.22	20.0
			④ Heat loss, etc	0.20	18.9
Total	1.09	100	Total	1.09	100

な結果が得られた。より大型の実用炉では炉体からの放散熱や冷却水等への損失熱が減じられ、焼却灰溶融への熱利用率は60%以上に向上可能と予測される。

ところで、都市ゴミ焼却能力100 t/dの焼却炉2基を有する焼却工場から発生する焼却灰は20 t/d程度であり、この焼却灰のプラズマ溶融処理に必要な電力は730 kWと見積られる。一方、この焼却工場が発電可能な電力は通常1600 kW程度である。また、焼却場内の使用電力は約700 kWと見込まれることから、余剰電力を用いたプラズマ溶融処理は十分に可能と考えられる。

4.2.4 排ガス量及び排ガス処理： 溶融時のプラズマ炉出口での排ガス量はプラズマガス（空気）供給量に対応し、例えばテスト No.4では空気供給量 $30.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ に対し炉出口排ガス量は $31.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ であった。従って、焼却灰1 t当りの排ガス量は 175 Nm^3 となる。一方バーナー炉の場合には、油等を完全燃焼するため多量の空気供給が必要であり、焼却灰1 t当りの排ガス量は約 4800 Nm^3 に達し、プラズマ炉の排ガス量はその約1/30と少なくシステム全体のコンパクト化に有利であることが確認された。

溶融炉からの高温の排ガスは、冷却用空気です約 150°C まで冷却された後、バグフィルタで処理される。バグフィルタ入口の煤塵濃度は $2\sim 3 \text{ g}/\text{Nm}^3$ 、出口は $0.002 \text{ g}/\text{Nm}^3$ であり、日本の厳しい排出基準値*である $0.08 \text{ g}/\text{Nm}^3$ を十分に満たす結果が得られた。一方、排ガス中には高温で揮散する各種重金属も総量として $0.5 \text{ g}/\text{Nm}^3$ 程度含まれたが、バグフィルタの優れた除去効果により除去率99.99%以上とほぼ完全に除かれた。

* 大気汚染防止法で定められた、廃棄物焼却炉からの煤塵排出基準（昭和57年6月に改訂強化）

5. 結 言

ゴミ焼却炉から排出される焼却灰の減容化, 無害化, 再資源化を目的に, パイロットプラント規模の240 kW 直流プラズマ溶融炉を用い, 焼却灰の溶融処理実験を行った. なお, プラズマガスには空気を使用し処理コストの低減化を図った. 本実験結果を要約すると以下の通りである.

- (1) 焼却灰の主成分は SiO_2 35~40%, Al_2O_3 10~20%, CaO 10~20% であり, その他微量の重金属と鉄製空缶など金属類が10~20% 含まれる.
- (2) 金属分を除いた焼却灰の融点は約1200°C, 金属類の融点は約1450°C であった.
- (3) 空気プラズマ加熱により焼却灰は完全に溶融し, 溶融スラグ相及び溶融金属相に分離された.
- (4) 原料の焼却灰に対し溶融固化スラグは約1/2に減容化された.
- (5) 溶融固化スラグは均質なガラス状で, 重金属等の溶出もなく, 物理的にも碎石等と較べ遜色がなく, 極めて安定であった.
- (6) 焼却灰溶融処理の電力原単位は0.9 kWh/kg 以下にまで低減でき, 都市ゴミ焼却発電からの余剰電力で経済的に稼働できることが確認された.
- (7) バグフィルタによる排ガス処理により, 煤塵, 揮散重金属とも高効率で除去された.

以上, 空気プラズマによる都市ゴミ溶融処理に関する基礎データから, 実用プラントに対応できるシステムであることが確認された. 今後は回収された溶融固化スラグ及び金属鉄塊の再資源化, 用途開発の検討を行う予定である.

最後に, プラズマ溶融炉の設置に際し種々便宜を図って頂いた東北大学選鉱製錬研究所 八木順一郎教授, 高橋礼二郎助教授に謝意を表します. また図面の整理等に御協力下さった当所伊藤良雅技官に感謝致します.

文 献

- 1) 大川一美, 北島 学, 石井 剛: 都市清掃, **43**, No. 174 (1990), 2.
- 2) 例えば, 社団法人全国都市清掃会議編: ゴミ処理施設構造指針解説, (1986), 268.
- 3) Mimura K.; Nanjo M.: High Temperature Materials and Processes, **7** (1986), 1.
- 4) Kammeyer H.J.: Chromium Review, No. 10(1989), 13.
- 5) Picles C.A.; McLean A.; Alcock C.B.; Segsworth R.S.: *Advances in Extractive Metallurgy*, (1977), 69, Inst. Min. Metall., London.
- 6) Bjorling G.; Faldt I.; Saten S.: *Erzmetall*, **34** (1982), 77.
- 7) Mishra R.K.; Reddy R.G.: *Proc. Precious Metals' 1986*, (1986), 217.
- 8) 三村耕司, 高橋 亨, 南條道夫: 資源・素材学会誌, **106**(1990), 187.
- 9) 平竹 進, 中西洋一, 山田博之, 吉田浩二: 電気製鋼, **55** (1984), 74.
- 10) Feinman, J. edited: *Plasma Technology in Metallurgical Processing*, (1987). The Iron and Steel Society (U.S.A).
- 11) 岩崎恢己: 生活と環境, (1988), 43. (財) 日本環境衛生センター発行.
- 12) 都築 仁: 生活と環境, (1988), 27. (財) 日本環境衛生センター発行.
- 13) 例えば, (財) クリーンジャパンセンター編: 再資源化技術の開発状況調査報告書, (1984).
- 14) 例えば, 松尾 亨: 鉄と鋼, **75** (1989), 82.