

4.3.4 その他排ガス処理に伴う残渣物

1. 使用済みバグフィルタろ布

ろ布の交換に際しては、抜き取り作業時のダスト飛散を防止する事が重要である。この点に留意した方法として、ろ布を抜き取ると同時にビニール袋の中に入るようにし、密封して搬出する方法がある。この方法であれば、バグフィルタの出口側ガスチャンバー（クリーンサイド）やプラント室内を汚さずに、作業雰囲気も良く、輸送時にも問題が起きにくい。ろ布は通常、産業廃棄物焼却炉にて焼却処理されている。マニフェストにて正しく輸送・処理・処分されたかを管理し、構造基準・維持管理基準に合致した産業廃棄物焼却炉にて無害化処理後処分されることとなる。なお、この処理過程において実際にダイオキシン類を詳しく調査したという事例は、見あたらなかった。

2. 使用済み脱硝触媒

使用済みの触媒は、粉碎後セメントキルンに投入し、セメント材料に使われている。この処理時に特にダイオキシン類の分析を行ってはいないが、温度条件などからみて十分に分解・無害化されていると推定される。触媒メーカーへのヒアリングでは、粉碎後の触媒中のダイオキシン類の分析値では、0.1 ng-TEQ/g以下であったとのことである。

なお、搬送手段については、ダストをエアブローにて落とした後、トラックの荷台に積み込みシートカバーして搬出している。

引用文献

- 1) (財) 廃棄物研究財団：一般廃棄物処理施設からの未規制物質の排出実態およびその低減化に関する調査報告書 平成7年度報告書
- 2) (財) 廃棄物研究財団：一般廃棄物処理施設からの未規制物質の排出実態およびその低減化に関する調査報告書 平成8年度報告書
- 3) (財) 廃棄物研究財団：廃棄物処理におけるダイオキシン類の発生と挙動に関する調査研究 平成9年度報告書
- 4) (財) 廃棄物研究財団：廃棄物処理におけるダイオキシン類の発生と挙動に関する調査研究 平成11年度報告書
- 5) 馬場ら：バグフィルタにおけるダイオキシン類除去機構の解明，第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 671～673，1998
- 6) 河端ら：准連続炉の連続運転によるダイオキシン低減効果，第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 587～589，1997
- 7) 河上ら：都市ごみ焼却施設からのダイオキシン類低減化，第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 522～524，1996
- 8) 小松ら：機械化バッチ炉におけるダイオキシン類の抑制，第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 533～535，1996
- 9) 勝浦ら：反応助剤を用いた排ガス中のダイオキシン類、水銀同時除去，第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 536～538，1996
- 10) 手島ら：実プラントにおける活性炭吹込バグフィルタでの水銀・ダイオキシン類の同時除去，第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 301～304，1994
- 11) 洞口ら：低温バグフィルタシステムによる排ガス中のダイオキシン除去実機試験，日本機械学会第5回環境工学総合シンポジウム'95講演論文集，p. 126～128，1995
- 12) 佐瀬ら：テールエンド型ボイラ付都市ごみ焼却施設の運転実績，第21回全国都市清掃研究発表会講演論文集，p. 232～234，2000
- 13) 住友重機械工業（株）提供資料
- 14) 河上ら：活性炭移動層式吸着塔と再生塔によるダイオキシン除去・分解技術，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p. 837～839，1999

第5章 処理した残渣物のリサイクルに関する調査

5.1 溶融処理によるリサイクルについての調査（文献調査）

5.1.1 調査目的

ごみの焼却に伴い発生する主灰や飛灰のダイオキシン対策、重金属対策の有効な方式として溶融処理が推奨されており、無害化された溶融スラグを有効利用することが望まれている。ここでは、溶融スラグのダイオキシン類の挙動とリサイクルに関する最近の文献の調査をするとともに、溶融スラグの発生量についての調査を行なう。

5.1.2 文献調査内容

廃棄物学会研究発表会講演論文集、全国都市清掃研究発表会講演論文集、並びに東京都清掃局の平成8年度「特別管理一般廃棄物（飛灰）の処理技術に関する共同研究」から溶融スラグのダイオキシン類濃度に関するものを抽出した。それらのうち代表的なものを文献カードに示す。また、表5-1-1に抽出した文献類の一覧をまとめ、合わせて溶融スラグの再利用、試験使用に関する報告をまとめた。

抽出した文献数はスラグのダイオキシンに関するものが36件、再利用・試験使用に関するものが17件の合計53件であった。

溶融スラグのダイオキシン類濃度は極めて低く、調査した範囲では多くは定量下限値以下で、報告されている最大の値は0.02～0.03ng-TEQ/gであった。同時に重金属類の溶出試験結果が報告されている文献ではいずれも土壤環境基準を満足する結果であり、溶融スラグが有効利用できる可能性を示唆している。

スラグのリサイクルについての論文は、試験使用の報告が主で、多くは上層、下層の路盤材およびアスファルト骨材への利用であった。

溶融スラグの実用例の報告は少なく、埋立処分場の覆土として利用している例とインターロッキングブロックとして利用している例が報告されているが詳細は不明である。

1. タイトル

和 文：旋回流溶融炉による飛灰処理

2. 執筆者

氏 名：河端博昭、伊藤正、秩父薫雅、鈴木富雄

国 籍：日本

所属機関：(株) 神戸製鋼所

3. キーワード

旋回流溶融炉、スラグ、ダイオキシン類、流動床式都市ごみ焼却炉

4. 出典

第13回 全国都市清掃研究発表会 講演論文集 III-4-23

5. アブストラクト

- ・実験装置による運転状況、生成スラグの性状、ダイオキシン類の分解状態の調査
- ・装置は円筒形で、上部より燃料、飛灰、1次空気を吹き込み、炉の途中から2次空気を供給する。飛灰は旋回しながら溶融し、炉壁を伝わって下部へと流れる。生成スラグは水冷式チェーンコンベヤにより連続排出される。排ガスは二次炉、クーリングチャンバー、マルチサイクロン、誘引ファンを経て煙突から大気へ排出される。
- ・実験試料灰は流動床式焼却炉の飛灰で溶融点の異なる2種類、SiO₂ 20%、CaO 20~30%、Al₂O₃ 11%程度、Fe₂O₃、K₂O、Na₂O 3~7%程度、P₂O₅、MgO 1~2%程度で、平均粒子径は20μm程度。
- ・溶流点以上で飛灰を供給、安定した溶融、スラグ化率80%。
- ・スラグの主成分はSiO₂ 35%、CaO 20%、Al₂O₃ 20%程度、Fe₂O₃、MgO 1~3%程度含有。
- ・重金属の挙動については、K₂O、Na₂O、Hg、Cd、Zn、As等低沸点物質は排ガス側に移行、SiO₂、Al₂O₃、MgO、TiO₂、Mnはスラグへ70%以上移行。
- ・スラグ中のダイオキシン類は飛灰中の含有量(2.8および11ng-TEQ/g)の1/2000~1/10000に減少し、濃度は0.0012および0.0014ng-TEQ/gとなった。
- ・ダイオキシンバランスは飛灰中の総量100として、分解が98.89%、排ガスへ0.86%、溶融飛灰へ0.22%、スラグへ0.03%という結果であった。
- ・スラグからの重金属類の溶出はすべて埋め立て処分溶出基準値(総令5号)以下であった。

1. タイトル

和 文：都市ごみ焼却灰プラズマ熔融生成物の特性

2. 執筆者

氏 名：石田美智夫*、浜辺孝平*、佐々木邦夫*、中村和範*
古角雅行**

国 籍：*日本、**日本

所属機関：*日立造船（株）、**東京都清掃局

3. キーワード

ごみ焼却施設、灰熔融技術、電気式灰熔融設備、スラグ、ダイオキシン類、溶出試験

4. 出典

廃棄物学会 第7回 研究発表会講演論文集 P9-19

5. アブストラクト

- ・被熔融物である焼却灰の水分をパラメータとして熔融実験を行い、熔融特性と熔融生成物への影響調査を行った。水分26.5%、14.4%、3.2%の3RUN。
- ・実験炉は250kg/h(wetベース)のプラズマ式電気熔融炉。炉本体は縦型楕円形。
- ・焼却灰は熔融面上部に連続供給され、スラグはオーバーフローにより連続出湯し、スラグ水槽で急冷、水砕スラグとして排出。
- ・排ガスは2次燃焼炉、ガス冷却塔、バグフィルター、誘引ファンを経て煙突より大気に排出。
- ・被熔融灰はストーカ炉の焼却灰で水分調整、粗選別、磁選処理を行う。
- ・塩基度平均0.97、軟化点、融点、溶流点はそれぞれ1150℃、1200℃、1227℃。
- ・灰供給、熔融、スラグ化率、電極消耗量は水分影響無し。電力原単位は水分増加で上昇(wetベースで812kWh, 791kWh, 698kWh、ただしdryベースではほぼ一定)。
- ・物質収支は乾灰基準で各RUNともIgloss約7%、スラグ約83.5%、熔融飛灰約3.5%でほぼ同じ。
- ・水分の減少に伴い2次燃焼室下堆積物とガス冷却塔付着物が増加、バグフィルター捕集灰は減少。
- ・灰中のSi、K、Pb、Hgのスラグ、熔融飛灰等への移行率も各RUNで大差なく、Si、Kはスラグへ、Pbは飛灰へ、Hgは排ガスへの移行率が高い。
- ・ダイオキシン類は99.8%が分解され、スラグ中濃度は定量下限値以下、熔融飛灰は3RUN平均で0.025ng-TEQ/gであった。
- ・スラグ中の重金属溶出試験結果はすべて環告13号の基準値以下となっている。

1. タイトル

和 文：溶融プロセスにおける低沸点重金属類とダイオキシン類の挙動

2. 執筆者

氏 名：上林史郎*、阿部清一*、古角雅行**

国 籍：*日本、**日本

所属機関：* (株)クボタ、**東京都清掃局

3. キーワード

ごみ焼却施設、灰溶融技術、回転表面溶融、スラグ、ダイオキシン類、溶出試験

4. 出典

廃棄物学会 第8回 研究発表会講演論文集 17-24

5. アブストラクト

- ・回転式表面溶融炉において灰溶融室内の雰囲気還元状態と酸化状態にすることによる溶融特性、重金属の挙動およびダイオキシン類の挙動について報告。
- ・実験装置は処理能力20t/日、灰の受入・前処理設備、溶融設備（灰供給設備、溶融炉、2次室、スラグ排水水冷コンベア、後燃焼炉、空気予熱器、）、排ガス処理設備（ガス冷却塔、電気集じん器、ろ過式集じん器、触媒脱硝塔）誘引ファンからなる実証設備。
- ・溶融は焼却灰単独、焼却灰と飛灰の混合灰、飛灰単独、焼却灰にプラスチックを混合した場合の各RUN実施。燃料には都市ガスを使用。いずれも安定した溶融。
- ・焼却灰にプラスチックを混合した場合には焼却灰単独時に比べ都市ガス消費量が200m³/hから52m³/hに低減した。
- ・NoxとHClの発生量は還元時のほうが酸化時より低い。また、ClのHClへの転換率も還元時のほうが酸化時より低い。
- ・SOxについては本来差があるものと考えられるが、明確な差は見られなかった。
- ・SiO₂、Al₂O₃、CaOなどの高沸点の重金属類は雰囲気の影響は見られない。低沸点のものうち特にPb、Znは雰囲気による差が顕著で酸化雰囲気ではスラグへの移行率が高く、還元雰囲気では溶融飛灰への移行率が高い。
- ・ダイオキシン類の分解率は還元時 99.93%、酸化時 99.92%でTEQベースではどちらも99.94%であった。スラグ中の濃度は還元時 0.00049ng-TEQ/g、酸化時 0.00027ng-TEQ/gであった。

表5-1-1 溶融固化物のダイオキシンおよび有効利用に関する文献調査表 (廃棄物学会研究発表会講演論文集、全国都市清掃研究発表会講演論文集、他より)

No.	出版	名称	発表者	スラグ中のダイオキシンレベル	スラグ有効利用例 (RFT:フィールドテスト)	備考
1	1992年 廃:第3回 全:第13回	8-3 飛灰の溶融処理 III-4-22 プラスマによるごみ焼却灰の溶融処理(第3報)	クボタ 荏原他	0.00ng-TEQ/g 0.00ng-TEQ/g		
3	1993年 廃:第4回	III-4-23 旋回溶融炉による飛灰処理 14-4 プラスマ溶融炉による飛灰処理	神戸製鋼 神戸製鋼	0.0012ng-TEQ/g 0.0014ng-TEQ/g 被処理飛灰中の2万分の1		
5		14-7 電気抵抗炉によるばいじんの溶融	タクマ	0.003% 0.004% 0.013% 被処理飛灰中の		
6		14-8 都市ごみ焼却灰のバーナ溶融処理	日立造船	N.D.		
7		14-10 電気抵抗式ごみ焼却灰溶融炉とスラグの資源化	NKK他	0.00ng-TEQ/g		
8	全:第14回	III-5-30 都市ごみ焼却灰の溶融処理	日立造船	N.D.		
9		III-5-32 スリムウエイ推進研究	玉川大他		RFT:上層・下層路盤材	
10	1994年 廃:第5回	III-5-37 焼却炉飛灰の安定化処理	クボタ	0ng-TEQ/h 検出されず		
11		10-5 プラスマトーチ式灰溶融炉連続運転結果	住原インフイ	0.001ng-TEQ/g以下		
12		10-8 ごみ焼却残渣のアーケ溶融試験の概要	大同特殊鋼			
13	1995年 廃:第6回	9-2 プラスマ式灰溶融炉運転結果	松山市他			
14		9-28 各種スラグの道路用路盤材への適用性に関する試験につい	建設技術研		埋立処分場覆土	
15	全:第16回	9-10 スリムウエイ推進研究その3	玉川大他	被処理飛灰中の数万分の1	RFT:鉄鋼スラグの上層路盤材テスト	
16	1996年 廃:第7回	9-10 プラスマ式溶融炉による飛灰混合溶融処理について	荏原	N.D.		
17		9-12 飛灰および焼却灰のプラスマ溶融試験	神戸製鋼他	0.00ng-TEQ/g		
18		9-13 アーク式飛灰混合溶融炉における溶融条件と物質挙動	大同特殊鋼	0ng/g		
19		9-19 都市ごみ焼却灰プラスマ溶融生成物の特性	日立造船他	定量限界以下(0.001ng-TEQ/g以下)		
20	特別管理 一般(廃棄 物(飛灰) の処理技 術に関する 共同研究	2-1 コークスヘッド溶融炉(石川島播磨) 2-3 回転式表面溶融炉(クボタ) 2-6 高周波溶融炉(日本ガイシ) 2-7 電気抵抗式溶融炉(日本鋼管) 2-8 蒸気抵抗式溶融炉(三菱重工)	東京都清掃局	0.00049ng-TEQ/g 0.00027ng-TEQ/g 定量限界未満 0.01ng-TEQ/g以下 0.00037ng-TEQ/g以下		
21	1997年 廃:第8回	12-5 都市ごみ焼却灰溶融炉による飛灰混合溶融処理(三菱重工)	藤沢市他	0.00019ng-TEQ/g	RFT:路盤材	
22		17-2 酸素バーナによるごみ焼却飛灰溶融試験の概要(第1報)	大同特殊鋼	0.01ng-TEQ/g未満		
23		17-11 電気抵抗式溶融による飛灰処理技術の開発(第2報)	NKK他	0.02~0.03 ng-TEQ/g		
24		17-13 高周波溶融炉による飛灰単独溶融処理	日本ガイシ他	0.000ng-TEQ/kg以下		
25		17-14 飛灰および焼却灰のプラスマ溶融試験(2)	神戸製鋼他	0.00ng-TEQ/g		
26		17-18 スラグ排出型ロータリーによる焼却灰と飛灰等の混合溶融処理	住友重工業	0.00049ng-TEQ/g 0.00027ng-TEQ/g		
27		17-24 溶融プロセスにおける低沸点重金属類とダイオキシン類の移行	クボタ他			
28	全:第18回	II-4-1 各種スラグの道路用路盤材への適用性について	建設技術研		RFT:鉄鋼スラグの上層路盤材テスト	
29		II-4-7 ゴミ焼却灰溶融炉による道路用路盤材等への試験施工	横浜市		RFT:上層・下層路盤材	
30		II-4-13 電気抵抗式溶融による溶融スラグの有効利用	NKK他		RFT:上層・下層路盤材	
31	1998年 廃:第9回	15-3 灰溶融スラグの道路用路盤材適正評価	横浜市他		RFT:道路用路盤材	
32		15-5 都市ごみ溶融スラグのプラスマ溶融炉への利用	釜石市他		RFT:アスファルト混合材	
33		15-8 ごみ焼却灰資源化技術としての飛灰混合溶融	横浜市他		RFT:アスファルト混合材・実使用2000t	
34		15-9 飛灰混合溶融処理の溶融生成物の有効利用	大阪市他		RFT:上層路盤材、下層路盤材	
35		25-4 プラスマ式灰溶融炉を用いたスターカ飛灰の溶融	川崎重工	0.01ng-TEQ/g以下		
36		25-5 25t/日プラスマ溶融炉の運転実証	タクマ	N.D.		
37	全:第19回	II-4-6 都市ごみ溶融スラグの有効利用に関する一考察	建設技術研	0.000ng-TEQ/g	RFT:テラゾーブロック	
38		II-5-17 バーナ式溶融炉によるごみ飛灰のスラグ化	B日立	検出限界以下		
39		II-6-3 都市ごみ流動床燃焼+飛灰プラスマ溶融システム運転状況	神戸製鋼	0.001ng-TEQ/g以下		

表5-1-1 熔融固化物のダイオキシンおよび有効利用に関する文献調査表（廃棄物学会研究発表会講演論文集、全国都市清掃研究発表会講演論文集、他より）

No.	出典	名称	発表者	スラグ中のダイオキシンレベル	スラグ有効利用例 (RFT:アフラトキシン)	備考
40	1999年 廃:第10回	八王子市戸吹清掃工場電気抵抗式灰溶融炉稼働状況	八王子市他		RFT:遠路精炭、インタロッキングブロック	
41		25t/日プラズマ溶融炉の運転実証(第2報)		0.000ng-TEQ/g	スラグ、メタルの有価取引	
42		ごみの熱分解溶融スラグの有効利用(第1報)	三井造船			
43		下水汚泥溶融スラグのアスファルト粗骨材への利用	大阪ガス他		RFT:埋め戻し財、アスファルト用骨材	
44		焼却灰溶融石材化実証試験	鎌ヶ谷市他		RFT:アスファルト粗骨材	
45		流動床式ガス化溶融システム実証	B日立		RFT:アスファルト骨材、透水性ブロック	
46		熱分解ガス化溶融実証プラントの運転結果	タクマ		0.1pgTEQ/g以下 定量下限値以下	
47					0.52pgTEQ/g (40ngTEQ/こみ)	
48			廃棄物ガス化溶融システムの開発	クボタ		
49			酸素式熱分解直接溶融システムの実証運転	川崎技研他	1.6pg-TEQ/g	
50	全:第20回	直接溶融・資源化システムの稼働状況	新日鐵		RFT:インタローッキングブロック	
51		ごみ焼却飛灰溶融スラグの有効利用に関する検討	B日立	0.063pg-TEQ/g		
52		都市ごみ溶融スラグのアスファルト骨材への利用研究	釜石市他		RFT:アスファルト粗骨材	
53		流動床式ガス化溶融システムに関するパイロット研究	B日立	0.063pg-TEQ/g		
		飛吹車独溶融炉実績報告				
		都市ごみ流動床燃焼+飛灰プラズマ溶融システム運転状況	神戸製鋼	0(<0.001ng-TEQ/g以下)		

5.1.3 稼働中、建設中の灰溶融設備の実態調査

自治体の行っている一般廃棄物に関する溶融設備の実績を表5-1-2に示す。実績には産業廃棄物処理における灰溶融設備は含まれていない。直接溶融、ガス化溶融設備等焼却と溶融が一貫して行われる設備の灰溶融設備容量はごみ処理容量の10%として表示した。

調査の範囲では現在稼働している灰溶融炉の設備容量は1243.2t/日、建設中のものは1819.7t/日で合計3062.9t/日であった。

実際のスラグの発生量に関しては、「エコスラグ利用普及に関する調査研究会」（委員長早稲田大学永田勝也氏）の報告書に、平成9年度末時点で全国20箇所のごみ焼却工場から105,703t/年発生しているとの報告がある。

一方、平成8年度の焼却施設の稼働率から 厚生省水道環境部調べの「日本の廃棄物処理 平成8年度版」によると平成8年度末におけるごみの排出量は51,155千t/年、そのうち焼却処理されたごみ量は38,814千t/年である。また、ごみ処理施設の整備状況は着工ペースではあるが、全連続炉が140,134t/日、間欠運転式（固定バッチ、機械化バッチ、准連続）が51,105t/日、合計191,239t/日である。これによると焼却施設の総平均負荷率は55.6%となる。また、全連続炉のみがすべてのごみの焼却を受け持ったと仮定してその平均負荷率を求めると75.9%となる。

この焼却施設の負荷率の結果から溶融スラグの発生量を推算すると、現時点で約25万t/年～35万t/年となる。同様に平成15年頃には、約60万t/年～85万t/年の発生を予想することができる。しかし、「エコスラグ利用普及に関する調査研究会」の報告から判断すると灰溶融炉の総平均負荷率は約25%となり、焼却施設の負荷率よりかなり低いことが窺われ、これをもとにすると平成15年頃の溶融スラグ発生予測量は約27万t/年となる。

図5-1-1に溶融炉設備容量の推移を示すが2003年以降の実績は今後のごみ処理施設建設決定の状況により増加して行くものと考えられる。

5.1.4 まとめ

今回の文献調査の範囲では溶融スラグのダイオキシン類濃度は極めて低く、重金属の溶出基準も満足しており、その有効利用の可能性を示唆している。しかし、

リサイクルに関しては試験使用の報告が主で、実際の使用例の報告は少ない。

スラグの発生量は平成9年度で約10万 t / 年程度であるが、今後灰溶融炉の建設件数の増加に伴い大幅に増加することは明らかである。

今後の課題として溶融スラグの安全性を担保する基準化、規格化や、積極的に有効利用できる流通機構の構築が望まれる。

表5-1-2 灰溶融設備実態調査表

No.	都道府県	納入先名	型式	容量	基数	溶融対象物	稼動開始時期	備考
1	岩手県	釜石市	直接溶融方式	10	2	一般可燃性ごみ(100t/d)	1979年8月	
2	長崎県	諫早市	回転式表面溶融方式	12.3	1		1987年3月	
3	長崎県	南高北東部環境衛生組合	表面溶融方式	0.1			1987年11月	
4	徳島県	阿南市外二町衛生組合	固定式表面溶融方式	9.6	2	焼却灰	1990年11月	
5	埼玉県	狭山市	回転式表面溶融方式	15	1		1991年3月	
6	東京都	東京都(大田第二)	アーク式	500	2		1991年3月	
7	埼玉県	大倉市(西部)	アーク式	75	1		1994年2月	
8	愛媛県	松山市(南)	プラズマ溶融方式	52	1		1994年3月	
9	埼玉県	坂戸市(西)	固定式表面溶融方式	9.6	1	焼却灰	1994年8月	
10	新潟県	白根衛生センター組合	回転式表面溶融方式	7	1		1994年10月	
11	千葉県	我孫子市	固定式表面溶融方式	15	1		1995年7月	
12	埼玉県	埼玉東部清掃組合(第一)	アーク式	160	2		1995年9月	
13	愛知県	衣浦衛生組合	自己燃焼内部方式	30	2		1995年10月	
14	愛知県	東海市	ユークスベッド方式	30	2		1995年12月	
15	愛知県	小牧岩倉衛生組合	電気加熱付電気抵抗式	9.6	2		1996年3月	
16	埼玉県	狭山市(第二)	固定式表面溶融方式	7	1	焼却灰	1996年12月	
17	徳島県	美馬環境整備組合	プラズマ溶融方式	10	1		1997年3月	予備炉×1
18	栃木県	鹿沼市	油バーナ式	18	1		1997年4月	
19	兵庫県	揖龍保健衛生施設事務組合	直接溶融方式	12	2	一般可燃性ごみ(120t/d)	1997年4月	
20	香川県	香川県東部清掃施設組合	直接溶融方式	13	2	一般可燃性ごみ(130t/d)	1997年6月	

* 容量の()内はごみ処理量を示します。
* 焼却・溶融一体型の場合は容量はごみ処理容量の10%とした。

表5-1-2 灰溶融設備実態調査表

No.	都道府県	納入先名	型式	容量	基数	溶融対象物	稼働開始時期	備考
21	福岡県	飯塚市	直接溶融方式	18	2	一般可燃性ごみ(180t/d)	1998年3月	
22	千葉県	東金市外三町清掃組合	固定式表面溶融方式	26	1	焼却灰-ばいじん+不燃物	1988年4月	
23	東京都	八王子市(戸吹)	電気抵抗式	36	2		1998年4月	
24	東京都	多摩川衛生組合	アーク式	50	2		1998年4月	
25	群馬県	水上月野夜新治衛生組合	電気直流抵抗式	3	1		1998年4月	
26	鹿児島県	日置地区農林処理組合	表面溶融方式	16	2		1999年3月	
27	大阪府	茨木市(環境衛生センター第一工場)	直接溶融方式	15	1	一般可燃性ごみ(150t/d)	1999年3月	
28	岐阜県	可茂衛生施設利用組合	プラズマ溶融方式	60	2		1999年4月	
29	茨城県	龍ヶ崎地方農林処理組合	回転式表面溶融方式	24	2		1999年4月	
30	福島県	いわき市(南部)	プラズマ溶融方式	40	1		2000年3月	建設中
31	大阪府	南河内清掃施設組合	バーナ式	38	1		2000年3月	建設中
32	長崎県	南高瀬部衛生福祉組合	表面溶融方式	14	1		2000年3月	建設中
33	埼玉県	児玉郡市広域市町村圏組合	プラズマ溶融方式	30	1		2000年3月	建設中
34	福岡県	糸島地区消防厚生施設組合	直接溶融方式	20	2	一般可燃性ごみ(200t/d)	2000年3月	建設中
35	三重県	亀山市	直接溶融方式	8	2	一般可燃性ごみ(80t/d)	2000年3月	建設中
36	福岡県	八女西部広域事務組合	ガス化溶融方式	22	2	一般可燃性ごみ(220t/d)	2000年4月	建設中
37	北海道	北見市	プラズマ溶融方式	20	2		2000年4月	建設中
38	茨城県	潮来牛堀二町衛生施設組合	ロータリーキルン方式	12	1		2000年4月	建設中
39	青森県	青森県中部上北広域事業組合	流動床式ガス化溶融方式	6	2	一般可燃性ごみ(60t/d)	2000年11月	建設中
40	山形県	西村山広域行政事務組合		14	1		2001年3月	建設中
41	神奈川県	横浜市(金沢)	電気抵抗式	60	1		2001年3月	建設中

* 容量の()内はごみ処理量を示します。
* 焼却・溶融一体型の場合は容量はごみ処理容量の10%とした。

表5-1-2 灰溶融設備実態調査表

No.	都道府県	納入先名	型式	容量	基数	溶融対象物	稼働開始時期	備考
42	岡山県	岡山市(東部)	電気直送抵抗式	39	1		2001年3月	建設中
43	新潟県	南部地区清掃組合(小木町,羽茂町,赤泊村)	回転式高温分解方式	1	1	ばいじん	2001年3月	建設中
44	茨城県	日立市	プラズマ溶融方式	36	2		2001年4月	建設中
45	京都府	京都市(東北部)	プラズマ溶融方式	24	1	ばいじん	2001年4月	建設中
46	栃木県	宇都宮市	アーク式	40	1		2001年4月	建設中
47	茨城県	常陸太田地方広域事務所	固定式表面溶融方式	13	1	焼却灰	2002年3月	建設中
48	愛知県	春日井市		80	2	焼却灰+ばいじん	2002年3月	建設中
49	秋田県	大曲市外九ヶ町村清掃事務組合	表面溶融方式	15	1		2002年3月	建設中
50	愛知県	豊橋市	ガス化溶融方式	40	2	一般可燃性ごみ(400t/d)	2002年3月	建設中
51	秋田県	秋田市	直接溶融方式	40	2	一般可燃性ごみ(400t/d)	2002年3月	建設中
52	新潟県	巻町ほか38町村衛生組合	直接溶融方式	12	2	一般可燃性ごみ(120t/d)	2002年3月	建設中
53	千葉県	君津地区広域	直接溶融方式	20	2	一般可燃性ごみ(200t/d)	2002年3月	建設中
54	愛知県	津島市ほか11町村衛生組合	プラズマ溶融方式	50			2002年4月	建設中
55	高知県	高知市	電気式	80	2		2002年4月	建設中
56	鳥取県	米子市	電気式	29	1		2002年4月	建設中
57	千葉県	八千代市		8	1		2002年4月	建設中
58	山形県	酒田地区外ノ組合	ガス化溶融方式	19.6	2	一般可燃性ごみ(196t/d)	2002年4月	建設中
59	埼玉県	川口市	ガス化溶融方式	42	3	一般可燃性ごみ(420t/d)	2002年11月	建設中
60	東京都	板橋区	アーク式	180	2		2002年11月	建設中
61	岩手県	滝沢村	直接溶融方式	10	2	一般可燃性ごみ(100t/d)	2002年11月	建設中

* 容量の()内はごみ処理量を示します。
* 焼却・溶融一体型の場合は容量はごみ処理容量の10%とした。

表5-1-2 灰溶融設備実態調査表

No.	都道府県	納入先名	型式	容量	基数	溶融対象物	稼動開始時期	備考
62	千葉県	習志野市	直接溶融方式	20.1	3	一般可燃性ごみ(201t/d)	2002年11月	建設中
63	北海道	札幌市(仮称(第5))	プラズマ溶融方式	140	2	焼却灰	2002年12月	建設中
64	大阪府	泉北環境整備施設組合(第2事業所)	プラズマ溶融方式	60	1	焼却灰+ばいじん	2002年12月	建設中、予備炉×1
65	千葉県	千葉市(新港)	電気式	36		焼却灰+ばいじん	2002年12月	建設中
66	兵庫県	加古川市	プラズマ溶融方式	30	1	流動炉+ばいじん	2003年3月	建設中、予備炉×1
67	富山県	富山地区広域圏事務組合	プラズマ溶融方式	140	2	焼却灰+ばいじん	2003年3月	建設中
68	茨城県	筑西広域市町村圏事務組合	電気式	31			2003年3月	建設中
69	広島県	広島市	電気式	100	2		2003年12月	建設中
70	東京都	足立区	プラズマ溶融方式	130	2		2004年10月	建設中
71	愛知県	名古屋	プラズマ溶融方式	70	2		2005年4月	建設中

合計処理容量 (T/日) 3062.9

* 容量の()内はごみ処理量を示します。
* 焼却・溶融一体型の場合は容量はごみ処理容量の10%とした。

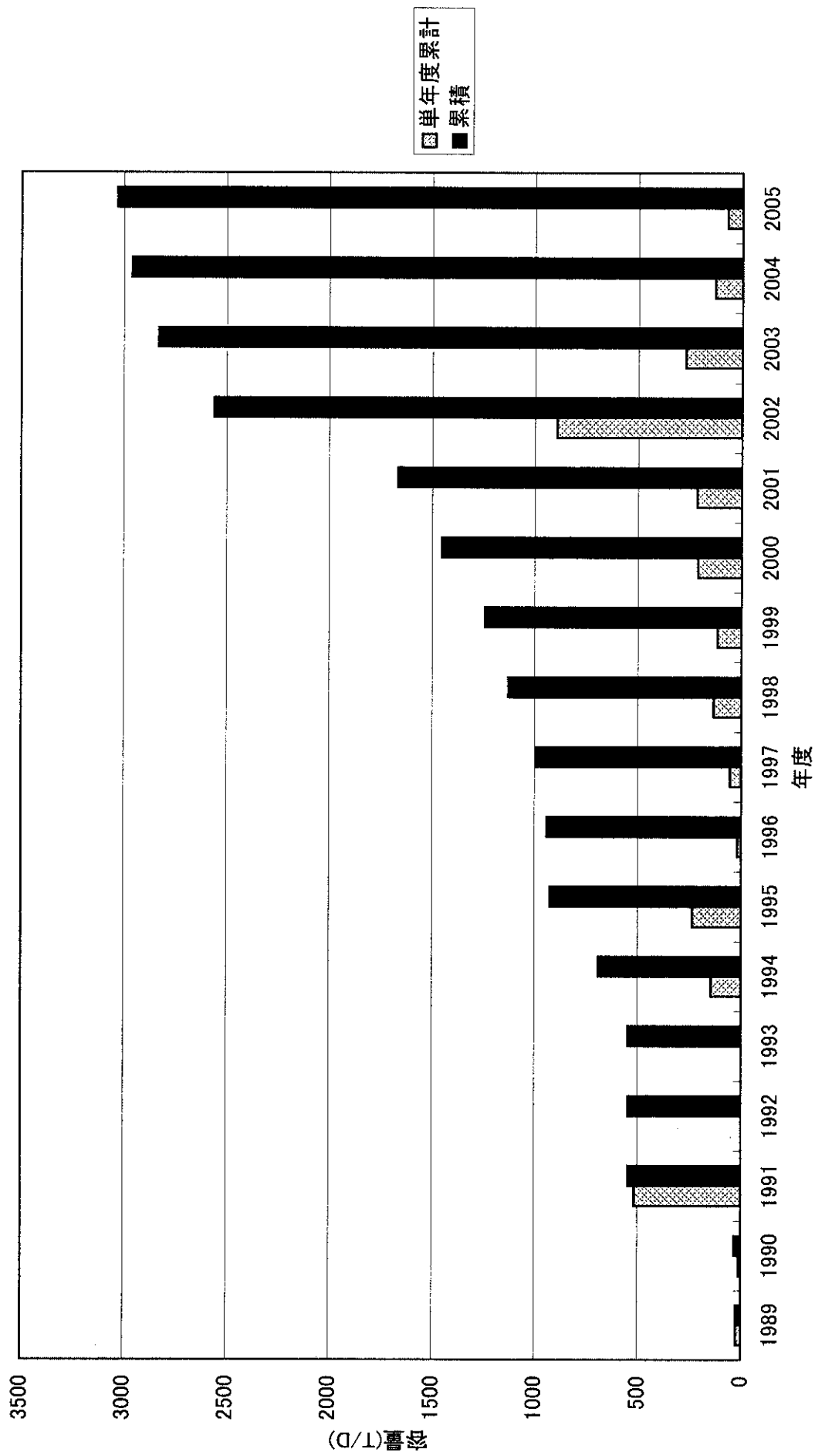


図5-1-1 灰溶融炉設備容量の推移

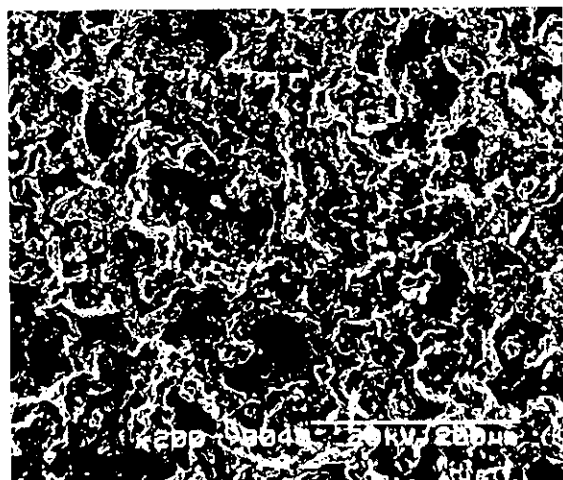
5.2 焼成処理によるリサイクルについての調査（文献調査）

5.2.1 はじめに

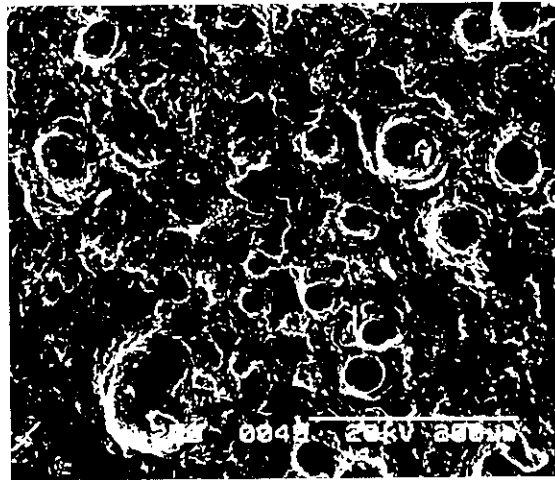
都市ごみ焼却残渣物を原料とした焼成処理によるリサイクルの調査を、文献調査によって行った。対象文献は「焼却灰の適正な処理および有効利用に関する研究」（財）廃棄物研究財団、廃棄物学会研究発表会講演論文集および全国都市清掃研究発表会講演論文集である。また、一部の資料は担当会社による提供も含んでいる。

5.2.2 焼成処理とは

焼成処理は都市ごみ焼却残さ単独またはこれに粘土等を混合し、粒状、レンガ状に成形した後、概ね1000℃以上で一定時間保持させる事により、固体粒子が加熱によって互いに融解固着し、強度発現した固化物を得る方法と考えられる。図5-2-1に焼成固化物の電子顕微鏡写真例を示す¹⁴⁾。ストーカ焼却灰粉砕物80%と仮焼流動床炉飛灰20%の混合物をレンガ状に成形し、最高温度①1, 156℃, ②1, 184℃にそれぞれ5時間保持して焼成したものである。



①吸水率13.6%



②吸水率1.5%

- ！ 吸水率13.6%は互いの粒子は融着しているが、気孔が多くしかも連続的である。
- ” 吸水率1.5%の気孔は減少ししかも独立しており、粒子同士溶融し一体化している。

図5-2-1 焼成固化物電子顕微鏡写真例¹⁴⁾

上記の様に一般に焼成固化物の吸水率が焼成度の目安になる。

5.2.3 焼成法のフロー例

文献調査による焼成処理の一覧を表5-2-1に示す。

表5-2-1 文献による焼成処理一覧

	規模	対象灰	添加物	造粒、成形	焼成炉	焼成温度×時間	出典
E社	実験プラント	ストーカ炉焼却灰 流動床炉飛灰	無し 無し	プレス成形	シャトルキルン	1,145°C×5h 1,220°C×5h	1),2),3)
	実験プラント	ストーカ炉焼却灰 流動床炉飛灰	粘土	押し出し成形	ロータリーキルン	1,100~1,140°C ×1h	11),12)
S社	実験プラント	ストーカ炉飛灰	ベントナイト 珪砂等	押し出し成形	ロータリーキルン	1,070~1,120°C ×1.5h	6),7)
C社	実験装置	流動床炉飛灰	微粉炭 (加熱用)	パン型造粒	シターランド式 焼成機の実験装置	1,100~1,150°C ×28min	4),8),9)
K社	実験装置	ストーカ炉飛灰 +飛灰	助剤	プレス成形	電気炉	1,100~1,150°C ×3h	5),13)

備考：E社 流動飛灰のシャトルキルン焼成の場合は前処理でロータリーキルンにより脱塩する。

S社 ロータリーキルン出口に二次燃焼室設置

焼成処理のシステムはまとめると図5-2-2の様になる。

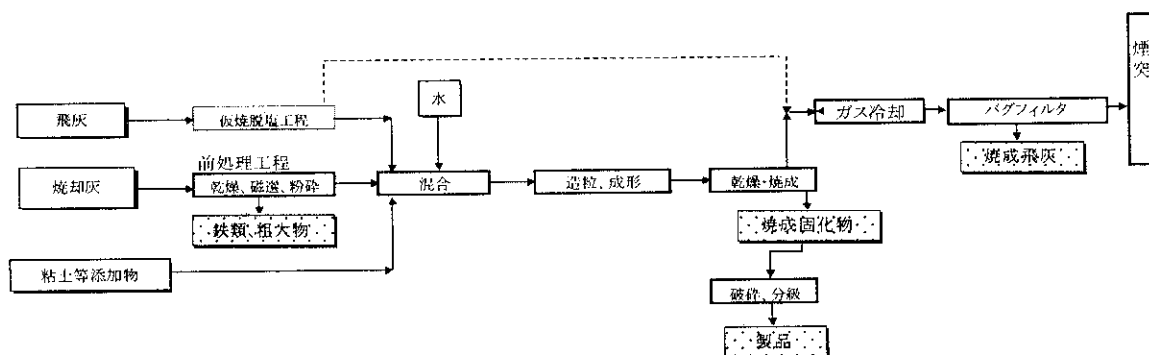
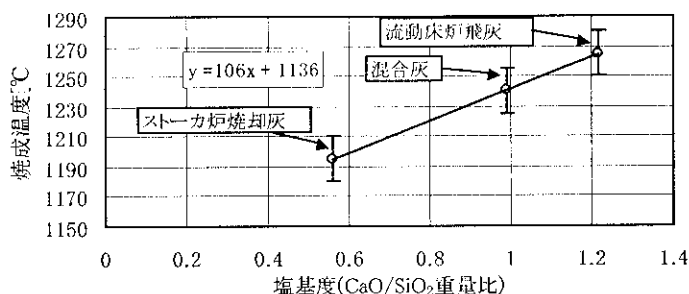


図5-2-2 焼成処理のシステム

5.2.4 焼成温度

表5-2-1から焼成温度は1,100~1,200°Cがほとんどであった。

また、図5-2-3は吸水率3%以下の焼成物を得る場合の、塩基度(CaO/SiO₂重量比)と焼成温度との関係を示すが、ほぼ直線関係にあることが分かった¹⁾。



成形条件	寸法	60×60×40[mm]
	プレス圧力	30[N/mm ²]
	重量	200[g]
ヒートカーブ	常温-500℃	1[h]
	500-保持温度℃	6[h]
	保持温度℃	5[h]

図5-2-3 塩基度と焼成温度との関係

5.2.5 焼成固化物物理性状

焼成固化物は表5-2-2に示す様に吸水率が高く、円柱ペレット物の圧潰強度から推定した圧縮強度は8~22[N/mm²]程度と考えられる。しかしながら、④の焼成度を上げて吸水率を3%以下としたものは、圧縮強度が120N/mm²の大理石なみであった。また、その破碎粒度調整物はすりへり減量11%、修正CBR値57~62%であり下層路盤材として充分使用可能な物理性状を持っていた。

表5-2-2 焼成固化物の物理性状例

焼成固化物	①		②	③	④	
焼成方式	押し出し造粒 +ロータリキルン		押し出し造粒 +ロータリキルン	パン造粒 +実験装置	プレス成形 +シャトルキルン	
原料灰	ストーカ炉焼却灰	流動炉飛灰	ストーカ炉飛灰	流動炉飛灰	ストーカ炉焼却灰	流動炉飛灰
前処理	磁選、乾燥、粉碎	なし	なし	なし	磁選、乾燥、粉碎	仮焼脱塩処理
添加物	粘土67%/灰	粘土67%/灰	ベントナ付、珪砂等	添加剤7.5%/灰	無し	無し
焼成温度	1,100℃	1,100℃	1,070~1,120℃	1,100~1,150℃	1,145℃	1,220℃
保持時間	1h	1h	1h	28min	5h	5h
焼成固化物 形状	円柱状 直径9~10mm 長さ10~30mm	円柱状 直径9~10mm 長さ10~30mm	円柱状 直径10mm	球状 5mm以上	ブロック状 190×80×35mm	ブロック状 190×80×35mm
圧潰強度 [N/個]	1,128	402	385~523	490~785	-	-
圧縮強度[N/mm ²]	-	-	-	-	140	122
表乾比重[-]	2.18(2.25)	2.13(2.33)	密度1.77~1.82	絶乾 1.32~1.48	2.55(2.55)	2.28(2.33)
吸水率(%)	4.7(10.3)	15.4(8.4)		17~27	0.76(0.92)	0.29(2.31)
実績率 (%)	61.6(52.5)	71.4(57.2)			(58.8)	(58.2)
すりへり減量 (%)	23.4(25.8)	53.1(32.6)			(10.8)	(11.0)
修正CBR値 (%)	(25.2)	(24.3)			(57.2)	(68.4)
出典	12)	12)	7)	9)	1), 2)	1), 2)

※表中()内は破碎物の値を示す。

5.2.6 焼成固化物の重金属類と溶出試験結果

含有量を表5-2-3に示す。Hg, Cd, Pbの低沸点重金属類濃度は元灰より減少している。

表5-2-3 焼成固化物の重金属含有量

焼成固化物		①		②	③	④		⑤
焼成方式		押し出し造粒 +ロータリーキルン		押し出し造粒 +ロータリーキルン	パン造粒 +実験装置	プレス成形 +シャトルキルン		プレス成形 +電気炉
原料灰		ストーカ炉焼却灰	流動炉飛灰	ストーカ炉飛灰	流動炉飛灰	ストーカ炉焼却灰	流動炉飛灰	ストーカ炉焼却灰 +飛灰
含 有 量	Cl (%)	0.007	0.009	0.08		0.0069	0.022	
	Hg (mg/kg)			-		0.043	0.01	
	Cd (mg/kg)			<10		2.2	0.33	
	Pb (mg/kg)			63		250	54	
	Cu (mg/kg)			-		750	980	
	Zn (mg/kg)			10600		1400	2500	
	Cr (mg/kg)			-		810	400	
	As (mg/kg)			-		6.5	7.1	
	Se (mg/kg)					<0.2	0.2	

溶出試験結果例を表5-2-4に示す。溶出値ほとんどの場合不検出となっている。

表5-2-4 焼成固化物の溶出試験結果例

焼成固化物		①		②	③	④		⑤
焼成方式		押し出し造粒 +ロータリーキルン		押し出し造粒 +ロータリーキルン	パン造粒 +実験装置	プレス成形 +シャトルキルン		プレス成形 +電気炉
原料灰		ストーカ炉焼却灰	流動炉飛灰	ストーカ炉飛灰	流動炉飛灰	ストーカ炉焼却灰	流動炉飛灰	ストーカ炉焼却灰 +飛灰
溶 出 試 験 環 告 13 号	R-Hg (mg/l)	<0.0005	<0.0005		-			
	T-Hg (mg/l)	<0.0005	<0.0005		<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Cd (mg/l)	<0.001	<0.001		<0.005	<0.001	<0.001	<0.001
	Pb (mg/l)	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Org-P (mg/l)	<0.005	<0.005		-			
	Cr6+ (mg/l)	<0.02	<0.02		0.05	<0.02	<0.02	<0.02
	As (mg/l)	<0.005	<0.005		<0.05	<0.005	<0.005	<0.005
	Se (mg/l)					<0.01	<0.01	<0.01
	CN (mg/l)	<0.03	<0.03		<0.01			
	PCB (mg/l)	<0.0005	<0.0005		<0.0005			
	Cu (mg/l)					<0.01	<0.01	<0.01
	Zn (mg/l)					<0.01	<0.01	<0.01
	PH (-)	8.3(26℃)	8.3(16℃)			9.9(19℃)	10.0(19℃)	10.0(19℃)
溶 出 試 験 環 告 46 号	R-Hg (mg/l)					<0.0005	<0.0005	<0.0005
	T-Hg (mg/l)					<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Cd (mg/l)			<0.01		<0.001	<0.001	<0.001
	Pb (mg/l)			<0.01		<0.005	<0.005	<0.001
	Org-P (mg/l)					<0.005	<0.005	
	Cr6+ (mg/l)			<0.01		<0.02	<0.02	<0.02
	As (mg/l)					<0.005	<0.005	<0.005
	Se (mg/l)					<0.01	<0.01	<0.001
	CN (mg/l)					<0.03	<0.03	
	PCB (mg/l)					<0.0003	<0.0003	
Zn (mg/l)			0.87		<0.01	<0.01		
PH (-)					10.3(17℃)	10.4(17℃)		
出典	11)		7)	9)	1)		13)	

また、各種溶出試験方法により溶融スラグと一緒に評価を行った結果を表5-2-5に示す³⁾。表5-2-5からPbが、pH4維持法(最終pH値4.0~4.5)やCO₂飽和法(最終pH値5.2~5.9)で検出されたが、溶融スラグと同等レベルの低濃度であった。その他の重金属類のCd, Hg, As, Sb, Seの溶出は不検出で全く問題がなかった。

表5-2-5 各種溶出試験方法による結果

処理物	焼成固化物 E11	焼成固化物 E12	焼成固化物 E11	焼成固化物 E12
原料	ストーカ炉焼却灰	ストーカ炉焼却灰50% +流動炉飛灰50%	ストーカ炉焼却灰	ストーカ炉焼却灰50% +流動炉飛灰50%
元素	Pb		Cr ⁶⁺	
含有量 [mg/kg]	430	220	T-Cr 267	T-Cr 391
アヘイリリテ試験[mg/kg]	<0.5	<0.5	<2	<2
環告13号(2mm以下)[mg/l]	<0.005	<0.005	<0.02	<0.02
環告46号(2mm以下) [mg/l]	<0.005	<0.005	<0.02	<0.02
初期pH4(2mm以下) [mg/l]	<0.005	<0.005	<0.02	<0.02
CO ₂ 飽和(2mm以下) [mg/l]	0.005	0.005	<0.02	<0.02
開放法(2mm以下) [mg/l]	<0.005	<0.005	0.03	0.03
pH4維持法(2mm以下) [mg/l]	0.005	<0.005	<0.02	<0.02
環告46号(10-30mm)[mg/l]	<0.005	<0.005	<0.02	<0.02
初期pH4(10-30mm) [mg/l]	<0.005	<0.005	<0.02	<0.02
CO ₂ 飽和(10-30mm) [mg/l]	0.005	0.022	<0.02	<0.02
開放法(10-30mm) [mg/l]	<0.005	<0.005	<0.02	<0.02
pH4維持法(10-30mm) [mg/l]	0.025	<0.005	<0.02	<0.02

5.2.7 焼成固化物を骨材にした透水性ブロックの試験施工

平成6年に焼成固化物を骨材にした透水性ブロックの試験施工を行い、雨水浸透水の追跡調査を行った事例があるので紹介する¹²⁾¹⁴⁾。施工場所は船橋市海浜公園のテニスクラブハウス前の敷地で、平日は人通りが少ないが、週末には家族連れで賑わい多人数の往来がある。再生品透水性ブロックの施工はクッション材に焼成固化物を用い、ゴムシートを敷いて、暗渠で集水し、集水柵に集めて浸透水のチェックを行った。比較対象のため、市販透水性ブロックを施工し同様に浸透水のチェックを行った。

表5-2-6に再生品透水性ブロックの製造方法等を示す。

表5-2-6 透水性ブロック製造方法等

骨材	焼成固化物原料	流動床炉飛灰5:粘土5
	焼成方法	押し出し成形+ロータリーキルン1100℃×1h
透水性ブロック製造	骨材を1~3.5mmに破碎し、骨材当たりガラス粉(廃瓶の粉碎品)を25%加え、プレス成形後、1080℃でガラス粉を融解させて製造。	
透水性ブロック形状	100mm×210mm×厚さ60mm	

また、図5-2-4に施工図を示す。