

図5-2-4 公園歩道施工例

雨水浸透水の分析結果を表5-2-7に示す。表5-2-7から焼成固化物を骨材にした透水性ブロックからの雨水浸透水の水質は、市販透水性ブロックからのそれと差がなく水道水基準以下のレベルであり問題ない値と考えられる。

表5-2-7 浸透水の分析結果

単位:[mg/l]

	再生品透水性ブロック浸透水				市販透水性ブロック浸透水			参考基準値 水道水
	1994/8/21	1995/2/27	1995/3/31	1998/12/1	1994/8/21	1995/3/31	1998/12/1	
Cd	<0.001	-	<0.001	<0.005	<0.001	<0.001	<0.005	<0.01
Pb	<0.01	<0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.05
Cr6+	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.05
As	<0.005	<0.005	<0.005	<0.001	0.015	0.007	0.005	<0.01
T-Hg	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cu	0.03	-	0.05	-	<0.01	<0.01	-	<1
Zn	0.016	-	0.008	-	0.01	0.036	-	<1
Cl	14	33	18	-	15	25	-	<200
F	0.6	-	0.2	-	0.3	0.2	-	<0.8
Se	0.002	-	<0.001	<0.001	0.003	0.001	<0.001	<0.01
PH	7.7(27°C)	8.1(18°C)	8.1(19°C)	-	7.6(27°C)	7.9(19°C)	-	5.8~8.6

5.2.8 ダイオキシン類

焼成固化物中のダイオキシン類濃度を表5-2-8に示す。表5-2-8から焼成固化物中のダイオキシン類濃度は極低レベルにあると言える。

表5-2-8 焼成固化物のダイオキシン類濃度

規模	対象灰	添加物	造粒、成形	焼成炉	焼成温度×時間	原料灰	焼成固化物	出典
						毒性等価濃度 [ng-TEQ/g]	毒性等価濃度 [ng-TEQ/g]	
実験プラント	ストーカ炉 焼却灰	無し	プレス成形	シャトルキルン	1145℃×5h	-	0.000032	14)
実験プラント	流動床炉 飛灰	粘土	押し出し成形	ロータリーキルン	1100～1140℃ ×1h	0.41	0	11)
実験プラント	ストーカ炉 飛灰	ペントナイト 珪砂等	押し出し成形	ロータリーキルン	1070～1120℃ ×1.5h	-	0.0001	7)
実験装置	流動床炉 飛灰	微粉炭 (加熱用)	パン型造粒	シンターストラット式 焼成機の実験装置	942～1102℃ ×27min	3.7	0.00	8)
実験装置	ストーカ炉 主灰+飛灰	助剤	プレス成形	電気炉	1100～1150℃ ×3h	焼却灰 0.13 飛灰 0.4	0.00004	13)

排ガス中のダイオキシン類濃度の報告は、文献7)のみであり表5-2-9に示す。このプラントはダイオキシン分解のための二次燃焼炉(800℃、2sec)を設けている。

焼成炉出口のダイオキシン類濃度は77[ng-TEQ/Nm³]と高かったが二次燃焼室では0.25[ng-TEQ/Nm³]となり原料灰中の99.5%が分解された。また焼成炉出口も運転2日目
で6[ng-TEQ/Nm³]、3日目で2.6[ng-TEQ/Nm³]と大きく低下した報告がされている。

表5-2-9 焼成プラントの排ガスダイオキシン類濃度例

規模	対象灰	添加物	造粒、成形	焼成炉	焼成温度×時間	焼成炉出口	二次燃焼室出口	出典
						毒性等価濃度 [ng-TEQ/m ³ N]	毒性等価濃度 [ng-TEQ/m ³ N]	
実験プラント	ストーカ炉 飛灰	ペントナイト 珪砂等	押し出し成形	ロータリー キルン	1070～1120℃ ×1.5h	1日目 73 2日目 6 3日目 2.6	0.25	7)

5.2.9 今後の課題

以上の文献調査から、焼成処理の今後の課題を整理すると

- ・ 排ガス中のダイオキシン類のさらなる低減対策
- ・ 二次飛灰の性状把握(ダイオキシン類を含む)と山元還元の検討
等が挙げられる。

1. タイトル

和 文：焼却灰の適正な処理および有効利用に関する研究
平成7年度報告書(本編) (資料編)
平成8年3月

2. 執筆者

発行機関：(財) 廃棄物研究財団

国 籍：日本

3. キーワード

ストーカ炉焼却灰、流動床炉飛灰、成形、焼結、

4. 出典

第3章 焼却灰処理物の製造方法の検討
3-1 焼結固化物から透水性ブロックの製造試験
3-3 焼却灰・飛灰からの骨材の製造

5. アブストラクト

ストーカ炉焼却灰、流動床炉飛灰から焼結固化物の製造実験とこの焼結固化物を骨材とした透水性ブロックの製造実験。

ストーカ炉焼却灰は前処理として乾燥、粉碎処理を行った。77%が原料として利用可能。

流動床炉飛灰は前処理として仮焼脱塩処理を行った。80%程度が原料として利用可能。灰中の塩素濃度は5.8%から0.12%に低減した。

上記原料をプレス成形後、シャトルキルンで1150～1220℃、5hで焼結させた。

大理石相当の強度をもつ固化物が得られた。溶出試験は土壤環境基準値をクリアーした。

この焼結固化物の破砕物を骨材として透水性ブロックを製造ILB規格を満足した。

溶出試験は土壤環境基準値をクリアーした。

参考文献

- 1) 「焼却灰の適正な処理および有効利用に関する研究」平成7年度報告書(本編)(資料編)
平成8年3月 (財)廃棄物研究財団
- 2) 「焼却灰の適正な処理および有効利用に関する研究」平成8年度報告書(本編)
平成9年3月 (財)廃棄物研究財団
- 3) 「焼却灰の循環利用に関する研究」総合報告書 (本編)
平成10年3月 (財)廃棄物研究財団
- 4) 伊藤ら、8-5「都市ごみ焼却飛灰の焼成処理(第1報)」
第3回廃棄物学会研究発表会講演論文集 1992年 P347～418
- 5) 吉柳ら、18-11「焼成によるごみ焼却灰・飛灰の無害化・安定化」
第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集 1996年 P861～863
- 6) 坂本ら、P12-10「都市ごみ焼却飛灰の無害化・再資源化プロセスの研究」
第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集 1997年 P416～418
- 7) 坂本ら、P25-7「焼却飛灰の無害化・再資源化プロセスの研究(第2報)」
第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集 1998年 P782～784
- 8) 照喜名ら、「都市ごみ焼却飛灰の焼成処理」—焼成ペレット化による再資源化—
第14回全国都市清掃研究発表会講演論文集P233～234, 1993年
- 9) 伊藤ら、「都市ごみ焼却飛灰の焼成処理」(第2報)
第15回全国都市清掃研究発表会講演論文集P152～154, 1994年
- 10) 代田ら、「都市ごみ焼却残さの焼成による資源化について」
第15回全国都市清掃研究発表会講演論文集1994年P113～115
- 11) 金子ら、「都市ごみ焼却灰・飛灰の再資源化技術」(第1報)
第15回全国都市清掃研究発表会講演論文集1994年P143～145(10)
- 12) 金子ら、「都市ごみ焼却灰・飛灰の再資源化技術」(第2報)
第16回全国都市清掃研究発表会講演論文集1995年P124～126
- 13) 内山ら、「焼成による焼却灰・飛灰の無害化 安定化」(第2報)
第19回全国都市清掃研究発表会講演論文集1998年P73～75
- 14) (株)荏原製作所提供資料

5.3 セメント化（エコセメント）によるリサイクルについての調査（文献調査）

5.3.1 はじめに

NEDOが（財）クリーン・ジャパン・センターに委託研究し、平成7年～平成9年度に行われた「都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術」実証運転結果および最近の本技術の概要を文献調査によりまとめた。

5.3.2 製造フロー

エコセメントは都市ごみ焼却残渣を主原料として使用し、石灰石等の天然原料で成分を調整して、セメントキルン内で約1,350℃の高温条件でクリンカを焼成し、冷後、石膏を添加し粉砕し製造されるセメントである。最終的なフローを図5-3-1に示す。普通のセメント製造フローとの相違点を以下に示す。

- ・ 原料を所定の成分に調合するためにブレンドイングタンクを装備している。
- ・ 焼成に伴って発生するNaCl, KClを主成分とする焼成飛灰の付着防止対策のためキルン排ガスを300℃以下に急冷する。このため、普通セメントの製造にみられるサスペンション・プレヒーターによる原料予熱は行わない。
- ・ 重金属が濃縮された焼成飛灰は、湿式重金属分離法により山元還元を行う。

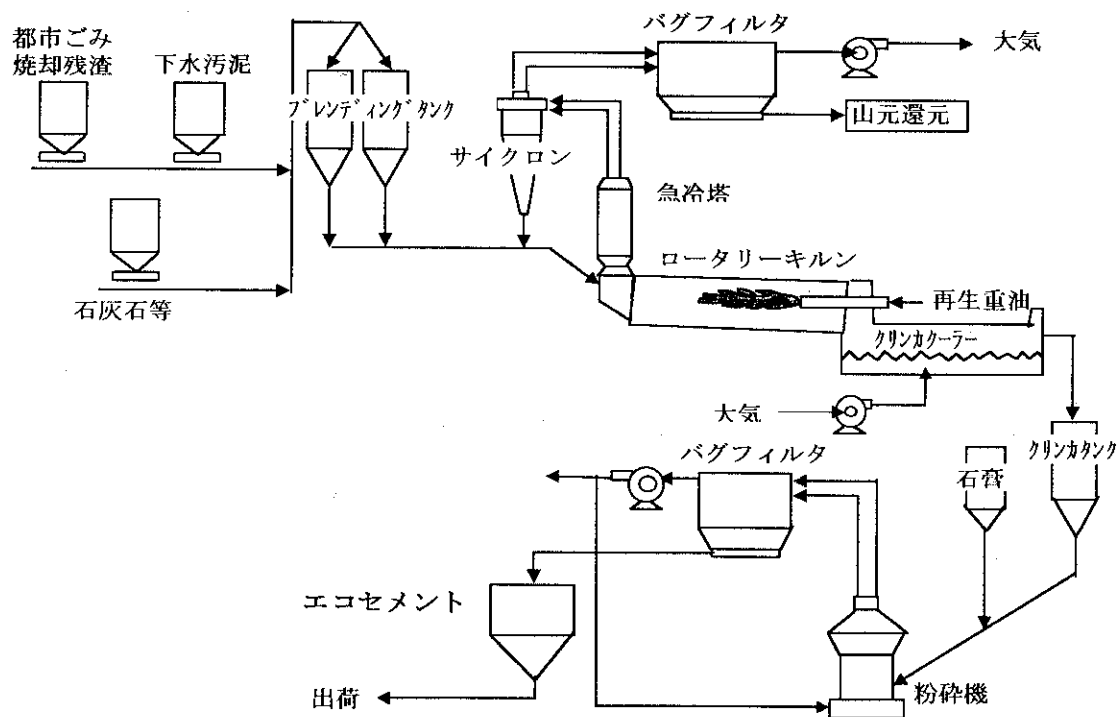


図5-3-1 エコセメント製造フロー

5.3.3プラント連続運転

プラントの連続運転を阻害していた項目と解決方法を列挙した。

1. ペレット焼成方法から粉末原料直接キルン投入方法への変更

オリジナルフローではパン造粒したペレット原料をキルン排ガスにより乾燥予熱後、キルン投入していたが、乾燥機(バンドドライヤー)のパンチングメタルの閉塞、余熱機内気流閉塞等の問題が生じた。粉末原料投入方式に変更することで問題が解消した。

2. 排ガス系統の閉塞

焼成飛灰の主成分であるNaCl, KClによるキルン排出直後のダクトの著しい閉塞。キルン排ガス700℃を直ちに300℃以下に急冷することで解決した。このことは、ダイオキシン類の再合成を防止することにも繋がった。

3. キルン内コーティング

ロータリーキルンの焼成帯内壁にクリンカの一部がリング状に付着成長し、原料の移送を妨げる。

一時的に原料を減量あるいは停止し、焼点温度を上昇させることにより、キルン内壁のコーティングを軟化あるいは熔融させて剥離させる焼き落とし操作により解決した。

5.4.4 原料

流動床焼却残渣ストーカ焼却残渣いずれも原料として使用可能である。ストーカ焼却灰の場合は乾燥、金属片除去、粉砕の前処理が必要。所定の成分になるよう他の原料を補填して調合原料にする。流動飛灰の場合は、調合原料中に重量で約30~40%の使用率、ストーカ焼却灰の場合は重量で30%前後の使用率になる。図5-3-2に原料の配合例を示す。

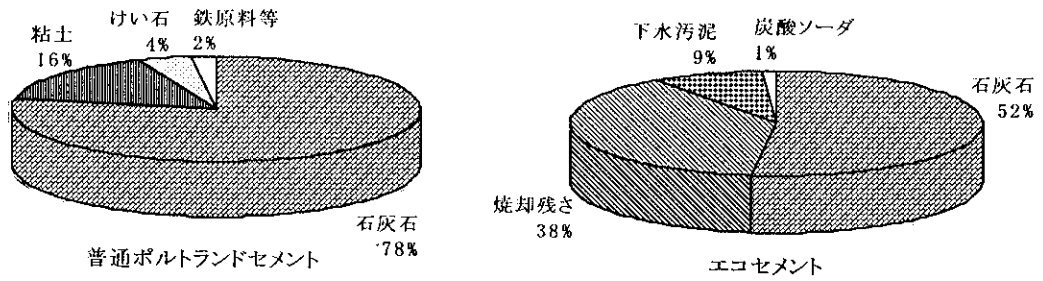


図5-3-2 原料配合例

5.3.5 エコセメントの組成

1. 速硬型エコセメント

従来型エコセメントは鉱物組成にカルシウムクロルアルミネート ($(CaO)_{11}(Al_2O_3)_7CaCl_2$ で表され理論上4.9%のClを含有する。)を20%程度含んでおり早期の強度発現性に優れたセメントであるが、塩素が1%程度含有されているため無筋分野に用途が限られていた。

2. 普通型エコセメント

最近の研究から、エコセメント中の塩素を0.1%以下に低減し、普通ポルトランドセメントに近いエコセメントの製造が可能になった⁴⁾。方法は調合原料中のR/Cl=1.2 (R/Cl:R(Na, Kのアルカリ塩)と塩素のモル比)に調整するように炭酸ソーダを添加し、原料中のClを焼成工程においてアルカリ金属塩として揮散させることによる。表5-3-1にエコセメントの化学成分および鉱物組成例を示す。

表5-3-1 エコセメントの化学成分および鉱物組成例

	化学成分 (%)								
	ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl
速硬型エコセメント	0.8	15.2	10.2	1.9	60.3	1.4	8.8	0.7	0.9
普通型エコセメント	0.3	18.5	8.8	4.1	65.2	1.9	3.7	0.4	0.02
普通ポルトランドセメント	0.6	22.4	5.4	3.2	65.1	1.4	1.6	0.5	0.00

	鉱物組成 (%)				
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₁₁ A ₇ ・CaCl ₂	C ₄ AF
速硬型エコセメント	55	15	-	20	3
普通型エコセメント	53	14	16	-	12
普通ポルトランドセメント	58	24	9	-	9

注1：R₂OはNa₂O+K₂Oの意。

注2：鉱物組成はCはCaO, SはSiO₂, AはAl₂O₃, FはFe₂O₃の略称で表示している。

例えば、ケイ酸三カルシウム (3CaO・SiO₂) をC₃Sで表示している。

5.3.6 エコセメントの物性

表5-3-2から普通型エコセメントペーストの凝結始発時間は普通ポルトランドセメントと同等であった。

表5-3-2 セメントの物理試験結果例

セメント種類	密度 [g/cm ³]	比表面積 [cm ² /g]	凝結	
			始発 [h-min]	終結 [h-min]
速硬型エコセメント	3.10	4,300	0-28	0-42
普通型エコセメント	3.19	4,480	2-33	3-55
普通ポルトランドセメント	3.16	3,370	2-30	3-30

次に図5-3-3にモルタルでの圧縮強度試験結果を示す。速硬性エコセメントは初期の強度発現性に優れている。普通型エコセメントは普通ポルトランドセメントより強度は若干下回るものの、これに近い強度発現性を示している。

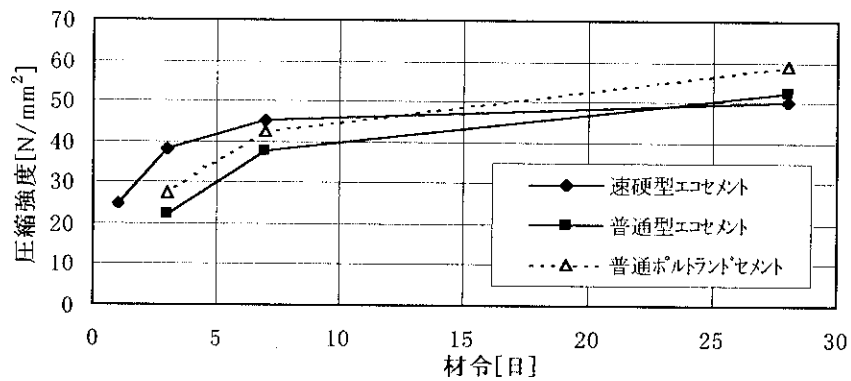


図5-3-3 エコセメントの圧縮強度

5.3.7 重金属

1. 重金属の挙動

表5-3-3(1), (2)に実証プラントにおける原料・産物などの重金属等の平均値・標準偏差を示した。

- 塩素 (エコセメント含有量=平均値±標準偏差 (以下同じ) =0.24~0.76%) は約20%弱がエコセメント中に存在する。
- Pb(エコセメントの含有量1~177ppm)は原料中の大部分がガス側に揮散し、飛灰になり鉛産物として回収される。
- Cu(エコセメントの含有量716~1992ppm)は原料中の約6割がエコセメント中に移行し、残りの4割が飛灰になり産物として回収される。
- Zn(エコセメントの含有量1595~2567ppm)は原料中の約8~9割がエコセメント中に移行し、残りが飛灰になり産物として回収される。亜鉛は高温時に、塩化物から酸化物になり易いため塩化揮発し難いことが原因であろう⁶⁾。

表5-3-3(1) 重金属などの含有量

原料	t/調合原料2t	統計量	Cl [%]	F [ppm]	Cd [ppm]	Pb [ppm]	Cu [ppm]	Zn [ppm]	T-Cr [ppm]	T-Hg [ppm]	As [ppm]
焼却残渣	0.65	平均値	7.45	217	14.9	2024	5611	5527	732.6	0.05	3.6
		標準偏差	1.33	401	16.0	581	3135	1813	342.0	0.10	7.2
石灰石	1.30	平均値	0.00		1.5	32	2	18	14.0	0.19	0.0
		標準偏差									
粘土	0.05	平均値	0.00		3.5	45	58	115	77.5	0.33	4.5
		標準偏差									
調合原料	2.00	平均値	2.45		7.4	768	1724	1723	109.5	0.22	
		標準偏差	0.75		0.9	256	536	483	37.9		

注) 石灰石、粘土は本実証試験では測定してないので、三河小野田セメント[株]測定値を用いた。

表5-3-3(2) 重金属などの含有量

産物	t/調合原料2t	統計量	Cl [%]	F [ppm]	Cd [ppm]	Pb [ppm]	Cu [ppm]	Zn [ppm]	T-Cr [ppm]	T-Hg [ppm]	As [ppm]
クリンカ	1.40	平均値	0.64	460	6.1	139	1965	2712	277.3		11.8
		標準偏差	0.39	50	8.1	162	1520	1039	69.8		9.6
エコセメント	1.60	平均値	0.50	740	4.5	89	1354	2081	153.4	0.02	6.3
		標準偏差	0.26	167	2.1	88	638	486	36.1	0.02	2.7
重金属回収の原料	0.10	平均値	40.56		295.3	17022	18833	7989		15.70	5.3
		標準偏差	2.93		152.6	4254	5772	3960		9.83	3.1
鉛産物	0.0074	平均値	1.45		11.0	176289	3967	2378		88.56	5.6
		標準偏差	0.76		5.8	51882	1476	1346		40.08	9.0
銅産物	0.0041	平均値	0.31		5529	21078	397367	138978		15.69	3.6
		標準偏差	0.33		1696	13861	35998	46222		5.82	0.9

2. 山元還元

実証プラントには、アルカリ金属塩を主体とし重金属類が濃縮されたエコセメントダストを非鉄金属製錬の原料にする湿式重金属分離工程を付設している。フローを図5-3-4に示す。硫酸の浸出と沈殿による鉛産物の回収と、中和後水酸化ソーダによる硫化物による銅産物の回収を行う。

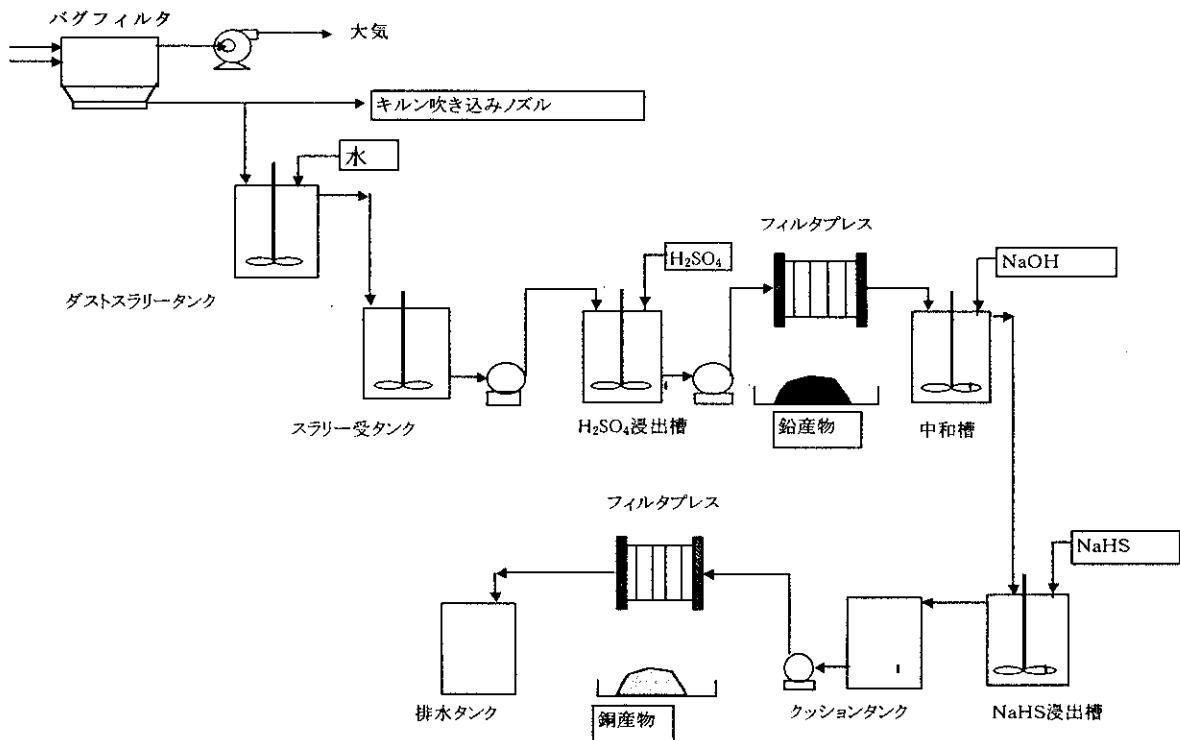


図5-3-4 重金属回収フローシート (MRGプロセス)

重金属回収の試験結果の一例を表5-3-4示す。非鉄金属製錬原料としての品位を満足する産物が得られている。また排水は排水基準を満足している。

表5-3-4 重金属回収試験結果例

		重量比	Pb [%]	Zn [%]	Cu [%]	Fe [%]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Hg [mg/kg]
含有 濃度	エコセメントダスト	100	1.53	0.08	1.91	0.01	98	<1	12.48
	産物A	4.7	32.13	0.02	0.62	0.26	3	2	226
	産物B	3.6	0.9	2.21	52.15	0.04	2730	<1	2.3
	排水	1021	0.01	0.48	0.38	0.05	0.01	<0.01	<0.0005
分布 率 [%]	エコセメントダスト		100	100	100	100	100	100	100
	産物A		97.9	1.2	1.5	89	0.1	100	99.3
	産物B		2.1	98.2	98.5	10.6	99.8	0.0	0.7
	排水		0.0	0.6	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0

3. エコセメント製品等の重金属溶出試験結果

いずれも土壌環境基準を達成しその安全性が確認されている。

- ① モルタル、コンクリート、ブロックの供試体を作成し、材令1, 3, 7, 28日における溶出試験結果。
- ② 上記供試体の一年の期間を通じての屋外暴露試験結果。

これらの詳細は文献1), 2), 3)に記載されている。

5.3.8 ダイオキシン類

表5-3-5(1), (2)に実証プラントにおけるダイオキシン類のデータを示す。焼却残渣に含まれるダイオキシン類は1350℃～1400℃の高温酸化状態で分解されるためセメントの半製品であるクリンカ中には表5-3-6の様にダイオキシン類はほとんど含まれない。排ガス中のダイオキシン削減対策としては700℃前後のキルン排ガスを数秒間の内に280℃に急冷却し再合成を防止すること、原料の焼却残渣の飛散防止を図る機械構造とすることで排ガス中のダイオキシン濃度は0.00[ng-TEQ/m³N]を達成している。

表5-3-5(1) 実証プラント(50t/日)のダイオキシン類データ(出典2,3)より)

Run NO.	項目	調査原料 [ng/g]	クリンカ [ng/g]	キルンバッグフィルタ	焼却灰ドライヤ	重金属回収設備
				出口ガス [ng/m ³ N] O ₂ 12%値	バッグフィルタ出口ガス [ng/m ³ N] O ₂ 12%値	排水 [ng/l]
5th Run 1995年8月	総ダイオキシン類値	39	0.009	26	-	-
	TEQ値	0.64	0.00	0.49	-	-
6th Run 1995年11月	総ダイオキシン類値	130	0.000	14	-	-
	TEQ値	1.4	0.00	0.22	-	0.00
8th Run 1996年4月	総ダイオキシン類値	140	-	30	-	-
	TEQ値	2.1	-	0.36	-	-
9th Run 1996年7月	総ダイオキシン類値	110	-	17	-	-
	TEQ値	1.3	-	0.21	-	-
10th Run 1996年10月	総ダイオキシン類値	210	0.028	6.5	-	-
	TEQ値	2.9	0.000	0.05	-	-
11th Run 1996年12月	総ダイオキシン類値	1300	0.006	1.2	-	-
	TEQ値	8.7	0	0.02	-	-
12th Run 1997年2月	総ダイオキシン類値	280	0.000	0.14	-	-
	TEQ値	2.7	0	0.00	-	-

表5-3-5(2) 実証プラント(50t/日)のダイオキシン類データ(出典2,3)より)

Run NO.	項目	調査原料 [ng/g]	クリンカ [ng/g]	キルンバッグフィルタ	焼却灰ドライヤ	重金属回収設備
				出口ガス [ng/m ³ N] O ₂ 12%値	バッグフィルタ出口ガス [ng/m ³ N] O ₂ 12%値	排水 [ng/l]
13th Run 1997年5月	総ダイオキシン類値	2400		0.072		-
	TEQ値	12	0	0.00	0	-
14th Run 1997年7月	TEQ値			0	0	-
	TEQ値			1) 0	-	0.000
16th Run 1998年2月	TEQ値			2) 0.00	-	-
				3) 0	-	-
				4) 0.00	-	-
				5) 0	-	-
					-	-

1)火止め時

2)冷却塔出口ガス温度280℃

3)冷却塔出口ガス温度240℃

4)鉍物組成を変更した焼成

5)鉍物組成を変更した焼成

- 注) ・ クリンカの5th runバッグフィルタ出口排ガスの11回目以前、重金属回収設備排水の6th runは平成2年12月「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」に依った。
 ・ 他は平成9年1月「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」に依った。
 ・ そして、有姿試料については小数点以下3桁、ガス体試料については小数点以下2桁に表示した。
 ・ 0とは2, 3, 7, 8-位異性体のいずれもN.Dであった場合を示す。

表5-3-6 クリンカ中のダイオキシン類分析結果例（出典3による。）

サンプル名	10th Run 10/8 クリンカ	11th Run 12/10クリンカ	12th Run 2/20 クリンカ
2378-T4CDD	N.D	N.D	N.D
その他(21)	N.D	N.D	N.D
12378-P5CDD	N.D	ND	N.D
その他(13)	N.D	ND	N.D
123478-H6CDD	N.D	ND	N.D
123678-H6CDD	N.D	N.D	N.D
123789-H6CDD	N.D	N.D	N.D
その他(7)	0.0029	N.D	N.D
1234678-H7CDD	0.0031	N.D	N.D
その他(1)	0.0021	N.D	ND
O8CDD	0.0041	N.D	N.D
Total PCDDs	0.0122	0	0
2378-T4CDF	ND	N.D	N.D
その他(37)	0.0041	0.0037	N.D
12378-P5CDF	N.D	N.D	N.D
23478-P5CDF	N.D	N.D	N.D
その他(26)	0.0046	0.002	N.D
123478-H6CDF	N.D	ND	N.D
123678-H6CDF	N.D	N.D	N.D
123789-H6CDF	N.D	N.D	N.D
234678-H6CDF	0.0022	N.D	N.D
その他(12)	0.002	N.D	N.D
1234678-H7CDF	0.0029	N.D	N.D
1234789-H7CDF	ND	N.D	N.D
その他(2)	N.D	N.D	N.D
O8CDF	N.D	N.D	N.D
Total PCDFs	0.0158	0.0057	0
Total PCDDs+PCDFs	0.028	0.0057	0
TEQ(I-TEF 1988) [ng/g]	0.00028	0	0

定量下限値：T₄CDD/F～P₅CDD/F；0.0008ng/g，H₆CDD/F～H₇CDD/F；0.002ng/g，O₈CDD/F；0.004ng/g

1. タイトル

和 文：都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術
 実証試験結果報告書
 平成10年9月

2. 執筆者

発行機関：NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)

国 籍：日本

3. キーワード

エコセメント、実証プラント、都市ごみ焼却残渣、汚泥、セメントキルン

4. 出典

5. アブストラクト

NEDOが(財)クリーン・ジャパン・センターに研究委託した都市ごみ焼却残渣や汚泥を原料としてセメント(エコセメント)を生産する実証試験の研究成果報告。
 研究目的は実操業規模で上記セメントを生産する技術を開発すること。
 期間：平成5年度～平成9年度
 実証プラント：50t/日
 結果要旨：
 !投入原料の研究
 炉形式の異なる焼却残渣・下水汚泥や産業廃棄物を原料にして、エコセメントを安定的に生産できることを実証した。
 "エコセメント物性の研究
 エコセメント強度発現などの基本物性を把握した他、生産における重金属の挙動と水和に伴う固定化能力を研究し、エコセメントの環境保全性を実証した。
 #プラントにおける塩素等対策の研究開発
 塩素化合物によるコーティングの付着を研究し、エコセメント製品からの有害物質の溶出が無いことの確認と併せて、環境保全性を確認した。
 \$環境対策の研究開発
 ダイオキシン類を発生させない排ガス管理方法を開発し、エコセメント製品からの有害物質の溶出が無いことの確認と併せて、環境保全性を確認した。
 %プラント連続運転の研究
 長期連続安定運転を行い、実生産設備設計のためのデータを蓄積した。

参考文献

- 1) 「都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント」、セメント・コンクリート、NO. 586号、1995年12月
- 2) 「都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術」財クリーンジャパンセンター、平成9年9月10日
- 3) 「都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術実証試験結果最終報告書」NEDO、平成10年9月
- 4) 伊藤弘樹ら、B10-6「都市ごみ焼却灰を主原料とした普通型エコセメントの製造および評価」第10回廃棄物学会研究発表会 1999年
- 5) セメントの常識 社団法人 セメント協会 1996年
- 6) 佐藤宏一郎ら、B9-7「焼却灰の加熱処理による重金属の除去」第10回廃棄物学会研究発表会 1999年

5.4 物理選別処理によるリサイクルについての調査（文献調査）

5.4.1 目的

残渣物をリサイクルするための物理選別処理は、熔融固化法等にみられるような高温での熱的処理を含まないため、処理物（再生物）の重金属類含有量、溶出値の低減およびダイオキシン類の除去が、安定的に達成できていることを客観的にデータで示す必要があると考えられる。残渣物の適正かつ有効なリサイクル技術として検討する上で、開発、実証された事例を、文献を基に調査し、その特徴と技術的課題などを整理する。

5.4.2 調査文献の内容

物理選別処理に関する国内文献としては以下の資料により、テーマに合致したものを抽出し、検討した。

- ① JICST文献（平成3年～平成11年データベース登録分）
- ② （財）廃棄物研究財団「焼却灰の適正な処理および有効利用に関する研究」平成8年度報告書
- ③ 大阪湾広域臨海環境整備センター「環境保全対策調査」平成8年度報告書
- ④ 入手技術資料（北九州市他主催技術展、平成11年）

文献カード（文献No. 5-4-1～9）にその内容を示す。

5.4.3 物理選別処理技術の概要

表5-4-1、2に調査した物理選別処理技術の概要を示す。

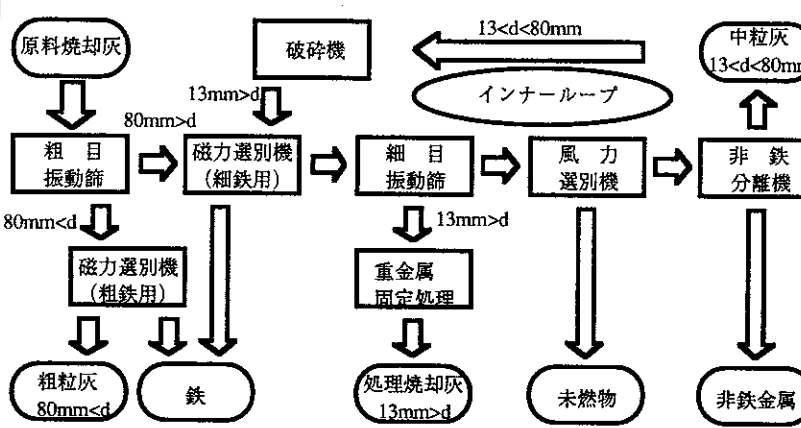
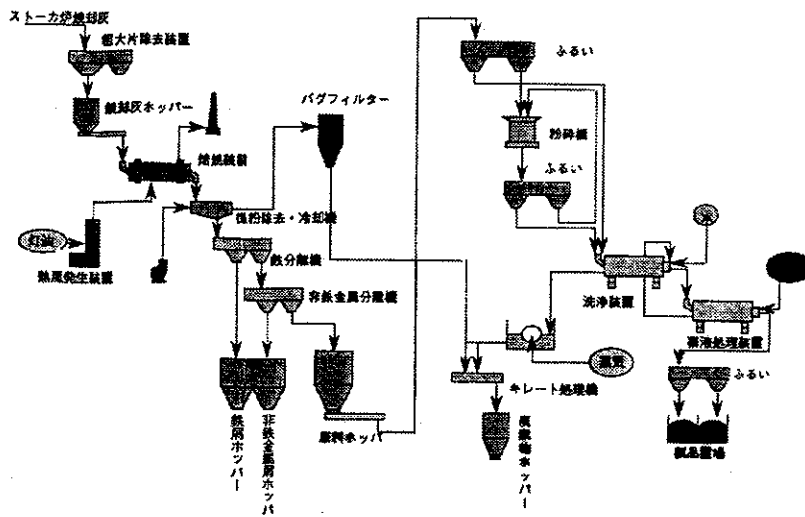
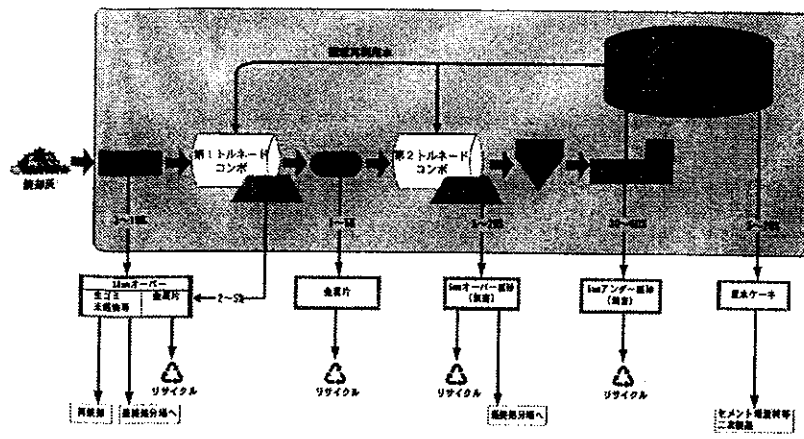
物理選別処理技術は、原理的には、残渣物の表面に付着している未燃分、塩分および微粉体などを破碎、分級、研磨などの乾式処理あるいは洗浄などの湿式処理により分離・除去することにより、処理物の重金属類含有量、溶出値の低減およびダイオキシン類の除去を行うものである。処理対象残渣物としては、焼却施設から排出される主灰（焼却灰）が主であり、飛灰を含む混合灰の事例もある。

表5-4-1 物理選別によるリサイクル技術の概要 (1)

NO.	1	2
<p>フロー図</p>		
<p>方式の特徴</p>	<p>磁選、非鉄分離にて金属を回収後、ロッドミルにより、ガレキ類を破碎・粉砕する。それらの相互の接触、研磨により骨材の鋭角部をなくするとともに、表面に付着の塩類等を微粉体として分離回収し、重金属類およびダイオキシン類を除去する。これらは、全て乾式で処理される。対象残渣物が流動床炉の焼却灰のため、ガレキ類中心の不燃物であり、処理は比較的容易と考えられる。なお、A市ではより品質の信頼性を上げるため2mm以下の製品の洗浄装置が付加されている。</p>	
<p>処理対象物</p>	<p>流動床炉 焼却灰</p>	<p>ストーカ炉 焼却灰 (混合灰)</p>
<p>処理能力</p>	<p>22t/5h、実用化</p>	<p>20t/5h、実用化</p>
<p>設置場所等</p>	<p>F市、H6年3月稼動</p>	<p>A市、H9年3月稼動</p>
<p>物質収支 (対象残渣物 1tあたり)</p>	<p>処理物 65%、鉄分 15%、非鉄金属 10%、 副産物：微粉体 10%</p>	<p>処理物 80~90%、鉄分 2~14%、非鉄金属 0~2.3%、 副産物：微粉体 1~17%、排水 約0.4m³、排ガス 111m³</p>
<p>処理物 (製品) 性状等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ダイオキシン類濃度 ND (検出限界未満) 製品大(5~12mm)、中(2~5mm)の重金属溶出値は土壤環境基準を満足 アルカリシリカ反応試験実施 物性データ 絶乾比重 2.46、単位容積重量 1.37kg/l、吸水率 0.01%、実績率55.6% 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属の溶出値は鉛以外土壤環境基準を満足 骨材ふるい分け試験実施 物理組成 石礫・コンクリート56%、ガラス30%、陶磁器 6%他
<p>副生成物性状等</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p>有効利用用途</p>	<ul style="list-style-type: none"> 製品量 約2000t/年 充填材 (製品大：500円/kg)、コンクリート二次製品用骨材として使用 敷砂、パドック用代砂として試験的に使用 	<ul style="list-style-type: none"> 製品量 1300t/年 セメントコンクリート再生砕石材と混合のうえ、処分場の仮設道路用路盤材として使用 鉄分、アルミ分は全量資源化売却 細粒灰は焼却固化と熔融固化により、エクステリア製品を試作、評価
<p>備考 (文献カードNo.)</p>	<p>5-4-1,2,3</p>	<p>5-4-4,5</p>

技術の概要

表5-4-2 物理選別によるリサイクル技術の概要 (2)

NO.	3	4	5
<p>フロー図</p> 			
<p>技術の概要</p> <p>方式の特徴</p>	<p>ふるいと磁選にてクリンカ、金属類を選別、回収後、さらに細かなふるいにて細粒灰を分離する。細粒灰には重金属類、ダイオキシン類の移行が多く、必要により、薬剤、加熱脱塩素処理等で処理する。物理処理と必要によっては薬剤処理、熱処理を組み合わせて適正な性状にする工夫がされている。</p>	<p>ふるいにて異物を除去後、熱風によるばい焼装置を経て、ふるいにて重金属類、ダイオキシン類の濃度の高い微粉体を除去しバグフィルタにて捕集する。さらに磁選機、非鉄分離機で金属類を回収した後、残ったガレキ類は破碎、ふるいにより粒度調整した後、洗浄、薬剤処理し、製品とする。</p> <p>ばい焼、洗浄の工程を付加することで、付着の塩類を含め重金属類、ダイオキシン類の除去を図っている。物理選別を中心としつつも、排ガス、排水等の設備が必要となる。</p>	<p>トルネードと磁選にてクリンカ、金属類を選別、回収後、さらにトルネードコンボによる2段の水洗浄と摩砕により粗砂と細砂を回収し、重金属類、ダイオキシン類および塩類を細粒の灰とともに汚泥として分離する。汚泥には重金属類、ダイオキシン類および塩類が濃縮される。湿式処理であり、排水処理後の水は循環再利用水として利用される。</p>
<p>処理対象物</p>	<p>ストーカ炉 焼却灰 (混合灰)</p>	<p>ストーカ炉 焼却灰 (混合灰)</p>	<p>ストーカ炉 焼却灰</p>
<p>処理能力</p>	<p>8t/8h 実用化</p>	<p>5t/5h 実証試験終了</p>	<p>3~5t/バッチ 実証試験中</p>
<p>設置場所等</p>	<p>K工業 (K市)、H8年10月稼動</p>	<p>T社 (M市)、H8年9月稼動</p>	<p>K組 (K市)、H11年9月稼動</p>
<p>物質収支 (対象残渣物 1tあたり)</p>	<p>処理物 70~85%、鉄分 10~20%、粗粒鉄 1~3%、非鉄金属 1~3%、副産物：未燃物 1~3%</p>	<p>処理物 45%、鉄・非鉄 2%、粗大物 9%、副産物：ケーキ 5%、排ガス 0.45t、排水 0.54t</p>	<p>処理物：細砂 30~60%、粗砂 5~20%、金属片 1~5%、副産物：未燃物等 5~15%、脱水ケーキ 3~20%</p>
<p>処理物 (製品) 性状等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン類濃度 13~601pgTEQ/g (混合灰：最大750pgTEQ/g) ・重金属の溶出値は土壤環境基準を満足。また、有機塩素化合物、農薬の溶出値も土壤環境基準を満足。 ・物性データ 密度 2.331g/cm³、均等係数 13.3、曲率係数 1.99、最大乾燥密度 1.541g/cm³、最適含水比 19.8%、修正CBR 66.0% 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン類濃度 9pgTEQ/g ・重金属の溶出値は土壤環境基準を満足 ・物性データ 絶対比重 1.92、単位容積重量 1.2kg/l、吸水率 9.84% 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン類濃度 <100pgTEQ/g ・「コンクリート副産物の再利用に関する用途別製品品質基準」(案) 骨材2種を満足 ・重金属の溶出値は土壤環境基準を満足
<p>副生成物性状等</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p>有効利用用途</p>	<p>下層路盤材として実証試験実施</p>	<p>地盤改良剤その他として評価</p>	<p>有効利用データは未取得</p>
<p>備考 (文献カードNo.)</p>	<p>5-4-6,7</p>	<p>5-4-8</p>	<p>5-4-9</p>

1. 処理物（金属類を除く）の性状

処理物は種別的には、陶磁器、ガラス等のガレキ類などからなり、シリカ（Si）、カルシウム（Ca）などが主成分の、化学的に安定な不燃物が主体である。調査した範囲では、処理物からの重金属類の溶出値は文献No. 5-4-1および4に示される一部試料の鉛（Pb）の例を除き、ほぼ土壤環境基準を満足していた。また、データ数は少ないが、有機塩素化合物、農薬類も土壤環境基準を満足している例や、エイジングを行うことによる幅広いpH領域での鉛（Pb）の不溶化について報告している例もある。

報告されている処理物のダイオキシン類濃度（Co-PCB類を除く）は、最低ND（検出限界未満）から最大601pg-TEQ/g（一部の混合灰では最大750pg-TEQ/g）と、処理対象残渣物の性状や処理プロセスによりかなりばらついているが、全て土壤環境基準である1,000pg-TEQ/gを下回っていた。処理物のダイオキシン類濃度を、溶融スラグと同程度まで安定的に低減するためには、このばらつきやプロセスによる差異の原因を明確にするとともに、必要に応じて、ダイオキシン類分解プロセスの付加等を考慮する必要がある。

処理物の物理的性状に関しては、有効利用用途に応じて、比重、吸水率、単位体積重量、実績率、アルカリシリカ反応試験、コンクリート強度試験、粒度分布、最大乾燥密度、最適含水比、修正CBR試験などの試験実施例が報告されていた。

一方、処理物とともに回収された金属類に関しては、組成、溶出試験、ダイオキシン類などに言及している報告は認められなかった。

2. 副産物（排ガス、排水を含む）の性状

物理選別処理により、副産物として分離または発生する廃棄物（未燃物、微粉、脱水ケーキなど）、排水、排ガスの発生量については、物質収支を示している例が少ない。また、各副産物中の重金属、未燃炭素（C）、塩素（Cl）などを含む組成、ダイオキシン類濃度について言及している報告例は認められず、このため、処理プロセスとしての収支が把握される報告はなかった。また、副産物（廃棄物）の処理に関しては、文献No. 5-4-5に焼結処理と溶融処理を行い、エクステリア製品の試作と試験施工を実施した例が報告されているのみである。

物理選別処理は原理的に溶融固化法等にみられるような高温での熱的処理を含

まない点から、その副産物にはダイオキシン類、重金属類が移行・濃縮しているものと推測され、その処理には十分な配慮と対策が必要と考えられる。

3. 有効利用用途

処理物の有効利用用途としては以下のものが考えられる。

- ① 路盤材
- ② 盛土材、埋め戻し材など
- ③ コンクリート二次製品用骨材
- ④ 敷砂、代用砂、その他材料

実用例としては、雨水樹の充填用砕石としての使用例、コンクリートブロック骨材として取り扱われている例および内陸処分場の仮設道路用路盤材として使用されている例が報告されている。一方、試験例としては、道路用路盤材、コンクリート二次製品用骨材の他、敷砂などとして使用されている例が報告されている。

また、回収金属に関しては、全量資源化、売却している報告事例もある。

5.4.3 処理技術の課題

物理選別処理技術の課題として、次のことが指摘できる。

- ① 処理物の重金属類の含有量、溶出値、ダイオキシン類の濃度、毒性値等のデータ蓄積と解析に基づく技術的な説明
- ② 副産物（廃棄物、排ガス、排水）の各種データおよび物質の物性、挙動の把握
- ③ 処理物、副産物を含めた全体の物質収支の把握と解析
- ④ 安定処理に必要な管理指標等の把握
- ⑤ 副産物の適正処理技術の確立
- ⑥ 用役や処理コスト等の把握とその評価
- ⑦ 処理物の有効利用データの集積と解析による利用マニュアルの策定