

# 造粒焼成技術を用いた焼却灰再資源化システムの開発

中村 州一\* 荒井 正英\*\*

## 要 旨

全国で大量に発生する焼却灰は、重金属類やダイオキシン類を含むため大部分が廃棄物処分場に最終処分されており、有効な再資源化技術の確立が望まれている。

本研究では一般廃棄物焼却灰を主対象に、焼却灰を自然砂礫の代替材として幅広くリサイクルすることを目的として「造粒焼成技術による焼却灰再資源化システム」を開発した。

本システムは、焼却灰につなぎ材（ベントナイト、建設発生土等）と還元材（鉄系廃棄物等）を添加して自然砂礫状に造粒し、1,000~1,100 で加熱することにより、重金属類・ダイオキシン類を無害化し、安全かつ強固なセラミック粒子（リサイクル材）を製造する技術である。

本稿では、主にリサイクル材の物理特性、土壌としての安全性、各種の建設資材適合性について検討した、試験設備（焼却灰 1 トン/日処理）による実証試験の途中経過を報告する。

## 1. はじめに

わが国におけるごみ処理量 5,207 万トン（平成 12 年度、環境省）のおよそ 8 割は焼却処理されており、年間約 600 万トンの焼却灰が排出されている。

焼却灰は重金属類やダイオキシン類で汚染されていることも多く、また灰そのものの物理性状（細粒分が多い、粒子強度が小さい、飛散・泥状化し易い等）からも、そのまま資材として使用することは困難である。

現在、焼却灰のリサイクル技術としては、熔融固化やセメント原料化等が実用化されている。前者は 1,300 以上の高温処理のため設備のインシタルコスト、ランニングコストが高く、また、リサイクル材（熔融スラグ）はガラス質であり、その用途が骨材等に限定される。後者は、セメント製造設備の近隣以外の地域には対応が困難であり、また、焼却灰の処理量がセメント製造量で規定されてしまう等の問題点がある。

本技術は焼却灰を砂礫状に造粒後 1,000~1,100 で焼成処理するため、インシタルコスト、ランニングコストが低い。また、リサイクル材は素焼状の強固なセラミック質となり、主に建設分野での幅広い利用が期待できる。

本稿では、稼動中の一般廃棄物焼却施設に隣接して建設した試験設備による実証試験（平成 15 年 4 月~10 月）について報告する。

## 2. 本技術の概要

本システムの処理フローを図 - 1 に、焼却灰および処理後のリサイクル材を写真 - 1 に示す。

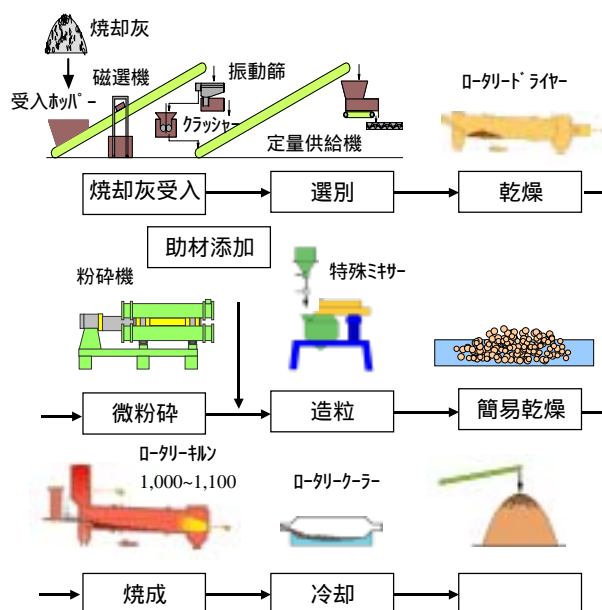


図 - 1 処理フロー



写真 - 1 焼却灰(左)とリサイクル材(右)

\*技術研究所\*\*本社環境事業部

本システムおよびリサイクル材の特長を以下に示す。

<システムの特長>

熔融固化処理と比較し加熱温度が 1,000~1,100 と低く、一般的なロータリーキルンを使用できるため、イニシャルコスト、ランニングコストが低い。

焼却灰および造粒物の乾燥に焼成廃熱を利用し、また、水の循環利用により設備外への排水が生じない効率的なシステムである。

前処理、造粒、焼成、ガス処理等の既存技術を組み合わせたシステムであり、機械設備の信頼性が高い。

<リサイクル材の特長>

焼結作用により、粒子強度が大きく表面が微細な凹凸に富んだ素焼状を示す。

特殊ミキサで造粒するため、細砂～中礫の自然砂礫と同等の粒度分布を有する粒子が得られる。

重金属類、ダイオキシン類は焼成により揮発・分解されるため、土壌としての安全性が確保される。

3. 実証試験

3.1. 実証試験概要

実規模の試験設備を建造し、連続運転における設備運転性能およびリサイクル材品質を確認する。

実証試験における主な開発内容は以下の通りである。

連続運転が可能で、環境負荷が小さい実証設備の設計・製作・建設

連続運転の実施に基づく運転特性の評価

土壌環境基準、土壌含有基準、排水基準に適合する品質が安定したリサイクル材製造方法の確立

リサイクル材を用いた実規模試験施工による資材特性の評価

本報告では、実証試験の途中経過として上記 ~ のうちについて報告する。

なお、本実証試験は、環境省の平成 14・15 年度次世代廃棄物処理技術基盤整備事業および廃棄物研究財団の廃棄

物処理技術開発支援事業として実施されるもので、延べ 100 日以上(30 日間 24 時間連続を含む)の運転を行う。

3.2. 実証設備概要

表 - 1 に実証設備概要、図 - 2 にシステムフロー、写真 - 2 に設備全景を示す。

本設備は、焼成及び二次燃焼の廃熱で、焼却灰および造粒物の乾燥を行っている。粉碎機、ロータリークーラーで使用される冷却水は系内循環、減温塔噴霧水は全量蒸発となっており、設備外への排水は発生しない。

運転に伴い発生する減温塔残さとバグフィルタ捕集塵は、重金属類を高濃度で含有する。減温塔残さは発生量が少ないため原料ラインへ再投入し、リサイクル材の重金属類含有量の濃縮過程を評価する。バグフィルタ捕集塵は溶出量分析(環告 13 号)後、適正な処理を行う。

表 - 1 実証設備概要

処理能力	焼却灰受入量 1ト/日
設備面積	197m <sup>2</sup> (9,900×19,900mm)
主要設備	造粒ミキサ(50リットル) ロータリーキルン(φ600×15,000mm)
処理対象	一般廃棄物焼却灰
焼却灰処理 対象施設	乾留式固定床炉(処理能力4.7ト/日) 機械バッチ式固定床炉(処理能力4.7ト/日)
実証運転期間	平成15年4月~10月(予定)

3.3. 実施状況

3.3.1. 運転条件

焼成時の運転条件を表 - 2 に示す。

各条件は小型焼成炉による基礎実験結果より設定した。

炉内雰囲気は、燃焼用外気の導入量をできる限り少なくして還元状態に保持し、六価クロムの生成を抑止する。

試料投入開始時の焼成温度は 1,100 以下、炉内酸素濃度は 4.5%程度であるが、試料の投入とともに試料中の灰および還元材が燃焼し、徐々に炉内温度は上昇、酸素濃度は低下する。

表 - 2 焼成時運転条件

運転条件	実証運転	基礎実験検討結果
焼成温度	1,100 以下	1,020 以上で粒子強度満足(1,015 で強度低下顕著)
炉内酸素濃度	4.5%程度	5%以上ではCr(Ⅵ)溶出量土壌環境基準値超過
平均滞留時間	約45分	30分以上で粒子強度満足(30分未満では強度低下)

粒子強度の基準値は圧壊強度で1.6MPaとした<sup>1)</sup>

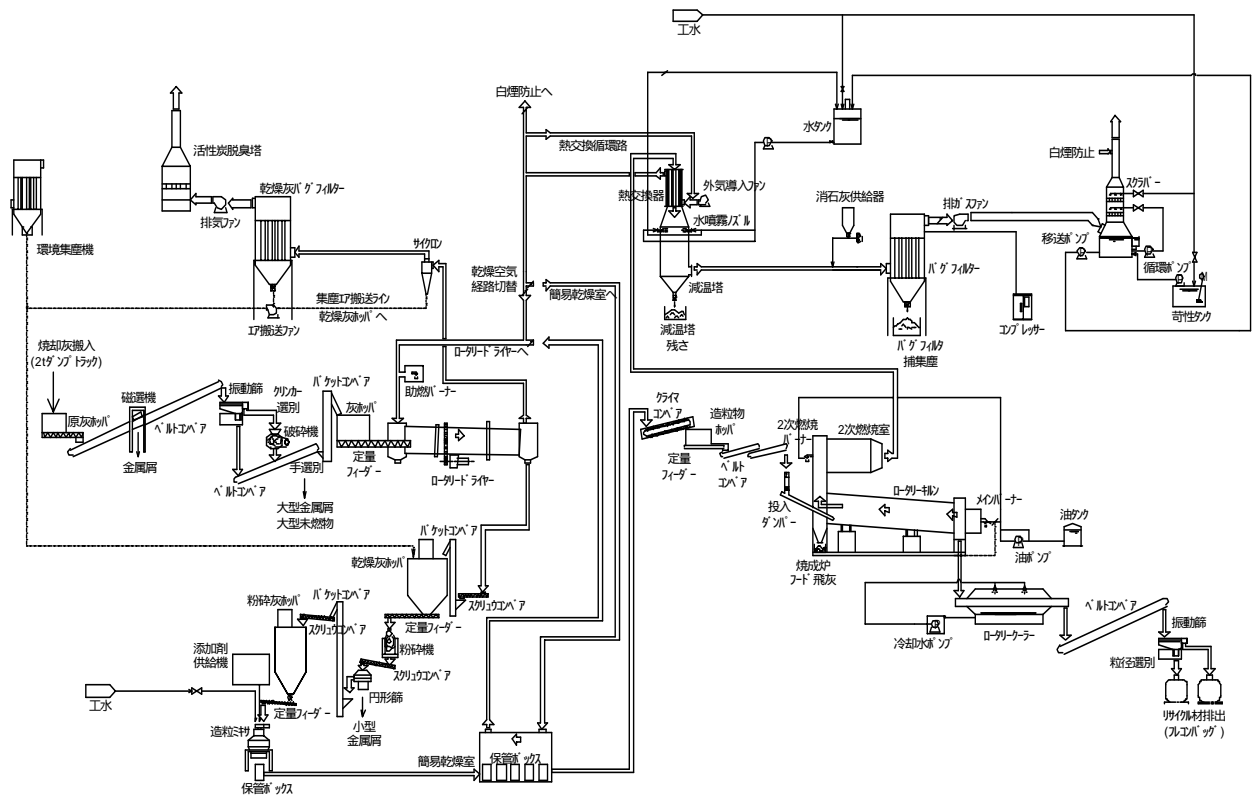


図 - 2 処理システムフロー

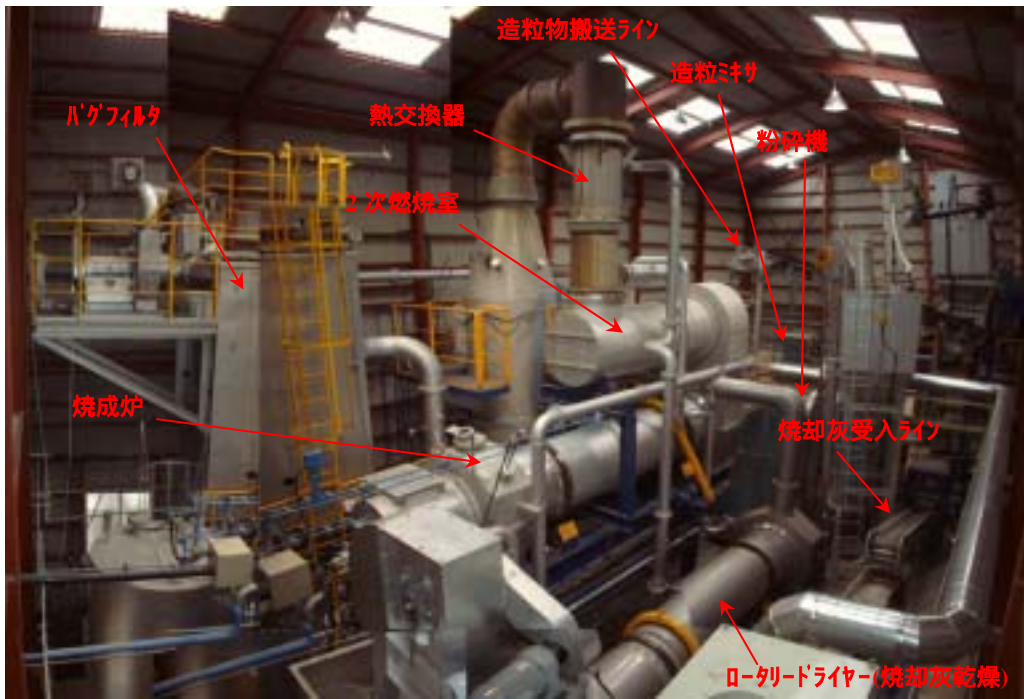


写真 - 2 実証設備全景

### 3.3.2. 対象焼却灰

図 3、4、表 - 3~7 に実験に使用している焼却灰のごみ質及び灰性状を示す。

ごみは、生ごみ、プラスチック類、可燃物、缶類、ガラス・陶器・金属類の5種類の分別収集を行っており、可燃物のみが焼却されている。焼却対象のごみ質は、紙類が多く厨芥類が少ないのが特徴である(紙類:平均70%,ex.東京都47%(平成7年度),仙台市32%(平成5年度)、厨芥類:平均5%,ex.東京都35%(同),仙台市42%(同))<sup>2)</sup>。

また、構成成分については CaO が若干高いが、一般的な構成であると言える。

焼却灰の含水率は日によって大きく変わり、単位体積重量も0.41~0.91gf/cm<sup>3</sup>と大きく変動する。

汚染状況については、六価クロム、ふっ素の溶出量が土壤環境基準値を超過する。また、鉛が含有量基準値を超過する。ダイオキシン類の含有量は少ない。

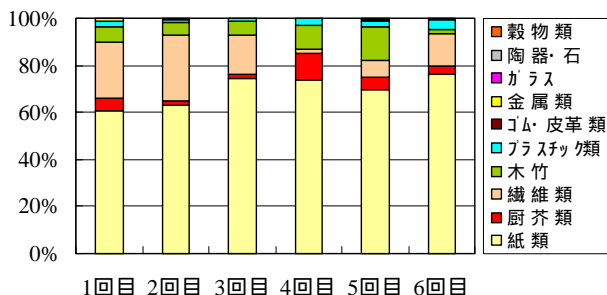


図 - 3 ごみ質 (X灰、湿ベース)

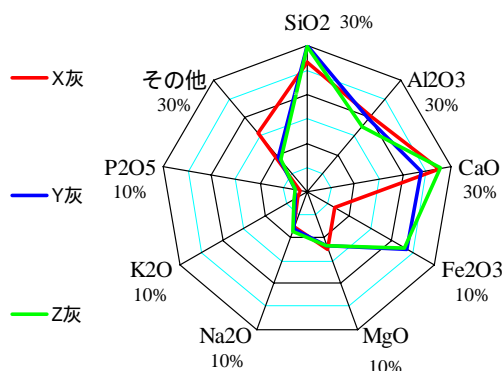


図 - 4 焼却灰の構成成分

表 - 6 ダイオキシン類含有量

試料	単位:ng-TEQ/g	
	ダイオキシン類	
X灰	0.035	
Y灰	0.095	
Z灰	0.011	
土壤環境基準値	1	

表 - 7 焼却灰性状 (X灰)

項目	結果
含水率(受入時) (%)	35.4~58.2
単位体積重量 (gf/cm <sup>3</sup> )	0.41~0.91
強熱減量 (%)	5.6~11.7
pH	11.1~12.8

表 - 3 重金属類溶出量(環告 46号)

定量下限未満のものは一部記載省略

試料	単位:mg/l									
	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素	銅	(mg/kg)
X灰	0.0003	0.002未満	0.27	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	0.4	0.54	2未満	
Y灰	0.0002未満	0.002未満	0.13	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	0.2	0.53	2未満	
Z灰	0.0002未満	0.004	0.14	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	1.5	0.13	2未満	
土壤環境基準値	0.01以下	0.01以下	0.05以下	0.01以下	0.0005以下	0.01以下	0.8以下	1以下	125以下	

表 - 4 重金属類含有量(環告 19号)

試料	単位:mg/kg									
	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素	全シアン	総クロム
X灰	0.72	110	10	1.7	0.02未満	0.05未満	25	80	5未満	
Y灰	0.63	75	2.6	0.98	0.02未満	0.05未満	62	200	2未満	
Z灰	0.68	170	6	1.5	0.02未満	0.05未満	27	86	2未満	
土壤含有量基準値	150	150	250	150	15	150	4,000	4,000	50	

表 - 5 重金属類含有量(底質調査法)

試料	単位:mg/kg										
	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素	全シアン	総クロム	総ケルマ
X灰	0.76	100	9.2	1.5	0.02未満	0.5未満	110	94	1未満	96	
Y灰	0.85	91	1.1	1.9	0.02未満	0.5未満	130	520	1未満	89	
Z灰	1.1	210	3.9	1.7	0.02未満	0.5未満	100未満	220	1未満	330	

3.3.3. リサイクル材の品質

鉛の含有量は基準値以下に低減され、ダイオキシン類はほぼ完全に熱分解される。

3.3.3.1. 重金属類・ダイオキシン類に対する安全性

リサイクル材からの六価クロム溶出を抑止するため、造粒時に還元材(鉄系、硫化物系等の廃棄物を有効利用)を添加し、焼成時の炉内雰囲気還元状態に保持する。

リサイクル材の分析結果を表-8~11に示す。

鉄系還元材を添加することで、リサイクル材の六価クロム溶出量は土壤環境基準値未満になる。溶出が認められた1ケースは、硫化物系還元材を使用しており、添加量を増やすことで不溶化が可能である。鉄系還元材の基本配合は、焼却灰の5~10%(乾燥質量)である。

また、土壤環境基準値を超過していたふっ素も、焼成後は基準値未満になる。砒素は焼成後に溶出量が増加する傾向があるが、土壤環境基準値以下である。

表-11 ダイオキシン類含有量

試料	単位:ng-TEQ/g	
	ダイオキシン類	
X灰	0.035	
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.00050	
Y灰	0.095	
リサイクル材(鉄系還元材30%)	0.000039	
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0	
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.006	
Z灰	0.011	
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0	
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0	
土壤環境基準値	1	

表-8 重金属類溶出量(環告46号)

定量下限未満のものは一部記載省略

試料	単位:mg/l								
	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素	銅 (mg/kg)
X灰	0.0003	0.002未満	0.27	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	0.4	0.54	2未満
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.0002未満	0.002未満	0.005未満	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	0.1未満	0.04	100
Y灰	0.0002未満	0.002未満	0.13	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	0.2	0.53	2未満
リサイクル材(鉄系還元材30%)	0.0002未満	0.002未満	0.017	0.01	0.0005未満	0.002	0.1未満	0.41	95
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.0002未満	0.002未満	0.005未満	0.002	0.0005未満	0.001未満	0.1未満	0.15	120
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.0011	0.002未満	0.005未満	0.003	0.0005未満	0.001未満	0.1未満	0.31	59
Z灰	0.0002未満	0.004	0.14	0.001未満	0.0005未満	0.001未満	1.5	0.13	2未満
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.0002未満	0.002未満	0.005未満	0.002	0.0005未満	0.001未満	0.6	0.02	61
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.0002未満	0.002未満	0.059	0.004	0.0005未満	0.001未満	0.2	0.04	57
土壤環境基準値	0.01以下	0.01以下	0.05以下	0.01以下	0.0005以下	0.01以下	0.8以下	1以下	125以下

表-9 重金属類含有量(環告19号)

単位:mg/kg

試料	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素	全シアン
X灰	0.72	110	10	1.7	0.02未満	0.05未満	25	80	5未満
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.11	32	0.2未満	4.4	0.02未満	0.05未満	18	110	5未満
Y灰	0.63	75	2.6	0.98	0.02未満	0.05未満	62	200	2未満
リサイクル材(鉄系還元材30%)	0.41	53	0.2	0.95	0.02未満	0.05未満	17	120	2未満
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.01未満	67	0.2未満	1.3	0.02未満	0.05未満	17	140	2未満
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.13	100	0.2未満	0.92	0.02未満	0.05未満	15	140	2未満
Z灰	0.68	170	6	1.5	0.02未満	0.05未満	27	86	2未満
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.04	31	0.2未満	1.9	0.02未満	0.05未満	8	80	2未満
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.09	80	1.8	0.59	0.02未満	0.05未満	16	82	2未満
土壤含有量基準値	150	150	250	150	15	150	4000	4000	50

表-10 重金属類含有量(底質調査法)

単位:mg/kg

試料	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素	全シアン	総クロム
X灰	0.76	100	9.2	1.5	0.02未満	0.5未満	110	94	1未満	96
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.15	35	0.1未満	4.8	0.02未満	0.5未満	100未満	120	1未満	230
Y灰	0.85	91	1.1	9	0.02未満	0.5未満	130	520	1未満	89
リサイクル材(鉄系還元材30%)	0.65	55	0.2	1.9	0.02未満	0.5未満	100未満	570	1未満	810
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.05未満	73	0.1未満	1.9	0.02未満	0.5未満	100未満	470	1未満	320
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.18	130	0.1未満	1.2	0.02未満	0.5未満	100未満	450	1未満	180
Z灰	1.1	210	3.9	7	0.02未満	0.5未満	100未満	220	1未満	330
リサイクル材(鉄系還元材10%)	0.06	49	0.1未満	2	0.02未満	0.5未満	100未満	160	1未満	450
リサイクル材(硫化物系還元材20%)	0.16	82	1.8	0.9	0.02未満	0.5未満	100未満	130	1未満	220



### 3.3.3.2. 基本物理特性と建設資材適合性

リサイクル材の基本物理特性を表 - 12、図 - 5 に、圧壊強度および各種建設資材規格の適合性を表 - 13、14 に示す。

リサイクル材は、代表粒径が 0.6~6.5mm 程度の細砂~中礫材である。粒子密度は $2.87\sim 3.11\text{g/cm}^3$ と一般的な砂質土より大きい。粒子内部に空隙を有しているため、単位体積重量(表乾程度)は  $1.1\sim 1.3\text{gf/cm}^3$  と軽量盛土材と同程度である。

圧壊強度は天然材料より小さいが、セメント固化物よりは大きく(レンガより若干小さい程度)、土木資材として使用できる十分な強度を有する。

内部摩擦角は  $40\sim 45^\circ$  で、砂質土 ( $30\sim 35^\circ$  程度)と比較して高い地盤強度を有する。透水性、すりへり抵抗性についても一般砂礫と同等であり、路床・路盤材、サンドドレーン材、サンドコンパクション材の材料規格に適合する。

表 - 12 リサイクル材の基本物理特性

項目	結果
粒子密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	2.87~3.11
単位体積重量(表乾程度) ( $\text{gf/cm}^3$ )	1.1~1.3
単位体積重量(乾燥時) ( $\text{gf/cm}^3$ )	0.89~1.22
pH	9.3~12.0

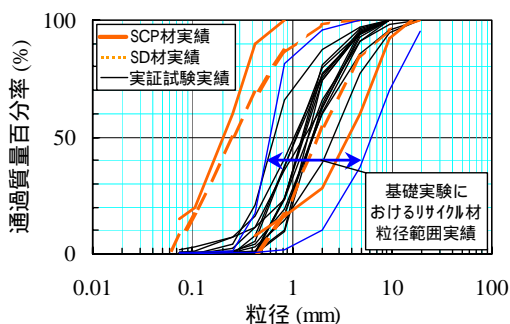


図 - 5 リサイクル材の粒度分布

表 - 13 リサイクル材の圧壊強度

材料	圧壊強度 (MPa)	詳細
人工材料		
リサイクル材	2.8~4.4	(直径2~5mm)
赤レンガ成型物	5.1	市販品を5mm前後の球状に成形
コンクリートブロック	2.7	成形
石炭灰造粒物	1.6程度 <sup>3)</sup>	石炭灰のセメント固化造粒物 サンドコンパクション材に使用
天然材料		
粗骨材	21.0	碎石(直径5mm程度)
粗骨材	21.6	岡砂利(直径5mm程度)
細骨材	19.6	砂(直径3mm程度)
相馬砂2号	41.6	(直径2mm程度)

表 - 14 リサイクル材の各種建設資材規格適合性

使用例	試験項目	リサイクル材	規格・望ましい値 <sup>1)</sup>
サンドコンパクション材 (打設後)	最大粒径 (mm)	20程度	40~50以下
	細粒分率 (%)	0.06~1.92	3~5
	透水係数 (cm/s)	$4.5\times 10^{-3}$ $\sim 1.1\times 10^{-1}$	$1.0\sim 1.0\times 10^{-3}$
	内部摩擦角 (deg)	40~45	30~35
サンドドレーン材	透水係数 (cm/s)	$4.5\times 10^{-3}$ $\sim 1.1\times 10^{-1}$	$1.0\times 10^{-3}$ 程度以上
	粘着力	0	-
路盤・路床 (アスファルト/ 簡易舗装)	設計CBR (%)	23程度	-
	修正CBR (%)	20程度	20以上/10以上
	最大粒径 (mm)	20程度	50以下/50以下
	細粒分率 (%)	0.06~1.92	/10以下
人工軽量骨材	吸水膨張率 (%)	0.01程度	-
	絶乾密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	1.58~2.01	1.25~1.38(粗骨材) 1.60~1.75(細骨材)
コンクリート骨材	絶乾密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	1.58~2.01	2.5以上(粗骨材) 2.5以上(細骨材)
	吸水率 (%)	13.6~29.0	3.0以下(粗骨材) 3.5以下(細骨材)
	すりへり抵抗性	26程度	35または 40以下(粗骨材)
	表乾密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	1.89~2.34	-
	実績率 (%)	62.8~69.4	-
	単位容積質量 ( $\text{kg/l}$ )	1.07~1.31	-

リサイクル材は吸水率が高くコンクリート骨材の規格を満足しない。細骨材に天然骨材を使用した場合とリサイクル材を使用した場合について、コンクリート製品の性能を比較した。

表 - 15、16 にコンクリートの配合条件、フレッシュ性状および圧縮試験結果を示す。

リサイクル材は細粒分が少ないためスランプが大きくなると考えられるが、圧縮強度は7日、28日とも普通コンクリートの90~95%以上を確保している。中性化特性については現在調査中である。

表 - 15 配合条件

試料名	配合条件			
	W/C (%)	単位水量 ( $\text{kg/m}^3$ )	s/a (%)	混和剤 (%)
普通コンクリート	55	160	43	0.25
リサイクル材コンクリート				

リサイクル材は細骨材に体積比1/2使用  
粗骨材には川砂利を使用

表 - 16 フレッシュ性状および圧縮試験結果

試料名	フレッシュ性状		圧縮強度( $\text{N/mm}^2$ )	
	スランプ (cm)	空気量 (%)	材齢7日	材齢28日
普通コンクリート	10.5	5.2	23.2	35.5
リサイクル材コンクリート	13.5	4.0	21.3	34.0

### 3.3.3.3. その他の特性

#### (1) pH 経時変化(屋外暴露試験)

焼成直後のリサイクル材は pH10 程度で弱アルカリ性を示す。雨水等によるリサイクル材の pH 低減を調査するため、屋外暴露試験を行った。経時変化を図 - 6 に示す(浸透水は容器底部のドレーン孔より自然排水)。

リサイクル材、浸透水ともに徐々に pH が低下しており、実験開始約 100 日で、屋外暴露リサイクル材は表面、底面とも pH9 以下に低減する。

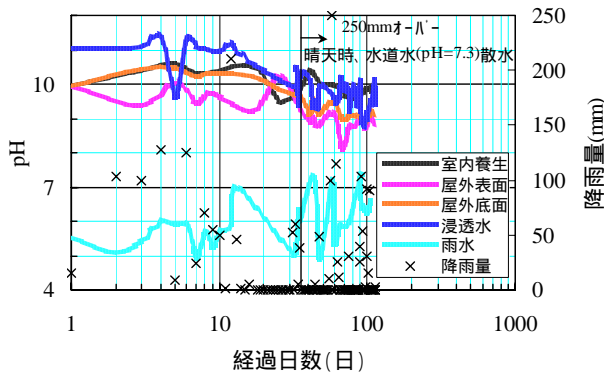


図 - 6 pH 経時変化

#### (2) 鉄錆発生状況調査(屋外暴露試験)

リサイクル材は還元材として鉄系廃棄物を添加しているため、錆による変色、長期的な材料劣化の有無を調査した。

調査は室内養生と屋外暴露したものを比較して行った。実験ケースおよび錆の発生状況を表 - 17、写真 - 3 に示す。

焼成不良時のリサイクル材は、雨水湿潤後 3 日程度で錆が発生する場合がある。ただし、錆の発生は焼成不足の粒子の表面にある鉄粉部(直径 1mm 程度)のみであり、粒子全体におよび錆の発生および進行は認められない。また、錆の部分発生による粒子強度の低下も認められない。

表 - 17 鉄錆調査実験ケース

試料	暴露・養生日数
X 灰リサイクル材(鉄系廃棄物10%)	30日
Y 灰リサイクル材(鉄系廃棄物10%)	70日
Z 灰リサイクル材(鉄系廃棄物10%)	80日

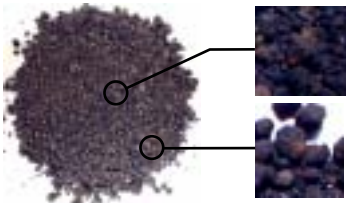


写真 - 3 鉄錆状況(Y 灰リサイクル材・屋外暴露 80 日)

#### (3) 細孔分布・保水性

吸着材や人工土壌としての利用可能性を検討するため、細孔分布・保水性を調査した。表 - 18 に試験結果を示す<sup>4)</sup>。

リサイクル材粒子の比表面積は砂よりも大きく、シルト・粘土に近く、砂としては高い吸水率(13.6~29.0%)を有する。そのため、砂礫として極めて良好な透水性と川砂程度の保水性を両立している。

写真 - 4 にリサイクル材断面の電子顕微鏡写真を示す(参考:市販材)。リサイクル材は連行空隙を有している。

表 - 18 細孔分布・保水性・陽イオン交換容量

項目	細孔分布		透水性	保水性
	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	吸水率 (%)	透水係数 (cm/s)	有効水分量 (kg/m <sup>3</sup> )
リサイクル材A	0.25	13.6~29.0	4.5×10 <sup>-3</sup> ~1.1×10 <sup>-1</sup>	58.6
リサイクル材B	1.77			37.0
自然材料	粘土2.3	細骨材	砂礫土 1.0×10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-1</sup>	黒土112 川砂71
	シルト0.21	一般値		
	細砂0.021	1~5		

有効水分量はpF1.8~3.0

配合...リサイクル材A:灰:アントナイト=100:10

リサイクル材B:灰:アントナイト10:鉄系還元材=100:10:10

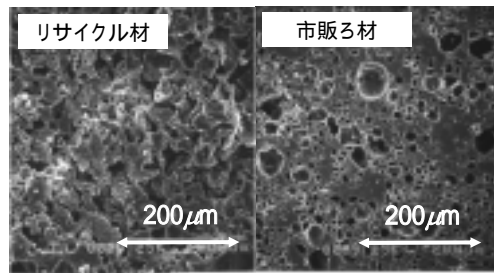


写真 - 4 断面電子顕微鏡写真

#### (4) 植生実験

リサイクル材土壌の植生を調査した。

高麗芝を用いた実験条件を表 - 19、実験経過を表 - 20、140 日経過後の葉および根の成育状況を写真 - 5 に示す。

リサイクル材を使用した土壌 pH は、普通土 6.0 に対し 140 日経過後も 8 台と弱アルカリ性を呈したが、成長に明確な差は認められない。リサイクル材が多いほど根が短く密集する傾向が認められるが、葉の成育に差はなく、全ケース順調に成育している。なお、試験開始半月後より全ケース適宜液肥を施している。

果実への重金属類の濃縮の影響を調査した。果実(パッションフルーツ)の収穫後(植えから約 1 ヶ月)、皮・身・種子の全量を対象とした重金属類の含有量調査結果を、表 - 21 に示す。重金属類の有意な濃縮は認められない。

表 - 19 実験条件

芝種	高麗芝
土壌	リサイクル材
	リサイクル材:自然土壌=1:1の混合土
	自然土壌
敷設面積	1.5m <sup>2</sup> (1.0×1.5×厚0.2m)

表 - 20 実験経過

単位:長さmm

計測日	項目	リサイクル材	混合土	自然土壌	
初期値	土壌pH	11.0	-	6.0	
50日後		9.8	-	6.0	
140日後		8.6	8.2	6.0	
140日後	土壌含水比(%)	21.9	27.7	30.3	
140日後	地下茎	平均径	1.7	1.6	1.7
		平均長	12.7	9.7	14.0
	根	量	多い	中間	少ない
		平均長	10.0	19.4	16.0



写真 - 5 生育状況(左:葉、右:根張状況)

表 - 21 果実の重金属類含有量

単位:溶出量mg/l,含有量mg/kg

	リサイクル材		果実含有量	基準値含有量
	溶出量	含有量		
カドミウム	0.0002未満	0.15	0.01未満	0.05(果実)
鉛	0.002未満	35	0.1未満	0.1(果実)
六価クロム	0.005未満	0.1未満	0.1未満	-
砒素	0.001未満	4.8	0.5未満	0.5(食用塩)
総水銀	0.0005未満	0.02未満	0.02未満	0.1(食用塩)
セレン	0.001未満	0.5未満	0.5未満	-
ふっ素	0.1未満	100未満	6未満	-
ぼう素	0.04	120	13	-
全シアン	0.1未満	1未満	1未満	-

果実の含有量は底質調査法による  
基準値は国際食品規格(Codex Alimentarius)(案)  
ぼう素は植物に必要な微量元素(例:茶葉20~30mg/kg)

#### (5)ヒメダカ飼育実験

リサイクル材を敷砂に使用したヒメダカの飼育実験を行い生物への影響の有無を調査した。実験開始より約2.5年経過しており、現在3世代にわたる稚魚の孵化を確認している。

#### 4.まとめ

本技術は、基礎実験において造粒条件と焼成条件およびリサイクル材の基本特性(安全性、物理特性、資材規格への適合性)の検討を行い、現在実証試験にて、連続処理における施設運転特性とリサイクル材品質を検証中である(焼却灰1トン/日処理)。

以下に本技術開発で得られた知見を示す。

- ・本システムにより焼却灰を安全に、自然砂礫の代替材としてリサイクルすることが可能である。
- ・1,050~1,100 の焼成処理により、ダイオキシン類は熱分解され、重金属類は揮発分離あるいは不溶化される。
- ・リサイクル材は土壤環境基準および土壤含有基準(土壤汚染対策法)を満足する。
- ・リサイクル材は各種の建設資材規格を満足する。

#### 5.今後の課題

今後、実証試験で製造したリサイクル材の実規模試験施工を行い、建設資材としての資材特性を確認する予定である。

また、実証試験を通じてリサイクル材の材料性能向上やシステムの簡略化、コストダウン手法を再検討し、本技術の実用化に向けた最終検討を行う。

#### 謝辞

本研究開発を実施するにあたり、多大なる御協力を頂きました(株)アクトリー殿に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 車田佳範、中島勝治、泉雄士;五洋建設技術年報、Vol.29、1999
- 2)(財)廃棄物研究財団;スラグの有効利用マニュアル、pp43、1999
- 3)軟弱地盤対策工法編集委員会;軟弱地盤対策工法、1990など
- 4)藤原俊六郎、安西徹郎、加藤哲郎;土壤診断の方法と活用、pp62、1996など