

## 技術開発報告概要書

補助金事業名（事業番号）：一般廃棄物と産業廃棄物を融合した高度利用技術の開発（J1407）

補助金事業者名：間組

### 1. 技術開発担当・照会先

株式会社間組 技術・環境本部 技術研究所 技術研究部 先端研究室 佐々木 肇

〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1

TEL：029-858-8815 FAX：029-858-8829 E-mail：hsasa@hazama.co.jp

### 2. 技術開発の目的と開発内容

#### 2.1 技術開発の目的

##### (1) 技術開発の概要

一般廃棄物などの溶融スラグの年間発生量は約 15 万 t（1998 年度）に対して、そのリサイクル率は 22%と低水準であり、リサイクル率を高めることが重要である。その用途として、年間約 5～6 億 t も消費されているコンクリート用骨材が期待されている。しかし、溶融スラグをコンクリート用骨材として使用した場合、コンクリートのスランプ（フレッシュ状態のコンクリートの流動性を示す指標）、強度、耐久性が低下する。このため、天然骨材と混合使用（一般的な溶融スラグの置換率は 30～50%）されており、溶融スラグ使用量は限定的なものになっている。

本事業においては、産業廃棄物の最終処分量の約 5%を占める石炭灰・ペーパースラッジ焼却灰（以下、PS 灰）・汚泥焼却灰等の粉体系廃棄物（以下、粉体廃棄物）を溶融球状化パウダー（以下、溶融パウダー）化し、溶融スラグと合わせてコンクリート用骨材（以下、リサイクル骨材）等の建設資材として再資源化する技術を開発する。

##### (2) 技術開発の最終目標

最適溶融パウダー化条件（目標球状化率：90%以上）の把握と、リサイクル骨材、土壌流動化材、埋戻し材等の建設資材として再利用する技術を確立する。リサイクル骨材を使用したコンクリートの品質目標は、天然骨材使用コンクリートと同等の性状を有するものとする。

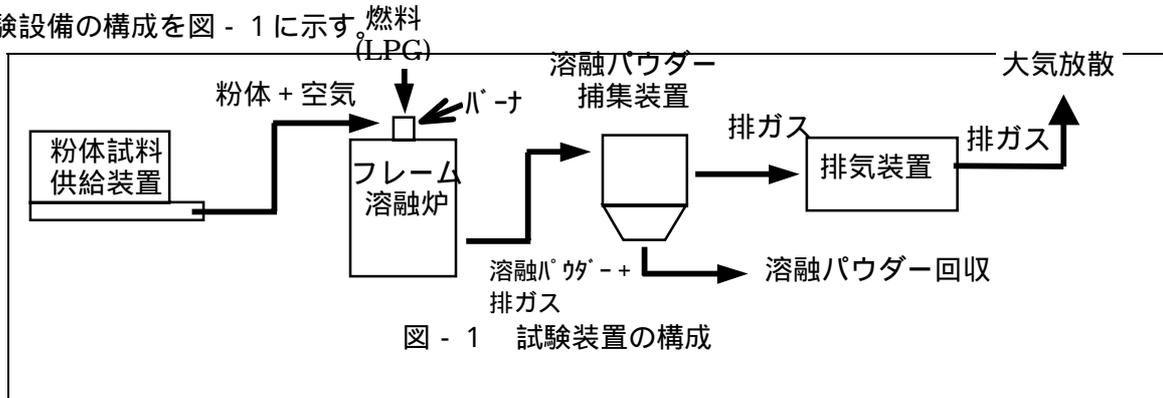
#### 2.2 開発内容

##### (1) フレーム溶融炉による粉体廃棄物溶融パウダー化技術の確立（担当：中外炉工業）

試験設備の規模及び設置基数

溶融パウダー化実証炉（フレーム溶融炉、処理能力約 20 kg/h）1 基。

試験設備の構成を図 - 1 に示す。



処理対象廃棄物の種類：石炭灰・PS 灰・下水汚泥焼却灰等の粉体廃棄物。

試験条件：各粉体廃棄物に対する試料の供給量、燃焼空気の供給量、燃焼条件を把握し、溶融パウダー化による重金属類除去率、重金属類の溶出量の変化を確認した。

試験回数：粉体廃棄物を 26 種類収集し、物性・成分・粒度分布などを確認し、そのうち 6 種類の

粉体廃棄物（下水汚泥焼却灰 2 種、石炭灰 3 種、P S 灰 1 種）について溶融パウダー化試験を実施し、1 種類の下水汚泥焼却灰について最適条件を把握した。

## （2）溶融パウダーのリサイクル技術の研究（担当：間組）

溶融パウダーのリサイクル技術のうち、本年度はリサイクル骨材について次の検討を行った。

溶融スラグ 14 種類に対して溶融パウダー 1 種類を使用し、コンクリートのスランプ改善効果の確認と最適な置換率の把握。

溶融スラグ 1 種類に対して上記以外の溶融パウダー 4 種類を使用し、コンクリートのスランプ改善効果の確認。

溶融パウダー置換によるコンクリート強度、耐久性の改善効果の確認。

重金属類の長期的な溶出状況の把握と安全性評価方法の検討。

## （3）事業化採算性の検討（担当：間組、協力：中外炉工業）

リサイクル製品および工法の事業化方法を検討しビジネスモデルの構築を行う。

## 3．技術開発の成果

### 3.1 溶融パウダー化技術

#### （1）処理原理

溶融パウダー化の原理は、図 - 2 に示すように微粉末の粉体廃棄物を搬送空気と共にバーナ火炎中に投入すると、高温（理論温度 1,700 以上）の火炎内で粉体中の無機物が溶融する。表面張力により球形になった試料は火炎を通過後、冷却固化する。フレーム溶融炉は、従来の溶融炉と比較して以下の優位性がある。

試料を火炎中で溶融させるため、炉内温度は一般の焼却炉と同等の温度（800～850℃）であり、溶融物が炉壁と直接接触しないため運転費・設備費・維持費・補修費が安価になる。

溶融パウダーは強度が高く球形であり、多方面での工業利用が可能である。

#### （2）試験装置

試験装置の外観を写真 - 1 に示す。粉体廃棄物は、搬送空気とともにフレーム溶融炉の上部のバーナから溶融炉内に供給され、バーナ火炎中で溶融パウダー化された後、排ガスとともに炉外へ排出し、サイクロンとバグフィルターで捕集される。

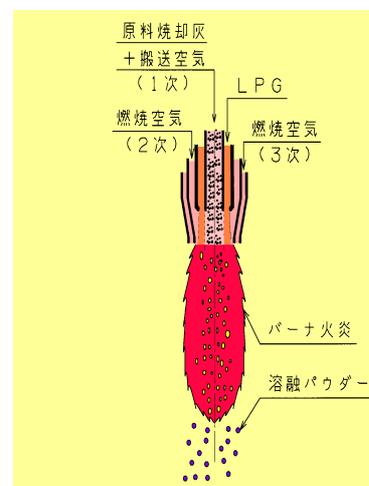


図 - 2 溶融パウダー化原理

### 3.2 試験方法と結果

#### （1）粉体廃棄物の溶融パウダー化技術の確立

試料供給量、燃焼容量（燃料供給量）を調節し、燃料原単位（燃焼容量 ÷ 試料供給量）をほぼ同程度にして溶融パウダー化処理を行い、球状化の有無や物性の変化を確認した。溶融パウダー化処理前後の球状化率を表 - 1 に示す。

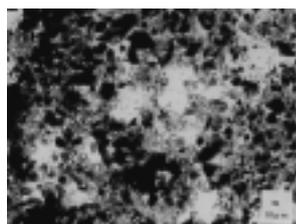
表 - 1 溶融パウダー化処理前後の試料の球状化率



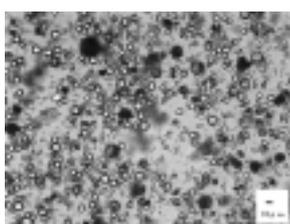
写真 - 1 試験装置外観

試料名	種類	球状化率 (%)	
		処理前	処理後
SS0101	下水汚泥焼却灰	0	98.0
SS0501	下水汚泥焼却灰	0	96.7
FA0201	石炭灰	85.7	87.3
FA0302	石炭灰	63.9	73.7
FA0403	石炭灰	0	75.9
PS0101	P S 灰	0	96.9

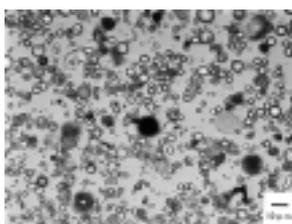
写真 - 2、3 に溶融パウダー化処理前後の試料の写真を示す。溶融パウダー化処理によって粉体廃棄物が球状化していることが確認された。



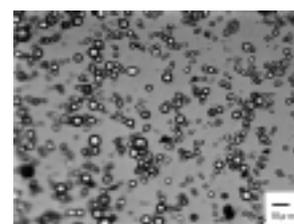
処理前



処理後



処理前



処理後

写真 - 2 下水汚泥焼却灰 (SS0501)

写真 - 3 石炭灰 (FA0201H)

## (2) 最適球状化条件の確立

良好な性状の溶融パウダー（球状化率 90%以上）が製造できる最小のエネルギー投入条件を検討した。試験結果を表 - 2 に示す。

表 - 2 最適球状化試験結果

試験 No.	試料名	供給量 (kg/h)	LPG 流量 (m <sup>3</sup> N/h)	燃焼容量 (MJ/h)	燃料原単位 (MJ/kg)	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	平均粒径 (μm)	球状化率 (%)
11	SS0101	17.0	3.7	338.0	19.9	0.24	18.6	93.5
12	SS0101	24.3	4.0	365.4	15.0	0.26	21.4	91.4

運転状況：炉内温度：800～900、サイクロン入口温度：600～710、バグフィルター入口温度：180 以下

燃料原単位 15MJ/kg (3500kcal/h)においても目標値である球状化率 90%を上回った。しかし、重金属類の溶出試験において、ヒ素 (As)、セレン (Se) が土壤環境基準値 (0.01ppm) を超えていた。このため、サイクロン入口部での温度を 700 以上にして捕集し、土壤環境基準値を満足した。この結果から、高温で捕集することが重金属類溶出防止策として有効であるため、サイクロンでの捕集温度は 700 以上とすることが望ましい。一方、バグフィルターで捕集した溶融パウダーからは、ヒ素 (As)、セレン (Se) が溶出した。バグフィルターは耐熱上の問題より高温捕集はできないため、重金属類が溶出する試料については後処理によりこれら除去する必要がある。

## 3.3 溶融パウダーのリサイクル技術の研究

### (1) フレッシュコンクリートの特性

溶融スラグを細骨材の全量置換した配合（以下、全量置換配合）と、溶融スラグの一部を溶融パウダーに置換した配合（以下、溶融パウダー置換配合）のコンクリートで溶融パウダー置換率とスランプの関係性を把握した結果、溶融スラグ種類による差はあるが、目標スランプの得られる溶融パウダー置換率は 5～20%であった。原料の異なる溶融パウダーを使用したコンクリートのパウダー置換率とスランプの関係性を表 - 3 に示す。

表 - 3 原料の異なる溶融パウダーの置換率とスランプ (cm)

溶融パウダー置換率 (%)	SS010	FA030	FA0403	PS010
1	1	2		1
0	5.2	5.2	5.2	5.2

3	7.4	8.1	8.1	3.0
5	8.4	6.9	11.8	2.0
10	6.7	6.8	10.7	0.2

石炭灰の溶融パウダーは、球状化率が90%以下であるにも係わらず下水汚泥焼却灰の溶融パウダーと比較して少ない置換率で目標スランプを得ることができた。また、PS灰の溶融パウダーではスランプの改善効果は確認できなかったが、今回使用した原料のPS灰の粒度分布が大きかった（平均粒径219.2 $\mu$ m）ことが原因であると推定される。

## (2) 硬化コンクリートの特性

全量置換配合と、目標スランプの得られた溶融パウダー置換配合のコンクリートの圧縮強度試験結果を表-4に示す。また、凍結試験結果を図-3に示す。

表-4 圧縮強度試験結果

配合名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
	7日	28日	91日
天然川砂	33.5	45.5	51.7
G01-P0	16.3	22.8	27.9
G01-P18	20.4	23.6	48.2
H01-P0	27.1	42.0	49.0
H01-P15	32.5	56.4	72.6
K01-P0	18.6	22.1	35.0
K01-P20	28.5	40.3	53.3

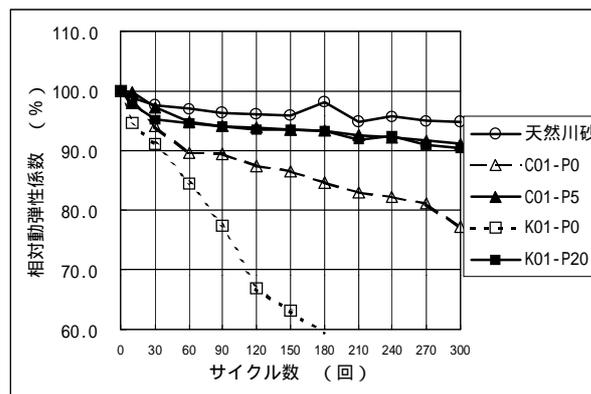


図-3 凍結融解試験結果

試験結果から溶融パウダーによる置換は、強度および耐久性の改善に有効である。

## (3) リサイクル製品の安全性評価方法の研究

コンクリート製品の安全性を確認するため試験方法を確立する必要がある。カラム試験方法に準じた試験装置を設置し、コンクリートブロックを試料として溶出試験を行っているが、現在まで重金属類の溶出はなかった。

## (4) 事業化採算性の検討

人口20~30万人規模の地方都市において本事業によりリサイクルを行った場合、最終埋立処分を行うよりもコストダウンが可能であることが予想された。

# 4. まとめ

## 4.1 成果

本事業による成果を以下にまとめる。

### (1) 球状化率の向上

球状化率は、燃料原単位15MJ/kg(3500kcal/h)においても目標値の90%以上となったが、石炭灰の球状化率は90%に到達しない。また、PS灰は粒径の小さいものは球状化するが、大きなもの(75 $\mu$ m以上)はほとんど球状化しない。その対策として、試料供給量の低減、空気比調整、燃焼用空気の予熱、試料の前加工(粉碎、ふるい分け選別など)などが考えられる。

### (2) 最適球状化条件の確認

燃料原単位15MJ/kg(3500kcal/h)でも目標値である球状化率90%を上回ったが、重金属溶出試験で砒素(As)、セレン(Se)が土壤環境基準値(0.01ppm)を超えた。対策として、サイクロン捕集部の温度を700以上にする(サイクロン、入口ダクト部の断熱強化)ことが考えられる。また、バグフィルターは再付着した重金属類を除去すること(再加熱、洗浄など)が有効と思われる。

### (3) コンクリート骨材としての適用性

粉体廃棄物の種類によらず平均粒径 20 μ m以下の溶融パウダーでは、溶融スラグを使用したコンクリートの諸性状を改善することが可能であり、その置換率は使用する溶融スラグによって定まる。

## 5 . 成果の事業化の見通し

事業終了後、粉体産業廃棄物フレーム溶融炉を商品化し、このフレーム溶融炉の導入により可能と思われる粉体廃棄物のリサイクル目標を以下に示す。

石炭灰のリサイクル量を現状の 614 万 t (発生量の 81%) に対して、150 万 t 追加する (現状の発生量に対するリサイクル率 101%、2010 年の発生予想量に対するリサイクル率 60%)、

PS のリサイクル量を現状の 512 万 t (発生量の 92%) から 558 万 t (発生量の 100%) にする。

溶融スラグのリサイクル量を現状の 3.3 万 t (発生量の 22%) から 100 万 t (2010 年の発生予想量の 100%) にする。