

廃棄物溶融処理におけるエネルギー利用効率化技術の開発

ICETT - 末広町研究室 (JFE エンジニアリング株)

主任研究員 明石 哲夫

研究員 勝呂 洋次、平岡 英伸、市川 哲也

能登 隆、太田 精一、吉田 朋広

研究補助員 木村 典史、猿田 昌彦、鈴木 永芳

戸村 啓二、木ノ下誠二

開発期間：2001～2002 年度

要約

昨年度試験結果に基づき灰溶融炉還元排ガス的高温除塵技術についてシステム構成を検討し、高濃度ダスト閉塞対策を付加した「粗除塵+高温バグ」による除塵システムを開発した。試験は昨年度製作の高温除塵装置を上記のシステムの除塵装置に改造して行い、システム全体の機能・効果を確認した。また、試験結果から排ガス熱回収の期待値についても再確認した。

昨年度に引き続き廃棄物還元燃焼の除塵試験を行い、プラスチックを積極的に添加したプラリッチRDFの部分酸化ガスのカロリーがプラ含有RDFの場合より高く、エネルギー回収上有利であることを確認し、そのガスの高温除塵技術の見極めを行った。また、部分酸化炉で約100時間の連続運転を繰り返し行い、フィルタ差圧が安定して200mmAqを下回る運転を実現した。使用温度によるフィルタの劣化状況も検討し、適性な除塵温度を評価した。

1. 技術開発の目標

本研究開発では、高濃度ダストを含有する溶融炉排ガスおよび部分酸化炉排ガスに「高温除塵技術」を適応して、排ガスからエネルギーを回収する技術を開発する。平成 13 年度から平成 14 年度まで 2 ヶ年に実施した本研究開発の全体フローを図 1 と図 2 に示す。

灰溶融炉除塵技術

これまで灰溶融炉排ガスの保有するエネルギーは利用されてこなかった。このダストを高濃度で含む排ガスに「高温除塵技術」を適応してダストフリーな還元ガスを得た後、完全燃焼して、エネルギー回収を積極的に行う技術（強還元除塵技術）の開発を行う。

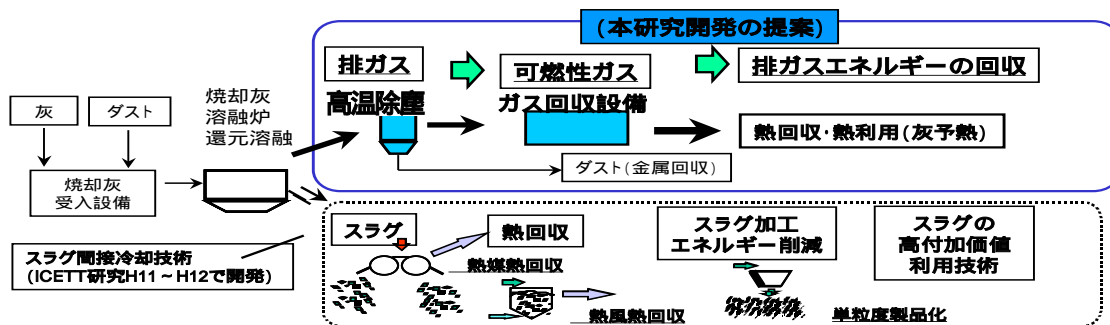


図 1 灰溶融炉除塵技術の開発

部分酸化炉除塵技術

廃棄物処理システムにおいて、400 以上の高温蒸気を回収する際に大きなボイラチューブの腐食要因となるダストが排ガス中に高濃度で含むことが課題である。そこで、プラスチック含有ゴミまたはプラスチック含有 RDF を処理対象とした還元燃焼炉排ガスに、「高温除塵技術」を適応してダストフリーな部分酸化ガスを得たのち、完全燃焼して、エネルギー回収を積極的に行う技術（部分酸化炉還元除塵技術）の開発を行う。

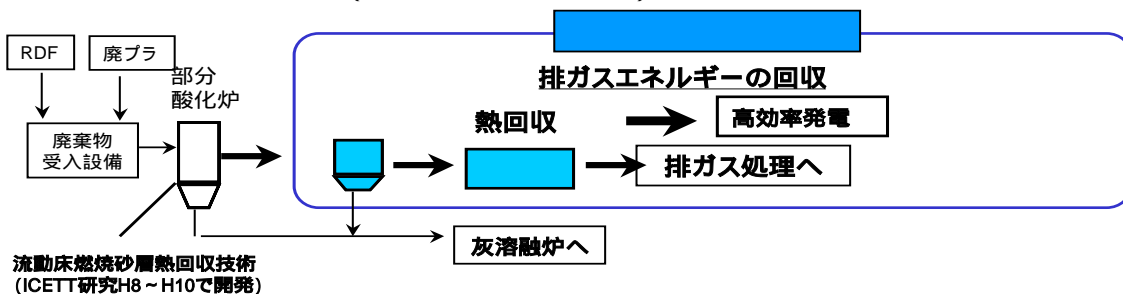


図 2 部分酸化炉除塵技術の開発

1. 実施内容及び結果

2.1 灰溶融炉除塵試験結果

平成 13 年度に引き続き平成 14 年度も、図 3 に示すように、灰溶融能力 12T / 日の電気抵抗式灰溶融炉の実証炉プラントで、溶融炉排ガス部と排ガス燃焼室間に高温除塵装置を設置し試験した。

試験では、先ず電気抵抗式灰溶融炉で焼却灰と飛灰の混合溶融を実施し、密閉構造の操業により強還元排ガスを発生させる。除塵装置は、粗除塵装置とセラミックフィルタ除塵装置の組み合わせで構成した。図に示すように慣性集塵の粗除塵装置とセラミックフィルタの高温除塵の組み合わせで配置した。平成 14 年度は両者の連結ダクトに除塵機能を付加して試験した。

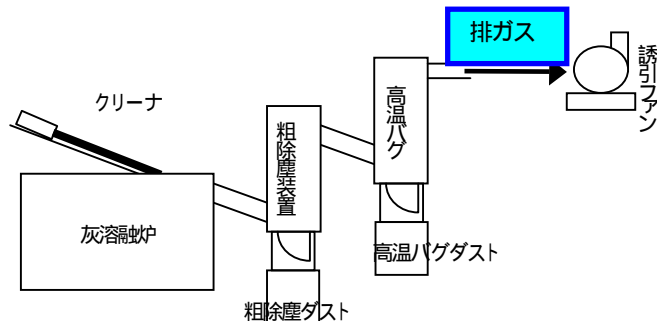


図 3 灰溶融炉除塵試験のフロー

本試験では低密度、低圧損のセラミックフィルタ 2 種類を試験した。表 1 にその概要を示す。

表 1 除塵試験のセラミックフィルタ条件

使用フィルタ	キャンドル型フィルタ	ろ布型フィルタ
逆洗方法	N 2 ガス逆洗	N 2 ガス逆洗
粗除塵有無	粗除塵有り	粗除塵有り

試験に使用した灰の分析例を表 2 に示す。焼却灰と飛灰を発生割合の 70 : 30 で混合して、電気抵抗式灰溶融炉の通常の還元雰囲気での溶融をした。さらに炉内の還元を強化する目的で、飛灰混合に加えて廃プラスチックの混合溶融を想定し、実験条件を整えるためコークスを使用した混合溶融試験も行った。

表 2 試験灰の性状

項目	単位	焼却灰	飛灰
S i	%	16.9	3.4
A l	%	6.0	3.0
C a	%	15.4	32.4
N a	%	3.0	1.9
K	%	0.9	1.8
P b	%	0.088	0.51
Z n	%	0.31	1.5
C l	%	0.83	15.2

平成 13 年度はキャンドル型フィルタと、ろ布型フィルタを比較試験した。平成 14 年度の試験では、ろ布型フィルタで試験した。また、いずれも粗除塵後の排ガスを通した。図 4 にサンプリング位置を示す。

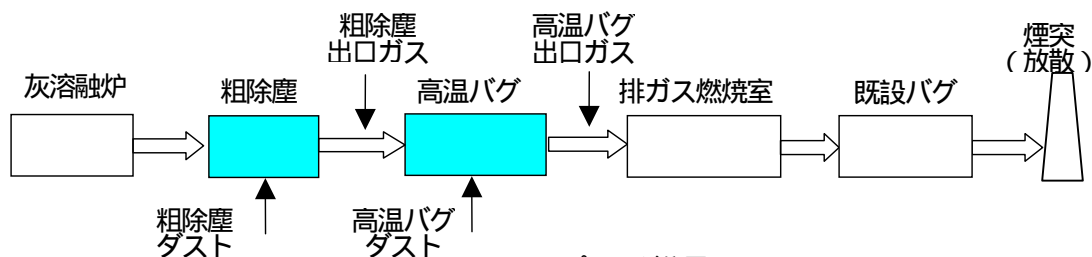


図 4 サンプリング位置

除塵試験結果

試験結果を図4に示す。ダスト量は全体で処理灰量に対し概ね3～4%程度であった。焼却灰のみの溶融時にはダスト量が1%程度であることから、飛灰溶融に伴い揮発成分が増加しダスト量が増加する飛灰混合溶融の特徴が顕著に現れている。

回収ダスト量は表3に示すように、粗除塵部と高温バグ部でほぼ同程度の除塵量であった。また、粗除塵装置と高温バグの間にダスト除去機能を付加した改造を行った結果、装置間のダスト閉塞のトラブルが軽減し、粗除塵部の除塵量が75%に向上した。

このことから、灰溶融排ガスの場合には、溶融直後で慣性集塵によっても50%程度のダスト回収が可能であることを示している。慣性集塵式の粗除塵装置を組み合わせることにより、高温バグの除塵負荷を下げる事が可能である。

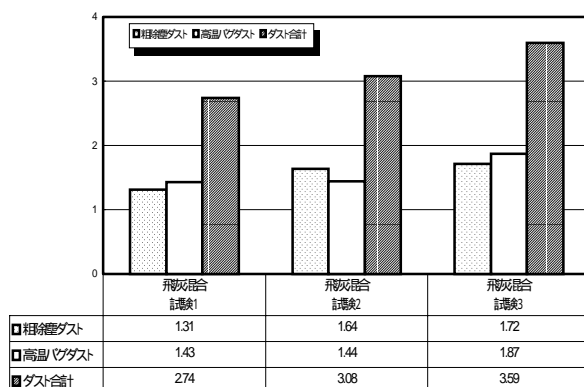


図5 灰溶融還元除塵試験結果

表3 灰溶融還元除塵システムの除塵性能

	粗除塵部除塵割合(%)	高温バグフィルタ除塵割合(%)
平成13年度試験	46.6	53.4
平成14年度試験	74.2	25.8

除塵効率

(1)高温バグ部の除塵効率は、以下に示すように、99.9%以上の除塵効率であった。

- ・ 高温バグ部入口ダスト濃度 = 54 g/m³N (生値)
- ・ 高温バグ部出口ダスト濃度 = 0.02 ~ 0.03 g/m³N (生値)

したがって、高温バグ部の除塵効率は、

$$\begin{aligned} \text{高温バグ部の除塵効率} &= (54 \text{ g/m}^3\text{N} - 0.02 \sim 0.03 \text{ g/m}^3\text{N}) / 54 \text{ g/m}^3\text{N} \\ &= 99.94 \sim 99.96\% \end{aligned}$$

(2)システム全体(粗除塵部+高温バグ部)の除塵効率は以下に示すように99.97%以上の除塵効率まで高められることがわかった。

- ・ 粗除塵部 入口ダスト濃度(推定) = 108 g/m³N (生値)
- ・ 高温バグ部出口ダスト濃度 = 0.02 ~ 0.03 g/m³N (生値)

したがって、システム全体の除塵効率は、

$$\begin{aligned} \text{システム全体の除塵効率} &= (108 \text{ g/m}^3\text{N} - 0.02 \sim 0.03 \text{ g/m}^3\text{N}) / 108 \text{ g/m}^3\text{N} \\ &= 99.97 \sim 99.98\% \end{aligned}$$

ダイオキシン類低減

表4に示すように、高温除塵作業時のダスト中のダイオキシン類は0.01ng-TEQ/g程度またはそれ以下で、排ガス中のダイオキシン類は0.05ng-TEQ/m³程度またはそれ以下であった。

このことから、灰溶融炉出口の直後で除塵処理したダストと排ガスのどちらにもダイオキシン類が低い値であることから、電気抵抗式灰溶融炉では処理灰中のダイオキシン類が完全に分解していることが確認できる。また、還元強化によりダイオキシン類が低減することが判った。

このように高温除塵で回収したダスト中には、ダイオキシン類が低値であることは、今後、溶融飛灰から有価金属の亜鉛や鉛を回収する、いわゆる山元還元技術を普及する上で、溶融飛灰中のダイオキシン類が問題無いレベルであることもわかった。

表4 灰溶融排ガス除塵のダイオキシン類の測定例(ダイオキシン類+コプラナ PCB)

項目	除塵後
排ガス	0~0.05ng-TEQ/m ³
ダスト	0~0.01ng-TEQ/g

排ガス性状

除塵後の排ガス組成を測定し、主要な可燃性成分であるCO,H₂ からガスの発熱量を試算した。

下記に示す計算結果から、廃プラスチックの同時溶融処理により、還元強化が可能であり、同時に排ガスの高カロリー化も出来ることが確認できた。

(飛灰混合)の高位発熱量 $Hh \text{ (kcal/Nm}_3) = 622 \text{ kcal/Nm}_3$ (平成 13 年度試験)
 771 kcal/Nm_3 (平成 14 年度試験)

(飛灰混合+還元強化)の高位発熱量 $Hh \text{ (kcal/Nm}_3) = 1360 \text{ kcal/Nm}_3$

次に、資源化プラントの破碎不燃残渣を想定した灰プラを混合処理を想定して、電気抵抗式灰溶融炉の排ガスエネルギーを処理灰の乾燥に利用した場合について試算した結果を図6に示す。

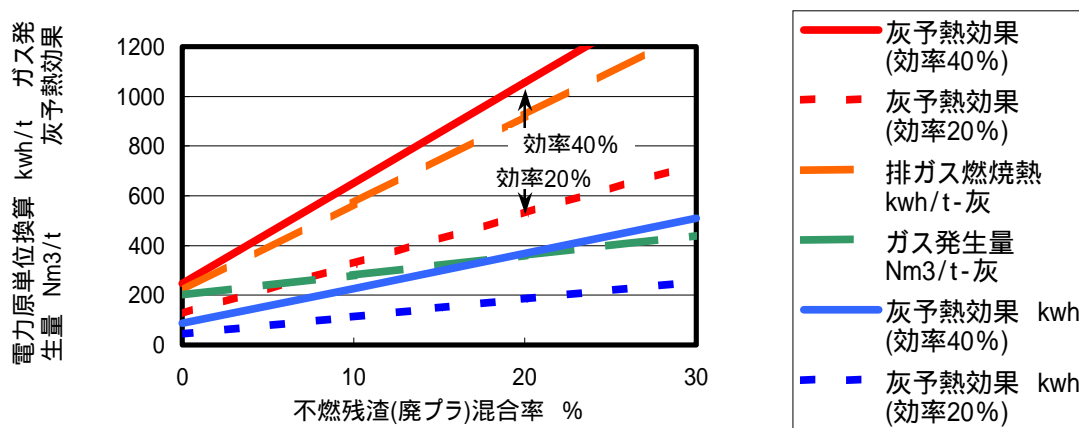


図6 電気抵抗式灰溶融炉排ガスエネルギー回収量の試算

20%の灰プラ混合で排ガス燃焼熱は920kwh/灰tのエネルギーとなり、溶融処理する灰の予熱に用いるとすると、予熱効率20%として180kwh/灰t、40%として370kwh/灰t相当のエネルギーの再利用できる。灰溶融に必要な電気エネルギーは1000kwh/灰tであるから、20%予熱効率でも、溶融エネルギーの20%程度のエネルギー回収効果が期待できる。

2.2 部分酸化炉還元除塵試験結果

平成13年度に引き続き平成14年度も、図7に示すように、廃棄物投入量10kg/hの流動床式部分酸化炉、還元除塵部、二次燃焼部、排ガス冷却部よりなるベンチプラントを用いて試験を行った。

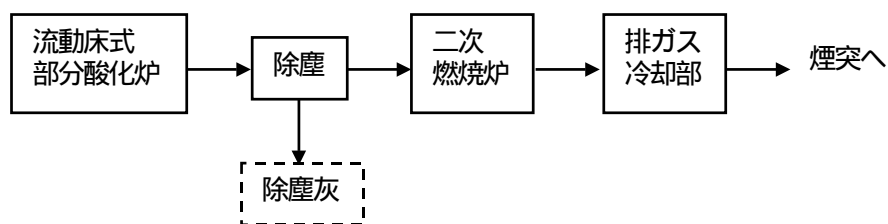


図7 部分酸化炉還元除塵試験ベンチプラントのフロー

除塵適用温度

部分酸化炉還元除塵システムの長期運転性能を確認するために 450 ~ 800 の除塵温度において連続運転を行い、試験後フィルタの観察と成分分析および平衡計算から除塵適用温度の評価を行った。

800 の除塵運転においてはフィルタの破損が見られた。原因を平衡計算と合わせて考察したところ、Na成分がフィルタに侵食し $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ や KAlSi_3O_8 に変質し、劣化したものと推察された。

除塵温度 450 ~ 600 の4水準の温度で 100 時間の連続除塵運転を行った。それら試験後のフィルタの観察と成分分析および平衡計算の結果から、除塵適用温度は 500 以下、望ましくは 450 以下であることが把握された。

また、この試験を行うに際し、ダスト払落し間隔 2 時間の状況でフィルタ圧損が平均 200mmAq 以下という安定運転の目標達成も確認された。フィルタ差圧の変化の一例を図8に示す。

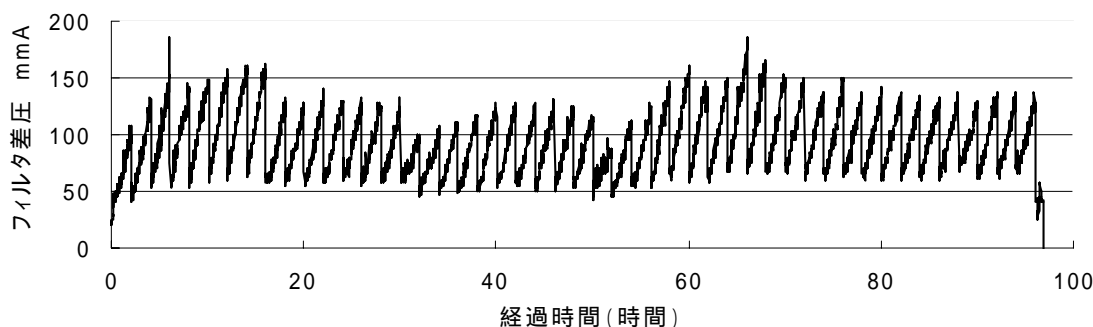


図8 除塵温度 500 におけるフィルタ差圧の変化

プラリッチ RDF における部分酸化ガスの高カロリー化と除塵効率

燃焼試料の投入発熱量を同一にして、部分酸化ガスの発熱量を測定した。結果を表5に示す。

測定結果から、プラスチック含有率が高いほどに部分酸化ガスの発熱量は増加する結果が得られた。部分酸化炉還元除塵システムはプラリッチゴミに対して、より有効に熱回収を行いうることがわかった。

また同時にダストのサンプリングも行い、除塵効率 99.9%以上という目標を達成した。

表5 プラスチックリッチ RDF に対する除塵性能および部分酸化ガスカロリの比較

燃焼試料	プラ含有 RDF	プラリッチ RDF	プラリッチ RDF	プラリッチ RDF
配合	プラ含有 RDF	プラ含有 RDF+PE ペレット (配合 3:1)	プラ含有 RDF+廃 プラ (配合 3:1)	プラ含有 RDF+PE ペレット (配合 1:1)
除塵効率 (%)	99.99	99.99	99.93	-
供給熱量(kJ/h)	163,000	165,000	154,600	157,000
部分酸化ガスカロリー(kJ/Nm ³)	1,630	3,390	2,360	4,560

ボイラチューブ腐食成分の大幅低減

プラスチック含有 RDF およびプラスチックリッチ RDF の双方について、フィルタを通過するボイラチューブ腐食成分 (S、Cl、Na、K) のマテリアルバランスを測定した。結果を図 9 に示す。

400 以上の高温蒸気回収を行う際、大きな障害となる腐食性ダストの主成分である Na、K はほぼ全量フィルタの通過を押さえられている。

また S、Cl 分も数割程度除塵灰に捕捉されることも確認された。この結果より、高温除塵の適用によりボイラチューブの腐食成分が大幅に低減され、500 クラスの蒸気回収が可能になると期待される。

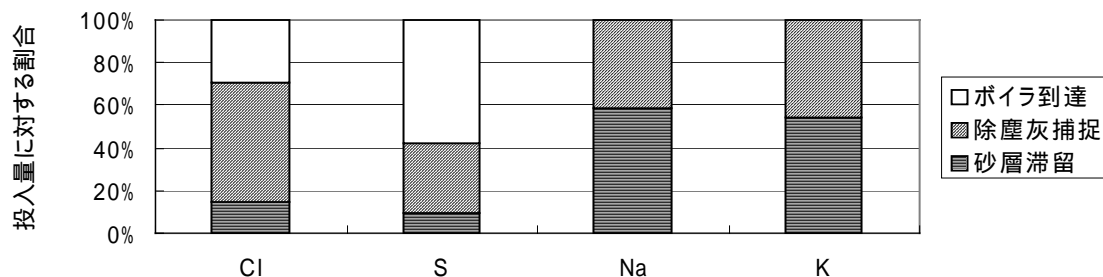


図 9 プラスチックリッチ RDF 試験時のボイラチューブ腐食成分の挙動

低環境負荷性能

部分酸化炉還元除塵システムにおいて排出される灰、および排ガスの環境負荷の把握を行った。結果を表 6 に示す。測定実績値として灰中 DXN 類は 0~0.025ng-TEQ/g であり、また重金属類の溶出も土壌基準相当を満足するという、低い環境負荷性能であった。

また排ガス中 DXN 類については同一の実験プラントにおいて除塵有り/無しとのシステム比較した。DXN 類の再合成も抑えられ、発生量も桁違いに低いことを確認した。

以上の結果から、本システムは従来のシステムと比べ環境負荷が低いことが確認できた。

表 6 部分酸化炉還元除塵システムの DXN 類発生状況

	部分酸化炉還元除塵システム	従来型焼却 (除塵無し)
炉出口 DXN 類濃度	0.007ng-TEQ/Nm ³	0.084ng-TEQ/Nm ³
BF 入口相当の DXN 類濃度	0.30ng-TEQ/Nm ³	20ng-TEQ/Nm ³
飛灰中 DXN 類濃度	0.025ng-TEQ/g	(一般的に 1~5ng-TEQ/g)

3. 今後の予定

高濃度ダストを含有する溶融炉排ガスおよび部分酸化炉排ガスに「高温除塵技術」を適応して、排ガスからエネルギーを回収する技術について、上述のように開発目標を達成した。今後は、以下のように実用化に向けて取り組んでいく。

灰溶融炉除塵技術

実証炉規模での試験に基づく本開発成果から、灰溶融炉還元排ガスでの除塵技術の実用化の目処を得たので、今後実機適用の機会を検討する。

廃棄物直接溶融炉除塵技術

本研究成果に基づいて実機の FS を行い、実機レベルの確証試験を検討する。