

# 都市ごみの流動熱分解溶融技術

須鎗 護\*・箕浦忠行(工博)\*・多田俊哉\*・八十 格\*・伊藤 正\*\*・細田博之\*\*

\*技術開発本部・機械研究所 \*\*都市環境本部・環境エンジニアリングセンター

## Fluidized-bed Pyrolysis and Swirl-flow Melting System for Municipal Solid Waste

Mamoru Suyari・Dr.Tadayuki Minoura・Toshiya Tada・Tadashi Yaso・Tadashi Ito・Hiroyuki Hosoda

A new municipal waste incineration system which includes a directly connected fluidized-bed pyrolysis and swirl-flow melting process has been developed by Kobe Steel for future use. To realize this new process, waste pyrolysis characteristics in a fluidized-bed were studied experimentally using fake waste. The followings were obtained .

1. Effects of a lower waste heating value and air ratio on bed temperature
2. Effects of bed temperature on pyrolysis gas components
3. Oxidation of metals in the pyrolysis process

Through the knowledge and flue gas analysis results the theoretical aspects of the system was confirmed .

まきがき = わが国では、年間発生する約 5 000 万トンの都市ごみの大部分を「焼却 + 埋立」で減容化、安定化処理してきた。しかし、焼却灰の最終処分場不足が深刻化する中、新ダイオキシンガイドライン、容器包装リサイクル法の制定に見られるように「環境負荷低減」リサイクルの観点で従来の焼却に対する反省、見直しも含め、中間処理の「質的転換」が求められている。

これらに対応する技術として、ごみ焼却と灰溶融を同時におこなうとともにリサイクル性にも優れているプロセスが「次世代型ごみ処理システム」として注目され、実用化に向けた開発が急速に進められている<sup>1)</sup>。

このシステムが満たすべき項目は、排ガス中の有害物質（含未規制物質）の削減や排ガス量の削減などの排ガス対策、ごみ保有熱による高温燃焼、灰分溶融や排ガス廃熱の回収などのごみ保有熱の活用、混入資源、灰分の有効利用や有害重金属類の安定化などの資源化促進である。

当社はこれまで培ってきた焼却技術（流動床炉，キル

ン炉），および溶融技術（旋回流溶融炉（本号 P.60 参照），プラズマ溶融炉<sup>2)</sup>）をより高度に活用し、上記の目標達成のために、流動熱分解溶融プロセスを提案している。

本稿ではプロセスの概要とプロセス構築上重要な廃棄物の流動熱分解特性の知見を主に報告する。

### 1. 流動熱分解溶融プロセス

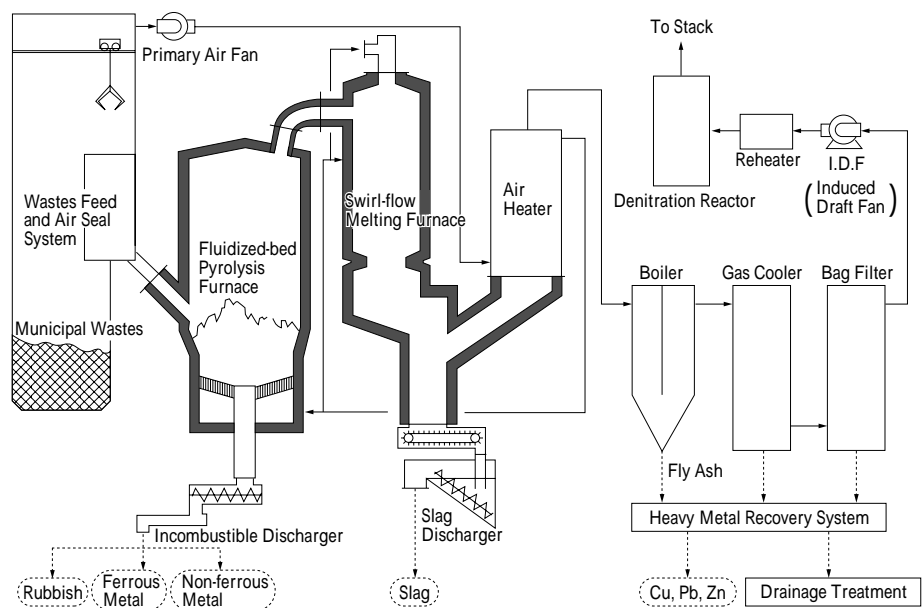
#### 1.1 システムフロー

当社の提案している熱分解溶融システムのプロセスフローを第 1 図に示す。本プロセスは、

すでに稼働実績が多い技術により構成されている、プロセスの構成がシンプルである、

ことが特徴である。

都市ごみ焼却炉で実績の多い流動床炉をもちい、空気比 0.2 ~ 0.4 の条件で部分燃焼させ砂層温度を 500 ~ 600 に維持した低温熱分解をおこなう。熱分解炉で発生したダストと熱分解ガスを下水污泥焼却灰の溶融で実績のある旋回流溶融炉に導き、トータル空気比約 1.3 の条件



第 1 図 神鋼流動熱分解溶融システムフロー図

Fig. 1 Flow diagram of fluidized-bed pyrolysis and swirl-flow melting system .

下で熱分解ガスおよびダスト中のカーボンを燃焼させる。溶融炉では約 1300 の高温燃焼を実現し、灰分を溶融してスラグとして分離するとともにダイオキシンなどガス中の有害物質を分解する。熱分解炉においては、還元性雰囲気での低温熱分解であるため、資源価値の高い鉄、アルミニウム分が回収可能である。また、溶融炉からのスラグは冷却方法により水砕、空冷、徐冷スラグの製造が可能である。

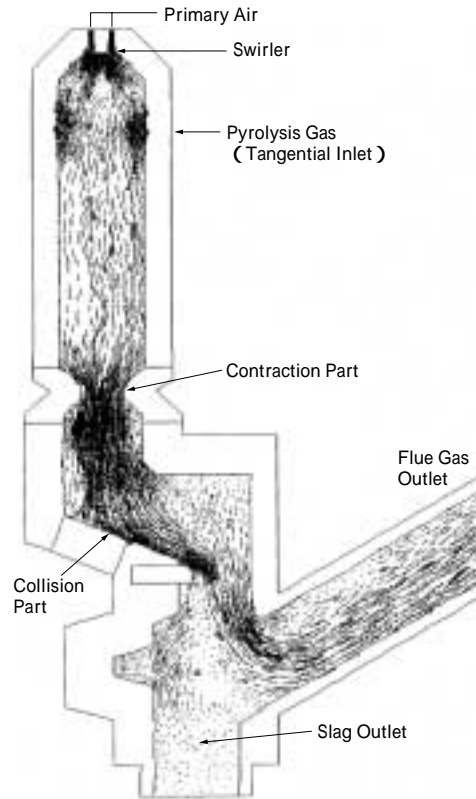
溶融炉排ガスは空気熱交換器、ボイラで熱回収された後、ガス冷却器で温度を下げ、バグフィルタで除塵される。その後、誘引ファン (I. D. F) を経て排ガス再加熱器で温度調整し、脱硝反応塔を通り煙突から排出される。ボイラ、ガス冷却器、バグフィルタなど溶融排ガス系処理で回収された飛灰中の有害重金属類は独自の湿式精練処理である重金属分離回収技術<sup>3)</sup>により、山元に還元可能な重金属硫化物として回収される。

### 1.2 熱分解炉の特徴

熱分解にはもちいる炉の形式により種々の特徴がある。キルン炉方式は、高温空気での間接加熱による乾留であるため、比較的低温熱量ごみまで適用可能であるが、高温空気加熱器の腐食、スケールアップに限界があるなど構造的な難点をもっている。また、シャフト炉方式の場合、炉自体はシンプルであるが、熱分解ガスのもつ熱量を溶融に使用できず、コークス、酸素などの投入が不可欠となる。いっぽう、当社は、都市ごみ焼却炉、下水汚泥焼却炉で数多くの実績をもち運転性能に優れている流動層方式を採用した。本炉では、ごみのもつ熱量の一部を使った部分燃焼でごみが熱分解される。投入されたごみのうち、炉床下部より抜き出される不燃物以外はすべて直結された溶融炉に流入する。熱分解を低温で進行させ、炉内は還元性雰囲気であることから、不燃物中金属類がほとんど酸化されずに炉下部から回収でき、その品位は高くリサイクル性に優れている。構造的には可動部がなく、スケーリング (幾何学的相似性) は流動層焼却炉のそれと同じである。

### 1.3 溶融炉の特徴

当社における前記旋回流溶融炉での実績と熱流動解析による形状決定により、良好な旋回による灰分の溶融分離と熱分解ガスの完全燃焼がはかられている。熱流動解



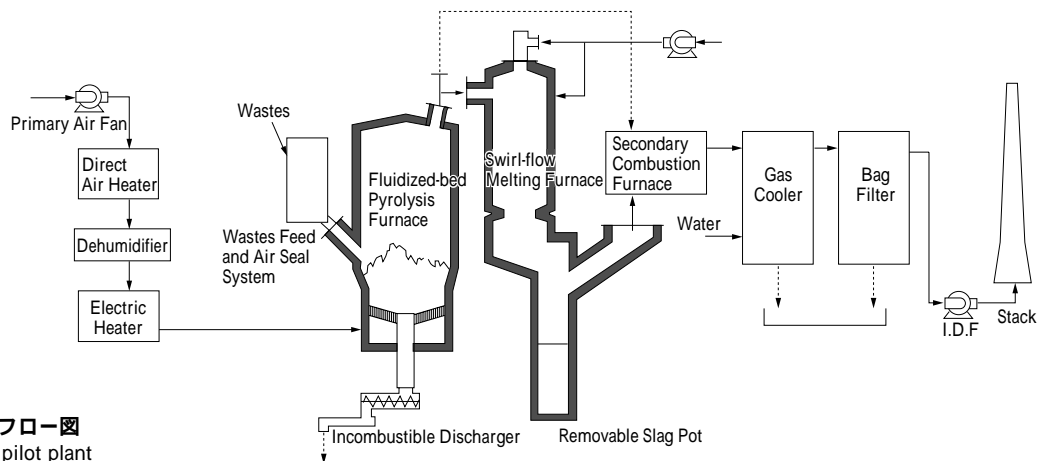
第2図 旋回流溶融炉断面速度ベクトル図 (CFD 解析結果)

Fig. 2 Cross sectional velocity vector in swirl-flow melting furnace (CFD calculation results)

析の結果を第2図に示す。ダストを含む熱分解ガスは溶融炉一次燃焼領域へ接線方向に流入して旋回して燃焼し、溶融した灰分を壁面に捕集する。絞りを通過し、高速化した燃焼ガスはスラグ分離部底面に衝突し、ここで壁面に到達しなかった微細なスラグを衝突分離させながらスラグをスラグ抜き出し口に誘導する。本炉では、高温で完全燃焼をおこない、高温雰囲気を長時間維持することによりダイオキシン類前駆体を分解し、また、再合成時の触媒となる銅を溶融分離することから、下流でのダイオキシン再合成を抑制できる技術である。

## 2. 小型実験設備による実験

流動層熱分解炉と旋回流溶融炉を基本設備にもつ、処理量 4ton/day のパイロットプラントを稼働させ、廃棄物の熱分解、溶融特性を把握し、プロセスデータをえた。



第3図 パイロットプラントフロー図

Fig. 3 System flow chart of pilot plant



写真1 パイロットプラント外観  
Photo.1 Appearance of pilot plant

### 2.1 パイロットプラントの概要

第3図にパイロットプラントのフローを示し、写真1にパイロットプラントの外観を示す。熱分解炉の一次空気は熱風発生炉、脱湿器、電気ヒータにより、酸素濃度と温度の調整が可能である。廃棄物供給システムはシールのための二重のボールバルブと供給量の計量器からなる。熱分解炉と溶融炉は直接ダクトで連結されるが、溶融炉をバイパスした試験も可能である。溶融炉から排出するスラグはスラグポットに貯留され、実験終了後にバッチで抜き取られる。排ガス処理系は実験の安全確保のための二次燃焼炉、ガスクーラ、バグフィルタで構成している。

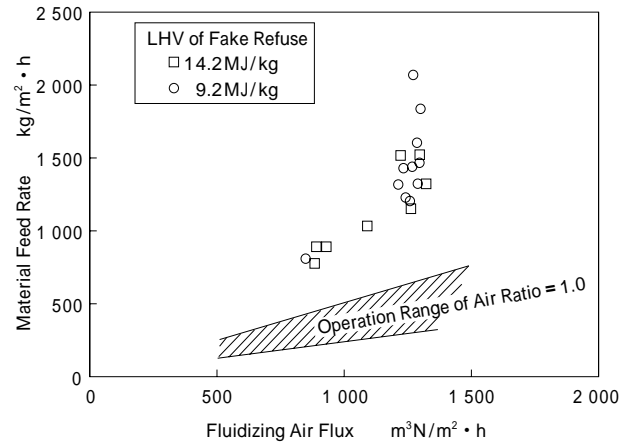
### 2.2 熱分解試験

本稿では模擬廃棄物として植物性飼料ペレットを水で発熱量調整したものを使用した実験結果を報告する。模擬廃棄物の組成と低位発熱量を第1表に示す。実験は、模擬廃棄物発熱量 9.2~14.2MJ/kg、一次空気比 0.2~0.4の範囲でおこなった。炉全体の安定までには3~6時間を要し、炉が安定した後、熱分解ガスと未燃カーボンを炉出口でサンプリング・分析することにより模擬廃棄物の流動熱分解挙動を調査した。

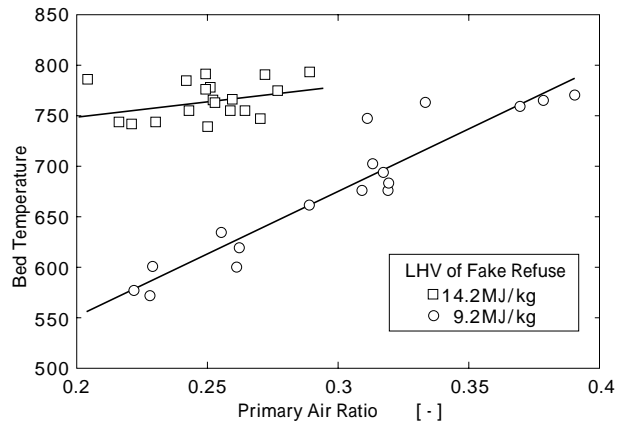
#### 2.2.1 炉床負荷と流動空気流束の関係

第4図に投入負荷（炉床単位面積あたりの模擬廃棄物投入量）と空気流束（炉床単位面積あたりの流動空気量）の関係を示す。図中に従来の流動床焼却炉で焼却時の運転範囲を示す。

投入負荷としては2000kg/m<sup>2</sup>h程度までの運転が可能であり、これは、従来の焼却炉の炉床単位面積あたりのごみ投入量と比較して3~4倍の投入量となっており、炉床をコンパクトにできることが確認された。



第4図 流動層熱分解炉運転範囲  
Fig. 4 Operation range of fluidized-bed pyrolysis



第5図 流動層温度と空気比の関係  
Fig. 5 Effects of primary air ratio on bed temperature

#### 2.2.2 流動層温度と空気比の関係

第5図に砂層温度と空気比の関係を示す。空気比と砂層温度の関係はほぼ線形であり、空気比が低下するにつれて砂層温度も低下する。模擬廃棄物発熱量が高いほど砂層温度が高くなり、14.2MJ/kgの条件では本パイロットの砂層温度を600以下に下げることができなかった。このことから、高発熱量ごみに対しては砂層からの熱回収が必要であることがわかる。いっぽう、模擬廃棄物発熱量が9.2MJ/kgの条件では目的とする砂層温度を600以下の運転が可能であり、一次空気を操作することにより砂層温度を所定の温度範囲に制御できることが明らかになった。

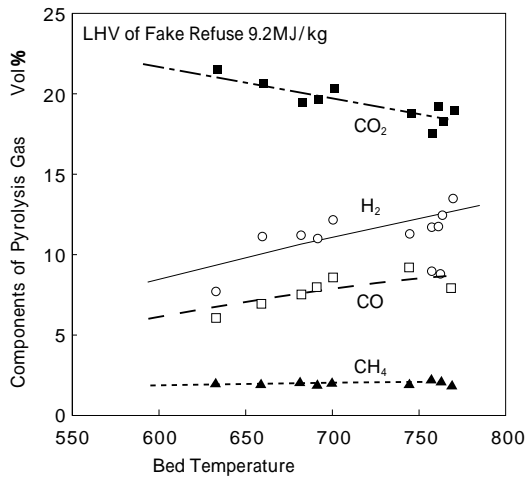
#### 2.2.3 熱分解ガス組成と砂層温度の関係

第6図に模擬廃棄物発熱量9.2MJ/kgの条件で熱分解炉出口における熱分解ガス組成と砂層温度の関係を示す。上記のように模擬廃棄物発熱量が決まれば、砂層温度は空気比によって決まり、砂層温度によって、発生する熱分解ガスの組成は決まることとなる。

発生するガスとしてはCO、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>が主で、酸素

第1表 模擬廃棄物組成と発熱量  
Table 1 Components and lower heating value of fake refuse

Lower Heating Value MJ/kg	H <sub>2</sub> O %	Ash %	C %	H %	O %	N %	S %	C/ %
14.2	11.79	7.62	40.23	5.45	31.98	2.58	<0.09	0.35
9.2	38.25	5.33	28.16	3.82	22.38	1.80	<0.06	0.25



第6図 流動層温度と熱分解ガス組成の関係  
Fig. 6 Effects of bed temperature on pyrolysis-gas components

はほぼゼロに近い。このうち可燃成分はCO、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>であり、砂層温度が700程度であればCO、H<sub>2</sub>はそれぞれ10%程度あるが、砂層温度が下がるにつれ、可燃分が減少していることがわかる。CH<sub>4</sub>については砂層温度に関わらず、ほぼ一定の割合を示している。

#### 2.2.4 流動層内金属挙動

砂層温度600以下で熱分解運転中に鉄とアルミニウムの試験片を炉内に投入し、砂と一緒に抜き出した。砂層温度はほぼ均一であり、試験片に顕著な酸化は認められなかった。また、金属面に砂が付着するなどの現象は見られなかった(写真2参照)。さらに、スチール缶についても同様の試験をおこない、焼却炉から回収したスチール缶と酸化の度合いを比較した結果を第7図に示す。焼却炉から回収したスチール缶は全Fe分の30%近くが酸化していたのに対して、熱分解炉から回収したスチール缶は2%程度の酸化にとどまっており、本プロセスにおける資源回収の有効性が確認された。

#### 2.3 熱分解溶融試験

溶融炉の試験はこれまで熱分解炉の各実験条件において、炉内温度分布の把握と排出ガス組成の計測を実施してきた。第8図に模擬ごみでの熱分解溶融試験結果の一例を示す。溶融炉出口での酸素濃度は総空気比1.3程度であるため、4~5%となっている。窒素酸化物は100~150ppmで、焼却設備と同等の排出量となっているため、実設備では脱硝反応塔の設置が望ましい。排出COについては高温燃焼かつ混合性が良好であるため平均で10ppm以下と比較的低い値を示した。実設備においては、スケールアップ効果により、さらに燃焼は安定すると考えられる。

むすび= 次世代型都市ごみ焼却技術として当社が提案している流動熱分解溶融プロセスの要点の一つである熱分

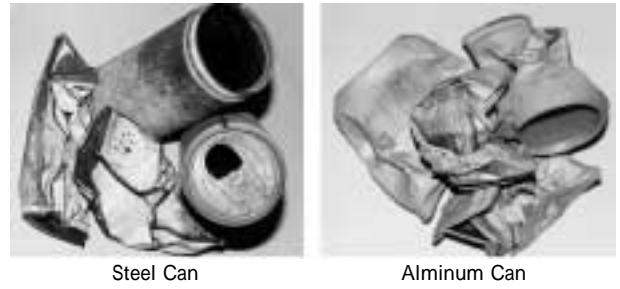
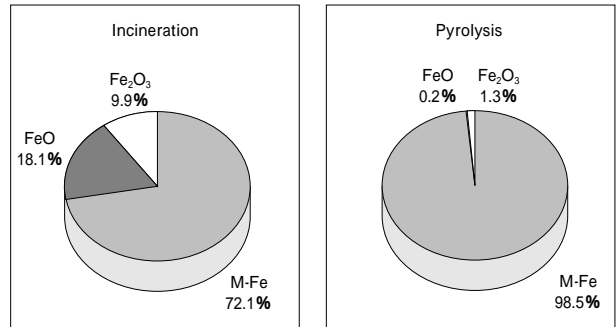
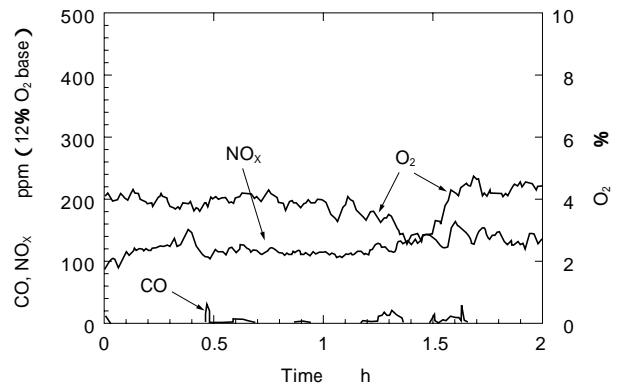


写真2 流動熱分解後の不燃物外観  
Photo.2 Appearance of incombustibles after fluidized-bed pyrolysis



第7図 焼却と熱分解によるスチール缶の酸化状態  
Fig. 7 Comparison of Oxidation between incineration and pyrolysis using steel can



第8図 溶融炉出口排ガス組成  
Fig. 8 Gas composition at melting furnace outlet

解挙動を実験的に解明し、熱分解炉の設計・運転条件を把握することができ、同時に、資源回収の有効性についても確認することができた。さらに、溶融炉との連結運転で排ガスのデータをえた。この結果、当社が提案中の流動熱分解溶融プロセスの実現が可能であることが確認された。今後、パイロットプラントでの各機器のブラッシュアップと、実ごみを使用した実証プラントによる長期試験を実施していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 鈴木富雄：日本機械学会(No.96-53(b))講習会教材(1996)
- 2) 東 康夫ほか：廃棄物学会論文誌別冊, Vol.7, No.4(1996), p.193.
- 3) 河端博昭ほか：第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集(1996), p.488.