

(論文)

# 熱分解ガス化溶融システムの実証

高橋正光(工博)\*・伊藤 正\*・細田博之\*・多田俊哉\*\*

\*都市環境・エンジニアリングカンパニー・開発部 \*\*技術開発本部・機械研究所

## Demonstration of a Fluidized Bed Pyrolysis and Melting System

Dr. Masamitsu Takahashi・Tadashi Ito・Hiroyuki Hosoda・Toshiya Tada

A new fluidized bed pyrolysis and melting system was developed as a new form of municipal solid waste incineration system. In 1998, a demonstration plant with a capacity of 30tons-MSW/day was constructed in Aomori Prefecture. Experimental operation of the demonstration plant was carried out for seven months. In this paper, the following experimental results related to the new system are reported on.

- 1) System adaptability to various refuse characteristics;
- 2) The operating abilities of fluidized bed pyrolysis and swirl-flow melting furnaces;
- 3) Flue gas characteristics;
- 4) Characteristics of slag and metal

まえがき = 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」により減容化、安定化処理してきた。しかし、最終処分場の不足が深刻化するなか、さらにダイオキシン類問題をはじめとした環境負荷の低減、リサイクルの推進といった観点からの従来の焼却処理に対する見直しも含め、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、当社は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流動床式熱分解ガス化溶融システムに着目し、パイロットプラント試験を中心に実用化に向けた開発を進めてきた<sup>1)</sup>。さらに、青森県中部上北広域事業組合との共同研究として、1998年9月より1999年4月まで30t/d実証プラントの運転をおこなってきた<sup>2)3)</sup>。

本稿では、流動床式熱分解ガス化溶融システムの概要と実証試験でえられた成果について報告する。

### 1. 流動床式熱分解ガス化溶融システム

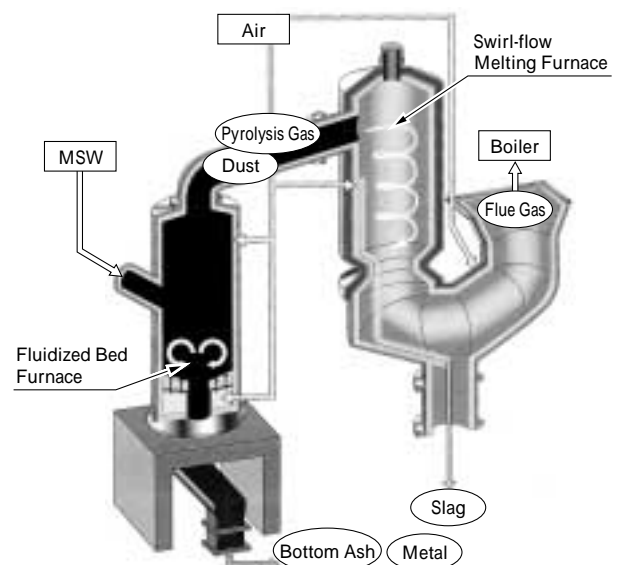
#### 1.1 システムフロー

当社が提案している流動床式熱分解ガス化溶融システムの概略フローを第1図に示す。本システムは、

稼働実績が多い信頼性の高い機器で構成されている。  
システムの構成がシンプルである。

ことが特長である。

熱分解ガス化炉としては、都市ごみ焼却炉で実績の多い流動床炉をもちいている。ごみを一次空気比 0.3~0.6 の条件で部分燃焼させ、砂層温度を 500~600 に維持して低温熱分解をおこなう。燃焼溶融炉としては、下水汚泥焼却灰の溶融で実績を有する縦型旋回流式溶融炉をもちいている。熱分解ガス化炉で発生した熱分解ガスとダストを燃焼溶融炉に導き、全体空気比約 1.3 の条件下で熱分解ガスおよびダスト中の可燃分を燃焼させる。燃焼溶融炉ではごみの保有熱量を有効に活用することにより、1200 以上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高いダイオキシン類分解率をえることができる。



第1図 熱分解ガス化溶融システム概要

Fig. 1 Schema of fluidized bed pyrolysis and melting system

#### 1.2 主要機器の特長

##### 1.2.1 流動床式熱分解ガス化炉

熱分解ガス化炉は、炉本体は円筒型、炉床部はすり鉢状構造としており、中心部に不燃物排出口が設置されている流動床炉である。

熱分解ガス化炉では一次空気比を 0.3~0.6 に制限しているため、ごみは熱分解・ガス化し、発生した熱分解ガスとダストは直結された燃焼溶融炉に導入される。さらに、砂層温度を 500~600 の比較的低温に維持することにより、ガス化反応を緩慢にしてガス発生量の変動を抑制することが可能となる。また、鉄・アルミなどの金属を含む不燃物の排出は、炉床部のすり鉢状構造と旋回流動にともなう砂の動きにより円滑におこなわれる。砂層部は低温かつ還元雰囲気であるため、鉄、非鉄金属は酸化度が低い資源価値の高い金属として回収することができる。

##### 1.2.2 燃焼溶融炉

燃焼溶融炉は、炉本体は縦型の旋回流部、傾斜型の

スラグ分離部・スラグ排出部・二次燃焼部で構成され、耐火物保護のため一部を水冷構造としている。

熱分解ガス化炉で発生した熱分解ガスは、巡回溶融部に接線方向から供給される。巡回溶融部の炉内温度は灰分の溶流温度より高い1200 以上に維持されており、熱分解ガスと燃焼空気は強い旋回流に乗ることにより、十分に混合・攪拌されるため、低空気比（全体空気比 1.3 程度）での良好な高温燃焼が可能となる。酸素（燃焼空気）との十分な混合、1200 以上の高温条件により、炉内でダイオキシン類は高い分解率をえることができる。また、灰分は加熱・溶融され、スラグとなって炉内壁をつたわり、スラグ出滓口から連続的に排出される。

## 2. 実証試験

### 2.1 実証プラントの概要

第2図に実証プラントのフローを、写真1に外観を示す。本プラントは30t/dの処理能力を有しており、ごみ供給設備、流動床式熱分解ガス化炉、巡回流式燃焼溶融炉、廃熱ボイラ、ガス冷却室、排ガス処理設備、灰処理設備などの主な設備で構成されている。

### 2.2 実証試験結果

#### 2.2.1 試験の経緯

実証プラントは、中部上北清掃センター（青森県上北郡東北町）内に1997年12月建設着工され、1998年8月にしゅん工した。1998年9月より1999年4月まで、試験運転をおこなった。

第1表に実証試験期間のごみ処理実績を示す。試験運転をのべ172日おこない、1998年11月22日から12月27日の間に30日以上の連続試験運転も実施した。

この連続試験運転開始後は、外気温低下による配管の凍結以外、ごみ投入停止につながる設備上でのトラブル発生はなかった。

実証試験期間中の総ごみ処理量は3163tである。ごみ



写真1 実証プラント  
Photo 1 Demonstration plant

第1表 運転実績

Table 1 Operating results of demonstration plant

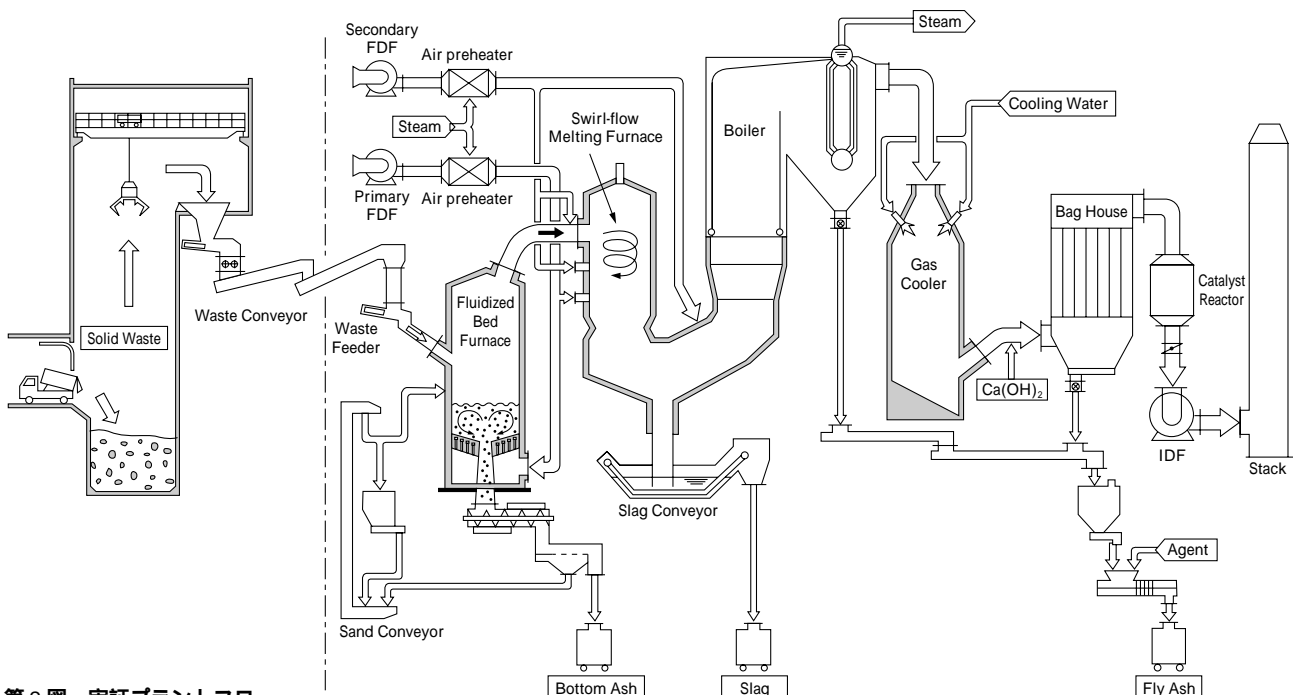
Test Period	MSW t	Total Operating Time		MSW t/d
		d*	h	
1998. 9.28 ~ 1998.11.17	347.8	37	413.8	20.2
1998.11.18 ~ 1998.12.27	878.0	40	759.0	27.8
1999. 1. 6 ~ 1999. 2. 3	622.4	29	586.4	25.5
1999. 2. 9 ~ 1999. 3.15	696.7	35	722.6	23.1
1999. 3.21 ~ 1999. 4.10	412.8	21	399.4	24.8
1999. 4.17 ~ 1999. 4.26	205.7	10	174.6	28.3
Total	3163.4	172	3055.8	-

\*Including Start-up and Shut-down

処理量は搬入ごみ全量进行处理しているが、ごみ収集量が定格処理量(30t/d)に比べ少ないため、ごみピット残量および搬入量を確認しつつ、負荷調整しながら運転をおこなった。

#### 2.2.2 処理能力

試験にもちいたごみは、青森県上北郡七戸町、東北町、上北町および天間林村の3町1村から収集・搬入された



第2図 実証プラントフロー  
Fig. 2 Demonstration plant flow diagram

ごみである。第2表にごみ質分析結果を計画ごみ質とあわせて示す。収集・搬入状況により、ごみ質（組成、発熱量）は大きく変動し、1日内といった短期間での変動幅も大きかった。

実証試験結果に基づいた実証プラントの処理能力を第3図に示す。ごみ収集量が定格処理量（30t/d）にくらい少ないため、日処理量としては低負荷運転となっているが、収集ごみ量に余裕がある時間帯での処理能力は、計画ごみ質の幅広い範囲において、ほぼ設計条件（熱負荷制限による最大ごみ投入可能量）に相当する処理能力を有していることが確認できた。

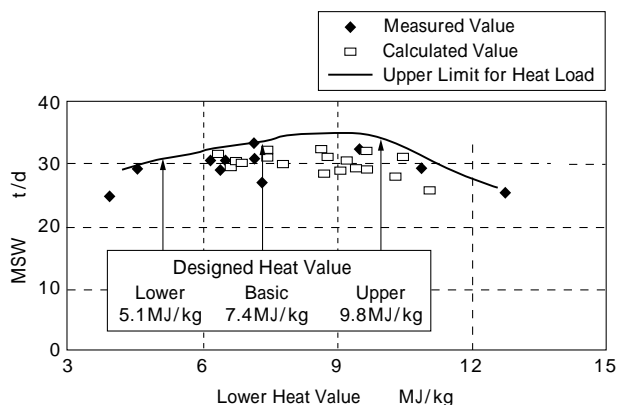
第4図に各部炉内温度、バグフィルタ出口CO濃度、蒸気回収状況の経時変化を示す。本プラントは30t/dと小規模ゆながら、ガス化、燃焼溶融および熱回収とも安定していることがわかる。

### 2.2.3 熱分解ガス化炉の性能

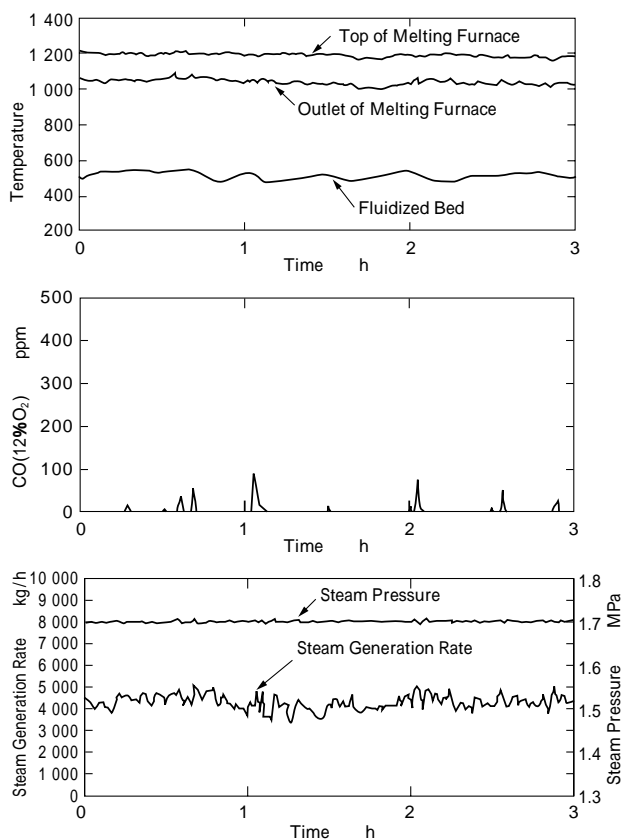
各ごみ質における一次空気比と砂層温度との関係を第5図に示す。図中の曲線は実証運転データを解析し、ごみの発熱量を推算するとともに、ごみ発熱量に応じた一次空気比と砂層温度の関係を回帰したものである。図より、ごみ発熱量に応じて、一次空気比により砂層温度を適正な範囲に制御できることが確認できる。したがって、第6図に示すような短期的なごみ質変動に対しても、一次空気比を調整することにより安定した熱分解ガス化反応を維持し、処理量をほぼ一定に維持することが可能であった。さらに、砂層部と同様に熱分解ガス化炉のフリーボード部に供給する二次空気比を調整することで、熱分解ガス化炉出口温度を調整することが可能であることも確認できた。

第2表 ごみ質分析結果  
Table 2 MSW properties

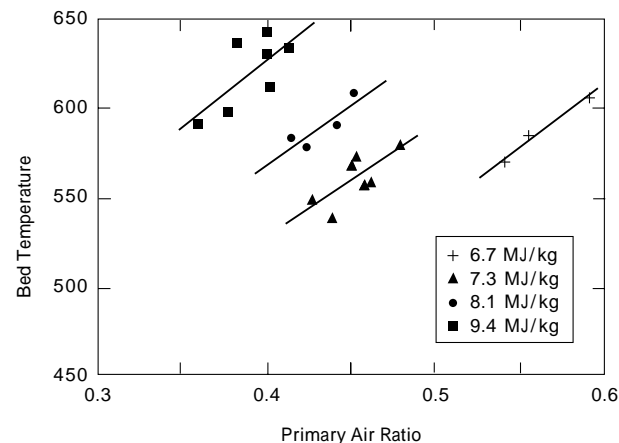
	Designed Value			Measured Value
	Lower	Basic	Upper	
Lower Heat Value MJ/kg	5.1	7.4	9.8	3.9 ~ 12.8
Moisture %	57.3	48.3	41.5	34.6 ~ 67.6
Ash %	6.7	7.5	7.8	3.2 ~ 9.5
Combustibles %	36.0	44.2	50.7	25.7 ~ 40.9



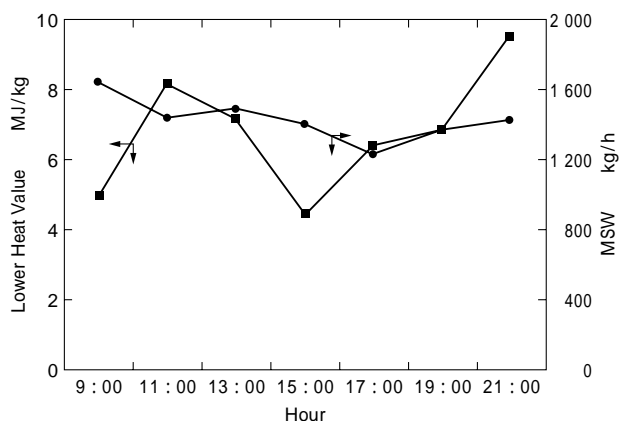
第3図 ごみ処理能力  
Fig. 3 Demonstration plant capacity



第4図 経時変化  
Fig. 4 Demonstration plant trends



第5図 一次空気比と砂層温度の関係  
Fig. 5 Relationship between bed temperature and primary air ratio



第6図 ごみ質変動に対する応答性  
Fig. 6 Response to fluctuation of MSW lower heat value

また、不燃物の排出は炉床部中央の不燃物抜出口より円滑におこなわれ、実証期間を通じて不燃物堆積による流動阻害は認められなかった。

#### 2.2.4 燃焼溶融炉の性能

第7図に全体空気比と排ガスCO、NO<sub>x</sub>の関係を示す。ごみ質、処理量の変動によりデータにばらつきはあるものの、全体空気比1.2~1.4の範囲にてCO 30ppm以下、NO<sub>x</sub> 150ppm以下の安定した燃焼がおこなえている。

また、本プラントでは熱分解ガス化炉において、金属分を不燃物とともに事前に分離しているため、溶融する灰分の溶流温度は1050~1150であり、燃焼溶融炉の旋回溶融部温度を1200以上、炉出口温度を1100以上と比較的低い温度域に管理することでスラグを安定的に出産することが可能であった。

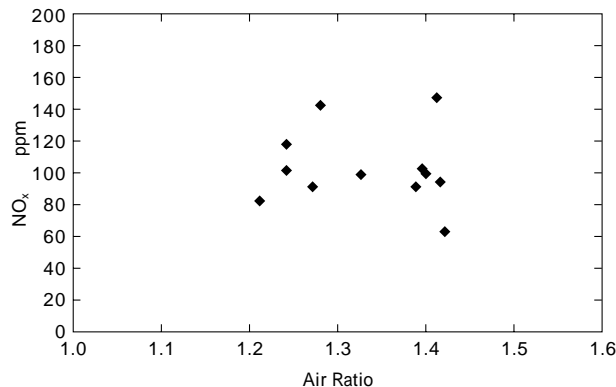
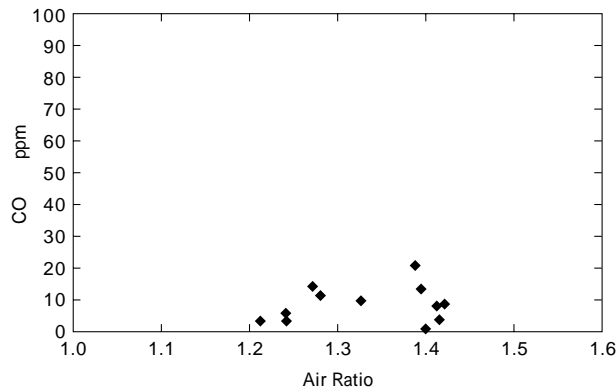
第3表に本プラントにおけるスラグ化率を示す。各期間とも、安定して80%をこえるスラグ化率がえられており、飛灰循環をもちいなくても高効率の飛灰溶融がおこなえていることが確認できた。

#### 2.2.5 排ガス性状

第4表にバグフィルタ出口の排ガス分析結果を示す。燃焼溶融炉での低空気比、高温燃焼に加え、「乾式消石灰吹込+バグフィルタ」の排ガス処理により、良好な排ガス性状をえることができ、全ての排ガス成分において自主的に設定した目標値を満足することができた。とくに、ダイオキシン類は30t/dの小規模炉にもかかわらず、約0.01ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>と目標値を十分に下回る濃度まで低減することが可能であった。

#### 2.2.6 回収物性状

実証プラントでは、スラグは燃焼溶融炉下部の出産口



第7図 空気比とCO、NO<sub>x</sub>の関係  
Fig. 7 Relationship between CO/NO<sub>x</sub> and air ratio (12%O<sub>2</sub>)

第3表 スラグ化率

Table 3 Slagging ratio in the melting furnace

Test Period	Slag	Fly Aah	Slagging Ratio
	7 640kg	1 365kg	84.8%
	6 430kg	1 569kg	80.4%
	32 160kg	6 996kg	82.1%
	21 780kg	3 509kg	86.1%
Total	68 010kg	13 439kg	83.5% (Average)

第4表 排ガス分析結果

Table 4 Flue gas analysis (Dry, 12%O<sub>2</sub>)

		Bag House Exit		Self Standard
		Run 1	Run 2	
Dust	g/Nm <sup>3</sup>	<0.001	<0.001	0.01
HCl	ppm	10	8	50
SO <sub>x</sub>	ppm	12	16	20
NO <sub>x</sub>	ppm	98	85	150
DXNs	ng-TEQ/Nm <sup>3</sup>	0.013	0.013	0.1
CO	ppm	18	17	30

第5表 スラグ溶出試験結果

Table 5 Slag leaching test results

		Run 1	Run 2	Environmental Quality Standard for Soil Contamination
Cd	mg/l	<0.001	<0.001	0.01
Pb	mg/l	<0.001	<0.001	0.01
Cr <sup>6+</sup>	mg/l	<0.02	<0.02	0.05
As	mg/l	<0.001	<0.001	0.01
Se	mg/l	<0.001	<0.001	0.01
T-Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005	0.0005

から連続的に水封コンベアに落下し、水冷スラグとして回収された。第5表に本プラントでえられたスラグの溶出試験結果(環境庁告示第46号)を示す。スラグからの重金属類の溶出値は、「一般廃棄物の溶融固化物に係わる目標基準値」(生衛発第508号)を全て満足しており、本プラントでえられたスラグは再生利用可能であることが確認できた。

写真2に熱分解ガス化炉より回収された鉄分、アルミ分の外観を示す。回収された金属表面には、砂の融着、未燃分の付着は認められなかった。第8図に鉄分、アルミ分の組成分析結果を示す。熱分解ガス化炉では砂層温度が500~600と低く、還元雰囲気であるため、鉄、非鉄金属は酸化度が3%未満と低く、また、資源価値の高い金属として回収することができる。

むすび = のべ100日以上 of 長期間にわたる実証試験により、以下のことが確認できた。

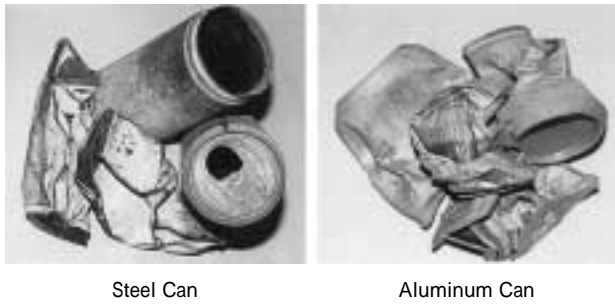


写真2 回収鉄・アルミ

Photo 2 Steel and aluminum during pyrolysis operation

幅広いごみ質において安定した処理が可能である。  
低空気比、高温燃焼によりダイオキシン類の抑制が可能である。

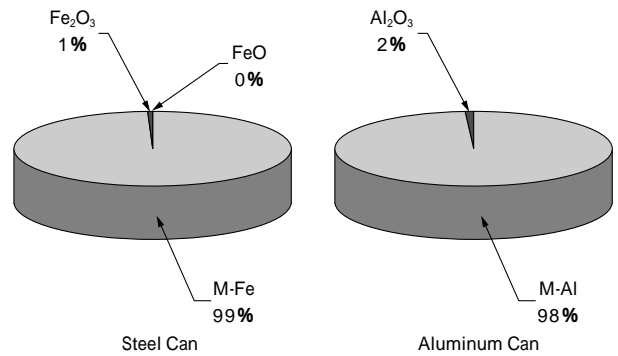
実証プラントからえられたスラグは再生利用可能である。また、資源価値の高い鉄、非鉄金属が回収可能である。

さらに中部上北広域事業組合から国内初の流動床式熱分解ガス化溶融施設（60t/d：30t/d × 2基）を1999年4月に受注し、前述した実証試験でえられた知見を設計に反映しながら、2000年10月に無事しゅん工した（本施設の外観を写真3に示す）。現在、本施設は組合職員による直営運転にて順調に運転が続けられている。

最後に、本実証をおこなうにあたり、中部上北広域事業組合、中部上北清掃センターの多大なご協力をいただいたことに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 須鎗護ほか：神戸製鋼技報，Vol.47, No.3 (1997), p.52.
- 2) 高橋正光ほか：第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (1999) p.698.



第8図 鉄・アルミの酸度

Fig. 8 Oxidation of steel and aluminum during pyrolysis



写真3 商用施設

Photo 3 Commercial plant

- 3) 伊藤 正ほか：第21回全国都市清掃研究発表会講演論文集 (2000) p.196.