

# サーモセレクト方式ガス化改質炉

## Thermoselect Waste Gasification and Reforming Process

山田 純夫 YAMADA Sumio JFE エンジニアリング 環境エンジニアリング事業部 環境開発部長  
清水 益人 SHIMIZU Masuto JFE エンジニアリング 環境エンジニアリング事業部 ガス化改質炉推進プロジェクトチームリーダー  
三好 史洋 MIYOSHI Fumihiro JFE エンジニアリング 環境エンジニアリング事業部 ガス化改質炉推進プロジェクトチーム

### 要旨

サーモセレクト方式は、ガス化改質技術によって環境への影響を低減し、廃棄物の再資源化を目的とした新規な廃棄物処理プロセスである。廃棄物から燃料ガスが回収できるとともに、副産物も再資源化できる。回収された燃料ガスでガスエンジンによる安定的な発電が可能である。

### Abstract:

The Thermoselect process is a completely new solid waste treatment process which achieves pollution-free recycling of municipal waste by gasification and reforming technology. Fuel gas can be collected from the waste, and by-products are prepared in the resources. The system which realized stable power generation by utilizing purified synthesis gas with a gas motor generator was developed.

## 1. はじめに

循環型社会をめざして「循環型社会形成推進基本法」を始め、種々のリサイクル法およびグリーン購入法などのリサイクル関係法が整備されてきている。これらの法律は、廃棄物の排出削減、再利用を促すと同時に不法投棄を防止することを目的としている。排出削減、材料リサイクルは重要なことではあるが、材料リサイクルが困難な廃棄物が残ることもあるため、これらの適正な処理方法も大きな課題となっている。

サーモセレクト方式<sup>1)</sup>は、廃棄物をガス化し得られたガスを改質して清浄な可燃性ガスを回収する「ガス化改質方式」<sup>2)</sup>のガス化溶融技術であり、環境への影響を極限まで削減すると同時にケミカルリサイクルなどをしようとするものである。

旧川崎製鉄(現 JFE グループ)は、1997年にスイス・サーモセレクト社より技術導入し、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO 技術開発機構) 殿の支援を得て 1998 年より、現在の JFE スチール東日本製鉄所千葉地区構内に処理能力 150 t/日・炉 × 2 系列からなる設備 (Photo 1) を建設した。1999 年度には千葉県千葉市との共同研究として、この設備を用いて 93 日連続および延べ 130 日以上的一般廃棄物処理実証運転を終了した<sup>3,4)</sup>。ガス化改質溶融設備の実機規模での一般廃棄物処理としては日本で初めての実証であった。(社)全国都市清掃会議より、技術検



Photo 1 Chiba Plant

証・確認概要書の交付を受けた<sup>5)</sup>。2000 年度からは産業廃棄物を受託処理して燃料ガスを製造し、製鉄所の発電燃料などに利用する廃棄物燃料製造事業を開始している。2000 年度新エネ大賞をガス化溶融設備として初めて受賞した。2001 年 1 月には処理事業会社であるジャパン・リサイクルに移管して順調に操業を続けている。

ここでは、本施設での一般廃棄物の処理の実証結果、産業廃棄物からの燃料ガス製造事業の状況の処理、ガス利用について述べる。

## 2. 技術の概要

### 2.1 概略フロー

「サーモセレクト方式」の標準的な処理フローを Fig. 1

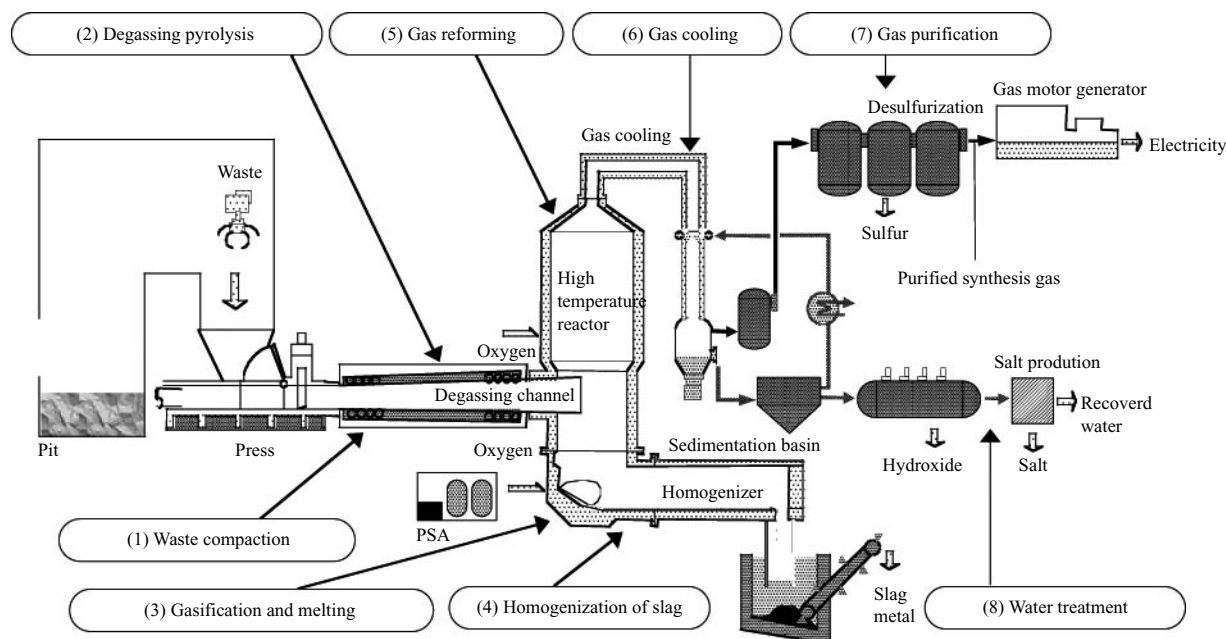


Fig. 1 Thermoselect process

に示す。廃棄物を前処理せずに圧縮し、脱ガスチャンネルで間接加熱により乾燥・熱分解処理する。熱分解物は高温反応炉に装入され、酸素と熱分解炭素との反応により高温で溶融される。生成したガスはガス改質・急冷・ガス精製することにより、清浄な燃料ガスを回収する。

## 2.2 プロセスの特徴

サーモセレクト方式のプロセスの特徴を要約すると以下のとおりである。

- (1) ダイオキシン・飛灰を発生させない。  
発生したガスを約 1200℃で 2s 以上保持した後に約 70℃まで無酸素の状態ですぐ急冷することで、ダイオキシン類の発生そのものを極限まで抑制して、ガスを燃料として回収する。
- (2) 廃棄物を完全に再資源化できる。  
廃棄物は、精製合成ガス、水砕スラグ、メタル、金属水酸化物、硫黄、混合塩などに交換され、資源としての再利用が可能であり、埋立処分量ゼロも可能である。
- (3) ガス改質によりクリーンなガスが回収される。  
回収された合成ガスは水素と一酸化炭素が主成分であり、発電用の燃料として利用できるだけでなく、化学原料として用いることも可能である。発電用燃料として使用する場合、ガスエンジン発電、燃料電池発電、ガス焼きボイラ発電、ガスタービン・コンバインド発電などの中から設備規模や立地条件に適合した最適な発電方式が選択できる。
- (4) 経済的である。  
廃棄物の持つエネルギーで溶融処理を行うため、また、ダイオキシン類や重金属を多量に含む飛灰の処理

を行わなくてよいため、従来の焼却+灰溶融方式に比べてトータルコストの削減も可能となる。埋立処分ゼロとすることができれば、埋立処分地の建設費用、管理維持費が削減される。

## 3. 千葉プラントの処理実績

### 3.1 一般廃棄物処理の実証運転

実証試験では千葉市の一般廃棄物を約 15 000 t 処理した。可燃ごみの特性を **Table 1** に示す。**Table 2** に一般廃棄物処理において得られた精製合成ガスの性状例を示す。燃料ガス中ダイオキシン類濃度は、0.000 39 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup> (0.000 09 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>, O<sub>2</sub>: 12%換算値<sup>6)</sup>) であり、厚生

Table 1 Characteristics of municipal solid waste (MSW)

3 components		
Moisture content	(%)	47.7
Ash content	(%)	6.7
Volatile matter	(%)	45.6
Measured lower heat value	(MJ/kg)	8.5

Table 2 Characteristics of synthesis gas

Component		Concentration
H <sub>2</sub>	(%)	30.7
CO	(%)	32.5
CO <sub>2</sub>	(%)	33.8
N <sub>2</sub>	(%)	2.3
Dioxins	(ng-TEQ/m <sup>3</sup> )	0.000 39
Dioxins (O <sub>2</sub> :12%換算値)	(ng-TEQ/m <sup>3</sup> )	0.000 09

Table 3 Total dioxins emitted at the Chiba Plant (MSW)

By-product	Dioxins content	Recoverd quantity	Dioxins output ( $\mu\text{g-TEQ/t-waste}$ )
Synthesis gas	0.000 39 ng-TEQ/Nm <sup>3</sup>	722 Nm <sup>3</sup> /t-waste	0.000 28
Slag	0.000 7 ng-TEQ/kg-dry	65 kg/t-waste	0.000 04
Sulfur	0.35 ng-TEQ/kg-dry	0.52 kg/t-waste	0.000 18
Metal hydroxide	0.29 ng-TEQ/kg-dry	0.63 kg/t-waste	0.000 18
Recoverd water	0.000 01 ng-TEQ/ℓ	680 ℓ/t-waste	0.000 01
Total dioxins emitted			0.000 69

Table 4 Characteristics of industrial waste

Industrial waste	LHV* (MJ/kg)	3 Components			Cl (%-wet)	S (%-wet)
		Moisture content (%)	Ash content (%)	Volatile matter (%)		
A	16.1	22.2	15.4	61.9	1.29	0.97
B	5.5	26.8	42.7	30.5	1.11	1.66
C	18.2	46.3	2.0	51.7	0.15	0.17
D	38.3	1.3	1.8	96.9	0.01	-
Average	13.7	44.4	9.8	45.8	1.15	0.64
MSW**	8.5	47.7	6.7	45.6	0.19	0.04

\*Lower heating value \*\*Demonstration

省基準 0.1 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup> の<sup>7)</sup> 1/1 000 未満であった。

スラッグの品質は「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針」の溶出基準を満足している。千葉市の可燃ごみの実証運転においては、メタルは鉄が主成分であるが銅の平均割合が 17.5% と高濃度のため銅製錬の原料として、硫黄は硫酸原料として、金属水酸化物は亜鉛を含有しているため亜鉛製錬の原料として利用した。ダイオキシン類の総排出量は将来の目標値のごみ 1t 当たり 5  $\mu\text{g-TEQ}$  よりもはるかに低い値の 0.000 69  $\mu\text{g-TEQ}$  の結果を得ている (Table 3)。現在、投入廃棄物に含まれるダイオキシン類は 10  $\mu\text{g-TEQ/t-waste}$  程度と言われており<sup>7)</sup>、本プロセスはダイオキシン類を分解する性能を持つことが証明された。

### 3.2 廃棄物燃料製造事業

2000 年 4 月より産業廃棄物の受託処理を開始し、2001 年 4 月からは容器包装リサイクル法でのプラスチック再商品化事業 (ガス化認定) にも参入し、2003 年 3 月までに累計約 17 万トン以上の廃棄物を受け入れた。

主として建設廃材を処理しており、産業廃棄物の種類は廃プラスチック、汚泥、木くず、紙くずなどである。廃棄物受入量および種類を Fig. 2 に示す。ここで分類 (産業廃棄物管理票上) されている廃プラスチック類には、他の種類のものもかなり混合しているものもある。

受入廃棄物の分析例を Table 4 に示す (ピット内廃棄物の平均組成、2001 年 9 月-11 月の例)。廃棄物 A-D は、受入廃棄物のロットごとの分析例であり、廃棄物 D は容

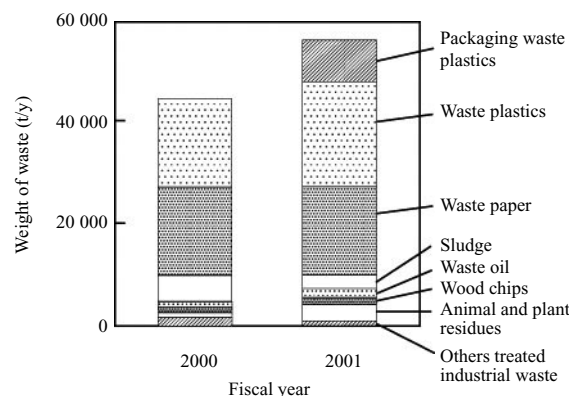


Fig. 2 Composition of waste

器包装プラスチック例である。一般廃棄物に比較して、ロットごとの発熱量、灰分などの変動が大きいため、廃棄物の混合管理によるごみ質の安定化がより重要になっている。プラントでは廃棄物の受入の調整、ストックヤードの確保、ピットでの混合に注意を払って操業している。

混合後のピット内廃棄物の平均組成は、低位発熱量 13.7 MJ/kg、灰分 9.8%、塩素 1.15%、硫黄 0.64% (ごみ基準)<sup>8)</sup> であり、一般廃棄物 (実証試験時の千葉市一般廃棄物) に比較して、低位発熱量が大きく、灰分、塩素、硫黄の含有量が多くなっている。また、金属水酸化物回収量が多いことから、廃棄物中の重金属についても多くなっていることが分かる (Table 5)。

Table 6 に産業廃棄物の処理からの精製合成ガス中の性状例を示す。Table 5 にダイオキシン類の分配と総量を示

Table 5 Total dioxins emitted at the Chiba Plant (Industrial waste)

By-product	Dioxins content	Recoverd quantity	Output of dioxin ( $\mu\text{g-TEQ/t-waste}$ )
Synthetic gas	0.000 30 ng-TEQ/Nm <sup>3</sup>	826 Nm <sup>3</sup> /t-waste	0.000 248
Slag	0.000 49 ng-TEQ/kg-dry	109 kg/t-waste	0.000 053
Metal	0.000 13 ng-TEQ/kg-dry	24.1 kg/t-waste	0.000 003
Sulfur	0.002 2 ng-TEQ/kg-dry	2.23 kg/t-waste	0.000 005
Metal hydroxide	0.000 68 ng-TEQ/kg-dry	2.29 kg/t-waste	0.000 002
Recoverd water	0.000 06 ng-TEQ/ℓ	899 ℓ/t-waste	0.000 000
Total dioxins emitted			0.000 31

Table 6 Characteristics of synthetic gas

Component	Concentration
H <sub>2</sub> (%)	32.4
CO (%)	43.1
CO <sub>2</sub> (%)	18.8
LHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	8.9

す。ダイオキシン類の総排出量は 0.000 30  $\mu\text{g-TEQ/t-waste}$  であり、一般廃棄物の実証試験とほぼ同程度のレベルである。

スラグの品質は溶出基準を満足しており、オンラインにて粒度調整・磁選処理を実施し、スラグの品質管理に努めている。用途別に再利用業者との品質確認試験を終了し、インターロッキングブロックの細骨材などに利用されている<sup>9)</sup>。

### 3.3 精製合成ガスの利用状況

JFE スチール東日本製鉄所千葉地区構内では 1987 年より製鉄所内で発生する副生ガス（高炉ガス、コークス炉ガスなど、低位発熱量は約 4.6 MJ/Nm<sup>3</sup>）を用いたガスタービンコンバインド発電<sup>10)</sup>を実施している。そこで、精製合成ガスを製鉄所に送り、ガスタービンコンバインド発電用の燃料の一部として利用している。Fig. 3 に千葉プラントにおける精製合成ガスの利用概要を示す。

製鉄所などの立地の場合、精製合成ガスの製鉄所内での

利用が可能である。しかし、一般的な立地の場合では、廃棄物処理からの精製合成ガスを利用した比較的規模の小さい高効率な発電が必要となる。処理規模が小さい場合の発電方式として小規模でも発電効率の高いガスエンジン発電や燃料電池が考えられる。

千葉プラント側に Table 7（外観を Photo 2 に示す。）に示すような 1.5 MW ガスエンジン発電を設置し、製鉄所に販売する燃料ガスの一部を使用して、ガスエンジン発電のデモンストレーション運転を実施した。このガスエンジン発電システムは燃料ガスの発熱量の変動に対応し、空気比を変更し、外部信号に基づき発電量一定制御できるシステムを導入している。廃棄物から回収される燃料ガスの発熱変動があるにもかかわらず一定発電運転が可能であった。ガスエンジン発電におけるエネルギーバランスを Fig. 4 に示す。ガスエンジン発電機単体での発電効率は定格で約 37% あり、総合効率は 72% であった。Fig. 5 に部分負荷率に対する発電効率を示す。100% 負荷での効率 37% に対し、50% 負荷での効率は約 33% であり、定格（100%）負荷時に比較して、4% の低下にとどまった。

Table 8 にガスエンジン排ガス中の O<sub>2</sub>: 12% 換算の有害物質の測定値例を示す。ガスエンジンの排ガスのダイオキシン類も低いことが確認された。また、脱硝なしでも排ガス中の窒素酸化物が低く抑えられることが確認されている<sup>11)</sup>。

現在、50-60% の高効率の燃料電池が開発されてきてお

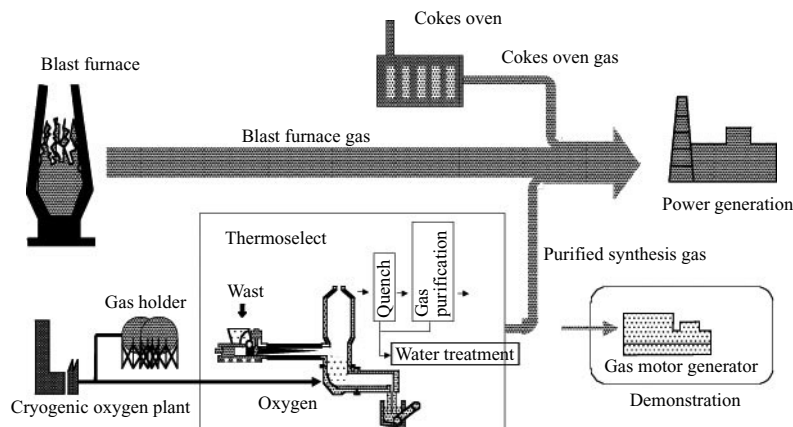


Fig. 3 Energy flow at Chiba District of East Japan Works

Table 7 Specifications of gas motor generator

Type	Lean-burn engine
Electrical output (kW)	1 507
Cylinders	20
Bore/Stroke (mm)	190/220
Rotation (rpm)	1 500
Maker	Jenbacher



Photo 2 Gas motor generator

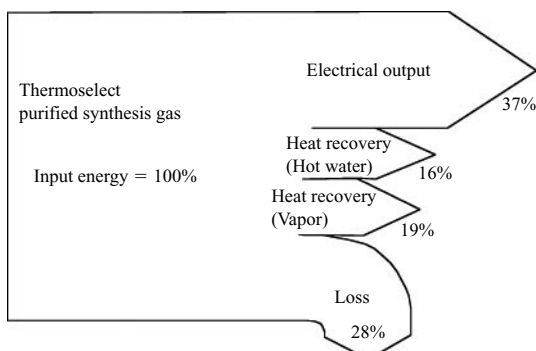


Fig. 4 Energy balance at 100% load

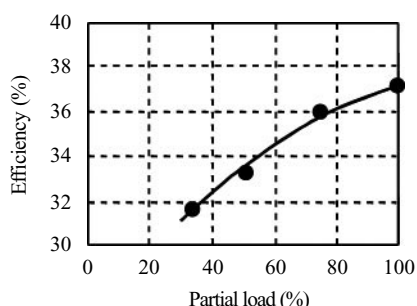


Fig. 5 Electrical efficiency in partial load

り、今後、サーモセレクト方式を適用することによって、さらに高効率な設備とすることができる。

Table 8 Emission of gas-engine

DXNs	(ng-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	0.000 007 2
Dust	(mg/Nm <sup>3</sup> )	0.2
NO <sub>x</sub>	(ppm)	14
HCl	(mg/Nm <sup>3</sup> )	< 5

#### 4. おわりに

本方式は、廃棄物から回収された燃料ガスの多様性、ダイオキシン類の分解性能、亜鉛などの重金属が山元還元できるなど、最終処分場に依存しない循環型社会構築に寄与できる技術であることが確認された。

現在、下記の施設がサーモセレクト方式にて受注、建設中である。

- (1) 倉敷市資源循環型廃棄物処理施設整備運営事業 (岡山県)  
処理量：555 t/日 (稼働予定 2005 年)
- (2) 県央県南広域環境組合 (長崎県)  
処理量：300 t/日 (稼働予定 2005 年)
- (3) 中央広域環境施設組合 (徳島県)  
処理量：120 t/日 (稼働予定 2005 年)
- (4) 彩の国資源循環工場整備事業  
処理量：450 t/日 (稼働予定 2006 年)

#### 参考文献

- 1) 三好史洋. 資源環境対策, vol.34, no.14, 1998, p.100-101.
- 2) 三好史洋. プラスチックエージ臨時増刊号, 2001, p.128-132.
- 3) 岩淵丈郎. 平成 12 年度ごみ焼却余熱有効利用促進. 市町村等連絡協議会, 2000, p.82-94.
- 4) 三好史洋. アロマティックス, vol.52, no.7, 2000, p.226-231.
- 5) 松添剛ほか. 地球環境, vol.31, no.9, 2000, p.100-101.
- 6) 厚生省. 厚生省告示第 7 号, 2000 年 1 月 14 日 (ダイオキシン類の濃度の算出方法)
- 7) 酒井伸一. ごみと化学物質. 岩波新書, 1998, p.107.
- 8) 杉浦啓之ほか. 第 13 回廃棄物学会発表会, 2002.
- 9) 与田昭男. 新政策, 2001, p.328-329.
- 10) 天野忍ほか. 川崎製鉄技報, vol.20, no.3, 1988, p.216-222.
- 11) 尾前純也. 第 2 回高効率廃物発電技術に関するセミナー, 2002, p.91-94.



山田 純夫



清水 益人



三好 史洋