

サーモセレクト方式による廃棄物ガス化改質プロセス

Thermoselect Waste Gasification and Reforming Process

三好史洋
Fumihito Miyoshi
清水益人
Masuto Shimizu

JFEエンジニアリング(株) 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 課長

同上 部長

1 はじめに

循環型社会をめざして種々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、再利用を促すととも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¹⁾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」²⁾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等をしようとするものである。

川崎製鉄(現在、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、1998年より、現在のJFEスチール(株)、東日本製鉄所・千葉地区構内に処理能力150t/日・炉×2系列からなる設備を建設した。1999年度には千葉県・千葉市との共同研究として、一般廃棄物処理実証運転を終了し^{3,4)}、(社)全国都市清掃会議より、技術検証・確認概要書の交付を受けた⁵⁾。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。2001年1月には処理事業会社であるジャパン・リサイクル(株)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

「川鉄サーモセレクト方式」の標準的な処理フローを図1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

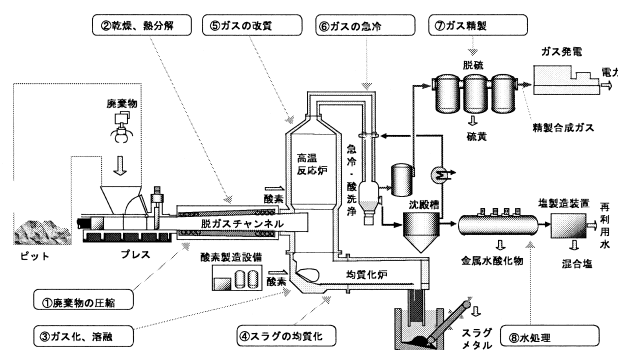


図1 サーモセレクト方式の概略フロー

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℃、2s以上保持した後に約70℃まで無酸素の状態に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) 廃棄物の完全な再資源化

廃棄物は「精製合成ガス」「水砕スラグ」「金属」「金属水酸化物」「硫黄」「混合塩」などに変換され、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) ガス改質によるクリーンなガスの回収

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」、「ガス焚きボイラ発電」、「ガスタービン・コンバインド発電」等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) エコノミー

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、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。

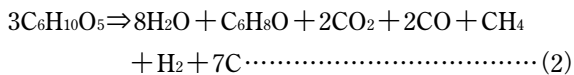
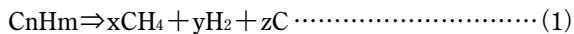
2.3 プロセスの概要

本プロセスは主として次の4ステップから構成されている。

(1) プレス・脱ガスチャンネル

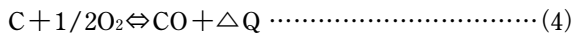
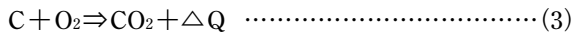
まず廃棄物をプレスで最初の容積の約1/5に圧縮する。これにより廃棄物中の水分の分布は均一化され、空気は排除されて脱ガス効率が向上する。

次に圧縮された廃棄物は間接式加熱炉である脱ガスチャンネルで脱ガス（水分の蒸発、熱分解による揮発分の発生）され、続いて高温反応炉からの放射熱などによりさらに熱分解される。廃棄物中に含まれる炭化水素、セルロースの熱分解反応として次のような反応例があり、これらの反応により熱分解カーボンが得られる。

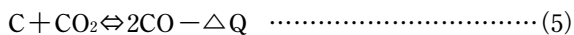


(2) 高温反応炉・均質化炉

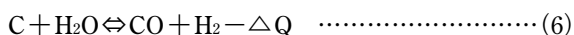
脱ガスチャンネルで発生したガスは高温反応炉に流入し、熱分解物は新たな圧縮廃棄物の装入により押し出されて高温反応炉下部に堆積する。炉下部に酸素を吹き込み、熱分解物中の炭素と酸素の反応により下部の温度は中心部で最高約2000℃になり、廃棄物中の金属や無機質の成分は溶融する。



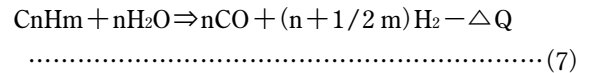
高温反応炉下部に残存する炭素成分とO₂が発熱反応しCO₂になる。発生したCO₂はCを含有する熱分解物中を通るとCOに還元される。



過剰の高温水蒸気分子が存在する場合は水性ガス化反応が生ずる。この場合、炭素と水蒸気がCOとH₂に転換する。



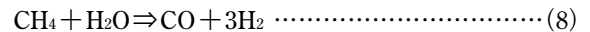
有機化合物はCOとH₂などに熱分解される。



溶融物は高温反応炉から約1600℃に保持された均質化炉へ流れ、微量の炭素などはガス化される。均質化炉において金属溶融物（メタル）は比重が大きい、無機質溶融物（スラグ）の下部に溜まる。連続的に溢流堰を通り水砕システムへ流れ落ちて冷却固化される。回収混合物は磁選によりスラグ、メタルに分離される。

高温反応炉下部で発生したガスと脱ガスチャンネルで発生した熱分解ガスは合流し、高温反応炉上部の改質部において約1200℃で2 s以上滞留する。

この条件により、ガス中のタール分やダイオキシン類およびその前駆体は完全に分解され、H₂、CO、CO₂、H₂Oを主成分とする粗合成ガスに改質される。約1200℃の温度では(8)式の平衡が右辺に移動し、メタンガスの量は極微量となる。

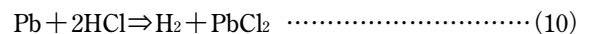
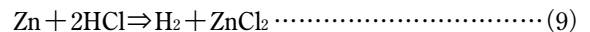


(3) ガス精製

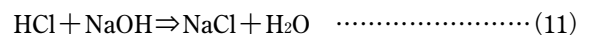
高温反応炉で改質された粗合成ガスを、急冷・酸洗浄装置で約1200℃から約70℃まで無酸素状態で急冷し、*de novo*（デ・ノボ）合成によるダイオキシン類の再合成を阻止するとともに、酸洗浄することにより重金属を除去する。さらに、アルカリ洗浄では残存酸性ガスを除去する。

沸点の低い亜鉛、鉛などの重金属成分は主として高温反応炉からガス状の状態で移送される。また、廃棄物に含まれる塩素は、主としてHClとして合成ガス中に存在し、HClは冷却・洗浄液に溶け込む。HClを含む酸性水によって、粗合成ガスは洗浄され、重金属成分が取り除かれる。このシステムでは廃棄物中の塩素分を有効に利用している。

洗浄液は沈降槽に送られ炭素微粒子は取り除かれる。熱交換器で間接冷却された後、再びガスの急冷に循環使用される。ごみ由来の水は沈降槽で余剰水となり、水処理プロセスへ送られて処理される。酸洗浄システムでの反応例を次に示す。



この酸洗浄によってこのプロセスでは飛灰が発生しない。酸洗浄された合成ガスは、アルカリ洗浄され、塩化水素ガス等の酸性ガスが中和除去される。



生成したNaClは最終的には、塩製造装置で混合塩として

回収される。さらに、ガスは脱硫洗浄、乾燥され、有害物質が除去されたクリーンな燃料ガス（精製合成ガス）が得られる。

(4) 水処理・塩製造装置

本方式は、従来の焼却方式においては飛灰としてバグフィルターで除去されていたものを、粗合成ガスを直接湿式洗浄して取り除き、水処理を行うことにより、有用な金属水酸化物、混合塩に分離回収することができる。

水処理によって、図2に示すように、廃棄物を燃焼すると発生する飛灰の構成物質をスラグ成分、金属分、塩分に分離し、スラグ成分を高温反応炉入口に戻し、亜鉛、鉛を含む金属分を水酸化物の状態で濃縮回収し、さらに、混合塩と再利用水を回収する。この操作によって沸点の低い亜鉛、鉛等の金属が系内に濃縮することを防止している。

千葉プラントでは臨海部にあり、塩製造装置は設置していないが、イオン交換処理し下水道に放流できるレベルの水質にし、製鉄所の水処理で処理している。標準的な設備では塩製造装置により冷却塔の補給水としての再利用が可能な水質の水と混合塩が得られ、クローズド化する。

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15000tを処理した。処理した可燃ごみの特性を表1に示す。

表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、0.00039ng-TEQ/m³_N (0.00009 ng-TEQ/m³_N, O₂ : 12 %

換算値⁶⁾)であり、厚生省基準0.1 ng-TEQ/m³_N⁷⁾の1/1000未満であった。

スラグの品質は「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 mass %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 μg-TEQよりもはるかに低い値の0.00069 μg-TEQの結果を得ている(表4参照)。現在、投入廃棄物に含まれるダイオキシン類は10 μg-TEQ/t-ごみ

表1 処理した一般廃棄物・可燃ごみの特性

		最小	最大	平均
3成分	水分 (%)	37.8	55.5	47.7
	灰分 (%)	4.2	9.2	6.7
	可燃分 (%)	38.4	57.2	45.6
低位発熱量 (MJ/kg)		6.4	12.5	8.5

表2 一般廃棄物からの精製合成ガス組成性状例

項目		単位	精製後
組成	H ₂	volume%	30.7
	CO	volume%	32.5
	CO ₂	volume%	33.8
低位発熱量		kcal/m ³	1824
DXN 類		ng-TEQ/m ³	0.00039
DXN 類 (O ₂ : 12 %)		ng-TEQ/m ³	0.00009

注) DXN 類にはコプラナ PCBs も含む。

表3 ダイオキシン類の分配と総量

回収物	含有量	回収量 ^{注2)}	DXNs 分配量 μg-TEQ/t-ごみ
精製合成ガス	0.00039ng-TEQ/m ³ _N	722m ³ /t-ごみ	0.00028
スラグ	0.0007ng-TEQ/kg	62.5kg/t-ごみ	0.00004
硫黄	0.35ng-TEQ/kg	0.52kg/t-ごみ	0.00018
金属水酸化物	0.29ng-TEQ/kg	0.63kg/t-ごみ	0.00018
処理水 ^{注1)}	0.00001ng-TEQ/L	680L/t-ごみ	0.00001
ダイオキシン類排出量合計			0.00069

注1) イオン交換後、塩製造原水に相当

注2) 固形物は乾物量表示

表4 受入廃棄物の分析例⁸⁾

廃棄物種類	低位発熱量 MJ/kg	3成分			Cl mass%	S mass%
		水分 mass%	灰分 mass%	可燃分 mass%		
A	16.1	22.7	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	—
平均	13.7	44.4	9.8	45.8	1.15	0.64
一廃 ^{注2)}	8.5	47.7	6.7	45.6	0.19	0.04

注1) 塩素、硫黄はごみ基準、注2) 実証運転時

注3) ピット内の廃棄物の平均組成(2001年9月~11月例)

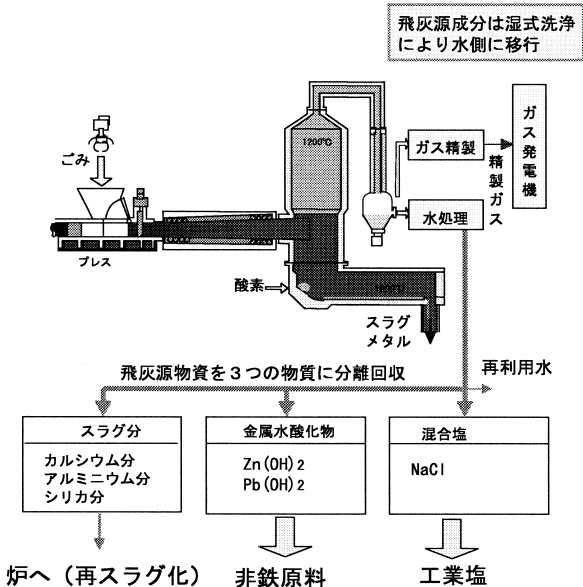


図2 飛灰無しのメカニズム

程度と言われており⁷⁾、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実証された。

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t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プラスチック、汚泥、木くず、紙くず等である。廃棄物受入量および種類を図3に示す。ここで分類（マニフェスト上）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表5に示す。廃棄物A～Dは、受入廃棄物のロット毎の分析例であり、廃棄物Dは容器包装プラスチック例である。一般廃棄物に比較して、ロット毎の発熱量、灰分等の変動が大きいと、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 mass %、塩素1.15 mass %、硫黄0.64 mass %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。表6に示すように、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わかる。

表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。表7にダイオキシン類の分配と総量を示す。ダイオキシン類の総排出量は0.00030 μg-TEQ/t-廃棄物であり、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

磨砕・磁選処理を実施し、スラグの品質管理に努めている。用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⁹⁾。

3.3 精製合成ガスの利用状況

JFE スチール（株）、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で、低位発熱量は約4.6 MJ/m³N）を用いたガスタービンコンバインド発電¹⁰⁾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。図4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

表5 産業廃棄物からの精製合成ガス組成性状例

項目		単位	精製後
組成	H ₂	volume%	32.4
	CO	volume%	43.1
	CO ₂	volume%	18.8
低位発熱量		MJ/m ³ N	8.9

表6 ダイオキシン類の分配と総量例

回収物	含有量	回収量 ^{注2)}	DXNs 分配量 μg-TEQ/t-廃棄物
精製合成ガス	0.00030ng-TEQ/m ³ N	826m ³ /t-廃棄物	0.000248
スラグ	0.00049ng-TEQ/kg	109kg/t-廃棄物	0.000053
メタル	0.00013ng-TEQ/kg	24.1kg/t-廃棄物	0.000003
硫黄	0.0022ng-TEQ/kg	2.23kg/t-廃棄物	0.000005
金属水酸化物	0.00068ng-TEQ/kg	2.29kg/t-廃棄物	0.000002
処理水 ^{注1)}	0.00006pg-TEQ/l	899 l/t-廃棄物	0.000000
ダイオキシン類排出量 合計			0.00031

注 1) イオン交換後、塩製造原水に相当、
注 2) 固形物は乾物量表示、 注 3) 2001 年 9 月例、

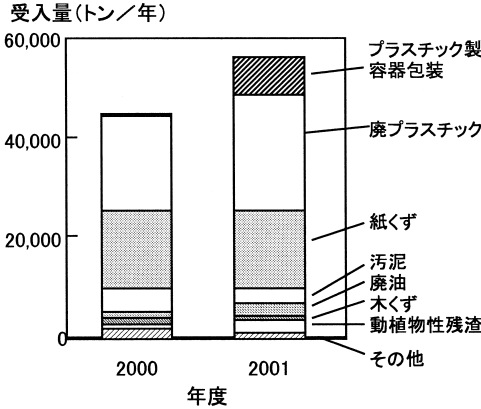


図3 廃棄物受入量および種類

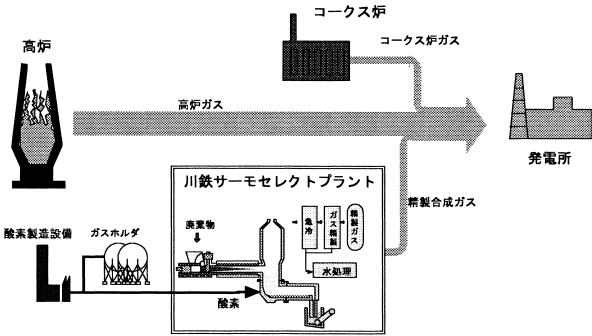


図4 千葉プラントにおける精製合成ガスの利用概要

が考えられる。

千葉プラント側に表7に示したような1.5 MW ガスエンジン発電機を設置し、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。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、総合効率は約72%であった。表8にガスエンジン排ガス中の有害物質の測定値例を示す。脱硝無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¹¹⁾。

現在、50～60%の高効率の燃料電池の開発されてきており、さらに低価格化されれば、将来、廃棄物発電においても実用化されるものと期待している。

表7 ガスエンジンの主仕様

形式	火花点火式希薄燃焼エンジン
発電量	1507 kW
気筒数	20
ボア／ストローク	190／220 mm
回転数	1500 rpm
メーカー	イエンバッハ社

表8 ガスエンジン排ガス測定例

項目	単位	値
DXNs	ng-TEQ/m ³ _N	0.0000072
ばいじん	mg/m ³ _N	0.2
NOx	ppm	14
HCl	mg/m ³ _N	5 未満

注) 02:12%換算値例 (2001 年例)

4 おわりに

本方式の技術は、ダイオキシンの発生が極めて少なく、また、亜鉛などの重金属が山元還元できるなど、飛灰が発生しないため、最終処分場に依存しない循環型社会構築において重要な役割を果たすことができると考えており、本システムの普及に努めている。

参考文献

- 1) 三好史洋：資源環境対策，34 (1998) 14，100-101.
- 2) 三好史洋：プラスチックエージ臨時増刊号，(2001)，128-132.
- 3) 岩渕丈郎：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)，82-94.
- 4) 三好史洋：アロマティックス，52 (2000) 7，226-231.
- 5) 松添剛，三好史洋：地球環境，31 (2000) 9，100-101.
- 6) 厚生省告示第7号，厚生省：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)，107.
- 8) 杉浦啓之，三好史洋，行本正雄：第13回廃棄物学会発表会，(2002)
- 9) 与田昭男：新政策 (2001)，328-329.
- 10) 天野忍，高野英樹，小林侃二，廣崎雅直，阿部成雄，沖汐正悦：川崎製鉄技報20 (1988) 3，216-222.
- 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)，91-94.

(2003年8月28日受付)