環境先進国ドイツにおけるスラッジ処理および排ガス処理

松 尾 隆*

Sludge Treatment and Its Exhaust Gas Treatment in Germany

Takashi MATSUO*

Key Words : Sludge, Pyrolysis, Gasification, Exhaust Gas Treatment, Wet Scrubber, Dioxin

ドイツでは、法律の改正により埋め立てによる廃棄物処理が大幅に制限された。スラッジの焼却処理はダイオキシンの発生など問題が多いため、無害化処理、経済性などの点で有利な熱分解ガス化システムが注目を集めている。本稿ではドイツにおける熱分解ガス化システムの一つである PKA システムについて紹介する。

1. はじめに

ドイツにおけるスラッジ処理システムは、社会全体のリサイクルの一環として、スラッジの処理とリサイクルの両面を併せ持つ統合化されたシステムであることが重要な条件となる。

環境政策では先進的な国であるドイツでは、廃棄物に含まれる有価物を分別回収し再利用することが法律によって義務づけられており、廃棄物を再び原料として利用するマテリアルリサイクルと石油やガスの代わりをするエネルギーリサイクルを国を挙げて推し進めようとしている。そして総合的な廃棄物処理には環境的、社会的、経済的に受入れ可能な処理方法が必要です。

本稿で紹介する PKA システムはこれらの条件をすべて満たしており、その熱分解・熔融システムは次のような構成である。

前処理・中間処理

破碎、裁断、磁気選別装置、乾燥、熱分解コー

クスから金属を分離する^{ふるい}
ガス生成

熱分解、コークス熔融ガス化炉、ガス洗浄装置
エネルギー利用

クリーンガスの利用(ガスエンジン)、余剰電気
とガスの売却、余熱利用

PKA 熱分解システムは連続運転で年間 7500 時間の運転を前提としており、次のような特徴がある。

表 1 クリーンガス組成

成 分		代表値
水素	(H ₂)	16 %
一酸化炭素	(CO)	16 %
二酸化炭素	(CO ₂)	11 %
メタン	(CH ₄)	2 %
炭化水素	(C _m H _n)	1 %
酸素	(O ₂ /Ar)	1 %
窒素	(N ₂)	53 %
熱量		5,000 kJ/Nm ³
比重(乾燥)		1.1 kg/Nm ³
ダスト		< 5 mg/Nm ³
硫化水素	(H ₂ S)	< 10 mg/Nm ³
塩化水素	(HCl)	< 30 mg/Nm ³
アンモニア	(NH ₃)	< 10 mg/Nm ³
シアン	(HCN)	< 1 mg/Nm ³
フッ化水素	(HF)	< 0.5 mg/Nm ³

* ビー・ケー・エー・ジャパン(株) 環境事業部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 5-7)
PKA Japan Ltd.(5-7, koji-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0083)

図1 PKA 熱分解・溶融システム

- (1) 残渣の減容により埋立地の寿命を延ばし、危険性のある廃棄物を安全に処理しエネルギーに変換する。
- (2) 廃棄物を熱分解コークスとガスという有価物に変化させ、鉄や非鉄金属をリサイクルできる状態で分別する。
- (3) 熱分解ガスが化石燃料の代用をすることにより大気中への二酸化炭素の放出量を削減することができる。また精製されたガスにより発電を行いプラント内で消費するとともに余剰電力は売却ま

たは、外部ユーザに直接供給できる。

(4) ガス化溶融炉により熱分解コークスは有用なガスと完全に不活性なガラス粒状物に変化する。この残渣は建築骨材として利用でき、利用しない場合でも埋立地に問題なく投棄できる。

(5) 熱分解の結果、熱分解コークスと呼ばれる残渣が出る。溶融ガス化システムを利用しない場合、鉄と非鉄を分離した後、熱分解コークスはろ材、煉瓦の微細孔をつくる手段として、また他の石炭火力発電所のエネルギー源として利用できる。

2. プラントの説明

2. 1 前処理

プラントの前処理部分はスラッジの種類に応じてスクリーン、乾燥装置、脱水装置などを設置する。

2. 2 熱分解

原料であるゴミは、スクリー式回転チューブにより熱分解炉内に投入される。熱分解炉①はガス燃焼炉により外部から間接的に加熱される。加熱には稼働初期のみプロパンガスが使用され、その後はプラントから作り出されたクリーンガスが使用される。熱分解は酸素(空気)の無い状態で500~550℃で行われ、ゴミは炉内に約45分、ゆっくり回転しながら蒸し焼きにされる。その結

図2 PKA 熱分解システム

表 2 排気ガス中の微量成分(熱分解キルン燃焼排ガス)
(参考)

成 分	単 位	プロセス値 (O ₂ =11%)	ドイツの排出基準 (BlmSchV)	日本の排出基準 (廃棄物焼却炉 O ₂ =12%)
ダスト	mg/Nm ³	1	10	40
TOC	mg/Nm ³	0.5	10	—
HCl	mg/Nm ³	1	10	700
HF	mg/Nm ³	0.03	1	—
SO _x (SO ₂ として)	mg/Nm ³	20	50	k 規制値
NO _x (NO ₂ として)	mg/Nm ³	135	200	250 ppm(NO ₂ で 513 mg/Nm ³)
CO	mg/Nm ³	38	50	—
Hg	mg/Nm ³	0.002	0.05	—
Cd, Tl	mg/Nm ³	0.002	0.05	—
その他重金属	mg/Nm ³	0.07	0.5	—
PCDD/PCDF	TEQng/Nm ³	0.005	0.1	0.1

果、有機成分はガス化し炉内からいわゆる熱分解ガスが発生しガス変換器②へ送られる。

熱分解ガスは炉内の気圧が大気圧以下であること、熱分解炉とその他の装置を結合するパイプ類は特別なシール装置により外部に洩れない仕組みになっている。熱分解ドラムー基の処理量は時間当たり最大 5 トンまでが建設可能である。

熱分解行程の終わりに熱分解残渣が生じ、スクリー押出機③により水槽④へ押し出され、そしてスクリーコンベアで残渣処理装置⑤に運ばれる。

水槽の目的の一つは残滓の炭素分の表面を活性化させ多孔質にするためである。活性化が必要でない場合には乾燥押出機が代わりに利用される。

熱分解ガスはガス変換器の中に導かれる。ガス変換器内の温度は約 1200°Cで滞留時間は 2 秒間、この時、熱分解ガス中のタール分やオイル分は炭素鎖の短い安定した物質になり、ダイオキシンのような有害物質は完全に破壊される。ガス変換器はフィルターとしての機能も持ち、その結果熱分解ガスは均質化され、900～1000°Cでガス変換器の上部から出て行く。

熱分解ガスはダイオキシンなどの再合成を防ぐため急冷された後、ガス洗浄装置⑥で塩化水素などの酸性物質が洗い流され、洗浄水処理装置⑦で中和される(pH 約 8)。洗浄水中の塩(えん)濃度を許容範囲に抑えるために、投入物 1 トンあたり約 200 リットルの洗浄水を循環系の系外に取り出し、取り出された洗浄水は塩を抽出して固化化する

ために蒸発させる。

2. 3 熱分解コークスの利用

炭素を含む物質が熱分解されたとき熱分解コークスは細かい黒い物質になる。熱分解コークスは吸水性があり、多孔性のためさまざまな化学的かつ物理的特性を持つ。その性質は多くの実験や論文により知られている。

熱分解コークスは褐炭との類似性が多く見られ、次に示すようにいくつかの利用方法が考えられる。
マテリアルリサイクル

煉瓦製造の多孔化の手段として、また吸着性があるため古いゴミ捨て場などの衛生設備に活性炭フィルターとして利用可能。

エネルギーリサイクル

ガス化溶融炉で可燃性ガスに変換しガスエンジンで利用可能。

石炭発電所やセメントキルンで直接燃焼させることも可能。

最終処分

そのまま投棄または鉱物化/ガス化後投棄

2. 4 溶融ガス化

熱分解コークスは、その特性のために石炭のガス化と同様のプロセスを適用することが可能である。このガス化溶融プロセスにおいて熱分解コークスは可燃性のガスとガラス状の粒状物に変化する。ガスを洗浄した後、熱分解ガスとともに(ほとんどの場合エネルギー回収として)利用可能である。

ガス化溶融行程において熱分解炉から乾燥状態

表 3 熱分解コークス成分および溶出試験結果

成 分	プロセス代表値
炭 素	34.0%
灰 分	55.0%
(内訳)－Al ₂ O ₃	27.0%
－SiO ₂	25.0%
－CaO	23.0%
－Fe ₂ O ₃	6.0%
－その他	19.0%
水 素	1.1%
窒 素	1.7%
硫 黄	0.4%
塩 素	0.3%
TOC	0.5%
その他	7.0%

表 4 熱分解コークス成分溶出試験結果

溶出試験項目	単 位	溶出量
pH 値	-log (pH)	6-9
Pb	mg/L	<0.06
Cd	mg/L	0.02
Cr	mg/L	<0.03
Cu	mg/L	<0.04
Ni	mg/L	<0.05
Zn	mg/L	0.05
Hg	mg/L	不検出
有機ハロゲン	mg/L	不検出
フェノール	mg/L	不検出

で排出された熱分解コークスは前処理により直径 2 mm 程度の大きさの粉末状になり、その他に粉末状の乾燥汚泥などと混合し溶融炉⑧に投入される。

サイクロン炉で純酸素(93%)を利用することにより熱分解コークス中の炭素分のガス変換が促進される。この反応熱により熱分解コークス中の灰分は溶融する。炉底部での温度は約 1500℃以上になる。

流動性のあるスラグはサイフォンによって吸い出され水で冷却される。

溶融炉から生成したガスは約 1400℃の炉の下部に吸い出される。そこではブードアール反応という、炭素と二酸化炭素が反応し一酸化炭素が生じる反応が起こりエネルギーを消費するので温度が低下する。炉の中は還元状態で、この反応条件で投入物に残っていた水分は炭素と反応し水素と一酸化炭素に変化する。そして有機化合物は脱ハロゲン化され一酸化炭素と水素とメタンのような

表 5 溶融スラグ溶出試験結果

溶出試験項目	単位	溶 出データ	埋立基準(ドイツ)	土壌基準(日本)
pH 値	—	6.7	5.5～13	—
カドミウム (Cd)	mg/L	<0.001	≤0.05	≤0.01
鉛 (Pb)	mg/L	0.006	≤0.2	≤0.01
六価クロム (Cr-VI)	mg/L	<0.005	≤0.05	≤0.05
シアン化合物 (CN)	mg/L	<0.03	≤0.1	検出限界以下
総水銀 (T-Hg)	mg/L	<0.0005	≤0.005	≤0.0005
アルキル水銀 (R-Hg)	mg/L	<0.0005	—	検出限界以下
ヒ素 (As)	mg/L	<0.001	≤0.2	≤0.01
セレン (Se)	mg/L	<0.001	—	≤0.01
鉄 (Fe)	mg/L	0.3	—	—

単純な炭化水素へ変化する。

この発生したガスは約 55 体積%の一酸化炭素を含み、熱量は 1 Nm³ 当たり約 2.5kWh となる。ガス中に埃や硫化水素を含むときは使用する前に脱塵や洗浄を行う。洗浄に関しては熱分解ガスで使

用した装置をそのまま利用できる。

固体生成物は普通 1 mm 位の大きさの細かいガラス状粒状物で、その中には重金属やその他の有害物質が完全に閉じこめられており、水では勿論のこと酸によっても溶出し

2. 5 ガスエンジンを使用したエネルギーリサイクル

生成したクリーンガスはその一部を熱分解ドラムの間接加熱に利用し、残りをガスエンジンによる発電用として利用される。ガスエンジンはコンパクトで電力網とシンクロするユニットとして発電機メーカーより供給される。

熱電併給システムは生成したガスを熱と電気に非常に高効率に変換する。また PKA システムが中小域を対象とした分散型であるため遠距離送電ロスによる効率悪化を防ぐことができる。

図3 PKA システムの排出物とドイツの環境基準値との比較
(ドイツの環境基準を1とした場合)

3. 排 出 物

PKA システムからの排出物には、固体残渣、排ガスおよび洗浄水中の有害物質がある。固体残渣は、(溶融されたガラス状の残渣)は建設骨材として、また路盤材として利用可能ある。また、排ガス中の有害物質の濃度はドイツの法規制と比較しても非常に低い。最終的に発電や熱分解炉の加熱に利用された排ガス中の有害物質濃度は天然ガスや都市ガスを燃焼させた場合の排ガス程度で大気汚染基準を完全にクリアしている。さらに、洗浄水中の有害物質であるが、洗浄水は下水設備には一滴たりとも流さずプロセス内で完全に処理され洗浄水は再利用される。

4. おわりに

PKA システムは、次に示すような特徴があります。

- (1) ほぼ完全にゴミを再利用できる。
- (2) 環境に対し安全で経済的な処理が可能である。
- (3) 一切、煙を出さず有害物質の排出量がきわめて低いため市街地の中にも設置できる。

(4) ゴミに含まれるエネルギーを有効に利用できる。

(5) ゴミ処理は発生した場所で処理するという分散型に対応したコンパクトなシステムである。

(6) 将来の増設にも対応できる拡張可能なモジュールシステム。

このように本システムは、現在の法規制だけでなく、将来厳しくなると予想される要求に対して柔軟に対応できる上、エネルギー問題を含むすべての要求を満足させる。

なぜならば、熱分解+ガス化溶融はゴミ処理の先端技術として21世紀への環境問題の切り札となるものと考えている。

現在、問題となっている一般都市ゴミ(分別された都市ゴミ)は、余熱を利用した乾燥炉で乾燥され熱分解される。多種多様な物質が混在する都市ゴミも問題なく処理可能である。

また、処理困難な産業廃棄物であるシュレッダーダスト、廃タイヤ、医療廃棄物なども問題なく処理でき、廃プラスチックも種類を問わずあらゆるプラスチックが処理可能であるなど、本システムの適用はますます拡大するものと思われる。

(1999-11-8 受理)