

従来の焼却設備から排出される排ガス中の微量有害成分などによる汚染問題が社会的に注目されており、今後排ガスをはじめとする環境規制はさらに強化されていくと考えられる。

当社では、焼却方式に代わる熱分解ガス化による次世代廃棄物処理システムと、パルスコロナ放電により直接有害物質を分解・除去する排ガス処理装置を開発した。これらにより、廃棄物処理に対する社会の進化する要求にこたえうる廃棄物処理システムの提供を進めていきたい。

Problems caused by conventional incineration, such as the presence of small quantities of harmful gases in the exhaust gas, are attracting public attention. Moreover, exhaust gas regulations are expected to be further strengthened in the future.

We have developed two new waste processing technologies in response to this situation. These are a pyrolysis gasification system, which is a next-generation waste treatment system to replace the incineration method; and a corona discharge exhaust gas treatment system, which breaks down and removes harmful substances directly from exhaust gas using pulse corona discharge.

1 まえがき

現代社会で毎日大量に発生する廃棄物は、従来から主に焼却による処理が行われてきた。しかし、そこから排出されるダイオキシン類などの微量有害物が大气や土壌の汚染をもたらし、社会的に大きな問題となっている。当社は、環境と人間生活に調和できる廃棄物処理を目ざし、排出物の無害化・減容化と資源回収循環を目的とした新しい廃棄物処理技術を開発してきた。ここで述べるのは、従来の焼却方式に代わる先進的廃棄物処理技術である熱分解ガス化システムと、排ガス中のダイオキシン類などの有害物質を分解し無害化することができるパルスコロナ放電排ガス処理装置である。

2 熱分解ガス化システム

2.1 熱分解ガス化システムの特長

このシステムは、いろいろな廃棄物を空気を絶った状態で熱分解し、発生したガスをさらに高温で分解することにより、ダイオキシン類などの有害物質を分解・除去したうえ、廃棄物からクリーンな燃料ガスを作り、かつ、有価価値物を取り出すことができるといった優れた特長をもっている。当社はこの基本技術をドイツ PKA 社との提携により導入した。熱分解ガス化システムの特長を以下に示す

- (1) 多様な廃棄物の処理が可能 このシステムでは、前処理段階で廃棄物から大型の不燃物や金属などの有価価値物をあらかじめ選別除去し、その後に残った有機

性物質中心の廃棄物を熱分解および高温分解過程(クラッキング)で処理する。このようなプロセスの組合せにより広い範囲の廃棄物の熱分解と無害化処理が行えるため、都市ごみや廃プラスチック、汚泥、シュレッダーダストなどの多様な廃棄物に応じてシステムの提供ができる。

- (2) ダイオキシン類など有害排出物の抑制 熱分解と高温分解によるクリーンガス生成の過程でダイオキシン類はほぼ完全に破壊されるため、生成されたクリーンガスを燃料として使用した場合でも、その排ガス中のダイオキシン類はきわめて低いレベルに抑えられる。大型新設炉基準の $0.1 \text{ ngTEQ}^{(1)}/\text{Nm}^3$ はもちろん、将来的に規制が強化された場合でも対応ができる。また、ダイオキシン類以外の多環芳香性およびハロゲン性有機物質など、有害物質としての可能性のあるものも同様に破壊される。
- (3) エネルギーの有効活用 抽出されたクリーンガスは、この廃棄物処理システムの熱源や所内電力発生用の燃料として利用できると同時に、余剰分はガスのまま、あるいは電力・蒸気などのエネルギー形態としてシステム外に供給することができる。
- (4) 廃棄物の有価価値化 廃棄物の熱分解によりクリーンガスが生成されるほか、熱分解炉により抽出される

(注1) ダイオキシン類には多数の異性体があり、その毒性はおおの異なる。そのため、ダイオキシン類の中でもっとも毒性の強い 2,3,7,8-TCDD を基準に等価換算した値 (TEQ) で表している。

$\text{TEQ}(\text{等価毒性換算値}) = \text{TEF}(\text{毒性換算係数}) \times \text{実際の含有量}$

残渣(さ)(熱分解コークス)からカーボンや酸化されない状態の金属などの有価値物を回収することができる。熱分解コークスの用途としては、活性炭の代替物、電気炉の脱酸素材、レンガやセメント材料などが考えられるが、熱分解コークスを熔融炉に送入し熔融スラグ(非金属生成物)化または石材化して再利用することもできる。

(5) モジュール構成による将来へのフレキシビリティ

このシステムでは前処理、熱分解、ガス処理、熱分解コークス処理などの各プロセスを独立の機器(モジュール)が受け持ち、これらのモジュールの組合せで構成している。したがって、将来技術革新などで新しい機器を導入する場合でも、必要に応じ一部のモジュールの取替えや追加設置で対応ができる。

2.2 熱分解ガス化システムの構成

図1に、このシステムで熱分解コークスを熔融炉でスラグ化する方法を採用したシステムのシステムフローを示す。

(1) 前処理 まず、処理する廃棄物に応じて、破碎、選別などの前処理を行う。この段階で廃棄物中の石、ガラス、金属、陶磁器の破片などの不燃物と金属などの有用な物質を選別し、残りのごみを熱分解に適した小片に破碎する。また、水分を多く含む廃棄物の場合は脱水、乾燥工程を設ける。

(2) 熱分解炉 乾燥された廃棄物は、ロータリキルン型の熱分解炉において酸素を絶った状態で、500~600℃の温度で間接的に外部から加熱することにより熱分解ガス化が行われる。この段階では木材、繊維、紙、プラスチックといった高分子構造の有機物が分解し、長鎖状の炭化水素分子となってガス化する。このとき、軽質分のほかオイル、タール分もガス体として揮発するが、固体カーボンやがれき、金属などは残渣として残る。なお、熱分解炉の加熱用燃料としてはこのシステムで生成されたクリーンガスを使用するので、エネルギーのむだがない。

(3) ガスクラッカ 熱分解炉で発生した熱分解ガスは、1,000℃以上の高温ガスクラッカ内で、ガス中の分子構造の大きな有機化合物が水素と一酸化炭素が主成分の単純な燃料ガスに改質される。ガスクラッカ内では十分な高温ガス混合状態が一定時間維持されるため、上記反応によりダイオキシン類のような有害物質がほぼ完全に破壊される。また、クラッカの下流ではガス中に酸素がないため、いったん破壊されたダイオキシン類は再合成されることがない。

(4) ガス洗浄装置 クラッカを出たガスは、バグフィルタでダストを除去後、ガス洗浄装置の中で冷却され、湿式洗浄によりそのなかからさらに細かいダス

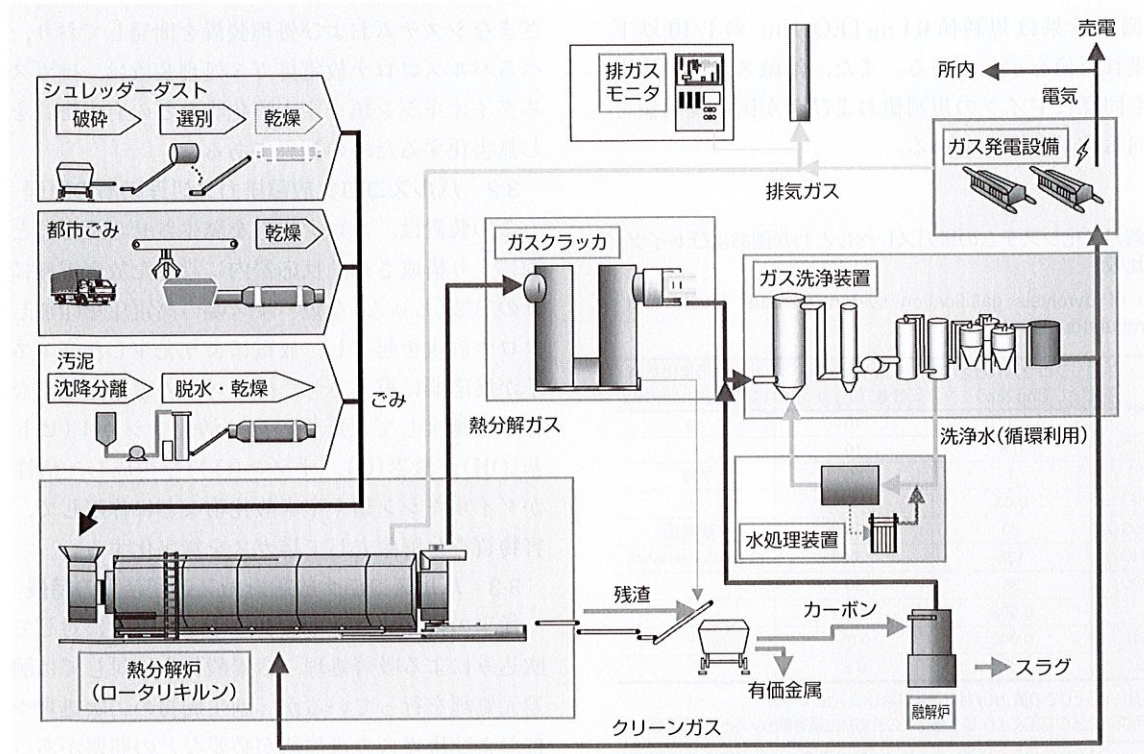


図1. 熱分解ガス化システムの廃棄物処理システムフロー このシステムでは熱分解と高温ガス改質過程を経て、燃料であるクリーンガスと金属、カーボン、スラグなどの有価値物が生み出される。

Configuration of pyrolysis gasification system

ト、塩素分、フッ素分が除去される。湿式洗浄の洗浄水は中和処理を施し洗浄水として再度使用される。洗浄されたガスは脱硫装置で硫黄分が除かれ、完全なクリーンガスとなる。

このシステムでは、空気を必要とする焼却システムに比べ、浄化を必要とするガス量が数分の一程度と小さいので、低コストで効率の良い洗浄処理が行える。

(5) 熔融炉 脱ガスされた熱分解コークスは鉄やアルミニウムなどの有価物を回収した後、熔融炉にて1,400℃以上の高温に加熱され、これによりコークス中の炭素が一酸化炭素に変換するとともに、灰分が熔融しスラグとなる。発生した一酸化炭素ガスはガス洗浄装置へ送られクリーンガスの一部となる。スラグは冷却され、路盤材料などへの利用ができる。

(6) ガスの発電利用 クリーンガスをエンジンやガスタービンに供給し発電を行うことで、効率の良いエネルギー回収ができる。このほか、ボイラの燃料として用い、蒸気や温水で熱供給を行うこともできる。

2.3 排出物の性状

この熱分解ガス化プロセスにおいて、都市ごみを処理した場合に生ずる排気ガスの性状データを表1に示す。これは、ドイツフライベルグで運転されているPKA社の熱分解実証設備(15t/日)での取得データである。

この分析結果によれば、各成分ともにドイツの規制値およびわが国の規制値を大幅に下回っており、特にダイオキシン類の測定結果は規制値0.1ngTEQ/Nm³の1/10以下と非常に優れた値を示している。また、熔融スラグの溶出試験結果も同様にドイツの規制値およびわが国の規制値を大幅に下回る結果を示している。

表1. 熱分解ガス化システムの排ガスレベルとわが国およびドイツ規制値との比較

Comparison of pyrolysis gasification system exhaust levels and prescribed regulatory levels

成分	プロセス代表値 (mg/Nm ³)	ドイツ排出基準 (参考)(mg/Nm ³)	わが国の排出基準 (廃棄物焼却炉)(mg/Nm ³)
ダスト	1	10	40
全有機炭素(TOC)	0.5	10	—
塩化水素(HCl)	1	10	700
フッ化水素(HF)	0.03	1	—
硫黄酸化物(SO _x)	20	50	k 規制値
窒素酸化物(NO _x)	135	200	250 ppm(NO ₂ で513 mg/Nm ³)
一酸化炭素(CO)	38	50	—
水銀(Hg)	0.002	0.05	—
カドミウム(Cd)	0.002	0.05	—
その他重金属	0.07	0.5	—

SO_xは二酸化硫黄(SO₂)としての値、NO_xは二酸化窒素(NO₂)としての値
k 規制値：大気汚染防止法の基準により、硫黄酸化物の許容排出量を算出するときに使う値

成分	プロセス代表値 (ngTEQ/Nm ³)	ドイツ排出基準 (参考)(ngTEQ/Nm ³)	わが国の排出基準 (廃棄物焼却炉)(ngTEQ/Nm ³)
PCDD/PCDF	0.005	0.1	0.1

PCDD/PCDF:ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン/ポリ塩化ジベンゾフラン(ダイオキシン類の化学物質名称)

2.4 開発・実用化の現状

この熱分解ガス化方式を用いた都市ごみプラントが、ドイツのアーレン市で試運転中である。アーレン市は、人口約7万人の典型的な中規模都市で、市全域から収集した日量60tのごみをこのシステムで熱分解処理している。ごみから得られたクリーンガスで1,600kWの発電を行い、余剰となった電力やプラント内から熱回収して得られた熱エネルギーを近隣の市営設備、学校、病院に供給している。熱分解コークスは熔融炉でスラグ化され、最終的に排出されるガラス状スラグは、路盤材などへの利用が検討されている。なお、当社においても京浜事業所内に日量4.6t級の開発実証設備を設け各種の技術検証を進めている。

3 パルスコロナ放電排ガス処理装置

3.1 パルスコロナ放電排ガス処理装置開発の目的

現在都市ごみの焼却排ガスはダイオキシン類や窒素酸化物などさまざまな有害物質を放出し、酸性雨など地球環境に与える影響が問題である。わが国においても排ガス中のダイオキシン類を規制する動きが本格化した。

従来の焼却炉排ガス処理は二次燃焼制御と集塵装置の組合せで行なってきたが、大気汚染防止法および廃棄物処理法の改正によりダイオキシンの排出規制が強化されたことから、効果的な排ガス処理装置が求められている。

当社は環境保護のため保有する先端技術を駆使してさまざまなシステムおよび処理装置を開発しており、ここで述べるパルスコロナ放電排ガス処理装置は、排ガスに含まれるダイオキシン類や窒素酸化物などの有害物質を分解除去し無害化するための装置である。

3.2 パルスコロナ放電排ガス処理装置の原理

この装置は、コロナ放電を発生させる反応器とパルス電源により構成され、反応器内に設けた放電電極に電圧立上りの急峻(しゅん)な短パルス幅の高電圧を印加してパルスコロナ放電を起こし、放電により発生した高エネルギー電子が反応器に導入された排ガス中の窒素や酸素などのガス分子に衝突して反応性の高い活性ラジカル(ヒドロキシル基(OH)、酸素(O)、オゾン(O₃))を生成し、活性ラジカルがダイオキシン類や窒素酸化物などに作用して、これら有害物質を分解除去して排ガスは無害化する。

3.3 パルスコロナ放電排ガス処理装置の特長

従来の排ガス処理は、ダイオキシン類に対しては活性炭吹込みによる吸着処理、窒素酸化物に対しては触媒による還元処理を行っているが、副生成物の二次処理や触媒の保持および排ガスの再加熱が必要などの問題があった。

この装置は、ダイオキシン類など有害物質の構造自体を直接分解するので吸着処理のような二次処理が不要で、また乾式処理のため排水処理が不要である。さらに、動作を

電気の制御で行うため、焼却炉の起動や停止による排ガス流量やガス性状の変化などの負荷変動に対し放電投入電力制御により対応できる。

また、パルス電源のスイッチング素子に半導体素子を採用することで、高繰返しでの長寿命化を可能とし、メンテナンスフリー化を実現して保守コストを大幅に削減した。

3.4 パルスコロナ放電排ガス処理装置の性能検証

当社研究所内での模擬排ガスによる検証に続き、小型の反応器によるフィールド試験を実施し、実際の焼却炉排ガスに対する性能検証試験を行なった。フィールド試験では、ダイオキシン類分解率 80% 以上の性能が実際の焼却炉排ガス下で検証され、この装置の有効性が確認された。

現在この経験を基に、放電条件などの改善によるさらなる性能向上を旨とした模擬排ガスによる実験と、装置の大型化に向けて図2に示す排ガス量 1,000 Nm³/h 級の実証装置による、反応器およびパルス電源の設計仕様と性能検証のための実証試験を実施中である。なお、都市ごみ清掃工場における排ガス量 5,000 Nm³/h 級の装置による実証試験を計画中である。

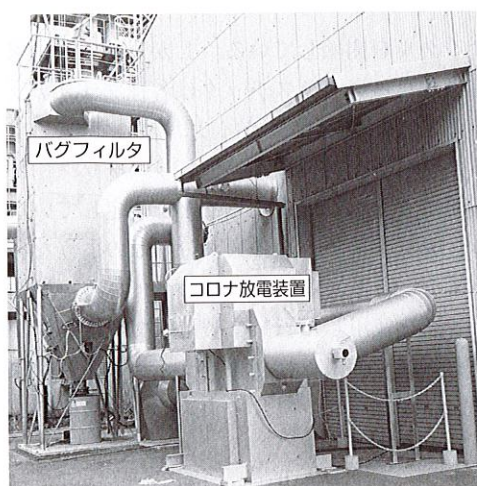


図2. 実証試験機(1,000 Nm³/h) 装置の大型化に向けて、定格ガス量 1,000 Nm³/h の反応器による焼却炉実排ガスをを用いた実証試験を実施した。

Pulse corona discharge gas treatment reactor for verification test

3.5 パルスコロナ放電排ガス処理装置の効果

人体など生態系への影響が懸念されるダイオキシン類や、地球環境破壊の要因となっている窒素酸化物などの有害物質を排ガス中から除去するための装置が、パルスコロナ放電排ガス処理装置である。

都市ごみ焼却炉の排ガス規制対策として新設工事はもちろん、既存焼却炉に対し、ダイオキシン類濃度を新たな法的規制値以下に低減させるための排ガス対策として、既存設備プロセスを変えずにこの装置を追加することができる。

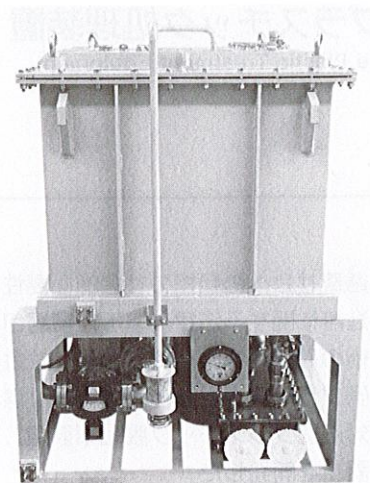


図3. 半導体パルス電源 半導体スイッチの採用により長寿命化と高信頼性を実現し、保守コストの大幅な削減を達成した。また、磁気パルス圧縮回路などで小型・高効率化を実現した。

All-solid-state pulsed power generator

3.6 半導体パルス電源

図3に示すパルスコロナ放電発生用の電源には、半導体スイッチを採用することでスイッチの長寿命化と高信頼性を実現し、従来のサイラトロンスイッチやギャップスイッチのような定期的な交換が不要となり、メンテナンスフリーを実現し、保守コストを大幅に削減できた。

また、磁気パルス圧縮回路およびパルストランスはコア材料やコイル形状の最適化により小型・高効率化を実現し、電源装置として充電回路などをすべて内蔵化し、取扱いの容易なユニット化された装置とすることができた。

4 あとがき

廃棄物処理に対して排出規制の強化や資源リサイクルの要求が高まりつつあるなかで、ここで述べたような優れた次世代の廃棄物処理技術への期待は大きい。今後社会の要求がますます変化していくものと考えられるが、当社は使命感をもってその要求にこたえるリサイクルシステムを提供していきたいと考えている。



唐戸 茂樹 KARATO Shigeki

環境事業推進本部 環境プラント技術グループ主務。
熱分解ガス化プラントのシステム設計に従事。
廃棄物学会会員。

Environmental Management Business Group



福島 和彦 FUKUSHIMA Kazuhiko

環境事業推進本部 環境システム技術部主務。
パルスコロナ放電排ガス処理装置のエンジニアリングに従事。

Environmental Management Business Group