

第41回 優秀環境装置

平成27年6月

主 催 一般社団法人 日本産業機械工業会
後 援 経 済 産 業 省

序

本書は経済産業省の後援のもと、一般社団法人日本産業機械工業会が実施した平成26年度「第41回優秀環境装置の表彰事業」において受賞した優秀な環境装置の概要をまとめたものである。

国内市場が少子高齢化や人口減少で縮小する中、政府は成長戦略の一環としてインフラ輸出をする民間企業を後押しし、アジアの豊富な需要を取り込む方針を打ち出している。特にASEAN諸国やインドなどではインフラ需要が急増している。汚水の処理システムや発電効率の高い石炭火力発電など世界最高水準の技術をアピールする戦略であり、官民一体となって取り組む方針である。一方、近年では中国や韓国の低価格のアピールにより、厳しいビジネス展開となっているが、周辺環境への影響の少ない「インフラの質」の重要性も訴え輸出拡大を目指している。

我が国では、過去に深刻な環境問題に直面し、国、民間が協力して問題を克服してきた経験を有している。民間企業においては厳しい法規制に対応するため、環境装置の改良・開発に注力し、今日のような住み良い生活環境を作り上げ、持続可能な社会創りに大いに貢献してきた実績があり、この経験と実績が必ずや発展途上国における環境問題の解決に大いに役立つものと確信している。

本事業は優秀な環境装置・システムを表彰し広く公表することで、環境保全技術の研究・開発を一段と促進し、そうした技術・装置の普及により、地球環境の保全に資することを目指すものである。

本事業の実施にあたり格別のご支援を賜りました経済産業省、環境省、中小企業庁、優秀環境装置審査委員会委員、優秀環境装置審査WG委員、並びに関係各位に厚く御礼を申し上げます次第である。

平成27年6月

一般社団法人 日本産業機械工業会
会 長 佃 和 夫

第 41 回優秀環境装置

— 目 次 —

・ 第 41 回優秀環境装置審査報告	1
・ 第 41 回優秀環境装置審査委員会名簿	2
・ 表彰装置及び応募数・受賞数	3
・ 経済産業大臣賞 「過給式流動焼却システム」	5
・ 経済産業省産業技術環境局長賞 「環境負荷低減に資する触媒脱硝装置のオンサイト再生システム」	11
・ 中小企業庁長官賞 「全自動スラリー回収脱水装置（ドライセパレータ）」	23
・ 日本産業機械工業会会長賞（応募申請書受付順） 「油煙除去装置」	31
「高水銀酸化型触媒を用いた脱硝装置」	35
「次世代型旋回流動床焼却システム」	43

第 41 回 優秀環境装置審査報告

優秀環境装置審査委員会
委員長 指宿 堯嗣

優秀環境装置の表彰事業は一般社団法人日本産業機械工業会が経済産業省のご後援のもとに昭和 49 年度から実施しているもので、優秀な環境装置やシステムを表彰することにより、「持続可能な循環型経済社会」を実現するための環境保全技術の研究・開発及び優秀な環境装置の普及を促進し、我が国環境装置産業の振興を図ることを目的としている。

本年度の表彰事業は、平成 26 年 12 月 8 日から平成 27 年 1 月 20 日までの約 1 ヶ月半にわたって公募した。

その結果、全国から大気汚染防止装置〔4 件〕、水質汚濁防止装置〔2 件〕、廃棄物処理装置〔4 件〕、騒音・振動防止装置〔1 件〕、再資源化装置〔2 件〕、その他環境負荷低減に資する装置〔2 件〕の応募があった。複数の分野にわたる応募もあったことから、件数としては、合計 10 件であった。審査は、優秀環境装置表彰実施要綱及び優秀環境装置審査要綱の規定に基づいて次のような手順で慎重かつ厳正に行った。

まず、優秀環境装置審査WGにおいて、応募のあった環境装置に関し、その独創性、性能、経済性及び将来性の各指標について一次評価を行った上で、実地調査を行い、評価報告を取りまとめた。

次いで、優秀環境装置審査委員会において、審査WGから上程のあった評価報告を総合的に勘案し審査を行い、第 41 回優秀環境装置の経済産業大臣賞 1 件、経済産業省産業技術環境局長賞 1 件、中小企業庁長官賞 1 件、日本産業機械工業会会長賞 3 件を選定した。

以上の受賞各装置は、いずれも地球環境の保全に極めて有効な優秀装置として高く評価されたものであり、今後の普及を期待すると共に開発にあたられた各社のご努力に心から敬意を表したい。

第 41 回 優秀環境装置審査委員会名簿

審査委員会

(委員長)

指宿 堯嗣 一般社団法人産業環境管理協会 技術顧問
(元、独立行政法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門長)

(委員)

黒田 篤郎 経済産業省 製造産業局長
片瀬 裕文 経済産業省 産業技術環境局長
北川 慎介 経済産業省 中小企業庁長官
中井徳太郎 環境省 大臣官房審議官
小林 憲明 一般財団法人日本品質保証機構 理事長
久貝 卓 日本商工会議所 常務理事
庄山 悦彦 一般財団法人機械振興協会 会長
岡村 正 一般社団法人日本機械工業連合会 会長
鈴木 孝治 慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 教授
大和田秀二 早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科 教授
黒岩 進 一般社団法人産業環境管理協会 専務理事
佃 和夫 一般社団法人日本産業機械工業会 会長
中澤 佐市 一般社団法人日本産業機械工業会 専務理事

審査WG

(主査)

竹内 浩士 国立研究開発法人産業技術総合研究所 評価部 首席評価役

(委員)

田中 幹也 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門 研究部門長
辰巳 憲司 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門
環境微生物研究グループ 客員研究員
加茂 徹 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門
資源精製化学研究グループ 上級主任研究員
名木 稔 一般社団法人産業環境管理協会 資源・リサイクル促進センター 所長
遠藤小太郎 一般社団法人産業環境管理協会 人材育成・出版センター 所長
高野 正好 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
省エネルギー部 国際グループ 主幹
栗山 一郎 一般財団法人日本環境衛生センター 技術審議役
石田 貴 公益財団法人日本下水道新技術機構 資源循環研究部 部長
庄野 勝彦 一般社団法人日本産業機械工業会 常務理事

第41回 優秀環境装置 表彰装置及び応募数・受賞数

<経済産業大臣賞>

「過給式流動焼却システム」
月島機械株式会社
国立研究開発法人 土木研究所
三機工業株式会社

<経済産業省産業技術環境局長賞>

「環境負荷低減に資する触媒脱硝装置の
オンサイト再生システム」
株式会社 タクマ

<中小企業庁長官賞>

「全自動スラリー回収脱水装置
(ドライセパレータ)」
株式会社 アメロイド日本サービス社

<日本産業機械工業会会長賞> (*応募申請書受付順)

「油煙除去装置」
集塵装置株式会社
「高水銀酸化型触媒を用いた脱硝装置」
三菱日立パワーシステムズ株式会社
「次世代型旋回流動床焼却システム」
荏原環境プラント株式会社

応募数と受賞数

分 野	応募件数	受賞件数
大気汚染防止装置	4	3
水質汚濁防止装置	2	1
廃棄物処理装置	4	3
騒音・振動防止装置	1	0
土壌・地下水汚染修復装置	0	0
再資源化装置	2	0
その他環境負荷低減に資する装置	2	1
合 計	10 ^{**}	6 ^{**}

※複数の分野にわたる応募申請が含まれるため合計値は合いません。

経済産業大臣賞

「過給式流動焼却システム」

月島機械株式会社／国立研究開発法人土木研究所／三機工業株式会社

1. 開発経緯

1.1 開発経緯

現在、下水汚泥の焼却炉は 80%以上流動炉方式が採用されている。流動炉は多量の熱媒体（珪砂）が高温に維持されているため、高含水率の下水汚泥を安定して焼却することができる。しかしながら、多量の熱媒体を流動させるためのエネルギーが必要であり、大きな電力を消費している。また、高含水率のため、大半の焼却炉は補助燃料を多量に使用している。さらに、汚泥中には N 分が比較的高く、亜酸化窒素（ N_2O ）が生成・排出されている。

これらの背景から、下水道分野においては低炭素化社会、循環型社会の構築に寄与するために、温室効果ガス排出量増加が著しい下水汚泥の焼却処理の効率化、省エネ化等、温室効果ガス排出量の抑制を進めることが重要であった。下水処理場における汚泥処理では、気泡流動炉が主流となっているが、こうした要求に応える汚泥焼却プロセスとして省エネルギーと低 N_2O 発生量を両立したシステムが求められていた。

そこで、過給機による加圧燃焼システムによりエネルギー効率向上・付帯設備削減（コンパクト化）を目標に、下記の機関・民間企業と共に開発を実施した。

平成 13 年～16 年 システムの調査・研究

平成 17 年～22 年 実証試験実施

特に平成 17 年～19 年は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と共同研究

1.2 共同開発

月島機械株式会社 / 三機工業株式会社 : システム構築、実証設備建設、実証運転

国立研究開発法人土木研究所 : 既存ニーズ発掘、システム評価、普及・促進

国立研究開発法人産業技術総合研究所 : 基礎燃焼調査、燃焼解析・評価

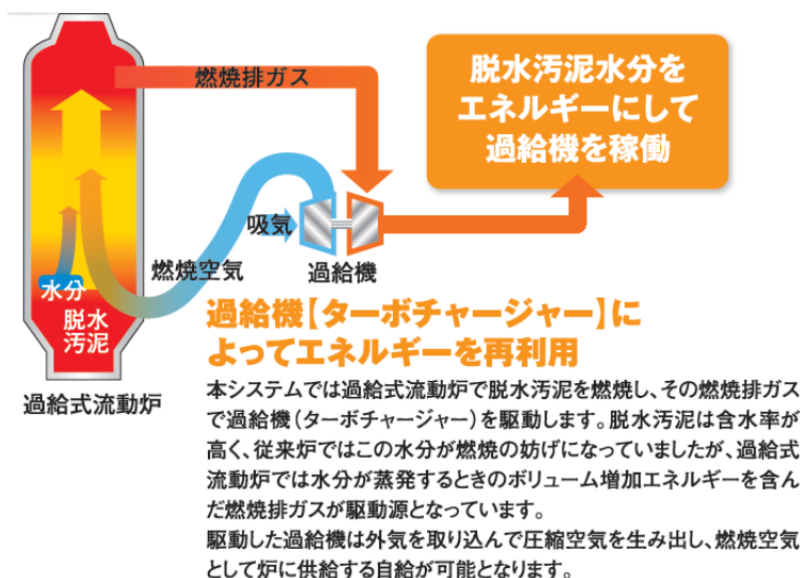
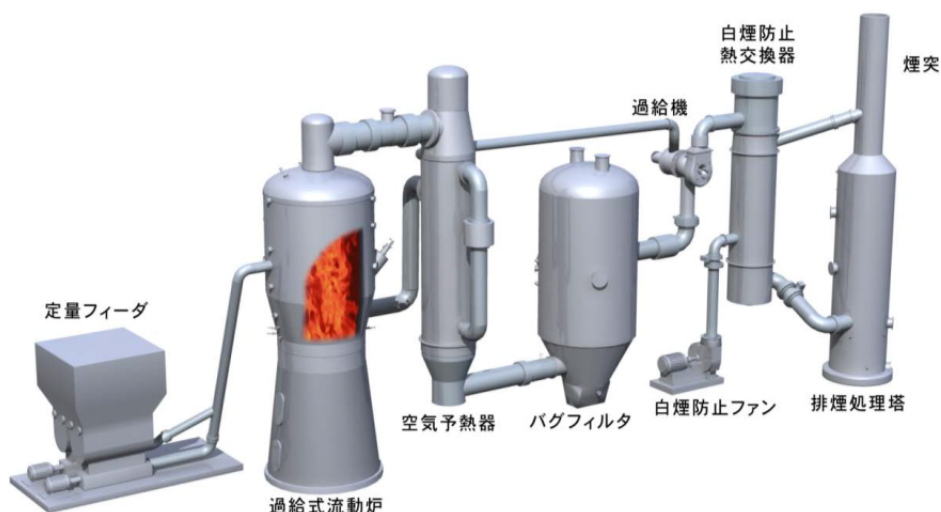
2. 装置説明

2.1 構造、原理

過給式流動燃焼システム（過給式流動炉またはターボ型流動炉）は気泡流動炉に過給機（ターボチャージャー）を組合せて構成されている。本システムでは、脱水汚泥を約 120～140kPa・G の圧力下で燃焼させる。燃焼に伴って発生した燃焼排ガスは圧力を有するの

で圧力の低い煙突に向かって流れて空気予熱器、集塵機を経て過給機に導入される。

さらに過給機では燃焼排ガスの圧力で過給機タービンが駆動され、反対の過給機コンプレッサーに吸引された空気が圧縮されて圧縮空気が製造される。この圧縮空気が空気予熱器で予熱された後、焼却炉に燃焼空気として供給される。焼却炉と過給機の動きは内燃機関における燃焼室とターボチャージャーと全く同じであり、燃料である汚泥が連続供給されていれば、送気および排気動力なしでシステムが自立する。



2.2 特許の有無

「可燃物からのエネルギー回収方法および回収設備」

登録番号 3952287

「有機性廃棄物の処理方法及び処理設備」

登録番号 4045337

「汚泥処理システム及び方法」

登録番号 3783024

「加圧流動焼却設備及びその立ち上げ方法」

登録番号 4714912

「加圧流動焼却設備及びその立ち上げ方法」

登録番号 4771309

「汚泥処理設備および汚泥処理方法」	登録番号 4930932
「廃棄物処理設備および廃棄物処理方法」	登録番号 4831309
「有機性廃棄物処理システム及び方法」	登録番号 5482792
「加圧流動焼却炉の運転方法及び加圧流動焼却炉設備」	登録番号 5401302
「加圧流動焼却炉の運転方法及び加圧流動焼却炉設備」	登録番号 5401303

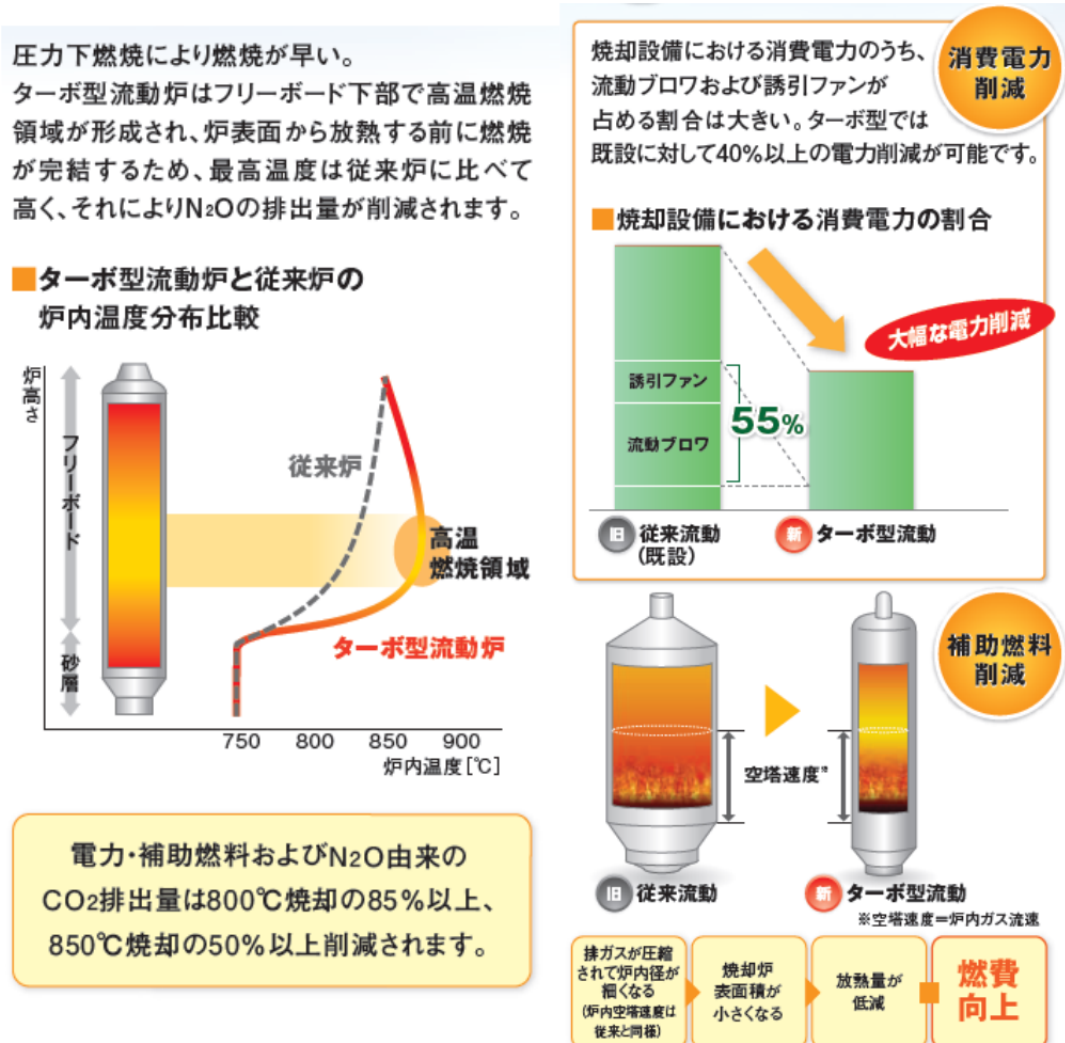
他、登録特許 10 件、公開特許 8 件（出願人の組み合わせは出願時期によって異なる。）

2.3 性能

本システムは、加圧燃焼により焼却炉下部（フリーボード下部）にて高温領域が生成され、 N_2O 分解が促進されるため従来システムによる高温焼却炉と比較しても「 N_2O 排出量：約 50%削減」が可能。

自立運転状態では、従来システムに必要であった流動ブロウと誘引ファンの運転が不要となり「消費電力：約 40%以上削減」が可能。また、加圧燃焼であるため焼却炉が同処理量の従来焼却炉に比べて炉径が小さく（表面積 小）、放熱量が少なくなるため「補助燃料使用量：約 10%以上削減」が可能。

そのため、省エネルギーかつ低環境負荷が実現可能な設備である。

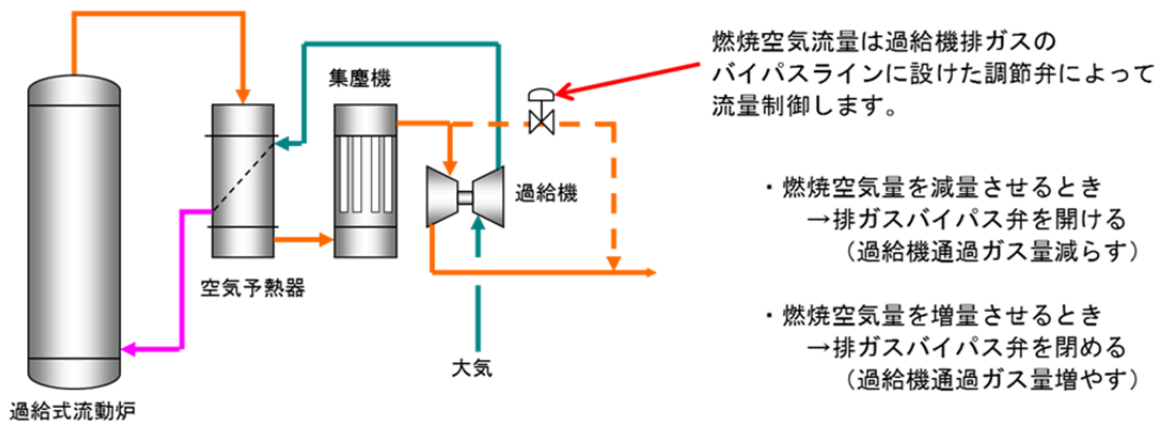


2.4 維持管理

従来システムにはない「過給機」を採用しているものの、誘引ファンが不要となっておりメンテナンス性・維持管理コストは同程度である。

また、運転・操作性においても、過給機の仕事を実自動調整することによって燃焼空気量を自動的に制御しており、従来システムと同等である。

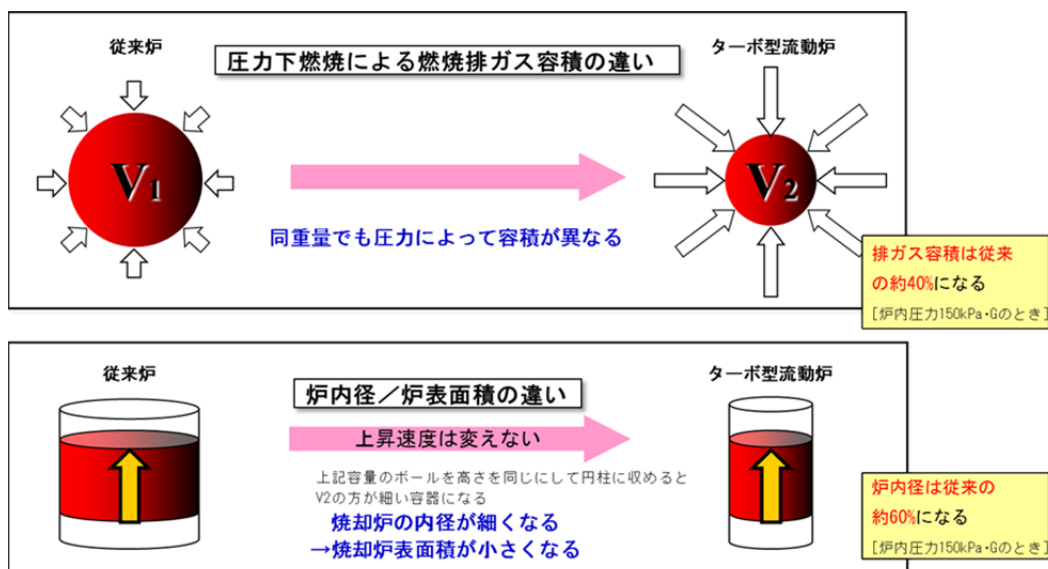
過給式流動燃焼システム燃焼空気調整方法



2.5 経済性

加圧燃焼は、最大で約 150kPa・G の圧力下であるため燃焼空気および燃焼排ガスが圧縮されており、機器が従来と同処理規模と比べて小さくなる（細くなる）。

したがって、配置のコンパクト化が図れ、建設費等の縮減が可能。



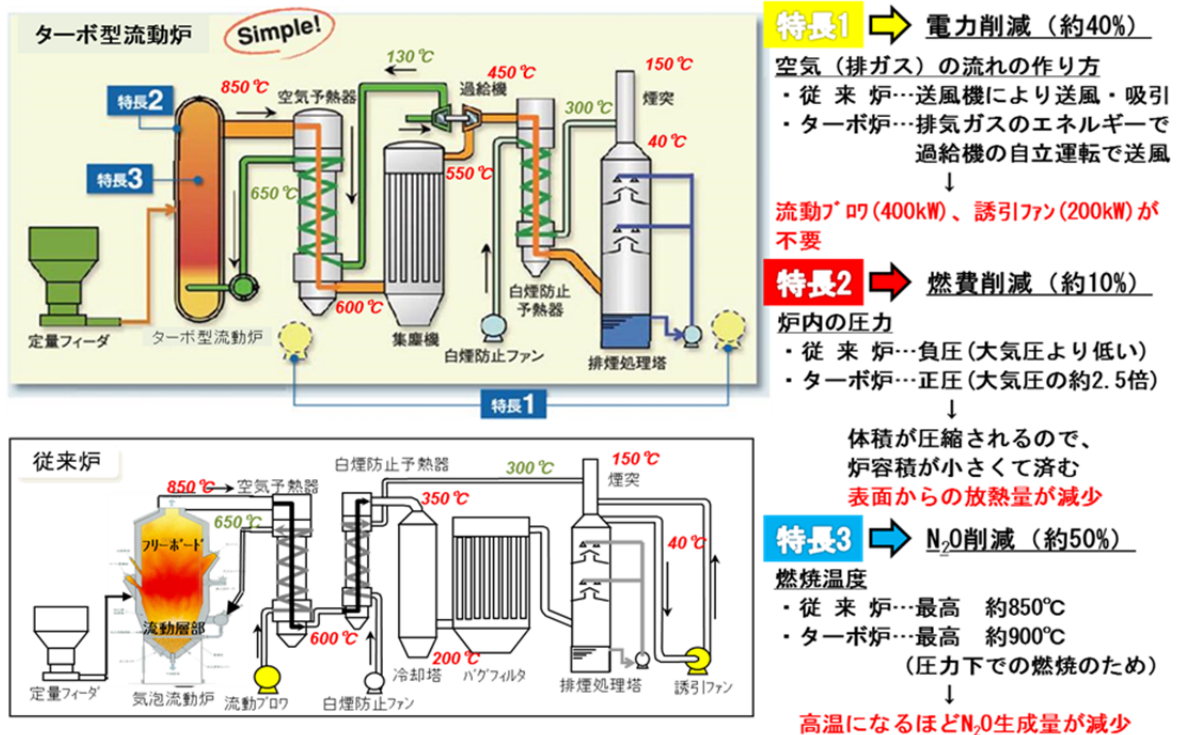
第1号機における設備の設置面積は、従来気泡流動炉の約 1,040m² に対して、本システムは約 620m² となる。新規設置する場合は、土木工事（床盤工事）費および架台が削減可能となる。

また、第1号機におけるCO₂排出量は300t/日規模1炉で従来炉に比べて年間約9,000t削減可能である。

2.6 将来性

国内の下水汚泥焼却炉で主流であった気泡流動炉が15～20年稼働を続けており、今後老朽化の進んだ設備の更新・改築が行われると考えられる。(全国約300基程度の焼却炉の内、約8割が気泡流動炉)

代替プロセスとして、本システムは最適と考えられる。



全国で稼働している下水汚泥の気泡流動炉約240基の内半数で本システムが採用されるとして試算すると、年間約22億円の電力費が軽減されることになり、年間約36万tのCO₂排出量が削減される。

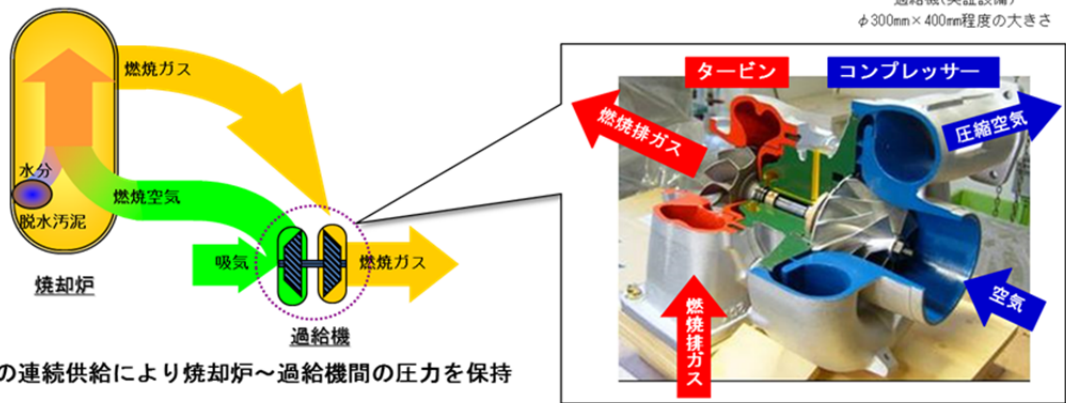
2.7 独創性

従来焼却炉と過給機を組み合わせることで加圧下で汚泥を焼却して、自らの排ガスの圧力エネルギーで燃焼空気を自給している。石炭による発電でも採用されている技術であるが、水分の多い廃棄物である下水汚泥に適用して本来燃費を悪くしていた水分が多く含まれる排ガスに圧力エネルギーを与え、これを過給機の回転エネルギーから燃焼空気の圧力エネルギーに転換するところに独創性がある。

過給機によるエネルギー転換

汎用過給機の活用

■ 燃焼排ガスの圧力でタービンを駆動して圧縮空気を製造



◇ 汚泥の連続供給により焼却炉～過給機間の圧力を保持

◇ 過給機で圧力エネルギー転換が繰り返される

過給機1台で、**流動ブロワおよび誘引ファンを兼ねるため電力約40%削減**
(立ち上げ用の起動用ブロワは必要だが負荷運転時には停止できる)

2.8 今後の規制に対する対応策

今後、仮に N₂O 排出量が規制を受けるようになった場合、本システムは従来気泡流動炉よりも高温の燃焼領域が形成されるため、燃費が悪化することなく N₂O 排出量を低減できる。

経済産業省 産業技術環境局長賞 「環境負荷低減に資する触媒脱硝装置の オンサイト再生システム」

株式会社 タクマ

1. 開発経緯

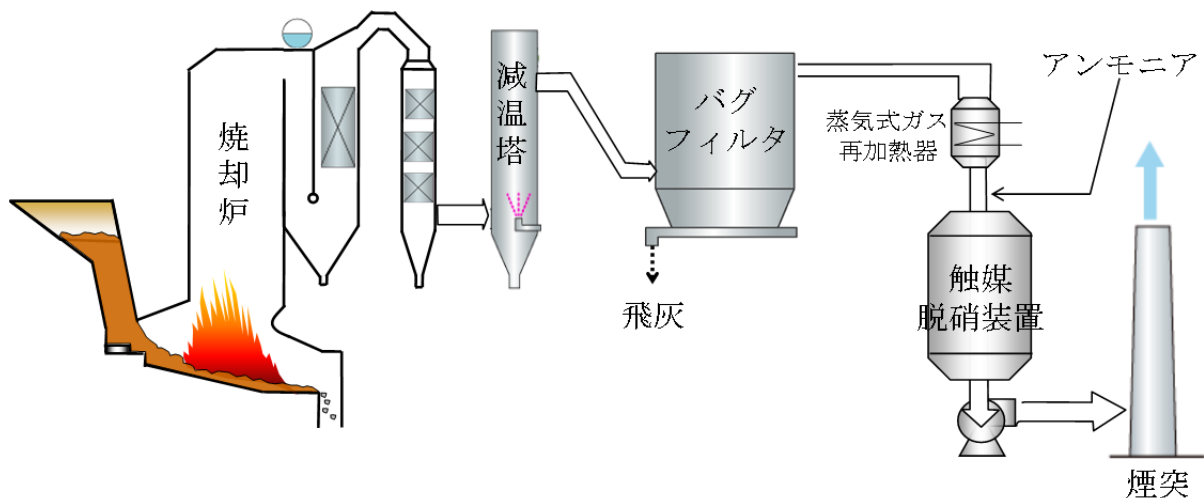
1.1 開発趣旨

都市ごみ焼却施設では窒素酸化物やダイオキシン類を高効率除去するため触媒脱硝装置を設置している。触媒脱硝装置ではアンモニアを噴霧し、塔内に設置する触媒の作用により窒素酸化物と反応させ、無害な窒素と水に分解し除去しているが、アンモニアと排ガス中の硫黄酸化物が反応すると硫酸や酸性硫酸が生成される。硫酸や酸性硫酸が触媒に付着すると、触媒の脱硝性能とダイオキシン類分解性能が低下するため（触媒の劣化）、未反応のアンモニアが煙突から排出される。硫酸や酸性硫酸の付着により劣化した触媒は、触媒に付着した硫酸や酸性硫酸を除去することによって、性能を回復させることができ（触媒の再生）、都市ごみ焼却施設では、劣化した触媒を再生して再利用している。

従来、劣化した触媒は触媒脱硝装置から取り外された後、特定の施設へ輸送し再生を行っていた。（施設規模等により異なるが、触媒脱硝装置 1 基あたりの設置触媒量は、約 5～50m³ 程度）そのため、触媒の取り外し・輸送・再生・取り付けまでの工程に時間を要し、1～2 ヶ月以上の休炉期間が必要であった。また、触媒の取り外し・輸送・再生・取り付け時に触媒が破損するリスクがあるため、2～3 回再生した後は、新品の触媒を購入する必要があった。

そこで当社では、短期間での触媒の再生が可能で、触媒の破損がなく、半永久的に使用することが可能となるシステムとして、触媒を触媒脱硝装置に設置した状態のまま再生を行う、『触媒脱硝装置オンサイト再生システム』を開発した。

本システムが可能となれば、容易に触媒の再生が実施できることから、従来の再生方法では実施が困難であった 1 回/年程度の触媒再生が可能となる。頻繁に触媒の再生を行って初期性能まで触媒の性能を回復させることによって触媒の劣化速度が速い低温運転が可能となり、ガス再加熱器で使用するガス再加熱用蒸気使用量の削減による発電量の増加やそれに伴う CO₂ 排出量の削減が可能となる。



図・1 一般的な都市ごみ焼却フロー

さらに新規の都市ごみ焼却施設では、本システムの採用を前提とした触媒脱硝装置を設計することにより触媒設置量の削減が可能となる。それに伴い触媒脱硝装置の機器圧損が低減し、誘引送風機の電力消費量が削減できる。

また、本システムは、都市ごみ焼却施設に限らず触媒脱硝装置を設置し、硫安や酸性硫安の付着により触媒の劣化が生じる産業廃棄物焼却施設や、ボイラ・発電施設に対しても導入可能である。

1.2 開発目的

- ① オンサイト再生システムの触媒再生方法を確立すること。
- ② 初期性能まで触媒の性能を回復させること。
- ③ 一般に都市ごみ焼却施設の寿命と言われる 20 年間の中で年 1 回の再生を想定し、20 回再生しても触媒の性能が回復し、触媒に破損が生じないこと。

1.3 開発経緯

STEP1：基礎試験

実験室規模で都市ごみ焼却施設で実際に使用して劣化した触媒を用い、加熱空気を一定時間通風して、触媒の性能が初期性能まで回復することを確認した。

STEP2：現場再生模擬試験

当社の試験設備において触媒の劣化・再生を繰り返し行い、20 回繰り返し再生後も初期性能まで触媒の性能が回復し、触媒に破損が生じないことを確認した。また同時に、本試験設備を用いて都市ごみ焼却施設で実際に使用して劣化した触媒の性能が初期値まで回復することを確認した。

実機導入

2014 年クリーンセンターかしはら殿（2003 年竣工 施設規模：85t/日・炉×3 炉）に本

システムの1号機を納入した。2014年6月に3号炉、2014年11月に1号炉の触媒再生を実施し、実機においても初期性能まで触媒の性能が回復することを確認した(2号炉は2015年1月末に実施予定)。今後、1回/年/炉の頻度で再生を実施する予定である。

2. 装置説明

2.1 構造、原理

図-2に触媒脱硝装置オンサイト再生システムの概要を示す。

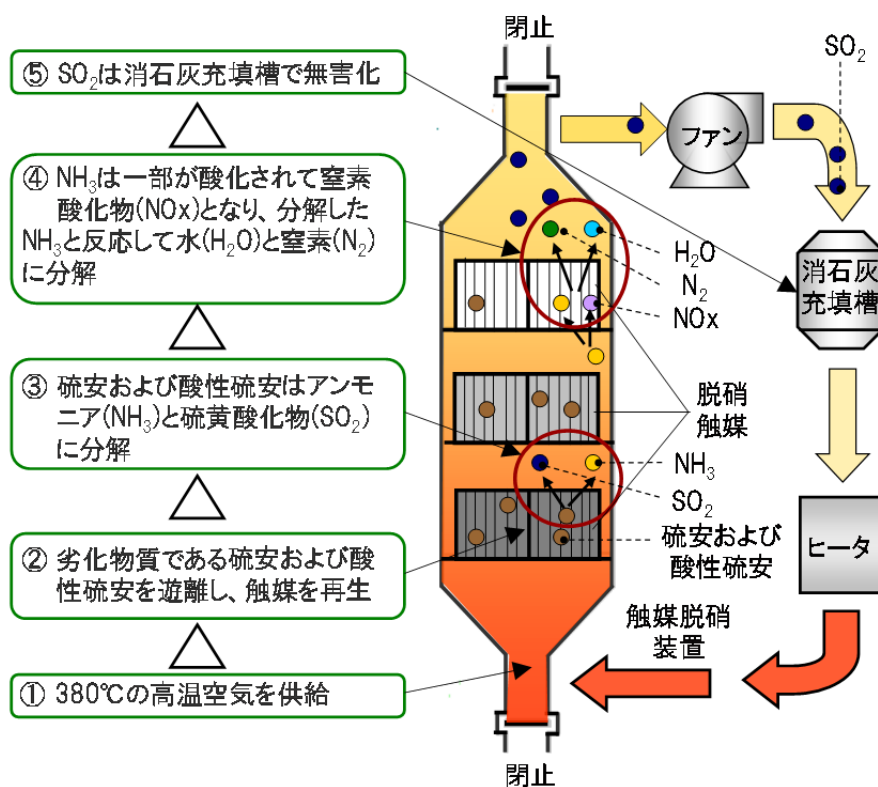


図-2 触媒脱硝装置オンサイト再生システム概要

触媒脱硝装置オンサイト再生システムはファン、消石灰充填槽、ヒータ、循環ダクトで構成される。循環ダクトを除く機器については、共通設備として複数炉に対して1基とすることができ、イニシャルコストの削減を図っている。



写真-1 消石灰充填槽

本システムは、触媒脱硝装置内の触媒を 380℃以上に加熱することで、触媒の劣化の原因物質である硫酸および酸性硫酸を分解し触媒再生を行うものである。

硫酸の分解反応（分解温度：約 280℃）： $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{NH}_3$

酸性硫酸の分解反応（分解温度：約 360℃）： $\text{NH}_4\text{HSO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + 1/3\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 1/3\text{N}_2$

硫酸および酸性硫酸を分解する過程で SO_2 と NH_3 が発生する。 SO_2 は消石灰充填槽内の消石灰にて吸着除去する。消石灰は触媒に付着すると劣化の要因となるため、飛散しないよう粉体ではなく、ペレット状に加工したものを使用する（写真-2）。

SO_2 の吸着除去反応： $\text{SO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$



写真-2 消石灰ペレット

硫酸および酸性硫酸の分解により生じた NH_3 は脱硝触媒の酸化作用により一部酸化され、窒素酸化物となる（380℃において酸化率 30%程度）。生成された窒素酸化物は、脱硝触媒の還元作用により NH_3 と反応して、無害な窒素と水に分解除去される。

NH_3 の酸化反応（触媒による酸化）： $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$

NO の還元反応（触媒による還元）： $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

2.2 特許の有無

表-1 に本システムに関する出願済み特許を示す。

表-1 出願済み特許

No.	登録番号（公開番号）	名称
1	特 4840990	触媒の再生方法と再生設備
2	特 5121637	脱硝触媒の再生方法、脱硝触媒の再生装置およびこれを用いた排ガス処理装置
3	特開 2014-151252	脱硝触媒の再生装置、脱硝触媒の再生方法およびこれを用いた排ガス処理装置

2.3 性能

(1) 脱硝性能の回復度

脱硝性能の回復度の評価は下記の指標を用いる。なお、脱硝性能とダイオキシン類分解性能には相関がみられることから、脱硝性能の回復度で評価を行っている。

$$k/k_0 = \frac{\ln(1-\eta)}{\ln(1-\eta_0)}$$

η : 再生後の脱硝率
 η_0 : 初期（新品）の脱硝率

※ k/k_0 は触媒の劣化度を表す指標であり、1未満で劣化していることを表す。

STEP1：基礎試験

実験室規模で都市ごみ焼却施設で実際に使用して劣化した触媒を用いて触媒の再生に必要な基礎データ（脱硝性能の回復度と温度との関係）の調査を行った。

調査の結果、空気温度 360℃では触媒の性能回復度にばらつきが見られたが、空気温度 380℃では k/k_0 が安定して初期性能まで回復することを確認した。

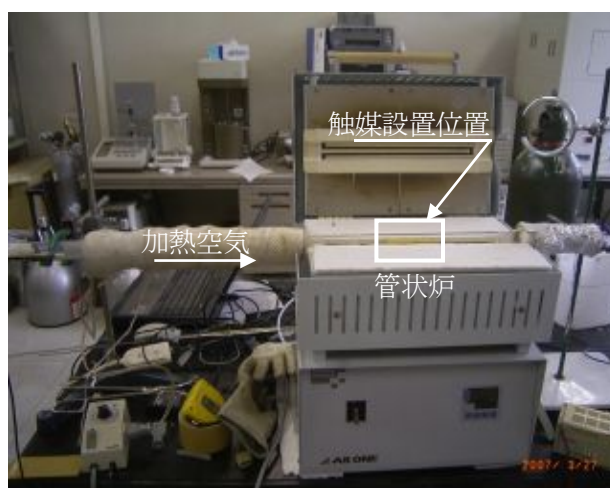


写真-3 基礎試験装置

STEP2：現場再生模擬試験

当社の試験設備において触媒の劣化・再生を 20 回繰り返し行った。試験結果を図-3 に

示す。再生後の k/k_0 は全て 1 以上であり、20 回再生後にも脱硝性能が初期性能まで回復することを確認した。また、20 回再生時点において再生後の k/k_0 に減少傾向が見られないことから 20 回以上再生可能であると判断した。

なお、再生後の脱硝性能が、初期値 ($k/k_0=1$) を上回っているが、これは、触媒の細孔に侵入した硫酸や酸性硫酸が細孔を押し広げることにより新たな細孔が生じて触媒の細孔容積が増加したためと考えられ、従来の方法で再生した際にもみられる傾向である。

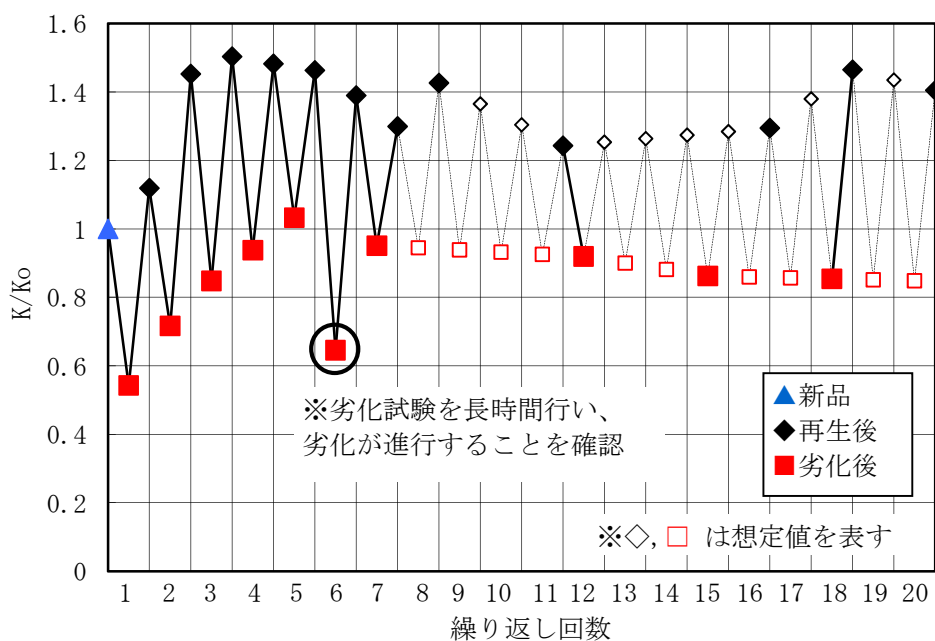


図-3 現場再生模擬試験結果

また、本試験は、触媒の劣化を加速的に実施しており、実際の都市ごみ焼却施設で使用して劣化したものと劣化速度が異なるが、本試験設備を用いて都市ごみ焼却施設で実際に使用して劣化した触媒の脱硝性能が、初期値まで回復することを確認した (表-2)。

表-2 実使用触媒の再生試験結果

	再生前	再生後
k/k_0	0.36	1.06

新品触媒と 20 回再生後触媒の圧縮強度を測定した結果を表-3 に示す。新品触媒と 20 回再生後の圧縮強度はほぼ同じであることから、繰り返し再生による破損のリスクはないと判断した。

表-3 触媒の圧縮強度

	圧縮強度[kg/cm ²]	
	縦	横
新品触媒	15.1	2.0
20回再生後触媒	15.8	2.2

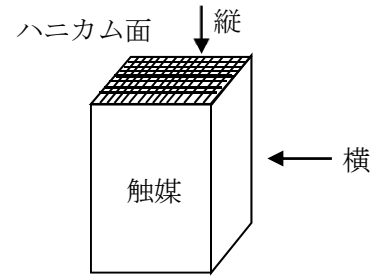


図-4 圧縮強度試験サンプル

実機導入

1) 触媒分析による性能回復度の確認

2014年クリーンセンターかしはら殿に触媒再生装置の1号機を納入し、実機において触媒の再生を行った(全3炉中2014年12月時点で2炉の再生を完了した)。触媒再生前後の触媒分析結果を表-4に示す。触媒脱硝装置に設置している全3段の触媒の分析を行った。再生前には触媒脱硝装置平均のk/k₀が0.43まで低下していたのに対し、再生後には1以上となっており、脱硝性能が初期性能まで回復していることを確認した。

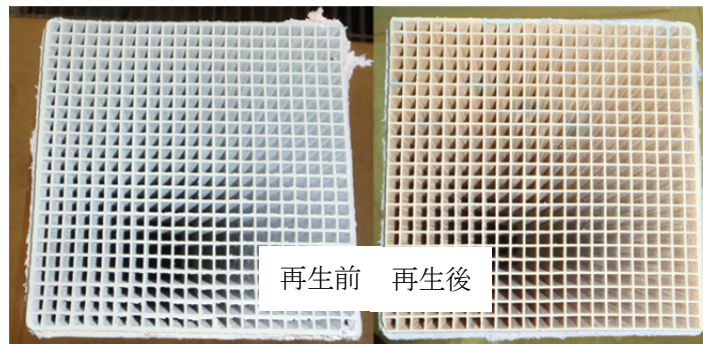


写真-4 触媒写真

表-4 触媒分析結果

触媒 採取位置		k/k ₀		
		3号炉再生前 (2012年7月)	3号炉再生後 (2014年7月)	1号炉再生後 (2014年11月)
ガス流れ ↑	3段目 上	0.48	0.95	1.10
	3段目 下		1.00	1.00
	2段目 上	0.48	1.29	1.02
	2段目 下		1.12	1.32
	1段目 上	0.32	1.34	1.01
	1段目 下		1.17	1.04
平均		0.43	1.13	1.07
初期		1.00		

2) 排ガス測定による性能回復度の確認

① 排ガスアンモニア濃度

触媒再生前後の排ガスアンモニア濃度を図-5に示す。再生前は、触媒の性能が低下していたため窒素酸化物と反応しないアンモニアが煙突より排出されていた。再生後、触媒の脱硝性能が初期性能まで回復し、排ガスアンモニア濃度が約1ppm以下まで低下したことを確認した。

また、触媒の性能が回復し、窒素酸化物と反応しないアンモニア量が減少したことにより、アンモニア使用量が約12%低減した。

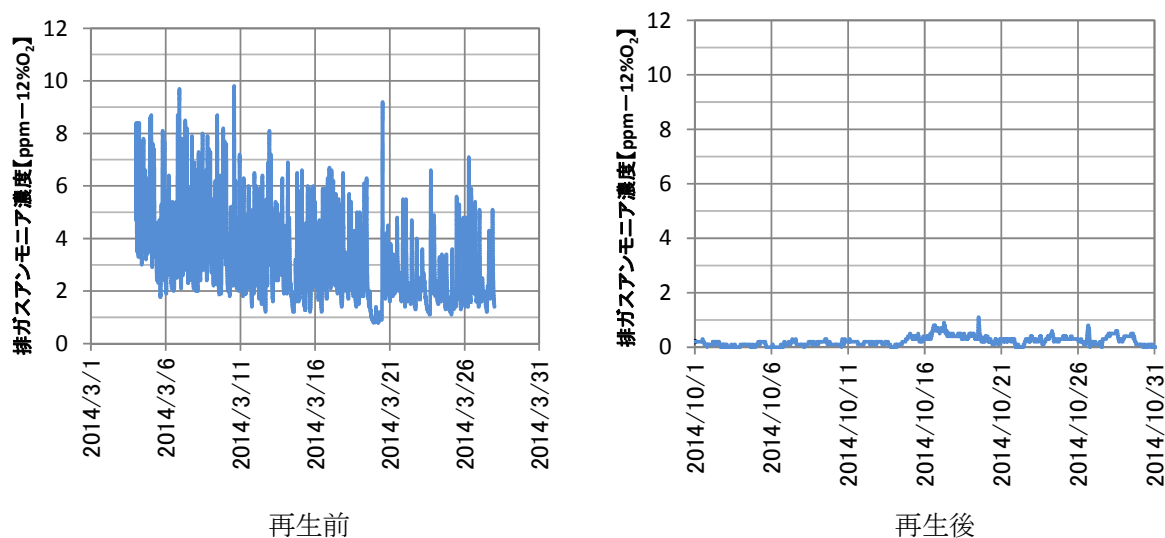


図-5 再生前後の排ガスアンモニア濃度

② 排ガスダイオキシン類濃度

触媒再生実施後の排ガスダイオキシン類測定結果を表-5に示す。触媒再生により、触媒のダイオキシン類分解性能が回復していることから、活性炭吹込量を段階的に削減し、排ガスダイオキシン類濃度の測定を実施した。活性炭吹込量を触媒再生前に比べて約80%削減しても排ガスダイオキシン類濃度は施設基準値以下で活性炭吹込削減前と同様に低い値であり、触媒の再生によりダイオキシン類の分解性能が回復していることを確認した。

表-5 ダイオキシン類測定結果

測定日	活性炭吹込量 (触媒再生前を100%とする)	ダイオキシン類濃度
2014年7月	100%	施設基準値以下
2014年9月	約75%	
2014年10月	約45%	
2014年11月	約20%	

2.4 維持管理

本システムは、触媒再生時のみ間欠的に運転するものであり、維持管理では機器類（ファン、ヒータ）の運転前点検と使用した消石灰ペレットの交換が必要である。

また、従来の再生方法では1～2ヶ月以上の休炉期間が必要であったのに対し、本方式では1週間程度の休炉期間で再生可能となる。

従来の方法では取り外しや輸送の際に触媒の破損するリスクがあるため、2～3回再生後には新品触媒に交換する必要があった。しかし、本システムでは触媒を触媒脱硝装置に収めたまま再生を行うため、破損するリスクがなく20回以上繰り返し再生可能であり、新品触媒を購入する必要がない。

表-6 従来方式と本方式の比較

	従来方式	本方式
再生期間	1～2ヶ月以上	1週間程度
再生可能回数	2～3回	20回以上

2.5 経済性

既存の都市ごみ焼却施設に本システムを導入した場合、触媒脱硝装置に触媒を収めた状態で容易に繰り返し再生できるため、従来方式に比べ触媒再生費を大幅に低減できる。

また、触媒脱硝装置運転温度を低温化することで、触媒脱硝装置入口ガスの再加熱に使用していた蒸気量を削減することができ、発電量の増加やそれに伴いCO₂排出量を削減することができるが、触媒の劣化が速く進行するため、1～2ヶ月以上の休炉期間が必要な従来の再生方法では実現困難であった（図-6）。しかし、本システムを導入すれば容易に繰り返し再生が可能となるため、1年に1回再生を行うことで触媒脱硝装置運転温度の低温化が可能となる。さらに、触媒の再生を行うことで、毎年再生後には触媒のダイオキシン類分解性能も初期性能まで回復するため、活性炭吹込量を削減することができる。

既存の都市ごみ焼却プラント（100t/日×2炉）に導入したときのメリットを表7に示す。20年間の運転で約7.3億円のコストダウン、このうち高効率発電による売電収入の増加分は4.2億円（発電量が約5%増加）、さらに発電量増加（223kW）によるCO₂排出削減量は20年間で約2万tになる。

【CO₂排出削減量】

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出削減量 (t-CO}_2\text{)} &= 223 \text{ kW} \times 24 \text{ h/日} \times 330 \text{ 日/年} \times 20 \text{ 年} \times 0.000551 \text{ t-CO}_2\text{/kWh}^* \\ &= 19,463 \text{ t-CO}_2 \end{aligned}$$

※CO₂排出係数は平成25年度の電気事業者ごとのCO₂排出係数の代替値を使用

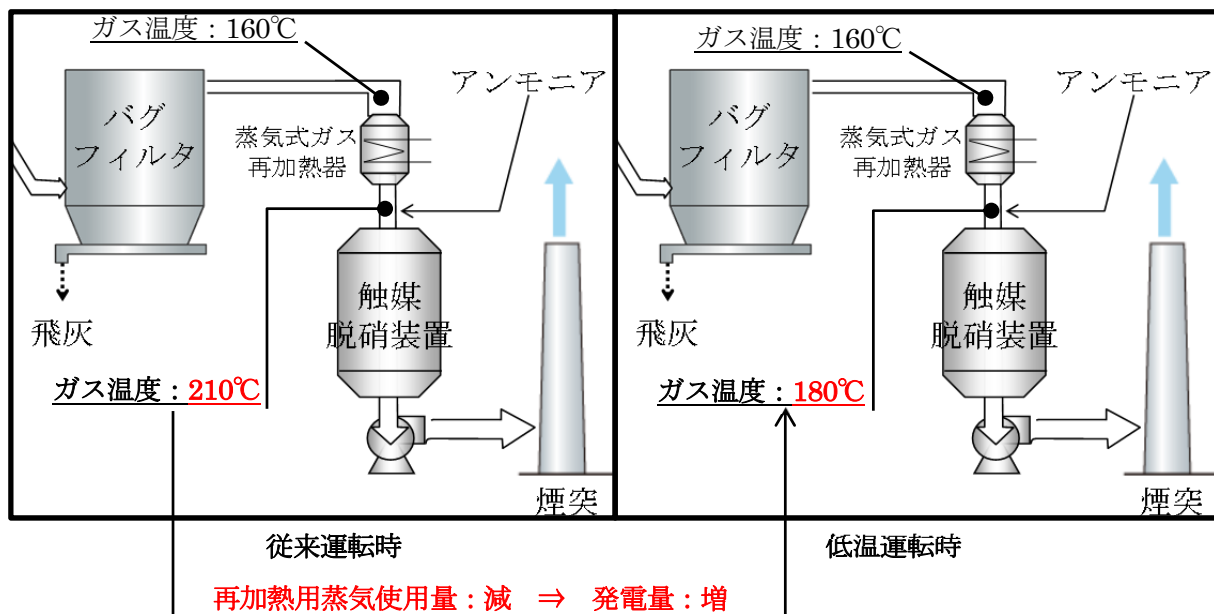


図-6 触媒脱硝装置入口ガス再加熱模式図

表-7 従来方式と本方式のコスト比較 (試算条件：100t/日×2 炉)

	従来方式	本方式
設備費	ベース	+0.4 億円
触媒再生費	ベース	-1.8 億円
発電量	ベース	-4.2 億円
活性炭吹込量	ベース	-1.7 億円
合計	ベース	-7.3 億円

2.6 将来性

新規の都市ごみ焼却施設では、触媒再生費を低減できることに加え、本システムの採用を前提とした触媒脱硝装置を設計することにより、従来に比べて少ない触媒量で触媒脱硝装置の運転温度を低温化することが可能になり、発電量の増加に加えて触媒脱硝装置の機器圧力損失の低下に伴う誘引送風機の電力消費量削減により CO₂ 排出量の削減が可能となる。

既存の都市ごみ焼却施設では、稼働開始から 2~3 年以上経過し、触媒の再生が必要となる施設が多い。これらの施設に本システムを導入し、性能が低下した触媒を初期性能まで回復することで、触媒再生費が低減できるだけでなく、触媒脱硝装置運転温度の低温化による発電量の増加が可能となる。気候変動枠組条約第 20 回締約国会議 (COP20) では、日本の取組みとして「2020 年までに 2005 年度比 3.8%減」の温室効果ガス削減目標が発表されている。本システムは、温室効果ガスの一種である CO₂ の排出量削減効果が高く、日本の温室効果ガス削減の取組みに大きく寄与するものである。

さらに、本システムは、都市ごみ焼却施設に限らず触媒脱硝装置を設置し、硫安や酸性硫安の付着により触媒の劣化が生じる産業廃棄物焼却施設や、ボイラ・発電施設に対しても導入可能である。

2.7 独創性

従来の再生方法は、触媒を触媒脱硝装置から取り出して再生を行うが、本システムは触媒脱硝装置に触媒を設置したまま再生を行う画期的なものである。これにより触媒再生に必要な休炉期間を従来の1~2ヶ月間から約1週間まで短縮可能となり、触媒の取り外し・取り付けや再生施設への輸送により破損のリスクがなくなるため、容易に繰り返し触媒の再生を行うことが可能となるだけでなく、一般に都市ごみ焼却施設の寿命と言われる20年の間に新品の触媒を購入する必要が無くなる。

2.8 今後の規制に対する対応策

都市ごみ焼却施設において、窒素酸化物・アンモニア・ダイオキシン類の排ガス規制値が、施設設置時よりも厳しくなった場合に、本システムを導入していれば、触媒の再生頻度を増やすことによって新たな設備を付加することなく、厳しい排ガス規制値に対応可能である。

3. 応用分野

本システムは、都市ごみ焼却施設に限らず、産業廃棄物焼却施設や、ボイラ・発電施設等の触媒脱硝装置にも導入可能である。

中小企業庁長官賞 「全自動スラリー回収脱水装置 (ドライセパレータ)」

株式会社 アメロイド日本サービス社

1. 開発経緯

全国のめっき事業者に当社の油水分離機を販売するため、全社的に営業活動を実施した。その結果、そのほとんどの事業者が排水処理施設でフィルター式脱水機を使用していることが分かり、一様に脱水性能の向上や維持管理の容易性、低コスト化を求めている。

一般的に、めっき工場で発生する排水は重金属が含まれておりそのまま下水に放流することができず、以下のような処理を施す。

- ・アルカリ剤で金属水酸化物を生成
- ・凝集剤により生成した酸化物を沈殿
- ・濃縮槽で更に濃縮
- ・フィルター式脱水機で酸化物を含水率 99%から 75%に脱水し産業廃棄物として処理

ほとんどのめっき事業者は、フィルター式脱水機から脱水汚泥を排出する際に 1 時間程度の作業工数をかけており、多い場合 1 日数回も行なっている。そこで当社が従来から製造販売している全自動型の遠心分離機を紹介し作業工数の削減を提案した。作業工数の削減については、多くの顧客から支持を得たが、テストを試みると遠心分離機で脱水して排出された脱水汚泥は、含水率が 85%~90%と既存の脱水汚泥の含水率 75%より高かったため、産業廃棄物処理費の増加を指摘された。含水率の低い方が、産業廃棄物処理量・処理費が減ることは明白である。

これまで脱水汚泥に熱風を当てる等の乾燥方法はあったが実際には採用されていなかった。フィルター式脱水機の脱水汚泥は分厚いケーキ状のため、熱をかけても表面は乾燥するが内部まで乾燥させるには膨大なエネルギーが必要であり費用対効果が得られないためである。

したがって、余儀なくフィルター式脱水機から排出されたままの脱水汚泥を産業廃棄物処理する方法をとっていた。

含水率が高くなることが容認されなかったことを受け、脱水汚泥の含水率を既存より低減できる機能を、逆に遠心分離機に盛り込むことができれば、より貢献度が高い製品になると考えた。

まず初めに、効率良く沈殿物（スラリー）を回収するための遠心分離機の運転条件を実験で確認した。遠心分離した沈殿物は、脱水されて柔らかいペースト状になる。

次に、遠心分離機で脱水したスラリーの含水率を更に下げる乾燥方法の開発に着手した。乾燥機の試作テストを重ねる中で、回収物を薄く延ばすと早く乾燥することに気付いた。表面積

を大きくすればするほど低エネルギーで短時間に含水率を減らすことができる。これを開発のポイントと定めてテストと改良を繰り返し、ペースト状の回収物を 1mm 以下の薄さに延ばし乾燥させるドラム式乾燥機が完成した。

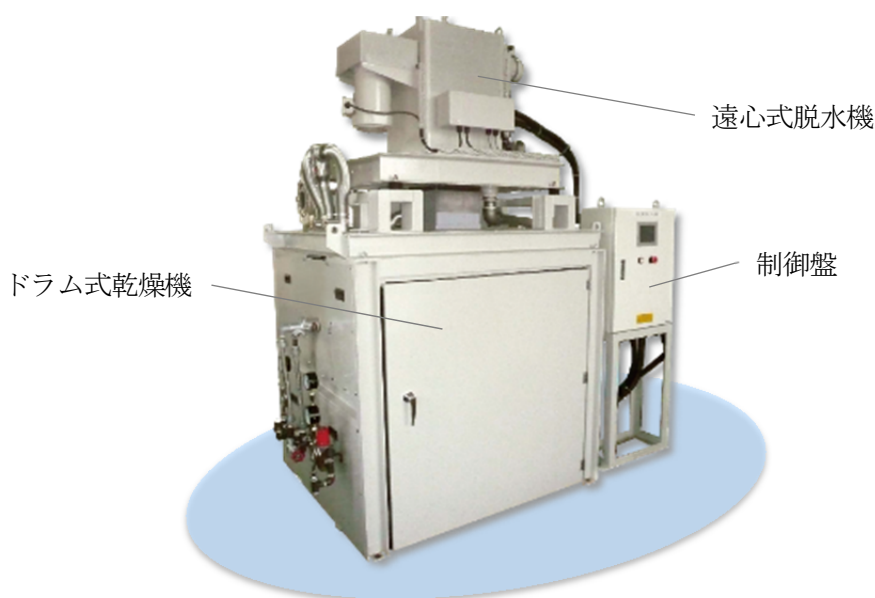
顧客の工場内のスペースを考慮し、装置は遠心分離機+ドラム乾燥機の一体型にした。低エネルギーで含水率 0%に脱水することに成功し費用対効果を得られる形になった。ただ含水率 0%では、脱水汚泥が粉末状に舞い上がる懸念があったため、舞い上がらない 20%に設定した。それでも含水率 75%の時と比較して産業廃棄物処理量を約 70%減らすことができた。

試作機として 2011 年 3 月に第 1 号機を鍍金業者に納入し、7 ヶ月間稼働しその間に改良を重ねた。そして 2011 年 10 月に一般事業化し、2015 年 2 月には特許を取得した。

2. 装置説明

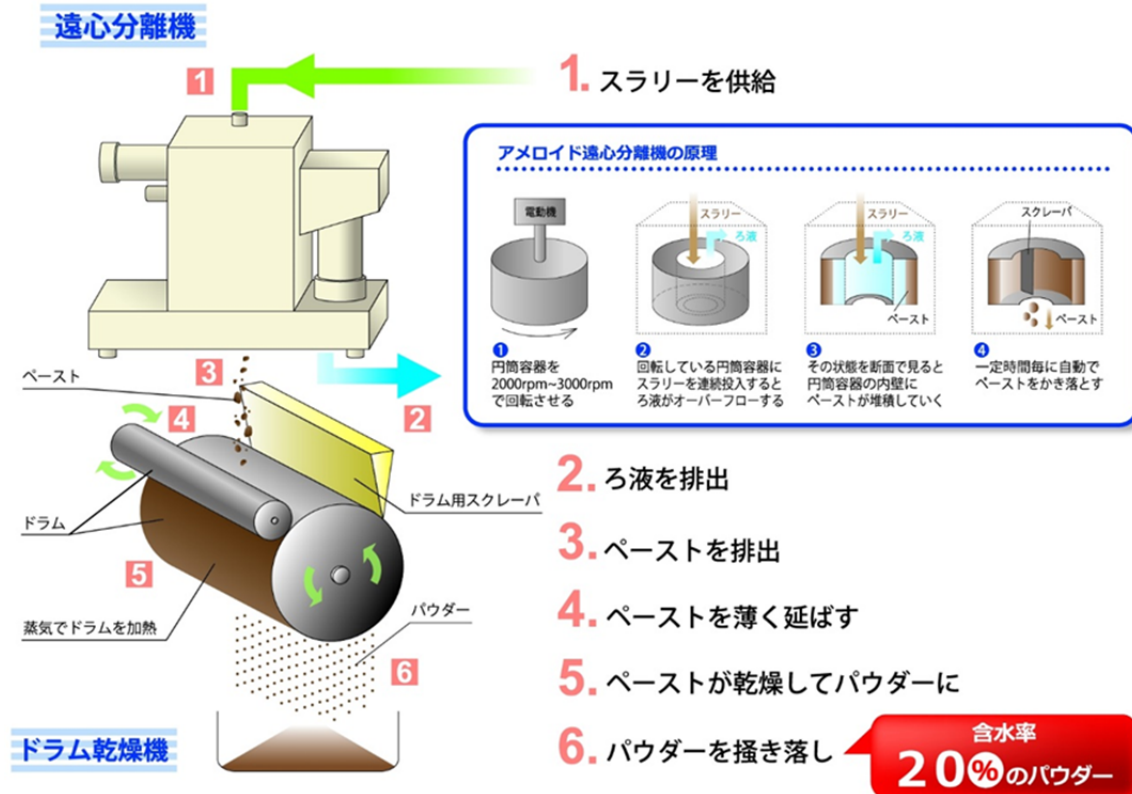
2.1 構造、原理

全自動スラリー回収脱水装置「ドライセパレータ」は遠心式脱水機（遠心分離機）とドラム式乾燥機を独自の技術で一体化した装置である。工場などの排水処理設備で発生する汚泥（スラリー）を回収して脱水を行う。脱水汚泥は産業廃棄物処理されるが、従来装置と比べて低含水率に処理可能で、産業廃棄物処理量を 70%以上削減でき、多くのメリットを生む。

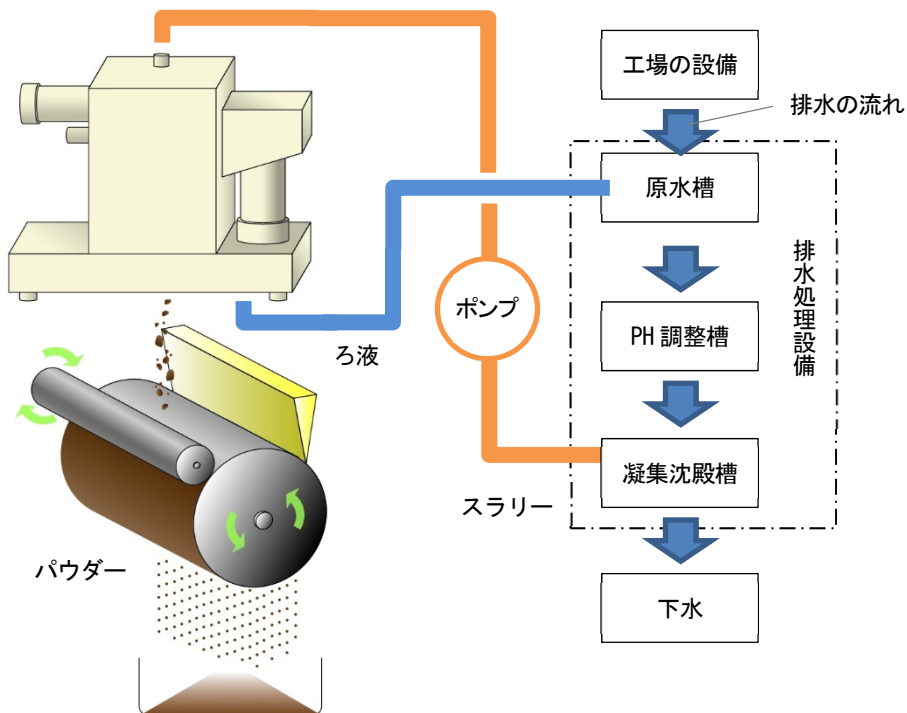


ドライセパレータ外観

《作動原理》



《フロー例》



2.2 特許の有無

特許取得済

- ・ 出願番号：特願 2011-054929
- ・ 名 称：省スペース乾燥装置
- ・ 出 願 日：2011 年 3 月 14 日
- ・ 概 要：液体含有率の高い被乾燥物から分離・乾燥後に排出される最終被乾燥物の嵩や重量を減少させる。

2.3 性能

- ① 排水中のスラリーを回収し、脱水してパウダー状態で排出する。
- ② 脱水したスラリーは産業廃棄物として処理されるが、従来装置のフィルター式脱水機に比べて排出物を低含水率に処理でき、産業廃棄物処理量を 70%以上削減できる。

ドライセパレータの型式選定は下表による。

■ ドライセパレータ 型式選定表				
型 式	GR40-S1	GR40-S2	GR40-S3	GR40-S4
スラリー処理量*1	1580kg/日	3100kg/日	7260kg/日	10610kg/日
GR40 型パウダー排出量 (含水率 20%)	～19kg/日	～37kg/日	～87kg/日	～126kg/日
フィルタープレスケーキ排出量 (含水率 75%)	～60kg/日	～118kg/日	～276kg/日	～403kg/日
産業廃棄物処理量の削減率	約 70 %			

* 1 スラリー含水率 99%の場合の計算値

■ ドライセパレータ 仕様表				
型 式	GR40-S1	GR40-S2	GR40-S3	GR40-S4
外形寸法(mm)	1450W×1000D ×1500H	1720W×1200D ×1860H	2360W×1450D ×2290H	2510W×1700D ×2600H
概算重量(t)	0.7	1.2	2.4	3.0
定格電気容量	3.15kW	3.95kW	6.95kW	8.75kW
消費電力量	0.86kWh	1.01kWh	2.11kWh	2.38kWh
電 源	AC200V 3φ			
供給エア	0.4～1MPa			
蒸気圧力	2.0 MPa			
標準付属品	スラリー供給ポンプ、標準架台、操作盤			

2.4 維持管理

(1) 運転・操作性

1) 省力化

従来のフィルター式脱水機では 30mm×1,000mm×1,000mm 程度の板状の脱水物になる。したがって作業者は、手作業で脱水機から脱水汚泥を取り出し、かつそれを産業廃棄物処理事業者へ処理委託するため、ドラム缶やフレコンバッグに砕きながら入れる、といった手間が発生していた。「ドライセパレータ」では、全自動でサラサラの粉状の脱水汚泥になり、かつ直接ドラム缶やフレコンバッグで受けることができる仕様になっているため、作業者の手間がほとんど掛らなくなった。

2) 危険作業を解消（安全衛生）

フィルター式脱水機は目詰まりするとフィルターを新品に交換する必要がある。しかし実際にはそのコストを抑えるため、目詰まりしたフィルターを塩酸などの危険物によって洗浄し再利用することが多かった。その点、「ドライセパレータ」は遠心式脱水機を採用したことで、フィルターのような目詰まりするものがなく、塩酸で洗浄するといった危険な作業が不要になった。

3) 職場環境を改善（安全衛生）

脱水物を脱水機から取り出してはドラム缶等に砕きながら入れるといった作業は多い時に1日数回と頻繁に行なわれており、腰痛等の問題を抱えている作業者も少なくなかった。特に高齢の作業者にとっては負担が大きい作業であった。

脱水機が「ドライセパレータ」に置き換わることで作業者の手間がほとんど掛らなくなり、工数削減や腰痛解消といった職場環境の改善につながった。

(2) その他

1) 異臭を軽減（環境）

産業廃棄物処理事業者が脱水汚泥を回収に来るまでの間、含水率が高い状態で放置しておくとバクテリア等の影響で異臭が発生してしまう。しかし「ドライセパレータ」から排出される脱水汚泥は、含水率が極めて低いサラサラの粉状なので、長期に放置しておいても異臭の発生がなく、近隣住民への影響も含め大幅に環境への影響が軽減された。

2.5 経済性

(1) イニシャルコスト・維持管理コスト

フィルター式脱水機は20年～30年の周期で更新している。更新の際、従来装置に比べて「ドライセパレータ」の本体価格は高めだが維持管理コストが低いので、本体価格の差額は約1年で回収でき導入メリットは大きい。仮に、更新時期ではなくても従来装置から「ドライセパレータ」に置換えた場合、約3年で回収できる。

(2) 産業廃棄物処理コスト低減

含水率を0%にすると脱水汚泥が粉末状に舞い上がる懸念があったため検証の結果、排出するパウダーの含水率を20%前後に設定。それでも既存の脱水機での排出物と比較して産業廃棄物処理量を70%削減でき、産業廃棄物の処理コストが大幅に低減された。

また脱水汚泥中に希少金属の含有濃度が高いユーザーにおいては、低含水率化したことにより有価物として販売が可能となった。

(3) 工数低減

ドライセパレータは全自動式のため人手が不要で作業者の手間はほとんどなくなる。従来の脱水機に費やしていた日常工数を生産や製品改良・開発に充てることが可能になる。

(4) 維持管理コスト低減

遠心式脱水機はフィルターなど消耗品を使用しないので、購入費・交換作業工数が不要で維持管理コストが低減される。

(5) 省エネルギー

産業廃棄物処理事業者の廃棄物処理方法は、金属を回収し鋼材への再利用や、汚泥を焼却しその灰をコンクリートなどに混入させて再利用するなど事業者により異なるが、含水率は低い方が処理しやすく、処分場の負荷軽減や省エネルギー化につながる。

また、産業廃棄物の総量削減により、産業廃棄物処理事業者によるトラック運搬回数が70%以上低減し、燃料費削減、排気ガス(CO₂)削減につながる。

2.6 将来性

(1) 既存システムへの影響、普及可能性

めっき事業者は水質汚濁防止法により各社排水処理施設をもっている。

その施設のほとんどにフィルター式脱水機が導入されているため、フィルター式脱水機からの入替によってメリットが出る「ドライセパレータ」は、ほぼ全てのめっき事業者が対象となり市場規模は大きい。

(2) 新規市場への影響、普及可能性

めっき業界の他にも排水処理施設が工場内に設けられているケースがあり、多くの事業者で脱水機を使用している。脱水機の種類は、スクリー式やベルト式など多種あるが含水率は約80%と高く、含水率が低い脱水機のニーズは高いことが分かった。こちらも市場規模は大きく期待できる。

2.7 独創性

従来のフィルター式脱水機においても、排出物を別工程で乾燥させて含水率を下げれば産業廃棄物処理量を削減できることは明白であり開発を求められた。しかし排出物が、厚さ30mmの固い板状であるため、仮に排出物を細かく砕いたとしても3cm大の固形物にしかならず、内部まで乾燥させ全体の含水率を下げるには多大な熱量が必要であった。

そこで発想を一変し、含水率をあえて一度高めにしてから乾燥させることで少ない熱量しか使わない高効率な方法を開発した。

含水率がある値を超えてくると脱水汚泥がペースト状になることに着目し、遠心式脱水

機により完全なペースト状で排出させて、それを 1mm 以下に薄く引き延ばすことで多大な表面積を生み、少ない熱量で素早く含水率を低減させている。

2.8 今後の規制に対する対応策

廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令に、「汚泥の埋立処分(水面埋立処分を除く)は含水率 85%以下にする」との記載があるが、本製品の脱水汚泥は含水率 20%前後とその規制値を大きくクリアしており、現時点で規制強化への対応策は検討不要な状況である。

3. 応用分野

(1) 液中の有価物回収

液中の固形物を回収して乾燥粉末にする本製品の機能は、液に混入している有価物の回収用途で、廃液以外の液体をターゲットにできる可能性がある。

(2) 蒸留装置との組合せ

排水処理の技術の 1 つに蒸留装置がある。その蒸留装置で排水を処理すると濃縮液が産業廃棄物として排出されるが、その濃縮液を本製品で処理することでその産業廃棄物を削減、あるいは有価物とすることが可能になる。

日本産業機械工業会会長賞 「油煙除去装置」

集塵装置株式会社

1. 開発経過

絶縁ワニスを使用する加熱硬化炉において、絶縁ワニス乾燥・硬化する過程で、高温の油煙が発生する。工場内環境や人体への影響を考慮し、油煙を除去することが製造現場から求められている。

- ① バブリング式湿式集塵機にて試みるが、水で油煙を捕集するだけでは、油脂の塊が発生し、集じん機内に油脂が付着・固化し、除去性能低下と機内掃除の手間が多く、却下となった。
- ② フィルター式集塵機にて試みるが、フィルターに油煙が付着し過ぎて油煙が漏れてしまい、頻繁にフィルター交換が必要となるため、コスト増になり却下となった。

①及び②は、従来から対応策として行われているが、油煙の除去やコスト対応のニーズを満足するものではなかった。

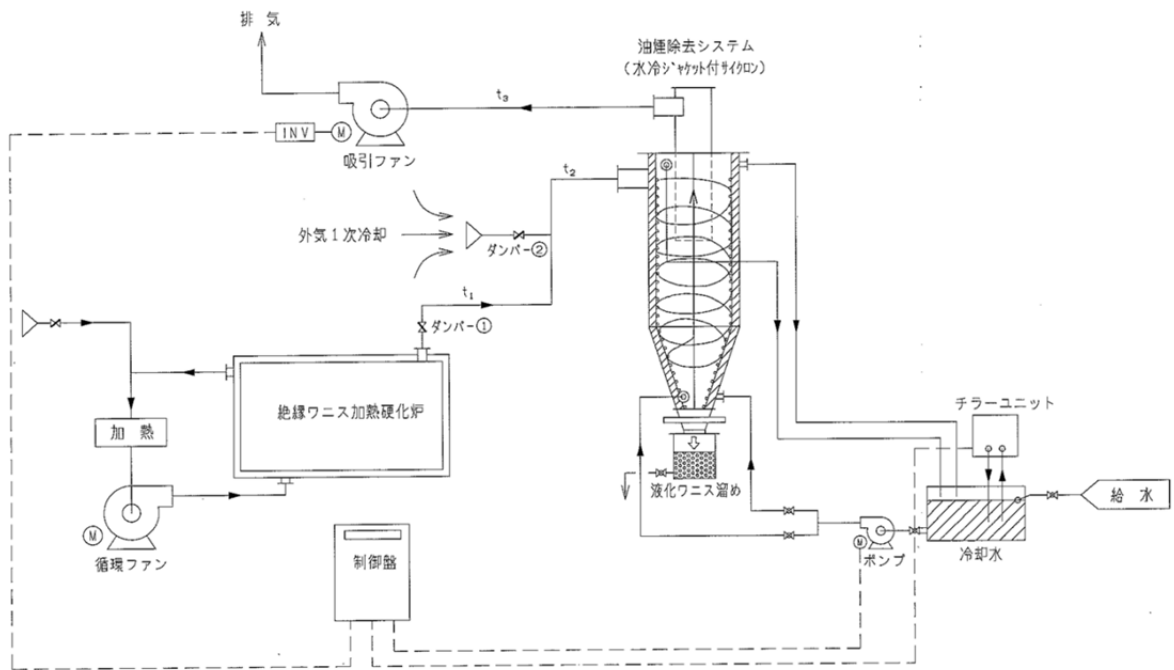
当社では、油脂は冷えると一旦液状となってから固まるという習性を利用し、先ず油煙を間接的に外気にて冷やすことを考え、油煙温度を下げることにした。次に集塵サイクロンの特性である分離機能を利用し、油と空気を遠心分離させ、かつサイクロンを水冷ジャケット式にして油煙冷却を連続して行なった。この水冷ジャケット付サイクロン方式によって、油を固まる前のオイル状にて回収することが出来るようになった。この方式により、従来のやり方に比べ捕集性能が格段に上がった。保守はオイル回収だけで済むので、手間がかからなくなった。

2. 装置説明

2.1 構造、原理

加熱硬化炉において、絶縁ワニスを塗布した中～大型コイルを製造する際に、加熱・乾燥・硬化する工程において高温かつ微粒子な油煙（ $1\mu\text{m}$ 以下）が発生するため、それを除去する装置である。

発生した油煙を、①外気で一次冷却し、②サイクロン（水冷ジャケット付）に移し、サイクロンの特性により壁面に付けた冷却ジャケットに油煙があたり、二次冷却し、③油煙粒子が、塊となりオイル状になるため、サイクロン壁面を流下し、④液化ワニス溜めに集められ回収される。



フロー図



サイクロン概観

2.2 特許の有無

特許出願中「冷却型成分除去サイクロン装置」(特願 - 2014-005652)

2.3 性能

水冷ジャケット付サイクロン式にて、10時間連続稼働し性能試験を1週間行なった結果、オイル回収量は継続的に定量で安定し、吸引状態に変化は無かった。また、機内部に油脂状の固着や機外部への油煙の漏れも無く、サイクロン内の清掃も一切無くなった。

捕集効率を数値で表すと、前項開発経過にある、①バブリング式湿式集塵機で75%、②フィルター式集塵機で80%、水冷ジャケット付サイクロン方式で90%となった。

2.4 維持管理

水冷ジャケット付サイクロン方式

①運転・操作性

機内の変化、風量やガス温度の変動が生じないため、何も調整することはない。

②メンテナンス性

機内への付着や消耗品がないため、月に一度液化ワニス溜めのオイル回収を行なうだけでよい。

③維持管理コスト

交換部品や消耗品が一切ないため、オイル回収費用と年1度の保守点検で年間約10万円程度である。

従来からの、バブリング式湿式集塵機やフィルター式集塵機での捕集は、運転・操作性(機内の油脂付着・フィルター目詰まり)、メンテナンス性(清掃時間・フィルター交換頻度)、維持管理コスト(年間225万~300万円)すべてにおいて問題があるため、水冷ジャケット付サイクロン方式が秀でていられると考えられる。

2.5 経済性

装置の耐用年数は7年であるので、導入コスト(本体価格)と維持管理コスト(7年間分)で計算した。(処理風量5.5 m³/min)

水冷ジャケット付サイクロン方式(合計270万円)

導入コスト:200万円、(本体価格)

維持管理コスト:70万円、(10万円×7年)

従来からのバブリング式湿式集塵機は、維持管理コストが高く1,675万円(本体価格+保守7年通算の維持管理コスト)、フィルター式集塵機も維持管理コストが高く2,150万円(本体価格+保守7年通算の維持管理コスト)かかる。結果、水冷ジャケット付サイクロン方式が、経済性で秀でていられると考えられる。

2.6 将来性

加熱硬化炉が設置されているのは、主に中型～大型モーター製造企業であるが、当社開発の水冷ジャケット付サイクロン方式が導入されているのは、未だ一部の企業である。また、モーターはあらゆる産業に必要不可欠な製品のため、海外メーカーの工場にも展開が期待される。

2.7 独創性

従前よりオイルミストを回収する装置はあるが、高温(100℃以上)に対応出来る製品は、バブリング式湿式集塵機又はフィルター式集塵機であった。しかしながら、捕集性能・維持管理・経済性が課題となっていた。

当社の技術課題は、1 μ m以下の油煙粒子を固化する前にオイル状にて回収することであった。油煙を含むガスは冷却し、時間がたつと油脂状(塊)となり、フィルターの目詰まりや機内への付着が問題であった。

これら課題を全て克服することが可能となったのが、水冷ジャケット付サイクロン方式である。

2.8 今後の規制に対する対応策

現状、加熱硬化炉から発生する油煙排出に関しては、排出ガス内容が特定有害物質でないため、規制はない。今後規制が行われたとしても、当社の油煙捕集率は90%を有しているので充分対応可能である。

また現在、更なる捕集率向上に向け、2014年ものづくり補助金制度を利用し、開発を進めている。

3. 応用分野

下記、製造工程において発生する油煙やガスへの除去が可能と思われる。

① 二次加硫炉向け油煙除去

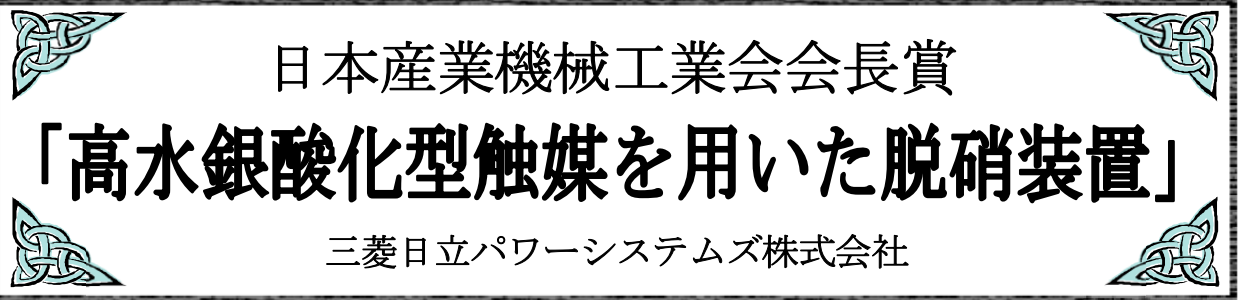
オイルシール、Oリング等の製造で、ゴム強度を増加するため加硫・加熱で発生する油煙及びガスへの対応

② 加熱炉向け油煙除去

プラスチックを伸ばしてフィルム状にするテンター工程で、熱風・加熱で発生する油煙及びガスへの対応

③ 加熱・加工工程向け油煙除去

モリブデン、タングステン等の製造で、加工油を使用した際発生する油煙及びガスへの対応



日本産業機械工業会会長賞
「高水銀酸化型触媒を用いた脱硝装置」
三菱日立パワーシステムズ株式会社

1. 開発経緯

当社が1963年に世界に先駆けて開発した酸化チタン(TiO_2)系脱硝触媒は、各種固定発生源から排出される窒素酸化物(NO_x)の低減に幅広く活用され、急速な経済成長に伴い発生した日本の公害問題の克服に貢献するとともに世界で主流の技術になっている。

当社では1980年代後半より脱硝触媒技術の海外輸出を積極的に進め、各国の固有の燃料に対応できる触媒の技術開発・改良に努めてきた。2000年には米国の石炭火力向けに脱硝触媒の輸出を開始したが、当時の技術課題は脱硝触媒の SO_2 酸化率の低減であった。米国の東部瀝青炭の中には硫黄(S)分が極めて高いものがあり、ボイラの燃焼過程で高濃度の SO_2 が生成するが、この SO_2 の約1~2%は SO_3 の形態で存在する。加えて、脱硝触媒は SO_2 を SO_3 に酸化する副反応があり、 SO_3 は空気予熱器での塩類析出による詰まりや後流機器で腐食問題を引き起こすだけでなく紫煙発生を招くため、脱硝触媒での SO_2 酸化率抑制が急務となった。当時の顧客要求は従来触媒の実力に対して1/2~1/3以下に SO_2 酸化率を抑えるものであった。

一方、近年、米国をはじめ各国で石炭火力発電所からの水銀排出量低減対策が活発に議論されている。米国EPA(環境保護局)はMATS(Mercury and Air Toxics Standards)で石炭火力発電所からの水銀排出規制値を設定、2015年より順次施行され遅くとも2016年4月には規制値への応諾を義務付けており、米国内の石炭火力発電所では効果的な水銀排出量低減技術の検討を進めている。

また、2013年10月には水俣市で水銀国際会議が開催され、石炭火力発電所が水銀排出源の1つに指定されたことをうけ、今後ともベース電源として期待される石炭火力に対しては世界的に高度、かつ経済的な環境対策が求められるものと思われる。

脱硝触媒での金属水銀の酸化現象は1980年代より確認されていたが、触媒での SO_2 酸化率を抑制した従来触媒技術では十分ではなく(当社比)、規制値への応諾は困難であった。

当社ではこうした市場の動きに対して2003年より高水銀酸化型脱硝触媒の開発に着手、後述するCo-benefit技術として当該高水銀酸化型脱硝触媒と既設の排ガス処理システムによって高効率に水銀を除去する方式を掲げ触媒開発を進め2008年に米国で実用化後、これまで24基に納入し順調に稼働している。

2. 装置説明

2.1 構造、原理

(1) 高水銀酸化型脱硝触媒の原理

当社では、開発した高水銀酸化型触媒を TRAC®(TRiple Action Catalyst)と命名した。TRAC とは、従来脱硝触媒と同等の脱硝性能を維持しつつ低 SO₂ 酸化かつ高水銀酸化を実現した触媒である。

図 1 には、当該高水銀酸化型脱硝触媒を用いた排煙処理システムの構成、水銀除去メカニズムを纏めている。石炭中に存在する微量の水銀は火力発電用ボイラ等の高温燃焼過程で気化し金属状水銀で燃焼器から排出され、その大半は金属状のまま煙突から排出される。

しかし、高水銀酸化型(TRAC)脱硝触媒を使用すると従来触媒と同等の脱硝を行いつつ SO₂ 酸化率を抑制し、加えてガス中の極微量のハロゲンとの触媒反応で蒸気圧が低く溶解度の高い酸化水銀に転換できる。酸化水銀は電気集塵機や湿式脱硫装置で効率良く安定・固定化され大気への排出量が大幅に低減される。この技術は、既存の排ガス処理設備である脱硝装置、集塵器及び脱硫装置の本来の機能を活かしつつ、水銀を高効率で除去できるもので Co-benefit 技術と呼ばれている。特に米国で使用されている石炭は前述のように硫黄分が高く、水銀含有量も高いことから、当該技術が規制値応諾のために有効と考えられる。

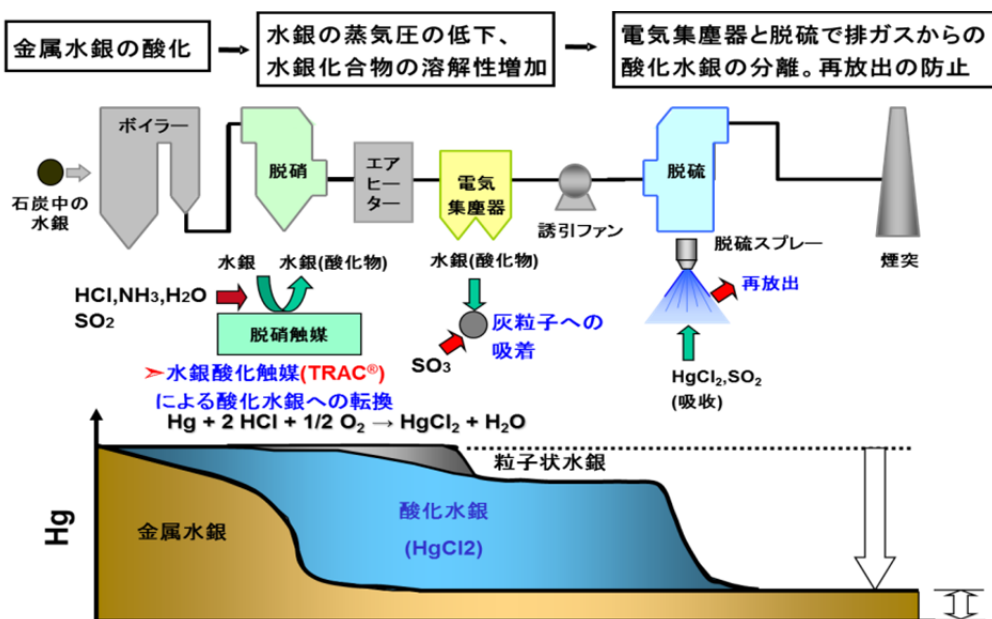


図 2 には当該触媒の技術課題を示すが、触媒上での金属状水銀の酸化反応を促進するため活性成分を添加する従来技術を適用すると副反応である排ガス中 SO₂ の酸化を招く。

ここで生成した SO₃ は上述のように後流機器への悪影響（空気予熱器の詰まり、腐食、煙突からの紫煙発生の原因となる）を及ぼすため、触媒での SO₂ 酸化は最小限に抑える必要がある。

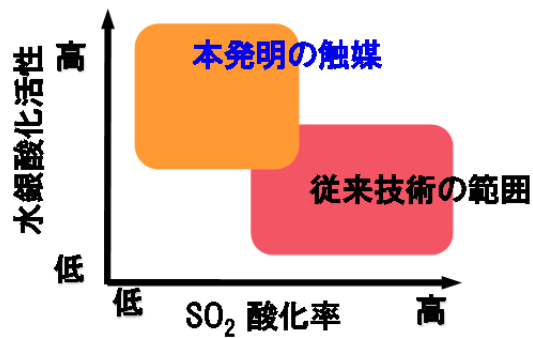


図2 技術課題（高水銀酸化と低 SO₂ 酸化の両立）

そこで、触媒成分に SO₂ 酸化反応が進行する活性点にのみ選択的に反応（吸着）する物質 α（図 3）を添加する手法で数多くのスクリーニングを実施したところ、目的を達成する成分を見出し触媒開発に成功した。開発した触媒の初期(新品)性能を図 4 に示すが、所期の目標どおり SO₂ 酸化性能を抑えつつ高水銀酸化が可能になったことが分かる。

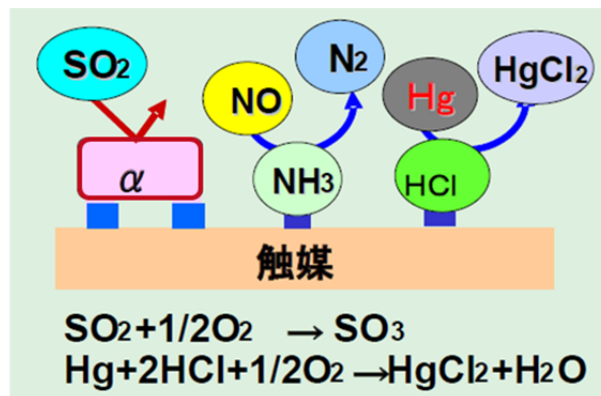


図3 高水銀酸化型脱硝触媒開発の着眼点

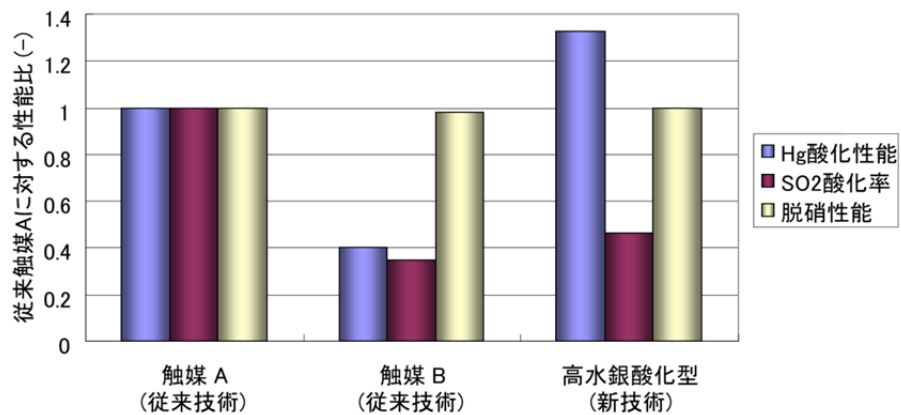


図4 高水銀酸化型脱硝触媒の性能例（自社従来触媒との比較）

2.2 特許の有無

当該高水銀酸化型脱硝触媒に関する特許出願は主に下記の2件である。

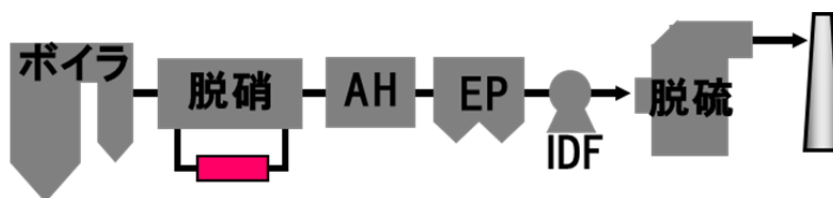
PCT/JP2007/67496（出願番号：特願 2009-531072、特許第 5126718 号）
出願人：三菱日立パワーシステムズ株式会社（旧バブコック日立株式会社）
出願日：2007年9月7日
出願国：日本、米国、欧州、カナダ、中国、韓国、台湾

PCT/JP2009/055903（出願番号 2008-078280、特許第 5360834 号）
出願人：三菱日立パワーシステムズ株式会社（旧バブコック日立株式会社）
出願日：2008年3月25日
出願国：日本、米国、欧州、カナダ、中国、韓国、台湾

2.3 性能

当社では開発した触媒を実用化する場合、実際の石炭燃焼排ガス条件下で一定期間、耐久性を評価することが重要と位置付けている。そのため、米国の発電所に出向いて開発した触媒の効果を説明して規制強化に向けた1つの Solution（解決策）を提案できることを示唆し実証試験に協力をお願いしてきた。その結果、ウイソコンシン州にある we energy 社のご協力を得てパイロット試験を行うこととなった。同社がパイロット実証試験に興味を示した理由は2つある。1つは米国 EPA とは別に同州の環境保護局より将来的な水銀削減目標が提示されていた点である。もう1つの理由は、2003年に、同社が実施した水銀濃度の測定結果によると、既設排ガス処理システムでは水銀除去効果に限界(10%程度)があったが、新たに排ガス処理設備を導入するには数十億円の設備投資が必要であることがあった。

パイロット実証試験は図5に示すような構成で、2005年末より2007年春まで約1年間実施した。図6に実ガス実証試験の結果を示すが、開発した触媒は約8,000時間試験後も大きな性能低下がなく耐久性に優れていることが確認された。



既設火力発電設備構成

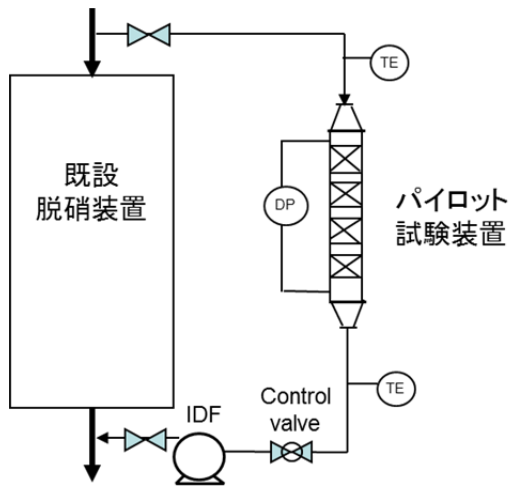
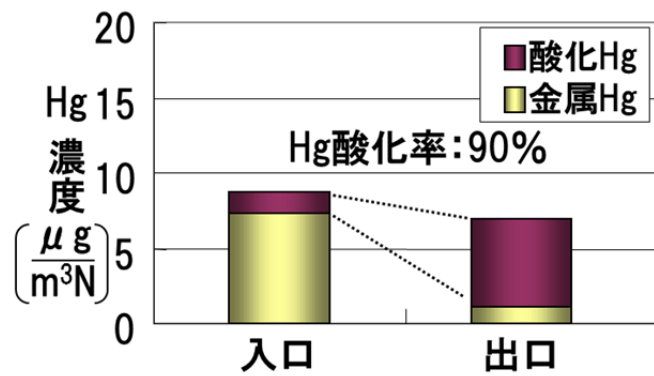


図5 米国火力発電所でのパイロット実証試験装置の構成



Hg:水銀

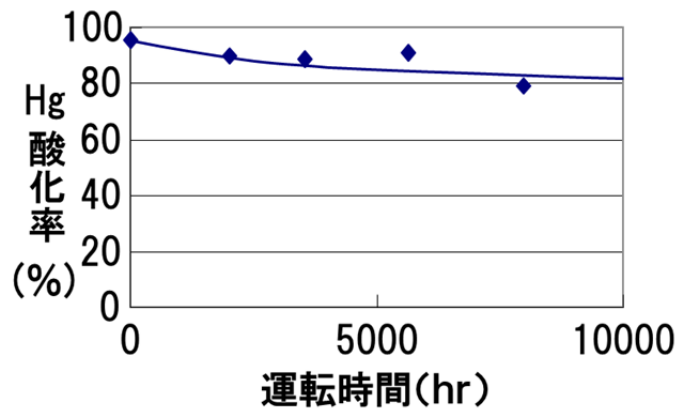


図6 約1年間の実証試験結果

約1年間の実証試験では、経時的な性能試験を行う度に we energy 社のご担当者に立ち会っていただき、第三者機関で実施した水銀濃度の測定結果をご確認いただき本技術の信頼性を確認いただいた。その結果、2008年5月に第1号機の高水銀酸化型脱硝触媒を納入するに至った。

高水銀酸化型触媒の外形図を図7に、また典型的な高水銀酸化型触媒を用いた脱硝装置の構造を図8に各々示す。図7、8に示すように脱硝装置及び触媒の外形は従来技術と変わらないため、市場、顧客ニーズに対して既設触媒との交換がスムーズに行える。

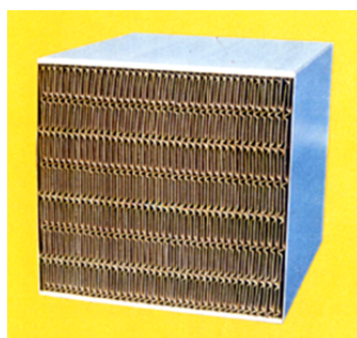


図7 高水銀酸化型脱硝触媒 外形写真

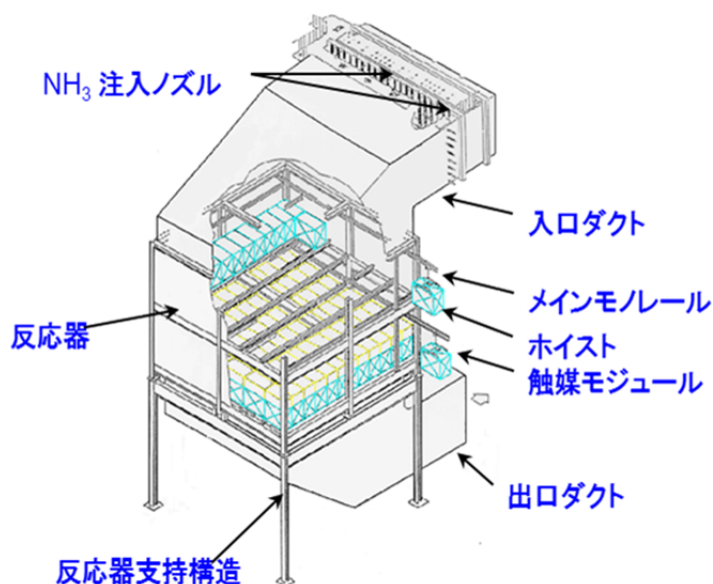


図8 高水銀酸化型触媒を用いた脱硝装置

2.4 維持管理

高水銀酸化型脱硝触媒の、性能維持管理方法は脱硝触媒と同様に脱硝装置出口の酸化水銀濃度をモニタリングすることで対応できる。さらに、水銀排出量の規制値は煙突入口部での全水銀濃度が対象となるため、煙突入口部に水銀連続モニタリング計器を設置して管

理する。脱硝触媒と同様に経年的に水銀酸化性能の低下が生じるが、プラント停止期間に合わせて図 8 に示したモノレールやホイストを使用して適宜、触媒交換を行うことで装置全体の性能を維持できる。高水銀酸化型触媒の寸法は従来の脱硝触媒と互換性があり日本のみならず世界標準となっている寸法で設計されているため、脱硝装置を有している顧客であればどこでも交換が可能である。

2.5 経済性

既に商用化されている水銀低減技術としては、表 1 に示す方法がある。活性炭を石炭排ガス中に添加し水銀を吸着・除去する方法の場合、活性炭は高価であり運転費が膨大となる一方、活性炭添加量にもよるが集塵灰の再利用が出来なくなる事、活性炭が混入した集塵灰の処理コスト(廃棄や埋め立て費用)が嵩む等運転費に課題がある。

上記の技術は、水銀除去に特化したもので新たな設備費が必要となる。これらに対して当該高水銀酸化型脱硝触媒は既設脱硝装置の触媒を交換するだけで済むため、既設脱硝装置がある場合には追加費用は限られたものになる。

表 1 水銀低減技術の特徴と課題、経済性

技術	主要項目	利 点	課 題	経済性評価
吸着	活性炭注入	-高い水銀除去効率	-運転コストが高い -灰の廃棄が困難 -設備投資が必要 -運転・保守管理が難しい -高硫黄炭では利用率低下	運転コスト 約6億円/年 (@650MW規模)
酸化	ハロゲン添加	-設備がシンプル -高い水銀除去効率 -比較的成本が安い	-湿式脱硫装置が必要	運転コスト 約2千万/年 (@650MW規模)
	触媒酸化	-運転コストが安い -追加設備が不要 -交換が容易 -運転の信頼性が高い	-湿式脱硫装置が必要	運転コスト <u>基準</u>

2.6 将来性

既に明確な規制(MATS)を発令し実行段階に入りつつある米国に加えて、欧州各国でも水銀排出量の調査や規制値の検討が始まっている。さらにアジア諸国など新興国に於いては石炭火力が重要な電源となると思われ、環境に関する関心も高まっていることから、当該技術の市場が広がることが期待される。因みに、MATS 規制が先行している米国では、25MW 以上の全ての石炭、油焚き発電ユニットが対象となっており 600 基以上が対象とされている。

本技術は、安全性に優れ廃棄物を最小限化することが可能で運転コストも大幅に削減でき、省エネ・廃棄物削減（ゼロ化）に向けた社会の実現に寄与するものである。

2.7 独創性

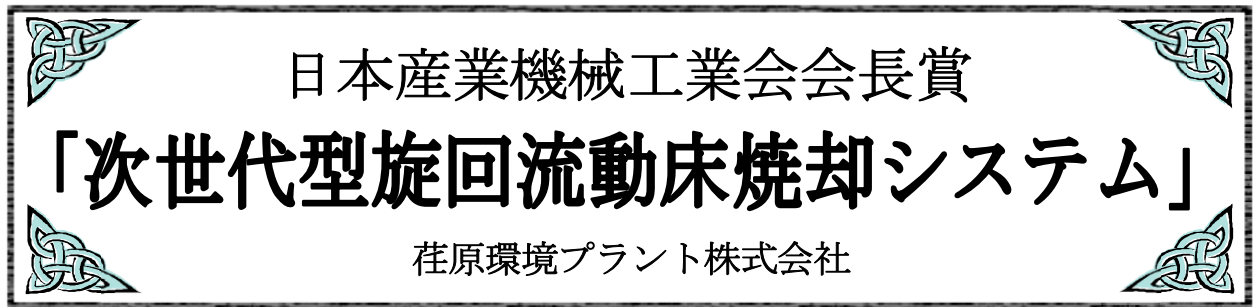
触媒成分に、SO₂酸化反応が進行する活性点にのみ選択的に反応する物質を添加する独自の発想により SO₂酸化性能は抑制しつつ高水銀酸化反応を向上する触媒開発に成功（図3）。

2.8 今後の規制に対する対応策

米国では遅くとも 2016 年 4 月までに MATS への応諾が迫られており、各電力会社では経済的かつ信頼性の高い技術の適用を模索している。本件は既設脱硝装置を高水銀酸化型脱硝触媒に交換するだけで容易に対応できる点でメリットがあり、新たな薬剤を必要とせず確実に水銀除去を可能とするもので広く活用されることが期待される。水銀をはじめ微量成分の排出規制は今後とも世界的に重要な課題であり、歴史ある日本発の技術の改良で新規制に対応する方式を提案できる点で意味深い。

3. 応用分野

当該技術は、石炭焚き火力発電所向けに開発された技術であるが、発電所以外でも水銀排出が課題になっている分野として注目されているのがセメント製造産業である。当該産業では世界的に排煙脱硝装置の実績はほとんどなく、NO_x 規制応諾の必要性に応じて無触媒脱硝が一般的に使用されているが、水銀規制に対しては十分とは言えない。当該プロセスには、除塵用の電気集塵器やバグフィルタが一般的に使用されているので、高水銀酸化型触媒を集塵器の前流に配置し、効率良く水銀を酸化することで水銀化合物の蒸気圧を上げ集塵器で捕集することで水銀を除去することが可能と考えられる。



1. 開発経緯

我が国では1960年頃から廃棄物の焼却処理が進められ、世界でも有数の廃棄物焼却施設を有している。総施設数は1,200箇所を超え、その処理方式にはストーカ炉、流動床炉、ガス化熔融炉等がある。主流となる焼却技術はストーカ炉であり、総数の70%を占めている。各方式ともに新世代の焼却炉として改良が進んでいる。

当社では、旋回流型流動床焼却炉（TIF：Twin interchanging fluidized-bed）を開発し、1984年に市場投入した。これは、当社の自社開発技術であり、228基（140施設）の納入実績を有する。

近年の廃棄物処理においては環境負荷の低減、エネルギーの有効利用、ライフサイクルコストの低減が重要なニーズとして挙げられている。

本申請装置である「次世代型旋回流動床焼却システム」は、近年の廃棄物処理へのニーズに対応すべく、従来からの旋回流型流動床焼却炉の技術をベースに、流動床ガス化熔融炉にて得られた知見や新技術等、当社の最新技術を注ぎ込んだ全く新しい流動床焼却システムである。

本システムは環境負荷の低減やエネルギーの有効利用の観点から、低空気比燃焼による排ガス量の低減、高効率発電、発電・送電の安定管理を目標に掲げ開発を行った。

具体的には①破碎ごみ投入（給じん安定、低空気比対応）、②炉床面積縮小（動力削減、熱ロス抑制）、③再循環排ガス吹き込み（燃焼室内攪拌及び低空気比に伴う局所高温防止）、④レーザ式酸素濃度計による燃焼制御（低空気比対応）⑤流動床の炉内脱硫・脱塩効果による薬品使用量の低減（最終処分量低減）、⑥発電量制御・送電量制御の導入（電力の安定管理）等を採用することにより、低空気比燃焼（従来の2.0から1.3～1.4へ）による排ガス量の低減、最終処分量低減、高効率発電、発電・送電の安定管理を実現したシステムである。

本システムは、従来の流動床焼却システムが持っていた幅広いごみ組成・ごみ質への対応力（特に汚泥との混焼が容易であること）や、ごみ中のカルシウムを利用した炉内脱塩、脱硫が可能で灰の発生量が少ないといった特長をそのままに、今回の開発によって低空気比燃焼が可能であること、高効率発電及び発電・送電の安定化が図れることが新たな特長となっている。

本システム導入までの経緯は以下の通りである。

1984年4月 旋回流型流動床焼却炉（T I F）1号機を納入（藤沢市）

- 2002年4月 エバラ流動床ガス化溶融システム（TIF-G） 都市ごみ1号機を納入
（酒田地区クリーン組合（現酒田地区広域連合））
- 2009年4月 本申請装置の計画、検討
- 2013年9月 本申請装置の1号機を竣工引き渡し（平塚市）

2. 装置説明

2.1 構造、原理

従来、流動床ごみ焼却炉には以下の特長が備わっていた。

① 起動・停止が容易で非常停止時も安全

炉内に大量の砂を有しており、それが蓄熱体と機能するため、起動・停止に必要な時間が短く、また炉内の廃棄物の滞留量が少ないため、運転時に不測の事態が生じて、瞬時に負荷遮断による非常停止が行え、排ガス処理等の機能が維持されている間に系内が空気置換される。軽微な機器故障等では、ごみ供給を一時的に停止して対応後、安全かつ速やかに再起動でき、設備稼働率を高く維持した施設運営が可能である。

② 幅広いごみ質に対応可能

流動化する砂の中で熱分解、燃焼が起こるため、汚泥からプラスチックまで幅広いごみ質に対応できる。また、流動層内の砂の旋回流形成による攪拌効果により混合状態が良いため、多種の廃棄物を投入しても、熱灼減量が低く、高い燃焼効率で燃え切る。

③ 炉内脱塩・脱硫による排ガス中塩化水素（HCl）硫黄酸化物（SO_x）の発生抑制

炉内脱塩・脱硫効果により、排ガス処理前の HCl および SO_x 濃度が極めて低い
ため、排ガス処理にかかる薬品コストを低減できるとともに、酸露点腐食や触媒被毒等の問題が起こりにくい。

本システムは、従来からの流動床焼却技術をベースに、近年数多く納入した流動床ガス化溶融システム（TIFG）にて得られた知見や新技術を反映させたものである。従来からの流動床焼却技術の特長を損なうことなく、以下の機能を付加できた。

- a 低空気比運転
- b 高効率発電
- c 発電量・送電量の安定管理

プロセスフローを図1に示す。

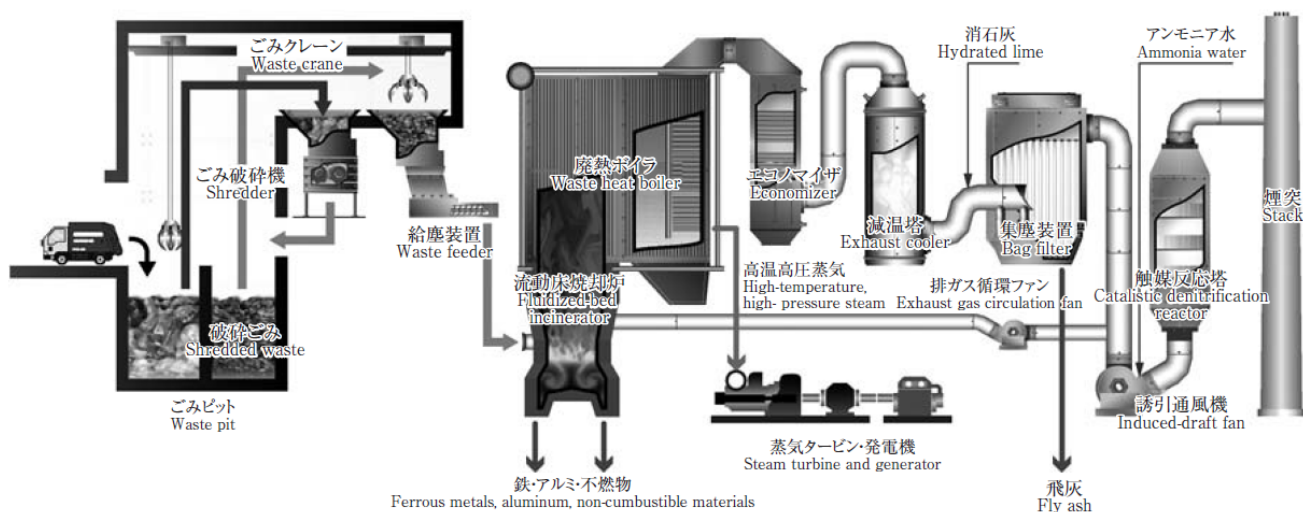


図1 次世代型巡回流動床焼却システムのプロセスフロー

上述の機能を発揮するため、以下の開発を行った。

(1) 燃焼空気比の低減

流動床ガス化溶融システムでは、ごみの持つ熱量を最大限有効に活用して高温場を形成し、安定的に灰を溶融する機能を有していた。その運転においては、燃焼空気比を 1.3～1.4 程度に管理し、安定的に燃焼する技術を確立しており、それを「次世代型流動床焼却システム」に適用した。次世代型流動床焼却炉の外形図を図2に示す。

① ごみの粗破砕及び定量供給システム

計量後の一般廃棄物はごみピットに受入れ、二軸せん断破砕機による簡易破砕処理をした後に破砕ごみピットに貯留する。この簡易破砕処理により焼却炉へのごみの定量供給性が一層向上し、流動床ガス化溶融炉と同等の低空気比安定運転が実現可能となった。また破砕ごみピットから焼却炉への供給とすることで、破砕機のトラブル時にも貯留された破砕ごみの供給を可能とし、安定な操炉を継続することが可能である。

② レーザ式酸素濃度計、制御系の充実

本システムは従来の流動床焼却炉に比べ、炉床温度を流動床ガス化溶融炉におけるガス化炉炉床温度と同等の 600℃以下にまで低下させたことにより燃焼変動を抑制している。これに加え、燃焼空気量制御の

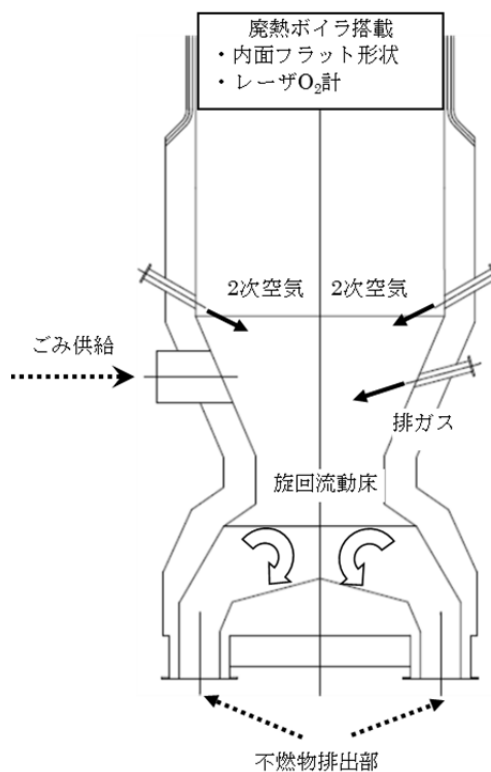


図2 焼却炉外形

検出端として、従来のボイラ出口に設置していたジルコニア式酸素濃度計に替えて、時定数が極めて短く、メンテナンス性に優れ、高温場でも使用可能であるレーザ式酸素濃度計を火炉の後段に設置した。

このレーザ式酸素濃度計とフレイムセンサー（火炎からの放射光を検知する手段で、炉内の燃料切れを判断する）との併用による燃焼空気量制御により、燃焼変動に対する燃焼空気の投入の追従性が向上し、低空気比燃焼においても空気不足に陥ることがなくなり、常に安定した燃焼状態を実現している。

③ 排ガス再循環の採用

低空気比運転による炉内温度の上昇を抑えるために、集じん装置出口の排ガスを循環させ、焼却炉のフリーボード部に戻した。循環ガス量は排ガス量の10%程度であり、燃焼排ガスの攪拌を促進し、炉内温度を安定させるために、循環ガス量の制御をおこなっている。その結果、炉内温度は1,000～1,050℃の範囲で安定に保たれており、局所高温場生成によるクリンカの発生も無く安定な低空気比運転を実現している。また、局所高温場の生成抑制により、窒素酸化物（NOx）の発生抑制にも寄与している。

④ フリーボード部のクリンカ生成防止

焼却炉に搭載する廃熱ボイラの水管範囲を焼却炉のフリーボード部まで下げることにより、高温燃焼域での炉内壁面温度を低下させ、壁面へのクリンカ付着防止を行っている。

また、フリーボード部の内面形状を凹凸のないフラット構造とすることにより、ダストが壁面へ衝突し、クリンカへと付着成長することを防止している。

⑤ 燃料使用量の削減

低空気比運転を可能としたことにより、炉からの持出熱量を低減し、発熱量が低いごみに対しても助燃料を使用することが不要となる。特に汚泥などの含水率の高い原料に対しても前処理（乾燥など）が不要であり、かつ助燃料の使用もなく処理可能である。

(2) 炉床負荷の増加：炉床面積のコンパクト化

従来の流動床式ごみ焼却炉の炉床負荷（炉床面積 1m² あたりの処理量であり、炉の大きさを決定するための設計基準値）は400～450kg/m²hであったが、流動床ガス化熔融炉におけるガス化炉の実績（800～1,200kg/m²h）に基づき、炉床負荷を675 kg/m²hと高め、従来と比べ炉床面積を約半分にコンパクト化した。これによって以下の効果を得た。

① 流動床の流動化空気量が従来に比べて30%程度削減される。これにより、押込送風機の動力も約30%削減される。

② 砂中空気比が低下し砂中燃焼量が低減されることにより、発熱量の高いごみの場合でも炉床注水無しで流動床温度を560～600℃程度に維持できる。これにより、注水による熱ロスを抑制できる。更に、流動層内でのごみの乾燥・熱分解が低温で比較的

ゆるやかに行われるため、可燃ガス発生量の変動が抑えられ、安定した燃焼制御が行える。

- ③ 砂中の酸素濃度が低くなることにより、ごみに含まれる有価金属類は、再利用しやすい未酸化状態で回収できる。

(3) 高効率発電

プラントからの放熱量を最小化し、蒸気タービンへの送気量を最大化するために、以下の技術を採用した。

① 排ガス再加熱器の不採用

触媒反応塔における排ガス温度は集じん装置入口排ガス温度と同様の 170℃としている。一般には触媒反応塔での温度が 200℃未満であると排ガス中の硫黄分による触媒劣化を引き起こすため、排ガス再加熱を行う必要があるが、本施設では流動床炉の大きな特徴である炉内脱硫機能により排ガス中の SO_x 濃度は極めて低く、集じん装置出口では 1ppm 以下である。このため硫黄分による触媒劣化は些少であることから、本施設では、触媒反応塔入口での排ガス再加熱は行わない構成とすることで、再加熱用の蒸気利用を削減し発電効率の向上を図っている。

② 不燃物排出系からの熱回収

流動床焼却炉では炉内の不燃物を流動媒体とともに抜き出し、流動媒体と不燃物とを分級した後、流動媒体は炉内への循環使用を行っているが、循環系機器の炉下シュート及び不燃物排出装置の機器冷却水による冷却が熱ロスとなっていた。本施設では当該機器の冷却をボイラ復水により行なうことで従来の熱ロス分を回収し、ボイラ効率を高めた。

(4) 電力の安定化（蒸発量・発電量・送電量の制御）

余剰電力を系統に連携する場合、発電所としての側面から「安定した電力の供給」を行なう必要があり、発電量・送電量の安定化が求められる。

流動床焼却炉では、燃焼速度が速いという側面が利点となり、ボイラ蒸発量を制御することが容易である。このことを用いて、発電量及び送電量の変化量に応じて蒸気タービンへの供給蒸気量及びボイラ蒸発量を制御することで発電量・送電量を制御・安定管理することが可能である。なおその際のボイラ蒸気圧力の変化量に応じて給じん量を制御することでボイラ蒸気圧力も一定になるように制御している。図 3 に従来技術と本申請装置（次世代流動床技術）の関係を示す。

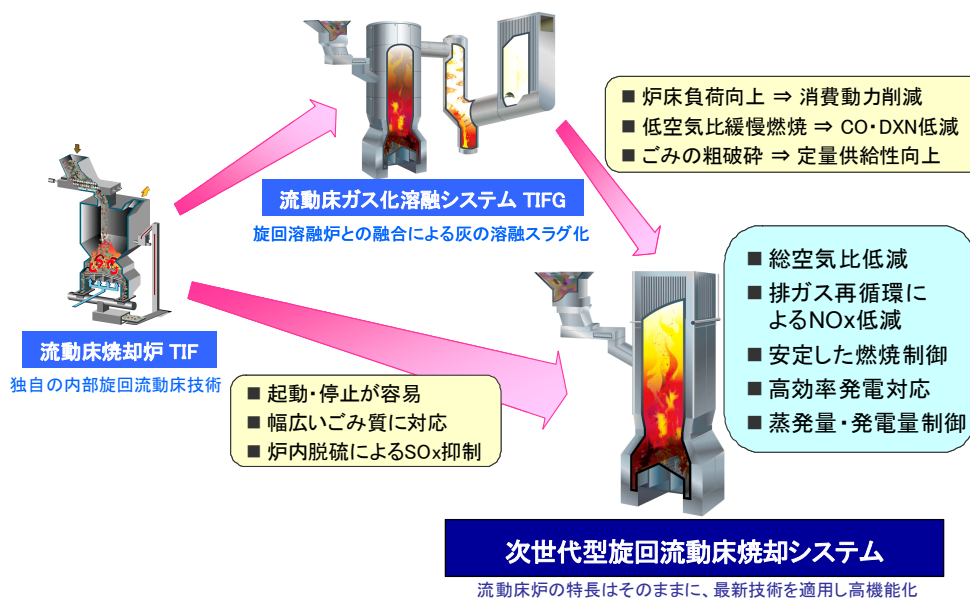


図3 次世代型旋回流動床焼却システムと従来技術の関係

2.2 特許の有無

本システムに関する特許は無い。

2.3 性能

(1) 装置能力

本システムを採用し、納入した1号機（以下納入1号機と記す）の主な仕様を以下に示す。

施設規模	: 315t/d (105t/24h×3 炉)
燃料性状	: 一般廃棄物
低位発熱量	: 設計値 5,400~12,100kJ/hg
炉床負荷	: 設計値 675kg/m ² h
燃焼空気比	: 設計値 1.4
発電量	: 5,900kW

煙突排ガス保証値（酸素濃度 12%換算値）

ばいじん	: 0.01g/m ³ (NTP)
硫黄酸化物	: 30ppm
塩化水素	: 50ppm
窒素酸化物	: 50ppm
一酸化炭素	: 30ppm
ダイオキシン類	: 0.05ng-TEQ/m ³ (NTP)

(2) 装置性能

① 性能曲線及び処理実績

図4に納入1号機の性能曲線を示す。

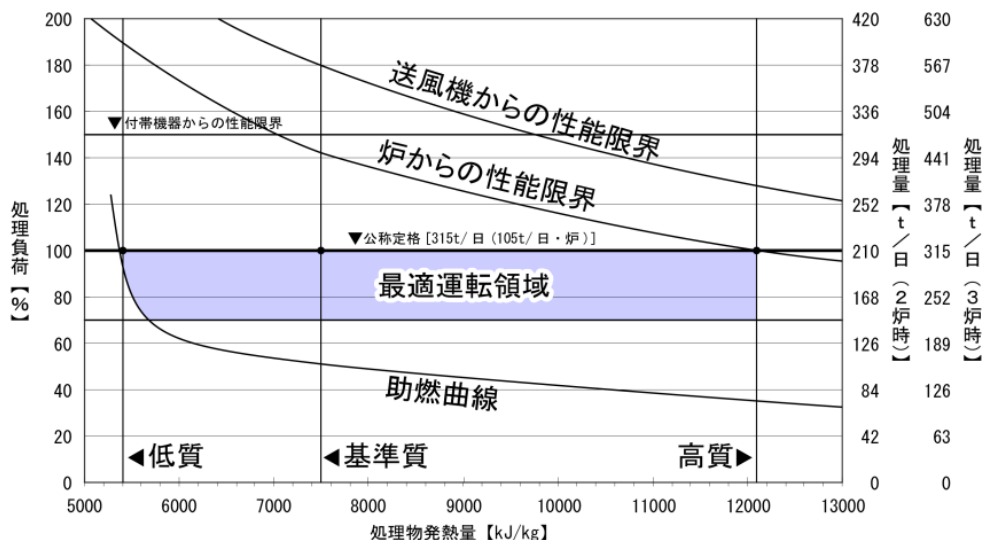


図4 性能曲線図

流動床焼却炉の特性は、対応ごみ質範囲が広いことと、部分負荷運転範囲の広さが挙げられるが、本施設についても計画ごみ質範囲において公称定格量の70%までの部分負荷運転を安定的に行うことができる。

図5に納入1号機における竣工から1年間（2013年10月～2014年9月）の処理量グラフを、表1に年間処理量の集計を示す。共通系点検による全炉停止（5日間）を除いて遅滞なく操炉が行え、処理量は69,047tにのぼった。この期間の負荷変動としては75%（ピット残量調整のため）～100%と広範囲での操業が行えている。

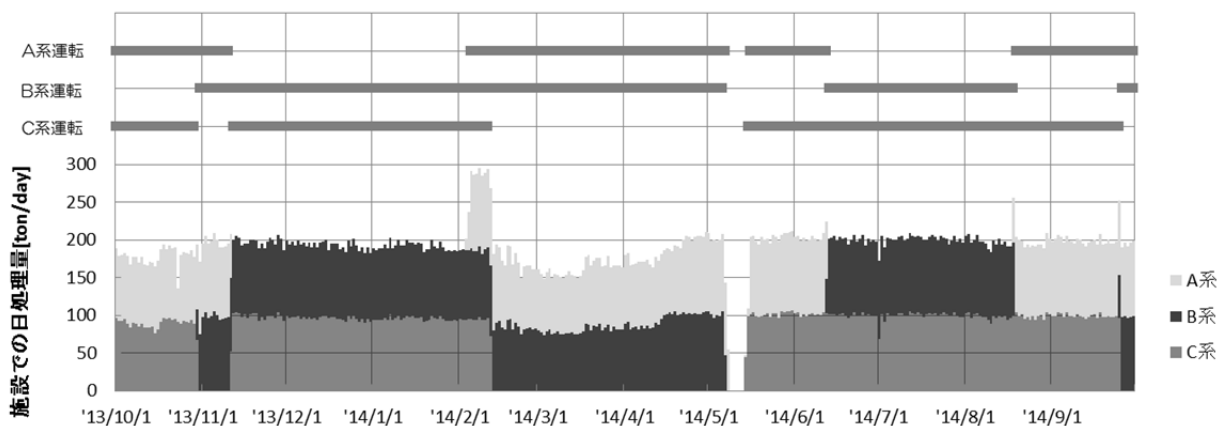


図5 処理量グラフ（2013年10月～2014年9月）

表1 処理量実績 (2013年10月～2014年9月)

	処理量	運転 日数	平均 処理量	定格 比率
	t/年	日/年	t/d	%
施設全体	69,047	360	191.8	—
A系	19,181	211	90.9	86.6
B系	24,764	264	93.8	89.3
C系	25,102	259	96.9	92.3

② 炉床負荷

炉床負荷を $675\text{kg/m}^2\text{h}$ とし、従来の焼却炉の約半分の炉床面積とした。その結果、流動空気量は従来に比べて 30%低減することができた。また炉床温度は押込空気量によって温度制御を実施している。図6に納入1号機におけるトレンド例をしめすが、流動空気の可変によって注水を行うことなく炉床温度を安定的に管理することができる。

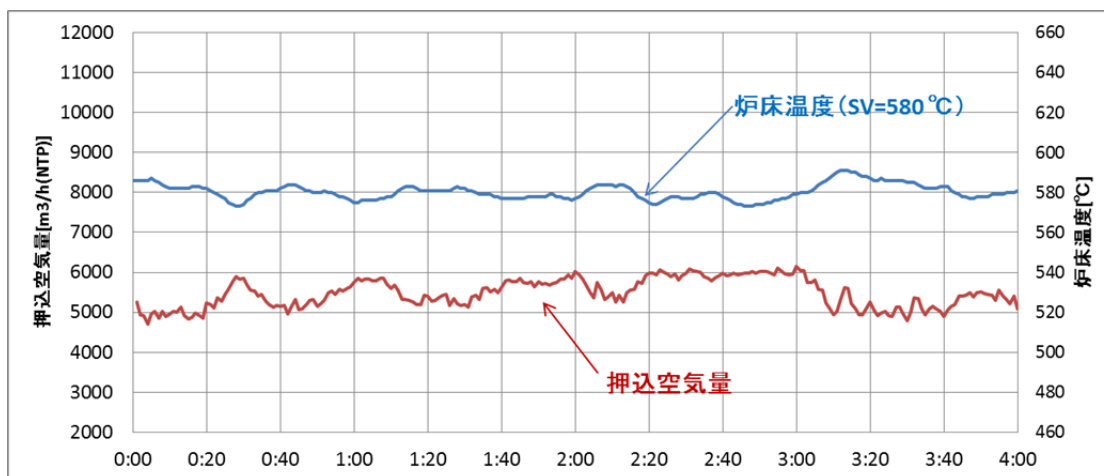


図6 押込空気量と炉床温度トレンド例

③ 未酸化状態での有価金属の回収：

炉下から回収された有価金属を下写真に示す。炉床空気比を低減した効果により、未酸化状態で回収される割合が高まっている。



写真 未酸化有価金属

④ 燃焼空気比

納入1号機における燃焼空気比と一酸化炭素（CO）との関係を図7に示す。ボイラ酸素濃度計として採用したレーザ式酸素濃度計の効果により O₂ 濃度が降下しても瞬時にその変化を捉え燃焼空気量を制御でき、低空気比でも CO 濃度等の上昇が抑制でき、燃焼空気比としても 1.4 での操業が行えている。なお、TIFG における燃焼空気比は概ね 1.3～1.4 程度で運転されており、本施設においても TIFG と同様の低空気比運転を安定して行わせることができることが確認できた。

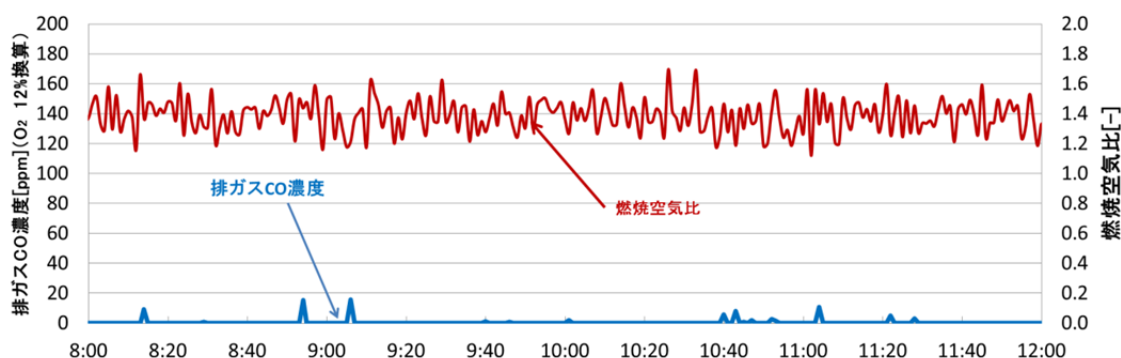


図7 燃焼空気比と一酸化炭素トレンド例

2013年9月6～7日にかけて実施した納入1号機における引渡性能試験における排ガス分析結果を表2に示す。燃焼空気比が1.4を下回る条件で全ての排ガス保証値を満足することができた。

表2 引渡性能試験 排ガス分析結果

項目	単位	保証値	A系	B系	C系
ボイラO ₂ 濃度	wet%	—	4.19	4.05	4.41
ボイラO ₂ 濃度	dry%※	—	5.62	5.53	5.79
燃焼空気比	—	—	1.38	1.37	1.39
排ガスCO	ppm	30	3	5	0
排ガスNO _x	ppm	50	24	24	24
排ガスSO _x	ppm	30	0.1	0.1	0.1
排ガスHCl	ppm	50	27	29	22
排ガスDXNs	ng-TEQ/m ³ (NTP)	0.05	0.0046	0.0025	0.0038
※排ガス水分計測定値による逆算					

また、排ガス再循環によって、低空気比であっても炉頂温度を1,000～1,050℃程度に安定して抑えることができ、クリンカの付着も起こっていない。なお、再循環ガス量は排ガス量の10%程度である。

⑤ 発電量向上と高効率発電・高効率送電

納入1号機における集じん装置入口・出口の排ガス SO_x の分析値は表3の通りであった。特に、集じん装置入口では約 1ppm 程度と極めて低濃度であった。これにより、排ガス再加熱器なしでも触媒の被毒のリスクは低いことを確認した。

また、炉下における熱回収量は1炉当たり約140kWであり、熱効率の向上に寄与している。

表3 集じん装置前後の排ガスSO_x濃度

	系列	1回目	2回目	3回目
入口	A系	1.3	0.80	0.40
	B系	1.4	0.50	0.70
	C系	3.8	1.10	0.60
出口	A系	0.5	0.1	0.1
	B系	0.3	0.1	0.2
	C系	0.2	<0.1	0.1

※単位はppm(O₂ 12%換算)

納入1号機における竣工後1年間の電力収支を表4に、発電端効率と送電端効率の(日平均)トレンドを図8に示す。本施設は2炉操業が基本であり、ごみ搬入量やピット残量を考慮して、1炉あたりの負荷の増減、操炉数の変更を行なっており、年間通して遅滞なくごみ処理が行えている。また電力関係では発電端効率は平均19.5%、送電端効率は平均13.6%と高い効率を保持できることを確認した。

本施設はプラント排水を減温塔で蒸発処理することでプラント排水のクローズドシステムを成立させているが、排水を別途放流する施設であれば、さらに効率を高めることができる。

またプラント所内動力については通年平均で111kWh/tを達成した。所内動力を下げるために、大型送風機や空気圧縮機などにインバータを積極的に採用したことにより所内動力削減に寄与できた。プラント動力については処理負荷や外気温度による影響(低圧蒸気復水器や冷却塔の動力)がある。今後操炉運用の適正化を進めることによってさらに改善できるものとする。

表4 電力収支(2013/10~2014/09)

	'13/10-'14/9平均	
	MWh	kWh/ごみton
受電電力	87	1
太陽光・非発	3	0
発電電力	34,949	506
所内電力	10,636	154
プラント動力	7,641	111
建築設備動力	2,251	33
ロスその他	744	11
送電電力	24,403	353
発電端効率	19.5%	
送電端効率	13.6%	
ごみ発熱量	9,347 kJ/kg	
外気温	17.2 °C	

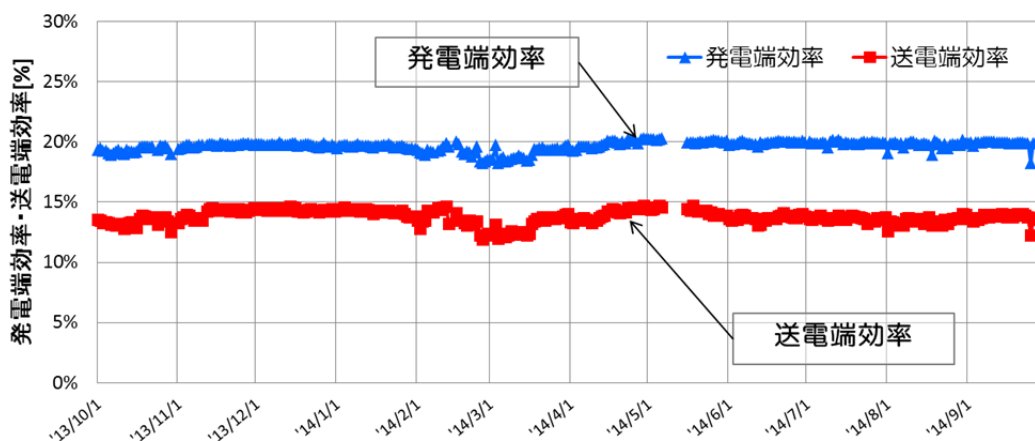


図8 発電端・送電端効率トレンド（日平均）

⑥ 蒸発量制御・発電量制御・送電量制御

図9に納入1号機にて実施した蒸発量制御（ボイラ蒸発量一定制御）時のボイラ蒸発量トレンドを示す。

蒸発量制御を実施した段階でボイラ蒸発量及びボイラ蒸気圧力は安定している。また設定値の変更も容易に行えることで電力量制御の有効性が可能となることがわかる。

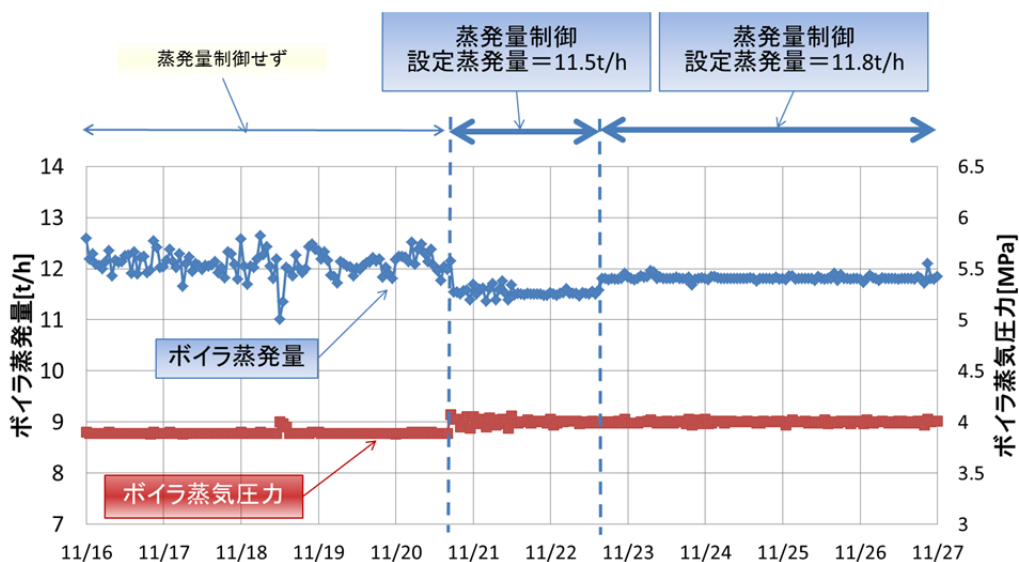


図9 蒸発量制御時の蒸発量トレンド例

発電量制御は発電量の設定値とプロセス値の偏差に基づくPID制御にて、所望の発電量が得られるように各ボイラの蒸発量設定値を調節している。つまりボイラ蒸発量設定値は

発電量制御 PID の出力に応じて上下するが、それに追従するようにボイラ蒸発量制御の設定値を変化させ蒸発量をカスケード制御している。

図 10 に納入 1 号機にて実施した発電量制御を実施した際の発電量と送電量のトレンドを示す。発電量設定は 4,200kW を基本として短期的に 4,300kW と設定を変更したが、設定変更にも十分追従し安定した制御が行えていることがわかる。

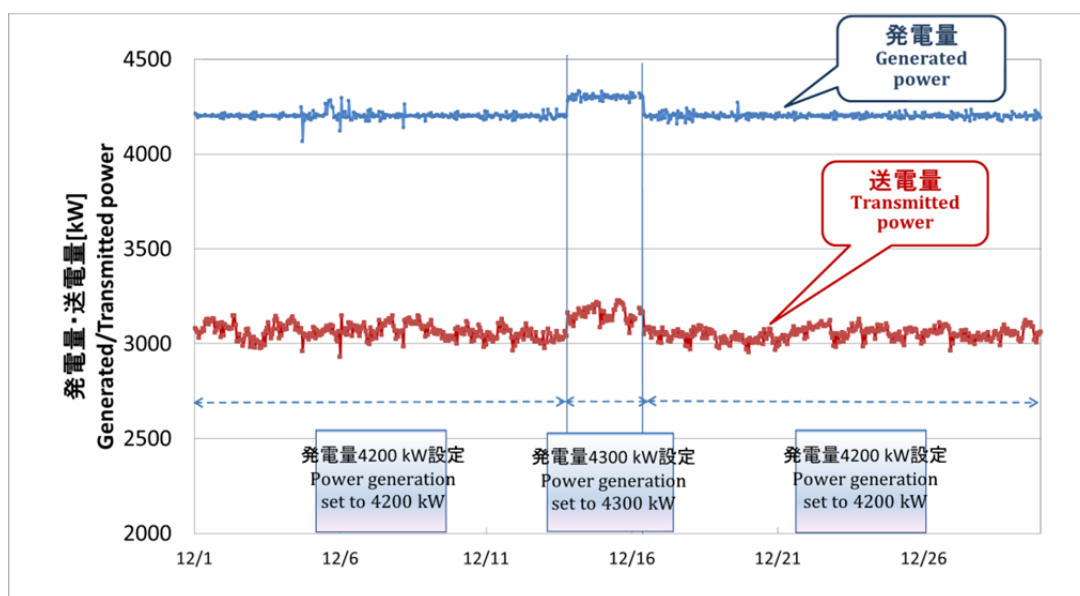


図 10 発電量制御時の発電電力・送電電力トレンド例

送電量制御は、所内動力の変化に伴い発電量の設定を変えていく制御となる。つまり所内における動力の大きな機器（たとえばごみクレーンやごみ破碎機など）の稼動状況や、外気温変化による機器の動力変化に応じて発電量を制御し追従させる必要がある。

図 11 に納入 1 号機にて実施した送電量制御を実施した際の発電量と送電量のトレンドを示す。所内動力が最大でも ± 150 kW 低度の振れ幅があるが、送電量制御の際にはこの所内動力の変動を吸収するため発電量が可変しており、送電量は安定的に設定値である 2,800kW を保持している。

これにより、需要家の要望による送電量をコントロールすることが可能であり、従来のごみ発電システムより高機能な、発電所としての役割を果たすことが可能となった。

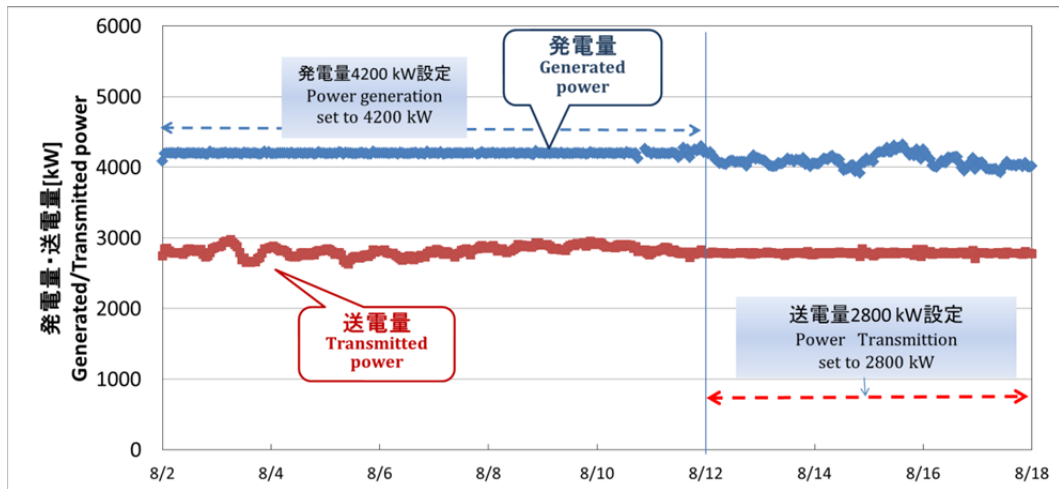


図 11 送電量制御時の発電電力・送電電力トレンド例

定量性の高いごみ供給システムを採用し、流動層温度を比較的低温に維持することによって、燃焼量の制御性が飛躍的に向上したため、狙い通りの蒸発量と発電量・送電量を安定して維持することができるようになった。今後は、新電力会社に求められる「30分同時同量」制度である需要量と供給量の差分が $\pm 3\%$ 以内を目標に掲げ、さらなる送電量の安定化（変動の抑制、負荷追従性の確認等）を目指す所存である。

2.4 維持管理

(1) 運転操作性：起動・停止が容易

炉内に廃棄物の滞留量が少なく、起動・停止が容易なため、運転時に地震等で不測の事態が生じても速やかに、かつ安全に停止できる。また、ごみ供給を一時的に停止しただけであれば、砂温も保持されているので安全かつ速やかに再起動でき、設備稼働率を維持して安定したごみ処理ができる。

(2) メンテナンス性

焼却炉内部は、ストーカ方式のような可動部分が無いため、メンテナンスは容易である。

2.5 経済性

(1) 発電量制御・送電量制御

近年清掃工場は、地域分散型の再生可能エネルギー発電施設として注目を集めており、特に太陽光発電などと違い、安定供給できるごみ発電（バイオマス発電）は期待が大きい。

ごみ発電においては、売電収入の大小が施設運営の経済性を大きく左右する状況となっている。売電収入を最大化するためには、高温高压ボイラの採用や排ガス再加熱の省略などにより施設の発電端効率を高めることに加え、プラント所内動力を最小化することで送電端効率を高めることも重要となる。本装置では、緩慢燃焼方式の採用による流動空気量の低減や低空気比燃焼の実現による排ガス量の低減により、送風機類の動力を大幅に低減することが可能となった。これにより、定量供給性を高めるために設置した破碎機の消費

動力を考慮しても、プラント所内動力はごみトンあたり約 110kWh となり、従来型流動床焼却炉に比べて約 10% (当社比) の所内動力削減を実現している。こうした取組みにより、前述のとおり、第 1 号機においては、竣工後 1 年間の平均として、発電端効率 19.5%、送電端効率 13.6% を達成しており、これは今後操炉運用の適正化を進めることによってさらに改善できるものと考えられる。

また近年、清掃工場における発電電力は新電力 (特定規模電気事業者 : PPS) へ売電されるケースが増加している。新電力事業者においては、「30 分同時同量制度」により、30 分毎の電力の需要量と供給量を一致させることが求められており、現行制度では需要量と供給量の誤差が $\pm 3\%$ を上回った場合に「インバランス損失」と呼ばれるペナルティが発生する。このため、計画通りに安定して送電できる発電所からの電力ほど、インバランス損失の回避に資する「価値の高い電力」として、より高い単価で新電力事業者に売電できる可能性がある。

元来、流動床焼却炉は炉内での燃焼反応の時定数が短く応答性が良いため、発電量一定制御あるいは送電量一定制御を行うことが技術的に容易であるが、本装置においては、ごみの粗破碎による定量供給性の向上や、レーザ式酸素濃度計の採用による燃焼制御技術の高度化により、優れた環境特性と高い発電安定性を両立させた運転が可能となった。

第 1 号機での送電量一定制御運転時における送電出力の計画値と実績値、及びそれらの相対誤差の推移の例を図 12 に示す。1 日を 30 分単位で区切った計 48 コマごとに、当日の施設運用計画等を勘案して算定された送電出力の計画値に対し、実際に施設から送電された出力の実績値は非常によく一致しており、その相対誤差は $\pm 3\%$ の範囲に収まっている。これは、本施設単独で見た場合でもインバランス損失の発生を回避できていることを示している。

実際の新電力事業者においては複数の電源の組合せによる平準化効果が期待できるため、必ずしも全ての発電所が $\pm 3\%$ 以内の送電出力精度を有している必要は無いが、ごみ発電施設等の再生可能エネルギー発電施設のネットワーク化によるグリーン電力供給への期待が高まる中、このように精緻な発電量制御が可能な本装置を一定の割合で導入することにより、ネットワークにおける電力需給の安定化が図られ、ひいては従来以上に経済的なグリーン電力供給システムの運営が可能となるものと期待される。

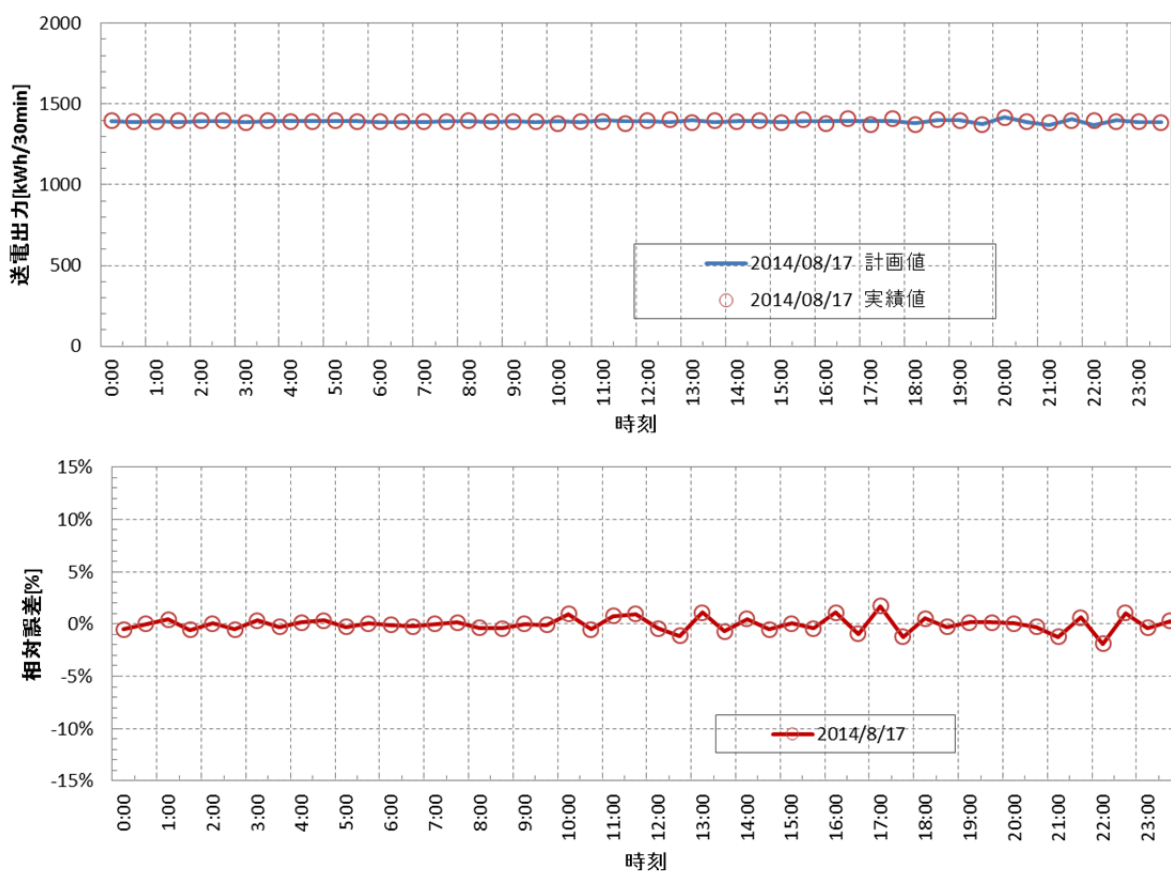


図 12 第 1 号機における送電出力の計画値と実績値の比較

(2) 飛灰量の低減

流動床焼却炉では、ごみ中に含まれるカルシウム分と硫黄分の流動床内における中和反応による炉内脱硫効果により、重曹系の薬剤など高価な排ガス処理薬剤を用いずとも、排ガス中の SOx 濃度が低く保たれるという特徴がある。

また、排ガス中 SOx 濃度を低く抑えられるため脱硝触媒の被毒がきわめて少ない。よって、集じん装置下流に排ガス再加熱なしで脱硝触媒を設置でき、施設内の蒸気消費を抑制して、タービンへの送気量を増やせる。

表 5 に有価金属を除いた灰分を全量溶融処理した場合の LCC 比較を示す。流動床焼却は、排ガス処理 (脱塩) 薬剤添加量の削減が可能であり、(焼却形式によらずごみ由来の灰分量は一定であるため) 本装置を用いた焼却システムにおいては灰 (=脱塩残渣) の排出量を低減することが可能である。これにより薬剤購入費用と灰の資源化 (溶融) に必要な電力コストの合計として、20年間の運営期間において約 2.5 億円のコストメリットがある。

(1 号機での計算例)

表 5 焼却形式による排ガス処理（脱塩）薬剤使用量およびLCC比較

	流動床式	ストーカ式	
消石灰原単位	1.2	5.3	kg/tごみ
年間使用量	85,246	376,219	kg/年
薬剤コスト差		10.2	百万円/年
灰溶融に必要な電力		800	kW/t灰
年間消費電力のアップ		232,778	kWh/年
溶融まで含めた買電コスト差		2.3	百万円/年
LCC差(運営期間20年あたり)		250.2	百万円/20年

2.6 将来性

将来のごみ質変化に対するフレキシビリティが高く、ごみ処理政策の変更等により、将来ごみ質が変化しても、流動床炉であれば、汚泥からプラスチックまで幅広いごみ質に対応できる。

また、近年の少子高齢化の進展に伴う人口の減少傾向及び3R（リユース・リデュース・リサイクル）の推進により、日本国内では今後一般にごみ排出量が減少していく傾向にある。

前述の第1号機の性能曲線にも示したとおり、流動床焼却炉の特性として、対応ごみ質範囲が広く、部分負荷運転範囲においても70%負荷程度まで許容できることから、上記のようなごみの質・量の変化に対して幅広く対応できる処理方式として本焼却システムが広く対応可能である。

2.7 独創性

排ガス再循環や低空気比燃焼は、個別の技術として当社でも実施してきた既存の技術であるが、これらを組み合わせることにより、従来空気比として1.8~2.0程度必要であった流動床焼却システムにおいて、空気比1.3~1.4での安定した焼却処理を達成し、従来システムを飛躍的に高性能なシステムとして蘇らせたものである。

また近年のエネルギー情勢からも廃棄物処理施設が廃棄物の安定処理を行うに留まらず、廃棄物発電所としての位置づけが望まれている中で、発電量や送電量を安定管理が可能である本システムは他の焼却システムにない独自の技術である。

2.8 今後の規制に対する対応策

今後日本では人口が減少し、ごみの発生状況が大きく変化するだけでなく、自治体の財政はますます厳しさを増し、都市ごみ処理の方法も見直しを迫られることは避けられないと思われる。また、温暖化対策等の強化により、下水汚泥や他の産業廃棄物の処理についてもより合理的・効率的な方法が模索されるようになるものと考えられる。予測困難な将来にわたって、いかに持続可能な廃棄物処理計画を立案するかは、多くの地域にとって喫緊の課題となると考える。

流動床焼却炉は、液体・固体の区別無く廃棄物を焼却可能であり、対応可能な発熱量の幅も広いいため、多種多様な廃棄物を同時に混合処理できるという特長を持つ。次世代型旋回流動床焼却システムは、将来の廃棄物処理ニーズの変化に確実に応えられる強靱な技術

であり、長期にわたって地域の廃棄物処理を支える技術として、今後の規制に対する対応策として極めて有効である。

3. 応用分野

本システムは、対象ごみ種別としては都市ごみのみならず、各種産業廃棄物、廃油、汚泥等、幅広いごみ種別に応用可能である。

—非 売 品—
禁無断転載

第 41 回
優秀環境装置

発 行 平成 27 年 6 月

発行者 一般社団法人 日本産業機械工業会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号
電話 03-3434-6821