

流動床式ガス化溶融炉の実績と高度化

Delivery Results and Latest Technologies of Fluidized Bed Gasification and Melting Furnace



植浦大樹*
Daiki Ueura



伊藤 正**
Tadashi Ito

当社の流動床式ガス化溶融炉は、ごみのガス化を行う流動床部において高炉床負荷で緩慢燃焼を追求することにより、燃焼変動を極限まで低減した様々な廃棄物性状に対応可能な技術である。一般廃棄物の処理に加え、最終処分場の掘起こしごみや災害廃棄物など社会ニーズに応える形で適用範囲を拡大し、納入された施設規模は60 t/d～525 t/dに達し、分散型中小施設から広域化された大規模施設までを網羅する実績となった。さらに、廃棄物処理に関わる発電量の安定化や省力化と言う社会の要請に対して、近年発展の著しいAI・ICT技術を活用した運転支援技術の開発を行い、流動床式ガス化溶融炉の高度化に向けた取組みを加速させている。本稿では、当社の納入した流動床式ガス化溶融炉の実績と最新の技術について報告する。

Our fluidized bed gasification and melting furnace suppresses combustion fluctuation to minimal amounts by pursuing slow combustion under the condition of a high waste feeding rate in the fluidized bed section that gasifies waste. This allows for various waste properties to be targeted for incineration. The scope of these applications has been expanded in response to social needs such as the treatment of not only domestic waste but also excavation waste at landfills as well as disaster waste. The scale of waste treatment facilities delivered has reached between 60 t/d to 525 t/d which means that it covers the nearby small and medium-sized facilities as well as large-scaled facilities that have expanded in area. Furthermore, we are accelerating efforts to upgrade the fluidized bed gasification and melting furnace by developing operation support technology using recently developed prominent AI and ICT technologies, thereby stabilizing the amount of power generation and saving labor in the field of waste treatment. In this paper, we report the delivery results and the latest technology of our delivered fluidized bed gasification and melting furnaces.

Key Words :

流動床式ガス化溶融炉
ごみの混合処理
運転支援技術

Fluidized bed gasification and melting furnace
Mixed treatment of waste
Operation support technology

【セールスポイント】

- ・ 廃棄物の保有する熱エネルギーを利用することで外部燃料を使用せずに廃棄物のガス化、高温燃焼、灰の溶融処理を一貫して行うことのできる経済的な処理方式である。
- ・ 広範な処理規模の対応実績がある。
- ・ 多種多様な性状の廃棄物に適用可能である。
- ・ AI・ICT技術を活用した運転支援技術の開発により、流動床炉の高度化を推進している。

まえがき

ごみ焼却処理から排出されるダイオキシン類の削減を主な目的として、平成9年に環境省より「ごみ処理の広域化計画について」が通知され、各都道府県にてごみ処理の広域化が推し進められてきた。図1で示すように、平成10年度には100 t/d以上の施設が550施設と全体の約31%であったのに対し、平成29年度には100 t/d以上の施設は約54%に増加している¹⁾。平成31年3月29日には、環境省から「持続可能な適正処理の確保に向けたごみ処理の広域化及びごみ処理施設の集約化について（通知）」が発表され、安定的かつ効率的な廃棄物処理体制の構築に向けて、今後も広域化・集約化が進められていくものと予想される。一方、広域化・集約化した場合にスケールメリットが見込めないケースでは、これまでどおり地域に即した分散型の形態を維持していく格好となり、広域化による大規模なごみ処理施設と、分散型の中小ごみ処理施設は、今後も共存していくものと思われる。

CO₂排出量削減が急務となっているが、廃棄物の燃焼処理施設では廃棄物由来のCO₂が排出され、助燃剤として化石燃料が使用される場合、排出されるCO₂はさらに加算されてしまう。当社の流動床式ガス化溶融プロセスは、廃棄物の保有する熱エネルギーを利用することで外部燃料を使用せずに廃棄物のガス化、高温燃焼、灰の溶融処理を一貫して行うことのできる経済的な処理方式である。本処理方式による都市ごみ処理施設は、現在全国各地へ普及し、一般的な処理方式の一つとなっている。流動床式ガス化溶融炉が納入された施設規模は60 t/d (30 t/d × 2 炉) ~525 t/d (175 t/d × 3 炉) であり、分散型中小施設から広域化された大規模施設までを網羅し、今後の新設需要に対して幅広く対応できる実

績を積上げてきた。

加えて、当社では流動床炉が様々な廃棄物性状に対応できるという特長を生かし、汚泥や災害廃棄物の混焼へ適用範囲を拡大してきた。最近では流動床式ガス化溶融炉納入施設における灰溶融に加えて、最終処分場に埋立てられている焼却灰を掘起こして溶融し、最終処分場の再生による残余年数を拡大する取組みや、他焼却施設で排出される焼却灰の混合溶融への対応の実績を積上げている。このように、流動床式ガス化溶融炉を様々な社会ニーズへ対応させてきたが、少子・高齢化と言う社会状況に即した省力化による処理技術の高度化も進めている。本稿では流動床式ガス化溶融炉の実績や最新の技術の紹介を通じて、当社の取組みについて報告する。

1. 流動床式ガス化溶融炉の実績

当社は、流動床式ガス化溶融施設について国内最多である合計17施設の実績を有し、施設規模は合計2877 t/dである。

ごみ処理施設において長期連続運転は、起動停止回数の低減に伴うCO₂削減や発電した電力の安定供給に有効であるため、施設の性能を示す一つの指標となる。ビュークリーンおくえつ（福井県）では1炉あたり308日連続運転、年間339日稼働（年間稼働率：約94%）を達成している²⁾。石巻広域クリーンセンター（宮城県）では2系列とも年間300日以上運転を行い、甲府・峡東クリーンセンター（山梨県）でも年間の休炉2回、330日以上運転を行うなど、流動床式ガス化溶融施設の優れた安定性により、長期連続運転の実績が示されている。

また、石巻広域クリーンセンターでは、東日本大震災により発生した約2万tの災害廃棄物を約14%の平均混合割合で処理した。流動床式ガス化炉の砂層は投入ごみに対して大きな熱容量を有している

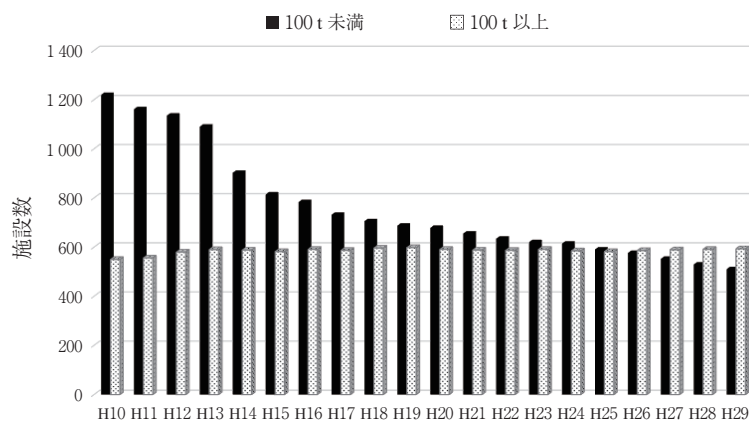


図1 ごみ処理施設の規模別施設数（H10～H29）

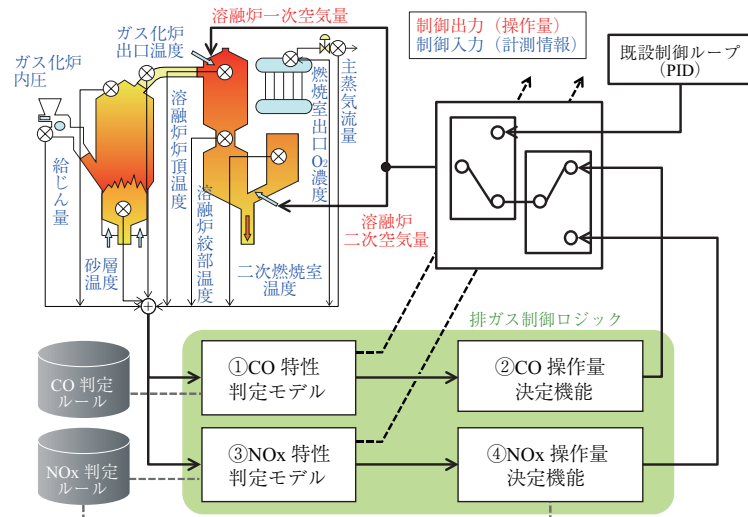


図2 排ガス CO, NOx 抑制の制御システムの概要

ため、ごみ質の変動を吸収して安定した運転を行え、汚泥等の低発熱量のごみからプラスチック等の高発熱量のごみまで多種多様なごみの混合処理に適しており、雑多なごみの混合物である災害廃棄物も確実に処理することができる³⁾。

仙南クリーンセンターでは、最終処分場から掘起こしたごみを都市ごみと混合溶融し、最終処分場の延命化を進めている。掘起こしごみの混合溶融実績は、計画値4.6%に対し、平成29年度は3.1%、平成30年度は5.2%であり、おおむね計画通り推移している。掘起こしごみの混合溶融は、最終処分場の延命化を、ごみを貴重な熱エネルギー資源として最大限活用することで実現した事例である。

ごみのエネルギー資源としての利用は、ごみ発電として広がりを見せ、国内のエネルギー自給率向上と低炭素社会の実現に寄与している。現在ごみ発電ボイラの蒸気条件は4MPa×400℃が標準となっているが、当社ではLCCを増加させることなく高い経済性を維持できる運用条件の把握に努めている。廃熱ボイラを有する複数の流動床式ガス化溶融施設において、過熱器管の長期に渡る減肉状況調査による評価の結果、高効率条件下であっても過熱器管の減肉はほとんど見られず、流動床式ガス化溶融炉は経済性と環境性に優れた設備である結果が示されている⁴⁾。当社では流動床式ガス化技術を溶融炉とは別に燃焼炉としても適用しており、ガス化燃焼炉では国内最高クラスとなる6MPa×450℃の高効率ボイラを導入している。今後もごみ発電の高効率化という社会の要請に応えられるよう技術開発を進めていく。

2. 流動床式ガス化溶融炉の最新技術

低炭素社会への移行に向けた動きが加速されてお

り、廃棄物は化石燃料を代替するエネルギーの一つとして注目され、廃棄物発電の需要はますます高まってきている。廃棄物発電による電力安定供給の観点から廃棄物処理施設においては稼働率の向上が求められており、安定運転の実現に向けた運転管理の最適化が必要となっている。また、少子高齢化に伴う労働人口の減少によって、廃棄物処理分野においても運転員の確保が困難になることが予想されており、持続可能な廃棄物処理施設の運営に向けて運転の省力化も喫緊の課題となっている。こうした社会の要請にこたえるべく、近年発展の著しいAI・ICT技術を活用し開発を進めてきた運転管理を支援する技術について紹介する。

2.1 排ガスのCO, NOx抑制の自動化

ごみ性状の急激な変化やごみに混入した焼却不適物に起因して運転状態が非定常に変化した際に、排ガス濃度の急な上昇を抑制するために運転員により手動介入する場合がある。運転員の監視・操作業務の負荷削減のため、排ガスCO濃度、NOx濃度に着目して非定常な手動介入操作を自動化する制御システムを開発した。

CO濃度は炉内燃焼状態の良否に影響され、NOx濃度は、燃料中窒素分のNOxへの転換率が炉内の燃焼雰囲気の影響され、それぞれ排出濃度は変化する。燃焼雰囲気の代表的な指標として炉内O₂濃度や各所炉内温度などを制御入力値として、低CO濃度と低NOx濃度を両立できる炉内雰囲気を維持するように燃焼空気量を適応的に操作する。

具体的には図2に示すように、過去の運転ビッグデータを基に、機械学習を用いてCO濃度、NOx濃度抑制のための手動介入の要否判定のロジックを

モデル化した。そして、そのモデル判定に基づき燃焼空気量を制御しCO濃度、NOx濃度の発生抑制を図っている。

本システムを実機に導入した結果、運転員の手動介入の自動化による負荷削減に加え、排ガスのCO濃度は4hr平均値で11.5%低減、NOx濃度は1hr平均値で27.5%低減されることを確認できている⁵⁾。

2.2 モデル予測制御を用いた発電量一定制御

流動床式ガス化溶融プロセスでは、ごみ給じん量や燃焼空気量を操作することで廃熱ボイラの蒸気発生量や炉内温度等が自動制御される。同プロセスは制御応答が速く、負荷変動に追従しやすいという特長を有する。この制御をもってしても制御性能が不十分となるほどごみ質が急激に変化した場合、運転員のスキルで補助することがある。この課題に対して、図3に示すモデル予測制御による発電量の一定制御技術を開発した。

従来のフィードバック制御が目標値と過去の値の変化から現在の値を制御するのに対して、モデル予測制御は、運転データに基づき未来の制御量の変化を予測することで、制御量予測値と制御量の目標軌道の差異を最小化できる操作量を決定する。廃棄物処理施設では、処理する対象物性状の地域による差や、処理規模によっても応答性は異なり、外乱要素が与える処理工程への影響は様々である。施設の状況に応じた最適制御を実現する上では、導入するモデル設計が重要であり、これまでの広範な処理規模の納入実績から廃棄物処理に適したモデルを構築した。具体的には、廃熱ボイラの蒸気発生量を給じん量により制御する場合、あらかじめ給じん量をステップ状あるいはランダムに変化させたときの蒸気発生量の動特性に関する基礎データを取得し予測モデルを作成する。つぎにこの予測モデルで同定した制

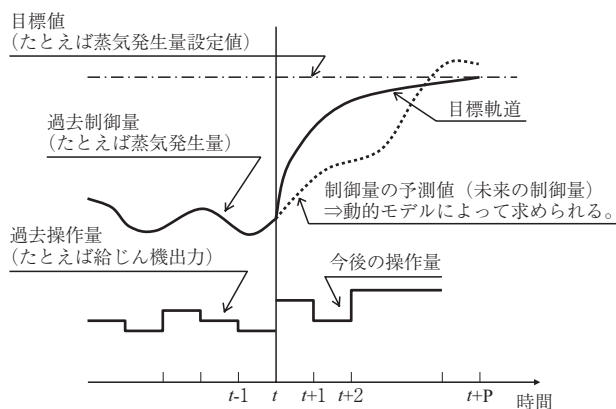


図3 モデル予測制御の概要

御パラメータを制御システムに実装し、蒸気発生量が一定となるよう給じん量を制御する。

モデル制御の適用事例として、給じん速度を操作量として発電量を制御した結果、蒸気発生量の変動係数(=標準偏差÷平均値×100)は1.7%と安定し、発電量の変動係数は0.06%で非常に安定した発電量制御を確認した⁴⁾。評価を行った施設は処理能力100t/d以下である。本制御の活用により中小規模のごみ処理施設においても安定した発電が可能となり、ごみ処理施設が地域における身近なエネルギー供給拠点として役割を果たす上で有効な制御であることが確認された。

2.3 画像解析による出滓監視自動化

廃棄物の灰性状は均一でないため、炉内温度を一定に保っても溶融スラグの溶流状況は変化する。安定した溶融スラグの排出を維持するために出滓口を健全に保つことは、操業の安定化に欠かせない。ガス化溶融炉においても出滓口におけるスラグの流出状況は運転員の重要な監視業務であり、出滓口に固着したスラグはバーナによる加熱等の手段により適宜除去されている。出滓口の監視自動化は運転員の負荷低減に有効であるため、図4に示すように出滓口監視カメラ画像を解析し、出滓口開口率(スラグの存在しない割合)を定量化して出滓口状況を自動判断できるシステムの開発を進めてきた⁶⁾。

熟練運転員の判断基準から求めた開口率と、開発手法の計算開口率を比較したところ平均誤差-6.5%という結果を得た。ここでの誤差は開発手法の計算開口率が目視評価の計算開口率より大きい場合にプラスの値を示す。誤差は実操業での判断基準として支障のない値であり、開発手法の開口率は、目視

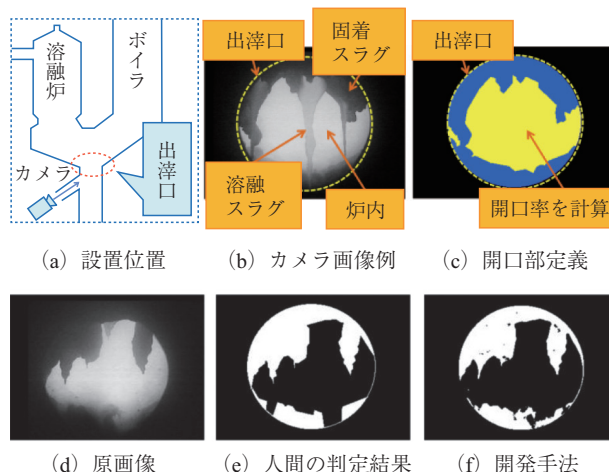


図4 出滓口開口率の定量化技術

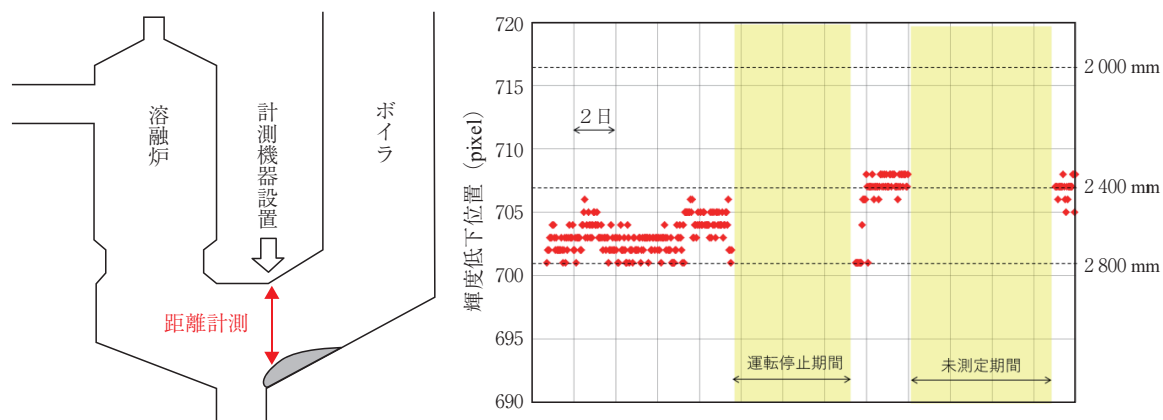


図5 溶融炉内距離計測の概要（左）および炉内距離計測結果（右）

評価よりも小さく算出されるため、開口維持の観点からは安全側の運転指標として活用できることが明らかになった。

2.4 溶融炉内クリンカの堆積検知

流動床式ガス化溶融炉では、灰性状の季節変動に対してこれまでの知見に基づき塩基度調整剤供給量を調整し、安定出滓を維持している。状況によっては、塩基度調整剤が不足となり炉壁にクリンカが付着堆積することもある。溶融炉のような高温雰囲気内のクリンカ堆積状況を監視する有効な手段は確立されておらず、炉内で精度良く距離を測定できればクリンカ堆積状況の管理や塩基度調整剤供給量の最適化が可能となる。炉内のクリンカ堆積高さの測定はレーザー三角測量法で行った。測定対象物に照射する入射光と反射光の幾何学的角度から距離を測定する。炉内はダストが浮遊しているため、レーザー光はダストにより散乱し距離計測に影響する。ダスト散乱による反射光と測定対象からの反射光との輝度減衰の差を考慮して画像解析することにより、炉内での距離計測が可能となった。

図5はレーザーを用いて稼働中の炉内で距離計測

を行った結果である。試験の結果、稼働中の溶融炉内の値と炉運転停止期間中の距離実測値を比較すると、その差は数10 mmであり、十分に高温炉内での監視方法として活用できることが明らかになった⁶⁾。

むすび

広範囲な処理規模の実績がある当社の流動床式ガス化溶融技術は、広域化、分散化が同時進行するごみ処理分野においても、新設需要に柔軟に対応できる技術である。さらに、掘起こしごみや災害廃棄物など多種多様なごみの混合処理に適した特長を活かして、今後も様々な社会ニーズに対応していく所存である。そして、運転管理の最適化、運転の省力化を推進することにより、安全・安心で持続可能なごみ処理施設の実現に引続き取り組んでいきたい。

【参考文献】

- 1) 環境省 廃棄物処理技術情報 一般廃棄物処理実態調査結果
- 2) 水岡ら：神鋼環境ソリューション技報 7(1), (2010. 8)
- 3) 山形ら：神鋼環境ソリューション技報 10(2), (2014. 2)
- 4) 道田ら：神鋼環境ソリューション技報 12(2), (2016. 3)
- 5) 江口ら：神鋼環境ソリューション技報 14(1), (2017. 9)
- 6) 植浦ら：第40回全国都市清掃研究・事例発表会 講演論文集, II-6-108 (2019. 1)