

流動床式ガス化溶融炉の操業自動化に向けた制御システム

株式会社神鋼環境ソリューション
 環境プラント技術本部 技術統括部
 部長 青木 勇

1. はじめに

都市ごみ処理は、古くは廃棄物の衛生的な処理から始まり、公害防止の観点から大気汚染防止やダイオキシン類削減に向けて取り組んできた。最近では温室効果ガスを抑制するための再生可能エネルギーである廃棄物発電施設としての役割、あるいは災害発生時の防災拠点として期待される等、社会的役割は大きく変化を続けている。

更に、環境省の交付金事業である都市ごみ処理施設の発注形態も変化しており、近年では施設の建設に加え、竣工後の長期にわたる維持管理を一括で請け負う DBO (Design Build Operation) 契約とするケースが増加する傾向にある。

当社は流動床技術を基盤技術とし、1980年代から流動床式焼却炉、2000(平成12)年以降は流動床式ガス化溶融炉を主力メニューとして都市ごみ処理施設の建設に取り組んできた。更に、都市ごみ処理を取り巻く近年の環境変化に対応し、CO₂排出量削減のための高効率な廃棄物発電の実現や、経済性を兼ね備えた都市ごみ処理施設を提供すべく研究開発を続けている。

本稿では、このような時代に適用した技術開発の例として、①モデル予測制御を用いた廃棄物発電の安定制御技術、②非定常時の排ガス規制値超過防止のための自動制御技術を紹介する。

2. 流動床式ガス化溶融炉

今回紹介する制御技術を適用した「流動床式ガス化溶融炉」は、2000(平成12)年に国内で最初に納入されて以来、建設中も含め国内外に19施設の実績を持つ当社のメインメニューである。このごみ処理方式は図1に示すように、ごみの持つ熱エネルギーを利用し外部燃

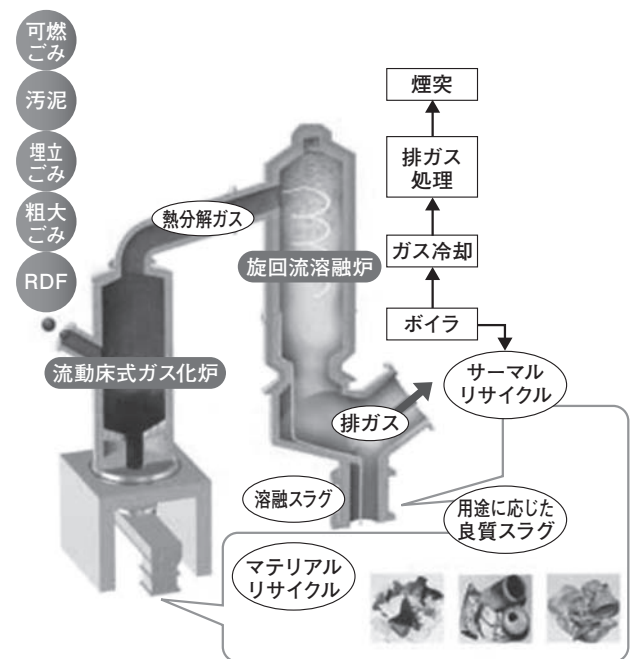


図1 流動床式ガス化溶融炉

料を用いることなく、ごみのガス化、燃焼、灰の溶融処理を一貫して行うことができる経済的な処理プロセスとなっている。流動床炉が広範囲のごみ質に対応できるという特長を生かし、汚泥や災害廃棄物も混焼することができ、更には最終処分場に埋め立てられている焼却灰を掘り起こして溶融し、最終処分場の再生（残余年数の拡大）を行っている実例もある。

3. 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炉のごみ投入量（給じん量）は、燃焼室内部温度や廃熱ボイラの蒸気発生量が設定範囲になるように給じん量を制御している。ところが、これら温度や蒸気発生量は、操作量の変化が制御量にすぐに反映されない（無駄な時間が存在する）ため、非定常時に通常のフィードバック制御では十分な制御性能を得ることが難しいという課題があった。

(1) モデル予測制御

この課題を解決すべく開発したのが「モデル予測制御」であり、図2に示すようにプロセスの動的モデルに基づいて未来の制御量の変化を予測し、求めた制御量予測値と制御量の目標値ができるだけ早く近づくよう操作量を決定する手法である。具体的には、まず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時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。次に、この

予測モデルで同定した制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ものである。

(2) 処理量補償機能

廃熱ボイラの蒸気発生量は、焼却炉に投入される熱エネルギーの総量によって決まる。ごみ質、すなわちごみの持つ発熱量は、ごみの水分率を始めとする性状により短期的もしくは長期的に変化することから、蒸気量を一定となるように制御しても、ごみ処理量が一定となるものではない。ところが、廃棄物処理施設の場合、施設の設置届に記載したごみ処理量（定格処理量）を超えて処理することはできないため、特にごみの発熱量が低い場合には定格処理量を超過しないよう監視して、適宜蒸気量の設定値を変更する操作が必要であった。

そこで、定格処理量を超過しないように開発したのが処理量補償機能（図3参照）である。「処理量補償機能」とは、設定したごみ処理量の目標値と各種プロセスデータから算出したごみ発熱量推算値を基に、適正な蒸気発生量の目標値を定めるものである。ここで蒸気発生量の目標値を求めるために処理量予測モデルと学習機能を用いている。

(3) 発電量一定制御

処理量補償機能によりごみ処理量の目標値が設定され、ごみ発熱量推算値により各系列の蒸気発生量が決定された上で、モデル予測制御により給じん速度を制御した。ごみの持つ発熱量の変化に伴い、蒸気発生量

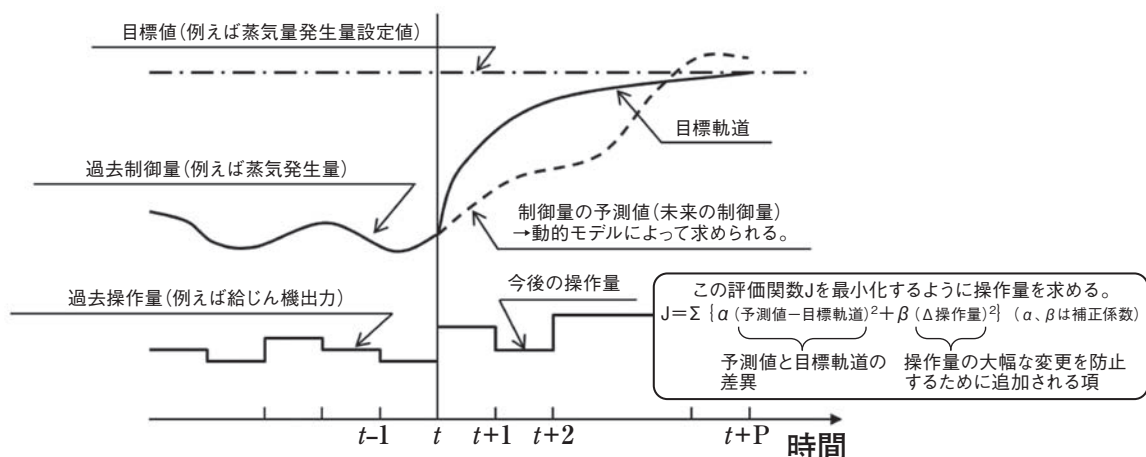


図2 モデル予測制御

の目標値は時々刻々変化しているにもかかわらず、蒸気発生量の変動係数（＝標準偏差／平均値）は1.68%と非常に安定していることが示された。また、この時の発電量（30分移動平均値）は、図4に示すように変動係数0.06%となり、発電量に関しても安定した制御ができていたことが示された。

4. 排ガス濃度抑制のための自動化ロジック

前述した安定制御を行い、廃棄物発電システムの高効率化に努めている一方、廃棄物処理施設として排ガス中の有害物質等の排出規制を遵守することも当然ながら必要である。各種排ガス処理装置を設け、環境規制物質の抑制を行っているものの、一酸化炭素（CO）や窒素酸化物（NO_x）に関しては、焼却炉における燃焼空気の吹込量等の制御が非常に重要となる。通常、燃焼室内の温度や燃焼室出口の酸素（O₂）濃度を常時測定しながら燃焼空気量をフィードバック制御しているものの、処理対象となるごみの性状が急激に変化する場合や、ごみに混入した焼却不適物のため焼却処理が不安定となることがある。そこで、このような場合にも排ガス中の規制物質濃度が基準値を超過することがないように、焼却施設の運転監視をしている運転員は手動で燃焼空気吹込量や給じん量を変更しなければならない。当社では、運転員の監視・操作業務の負荷削減と、排ガス中規制物質濃度の排出基準遵守のため、手動介入操作を自動化できるシステム開発を行ってきた。

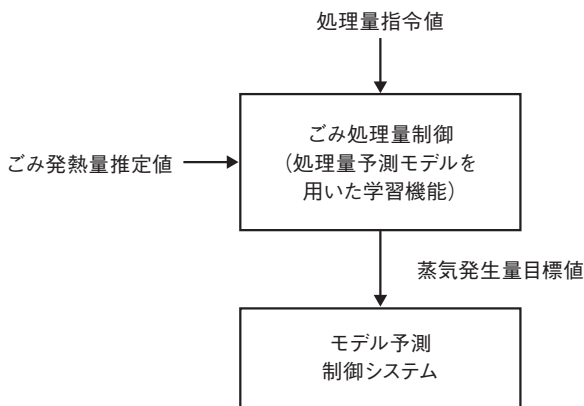


図3 処理量補償機能の構成

(1) CO、NO_x 発生抑制のための判定モデルと操作ロジック

本研究では、特に焼却炉内における燃焼空気量等の制御が支配的であるCO及びNO_xの発生抑制に着目した。実際に操業を行っている施設の過去の膨大な運転データを用いて機械学習を行い、CO、NO_xの発生抑制のため手動介入が必要となる状態を自動的に判断するロジック（特性判定モデル）を作成した。更に、手動介入が必要となる状態の発生メカニズムから推定したCO、NO_xの発生予測を基に、主に空気量を制御して発生抑制を図った。

制御システムの概要は、図5に示すように、通常はPID制御を基本としたフィードバック制御を行い、ごみ処理施設の特定の計測情報をCO、NO_x判定モデルに入力して手動介入が必要かどうかを判定する。手動介入が必要と判断された場合にはPID制御からCO、NO_x操作量決定機能で決定された空気量の設定値に切り替わって制御することにより、手動介入操作と同様の効果を得ることができる。

(2) 実機への適用

本システムを実際に操業している施設に導入し、約1ヶ月間にわたり排ガス規制値の発生抑制と手動介入頻度の低減効果について確認した。効果の評価として、前年同時期の運転データを比較対象とした。

① CO抑制

排ガスCO濃度は、完全燃焼が実現できている状態ではほぼゼロ値を示し、ごみ投入量やごみカロ

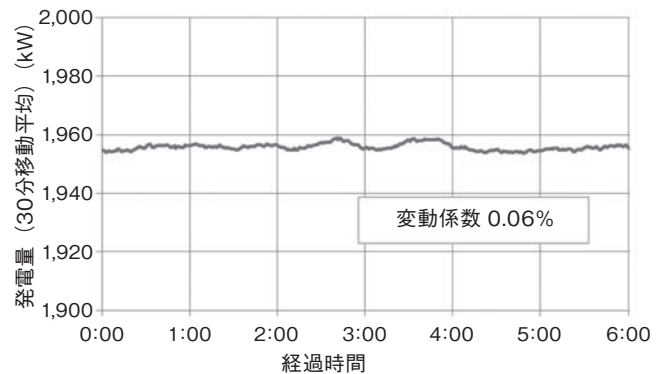


図4 発電量のトレンド

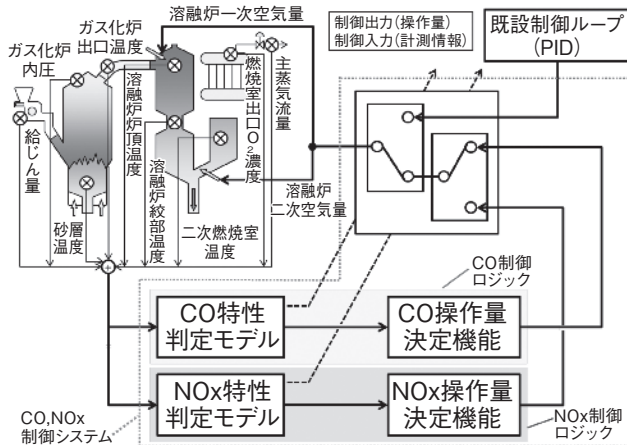


図5 制御システムの概要

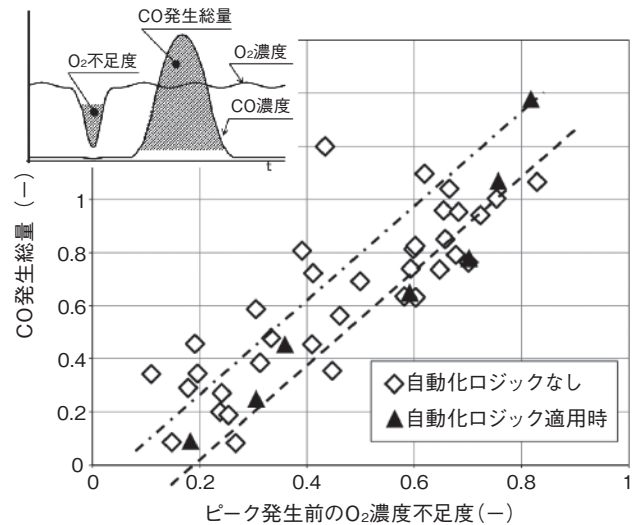


図6 CO発生抑制効果

リが急増した場合、一時的に燃焼室内の O_2 不足が原因でスパイク状に CO 濃度が上昇する CO ピークを示すという特徴がある。開発した制御システムでは、判定モデルで CO ピークの発生が予測された場合、自動的に CO 制御ロジックで決定された必要な空気が供給されることにより CO ピークの発生を防止、もしくはピーク高さと持続時間が抑制されることとなる。この効果を評価するため、 CO ピークの発生ごとにピーク発生直前の O_2 濃度不足度と、 CO 総発生量（ピークごとの積分値）の関係性を評価した。図6に示すように、 O_2 濃度が不足すればするほど CO 発生総量（ CO ピークの大きさ）が大きくなる。図中に示した制御システム有無ごとの近似曲線は、制御システムの適用により図の下方へ位置しており、同じ O_2 濃度の不足度合いであっても CO の発生量が抑えられる傾向が示された。この結果、本年度の評価期間中は CO 濃度を抑制するための運転員による手動介入は全くなく、 CO 濃度の平均値で 11.5% の低減効果が確認された。

② NO_x 抑制

NO_x 抑制方法は焼却炉内の燃焼管理による方法と、排ガス処理方法として焼却炉内へ脱硝剤（アンモニア）を吹き込む無触媒脱硝法、脱硝触媒反応塔を設置して脱硝剤（アンモニア）を吹き込む触媒脱

硝法等がある。今回の NO_x 抑制のための制御システムとしては、アンモニア吹込量の変化による用役増加を避け、操作量としては焼却炉内へ吹き込む空気量のみを選択した。その結果、前年同時期との比較で、 NO_x 濃度の平均値で 27.5% 削減でき、運転員による手動介入操作を半減できた。この制御システムに脱硝剤吹込量の制御を組み合わせることで、手動介入をすることなく NO_x 濃度の規制値遵守、抑制を実現することが可能となる。

5. おわりに

当社メニューである流動床式ガス化溶融炉は、広い範囲のごみに対しても適用できる施設であり、炉内の温度や圧力、酸素濃度等各種プロセスデータを測定しながら、燃焼空気量や排ガス処理用薬剤の吹込量の自動制御を行っている。ところが、頻度は少ないものの通常の制御幅を超えたごみが投入されることがあり、規制値を遵守するため運転員が手動介入せざるを得ないことがあった。規制値を遵守するのはもちろんのこと、運転員の作業負担を削減し、安定した運転を継続するため自動制御システムを開発してきた。

最近の ICT 技術の進歩は目覚ましく、センシングやデータ処理等の最新の制御技術を駆使することで、限りなく自動運転に近づけるよう努めていく所存である。