

<研究発表>

小型ガス化溶融炉における自動制御システム

友近 信行¹, 中山 万希志¹, 細田 博之²

株式会社 神戸製鋼所 生産システム研究所
 (〒651-2271 神戸市西区高塚台 1-5-5 E-mail:n-tomochika@kobelco.jp)
 株式会社 神鋼環境ソリューション プロセス技術開発部
 (〒651-0072 神戸市中央区脇浜町 1-4-78 E-mail:h.hosoda@kobelco-eco.co.jp)

概要

小型のガス化溶融炉においてはボイラ設備が無いものもあり、ボイラ蒸気発生量を一定に制御することによって給じん量の安定化を図る従来の制御方式が適用できない。そこで、ボイラの無い小型ガス化溶融炉の制御量として、減温塔の噴霧水量に着目した。減温塔噴霧水量と炉内供給熱量の相関は高いので、減温塔噴霧水量が一定になるように給じん機を操作すれば、供給熱量の変動が抑制され、安定したガス化溶融処理が実現できると期待される。商用稼働中の小型ガス化溶融炉に対し、減温塔の噴霧水量を制御量とするモデル予測制御系を開発し、本手法が有効であることを確認した。

キーワード: 小型ガス化溶融炉, モデル予測制御, 減温塔噴霧水量

1. はじめに

次世代型ごみ焼却技術として開発されてきたガス化溶融炉も、現在全国で数十施設が商業炉として稼働するにいたっている。これまで著者らは、ガス化溶融炉に対して、モデル予測制御技術を用いた自動制御システムを構築してきた¹⁾。これは、ボイラ蒸気発生量が一定となるように給じん量を調節することによって、炉内供給熱量の変動を抑制し、安定したガス化溶融プロセスの実現を図ったものであった。しかし、小型のガス化溶融炉においては、ボイラ設備が無いものもあ

り、ボイラ蒸気発生量を制御量とする従来の制御方式が適用できない。

そこで、ボイラの無いガス化溶融炉における制御量として、溶融炉の高温排ガスを一定温度まで冷却する減温塔の噴霧水量に着目した。減温塔噴霧水量と炉内供給熱量の相関は高いので、減温塔噴霧水量が一定になるように給じん量を調節すれば、炉内供給熱量も一定となり、安定したガス化溶融炉の運転が実現できると期待される。商用稼働中の小型ガス化溶融炉 (Fig.1) で本手法の有効性を確認したので報告する。

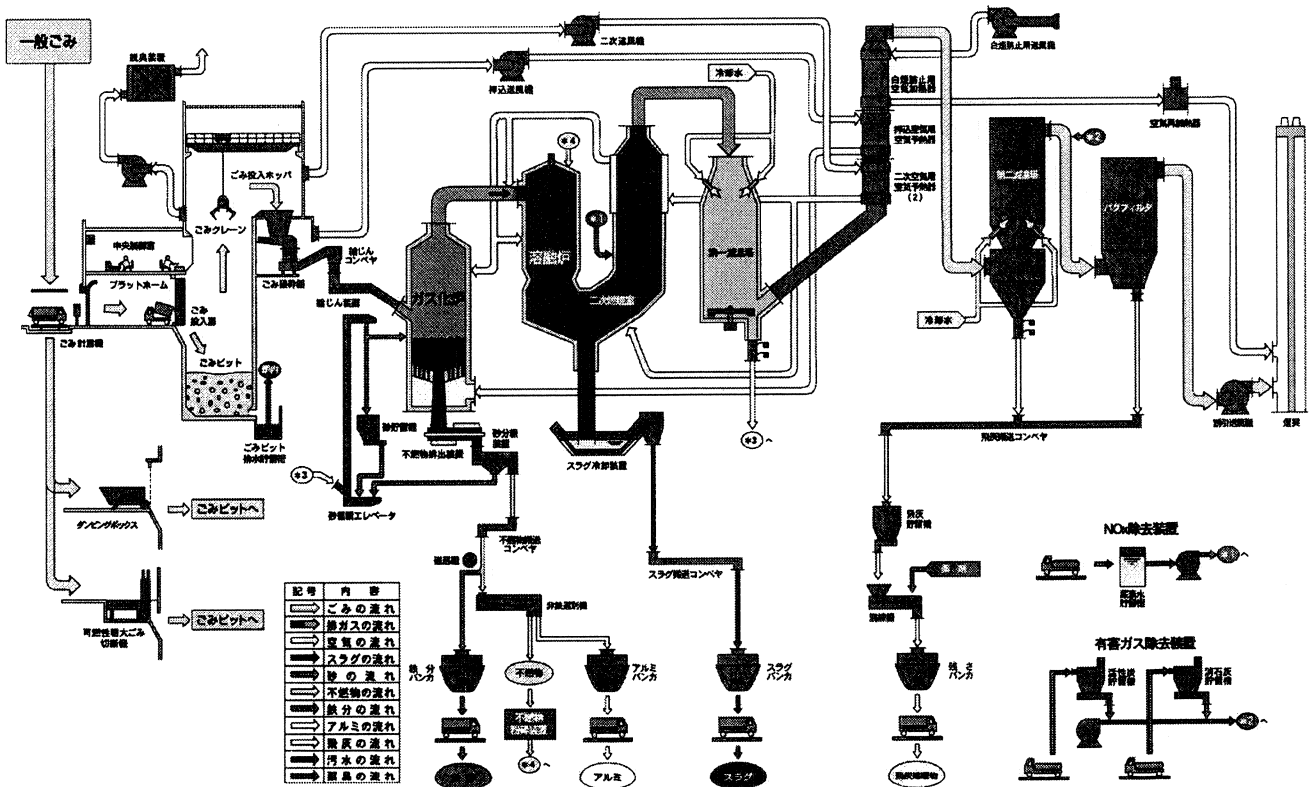


Fig.1 Schematic of fluidized bed pyrolytic gasification and melting system.

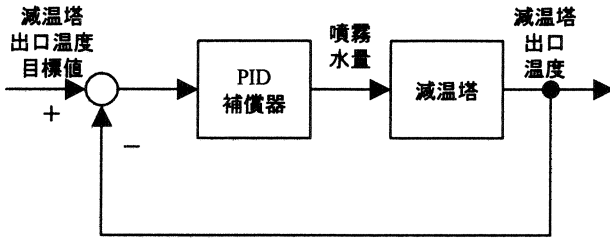


Fig.2 Feedback control system for gas cooling chamber.

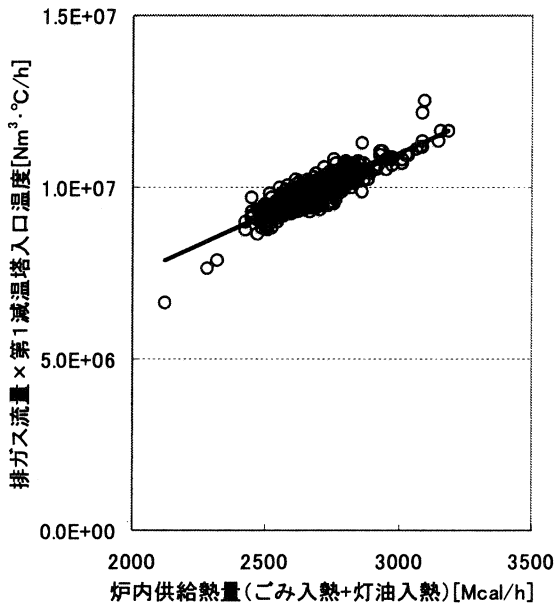


Fig.3 Correlation between calorie supply and exhaust gas flow rate \times inlet temperature of primary gas cooling chamber.

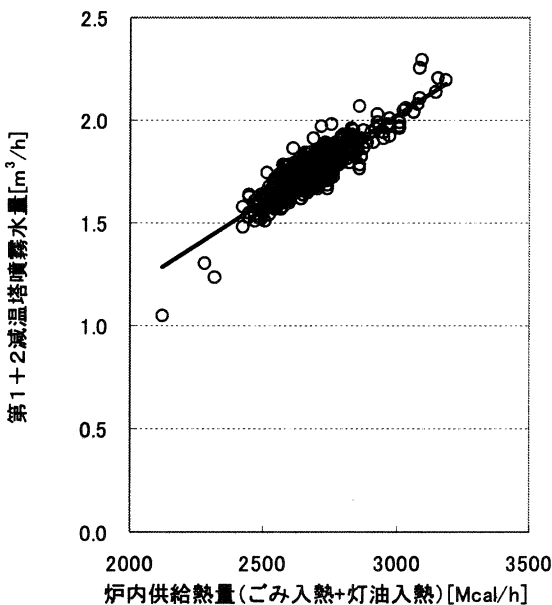


Fig.4 Correlation between calorie supply and water spray volume into primary and secondary gas cooling chamber.

2. 制御量の選定

炉内への入熱を一定にするためには、炉内供給熱量と相関の大きなものを制御量として選ばば良い。そこで、Fig.1の

ガス化溶融炉に対し、制御量の候補として、

- ① 排ガス流量 \times 第1減温塔入口温度
- ② 第1+第2減温塔噴霧水量(第1減温塔と第2減温塔の噴霧水量の和)

の2つに着目した。①は、完全燃焼後のガスの流量と温度を両方考慮するものであり、その積は炉内供給熱量と相関が高いと考えられる。一方、減温塔では、Fig.2に示すように、出口温度が一定値となるよう噴霧水量を操作しているので、炉内供給熱量が大きい場合には、減温塔の噴霧水量が多くなり、供給熱量が小さい場合には、減温塔の噴霧水量も少なくなる。したがって、②についても炉内供給熱量と相関が高いと考えられる。

実際に、約1ヶ月分の実操業データを用いて、1時間ごとの炉内供給熱量(ごみと助燃量(灯油)による入熱)と①および②の関係をプロットした図をFig.3およびFig.4に示す。①および②ともに炉内供給熱量との相関が高いことが確認できる。なお、相関係数を求めたところ、炉内供給熱量と①との相関係数は0.87、②との相関係数は0.89であった。

上記2つの制御量候補を比較すると、炉内供給熱量との相関係数自体には大差がない。即応性の観点から比較した場合、①の排ガス流量 \times 第1減温塔入口温度の方が応答速度が速く、その点では有利である。しかし、減温塔入口の温度計は、1000 $^{\circ}$ C程度の高温排ガスにさらされるため、出口の温度計に比べて温度計損傷による計測値不良などの不具合が比較的発生しやすい。

そこで、安全性・安定性の観点から、よりリスクの小さい②の第1+第2減温塔噴霧水量を制御量として使用することにした。

3. 自動制御システムの構築

ガス化溶融プロセスには、むだ時間が存在する。したがって、一般によく用いられるPID制御などのフィードバック制御手法ではハンチングを誘発するため、ゲインを上げることができず、十分な制御性能を得ることができない。特に、小型のガス化溶融炉においては、大型炉に比べて給じん外乱などの影響を受けやすく、温度が変動しやすい傾向にあるため、むだ時間を考慮できる高精度な制御手法が必要である。

そこで、モデル予測制御²⁾が有効であると考え、第1+第2減温塔噴霧水量を制御量とし、給じん機速度を操作入力とするモデル予測制御系を構築した。

3.1 モデル予測制御の概念

モデル予測制御手法とは、制御周期ごとに、モデルを使って今後の制御量の変動を予測し、予測された将来の制御量が所望の目標値に近づくように操作量を決定することを特徴とする(Fig.5)。したがって、むだ時間の存在する制御系に対して非常に有効であり、また、操作入力や制御量などに関する制約条件を考慮した上で操作入力を最適化すること

ができるので、実用性の観点からも優れた制御手法である。

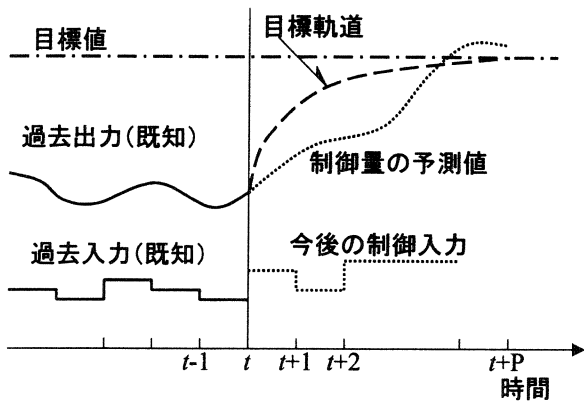


Fig.5 Model predictive control strategy.

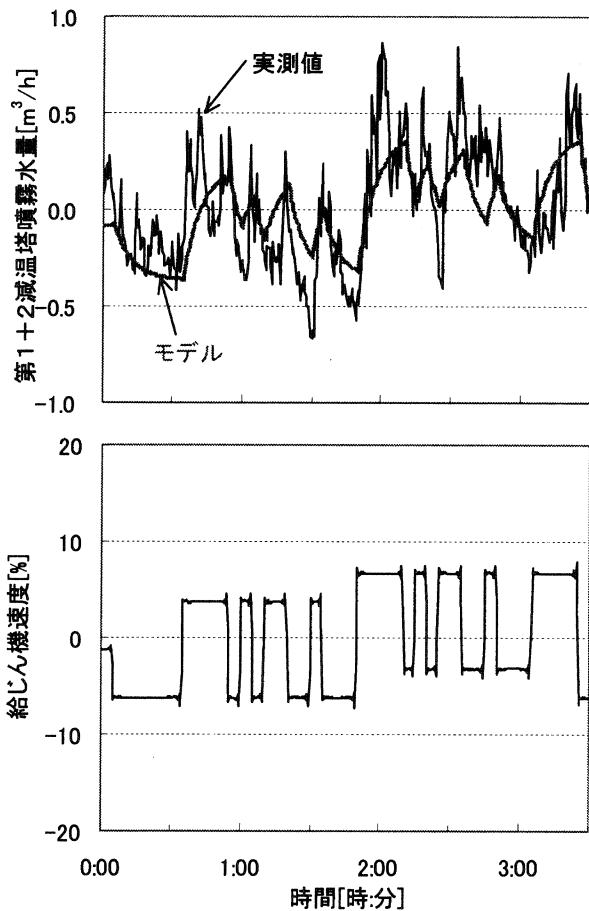


Fig.6 Identification results.

3.2 予測モデルの構築

制御対象であるガス化溶融プラントに対し同定実験をおこなった。操作入力である給じん機速度をステップ状あるいはM系列状に振りし、そのときの減温塔噴霧水量のデータを取得した。採取した入出力データから、ごみ質変動など外乱要因の影響が少ない部分を切り出し、デシメーション、トレンド除去、正規化によりデータを前処理し、試行錯誤の末、部分空間法により2次のモデルを同定した。モデルによる予測結果と実測値との比較を Fig.6 に示す。給じん外乱に起因

する高周波成分はモデリングできていないが、減温塔噴霧水量の低周波変動を精度良く予測できていることがわかる。

3.3 制御アルゴリズム

以下、本モデル予測制御アルゴリズムについて述べる。ここで、 $y(k)$ はサンプル点 k における制御量(第1+2減温塔噴霧水量)、 $u(k)$ はサンプル点 k における操作入力(給じん機速度)を表す。また、 z^{-1} は遅延演算子を表し、 $\Delta=1-z^{-1}$ とする。さらに、 $A(z^{-1})$ は、 A が z^{-1} に関する多項式であることを意味する。

まず、サンプル点 $k+j$ におけるモデルの値 $y_m(k+j)$ が次式で表されるとする。

$$y_m(k+j) = y_m(k) + F_j(z^{-1})\Delta y_m(k) + G_j(z^{-1})\Delta u(k+j) \quad (1)$$

次に、制御量の現在の値 $y(k)$ から目標値に近づけるように参照軌道 $y_r(k+j)$ を設定すると、参照軌道と制御量予測値との差 $\Delta y_e(k+j)$ は次式で求まる。

$$\Delta y_e(k+j) = y_r(k+j) - y(k) - \{y_m(k+j) - y_m(k)\} \quad (2)$$

さらに、操作入力 $\Delta u(k+j)$ に関する制約条件式を求める。操作量の絶対値あるいは変動幅に関する上下制限約だけでなく、場合によっては制御量に関する制約条件も操作量の関数として次式に帰着できる。

$$\begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ A \Delta u(k+1) \\ \vdots \end{bmatrix} \leq b \quad (3)$$

そして、制約条件(3)の下で、次式の評価関数 J を最小化する $\Delta u(k)$ を求めればよい。

$$J = \sum_{j=L}^P \{q\Delta y_e(k+j)\}^2 + \sum_{j=1}^Q \{r\Delta u(k+j-1)\}^2 \quad (4)$$

ここで、 L, P は制御量を参照軌道に一致させる区間 ($1 \leq L \leq P$) を指定するパラメータであり、 Q は操作ホライズン、 q, r はそれぞれ制御量、操作入力変化量に関する重みである。以上の問題は、二次計画問題として解かれ、制御周期ごとに $\Delta u(k)$ を求め、操作入力を印加すればよい。

4. 実機適用結果

本制御システムを商用稼働中の実機(30t/24h 炉)に適用した。なお、制御周期は 30 秒とした。従来法(給じん機速度の手動操作)との比較のため、従来法から提案法(減温塔噴霧水量を制御量とするモデル予測制御)に途中で切り替えた場合の制御結果を Fig.7 に示す。また、第1+2減温塔噴霧水量、溶融炉温度、砂層温度の変動幅(ピーク to ピーク)と標準偏差について、従来法を 100%とした場合の棒グラフを Fig.8 に示す。提案する制御方法によって、各変動幅が従

来の 3/5~4/5 に、各標準偏差が従来の 2/3 以下に、それぞれ低減できており、意図通りに安定したガス化溶融炉の運転が実現できている。

ムの改良など、さらなるブラッシュアップを図っていく予定である。

5. おわりに

ボイラの無い小型ガス化溶融炉を対象に、減温塔噴霧水量を制御量とするモデル予測制御システムを構築した。減温塔噴霧水量が一定となるように給じん量を調節することで、炉内供給熱負荷を一定に保ち、安定したガス化溶融炉の運転が実現できる。今後とも、モデル精度の向上、制御システ

[参考文献]

- 1) 木村, 浜田, 下梨, 二階堂, 西田, 友近: ガス化溶融炉における自動制御システムの開発; 学会誌「EICA」, Vol.7, No.2, pp.79-82(2002)
- 2) E. F. Camacho and C. Bordons: "Model Predictive Control", Springer(1998)

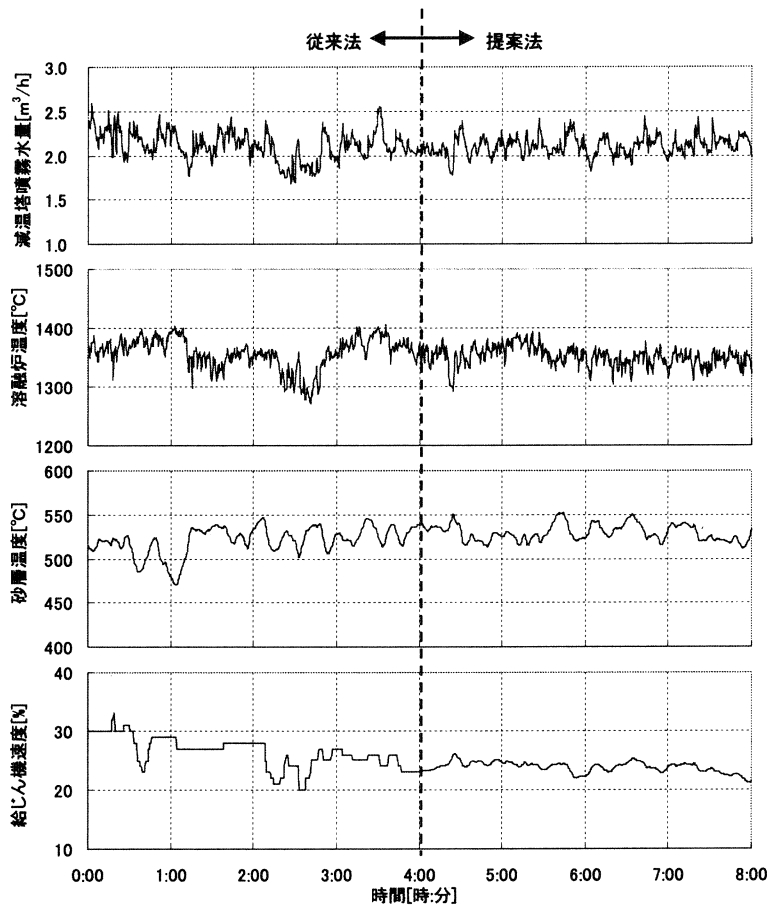


Fig.7 Control results for fluidized bed pyrolytic gasification and melting furnace.

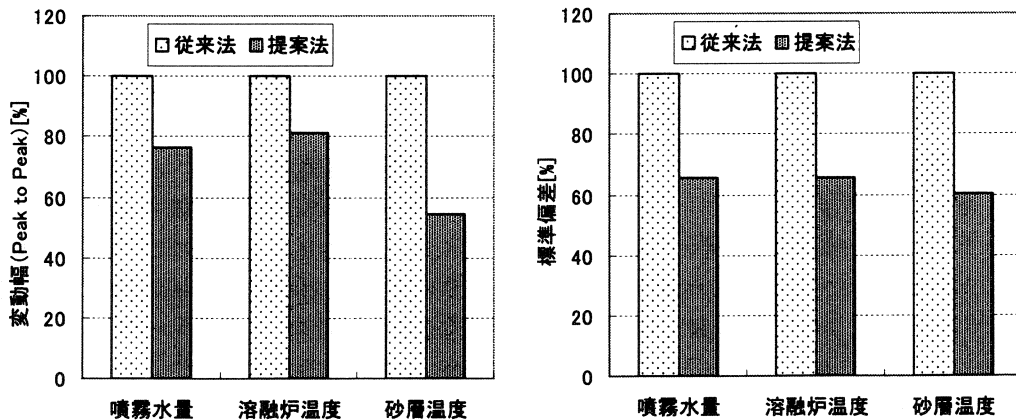


Fig.8 Comparison between conventional and proposed methods.