

流動床式ごみ焼却炉のアドバンスト制御システム

前田知幸*、友近信行*、中山万希志*

白石幸弘**

* (株) 神戸製鋼所 生産技術研究所
神戸市西区高塚台

** (株) 神戸製鋼所 都市環境事業部
神戸市灘区岩屋中町

概要

近年、都市ごみ焼却炉はダイオキシンの発生抑制、未利用エネルギーの有効利用の観点から完全燃焼の技術と安定した熱回収技術の確立が求められており、当社ではこれら 2 つの技術を満足する流動床式ごみ焼却炉のアドバンスト制御システムを開発した。

本システムは、炉内画像情報を用いて 2 次空気を制御し CO ピーク発生の抑制を実現する CO 抑制制御システム、炉内酸素濃度と炉内温度からごみ供給量を制御する燃焼制御システムと、予測制御手法により 1 次空気量、蒸気弁を制御し、過熱蒸気安定化を行なう蒸気制御システムから構成されている。

本制御システムを実証プラントに適用し、良好な結果をえることができたので報告する。

キーワード

流動床式ごみ焼却炉、燃焼制御、予測制御、画像処理

1. はじめに

近年、環境保全の立場からダイオキシン類の新ガイドラインに代表されるように、都市ごみ焼却炉に対する有害物質の排出規制はさらに厳しくなっている。一方では、未利用エネルギーの有効活用の観点から、都市ごみ焼却炉は単にごみを焼却する施設にとどまらず、ボイラを併設することにより焼却排ガスから熱を回収し、その発生蒸気により発電をおこなうエネルギー回収施設として位置づけられてきている。これらに対応するために、当社は燃焼技術・排ガス処理技術など様々な側面から取り組んでおり、それらの 1 つとして燃焼・蒸気回収系制御があげられる。これらの制御系での課題として以下の 2 点があげられる。

- ・安定燃焼の実現によるダイオキシン類や CO などの有害物質の抑制
- ・高温高压の過熱蒸気の安定回収

そこで、我々はこれらの課題に対応するアドバンスト制御システムを開発した (Fig.1)。この制御システムは、CO 抑制制御系、燃焼制御系、蒸気制御系により構成されている。

本制御システムを処理量 20t/day の実証炉に適用した結果、ダイオキシン類排出濃度 0.1ng-TEQ/Nm^3 以

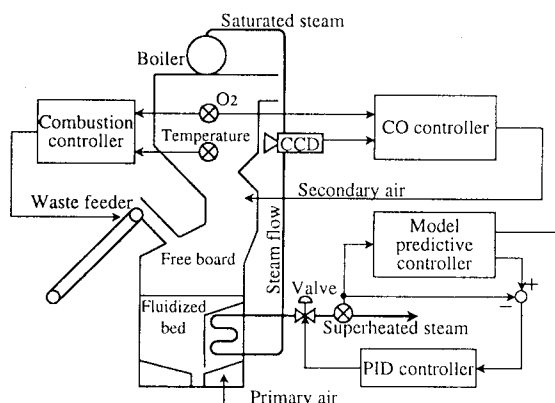


Fig.1 Fluidized bed incinerators and control system.

下、排ガス中 CO 濃度 30ppm (O₂12%換算、4 時間平均) 以下、過熱蒸気流量変動±4%以内という良好な結果を得ることができたのでここに報告する。

2. CO 抑制制御

CO 発生の原因の 1 つとして、ごみ供給量やごみ質が変動することがあげられる。その場合、燃焼に必要な空気量が一時的に不足し過負荷状態となることで、排ガス中に CO などの未燃ガスが発生する。したがって、CO 発生を抑制するためには、できるだけ効率よく空気を吹き込み、未燃ガス発生を抑制し、完全燃焼させなければならない。しかし、従来のような排ガス O₂ 濃度計、CO 濃度計を用いた制御系では検出に遅れ時間があるため、CO 抑制に限界がある。そこで、過負荷状態での一時的な空気量の不足状態をできるだけ速く検知し、タイミングよく空気を吹き込むことが重要となる。

当社では、CO が発生するような過負荷燃焼時では、火炎が炉頂部へ向けて上昇し、炉内上部の輝度が増加することに注目し、過負荷燃焼時の検出を画像による輝度でおこなう手法を検討した。そして、輝度値が増加した場合、2 次空気量を増加させる制御アルゴリズムを考案した。

すなわち、

(輝度値 > しきい値) ならば 2 次空気量増加

なお、輝度値としては、炉内画像から次式により計算される値を用いている。

$$\text{輝度値} = \sum_i^N \sum_j^M P_{ij} \quad (\text{ただし、} P_{ij} \text{ は画像ピクセル値}) \quad (1)$$

上式で計算される輝度値と排ガス CO 濃度の間には相関があり、すでに制御効果があることが報告されている⁽¹⁾。さらに、本報告では、輝度値だけでなく、炉頂酸素濃度やその差分も用いることにより、より高精度な CO 抑制制御系を構築した。

3. 燃焼制御

燃焼制御は、燃焼負荷を制御して、炉内の酸素濃度と温度を適切な値に保ち、安定燃焼を実現することを目的としている。前述の CO 抑制制御が、突発的な負荷変動を吸収するものであるのに対し、燃焼制御は長周期的な負荷変動を吸収するものである。本報告では、制御観測量として、炉頂酸素濃度の平均値および炉内温度を用いた制御手法を提案した。

炉内の酸素濃度は、常に適切な値に保たれているのが理想であるが、実際には、ごみ供給コンベアで投入されるごみ量・質は一定ではなく、炉内の酸素濃度も短周期で常に変動する。このような短周期の変動を抑制するために、コンベア速度を過度に操作することは、かえって供給負荷をばらつかせ、燃焼に悪影響を与えることにもつながる。そこで、炉頂酸素濃度とコンベア速度の移動平均値を計算し、次式に基づき、一定時間ごとにコンベア速度を操作するアルゴリズムを考案した。

$$V_c = \frac{O_{air} - O_{ref}}{O_{air} - \bar{O}} \times \bar{V}_c \quad (2)$$

ここで、 V_c : コンベア速度操作量、 \bar{V}_c : コンベア速度移動平均値、 O_{air} : 大気中の酸素濃度、 O_{ref} : 炉頂酸素濃度の目標値、 \bar{O} : 炉頂酸素濃度移動平均値である。

以上によって、炉頂酸素濃度の平均値は、目標値に制御される。しかし、炉頂酸素濃度が適切な場合でも、炉内温度が適切でなければ、完全燃焼は困難である。

そこで、フリーボード部の温度がある範囲 (バンド) を外れた場合には、上式で計算されたコンベア速度を補正する制御系を構築した。なお、酸素濃度に基づくコンベア速度の制御周期は 1 分としたのに対し、フリーボード部温度に基づくコンベア速度の補正は、不完全燃焼を防ぐため、温度がバンドを外れた時点で瞬時におこなうようにしている。

4. 蒸気系制御

蒸気系制御の目的は、目標とする過熱蒸気を安定して回収することである。すなわち、回収される過熱蒸気の流量、温度、圧力を目標値まわりに安定に制御することである。特に、流量については、その変動を目標値±4%以内の範囲に抑えることを開発目標とした。

一方、操作量は、スーパーヒータ出側の蒸気弁と砂層熱回収部の一次空気量の2つとした。ごみ供給量については、安定燃焼を優先させるため燃焼制御側で操作し、蒸気系制御では操作しない。したがって、目標蒸気量を発生するように燃焼制御側で負荷を調節し、それに見合った過熱蒸気を如何に安定して回収するかが、蒸気系制御の果たす役割となる。

蒸気系は、操作量と制御量が複数であり、これらの間には干渉やむだ時間が存在する。例えば、蒸気流量を制御するために蒸気弁を操作すると、蒸気温度も蒸気圧力も変動してしまう。また、砂層熱回収部の一次空気量を操作してから、蒸気温度が変動するまでには、むだ時間が存在する。

このような系に対しては、多変数モデル予測制御⁽²⁾が有効となる。モデル予測制御は、モデルを使って系の挙動を予測し、フィードフォワード的に操作をすることができ、むだ時間の存在する系や時定数の大きな系に対して有効である。また、多変数系への拡張も容易である。

そこで、蒸気系制御として、過熱蒸気流量・温度・圧力を制御量とし、蒸気弁と一次空気量を操作量とする多変数モデル予測制御システムを構築した⁽³⁾。

5. 実証炉実験

次に、上記3つの制御系からなるアドバンスト制御システムを構築し、処理量20t/dayの実証炉(Fig.1参照)に適用し実験をおこなったので、それに関して以下に報告する。

炉頂酸素濃度、過熱蒸気流量・温度・圧力それぞれの目標値は、8%、1.6t/h、450℃、1.8Mpaとし、フリーボード部温度のバンドを850℃~950℃とした。なお、蒸気系モデル予測制御は、プラントの制約上、蒸気弁を直接操作することができないため、代わりにPID流量制御の目標値を操作するカスケード制御として構築した。

Fig.2に制御実験結果として、排ガスCO濃度、フリーボード部温度、炉頂酸素濃度、過熱蒸気流量・温度・圧力のグラフを示す。また、比較のために、制御をしなかった場合の排ガスCO濃度と蒸気流量制御(PID制御)の場合の過熱蒸気流量をFig.3に示す。なお、過熱蒸気流量・温度・圧力のグラフは、目標値まわりで正規化した偏差である。

Fig.2とFig.3から、本制御によって、排ガスCOのピーク発生を抑制できていることがわかる。また、排ガスCO濃度は18ppm(O₂12%換算、4時間平均)を達成しておりその効果を確認することができた。一方、炉頂酸素濃度、フリーボード部温度についても、4時間平均値でそれぞれ8.1%、854℃であり、ほぼ目標値通りに制御できている。このときのダイオキシン濃度は0.067ng-TEQ/Nm³であり、新設炉のガイドラインで定められた0.1ng-TEQ/Nm³以下を充分満足している⁽⁴⁾。

一方、蒸気系については、Fig.2とFig.3から、本手法により過熱蒸気流量の変動が抑制され、目標である変動範囲±4%以内を達成できていることがわかる。また、同時に過熱蒸気温度、圧力も目標値まわりに制御されており、多変数モデル予測制御の有効性が確認できた。

6. おわりに

高効率熱回収型流動床炉において、CO抑制制御、燃焼制御、蒸気系予測制御からなるアドバンスト制御系を構築し、処理量20t/dayの実証炉に適用した結果から本手法の有効性を確認した。今後は、モデル精度向上により、より安定で燃焼負荷に対応した制御システムの確立を目指していく。

《参考文献》

- (1) 前田ほか：日本機化学会第7回環境工学シンポジウム'97 講演論文集, pp.213-215
- (2) 西谷：モデル予測制御の応用, 計測と制御, Vol.28, No.11, pp.54-62 (1989)
- (3) 友近ほか：日本機化学会第7回環境工学シンポジウム'97 講演論文集, pp.208-209
- (4) 坂野ほか：日本機化学会第8回環境工学シンポジウム'98 講演論文集, pp.171-174

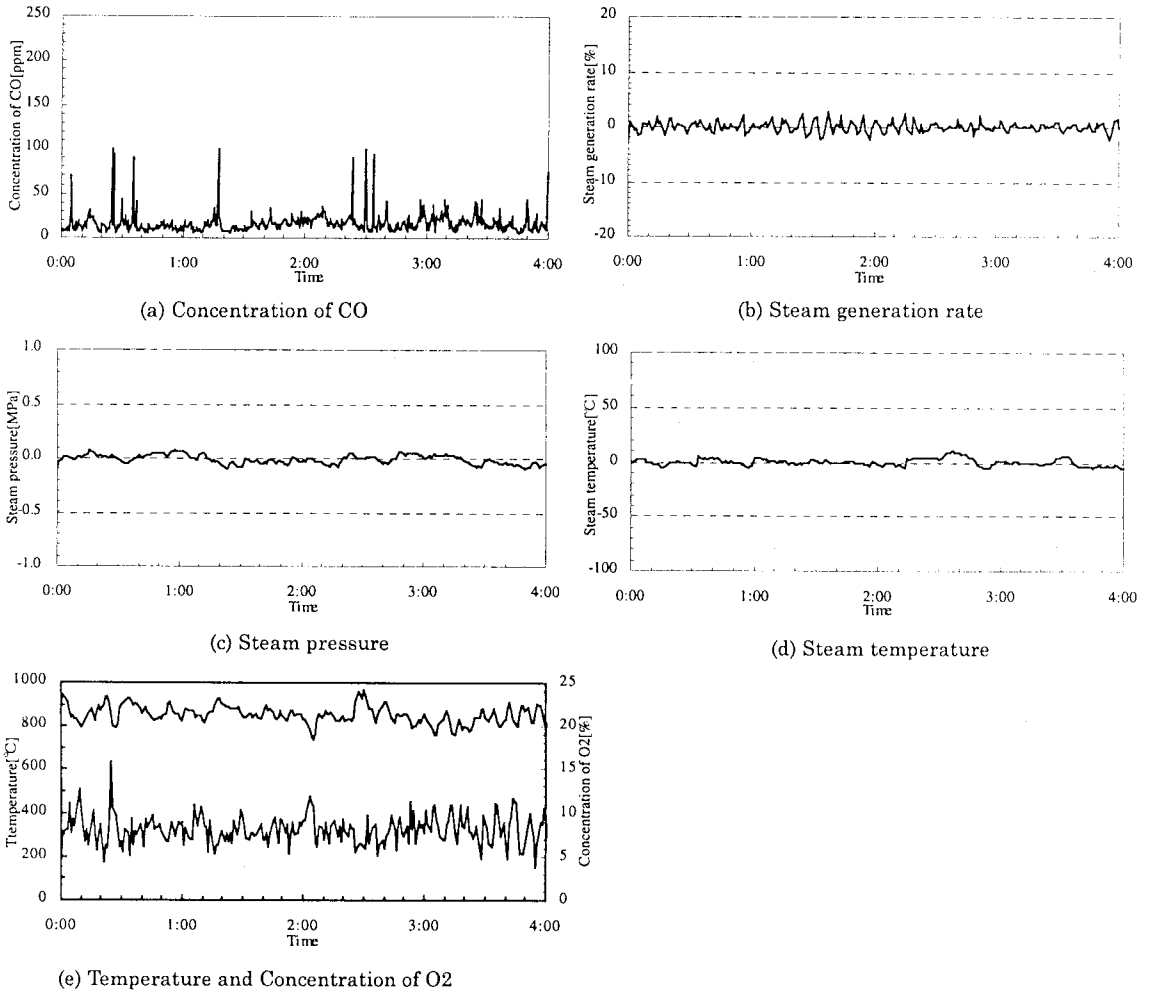


Fig.2 Control results

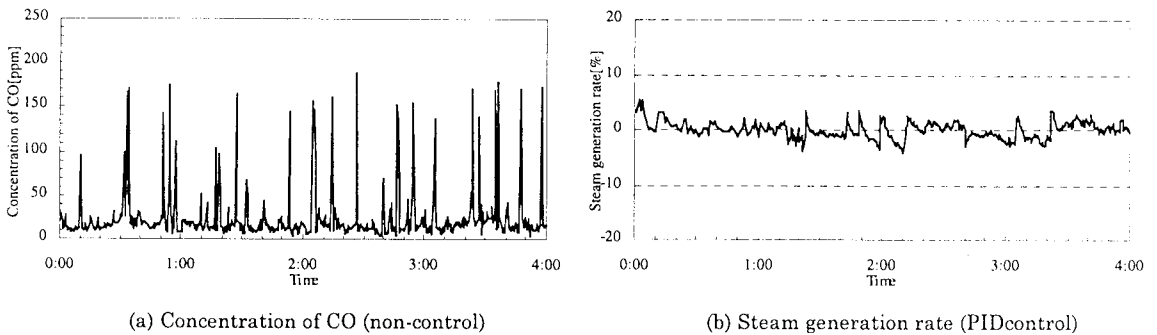


Fig.3 Control results (non-control)