

画像処理に基づく旋回溶融炉の インテリジェント制御技術

Intelligent Control Method of Swirling-flow Melting Furnace using Image processing

前田 知幸 *、中山 万希志 *、松田 正夫 **
TOMOYUKI MAEDA MAKISHI NAKAYAMA MASAO MATSUDA

* (株)神戸製鋼所 生産技術研究所
Process Technology Research Laboratory,
Kobe Steel, Ltd.

** (株)神戸製鋼所 環境エンジニアリングセンタ
Environmental Control Plants Engineering & Development Center,
Kobe Steel, Ltd.

Abstract

We propose a control method of swirling-flow melting furnace's combustion by using image data which shows the fluence of slag inside furnace. This method has feature that only image data is used as observation data and evaluation data. Through actual experiments, we confirmed that this method can track a constant reference signal which is an evaluation value of image data under desirable condition.

Key words : Image processing, Swirling-flow Melting Furnace, Process Control, Intelligent Control

1. はじめに

当社では旋回溶融炉を用いた下水汚泥の焼却溶融技術を開発し、国内で安定した操業実績を得ている。旋回溶融炉^[1]において炉内燃焼温度を被溶融物の性質に基づく溶融点の変化に追従させ安定した溶融を行なうことは、操業上重要なことである。しかし、炉内温度の直接的計測の困難さのため操業には熟練を要していた。

そこで本報告では制御観測量として炉内画像を用いて制御を行なう手法（ビジュアルフィードバック制御）の実現方法を提案し、その実験結果に関する報告を行う。

2. 旋回溶融炉

旋回溶融炉は炉頂部より空気を吹き込むことで旋回流を発生させ、汚泥焼却炉などで発生した焼却灰（被溶融物）を供給し、旋回させながら溶融を行うタイプの溶融炉である。（Fig. 1 参照）

旋回部を通過した溶融物はスラグと呼ばれ炉壁をつたって炉下部へと流出する。本手法ではその流出の状態を検出するため炉下部にCCDカメラを装備している。（Fig. 1 参照）

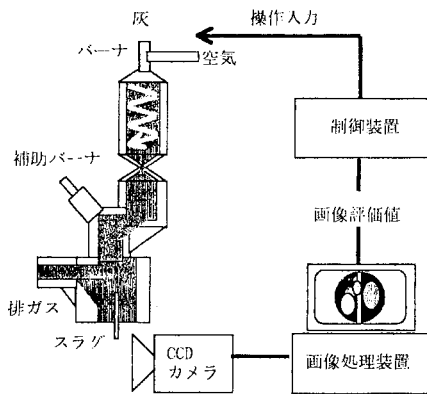


Fig. 1 旋回流溶融炉

3. ビジュアルフィードバック

安定溶融を目的とした溶融炉での燃焼制御は

- 炉内温度測定が困難
- 代替データ（炉壁温度）では精度不足
- 被溶融物の性質（溶融点）変化

などの理由から熟練オペレータによりなされている。現状では、炉内監視カメラから送られるスラグ画像によりスラグの状態を監視しながら灰供給量あるいはバーナ油糧を変化することにより操作している。

本報告では、上記問題点を情報量の多い画像を用いることにより解決できると考え、ビジュアルフィードバック制御の一実現手法を提案する。我々はすでに上述の立場から、スラグ画像のプロジェクトンデータへ多項式近似を適用し、スラグ流量、流れの安定性などを評価値とするスラグ状態の評価手法を提案している^[2]。本制御ではその中でも変化量の感度が高いスラグ流量を制御観測量とした。

また、安定溶融状態ではスラグの流れが一定であると考え、制御目的は画像評価値一定であり目標値（目標画像の評価値）から画像評価値へのサーボ特性を実現する問題となり、本制御は補償器に積分特性が必要となる（Fig. 2）。

本報告ではもっとも構造が簡単なPIコントローラ（1式）を用いることにした。

$$u[k] = K_p \{1 + K_i z / (z-1)\} e[k] \quad (1)$$

$$e[k] = (r[k] - y[k]) \quad (2)$$

$y[k]$: 画像評価値

$r[k]$: 理想操業状態での画像評価値

$u[k]$: 制御入力

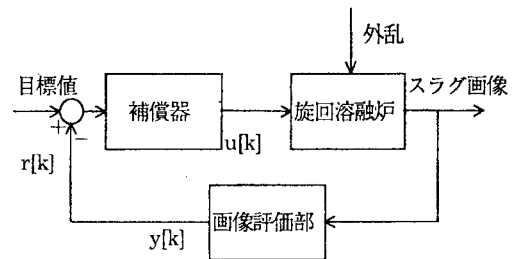


Fig. 2 制御ブロック線図

ここで、 $r[k]$ は画像ノイズの影響を受けるため一定値とはなりにくい。そこで、我々は理想とする操業条件での画像データNセットから評価値の平均値 μ 、標準偏差 σ を計算し、これらを用いて偏差を(2)にかわって次式により計算した。

$$e[k] = (\mu - y[k]) / \sigma \quad (2)'$$

これにより偏差を正規化することで、画像ノイズによるばらつき偏差への影響をおさえ、補償器への入力を安定化している。

4. 実験結果

以下の条件において実験を行なった。

サンプリング時間：30sec データセット数：N=10

比例ゲイン： $K_p=0.01$ 、積分ゲイン： $K_i=0.15$

なお、バーナ油糧に-5%の定値外乱を加えることで灰性状変化（溶融負荷変動）の外乱を擬似的に作り出し、外乱抑制特性を検証した。この外乱印加直後からの画像評価値(y)の変動および操作入力(u)を示す（Fig. 3、4）。

グラフ左端の時間（時刻0）から外乱を加え続けた結果、外乱印加直後は画像評価値が大きく変動する。しかし、それにより操作入力の変更され、時間とともに評価値が目標値近辺で落ち着いており、安定溶融を行なえることが確認できる。

次に、長時間適用により実用性の検証を行った（Fig. 5参照）。制御ONの場合は、精度よく目標値追従を達成するとともに、急激な変動も吸収しており、本制御によって画像評価値つまりは溶融の安定化を達成していることが確認された。

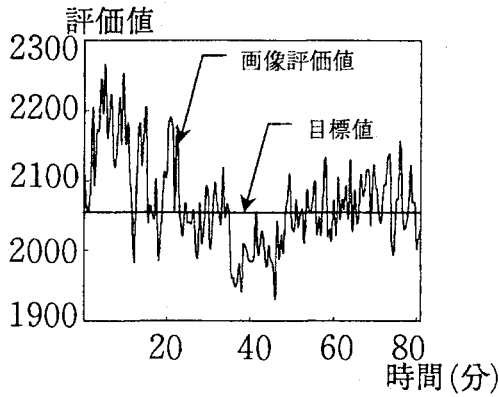


Fig. 3 画像評価値 (y)

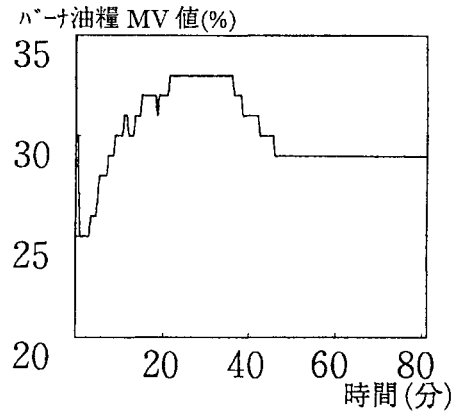


Fig. 4 操作入力 (u)

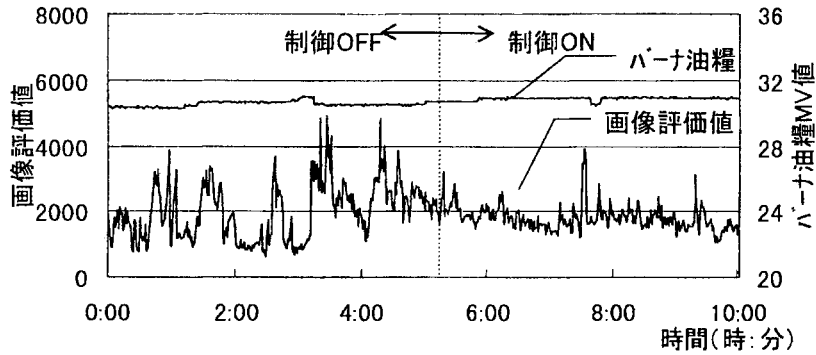


Fig. 5 画像評価値 (長時間適用結果)

5. おわりに

旋回溶融炉においてスラグ画像のみを用いて制御を行なう手法（ビジュアルフィードバック制御）の実現手法を提案し実験によりその有効性を検証した。

今後は、プロセスデータとの融合により制御精度の向上を行なっていく予定である。

(参考文献)

- [1] 鈴木他：下水汚泥溶融技術：神鋼技法, 36-2, 1988
- [2] 前田, 中山, 岡崎：画像データに基づく旋回流溶融炉の燃焼状態評価方法：連合講演会予稿集, pp.287/288, 1994