

下水汚泥溶融炉の画像処理を用いた監視・制御

岡崎 浩二* 青野 義和* 中山 万希志** 前田 知幸**
松田 正夫*** 北村 竜介***

*（株）神戸製鋼所 機械エンジニアリング事業本部 計電装技術部
神戸市灘区岩屋中町4-2-8

**（株）神戸製鋼所 技術開発本部 プロセス技術研究所
神戸市西区高塚台1-5-5

***（株）神戸製鋼所 機械エンジニアリング事業本部 都市環境本部
神戸市中央区協浜町1-3-18

概要

現在、下水汚泥溶融プラントにおける旋回流溶融炉の操業は、溶融炉下部に監視カメラを設置し、スラグ分離部から流下する溶融スラグの状況をオペレータがモニタ監視しながら行なっている。

このモニタ監視がオペレータの負荷となっていたり、炉内の状況を定量化できないため操業に熟練を要している。

そこで監視カメラより得られる画像情報を計算機で解析することにより、リアルタイムで炉内の状況を判断するシステムを開発し、実プラントでその有用性を確認した。

さらに画像情報による判断結果に基づくプラントの自動制御を提案する。

キーワード

下水汚泥溶融プラント、旋回流溶融炉、溶融スラグ、画像処理、VISUAL FEEDBACK、自動制御

1 はじめに

旋回流溶融炉の操業において、プロセス計測値だけでは、炉内状況の把握が十分でなく、スラグ分離部から流下する溶融スラグの状況をオペレータがモニタ監視している。

そこでこのモニタ監視の部分を自動化することにより、監視作業の負荷を低減することができ、監視作業に要するオペレータの熟練性をシステムに委ねることもできる。また画像による炉内の直接的な監視は熱電対による温度計測のような計測遅れが少ないというメリットがある。

本研究では監視画像の特徴量を計算機で解析しリアルタイムで炉内の状況を判断するシステムを構築し、炉内の状況を表す要素の1つである溶融スラグ発生量の判断において、実プラントで比較的良い結果を得たので、ここに報告する。

また、画像による判断結果に基づきプラントを自動制御することを提案し、開発を進めている。

2 設備の概要

2-1 旋回流溶融炉の概要

対象となる旋回流溶融炉の構造をFig.1に表す。

炉内は、燃焼空気により強い旋回流が形成され、燃料の燃焼により焼却灰の溶流点より1000℃以上高温に維持される。焼却灰は、燃焼空気とともに固気二相流として旋回羽根によって旋回を与えられて炉内に吹き込まれ、瞬時に加熱、溶融し、遠心力によって炉壁に衝突、炉壁を融液となって流下し排出される。

2-2 実験システム

実験システム構成をFig.2に示す。画像監視制御部にはCCDカメラより炉下部の状況を撮影した画像が入力され処理される。また既設の計装制御システムから必要に応じてプロセス計測値が取り込まれる。これらの入力をもとに決定した操作量を計装制御システムを通じて出力できようになっている。

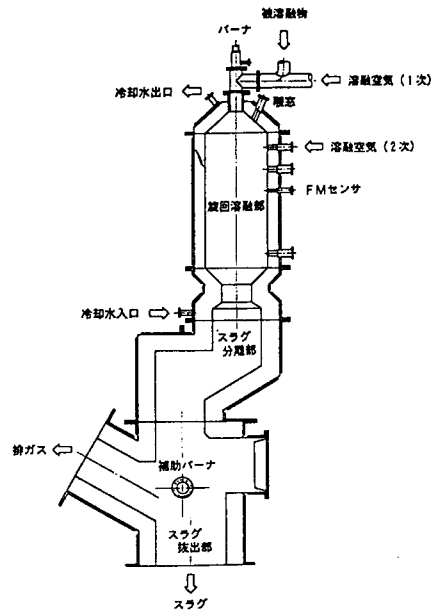


Fig.1 旋回流溶融炉の構造

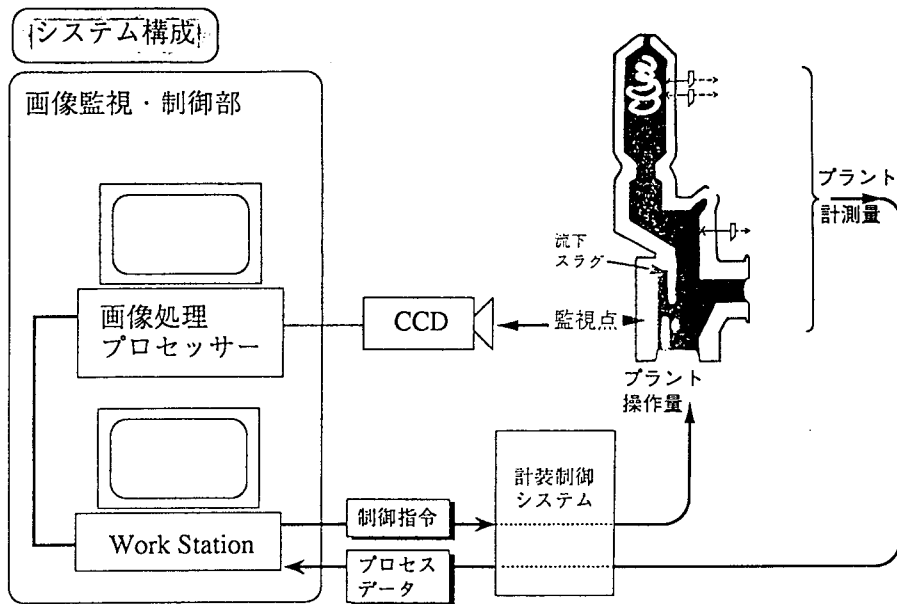


Fig.2 実験システム

3 炉内状況判断

溶融炉の状態を判断する上で重要な要素の一つである炉内に発生している溶融スラグの量に着目し、アルゴリズムを開発し、その有用性を実プラントで確認した。

3-1 実験アルゴリズム

監視対象である炉下部の画像の例として、2種類のサンプル時間における画像の例をFig.3に示す。どちらも、垂直方向に白く表れている筋状の部分が流下する熔融スラグである。

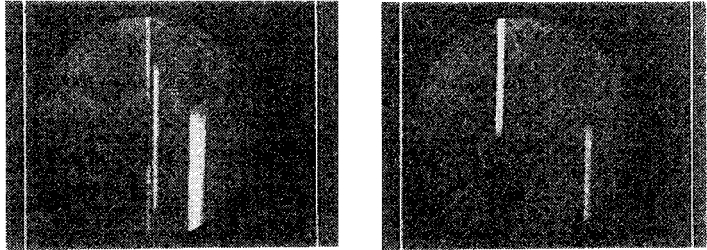


Fig.3 監視画像の例

画像の特徴として、

A 熔融スラグ発生部分は明るく見える。

B 熔融スラグは垂直方向の細い帯状の形をしている。

C 監視画像はもやのようなものがかったり消えたりして全体の明るさは刻々と変動している。

等の条件を考慮し、あるサンプル時間に各座標点の明度を量子化した入力画像に対し、

1 座標上で各量子化値を垂直方向に加算したものを水平軸に投影する。

2 投影された離散値のx方向の隣接座標の差分をとる。

3 各々の差分値を2乗しその総和をとる。

という処理を行ない、これが熔融スラグの発生量を表現していると考えた。ここで1の垂直方向加算は上記Bの特徴を利用しており、また、2の差分はCの炉内の全体的な明るさの変化をフィルタリングするのに機能している。

3-2 実験結果

実験アルゴリズムの有効性を確認するため、熔融炉に投入する被熔融物の供給量を変化させることにより、意図的に炉内の状況を変化させ、実験アルゴリズムに基づく計算値、及び、その比較用としてFig.4-Bに示す計算値（下記参）の変化をみてみた。

Fig.4に実験結果を示す。

Fig.4-Aは被熔融物供給用のフィーダへの操作出力の時間的変化を表す。

Fig.4-Bはサンプル画像の各座標点の明度量子化値を総和したものの変化を示している。

Fig.4-Cは実験アルゴリズムの処理値の変化である。

Fig.4-DはFig.4-Cの移動平均をとりプラントの計測にそぐわない不要な雑音を除去したものである。

Fig.4-D

Fig.4-C

Fig.4-B

Fig.4-A

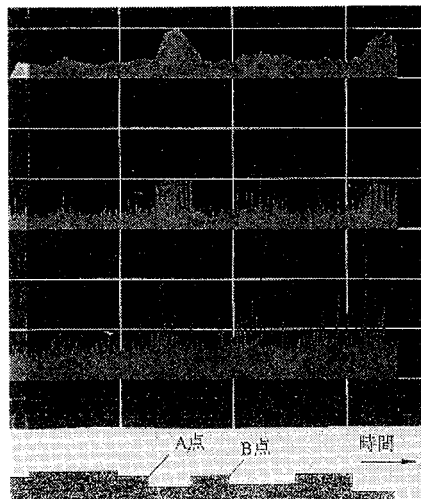


Fig.4 被熔融物供給量の変化と計算値の関係

3-3 考察

Fig.4-B,C,Dと被溶融物の供給量 (Fig.4-A) の関係を見ると

- (1) Fig.4-Bは、供給量を変化させても、それに応じた変化が見られない。これは溶融スラグの発生量とあまり関係の無い炉全体の明るさの変化 (3-1 項Cの特徴) も拾っていることによると考えられる。
- (2) Fig.4-Cは、供給量の変化に対応して値が変化しているが、プラントの計測値として監視するには雑音的な急変動が目立つ。よってこれの移動平均を取って雑音を除去したものがFig.4-Dで、供給量との関係についてはこのFig.4-Dに関して(3)で詳しく述べる。
- (3) Fig.4-Dは、A点で被溶融物の供給量を下げた時、急激に増加した後ややなだらかに減少している。これは、A点で供給量が急に減ると炉内の温度が上がり、A点以前の多めの供給により長時間に渡り炉壁に堆積していた付着スラグが溶け出し、時間経過とともに付着スラグがなくなるとスラグの溶け出しが収まっていく炉内の挙動とよく一致している。また一度供給量を戻した後B点で供給量を下げた時はFig.4-Dは少し上がり下がりしているが変化は非常に小さい。これは前述のA点以降の付着スラグの溶け出しの直後のため炉壁にそれ程スラグが付着していなかったためであると考えられる。以上よりFig.4-Dは炉内の溶融スラグ発生量の変化を比較的良く捉えていると言える。

4 制御アルゴリズム

上記溶融スラグ発生量の他、溶融炉の内部の溶融状態や燃焼状態を示す画像の特徴として溶融スラグの流下点の水平軸方向への分散の度合、溶融スラグ発生量の時間的なばらつき等がある。これらを画像処理により抽出し、操業ノウハウに基づくIF THENルールにより炉況を判断し、被溶融物供給量や燃料などを適切に操作することにより溶融、燃焼を自動制御することを検討中である。

5 おわりに

溶融スラグ発生量を比較的よく捉えることができるアルゴリズムを開発し、実験によりその有効性を確認した。今後はこのアルゴリズムの実用化をはかる一方、その他の溶融炉内部の状態を表すいくつかの特徴量を抽出し、これらを基に、操業ノウハウに基づき炉の監視制御を行なう技術を開発していく予定である。

参考文献

- 1) 吉ヶ江武男ほか：R & D神戸製鋼技報, Vol.43 No.2(1993)
- 2) 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会(1991)