

画像認識による下水汚泥溶融炉の監視・制御

Observation and Control of a Sewage Sludge Melting Furnace using Image Understanding Techniques

○前沢敏昭 (*1) 、鈴木一如 (*1) 、山口孝成 (*2) 、李 巴洲 (*2)
TOSHIAKI MAEZAWA, KAZUYUKI SUZUKI, TAKESHIGE YAMAGUCHI, LI BAZHOU,
鮎川正雄 (*1) 、堀 浩志 (*3)
MASAO AYUKAWA, HIROSHI HORI

所属 (*1): (株) 荏原製作所 情報・通信・制御事業本部

Affiliation : Strategic Information, Communication & Control Systems Group
Ebara Corporation

所属 (*2): (株) 荏原電産 エンジニアリング本部

Affiliation : Engineering Group

Ebara Densan Corporation

所属 (*3): (株) 荏原製作所 エンジニアリング事業本部

Affiliation : Engineering Group

Ebara Corporation

連絡先: 〒144-8510 東京都大田区羽田旭町 11-1

Address : 11-1, Haneda-asahicho, Oota-ku, Tokyo 144-8510 Japan

Abstract

The sewage sludge melting furnace is required to produce the stable volume and characteristics of the molten slag even when the characteristics of the sludge would change. Then, recent furnaces are equipped with automatic control devices. However, operators always observe the state of the molten slag flowed out of the furnace with an industrial TV camera, and change the operation conditions based on the observed images. This study presents a new method on utilizing these images to stable operation using image understandings techniques. By acquiring such quantitative data as the flowing out position and the change of the slag, the flowing speed or the volume and the changes of them, the width and the change of it and /or the existence of the blocks of it based on this method, more stable operation of the furnace can be realized.

Key words : Sewage sludge melting furnace , Slag , Image understanding
Observation and Control

1. はじめに

下水汚泥熔融炉装置は、汚泥の無害化处理とともに、有効利用可能なスラグを生産する点で注目され、近年実用化が進められつつある下水汚泥処理装置の一つである。この処理装置には下水処理プロセス、汚泥濃縮・脱水プロセスの運転条件の他、季節的な要因にも左右されて生ずる汚泥性状の変動に抗して、安定した熔融スラグを生成することが要求される[1～3]。従って、この装置には通常、被熔融物の供給や、熔融に必要な燃料、空気等の供給を制御するための自動制御装置が具備されているが、炉体が耐火物で覆われていて内部の全ての部位の直接監視が不可能なため、炉内への熔融スラグの滞留、固着を防止し、安定したスラグの流れを確保するために、オペレータは分離室からのスラグの流出状況を工業用テレビカメラ(ITV)を用いて常時監視し、運転条件の適否の判定、条件変更の拠り所の一つとしている。

ITVによる監視では、スラグ流出位置とその変化、流出速度とその変化、スラグの幅とその変化あるいは塊の有無などを目視し、経験に基づく判断により良否を判断しているが、常時監視に対するオペレータの負荷が大きい点、一地点でのスラグの監視結果から炉内状況を判定するには相当の経験を有する点、判断結果が定量化しにくい点ため経験の伝承がしにくい点などから、熔融炉装置の運転にとって有用な情報であるにも係わらず、運転・制御に効果的に反映させることが困難であった。

近年、この問題を解決するために、熔融スラグの画像処理情報を用いて自動制御への応用[4, 5]や、スラグ排出口の閉塞監視[6]を行おうとする試みが見られるようになった。前者はスラグの流量を制御観測量とし、その変動に応じてバーナの油量をフィードバック制御する手法を提案しているものであるが、ここでは流量を定量的に把握しているのではなく、仮定した安定熔融状態からの偏差をもとに算出した、ある画像評価値を制御観測量としているため、その仮定状態が、真に安定な状態(即ち、被熔融物と熔融スラグのマスバランスが取れた安定状態)であるかが掴めず、わずかな性状変化には追従できるが大幅な変化に伴う流量変化には追従できない問題点、従って被熔融物組成の大幅な変動があった場合には、安定熔融状態を把握し、画像評価値の設定条件を探し出すために、試行錯誤的な運転を繰り返さなければならない問題点を有していると考えられる。後者は熔融炉出口

の閉塞状況を監視(即ち静画像)しているのみで、熔融スラグの流れ(即ち動画像)を対象にしているわけではない。

本報では、従来のこのような問題点を解決し、マスバランスの取れた安定した運転を可能にする熔融スラグの画像認識方法を提案する。

2. 熔融スラグ画像認識アルゴリズム

ここで提案する画像認識アルゴリズムは、

- (1) 熔融スラグ流れの位置と幅の認識アルゴリズム
- (2) 熔融スラグの流量計測アルゴリズム

の2種である。対象とする下水汚泥熔融炉は、燃焼用空気とともに一次燃焼室に供給した被熔融物を一次燃焼室および二次燃焼室で熔融スラグに変えたのち、分離室にて熔融スラグを燃焼ガスから分離してなる多段旋回流型熔融炉装置である[1～3]。画像処理は、分離室下方で落下する熔融物を、炉本体外部から撮影可能な位置に設置されたITVにより、落下する熔融物の映像を撮影し、デジタル画像データとしてコンピュータに蓄積した画像に対して行う。(1)(2)を合わせた認識アルゴリズムを図1に示す。

2.1 熔融スラグの流れの位置と幅の認識アルゴリズム

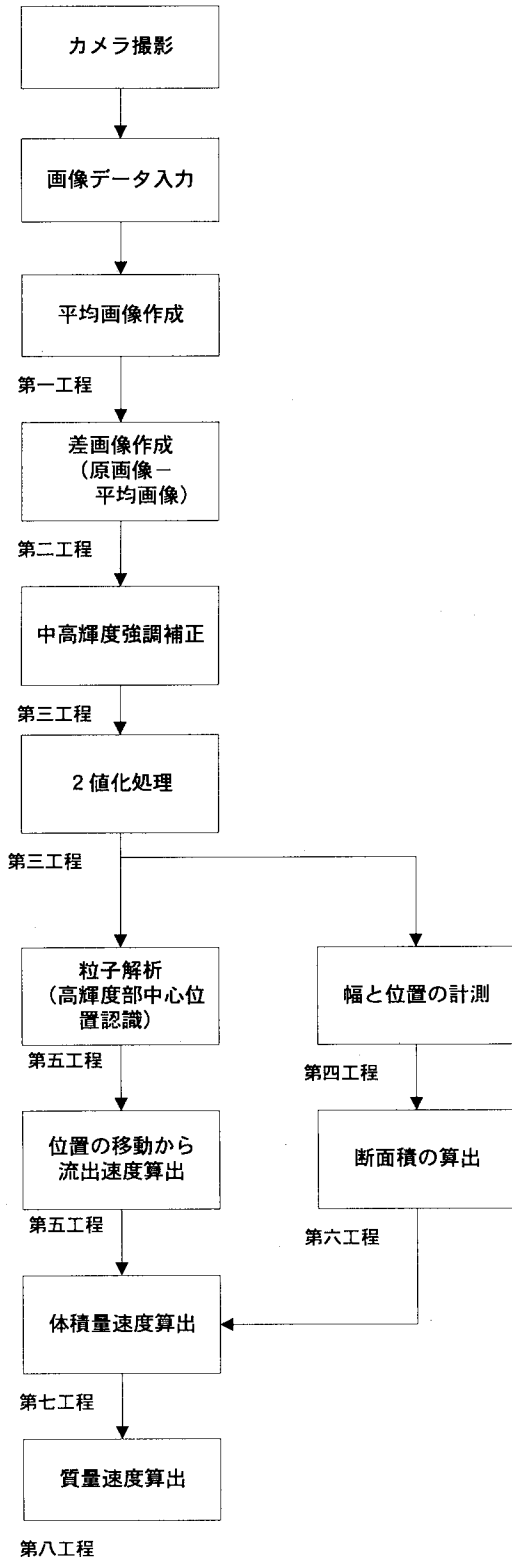
このアルゴリズムは以下の工程から構成されている。

- (1) 蓄積された連続する複数の画像のうち、ある画像とその前後の画像の輝度データを用いて、平均画像を作成する第一の工程
- (2) 第一の工程で作成された平均画像と複数の連続する対象画像との差画像を作成する第二の工程
- (3) 第二の工程で作成された差画像の中間輝度を強調する補正を行ったのち、2値化を行って2値化画像を作成する第三の工程
- (4) 第三の工程で作成された2値化画像の垂直方向のある位置における水平方向の輝度分布曲線の微分値の変化量から高輝度部分であるスラグの流れの水平方向の位置と幅値を算出する第四の工程

2.2 熔融スラグの流量計測アルゴリズム

このアルゴリズムは以下の工程から構成されている。

- (1) 前記第三の工程で作成された連続する複数の2値化画像の高輝度粒子群の各々の重心の画像上の位置の移動距離から、スラグの流出速度を算出する第五の工程



- (2) 第四の工程で算出した幅値から、溶融物の流れの断面面積を算出する第六の工程
- (3) 第五の工程で算出したスラグの流出速度と、第六の工程で算出したスラグの流れの断面積とから、溶融物の流れの体積速度を算出する第七の工程
- (4) 第七の工程で算出した体積速度と溶融物の密度とから、溶融物の流れの質量速度を算出する第八の工程

3. 実証実験

下水処理場から発生する污泥を乾燥後、燃烧用空気とともに一次燃烧室に供給し、一次燃烧室および二次燃烧室で溶融物に変えたのち、溶融物分離室にて溶融物を燃烧ガスから分離してなる多段旋回流型污泥溶融炉装置実施施設から得たスラグ画像につき、第二から第八の工程を実施した。偏光フィルタ付 ITV から取得した RGB 256 階調の映像は、アップコンバータ経由で、画像処理演算ボードを搭載したパーソナルコンピュータに 30 枚/秒の速度で取り込み、画像処理を行った。第 2 図に示した原映像の実線で示した水平軸部分の輝度分布曲線は第 3 図のようであり、この曲線を微分することで、“水”のように白く光っている帯状の溶融物の流れ幅を計測した値は 6.41 mm であった (第三の工程)。連続する 3 枚の画像から、第一から第五の工程に従って溶融物の移動状況を画像処理により抽出したものが第 4 図である。平均画像は、3 枚の画像の各画素(S1(i,j), S2(i,j), S3(i,j))間で (1) 式の演算を行って作成した。

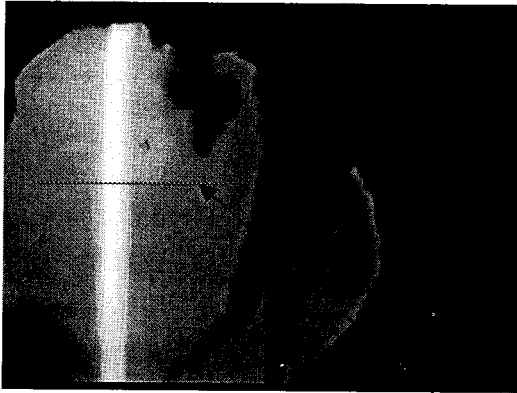
$$S(i,j) = (S1(i,j) S3(i,j)) / S2(i,j) + S3(i,j) \quad (1)$$

また、高輝度粒子の切り出しは、各画像データのフーリエ変換スペクトル間で差分を行って得た差画像につきガンマ補正を行って中高輝度部分を強調して求めた。第 4 図の各画面間の粒子群重心の位置から求めた移動速度が 13.5 mm (1/30 秒間で) であったことから、スラグ流出速度は 405 mm/sec と計算された。この流出速度と、溶融物の断面を円と仮定して幅値から求めた溶融物の断面積 (第六の工程) とより求めた溶融物の体積速度は、14.03 cm³/sec となった (第七の工程)。

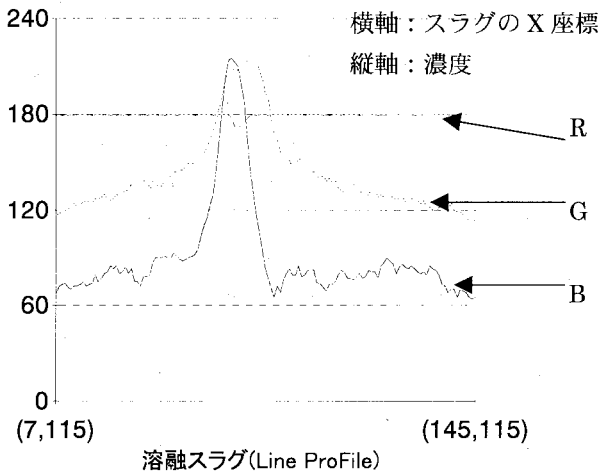
溶融物のみかけ密度の実測値は 1500 g/m³ であったので、流出重量速度は、70.4kg/hr と計算された (第八の工程)。この実施例における 4 日間の総溶融物発生量は、6758 kg と求めた。これは溶融物ホップのロードセルで積算している値と良く一致していた。

図 1 画像認識アルゴリズム

入力:RGB 色:カラー



第2図 溶融スラグ原画像



第3図 RGB 輝度プロファイル

4. おわりに

ここで提案した溶融スラグの画像認識アルゴリズムにより、スラグの流出位置とその変化、流出速度とその変化、流れの幅とその変化あるいは塊の有無などを定量的に把握できるため、溶融炉装置のマスバランスを取ることが可能になるとともに、炉内への溶融物の滞留、固着を防止し、安定した溶融物の流れを確保する運転条件を選択することが可能となる。さらに、この画像認識情報は、以下のようないくつかのレベルで、溶融炉の運用・管理情報として活用することができる。

レベル1: 警報情報としての活用

溶融物の流出位置とその変化、流出速度とその変化、スラグの幅とその変化(塊の有無による幅変化を含む)の各計測値に各々、これまでの運転経験から設定されるしきい値を割り付けておき、しきい値に達したら、警報を発報して、オペレータに対し確認を促す。

レベル2: 運転支援情報としての活用

上記各種の画像認識情報および温度等その他の計測情報を、あらかじめ経験的知見を元にして蓄えられているデータベースおよび因果関係ルールと照合し、溶融炉の現在状況が安定状況にあるのか、あるいは不安定状況へ移行しつつあるのかの診断を行ってオペレータに教示する。

レベル3: 自動制御情報としての活用

上記各種の画像認識情報を、自動制御装置の入力情報として活用し、自動制御を行う。自動制御方式としては、PID制御、現代制御、ファジィ制御など、この情報を活用可能な各種の制御方法を利用することができる。

参考文献

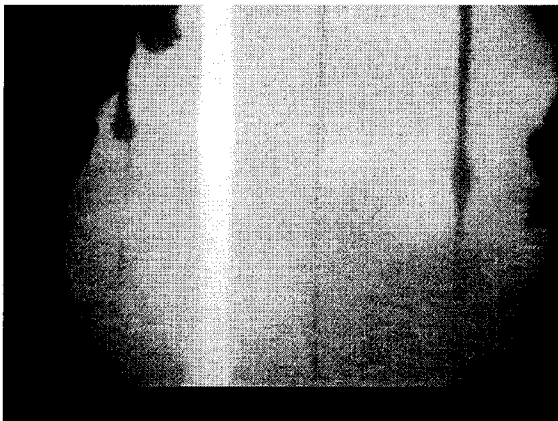
- 1) 鈴木一如、塩野俊一、白井高史: 下水汚泥溶融炉ファジィ制御システム、日本ファジィ学会誌, 4,(3) p.456 - 461 (1992)
- 2) 鮎川正雄、開発啓全、鈴木一如、入山守生、白井高史、片山岳史: 下水汚泥溶融炉ファジィ制御システム、学会誌「EICA」, 1, (2), pp.210~213 (1996)
- 3) 荏原製作所特許 特願平 11-116198、溶融スラグ流の画像認識方法
- 4) 前田知幸、中山万希志、岡崎浩二: 画像データに基づく旋回溶融炉の燃焼状態評価手法、第37回自動制御連合講演会、pp.287~288 (1994)
- 5) 前田知幸、中山万希志、松田正夫: 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、学会誌「EICA」2, (3), pp.35~37 (1998)
- 6) 石川 理、石綿 勝、内藤利昭: 溶融炉スラグ排出口の監視制御について、学会誌「EICA」、3, (2), pp.1~6 (1998)



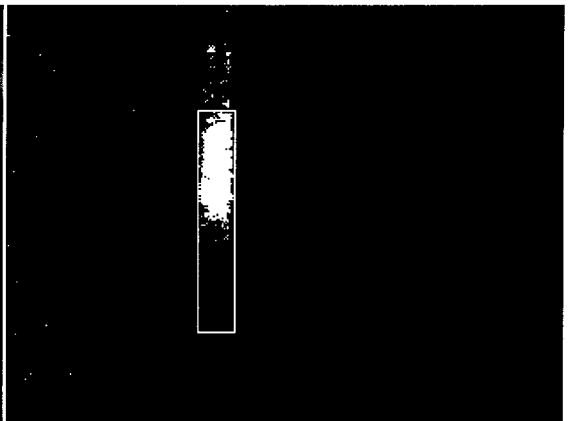
原画像(NO.1 フレーム)



捕まえた粒子



原画像(NO.2 フレーム)



捕まえた粒子



原画像(NO.3 フレーム)



捕まえた粒子

図4 粒子解析によるスラグ移動の認識

