

〈研究発表〉

ごみ焼却ピット投入ごみの画像処理に関する研究

藤原健史¹⁾, 吉川佳織²⁾, 劉大偉³⁾, 辻本進一⁴⁾, 松田吉司⁴⁾

¹⁾ 岡山大学大学院環境学研究科 (〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 E-mail: takeshi@cc.okayama-u.ac.jp)

²⁾ 岡山大学環境理工学部環境デザイン学科 (〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 E-mail: kaori_7_wada@yahoo.co.jp)

³⁾ ㈱タクマ 企画・開発センター技術開発部 (〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33 E-mail: liu@takuma.co.jp)

⁴⁾ ㈱タクマ プラント建設センター電気計装部 (〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33 E-mail: tujimoto@takuma.co.jp)

概要

ごみ焼却施設においては、ごみ燃焼の安定性の確保は、廃棄物発電を効率的に行うために不可欠である。画像処理によりピットに投入されるごみの質に関する情報を得ることができれば、ピット内を効率的に攪拌することができ、また燃焼をより安定にフィードフォワード制御することができると考えられる。本研究では、ごみの質的データを得る第一歩として、画像処理技術を用いて、ごみ輸送車からピットにごみが投入される画像から、ごみ袋の色、ごみ袋の形、体積、そして落下軌跡などの情報を抽出することを試みた。

キーワード：ごみ焼却施設、画像処理、投入ごみ、ごみピット、ごみ質

1. はじめに

1998年9月に「総合エネルギー対策推進閣僚会議」で改定された「長期エネルギー需給見通し」では、エネルギーの供給構造の中で「新エネルギー」が「原子力発電」とともに大きな期待が寄せられ、その中でも「廃棄物発電」は、2003年度末には155.3万kWだった設備容量を2010年には417万kW規模にするという目標が掲げられた。廃棄物発電はCO₂等の追加の排出量が少なく、連続的に得られる安定電源であり、地域の分散型電源であるという特徴を有している。得られた電力は施設の運用に使用されるほかに電力会社に売電されるため、安定した発電量を得ることが必要であり、必然的に安定したごみの燃焼が必要となる。

ストーカ式ごみ焼却炉の燃焼制御では、ごみの炉内への送り速度と、ストーカ下から導入する燃焼用空気量の2つの操作因子を、燃焼状態にあわせて調節することにより、ごみ燃焼の安定化を図っている。しかし、この従来型のフィードバック制御ではごみ質変動への応答速度に限界があり、燃焼が不安定になることがある。高い精度の燃焼制御を実現するためには、ごみの性質を焼却炉に投入される前に検出して制御するフィードフォワード制御が必要である¹⁾。

これまでにも、燃焼を安定化させる研究には、ステレオ画像を用いてホッパ内ごみの表面形状を計測し、供給量を推測する研究²⁾や、ストーカ式ごみ焼却炉におけるごみ供給量を安定化させるためのシステム開発研究³⁾などがある。本研究では、人の視覚の情報処理

を一部、コンピュータの画像処理で置き換え、ごみの質的情報を検出することを考える。

ピット監視やクレーン操作の際に、オペレータが得ている視覚的情報は、最も確からしいごみ質の情報である。本研究では、パッカー車から投入されるごみを、ごみ袋の単位でごみ種類と数量などを画像処理により認識させる。最近では、ごみの有料化により着色されたごみ袋を用いる傾向があり、色でごみ袋の形を認識しやすくなっている。本研究では、色の検出と二値化などの画像処理の基本的操作を組み合わせ、ごみ袋の種類や動きを認識することを試みた。この画像処理技術がさらに発展すれば、攪拌作業の高効率化や燃焼の安定化に寄与すると考える。

2. 研究の背景

2.1 画像処理の手法

本研究で用いた基本的な画像処理の手続きについて簡単に紹介する。

まず、二値化画像とは画素ごとに0(黒)か1(白)のいずれか値をとる画像で、二値化とは画素ごとに光度0~255をとる原画像に対して、ある光度のしきい値を設定して、しきい値以上ならば値1を、それ以下ならば値0に変換する処理である。次にマスク処理とは、原画像の注目する部分を残してそれ以外を消去する方法で、注目する部分の画素を値1、それ以外を値0のマスク画像を作成し、画素ごとに積算する処理である。マスク処理によって対象領域のみを抽出するた

め、その後の処理を対象領域に限定して効率的に行うことができる。ノイズ除去は画像を処理するとき、対象部分にとって望ましくない画像の乱れを画像処理操作によって消すことである。二値化画像の点状や線状のノイズであれば、一般に縮退・膨張処理を何度か繰り返すことによって一様に消し去ることができる。ここで縮退とは、各画素に対してある種の二次元のフィルタを適用し、値1と値0の界面において1を0に変える操作である。この操作を何度か繰り返すうちに、独立して存在する小さな点や細い線は消滅する。一方、膨張とは、縮退の逆操作で、画素にある種の二次元フィルタを適用して、0を1に変える操作である。ラベリングは、二値化画像中に値1がつながった連結成分が複数あるときに、それらに通し番号をつける操作である。連結領域にラベルを付けて、各連結成分の個数やそれぞれの面積(単位:ピクセル)を求める⁴⁾。ラベリングを行った画像に対し、それぞれの連結成分の重心を求める⁵⁾。

一方、色に関しては、一般に用いられる赤・青・黄色から構成されるRGB画像を、色空間の色相(Hue)、彩度(Saturation)、明度(Value)の三要素から構成されるHSV空間の画像に変換してから(HSV変換)、指定した色の抽出を行う。HSV空間は、一般的な色の表現方法であるRGB空間よりも人間の色覚に合っており、画像処理を行うのに適している⁵⁾。

2.2 画像処理の利用

ごみ投入時にごみ袋に入った家庭ごみの画像を分析することで、ごみの質につながる情報を得る。画像処理のみによってごみの質を正確に分析することは困難であり、ごみの袋認識や一般のごみと剪定ごみの弁別、投入されるごみ袋の数などの情報を収集する。ごみ袋の面積から体積を求め、色の判別によってごみ袋中のごみの種類を推測し、熱量計算に役立てるなど、将来的に、ピット内のごみが均質に攪拌され、燃焼の安定化につながるような情報を画像から分析する。

3. 実験方法

最初に室内において、落下させたごみ袋をビデオカメラで撮影し、二次元で得られるごみ袋の画像を三次元に補正する係数について検討した。次に、関東のA市の都市ごみ焼却施設において、ピットに投入されるごみ袋をクレーン操作室からビデオで撮影し、静止画像を切り出して、色判別や投入ごみ量の推計などを行った。なお、A市では、家庭系一般廃棄物の袋の色はサイズの違いで黄色かピンク(草・木・紙おむつは除く)、事業系一般廃棄物の袋の色は水色である。草や木などのごみは透明の袋に入れる。なお、焼却施設

隣の隣には破碎工場があり、そこから出た破碎ごみは袋に詰められることなく、そのまま焼却施設にトラックで持ち込まれ、ホッパに投入される。

3.1 室内実験

1) 落下実験

落下する模擬ごみ袋の個数、面積を求める。容積5L、10L、20L、45L、の四種類のA市指定の黄色いごみ袋を使用し、満杯になるように紙くずを入れ、4種類の袋をそれぞれ高さ約2mの位置から次々落下させ、その映像を三脚で固定したビデオカメラ(SONYハンディカムカメラ)で撮影した。同時に面積が既知のキャリブレーション用サンプル(紙板製)についても静置して撮影した。

動画を1秒24コマのフレームに分解し、各フレームを取り出して画像処理を行った。画像分析のツールは、MATLABでプログラミングしたもの、および画像処理用ソフトNI visionの2種類を使用した。画像処理の手順を以下に示す。

- (1) しきい値を固定し静止画を二値化する。しきい値は、画像全体の明るさの頻度分布より定める。
- (2) 二値化画像を収縮(3回)、膨張(3回)を行いノイズを除去する。
- (3) ラベリングを行い連結成分に番号を割り当てる。
- (4) 連結成分の数、面積(単位:ピクセル)を算出する。
- (5) 以上の操作を、複数のごみ落下の連続した静止画に対して行う。
- (6) キャリブレーション用サンプルの画像から、面積をピクセル数で割った変換係数を求める。
- (7) (5)の画像のピクセル面積に変換係数を掛けて実面積を計算する。

2) 回転実験

ごみの二次元画像から体積を計算する。このとき、ごみ袋の見る角度によって、体積の推計値の変化を実験的に調べる。

まず、5Lの黄色いごみ袋を使用し、4.8Lの水を注入し、袋をひもで吊るして回転させながら撮影する。1)と同様に面積を計算し、計測された面積のばらつきを調べる。

次に、ごみ袋の三次元形状を球体あるいは楕円体と考えて面積から体積を推計する。面積からそれぞれの体積への変換式を式(1)と式(2)に示す。ごみ袋の充填の程度や詰め方によって、形状が見る角度によって変わると考えられ、式(1)や(2)の適合度を調べる。

$$V=4/3\pi(S/\pi)^{(3/2)} \quad (1)$$

$$V=4/3\pi R_1^2 R_2 \quad (2)$$

(V:体積, S:面積, R₁:幅, R₂:高さ)

3.2 フィールド実験

ごみ焼却施設において、パッカー車からごみ袋が投入される様子をクレーン操作室からビデオカメラで撮影する。次に、色判別により一般ごみと剪定ごみの判別を行う。画像処理によりごみの投入袋数を求め、画像から確認できる数と比較する。さらに、投入量と体積を推計する。最後に、ごみ袋落下の軌跡を抽出する。

1) 色判別

RGB 画像を HSV 画像に変換し、抽出したいごみ袋の色に合わせて H, S, V 値の検出範囲を設定する。次に抽出されたごみ袋の像をマスクとして原画像の二値化画像をマスク処理し、ごみ部分だけを抽出する

2) 軌跡抽出

落下するごみ袋の軌跡を求める (図 1)。ピット内に投入されたごみ袋の軌跡を追うことで、投入ごみの散らばりや蓄積を知ることができる。まず、ごみ袋落下の二値化画像をラベリング処理し、ごみ袋の重心座標を検出する。次に、連続する 2 時刻の二値化画像についてごみ袋の重心の移動を求める。このとき、1 コマ間でごみ袋が落下する平均速度ベクトルを、動画からあらかじめ求めておき、その移動距離を 2 つの重心間の距離と考えて、2 画像間の重心位置のマッチングを行う。これを繰り返すことにより、ごみ袋の落下軌跡を求める。

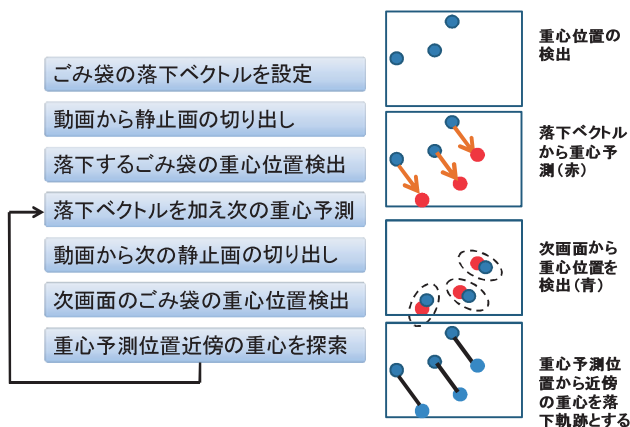


図 1 ごみ袋の軌跡抽出アルゴリズム

3) 熱量計算

投入されたごみ袋と中のごみの発熱量を推算する。ごみの発熱量の計算は「ごみ 1 kg あたりのごみ中成分の発熱量と元素組成」(表 1) のデータを用いて算出する。

4. 結果と考察

4.1 室内実験

1) 落下実験

まず、キャリブレーション用のサンプル (実面積の

明らかな長方形の白い紙、横幅 18.5 cm 縦幅 31.43 cm (面積 581.4 cm²) を用いて画像中のサンプルの画素数をカウントし、長さ、面積の変換係数を求めた。次に、サンプルの角度を変えて写した画像について二値化処理を行い、先に求めた変換係数を用いて長さと同面積を計算し、実測の長さと同面積にほぼ一致することを確認した。

次に 5 L 用の黄色ごみ袋にごみを入れて白い壁をバックに落下の様子を撮影した画像 (N=7) について画像処理し面積を計算したところ、平均面積 528 cm²、標準偏差/平均面積 0.0263 となった。二値化処理の結果は、原画像と二値化画像との目視の比較で適当と判断された。以上の実験により、落下中のごみ袋を検出することが可能と考えられた。

2) 回転実験

ごみ袋を回転させて測定面積の統計を求めた結果を表 1 上段に示す。測定面積のばらつきは、平均に対する標準偏差の割合が 9.7% であった。ごみ袋の見る方向によって 10% ほどの面積の違いが生じることがわかった。袋につめたごみ量が少ない場合には、パッカー車内でごみ袋が圧縮されて扁平となるため、見る角度による面積の違いが大きくなると考えられる。精度を求めるならば、カメラを 2 方向から撮影し 3 次元でごみ袋をとらえるステレオ画像を用いることが考えられる。

表 1 面積、体積計算の結果

	測定面積 (cm ²)	測定幅 (cm)	測定高 (cm)	実体積 (L)
平均(N=53)	347.1	17.7	24.9	4.8
標準偏差	33.9	1.57	0.534	0
MAX	395.	19.7	25.5	4.8
MIN	287.	14.8	23.7	4.8
標準偏差/ 平均	0.097	0.0890	0.0214	0
MAX/平均	1.138	1.116	1.027	1
MIN/平均	0.828	0.839	0.954	1
	球体積 数式(1)	実体積比	楕円体積 数式(2)	実体積比
平均(N=53)	4.88	1.02	4.08	0.851
標準偏差	0.707	0.147	0.644	0.134
MAX	5.90	1.23	4.91	1.02
MIN	3.67	0.76	2.93	0.611
標準偏差/ 平均	0.145		0.158	
MAX/平均	1.21		1.20	
MIN/平均	0.751		0.719	

次に、測定面積より球体積および楕円体積の近似式を用いて体積の推計を行い、実際の体積4.8Lとの比を求めた。結果を表1下段に示す。体積推計値の平均から、球体近似の方が楕円近似よりも良い近似となった。また、標準偏差からも球体近似の方が良い結果となった。

4.2 フィールド実験

ごみ焼却炉のクレーン操作室からピットを見降ろした様子を図2に示す。この角度から撮影した映像をもとに、ごみ投入時のごみ袋について画像処理を行った。



図2 ピットへのごみ投入の様子

1) 色判別

a) 黄色のごみ袋の抽出

カラー画像をHSV変換し、黄色を抽出するため、それぞれの範囲を(H:36°~72°の範囲, S:0%以上, V:55%以上)に調整した。抽出の結果を図3右に、原画像に重ねたものを図3左に示す。ごみ袋の形状を明瞭に抽出することができた。



図3 黄色のごみ袋の検出(右:検出部分,左:原画像との重ね合わせ)

b) 緑色のごみ袋の抽出

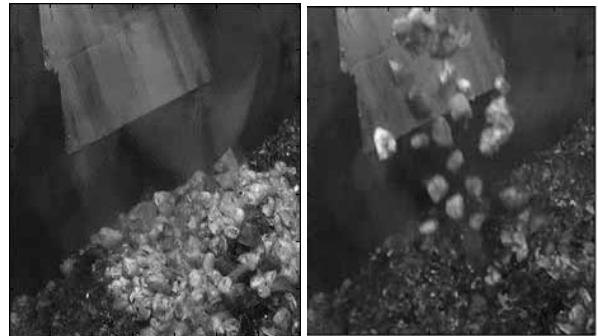
a)と同様に、草木が入っている緑色のごみ袋をHSV変換により抽出した。それぞれの範囲を(H:60°~180°の範囲, S:0.1%以上, V:2.5%以上)に設定して抽出した結果を図4右に、原画像に重ねたものを図4左に示す。袋を通して見える植物を比較的明瞭に検出することができた。

2) 二値化処理とごみ体積の計算

図5にピット投入ごみの画像処理について示す。ご

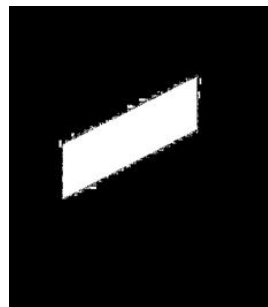


図4 剪定ごみの抽出(右:検出部分,左:原画像との重ね合わせ)

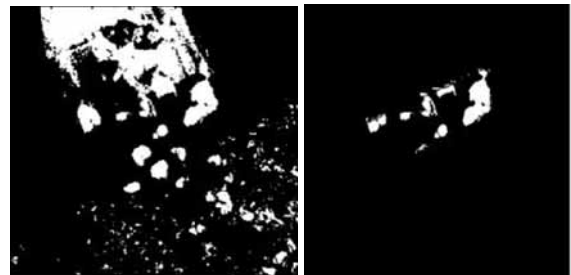


a)ごみ投入休止時

b)ごみ投入時



c)落下部分抽出用マスク



d)二値化画像

e)マスク処理後画像

図5 二値化とマスク処理

み投入は間欠に投入されるため、画像b)のごみ投入時の画像から、a)のごみ投入休止時の画像を差し引くことによって、ごみ投入による変化部分を明確にしておく。さらに、落下部分を固定するために画像c)のマスク画像を設定する。画像b)の二値化処理をした画像d)に対し、マスク処理を行った画像e)について、ごみ袋の抽出を行った。二値化画像にラベリングを行い(図6)、ラベルされた領域ごとに面積、重心を求めることができた。



図6 ラベル化された画像

重なり合っている複数のごみ袋は1個の塊として認識されるために正確さが失われる。この問題に対しては連結部分の切り離しが必要であり、今後の課題である。

3) 軌跡抽出

ごみ落下の連続画像に対して、各画像のごみ袋の画像処理を行ない、すべてのごみ袋の重心を求め、次に連続画像間でのごみ移動を計算した。例として図7に示す連続画像に対して、黄色い丸をつけたごみ袋の落下を、図7右下に示したように、重心の移動として検出することができた。ごみ袋の重なりが生じないような落下の場合は、ごみ袋の軌跡の抽出は容易であるが、重なりが多い場合には軌跡が途中で途切れやすいことが分かった。

6. おわりに

ごみ焼却炉では、これまで計測できなかったごみ質に関する情報が画像処理により抽出できるようになれば、攪拌操作の高効率・高精度、燃焼の安定化、廃棄物発電施設の安定化、排ガス処理装置のコンパクト化等が図れると考えられる。そこで、本研究では、ごみ袋が収集車からピットへ投入される画像を処理することによって、ごみ袋に関する情報を抽出する方法を示した。

まず、室内実験で投入ごみ袋数の計数と面積計算について方法を示した。さらにその面積から体積を推計する方法について示した。次にフィールド実験で、ごみ袋の色抽出によるごみ種類判別の効果について示した。さらに、動画より得られるごみ袋の重心の動きから、ごみ袋の投入軌跡の抽出が可能であることを明らかにした。本研究は、投入ごみの質を画像より把握するための第一歩であり、ごみ撮影条件の改善、画像処理アルゴリズムのさらなる改善が必要である。

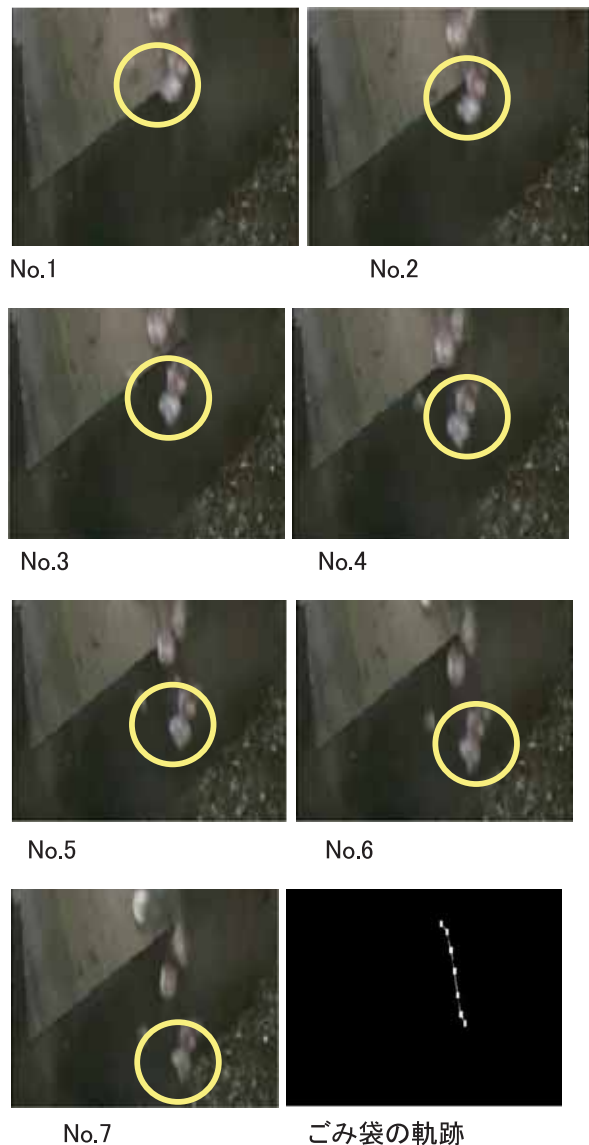


図7 ごみ落下の写真と抽出した軌跡

参考文献

- 1) 田中信壽 編著, 松藤敏彦, 角田芳忠, 東條安匡 共著: リサイクル適正処分のための廃棄物工学の基礎知識, 技報堂出版 (2004)
- 2) 角田芳忠, 中塚大輔, 伊藤大輔, 武田信生, 藤原健史, 高岡昌輝: ストーカ式ごみ焼却炉におけるごみ供給量安定化システムの開発——ごみの低位発熱量推定, 圧密特性に係る基礎研究——, 廃棄物学会論文誌, Vol. 14, No. 4, pp. 210-218 (2003)
- 3) 伊藤大輔, 藤原健史, 武田信生, 高岡昌輝, 角田芳忠, 中塚大輔: ステレオ画像を用いたホッパ内ごみの表面形状の計測に関する研究, 環境システム計測制御学会, EICA, Vol. 6, No. 1, pp. 37-43 (2001)
- 4) 高井信勝 著: MTLAB 入門, 工学社 (2000)
- 5) 松村正吾 著: MATLAB による画像 & 信号処理, CQ 出版社 (2007)