

〈研究発表〉

ステレオ計測システムを用いたごみ供給管理システムの 実施への適用に関する研究

高岡 昌輝¹⁾, 伊藤 大輔²⁾, 中塚 大輔³⁾, 角田 芳忠³⁾, 武田 信生⁴⁾, 藤原 健史⁵⁾, 大下 和徹¹⁾

1) 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂,
E-mail: takaoka@environ.mbox.media.kyoto-u.jp, kazuyuki.oshita@fx5.ecs.kyoto-u.ac.jp)

2) 日本IBM(〒103-8510 東京都中央区日本橋箱崎町19-21, E-mail: DAISUKEI@jp.ibm.com)

3) 株式会社タクマ(〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33, E-mail: daisuke@takuma.co.jp, kakuta@takuma.co.jp)

4) 立命館大学エコ・テクノロジー研究センター(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1, E-mail: takeda@se.ritsumei.ac.jp)

5) 岡山大学廃棄物マネジメント研究センター(〒700-8530 岡山市津島中3-1-1, E-mail: takeshi@cc.okayama-u.ac.jp)

概要

ステレオ計測システムを含むごみ供給管理システムを実施に適用し、供給ごみデータの計算値と実施でモニタリングしている燃焼状態のデータとを比較した。供給ごみの発熱量について、計算値と実測値を比較した結果、相関係数は約0.6となり、両者に相関が見られた。ごみの圧密を考慮することにより、供給熱量の計算値は実測値に近づいたことから、ごみの圧密は重要な要素であることが確認された。本システムを用いて供給ごみのデータを計算し、一定熱量供給制御など、高度ごみ供給管理システムを実現することが可能であると考えられた。

キーワード: ステレオ計測、都市ごみ、ごみ供給管理システム、圧密

1. はじめに

都市ごみ焼却炉において、より精度の高い燃焼制御を実現するためには、燃焼室へ送られるごみの発熱量や供給量についてリアルタイムに把握し、燃焼をフィードフォワード制御することが望ましい。高度ごみ供給管理システムの構築に関して、これまで著者らは既報において、ごみ圧密・供給モデルを提案し¹⁾、ホッパ内ごみの体積計測システムを開発し²⁾、ごみの圧密特性およびごみの見かけ密度と低位発熱量の関係式³⁾を用いて燃焼室に供給されたごみの体積、重量、密度、発熱量、ホッパ内での滞留時間について計算するシステムを構築している。本論文では実際に運転しているプラントにステレオ計測を用いた供給ごみ管理モデルを適用し、炉内温度やボイラ蒸発量などの炉の燃焼状態に関する時系列データを取得し、供給ごみの低位発熱量計算値と比較して、モデルの妥当性を検討するとともに、供給ごみ管理システムを制御に生かすための知見を得ることを目的とする。

2. 実験方法

実験を行った焼却炉はストーカ式で、燃焼ガスの冷却および焼却炉からの燃焼熱の有効利用を目的としたボイラ、発電機を持つ。排ガス処理設備としてはバグフィルタを設置している。このプラントの処理能力は1炉あたり約90t/day程度であり、3系列を備えている。その中の1系列のホッパにステレオカメラを設置して実験を行

った。ホッパの形状をFig.1に示す。図中の単位はmm、ホッパの奥行きは2720mmから2920mmであるが、一様に2920mmであると単純化してモデル化した。

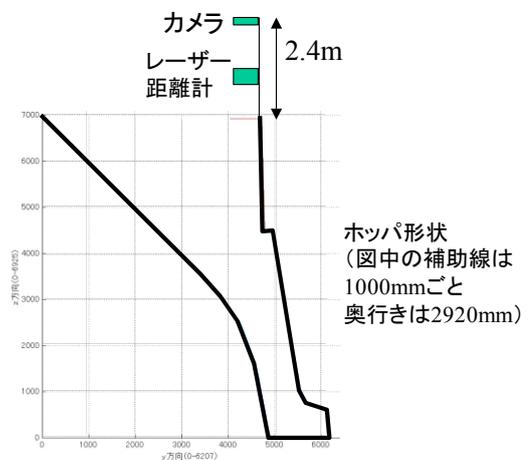


Fig.1: Configuration of waste hopper

ごみの供給管理システムのモデルをFig.2に示す。ごみホッパに投入されたごみは、順次、燃焼室に供給される。本モデルでは、ホッパに一回で投入されるごみを一つの層として、ごみ層ごとに体積、重量、密度、発熱量などを測定、計算して、履歴を持たせ、それが圧密を受けながら移動していく現象を表現している。ホッパ内のごみの挙動は、Fig.2に示すようにごみの投入と圧密時とごみの供給時に分けて考えた。

本モデルの基本構造については参考文献1)を、ホッパ内ごみ体積計測については参考文献2)を、ごみの圧密特性関数およびごみの見かけ密度と低位発熱量

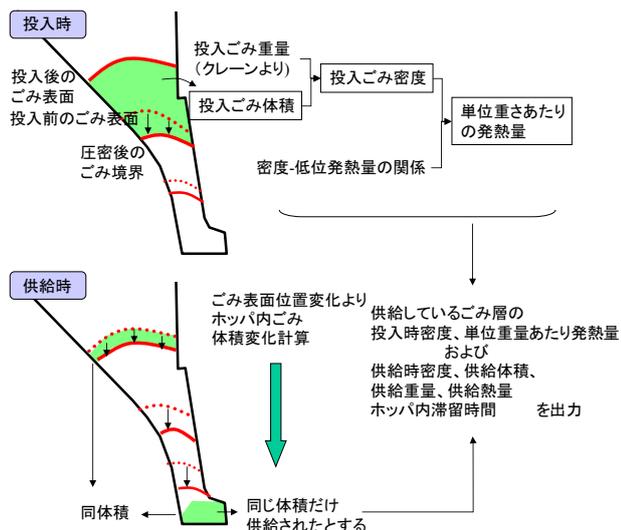


Fig.2: Concept of advanced municipal solid waste furnace feeding system

の関係式については参考文献3)を詳しくは参照されたい。なお、初期状態においてはホップ内には投入時(圧密前)密度 $0.2\text{t}/\text{m}^3$ であったごみが圧密された状態で詰まっていると、最初に読み込んだホップ内ごみ体積をホップ内の初期ごみ体積とした。また、実際のプラントにおいては、ホップ開口部の水平断面積の大きさが高さ方向で変化していることを考慮に入れた。

蒸発量、炉内温度などの燃焼状態に関するデータはプラントで計測している時系列データを使用した。主な出力項目はボイラ、排ガス中の各物質濃度、燃焼室中のガス温度、火床温度、燃えきり点などである。

ごみの燃焼状態に関する時系列データと計算した供給ごみ発熱量の時系列データを比較し、さらに相関を取った。比較した項目をTable1に示す。表中の実測熱量は、ボイラ蒸発量などから逆算された値である。なお、本モデルの計算値は、ごみ層ごとに離散的な値をとってしまうことから、1時間の移動平均をとって燃焼データと比較した。

Table 1: Items for comparison between calculated data and measured data

比較項目
熱量計算値(圧密考慮)とACC実測熱量
熱量計算値と乾燥段火床温度
熱量計算値と乾燥段空気温度
熱量計算値と燃えきり点
供給熱量計算値と乾燥段火床温度
供給熱量計算値と乾燥段空気温度
供給熱量計算値と燃えきり点

実測熱量のほかに、乾燥段火床温度、乾燥段空気温度、燃えきり点との比較を行った。データ取得を行ったプラントでは実験中も燃焼を最適化するように制御を行っていたため、供給ごみの影響を見るためには乾燥段などごみの供給部分に近い部位のデータを調べること

が適当であると考えたためである。

ごみが供給されてから炉内温度などに影響を与えるまでには時間の遅れがあると予想されることから、供給ごみの時系列データと炉内燃焼状態の時系列データの時刻を段階的にずらして比較した。今回は燃焼データを実際に取得した時刻より180~90分の間で10段階にずらして比較し、もっとも大きな相関が得られる時刻を調べた。たとえば-60分ずらしの比較は、60分前に供給されたと考えられるごみデータと現在の燃焼データとを比較しているということになる。

3. 結果と考察

3.1 供給ごみ計算結果

供給ごみデータの計算例をFig.3に示す。

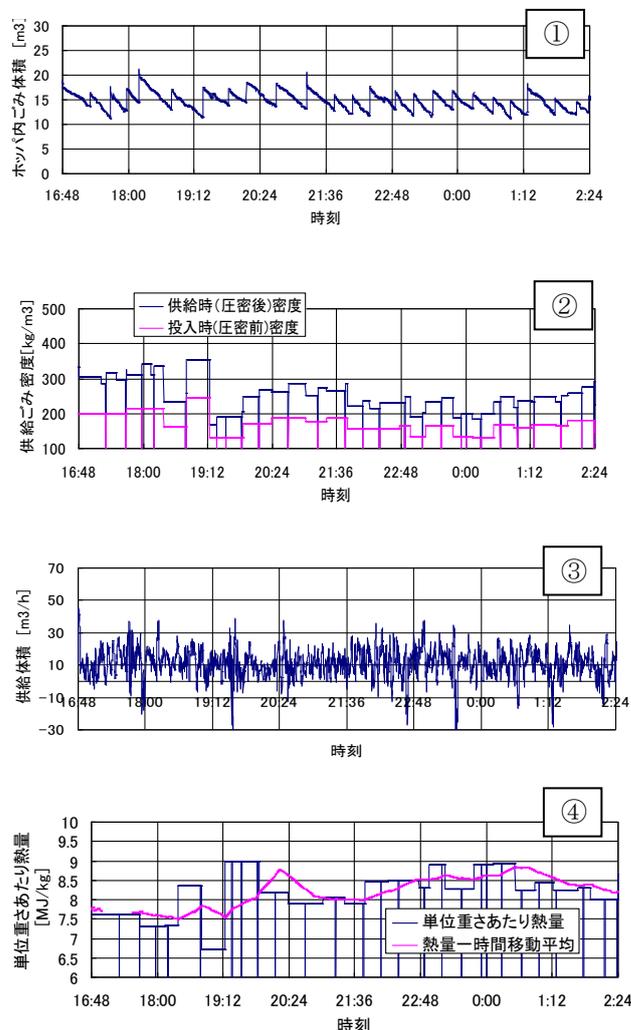


Fig.3: Calculation results of waste feeding

図中①のグラフはホップ内ごみ体積計測結果の時系列データであり、先に述べたようにホップ内のごみ体積変化を捉えることに成功している。図中②は燃焼室に供給されているごみについて、圧密を受けた後(すなわち現在の)密度、および圧密を受ける前(ホップ投入時)の時系列データをプロットしたものである。本研究ではホッ

パ内のごみはごみ層にまとめて考慮され、ごみ密度もごみ層ごとにまとめて設定される。そのため、同じごみ層のごみが供給されている間は一定の値をとり、供給されているごみ層が変化したときに急激に値は変化する。また、圧密後のごみ密度はごみ投入による圧密を受けることでも変化する。圧密前のごみ密度は供給ごみの低位発熱量を計算する際に用いられる。

図中③は、各サンプリング間隔で供給されたごみ体積の計算値サンプリング間隔で割り、速度の単位で供給ごみ体積をプロットしたものである。これはホッパ内のごみ体積変化量から計算される。ここで示しているものは、2分間の移動平均値である。

図中④は供給ごみの単位重さあたりの熱量をプロットしたものである。供給ごみの単位重さあたりの熱量は、ごみの見かけ密度と低位発熱量の関係式を用いて、供給ごみの投入時の密度から計算されるため、その変化は②で示したごみの投入時密度の変化と非常に似通っている。計算値そのままでは供給ごみ層が変わるたびに熱量計算値も急激に変化してしまうため、1時間の移動平均値をあわせて示している。

上記、供給ごみに関するデータについて連続的に計算するシステムを開発することができた。本システムでは供給熱量の計算を行っていることから、供給熱量制御などの応用を行うことが出来ると考えられる。

3.2 供給ごみの計算結果と燃焼データの比較

まず比較結果の一例として、供給ごみの熱量計算値と熱量実測値の比較結果を示す。計測期間が長く、例として見やすいため、体積計測にレーザー計測を用いた結果を Fig.4 に示す。このグラフより、ACC の熱量計算値と実測値の絶対値にはやや差があるが、トレンドは捉えている。

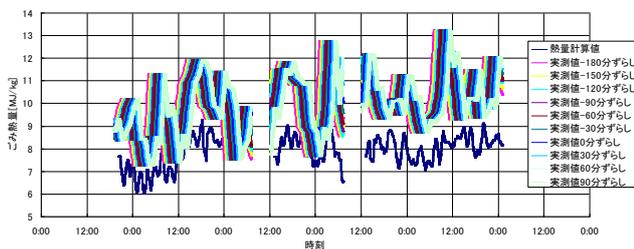


Fig.4: Comparison of calculation data and measured data in heating value of feeding waste

次に、46366 サンプルすべてのデータの相関係数を計算し、これをステレオ計測とレーザー計測別にグラフ化したものを Fig.5 に示す。

実測熱量と、熱量計算値(供給ごみ単位重さあたりの発熱量計算値)の相関係数がおよそ 0.6 となり、両者には相関が見られた。また、供給されたと推定された時刻(0分ずらし)付近でもっとも高い相関を示しているため、供給ごみの熱量はすばやく実測値に反映されるものと

考えられた。他の項目の相関はあまり高くなく、ごみの供給管理および制御には现阶段では供給熱量計算値よりも供給ごみの(単位重さあたりの)熱量計算値を用いることが適当であると考えられる。ごみ発熱量の計算値と実測値の相関係数は 0.6 であったが、ごみ密度と発熱量の相関係数が 0.7 程度であったことを考えると、発熱量計算値と実測値の相関は十分に高いと考えられる。また、ステレオ計測はレーザー計測と遜色ない能力を発揮できているといえる。

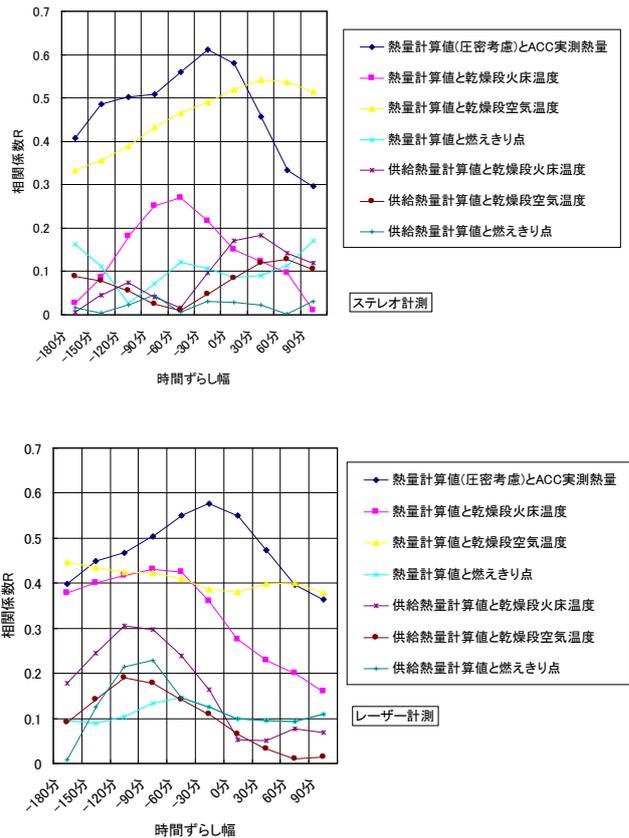


Fig.5: Correlation coefficients between calculation data and measured data in each time lag

3.3 圧密を考慮したことによる影響

供給ごみについての計算値が圧密を考慮した場合としない場合でどのように変化するかを調べた。実測値と比較的強い相関が得られた供給ごみの熱量計算値について、ステレオ計測とレーザー計測の両方のデータを用いた場合について計算した。

圧密を考慮した場合と圧密を考慮しない場合の発熱量計算値と、実測値の時系列データの一例を Fig.6 に示す。それぞれの時系列データの平均値は、圧密考慮ありで 7.92MJ/kg、考慮なしで 6.33MJ/kg であった。実測値は 10.04MJ/kg であったことから、圧密を考慮することによって計算値が実測値に近づいている様子が確認できる。

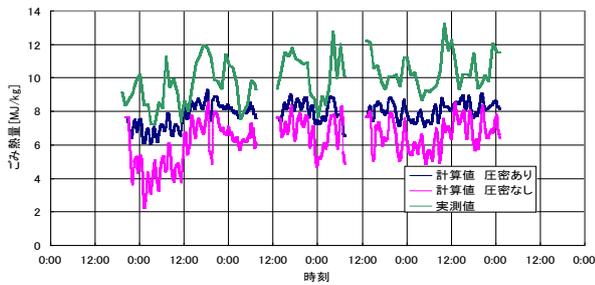


Fig.6: Calculated heating value with/without consideration for waste compaction and measured data

圧密を考慮した場合はしなかった場合に比べて投入時ごみ密度が小さく計算されていることがわかっているため、密度が小さいほど、ごみの単位重さあたりの発熱量が大きく計算されるため、発熱量がより実測値に近づいたと考えられる。また、圧密を考慮することにより相関係数が若干大きくなっている様子が見られた。これは、圧密を考慮した場合、発熱量計算値が実際の値に近くなるためであると考えられる。

ごみの発熱量計算値と実測値のずれは、圧密の考慮だけでは解決できず、この点については、ごみの見かけ密度と低位発熱量の関係式を見直す必要がある。

4. おわりに

実際に稼動しているプラントにステレオ計測システムを含む供給ごみ管理システムを設置し、燃焼室に供給されているごみの発熱量などのデータを計算した。また、供給ごみデータの計算値とプラントでモニタリングして

いる燃焼状態のデータとを比較した。供給ごみの発熱量について、計算値と実測値を比較した結果、相関係数は約 0.6 となり、両者に相関が見られた。供給ごみの発熱量の計算値と実測値に相関が見られたことから、本システムを用いて供給ごみのデータを計算し、一定熱量供給制御など、高度ごみ供給管理システムを実現することが可能であると考えられる。

圧密を考慮して供給ごみの計算を行うことで、圧密を考慮しなかった場合に比べ、供給熱量の計算値は実測値に近づいた。このことより、ごみの圧密・供給モデルにごみの圧密の考え方を導入していることが適当であったことが示された。

[参考文献]

- 1) 伊藤大輔, 高岡昌輝, 中塚大輔, 角田芳忠, 武田信生, 藤原健史, 大下和徹: 都市ごみ焼却炉のごみ供給推定モデルの開発とその適用, 廃棄物学会論文誌, Vol.16, No.3, pp.189-197 (2005)
- 2) 伊藤大輔, 高岡昌輝, 中塚大輔, 角田芳忠, 武田信生, 藤原健史, 大下和徹: ステレオ画像処理を用いたごみ焼却炉ホッパ内のごみ体積の計測, 廃棄物学会論文誌, Vol.16, No.5, pp.378-389 (2005)
- 3) 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研究—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)