

バッチ式焼却炉のごみ燃焼モデルの開発

○藤原健史*、鈴木悠司**、武田信生*、高岡昌輝*、江口正司***

*京都大学大学院工学研究科

**京都大学大学院工学研究科(現 川崎重工業㈱)

***太陽築炉工業㈱

概要: 小型のバッチ式焼却炉は PCBs やダイオキシン類等有害化学物質を高濃度で排出していると考えられその使用廃止が進んでいる。しかし小型炉は、地方地域社会において今日でも利便性が高く、有害ガスを生成抑制する燃焼技術が求められている。近年では焼却炉内の熱流体解析を用いた炉の改善が行われてきているが、これらは連続式の都市ごみ焼却炉を対象としたものがほとんどである。本研究ではごみの燃焼モデルとガスの流れのモデルを組み合わせたバッチ式焼却炉の非定常ごみ燃焼モデルを提案し、非定常での炉内状況の把握を試みた。具体的には、紙を燃焼したときの炉内の解析、再燃焼室の考察を行った。

キーワード: バッチ式焼却炉、燃焼モデル、熱流体解析、非定常モデル、燃焼実験

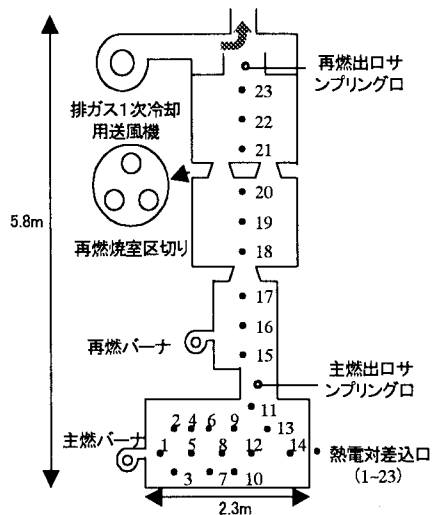
1. はじめに

小型焼却炉は PCBs やダイオキシン類等の有害化学物質を高濃度で排出することから、処理の広域化やごみの資源化が推進されている。しかし、少量のごみ処理ではやはり小型炉の利便性が高く、小型炉においても有害ガスの生成を抑制する燃焼技術が求められている。近年では焼却炉内の熱流体解析が広くおこなわれて炉の設計に役立っているが、これらは連続式都市ごみ焼却炉を対象としたものが多い。そこで、本研究ではごみの燃焼モデルとガスの流れのモデルを組み合わせたバッチ式焼却炉の非定常ごみ燃焼モデルを提案し、非定常での炉内状況の把握を試みた。具体的には、紙を燃焼したときの炉内の解析、再燃焼室の考察を行った。

2. バッチ式焼却炉の概要

本研究で用いた小型バッチ式焼却炉を図1に示す。炉本体は床面に設置された主燃焼室とその上部にある3つの再燃焼室からなる。主燃焼室は直方体であり再燃焼室の3つの部分は円筒形をしている。再燃焼室の上段部と中段部の間は正三角形の3つの頂点の位置に円形の穴があいており、排ガスが強制的に分流・攪拌されるように工夫されている。

主燃焼室と再燃焼室下段部には灯油バーナが取り付けられており、出力を0%~100%まで5%刻みで変化させることができる。ここで出力0%は最小出力を表し、バーナは弱く点火している状態である。側面に熱電対を差し込む穴(1~23)を設け、排ガスサンプリング口を主燃焼室と再燃焼室の出口に設けた。



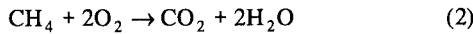
3. 解析手法

解析のフローを図2に示す。

3.1 炉内解析モデル

図1 バッチ式焼却炉の概略図

炉内解析ではガス相における流体解析、放射伝熱解析、気相燃焼解析をおこなうことによって、炉内温度とガス濃度を計算する。流体解析では質量保存式と運動方程式を連立して解き、圧力場は SIMPLE 法に準ずる。また乱流モデルとして $k-\epsilon 2$ 方程式モデルを採用する。放射伝熱解析では放射熱線法を用い、気相の燃焼反応は以下の 2 式を考慮することとする。



上式により、炉内解析にかかわる化学種は、 $\text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{CO}, \text{CH}_4$ の 5 種類とし、その反応量は炉内温度に依存した平衡計算により求める。以上の解析結果により、エネルギー方程式と上記 5 種類の化学種の保存式を連立して解き、炉内温度分布とガス濃度分布を求める。

3.2 ごみの燃焼モデル

ごみの燃焼過程は、水分の蒸発、熱分解、表面燃焼に分けられ、各過程で以下のモデルを用いる¹⁾。

- ・水分の蒸発：ごみの温度が 100℃ 一定のもとで進行
- ・熱分解：体積反応モデル
- ・表面燃焼：未反応核モデル

熱分解、表面燃焼によって生成したガスは気相に移行し、平衡計算により気相燃焼反応量を求める。またそのときの発熱によって炉内温度が上昇する。

ごみの燃焼解析ではごみを鉛直方向の 1 次元モデルとして直接法により解き、炉内解析では繰り返しの計算で解く。プログラム言語は MATLAB を使用し、計算時間はおよそ半日である。

4. 解析結果

4.1 定常状態での解析

モデルの妥当性を検証するため、炉内に試料を置かず、主燃バーナ出力 30%、再燃バーナ出力 80% におけるバーナの空焚き状態での定常解析の結果を測定結果とともに示す。図 3 に温度分布の比較を、図 4 に燃焼室及び再燃焼室の流速分布を、図 5 に燃焼室及び再燃焼室の CO 濃度の解析結果を示す。流速分布については、燃焼室の底に近い部分を流れるガスが、奥の壁にあたって上方へ回り込んでいく様子がわかる。また、再燃焼室では、燃焼室仕切りの場所で流れが集約されている様子がわかる。温度分布について、主燃焼室のバーナに近い位置では測定値の方が高くなっているが、バーナから遠い位置では計算値の方が高くなっている。再燃焼室に関しては比較的良好に合致していると言える。また図 5 より炉内中の CO は比較的高濃度であるが、主燃焼室出口においては測定値が 7.37ppm と計算値と近い値を示していた。この結果、気相での燃焼反応の計算は妥当におこなわれていると考えられる。

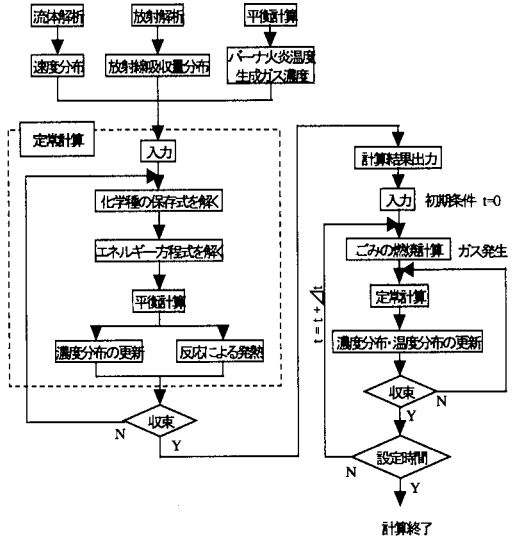


図 2 解析フロー

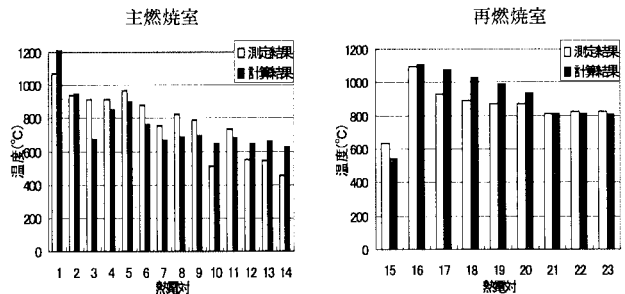


図 3 温度分布の比較

4.2 新聞紙燃焼時の解析結果

主燃バーナ出力30%における新聞紙の燃焼状態を解析した。3成分(水分、揮発分、固定炭素)、生成ガス量、温度の経時変化を図6に示す。水分の蒸発が終了するまでに500秒近くかかり、全体の反応が終了するまでに900秒を要する結果となった。炉内ガスからの放射エネルギーが大きいため、表面温度が一気に上昇し、反応開始時点から熱分解が進みガスが多く発生している。その後吸熱である反応熱によって温度上昇が妨げられ、反応は緩やかに進行する。そして反応終了間際になって再び急激に熱分解が起こっている。炉内解析について、図6における60、600秒の炉内温度、CO濃度、CH₄濃度分布を図7に示す。結果を見ると、CH₄濃度分布は反応状態により変化が生じているが、温度分布、CO濃度分布は全体を通してそれほど変化していない。よって、本計算では気相反応が完全に終了する前に未燃ガスであるCH₄が炉出口に到達したものと考えられる。

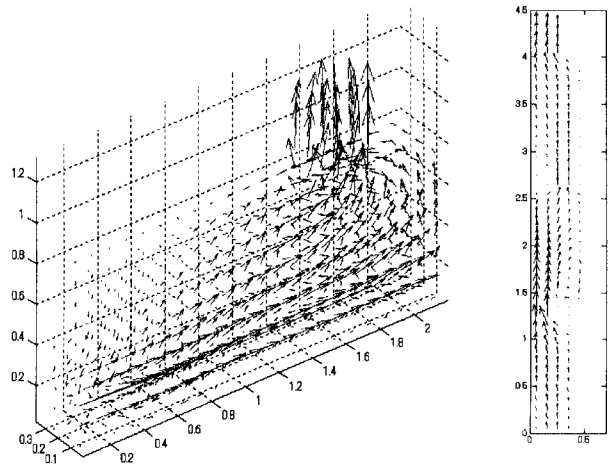


図4 流速分布計算

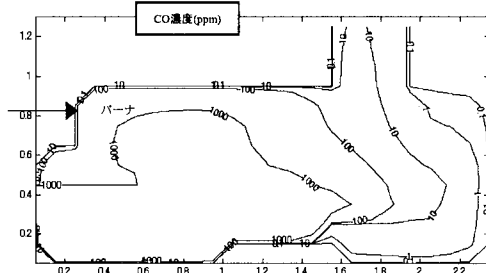
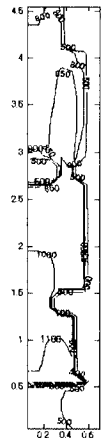


図5 CO濃度分布計算結果



4.3 再燃焼室の考察

再燃焼室の現状の仕切り段がある場合とない場合の計算結果について、流速分布(仕切り段がある場合は図4)、温度分布、CO濃度分布、CH₄濃度分布をそれぞれ図8、図9に示す。COの燃焼が終了せず出口で10ppm以上検出されている。また、炉内温度も滞留時間が短いためかなり低い結果となっている。完全燃焼を促進させるためには流れに対して障害を設置し、燃焼ガスと空気とを十分混合させ燃焼ガスを均一化することが有効である。

次に流速分布の計算結果から再燃焼室における滞留時間を試算した。各コントロールボリュームにおける流速結果から1つのコントロールボリュームを通過するのに必要な時間を計算し、流線をなぞりながら出口までの時間を足し合わせた。その結果、再燃焼室の入口から出口まで、最短で2.7秒、平均して3秒以上であった。ごみ処理に係るごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドラインでは、ごみ焼却施設に対して燃焼温度850℃以上、滞留時間2秒以上が理想とされており、試用炉は条件を満足している。

5. おわりに

以上、バッチ式焼却炉を対象としたごみ燃焼と気相反応を統合した非定常モデルを提案した。本モデルの特徴を次にあげる。

- 1) 炉内の燃焼ガスを時間単位で確認でき、バッチ式焼却炉に有効なモデルである。
- 2) 流体解析や放射解析、平衡計算など炉内の多様な熱移動をモデルに組み込んでいる。
- 3) 新聞紙とPEの燃焼性ガスの成分を特定し、ごみの燃焼を解析できる。

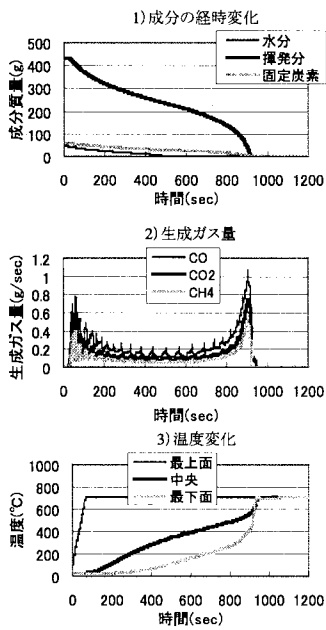


図 6 燃焼解析結果 (新聞紙)

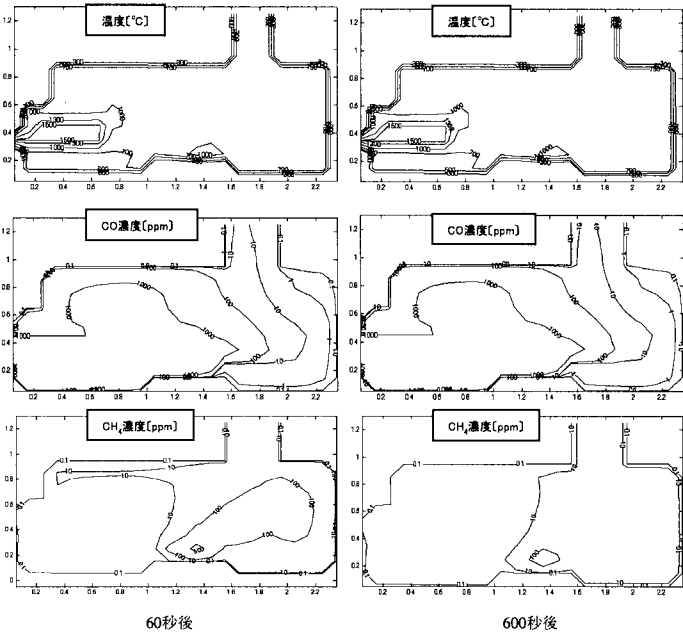


図 7 炉内解析結果 (新聞紙)

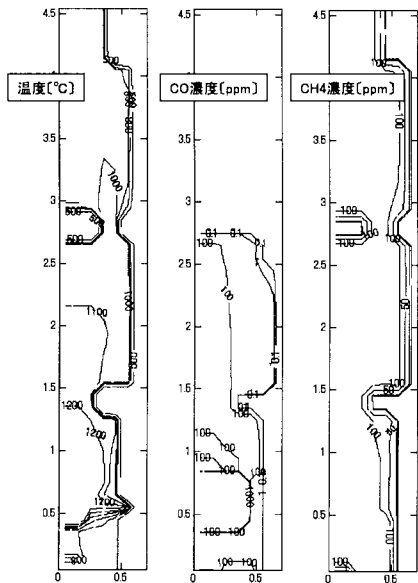


図 8 再燃焼室計算結果

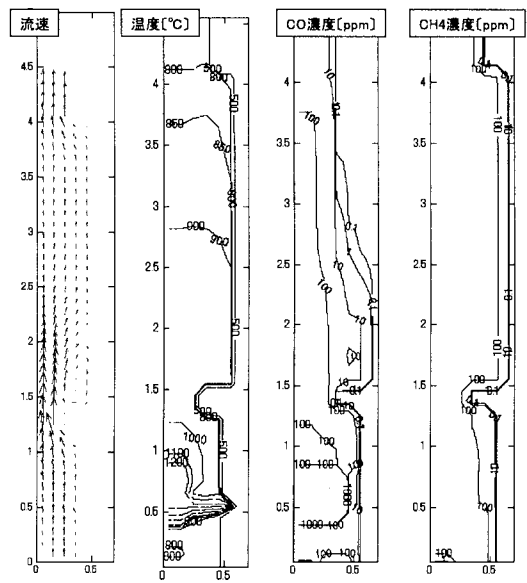


図 9 仕切り段がない場合の再燃焼室計算結果

参考文献

- 1) 原田加奈子: ストーカ式焼却炉における固気二相の反応を含む燃焼モデルの開発、京都大学修士論文、2000