

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  
Development of Combustion Model Including Solid and Gas Phase Reactions in Stoker-Type Incinerator

原田加奈子(Kanako Harada)

論文要旨：ごみの焼却処理は、ごみの無害化・減容化・安定化を達成するうえで最も有効な方法である。しかし排ガス中のダイオキシン類等有害物質の発生が問題となっており、焼却炉の厳密な燃焼管理が求められている。このため焼却炉内の熱移動解析が広くおこなわれているが、従来の解析ではごみの燃焼現象は簡略化される傾向にあった。

本論文では、ごみ焼却炉内の固形ごみの燃焼と燃焼室でのガスの燃焼を統合した、ストーカ炉全体の燃焼モデルを提案する。固形ごみの燃焼は分解燃焼と表面燃焼の2過程に分けられ、それぞれ体積モデルと未反応核モデルで表現される。モデルに必要なパラメータは都市ごみの各細組成ごとに TG 測定から求めた。そして、ごみの燃焼モデルと気相での燃焼反応、放射、流体解析とを結び付け、炉内の解析をおこなった。

キーワード：焼却処理、燃焼モデル、都市固形廃棄物、流体解析、熱重量分析

Abstract: Waste incineration is the most effective way to make solid waste harmless, reductive in volume and inert. Besides, harmful gas such as Dioxins from an incinerator is a serious problem and it is required to control waste combustion in the incinerator more precisely. Therefore, numerical analysis of heat transfer in an incinerator is studied on many cases, while waste combustion has been simplified in spite of its importance.

In this study, an integrated combustion model for stoker-type incinerator including waste and gas combustion is proposed. Decomposing combustion and fixed carbon combustion are expressed by the volume model and the shrinking-core model, respectively. Parameters of combustion model are derived from thermogravimetry (TG) experiment on each component of waste. Combustion reaction in two phases, radiative heat transfer and fluid analysis are taken into account for the analysis of incinerator.

Key Words: Waste Incineration, Combustion Model, Municipal Solid Waste, Fluid Analysis, Thermogravimetry

## 1 解析の構成

解析の構成を図 1 に示す。まず流体解析とごみの燃焼解析をおこない、得られた結果をもとに炉内での熱移動を解析する。こうして計算した炉内温度分布をごみの燃焼解析にフィードバックし、予測の高度化を試みる。なお、対象炉は日処理量 240t の全連続式ストーカ炉で、ストーカ長さ約 14m、炉高さ約 25m である。

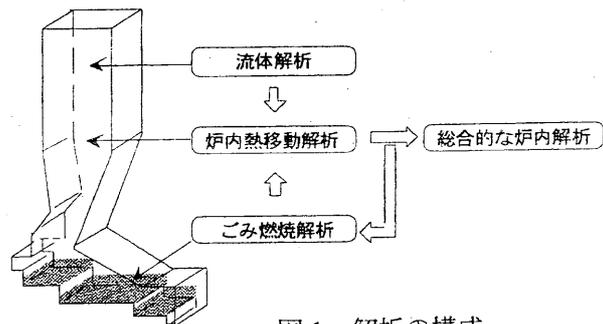


図 1 解析の構成

## 2 解析手法

### 2-1 流体解析

質量保存式、運動方程式を連立して解く。圧力場の扱いは、圧力補正式を解く SIMPLE 法に準じる。また、乱流モデルは  $k-\epsilon$  2 方程式モデルを採用する。

### 2-2 炉内熱移動解析

伝導、移流、放射、燃焼による熱移動を含むエネルギー方程式を解く。伝導は Fourier の法則にしたがうとし、移流によるエンタルピーの輸送は流体解析によって得た流速をもとに計算する。放射には放射熱線追跡法を、燃焼には Magnussen の渦消散モデルを用いる。

### 2-3 ごみ燃焼

ごみの燃焼過程は、水分の蒸発、分解燃焼、表面燃焼に分かれる。解析では、以下の仮定およびモデルを用いた。

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

体積反応モデルでは、反応速度が次式で表現される。

$$\frac{dx}{dt} = A \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)(1-x)^n$$

ここで  $x$ 、 $t$ 、 $R$ 、 $T$  はそれぞれ反応率、時間、気体定数、資料の絶対温度である。反応次数  $n$ 、活性化エネルギー  $\Delta E$ 、頻度因子  $A$  が未知であるため、TG 測定により求める。都市ごみの代表的な細組成 18 種について、解析をおこなった。結果を表1に示す。

表1 反応速度パラメータ

細組成	反応次数 (-)	頻度因子 (1/sec)	活性化エネルギー (kJ/mol)
新聞	1	2.81E+08	127
雑誌	1	1.26E+12	117
書籍	1	1.31E+10	146
段ボール	1	1.58E+08	124
衛生用品	1	2.09E+12	173
包装容器	1	2.47E+08	123
OA用紙	1	3.10E+12	173
天然繊維	1	7.07E+08	136
化学繊維	1	7.31E+10	180
野菜	1	1.62E+00	31.0
骨	1	1.20E+04	77.4
米	1	4.69E+07	115
木材	1	3.25E+06	105
PS	1	5.29E+15	227
PP	1	4.10E+19	303
PE	1	1.74E+20	319
PVC	1	4.84E+20	243
PET	2	1.37E+16	256
PET	1	4.72E+19	297

### 4 解析結果とまとめ

以上のモデルを用いて、炉内の温度分布とごみの燃焼状態を解析した。解析条件としては、平均的なごみ質を投入した場合（水分 40%：条件 1）と、水分を多く含むごみ（水分 60%：条件 2）を投入した場合を想定した。ストーカ上でのごみの燃焼状態を示したのが図 3、図 4 である。条件 1 では炉投入後 10m の点で蒸発が完了し、揮発分の分解が進行する。水分を多く含む条件 2 の場合、水分の蒸発に時間を要するため揮発分が分解せず、炉内に流入する燃焼性ガスの量は少なくなる。この結果炉内での燃焼反応が促進されず、炉温が上がらないと考えられる。これは、ごみ層の上方に位置するガスの温度を解析した結果が図 5 から判断できる。

以上、一般的な都市ごみ焼却炉について燃焼モデルを提案し、炉内の解析をおこなった。解析結果は現実に即しており、今回提案した燃焼モデルの有効性を示唆していると考えられる。そしてこのモデルではさらに、

- ・ストーカ上のごみの燃焼状態を把握することができる
  - ・種々の組成のごみに適用可能である
- ことが理解できる。

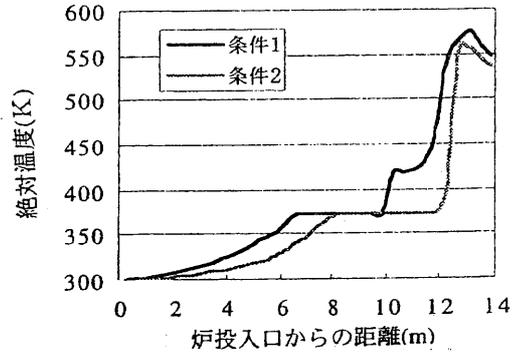


図3 ごみの温度

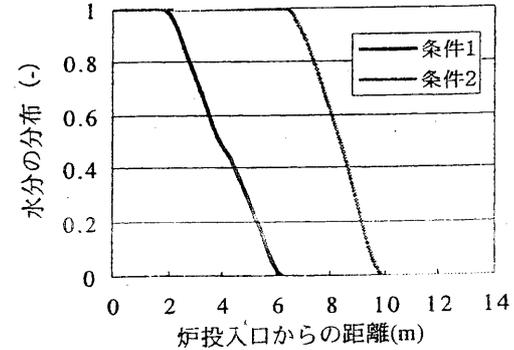


図4 水分の分布

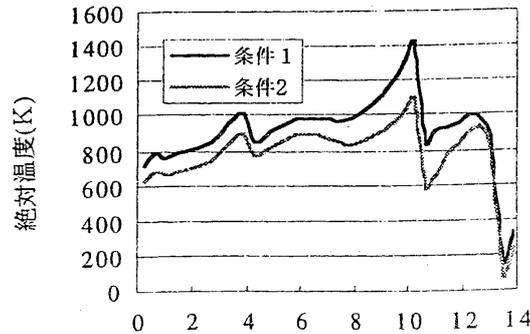


図5 炉内ガスの温度