

運転する。変更した条件は表5に示したとおりである。なお、その他の燃焼ダンパの条件は同一である。

(f) 二次空気量変更運転（焼却炉2）

二次空気吹き込み量を段階的に変化させた運転を実施する。本試験で変更したのは図2の二次空気吹き込み口Bのダンパ開度であり、表6に示したように段階的に変更した。

2. データ解析方法

2.1 データ前処理

データの前処理方法について以下に示す。表1に示したように、TCPデータは約12秒に1回出力される。そこで、以下の手順に従い1分間隔のデータに変換する。

(a) 計測時間を中心とした5サンプル（約1分）の移動平均データを作成する。

(b) 上記移動平均データを各時間のTCPデータとし、1分毎のデータを作成する。

（1分おきのデータがないため、その前後のデータを補間する）また、TCP以外のデータはチャート紙の画像データであるため、以下の方法で数値データに変換する。

(a) チャート紙の画像データをパソコンで取り込む。

(b) 画像データの折れ線の上をなぞり、新たに折れ線を描く。

(c) 折れ線を座標データに変換する。

(d) 座標データを計測値の時系列データに変換する。

(e) 1分毎のデータに加工する。

2.2 操作条件変更によるTCPとCOの挙動解析

TCP濃度のトレンドグラフを作成し、表2に示した運転条件によるTCPの濃度変化について解析する。また、運転条件の違いによるTCP濃度の変化の様子を調べ、各条件におけるTCPの挙動とCOの挙動について比較する。

表4 反応塔稼動条件

条件	反応塔稼動状況
条件1	稼動
条件2	停止

表5 後燃焼ダンパ条件

条件	後燃ダンパ開度
条件1	30%
条件2	100%
条件3	10%

表6 二次燃焼ダンパ条件

条件	二次燃焼ダンパ開度
条件1	5%
条件2	20%
条件3	40%
条件4	60%
条件5	80%
条件6	100%

C. 研究結果及び考察

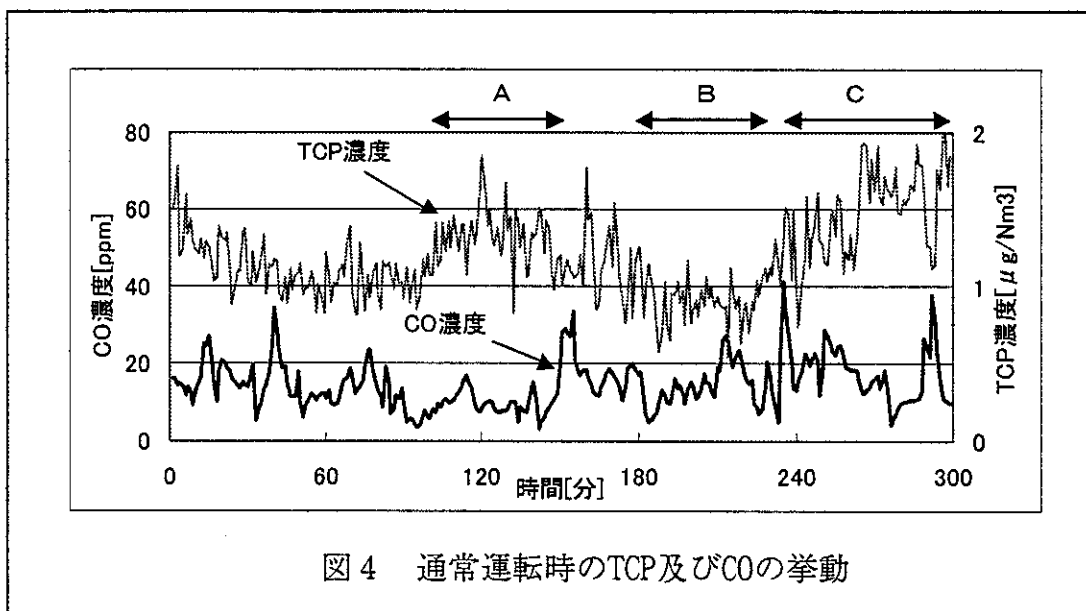
1. 通常運転データの解析

図4に通常運転時のTCP濃度及びCO濃度のトレンドグラフの一例を示す。この例は、比較的CO濃度が低い状態である。CO濃度は時々20ppmを超える小さなピークが見られるが、平均値は15ppm以下である。TCP濃度とCO濃度を比較すると、図中の時間帯Aにおいては、CO濃度は低めであるがTCP濃度は高くなっている。また図中の時間帯Bでは時間帯Aに比べCO濃度は高くなっているが、TCP濃度は低くなっている。また、時間帯CではTCP濃度が時間帯Bに比べ2倍近く大きくなっているが、CO濃度には大きな変化はない。すなわち、CO濃度が低い状態では、TCP濃度とCO濃度ではその挙動に差異が見られることが分かった。

2. 二次空気吹き込み方法変更試験データの解析

図5に二次空気の吹き込み方法を変更した時のTCP濃度、CO濃度、O₂濃度及び炉内温度のトレンドグラフを示す。この条件ではTCP濃度及びCO濃度がピーク的に発生する挙動が確認された。そのときのO₂濃度を見ると殆どのケースで低い値を示しており、異常燃焼によるO₂不足によるものと思われる。ただし、時間120分付近ではO₂濃度は高いがTCP濃度及びCO濃度が高くなっており、これは吹き抜け及びそれに伴う炉内温度の低下によるものではないかと推察される。いずれの場合においても、極端に燃焼状態が悪化した場合には、TCP濃度とCO濃度は同様の特性を示すことが分かった。

次に、二次空気吹き込み方法の違いからこれらの現象を解釈する。表2の条件3では、吹き込み口Cのみから二次空気を供給するが、吹き込み口Cからの空気投入量は吹き込み口A、Bに比べて少ない。このため全体として冷却空気不足となり炉内温度が上昇し、異常燃焼によるO₂不足が起こりTCP濃度およびCO濃度が上昇したと思われる。また、条件2で



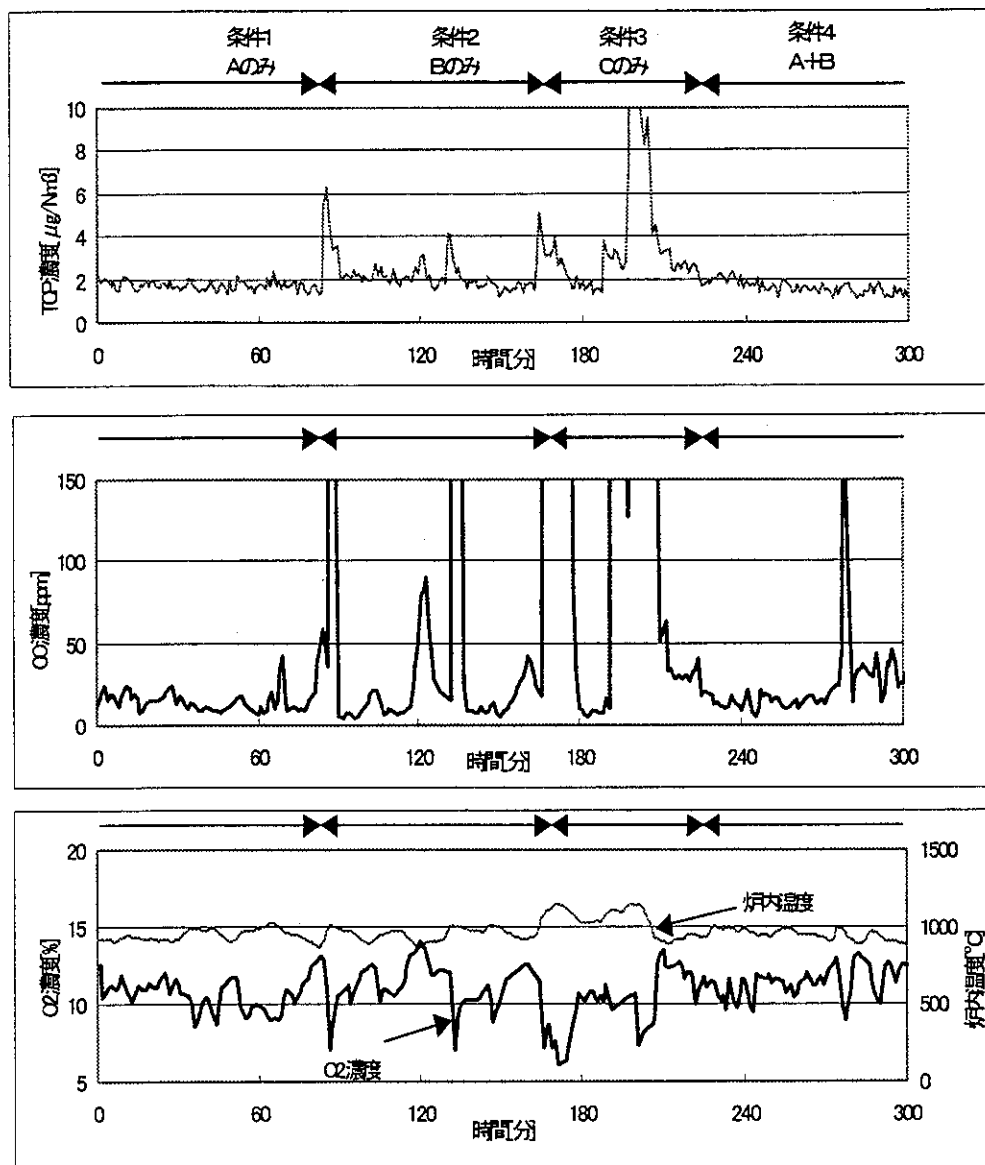


図5 二次空気吹込み方法変更時のTCP濃度等の挙動

は攪拌効果が大いと言われている旋回流れを与える二次空気を停止したため、TCP濃度およびCO濃度が上昇したと思われる。

3. EPガス温度設定値変更試験データの解析

図6に、EP入口ガス温度の設定値を変更した場合のTCP濃度、及びCO濃度について示す。なお、前述したようにEP入口ガス温度の設定値は炉出口のガス冷却室の水噴霧量で制御している。図6より、TCP濃度及びCO濃度のいずれもピーク的に発生している挙動が確認される。両者のピークを比較すると、これまでの傾向と同様に、CO濃度がピーク的に発生している場合には、TCP濃度も高くなっていることがわかる。ただし、

TCP 濃度のみに関次の2つの挙動が確認された。

(1) 設定値を高くしたタイミングでTCPのピーク的发生がみられる。

(2) 設定温度が高いほどTCP濃度は高くなる。

上記(1)によるTCPの増加量は非常に大きい。特に設定温度を210℃とした場合の高いTCP濃度は、排ガス温度が上昇することで、EPに付着している飛灰に吸着していたTCPが放出されたことが原因と考えられる。また、上記(2)が生じた原因としては、次のことなどが考えられる。

(i)温度上昇によりTCPが飛灰に吸着されにくくなり、排ガス中のTCP濃度が増加した。

(ii)ガス冷却室以降の排ガス温度が上昇したため、ダイオキシンが塩素化されやすくなる

のと同様にフェノール類も塩素化されやすくなり、結果的にTCP濃度が増加した。

これらの原因を明確にするには、詳細な排ガス分析等さらに研究を進める必要がある。

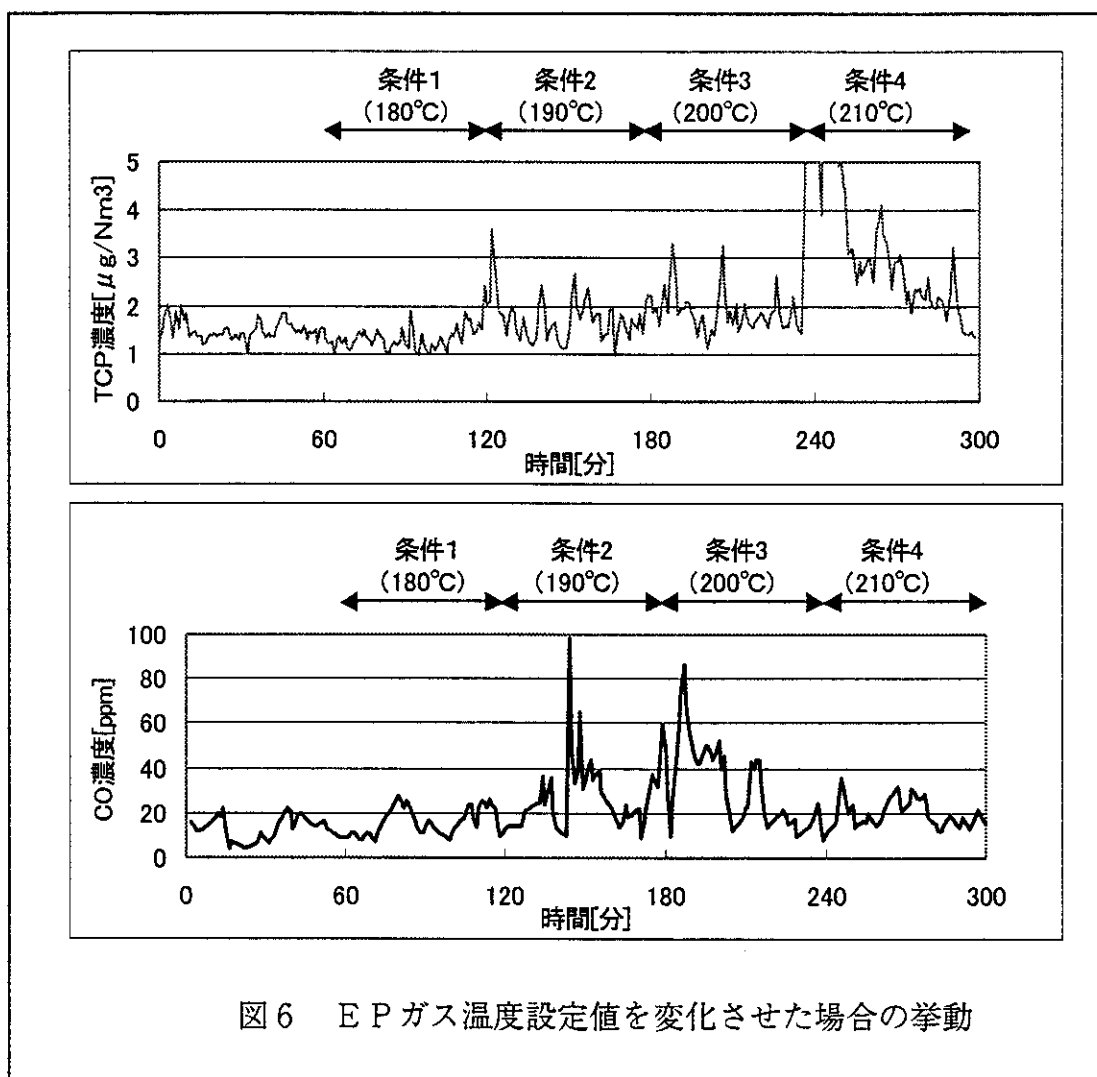


図6 EPガス温度設定値を変化させた場合の挙動

4. 反応塔停止試験データの解析

反応塔を停止することによる影響として以下の2つが考えられる。

- (1) 消石灰の供給が停止することによるHCl濃度の上昇
- (2) 消石灰と一緒に吹き込まれる水の供給が停止することによる排ガス温度上昇

図7にTCP濃度、EPガス温度及びHCl濃度のトレンドグラフを示す。ただし、図7で示したHCl濃度は煙突入口のHCl濃度である。煙突には2つの焼却炉の排ガスが

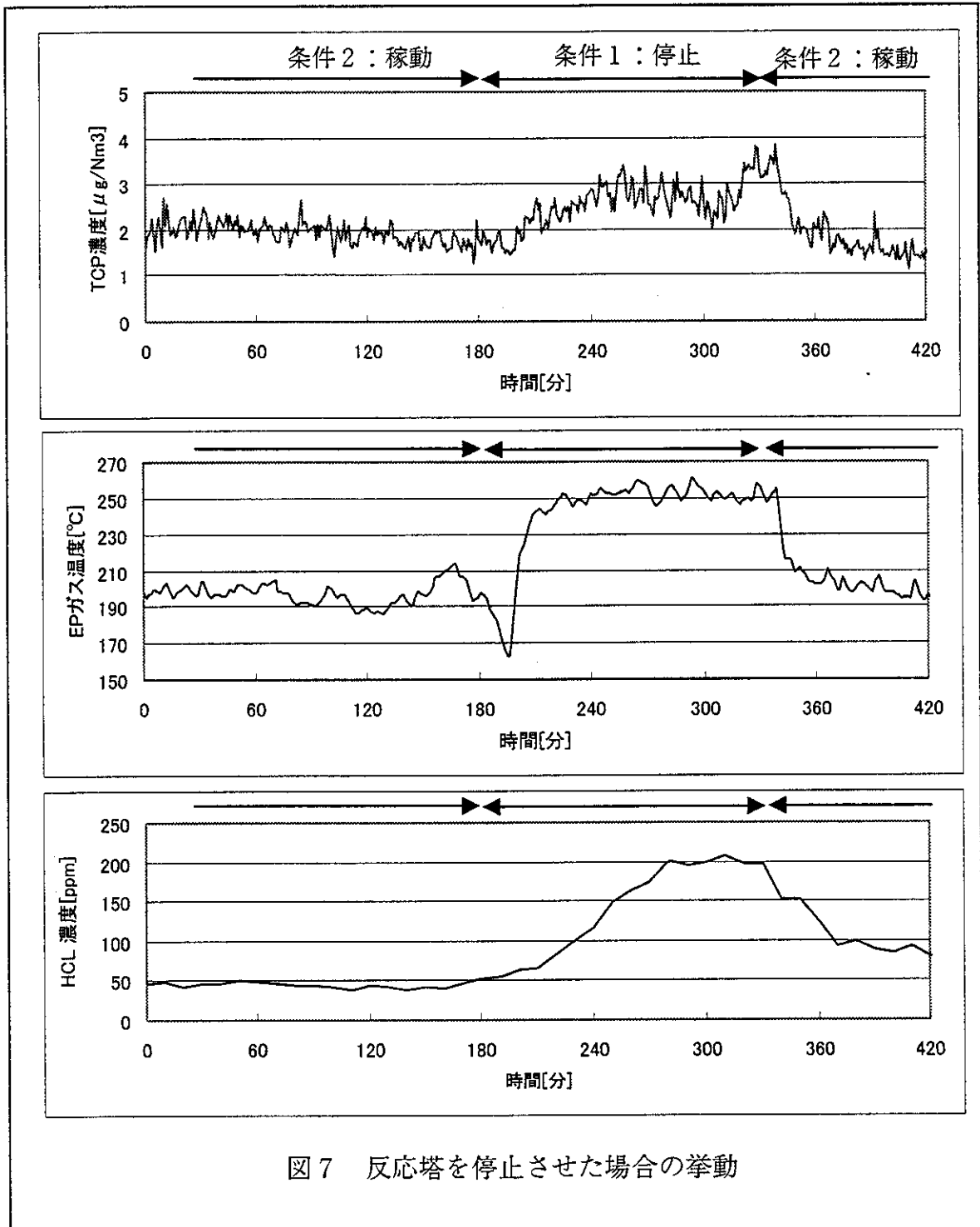


図7 反応塔を停止させた場合の挙動

合流しているため、対象とした焼却炉のHCl濃度を正確に表しているわけではない。また、データは10分間の平均値である。

反応塔を停止した時間帯は図示した条件1の時間帯である。反応塔を停止することで、TCP濃度は増加している。その時のEP入口ガス温度を見ると、反応塔を停止した時間から、一旦下降したのち、大きく上昇していることがわかる。ただし、前節でEP入口ガス温度の設定値を変化させたときの条件(180℃~210℃)に比べてさらに高い排ガス温度になっているにもかかわらず、TCP濃度は5割程度の増加にとどまっている。また、EP温度設定値を変化させた場合のようなピーク的な発生は見られなかった。これは、反応塔を停止した場合とEP入口ガス温度の設定値を変化させた場合とでは排ガス温度の上昇パターンに違いがあるためである。反応塔を停止した場合は、反応塔より下流の排ガス温度が上昇するのみである。しかし、前節でEPガス入り口温度をコントロールした操作端は反応塔よりも上流のガス冷却室の水噴霧量であり、ガス冷却室から反応塔までの排ガス温度も上昇する。したがって、EP入口の排ガス温度が同じように上昇した場合でも、このような排ガス温度の上昇パターンの違いにより、TCP濃度に及ぼす影響は異なると考えられる。

次に、HCl濃度の挙動をみると、反応塔を停止した時間からなだらかに上昇しており、消石灰によるHCl除去効果が徐々に低下していると思われる。反応塔を停止してすぐにHCl濃度が上昇しなかったのは、反応塔内に残留している消石灰のためと思われる。

TCPとHClに同様の挙動が確認された理由は、TCPはHClと同様に酸であるためと思われる。すなわち、反応塔が稼働している場合に消石灰によりTCPの一部は中和されているが、消石灰の供給が停止したためTCP濃度が高くなった可能性がある。

以上のように、反応塔を停止したことでTCP濃度が上昇した理由は、排ガス温度が上昇したためか、消石灰停止によりTCPの中和効果がなくなったための2つが考えられる。ただし、両者の効果を定量的に把握するにはさらなる検討が必要である。

5. 後燃焼ダンパ変更試験データの解析

図8に後燃焼ダンパ開度を変更した場合のTCP濃度及びCO濃度のトレンドグラフを示す。条件1(ダンパ開度30%)の時にはTCP濃度の変化はほとんど見られないが、CO濃度は40ppm程度のピークを示した。また、条件2(ダンパ開度100%)では両者の濃度は共に上昇し、条件3(ダンパ開度10%)にすることで両者の濃度は低くなった。本試験においては、後燃焼ダンパの開度を大きく変更しており、ダンパ開度による変化が認められた。各条件によるTCP濃度及びCO濃度の平均値をとり、後燃焼ダンパ開度とTCP及びCOの関係を整理した。ただし、条件変更直後は過渡的な状態であると考え、条件変更から10分後以降のデータを利用して平均値を計算した。計算結果を図9に示す。CO濃度は後燃焼ダンパ開度が30%で最小であるが、ダンパ開度が10%と30%と場合のCO濃度の違いに有意差はない。また、TCP濃度は後燃焼ダンパ開度が10%で最

小となった。すなわち、本試験ではTCP濃度、CO濃度とも後燃ダンパ開度が小さいほど低い値を示すことが分かった。また、後燃焼ダンパ開度による両者の変化の割合を比較すると、CO濃度の方が大きい。すなわち、TCPに比べてCOは後燃焼ダンパの影響を大きく受けると言える。ただし、後燃焼ダンパ開度との関係はごみ焼却炉内のごみの状態により変化すると思われる。いくつかのごみの状態において本試験と同様の試験を実施し、ごみの状態を考慮してデータを解析することが必要である。

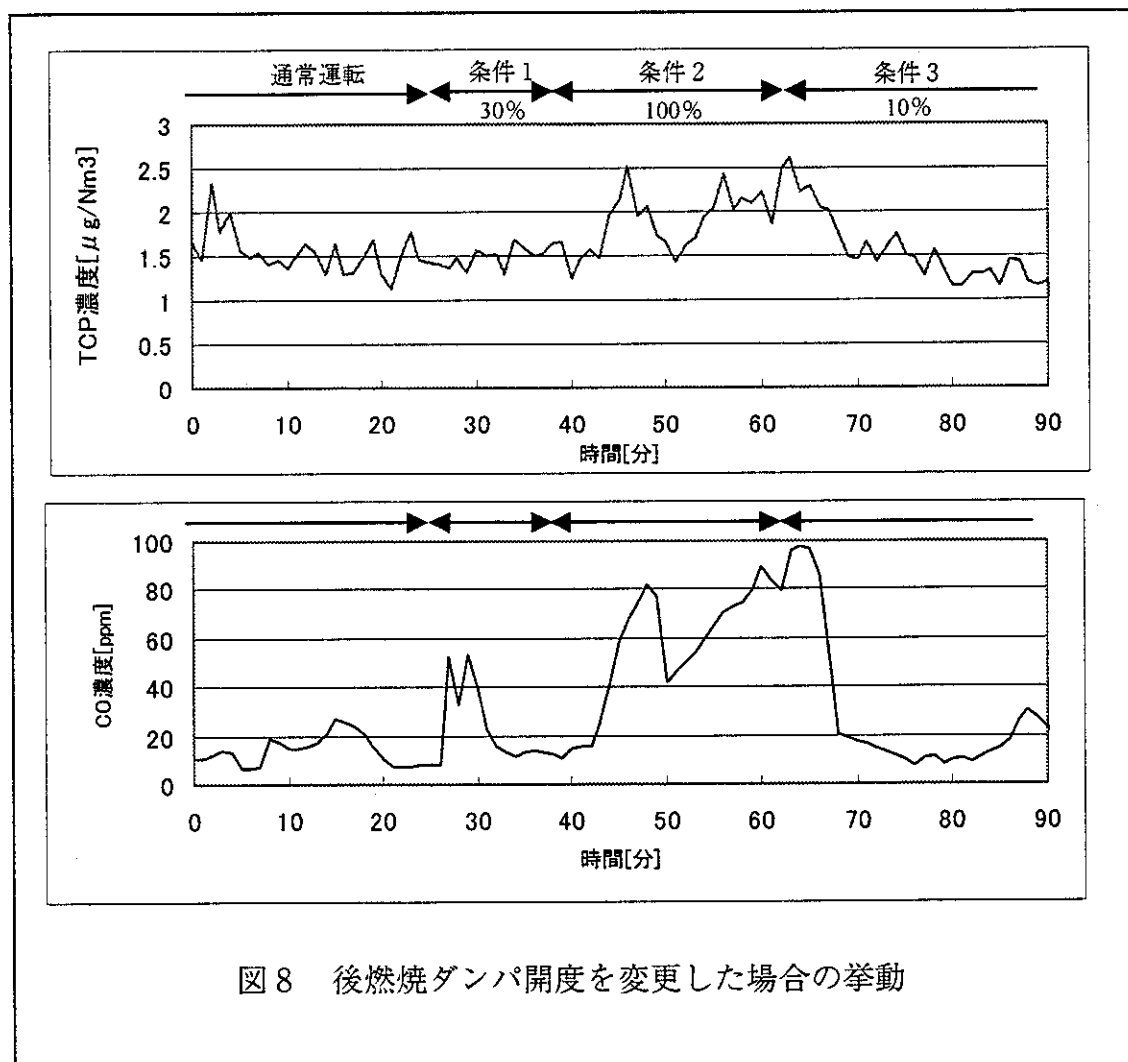


図8 後燃焼ダンパ開度を変更した場合の挙動

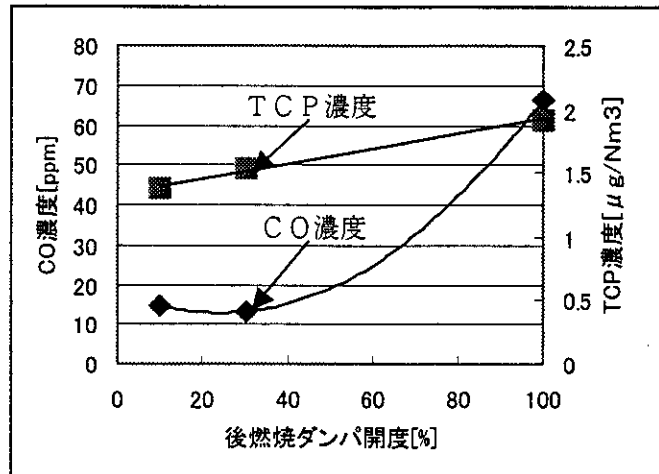


図9 後燃焼ダンパ開度とTCP濃度及びCO濃度の関係

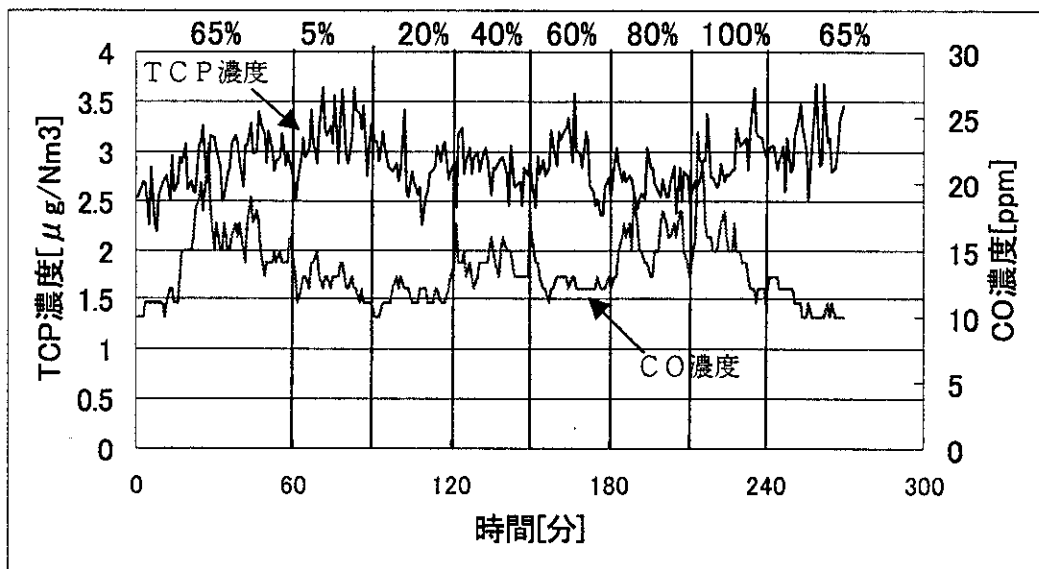


図10 二次燃焼ダンパ開度を変更した場合の挙動

6. 二次燃焼ダンパ変更試験データの解析

二次燃焼ダンパを段階的に変更した時のTCP濃度及びCO濃度を図10に示す。二次燃焼ダンパの開度を30分おきに段階的に変化させたところ、TCP濃度、CO濃度共に若干変動しているが、大きな変化ではなかった。焼却炉2は自動制御装置が導入されており、一次空気ダンパ、ストーカ速度などの操作量は制御装置により決定される。このケー

スでは制御が有効に作用し、燃焼の変動が少なかった可能性がある。

ただし、TCP濃度とCO濃度の変動の様子を比較してみると、その傾向が異なっており、これまでに示してきたCO濃度が低い場合の挙動と一致している。

D. 結論

- 1) 一般に安定燃焼と言われているCO濃度が低い状態では、CO濃度とTCP濃度の挙動に差異が認められた。
- 2) O₂濃度が低い状況でCO濃度が高くなった場合、及びO₂濃度が高い状況でCO濃度が高くなった場合のいずれの場合においてもTCP濃度は高くなった。
- 3) EP入口のガス温度の設定値を変更して、TCP濃度の変化を調べたところ、EP入口ガスの温度が高いほど、TCP濃度が高くなることがわかった。また、設定値が変わったタイミングでTCP濃度のピークが確認された。
- 4) 操作条件として後燃焼ダンパ開度及び二次空気吹き込み量を変更した場合、操作条件に対するTCP濃度及びCO濃度の挙動には差異が見られた。
- 5) これらのTCP濃度の挙動はごみ質や焼却炉の構造等によっても異なると考えられる。したがって、今後はさらに十分なデータを解析し、操作条件とTCP濃度の関係を焼却炉毎に明確にしていくことが必要と考える。

E. 研究発表

本研究に関連する研究発表はありません。

F. 知的所有権の取得状況

本研究に関連する出願はありません。

V. 分担研究報告書 3

厚生科学研究費補助金（生活安全総合 研究事業）

分担研究報告書

主任研究者 小豆畑 茂 （株）日立製作所 電力・電機開発研究所 企画室長

廃棄物処理における燃焼制御によるダイオキシン類の抑制技術に関する研究

（H11-生活-044）

研究要旨

ダイオキシン類抑制制御技術の要素技術として以下の項目を開発した。

- (a) ごみ焼却炉内のごみの燃焼状態を模擬した物理モデルベースの予測モデル
- (b) 各種反応の反応定数を調整パラメータとした予測モデル調整技術
- (c) 最急降下法等の最適化アルゴリズムを用いた操作量決定アルゴリズム

開発した予測モデルにより焼却炉内のガス温度や酸素濃度分布等を計算し、排ガス中のクロロフェノールの濃度を推定した。予測モデル調整技術によりモデルパラメータを調整した結果、操作条件が一定の状態では、モデルで計算したクロロフェノール濃度を実測したクロロフェノール濃度に一致させることができた。

分担研究者

堀 嘉成 （株）日立製作所 電力・電機開発研究所
佐藤 美雄 （株）日立製作所 電力・電機開発研究所
松本 弘 （株）日立製作所 電力・電機開発研究所
野村 政英 （株）日立製作所 電力・電機開発研究所
斎藤 忠良 （株）日立製作所 電力・電機開発研究所

A. 研究目的

本研究の総括的な目的は、ダイオキシン前駆物質をオンラインリアルタイムで連続計測し、それに基づいた燃焼制御によりダイオキシン類の発生をさらに低いレベルに抑制することにある。本分担研究では、焼却炉の燃焼制御方式として提案しているモデルベース制御技術を開発するため、その基本技術となる以下の技術を開発する。

- (a) ごみ焼却炉内のごみの燃焼状態を模擬した物理モデルベースの予測モデル
- (b) 各種反応の反応定数を調整パラメータとした予測モデル調整技術
- (c) 最急降下法等の最適化アルゴリズムを用いた操作量決定アルゴリズム

また、予測モデルにいくつかの入力条件を与えてシミュレーションし、その挙動の妥当性を評価する。

B. 開発技術

以下に、本研究で開発した技術について説明する。ただし、前述した(b)予測モデル調整技術及び(c)操作量決定アルゴリズムでは、同様のアルゴリズムを使用できるため、1つのプログラムとして開発する。

1. 前駆物質発生量予測モデル

1.1 対象とした焼却炉の概要

図1に対象としたごみ焼却場の概要を示す。対象としたごみ焼却炉はストーカ式ごみ焼却炉である。ごみホッパから供給されたごみは焼却炉内のストーカ上に運ばれる。ストーカは蠕動運度によりごみを移送し、その移送速度は蠕動運動の速度（以下ストーカ速度と称す）により調節される。ストーカは乾燥ストーカ、燃焼ストーカ、後燃焼ストーカに分かれている。乾燥ストーカでは主にごみ中の水分を蒸発させ、燃焼ストーカでは乾燥したごみを燃焼させる。後燃焼ストーカでは、燃焼ストーカでは燃やしきれなかったごみを完全に燃焼させる。各ストーカには下部から空気が供給され、乾燥および燃焼に使われる。供給される空気量は各ストーカ下部のダンパにより調節される。供給する燃焼空気は押し込み送風機（FDF）により供給されるが、その途中の熱交換器で昇温され、通常200度で供給される。また、炉内にはFDFから供給される空気とは別に二次空気用送風機からも空気が供給される。空気が供給される位置は図示したように二次燃焼領域の下部であり、空気の温度は外気温度と同じである。

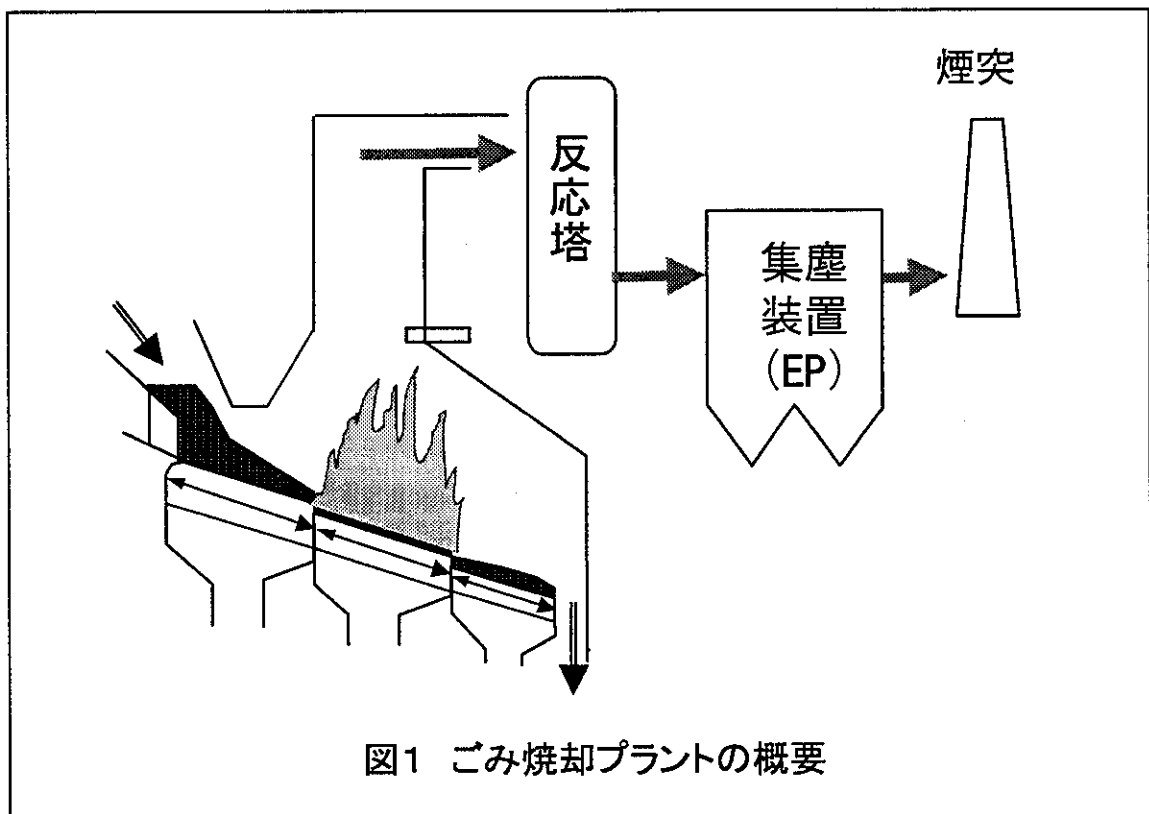


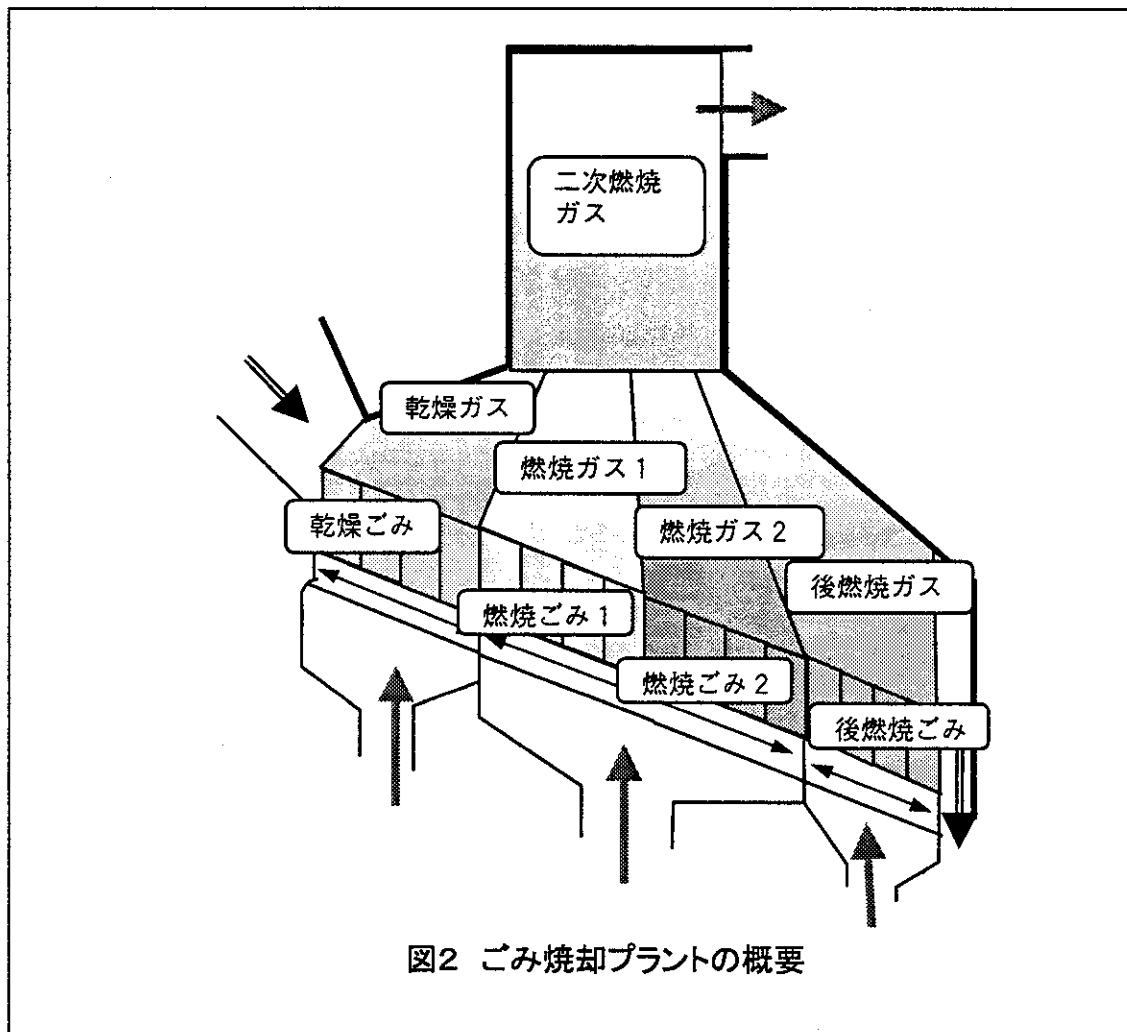
図1 ごみ焼却プラントの概要

1.2 予測モデルの概要

予測モデルの主要なモデルは焼却炉内部のごみ及びガスを模擬したごみモデル及びガスモデルである。ごみモデルとガスモデルの概要を図2に示す。ごみモデルはストーカ上のごみをモデル化したものであり、各ストーカに対応して乾燥ごみモデル、燃焼ごみモデル、後燃焼ごみモデルで構成されている。乾燥ごみモデル及び後燃焼ごみモデルは、ごみの移送方向に対して4分割する。ただし、燃焼ごみモデルは主要なモデルであるため、詳細に検討するためごみの移送方向に8分割した。ここでは、便宜的に乾燥段に近い4つのモデルを燃焼ごみ1モデル、後燃焼段に近い4つのモデルを燃焼ごみ2モデルと称する。従って、ごみモデルはごみ移送方向に16分割されている。

各ごみモデルには、その上流から流入するごみと一次空気が入力される。ごみモデル内部では水分の蒸発、揮発分の揮発、チャーの燃焼がおこる。ガス成分はガスモデルへの入力となり、固相成分はその後流のごみモデルの入力となる。

ガスモデルは図2に示すように各ごみモデルから発生するガスが混合する一次燃焼部のモデルと、それらのガスモデルのガスが混合する二次燃焼部のモデルからなる。一次燃焼



部のガスモデルは、乾燥ガスモデル、燃焼ガス1モデル、燃焼ガス2モデル、後燃焼ガスモデルからなる。また、二次燃焼領域のガスモデルは二次燃焼ガスモデル1つである。各ガスモデルはガスの流れ方向に対して10分割してあり、ガスの流れ方向の濃度分布及び温度分布を計算している。

ごみモデル及びガスモデルの中では、物質収支式及び熱収支式に従い各ごみ成分の反応量、ごみ温度、ガス温度等の状態量が計算される。熱収支式の中に含まれる輻射熱については、次の3つを考慮する。

- (a)各ガスモデル <-> 各ごみモデル
- (b)各ガスモデル <-> 炉壁モデル
- (c)各ごみモデル <-> 炉壁モデル

ただし、(a)のガスモデルとごみモデルの輻射の中に二次燃焼ガスモデルは入っていない。これらの輻射熱の計算はごみモデル、ガスモデルの中で計算するのではなく、別途作成した輻射モデルの中で計算している。

ごみモデル、ガスモデル、輻射モデルを含めたモデル全体の構成を図3に示す。ファンモデル、ダンパモデルは、焼却炉に燃焼空気を供給するためのモデルである。ただし、これらのモデルは物理モデルではなく、ダンパ開度、ファン出力を与えると空気量を計算す

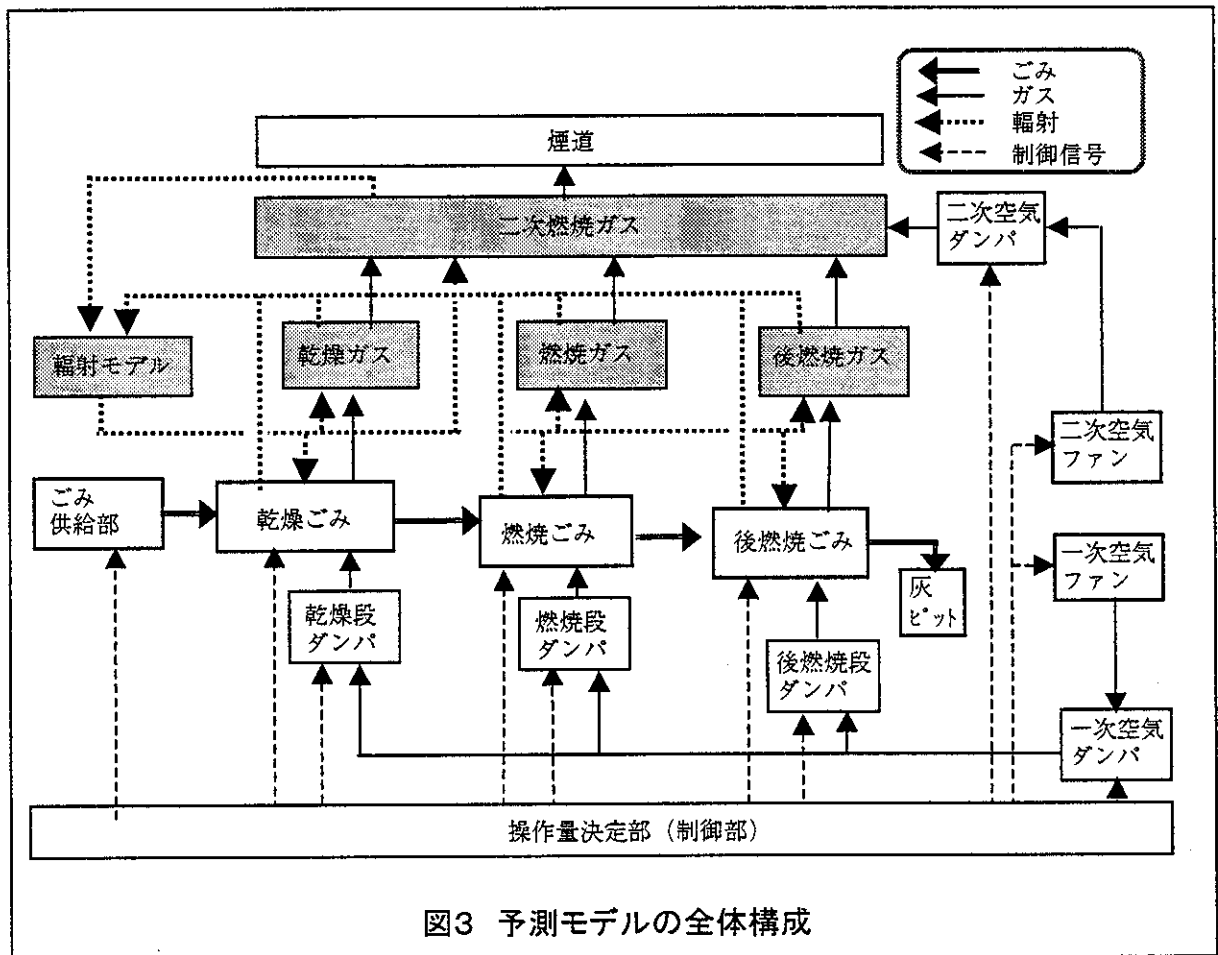


図3 予測モデルの全体構成

るモデルである。また、制御部は一次空気温度の設定値やストーカ速度などの操作量の値をファンモデルやごみモデルに渡すモデルである。ごみモデル、ガスモデル、輻射モデルについては次節以降で詳細に説明する。

1.3 ごみモデル

ごみモデルは、ストーカ上のごみとごみに供給される一次空気をモデル化したものである。図4にごみモデルの構成を示す。ごみモデルにはごみと一次空気が入力される。ごみは水分、揮発分、チャー、灰分からなると仮定した。なお、チャーは純粋な炭素からなるとし、揮発分の組成は $(C_2H_6O_2)$ と仮定した。また、一次空気は $200^{\circ}C$ に加熱された空気であり、その成分は、 N_2 、 O_2 、 H_2O とした。ごみモデル内でおこる反応は水分の蒸発、揮発分の揮発、チャーの燃焼である。ただし、揮発分は熱が与えられても反応せず、ガスに相変化するのみとした。またチャーはごみの内部で燃焼するとした。この時の燃焼反応は、一次空気から供給された O_2 がチャー(C)と反応してCOとなるとし、COは一次空気とともにごみ上部のガスモデルへの入力となる。また蒸発した水分、及び揮発分も同

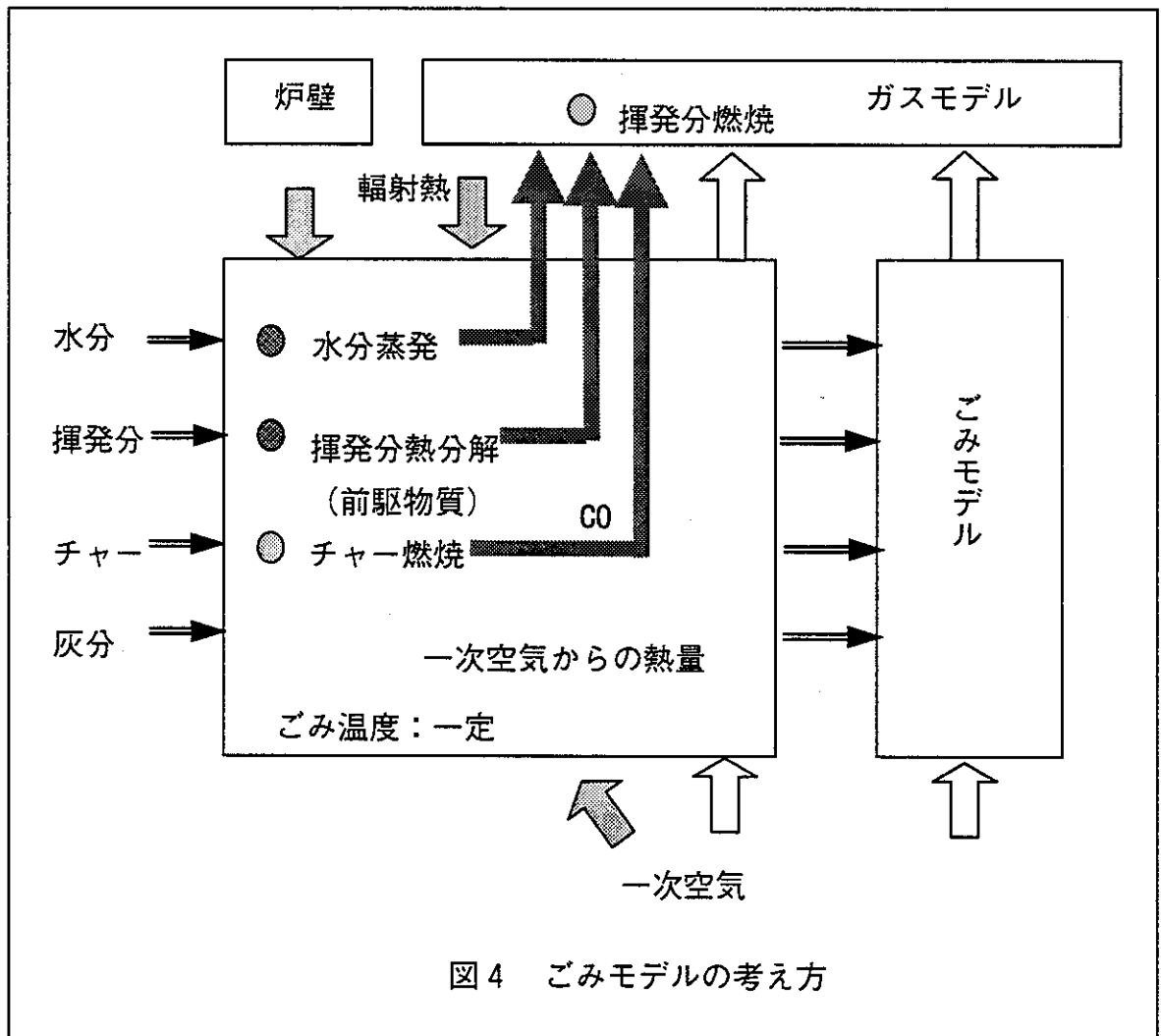


図4 ごみモデルの考え方

様にガスモデルの入力となる。水分の蒸発、揮発分の揮発によりそれぞれ蒸発潜熱及び熱分解熱をごみから奪う。また、チャーの燃焼はごみモデル内で起こるため、燃焼熱によりごみ温度を上昇させる。

以上の仮定に基づき、以下の物質収支式および熱収支式により、ごみ組成、ごみ温度、ごみモデルから発生するガス成分等を計算した。

以下にごみモデルの物質収支式及び熱収支式を示す。

<ごみモデルの物質収支式1>

【ごみ固相部の物質収支式】

$$\frac{dM_i}{dt} = G_{i_in} - G_{i_out} - R_i$$

$$\left[i = w \text{ (水分)}, b \text{ (揮発分)}, c \text{ (チャー分)}, a \text{ (灰分)} \right]$$

$$\left[\frac{dM_a}{dt} = 0, R_a = 0 \right]$$

$$R_i = K_i * M_i$$

$$K_i = f(Tr, Fg) = A_i * \exp(-E_i / RTr) * Fg^n$$

- G_{i_in} : i 成分ごみ流入量 [Kg/s]
- G_{i_out} : i 成分ごみ流出量 [Kg/s]
- R_i : i 成分ごみ反応量 [Kg/s]
- M_i : i 成分ごみ滞留量 [Kg]
- K_i : i 成分ごみ反応係数 []
- Tr : ごみ温度 [°C]
- Fg : 一次空気流量 [Nm³/h]
- A_i : i 成分反応速度頻度因子 []
- E_i : i 成分反応速度活性化エネルギー []
- R : ガス定数 (8.314) [J/(K·mol)]

<ごみモデルの熱収支式1>

【ごみ固相部の熱収支式】

$$\sum_i (M_i C_{Pi}) \frac{dTr}{dt} = \sum_i (G_{i_in} * C_{Pi}) * Tr_{in} - \sum_i (G_{i_out} * C_{Pi}) * Tr_{out} - Q_w - Q_b + Q_c + Q_{gr} + Q_{rad}$$

$$Q_w = K_w \frac{dM_w}{dt}$$

$$Q_b = K_b \frac{dM_b}{dt}$$

$$Q_c = K_c \frac{dM_c}{dt}$$

$$Q_{gr} = UA(T_g - Tr)$$

- C_{Pi} : i 成分の比熱 [J/(Kg·°C)]
- Tr_{in} : 流入ごみ温度 [°C]
- Tr_{out} : 流出ごみ温度 [°C]
- Q_w : 蒸発による熱量 [J]
- Q_b : 熱分解による熱量 [J]
- Q_c : 燃焼による熱量 [J]
- Q_{gr} : 一次空気から与えられる熱量 [J]
- Q_{rad} : 放射による熱量 [J]
- K_w : 蒸発潜熱 [J/Kg]
- K_b : 熱分解熱 [J/Kg]
- K_c : チャー燃焼熱 [J/Kg]
- T_g : 一次空気温度 [°C]

<ごみモデルの物質収支式 2 >

【一次空気の物質収支式】

$$F_{j_out} = F_{j_in} + R_j$$

$$\left[j = v \text{ (水分)}, b_2 \text{ (揮発分)}, o_2 \text{ (酸素)}, n_2 \text{ (窒素)}, co \text{ (CO)}, co_2 \text{ (CO}_2) \right]$$

F_{j_out} : ガス j 成分流出量 [Kg/s]

F_{j_in} : ガス j 成分流入量 [Kg/s]

R_j : ガス j 成分反応量 [Kg/s]

<ごみモデルの熱収支式 2 >

【一次空気の熱収支式】

$$0 = \sum_j (F_{j_in} \times CP_j) \times T_{g_in} - \sum_j (F_{j_out} \times CP_j) \times T_{g_out} + H_{rg} - H_{gr} - Q_{gr}$$

$$\left(\begin{array}{l} CP_j : j \text{ 成分のガス比熱 [J/(Kg} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}] \\ T_{g_in} : \text{流入一次空気温度 [} ^\circ\text{C]} \\ T_{g_out} : \text{流出一次空気温度 [} ^\circ\text{C]} \\ H_{gr} : \text{一次空気からごみへの流入エンタルピー [J]} \\ H_{rg} : \text{ごみから一次空気への流入エンタルピー [J]} \end{array} \right)$$

なお、ガス比熱は温度による変化を考慮してガス温度の関数とし、ガスが持ち込むエンタルピー H_g は

$$H_g = \int CP(T) dT \times F_g$$

で計算した。

ここで、 CP : ガス比熱 [$J/(Kg \cdot ^\circ C)$]

T : ガス温度 [$^\circ C$]

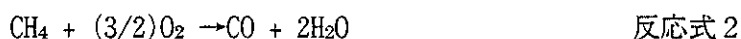
F_g : ガス流量 [Kg/s]

1.4 ガスモデル

ガスモデルでは、ごみモデルからの流入ガスが反応し、後流のガスモデルへ流れる。ガスモデルの仮定を以下に示す。

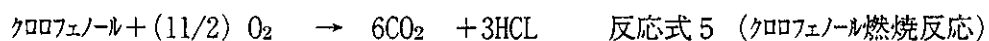
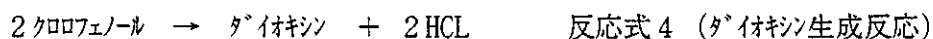
1) 各ガスモデル内の温度、濃度分布を考慮し、各ガスモデルをガスの流れ方向に10個のブロックに分割し、各ブロック毎に物質収支式、熱収支式を計算する。ただし、各ガスモデル内ではガス成分の時間変化は無視し、流入量と流出量と反応量が静的にバランスしているとする。

2) ごみから揮発した揮発分、 CO 等のガス成分は以下に示す反応式1～反応式3に従い反応するものとする。



3) 上記反応式1～反応式3によりガス温度、 O_2 濃度、 H_2O 濃度が決定され、その条件下でクロロフェノールの反応が起こる。

4) クロロフェノール及びダイオキシンに関する反応は以下の反応式4～反応式6に従うとする。



5) 二次燃焼ガスモデルの攪拌効果を模擬するため、二次空気量が少なくなると見かけの反応定数が低下する

以下にガスモデルの物質収支式、熱収支式を示す。

<ガスモデルの物質収支式>

$$FMj_in - FMj_out + RMj = 0$$

FMj_in : モル流入量[mol/s]

FMj_out : モル流出量[mol/s]

RMj : モル反応量[mol/s]

$$RMj = \sum_m Km \times RMjm$$

$$= \sum_m Km \times Am \times \exp(-Em / RTg) \times XMj^{n1} XMi^{n2}$$

$$Km = (F_2nd / F_2nd_max)^{\frac{2}{3}}$$

$RMjm$: 反応式mによる成分jの反応量

Km : 攪拌効果による反応速度補正係数

F_2nd : 二次空気量

F_2nd_max : 十分攪拌効果が期待される二次空気量

XMj : j成分のモル濃度[mol/m³]

Am : 反応式mの頻度因子

Em : 反応式mの活性化エネルギー

R : 気体定数[atm·m³/mol·K]

Tg : ガス温度[K]

<ガスモデルの熱収支式>

$$VRCP \times \frac{dTg}{dt} = (FHin - FHout + Qrea + Qrad)$$

$$VRCP = V \times \sum RowMj \times CPMj$$

$$FHin = Tg_in \times \sum FMj_in \times CPMj$$

$$FHout = Tg_k \times \sum FMj_out \times CPMj$$

$RowMj$: j成分のモル密度[mol/m³]

$CPMj$: j成分のモル比熱[J/K·mol]

$$Qrea = \sum RMm \times Qm$$

$Qrea$: 反応式mによる反応熱[J]

$Qrad$: 輻射熱[J]