

(43) 固形廃棄物の燃焼挙動に関する基礎的研究

A Fundamental Study on Solid Waste Combustion

谷口美希*、藤原健史*、武田信生*

Miki TANIGUCHI*, Takeshi FUJIWARA*, Nobuo TAKEDA*

ABSTRACT; Air pollutants generated in municipal waste incinerator, such as chlorinated organic compounds, are closely related to combustion behavior of waste in the furnace. The behavior is very complicated because the waste consists of various kinds of components and the reaction develops to the direction from surface to inside of the solid with time. In this paper, as a fundamental study on pyrolysis and combustion of solid waste, experiment for combustion and pyrolysis of sample was conducted and then the weight loss and flow rate of produced gas were measured on line. As a result, weight loss curve showed a combustion term clearly consists of pyrolysis and char combustion terms. A peak of CO gas production was found in each term. In particular, CO gas flow rate increased gradually in char combustion term, and the rate of increase depended on physical factors, such as density, moisture, and shape of the sample. As the temperature of carrier gas surrounding the sample became higher, total amount of CO gas decreased. Moreover, the rate of increase in CO gas production for a sample with 40% moisture was smaller than that for samples with 20% and 10% moisture.

KEY WORDS; combustion, pyrolysis, municipal solid waste

1. はじめに

ごみは人間が自然界に存在する資源を利用して生活を営む結果として生じるものであり、その性状や発生量は、個人の生活から社会の活動に至るまでわれわれの社会に深いかかわりを持っている。大量生産・大量消費社会を基盤とする今日の社会では多種多様なごみが排出され、量も増加の一途をたどり、処理の負担がますます大きくなってきている。日本では国土が狭く埋め立て用地が不足していることもあり、ごみを減量化・安定化させる焼却処理が、都市ごみ処理の約 74%を占めている。また、焼却に伴い発生する熱をエネルギーとして回収したりリサイクルすることも同時にすすめられており、今後も焼却処理が主流を占めると考えられる。しかし、その一方でダイオキシンや PCB などの焼却に関連した環境汚染が問題となっている。

ごみの焼却に伴って発生する汚染物質は、ごみの燃焼に由来するものであることから、汚染物質の生成を抑制するためには、まずごみが燃焼する現象そのものに注目し、ごみの燃焼過程と燃焼の進行に伴って生成する燃焼ガスについて調べることが必要である。ごみの燃焼では、ごみが熱分解して生成する揮発ガスが燃焼することと、未燃ガスがダイオキシン類の生成に関与することを考えると、熱分解に関しても見ておかなければならない。また、ごみはある大きさを有しているため、水分の蒸発や熱分解、表面燃焼といった現象がごみ全体で均一に起こるのではなく、分布をもって同時に起こっている。したがってこれらの現象が表面から内部へと進んでいく過程を把握する必要があり、ある程度の大きさを持つ物体の燃焼がどのように進行していくかを実際に観察してみることが重要である。都市ごみの燃焼特性に関しては高月¹⁾が、熱分解特性に関しては片柳²⁾が詳細な実験をおこない重要な知見を報告している。また、ある程度の大きさを持つごみの燃焼については、橘田ら³⁾が最近実験をおこなっている。

*京都大学大学院工学研究科環境工学専攻(Dept. of Environ. Eng., Graduate School of Eng., Kyoto Univ.)

そこで本研究では、ごみの代表的な成分を試料として熱分解または燃焼させ、重量変化・ガスの生成が熱分解や燃焼の進行とともにどのように変化していくのか、また雰囲気温度や形状・水分量などの違いが重量変化やガスの生成にどのような影響を与えるのかを考察した。

2. 実験内容

2. 1 実験装置

実験で使用した装置のフローシートを図1に示す。

1) 電気炉

炉部分は、内径 66mm 長さ 600mm のアルミナ管とし、縦型管状電気炉（アドバンテック製 KT-1566 特性）で加熱する。試料はステンレス製のシャーレ（直径 50mm）に載せてステンレスの針金で吊るし、針金の先端を電子天秤（島津ロードセル式電子天秤 EL-120HA）の下部にあるフックに引っかけて重量を測定する。試料皿（50mm 径のステンレスシャーレ）には、空気が試料を十分通るようにステンレスの針金で編んだかご（縦 20mm×横 20mm×高さ 15mm）を載せる。アルミナ管の下部は試料をセットするために開閉可能となっており、アルミナ管の上部には、排ガス抜き出し口と針金用の孔のあるガラス製ふたを取り付けている。実験時は試料の位置がアルミナ管の中央に来るように針金を引き上げる。炉温は電気炉の温度調節器で一定制御される。

2) ガスの流れ

キャリアガスとして窒素または空気がポンプより供給され、乾式ガスメータ A（シナガワ modelDC-1A）と弁 A を通過した後、アルミナ管に下部より入る。生成した熱分解ガスあるいは燃焼ガスがアルミナ管の上部より出て、円筒ろ紙（アドバンテック製）、グラスウールを詰めたガラスびん、そして氷冷された 2 本の塩化カルシウム入りシェーフィード管を通る。このとき、円筒ろ紙やタール溜の中のグラスウールによってダストとタール分（高沸点化合物）のほとんどをとり、塩化カルシウムで水分と残りのタール分（低沸点化合物）がトラップされる。アルミナ管上部のガラスふたから円筒ろ紙にかけてはリボンヒータおよびマントルヒータで 120℃に保温されるが、熱分解・燃焼ガスはシェーフィード管を過ぎたところで室温程度まで下がる。シェーフィード管から出たガスは、1L 試薬びんで温度や濃度が均一化された後に、乾式ガスメータ B（シナガワ modelDC-1A）と弁 B を通過し、エアープンプ（イワキエアープンプ APN-215M）で吸引される。その後、ガスの一部は濃度分析に用い、残りは水酸化ナトリウム水溶液と活性炭で処理し、屋外に排出される。

実験ではキャリアガスの流量が約 10 L/min になるように弁 A で調節する。そして、燃焼ガスが系外に出ないようにするため、弁 B を調節してポンプの吸引流量をキャリアガスの流量よりも多い約 15 L/min に設定し、炉内を負圧にする。これによって、アルミナ管上部に設けた針金用の孔や円筒ろ紙の固定部分から、空気の炉内へのリークが生じることになる。

3) ガス濃度の分析

エアープンプから出た熱分解・燃焼ガスの一部が NO_x 計（島津 NO_x-O₂ 測定装置 NOA-7000）、CO 計（島津赤外線式ガス濃度測定装置 CGT-7000）、SO₂ 計（島津赤外線式ガス濃度測定装置 SOA-7000）に導入され、それぞれのガス濃度が自動で測定される。

4) データ収録装置

NO_x 計、CO 計、SO₂ 計からの濃度を表す 1～5V のアナログ信号と熱電対からの端子間の起電力を、A/D 変換器

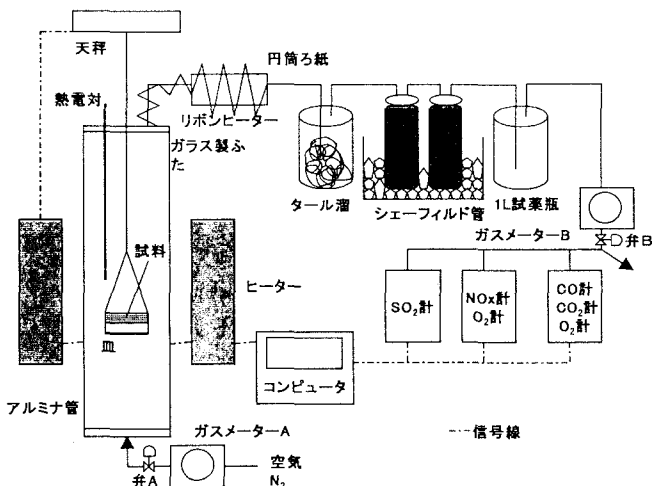


図1 実験装置図

を通してデジタル信号に入力し、パソコンに取り込んだ。また、乾式ガスメータからの流量を表す0～1Vのアナログ信号を同様にしてパソコンに取り込んだ。電子天秤の信号はRS-232C経由でパソコンに取り込んだ。

2.2 供試試料

試料は代表的都市ごみ成分として、紙（新聞紙）、植物性厨芥、動物性厨芥、プラスチック（PE、PS、PVC）とし、紙については形状、水分、見かけ密度、温度の影響を調べるため、表1のように決めた。

形状に関しては、新聞紙を20mm×20mmに切ったものとシュレッダーで裁断したものを用意した。水分に関しては試料をまず絶乾状態にしてから所定の含水率にあうようになるべく均等に水分を与えた。見かけ密度に関しては、20mm×20mmに切ったものを用い、かごの中に入れる量を変化させた。

プラスチック類は縦30mm×横30mm×厚さ約1mmの板状のものを、植物性厨芥は茶葉、ご飯、みかんを細かくしたものをなるべく均等に混合し、含水率80%に調整した。動物性厨芥は、鶏もも肉を使った。

2.3 実験方法

本研究では、試料を窒素ガスおよび空気雰囲気において600～800℃の高温条件に、急激にさらしたときの重量変化と生成ガスの濃度変化を調べる。これは、示差熱分析で実施されるような、物体と雰囲気との熱的平衡を仮定した一定昇温条件で実験しているのでは、ある程度の大きさを持ち熱分解・燃焼時に内部に温度分布を持つと考えられる物体の挙動を解析できないと考えたからである。物体を急激に高温にさらすことによって、物体表面から反応が始まる様子を、質量の変化と生成ガスの濃度変化で捉える。言い換えれば、物体の熱分解及び燃焼のステップ応答を得るための実験である。

〔実験手順〕

- ①電気炉、マントルヒータ、リボンヒータで、設定温度まで加熱する。
- ②熱分解実験では窒素ガス、燃焼実験では空気を流し、設定流量になるように調節する。
- ③炉の下部を開き、サンプルをセットする。少し引き上げて炉の下部を閉じ、重量測定とガス測定器の測定を開始する。
- ④サンプルをセットしたときに入った空気がすべて炉外に出たことを酸素濃度で確認し（燃焼実験の場合はセットして約1分後）、サンプルを炉の中央にセットする。
- ⑤重量と各ガス測定器の測定を終了させる。
- ⑥サンプルは炉の下部に引き下げておき、しばらくして残渣重量を測る。

2.4 測定項目

主要な測定項目は、NOx(ppm)、CO(ppm)、CO₂(vol%)、O₂(vol%)、SO₂(ppm)である。また参考として、雰囲気温度、炉内に入ってくる窒素ガスまたは空気の流量、炉からポンプで引いているガス流量、残渣重量、シェーフィールド管とタール溜の実験前後の重量を測っている。

各測定はサンプルを炉の中央に引き上げる前にスタートさせているが、サンプルを引き上げたときに測定値が大きく変化することから、その時点を重量変化の開始時刻とした。各ガス測定器の開始時刻も、それに合わせている。

3. 実験結果と考察

3.1 重量の時間変化

結果例として、紙（乾燥）の熱分解・燃焼、紙（湿潤）、植物性厨芥、動物性厨芥、プラスチック類（PS）の燃焼時の重量変化を図2に示す。横軸に時間(秒)、縦軸に重量残存率(g/g)をとっている。重量残存率は次のように定義する。

重量残存率 (g/g) =
$$\frac{\text{その時間における重量 (g)}}{\text{試料の初期重量 (g)}}$$

表1 供試試料と実験条件

サンプル	形状	重量(g)	見かけ密度(g/cm ³)	含水率(%)	雰囲気温度(℃)
新聞紙	重ねたもの	3	0.5	0	600, 700, 800
		3+0.75*	—	20	
		3+2*	—	40	
		1.5	0.25	0	
	細かくしたもの	0.75	0.125	0	600, 800
		0.75	0.125	0	
	植物性厨芥	4.25	—	80	
	動物性厨芥	3	—	—	
	ポリエチレン(PE)	0.63	—	—	
	ポリスチレン(PS)	0.45	—	—	
	ポリ塩化ビニル(PVC)	0.72	—	—	

(表中の*は加えた水分量を表す)

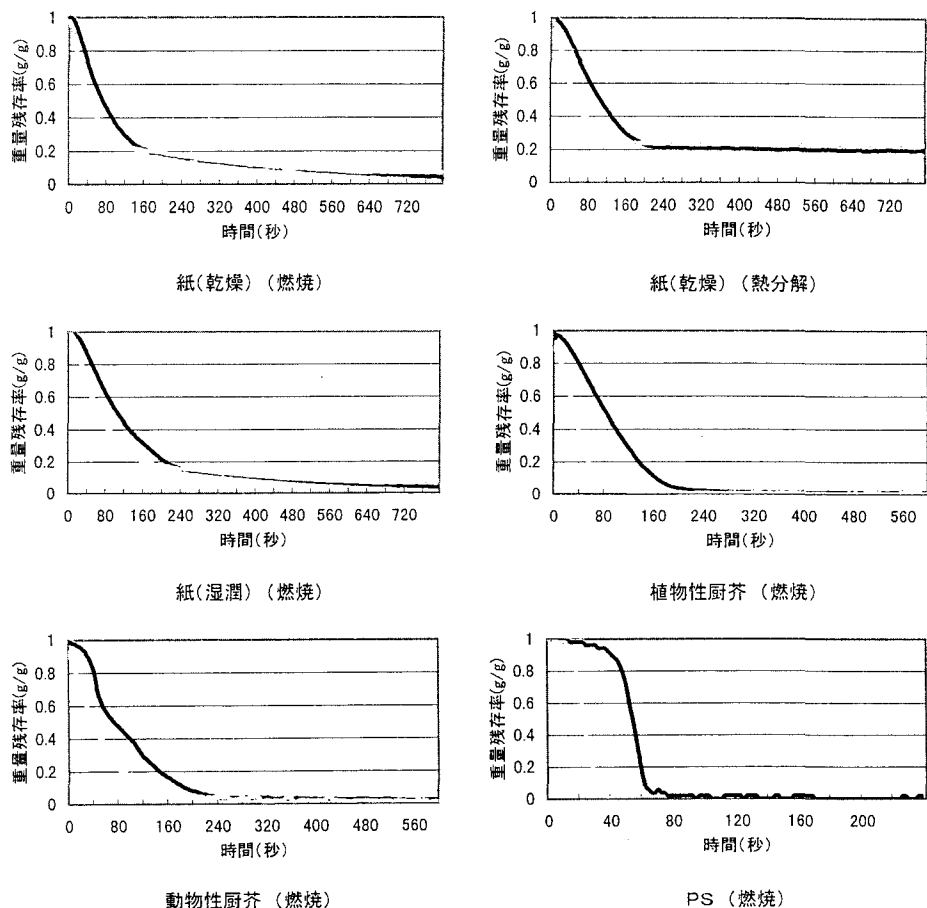


図2 燃焼及び熱分解における各ごみ成分の重量変化の結果
(— 600℃ - - - 800℃)

重量減少は、水分の蒸発による減量と熱分解・燃焼による減量との和と考えることができる。今回の実験では生成ガスの測定を同時におこなっているため、熱分解実験の場合には炉下部に試料をセットした後、炉内に入った空気が窒素ガスで完全に置換されるまでの間、試料をそのまま下げていた状態で維持する必要がある。炉の下部の温度は、ふたを閉めた状態で炉内が 600℃の時に約 80℃、800℃の時に約 200℃となっており、試料を炉の中央に引き上げるまでにその重量が減少してしまうことがある。試料の初期重量は、炉の中央に引き上げたときの質量ではなく、前もって測っておいた試料そのものの重量を用いることにした。そのため重量残存率が1から始まっていないものがある。また、プラスチック類は燃焼が激しく、ステンレスの皿の重量が実験前後で 0.03g ほど減少してしまい、用いた試料の重量以上の減少を示すものがあった。

まず熱分解と燃焼の特性について述べる。例として紙(乾燥)における熱分解による重量変化と燃焼による重量変化(図2 最上段)を比較すると、温度条件に関わらず燃焼による重量変化の方が大きい。これは、燃焼反応で生じる熱が熱分解を促進させるためと考えられる。熱分解による重量変化では、はじめに重量変化の小さな期間が少しあり、その後重量が急激に変化し、最後は重量変化のほとんどない期間が続いている。一方、燃焼については質量が急激に変化した後、傾きが急に変わりゆっくりとした重量変化になる。傾きが変化する点は、ほぼ消炎点に近いことが確認できた。これらは予熱期間、炎燃焼期間、熱分解残渣の燃焼期間と考えることができる。

次に各試料についてであるが、紙はほかの試料に比べて、炎燃焼期間と熱分解残渣の燃焼期間の重量減少との違いが顕著に現れている。これは、紙がほかの試料に比べて体積が大きく、消炎時に未燃分が内部に多く残されていたためと

考えられる。プラスチック類は種類によらず、はじめに重量減少のない期間があり、その後重量が急激に変化してほとんどなくなってしまう。初期の重量減少の小さい期間は、プラスチック類が吸熱して融解していると考えられる。植物性厨芥は残渣が少なかったことを除いて、重量変化は水分を含んだ紙に近い。動物性厨芥は、600℃において、ほかの試料と重量変化は異なっている。急激に重量が変化する部分が長く続かず、重量変化の途中で重量減少が小さくなる部分がみられる。試料の表面が燃焼し、そこに形成される残渣層が酸素の内部への拡散を妨げ、その結果試料が燃焼しにくくなり、消炎するためと推測される。発生する可燃物質の量や温度によって発炎が左右されることから、重量変化の速度が乱れたと考えられる。

3. 2 重量変化への影響

紙について、温度、含水率、見かけ密度、形状の因子を変化させた場合の重量変化（燃焼）の違いを図3に示し、これら因子の影響についてまとめておく。

i) 含水率

含水率が高いほど、同時刻での重量減少速度は小さい。ある程度の大きさをもつ物体の場合、内部に温度の分布が生じて、内部の乾燥と表面の熱分解が同時に進む。熱分解速度には、物質の温度上昇（熱移動）が大きく関係している。水分蒸発時に熱が奪われ、物質の温度上昇が抑えられて熱分解速度が小さくなり、重量減少速度は小さくとなると考えられる。

ii) 見かけ密度

見かけ密度が高いほど、同時刻での重量減少速度は小さい。見かけ密度が高いほど熱伝導度は大きくなるが、見かけの体積が同じであればその体積中の物質量は多くなり、温度上昇にはそれだけ多くの熱が必要となる。そのため、見かけ密度が高いほど、熱分解速度は小さくとなると考えることができる。

iii) 形状

試料を細かくしたものと重ねたものとは、大きな変化は見られなかったが、細かくしたもののほうが重量減少がやや大きくなっている。細かくしたもののほうが表面積が大きく、試料内部に酸素が拡散しやすいと考えられる。

iv) 温度

重量変化が速くなる様子が見られるが、これは雰囲気温度が高いと物質の温度が速く上昇し、それにつれて熱分解速度が速くなるためと考えられる。

3. 3 重量変化と各影響因子の関係

熱分解反応は一般的に次のように表される。

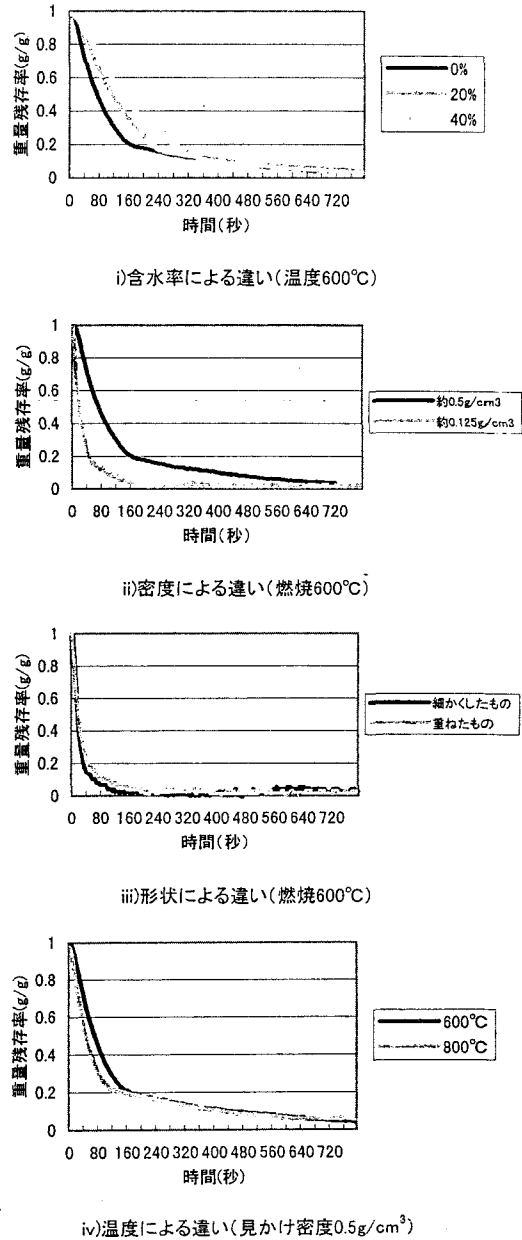


図3 重量変化への影響

$$-\frac{dx}{dt} = kx^n \quad (3.1)$$

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (3.2)$$

x : 時間 t(sec)における試料重量(g)

k : 反応速度定数(1/sec) A : 頻度因子(1/sec)

E : 活性化エネルギー(kcal/mol)

R : 気体定数(cal/molK) T : 絶対温度(K)

本実験では、紙について内部に温度分布が生じる程度の大きさ(体積)を与えている。上に示した式は、反応定数 k が絶対温度 T の関数となっている。上式だけで内部に温度分布のできる大きさをもつ物体の熱分解・燃焼を表現することはできない。また燃焼の場合には発炎することから雰囲気温度が部分的に急激に上昇し、反応はより複雑なものとなる。燃焼過程を表現するためには、化学反応や相変化、熱移動、輻射など、燃焼現象に伴う様々な現象を一つずつ考慮していく必要があると思われる。

特に1次反応の場合、式(3.1)は

$$-\frac{dx}{dt} = kx \quad (\text{I.C. } x=1 \text{ at } t=0) \quad (3.3)$$

となり、ここでkが時間によって変化しないと仮定すると、

$$\ln(x) = -kt \quad (3.4)$$

と解くことができる。そこで、これまでの実験結果について、 $\ln(x)$ の値がどのように時間変化するかを調べることにした。

紙を重ねたもの(含水率 0%、見かけ密度 0.5g/cm^3)を燃焼したときの重量変化において、m を重量残存率(g/g)とし、その $-\ln(m)$ の値の時間変化を求めた結果を図4に示す。炎燃焼期間と熱分解残渣の燃焼期間においてどちらも直線的で、傾きが変えることが確認できる。

各影響因子を変化させた場合、それぞれの炎燃焼期間における $-\ln(m)$ の時間変化を図5に示す。 $-\ln(m)$ の値は炎燃焼が確実に始まったと思われる点からそれが終わる点までを選び、プロットした。各々の場合について求めた $-d\ln(m)/dt$ の値を表2にまとめる。見かけ密度が 0.125g/cm^3 や 0.5g/cm^3 の場合は、温度が高くなるほど値が大きくなっている。 $-d\ln(m)/dt$ の値が大きいくほど燃焼しやすいと考えられ、温度が高くなるほどこの値も大きくなる事から、この結果は妥当であると考えられる。しかし、見かけ密度 0.125g/cm^3 において、 973K での $-\ln(m)$ の値は0.0530、 1073K では0.0506となり、温度が高い方が値が小さくなっている。この理由として、試料のセットに時間がかかり、物質温度の上昇が遅れたことが考えられるため、 973K における $-\ln(m)$ の値0.0530は考察からはずすことにした。見かけ密度を $\rho(\text{g/cm}^3)$ 、含水率をw(湿ベース%)、温度を

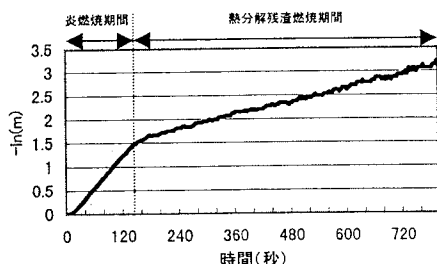
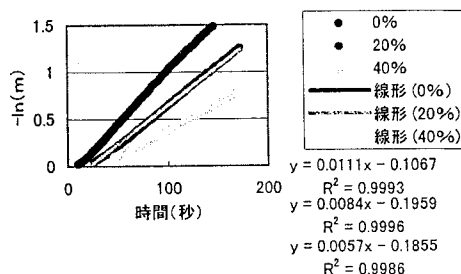
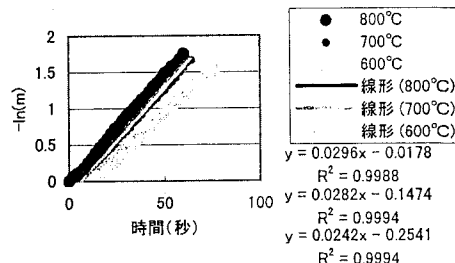


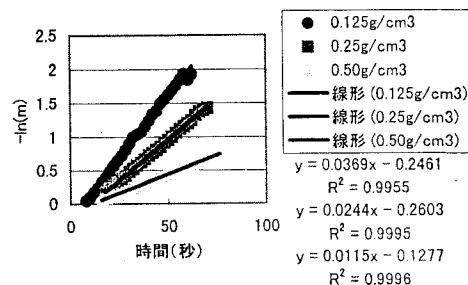
図4 $-\ln(m)$ 値の時間変化



i) 含水率



ii) 温度



iii) 密度

図5 $-\ln(m)$ 値への影響

T(K)として、 $-d\ln(m)/dt$ の値との関係を調べたところ、 $\rho^{-0.85}$ 、 $0.9-w/100$ 、 $\exp(1/T)$ と $-d\ln(m)/dt$ の値との相関が高いことが分かった。以上から、この結果を次式のようにまとめておく。

表2 各影響因子と $-d\ln(m)/dt$ 値						
温度(K)	見かけ密度(g/cm ³)			含水率(湿ベース%)		
	0.125	0.25	0.5	0	0.2	0.4
873	0.0369	0.0242	0.0115	0.0111	0.0084	0.0057
973	0.0530	0.0282	0.0140	—	—	—
1073	0.0506	0.0296	0.0152	0.0152	0.0110	0.0088

$$-\frac{d \ln(m)}{dt} = K \cdot \rho^{-0.85}(0.9-w/100)\exp(1/T) \tag{3. 5}$$

m：重量残存率(g/g) t：時間 (秒) ρ：見かけ密度(g/cm³)
w：含水率 (湿ベース%) T：温度(K)

Kの値は約0.007程度であった。また、熱分解残渣燃焼期間における傾きを各含水率の場合について調べたみたが、含水率による変化は見られず、 $-d\ln(m)/dt$ の値は約0.025であった。

4. 実験結果と考察（生成ガス）

4. 1 生成ガスの時間変化

本実験では、重量変化と生成ガス変化を同時に測定することを考えたため、アルミナ管の上部ガラスふたに試料を吊るす針金用の細孔を開けたが、その孔からの空気のリークが考えられた。他にも、円筒ろ紙とそれを入れる反応管との接合部の問題などがあり、エアーポンプによる吸引流量とポンプからの供給流量の差に相当する約5 L/minの流量が、内部での反応によるガス増量や外部からの空気のリーク量の合計となっている。

今回は燃焼実験の結果のみ報告する。燃焼実験では、酸素濃度からリーク量を把握できないため、全ガス流量に各ガス濃度を掛けてガス流量とした。

$$A = G \times C \tag{4. 1}$$

A：各ガス流量 (10⁶L/min) G：炉から吸引したガス量 (L/min) C：各ガス濃度 (ppm)

炉内は燃焼や熱分解によって圧力が変動し、反応のピーク時には炉内が正圧となり、一時的にダストが一部吹き出す実験ケースも見られた。リーク量を把握するためには、反応によって変動する炉内圧を負圧で一定にコントロールし、リーク量を常に一定とすることが望ましい。

1) 紙

紙（乾燥）を燃焼したときのCO、CO₂、SO₂、NO_xの時間変化を図6に示す。COの流量曲線は、燃焼開始後、急激に増加・減少する急峻なピークがあり、その後再び急激に上昇してゆるやかな上昇、下降のカーブを描いた後、急に減少して反応が終了する。最初の変動部分は紙が炎燃焼する初期の部分で、COが急激に発生している。紙の場合、インクなどの揮発分が多く含まれているので、それらが燃焼の早い時期に分解燃焼したものと考えられる。紙の炎燃焼がおさまると再びCOが上昇し、燃焼が進行するにつれてCOがゆるやかに上昇しているが、これは紙の内部で熱分解残渣の燃焼が起こっているためと考えられる。CO₂の流量曲線は、最初CO流量曲線に連動して上昇・下降しているが、炎燃焼が終わりCOが上昇しだす頃から直線的に減少している。これは分解燃焼から熱分解残渣の燃焼に移り、紙内部の酸素濃度が低下しCOの生成が増える一方で、炎燃焼が終わり、COのCO₂への酸化が進みにくくなり、そのまま炉から流出したことを表わすと考えられる。SO₂とNO_xの流量曲線はCO₂流量曲線とほぼ同じ動きをした。NO_x生成には空気中の窒素が起源のものと試料中の窒素が起源のものがあり、ピーク時は発炎による温度上昇で空気中の窒素から発生することも考えられる。NO_xの立ち上がりが他のガスの立ち上がりと比べて少し遅れているが、実験装置の応答の遅れのためである。

2) 厨芥類

結果を、動物性厨芥については図7に、植物性厨芥については図8に示す。動物性厨芥の方が植物性厨芥に比べてガス発生時刻が早いのは、植物性厨芥の含水率が高いためと考えられる。両厨芥ともCOの発生が先行し、その後CO₂の発生が追従している。植物性厨芥のCO流量曲線のパターンはふた山であり、紙の場合と同じ傾向を持つ。これは、紙がセルロースを主成分としているためであると考えられる。特に注目値するのは、植物性厨芥でNO_xの立ち上がりが他のガスと比べて遅れていることである。COやCO₂の流量曲線パターンから考えて、消炎後に植物性厨芥の内

部が燃焼するときに Fuel NO_x が生成しているようである。また CO や CO_2 の発生がなくなった後も発生し続けていることから、炭素に比べて窒素の酸化が遅いのではないかと考えられる。最後に、動物性厨芥と植物性厨芥の違いは、動物性厨芥の方が SO_2 、 NO_x の流量が多いことである。動物性厨芥と植物性厨芥の硫黄と窒素の含有量の違いが影響していると考えられる。また動物性厨芥の流量曲線 CO_2 パターンはふた山で CO_2 が急激に発生した後、いったん少なくなり再び増加している。重量変化の結果から考察したように、ガスの変化からも表面が急激に燃焼した後消炎してしまったことが推測できる。 NO_x 流量曲線パターンについても CO_2 と同様のことがいえる。

3) プラスチック類

PS を燃焼・熱分解した時の CO 、 CO_2 値の時間変化を図9に示す。種類によらず挙動が同じであったため PS だけを取り上げている。重量変化と同様に反応が急激に起こり、すぐに終了してしまう様子がみられる。ピーク値が測定レンジを超えてしまったため、種類による量的な違いはわからなかった。 CO 流量のピークと同時にかなりの NO_x が出てくる。特に PVC において NO_x が多いことが確認できたが、測定の失敗のためデータは得られなかった。

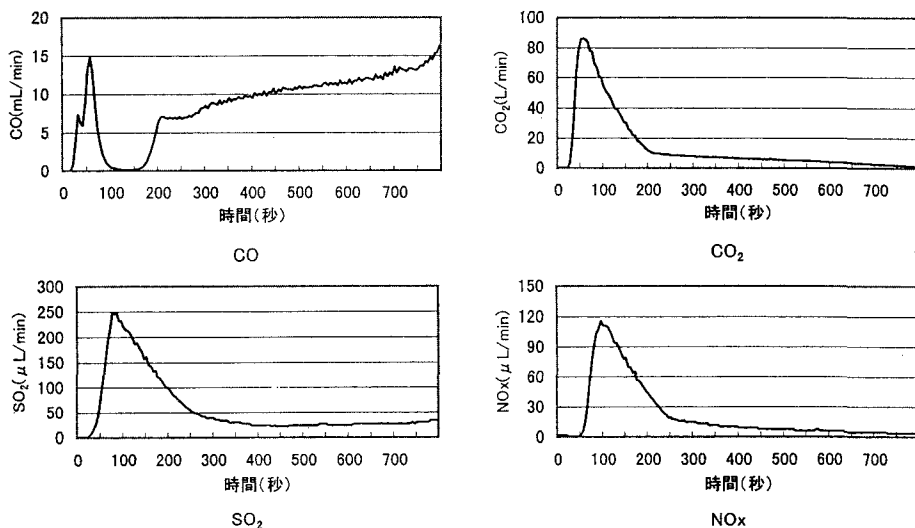


図6 紙(乾燥)の生成ガス変化(燃焼600°C)

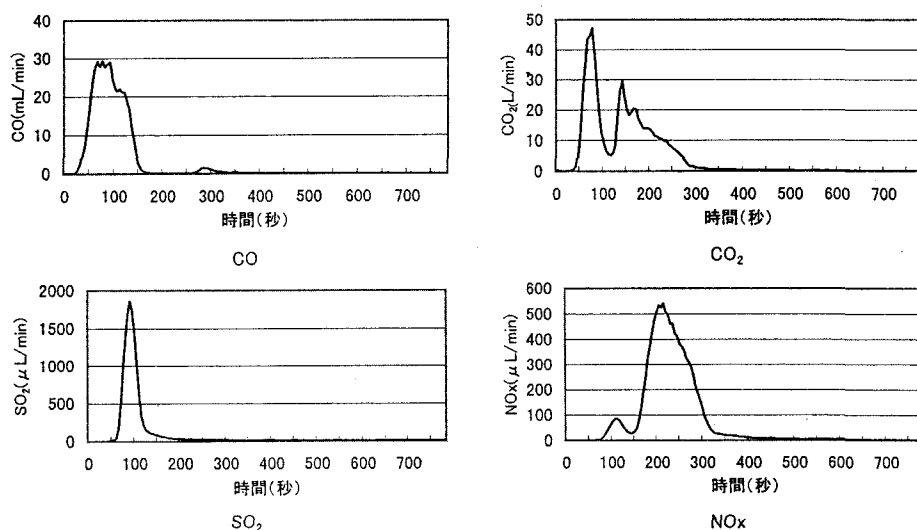


図7 動物性厨芥の生成ガス変化(燃焼600°C)

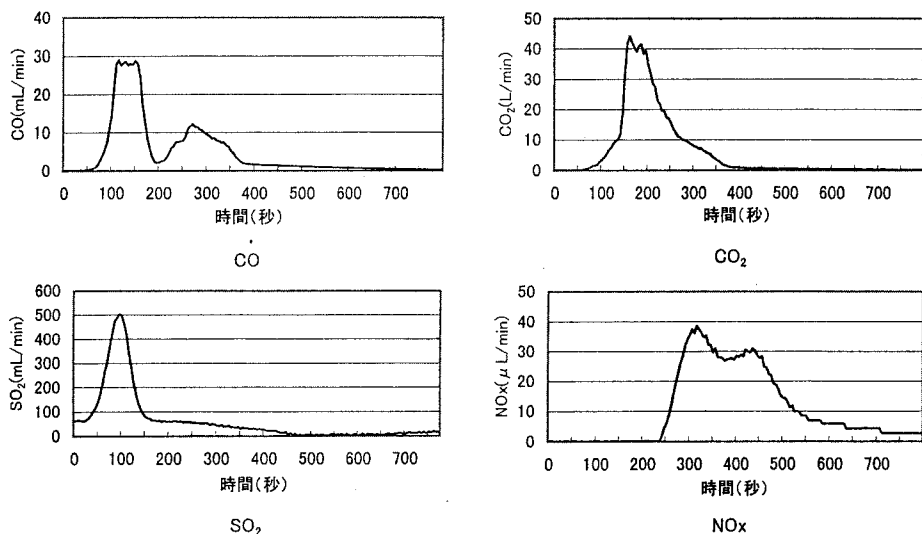


図8 植物性厨芥の生成ガス変化(燃焼600°C)

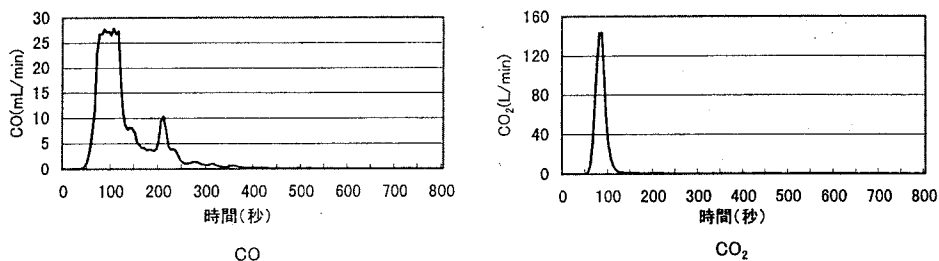


図9 PSのCO、CO₂の変化(燃焼600°C)

4. 2 生成ガス変化への影響

紙について温度、含水率、見かけ密度、形状を変化させた場合の生成ガス変化の違いを CO 流量、CO₂ 流量によって考察する。各々の場合の結果を図 10 に示す。

i) 温度

温度が高いほど炎燃焼によって生成する CO の量が多くなる。また、逆に熱分解残渣の燃焼によって生成する CO 量は少なくなる。このことから、温度が高いと炎燃焼している間にかなりの炭素分が酸化してしまい、内部に残る未燃炭素分が少なくなって、熱分解残渣の燃焼のときには CO 量が少なくなることがわかる。

ii) 見かけ密度

見かけ密度が小さいほど反応が早く終了する。また各試料の見かけ密度の比は 4 : 2 : 1 となっているが、試料として用いた質量も 4 : 2 : 1 となっており、単位質量あたりで考えると、炎燃焼時の CO、CO₂ のピークは見かけ密度が低いほど高くなっており、見かけ密度が低いほど燃焼しやすいことがわかる。熱分解についても同様に、単位質量あたりでは見かけ密度が低い方が CO 値 や CO₂ 値は大きく、見かけ密度が低いほど反応しやすいことが確認できた。

iii) 含水率

燃焼の場合、含水率が 0%、20%については同じような動きをしているが、40%になると大きく変化している。このことから、20%の場合は熱分解残渣の燃焼において水分による影響がほとんど現れないが、40%まで含水率が上がると熱分解残渣の燃焼時にまだ水分が残り、影響を与えていると考えられる。また、炎燃焼時のピークは炉に引き上げた時の試料表面の水分によるもので、40%の場合、水分の影響により炎燃焼時の CO 流量は少なくなると考えられるが、図 10 では CO 流量が大きくなっている。これは、実験時に試料をセットするのに時間がかかってしまったために、表面が乾燥してしまったためと思われる。

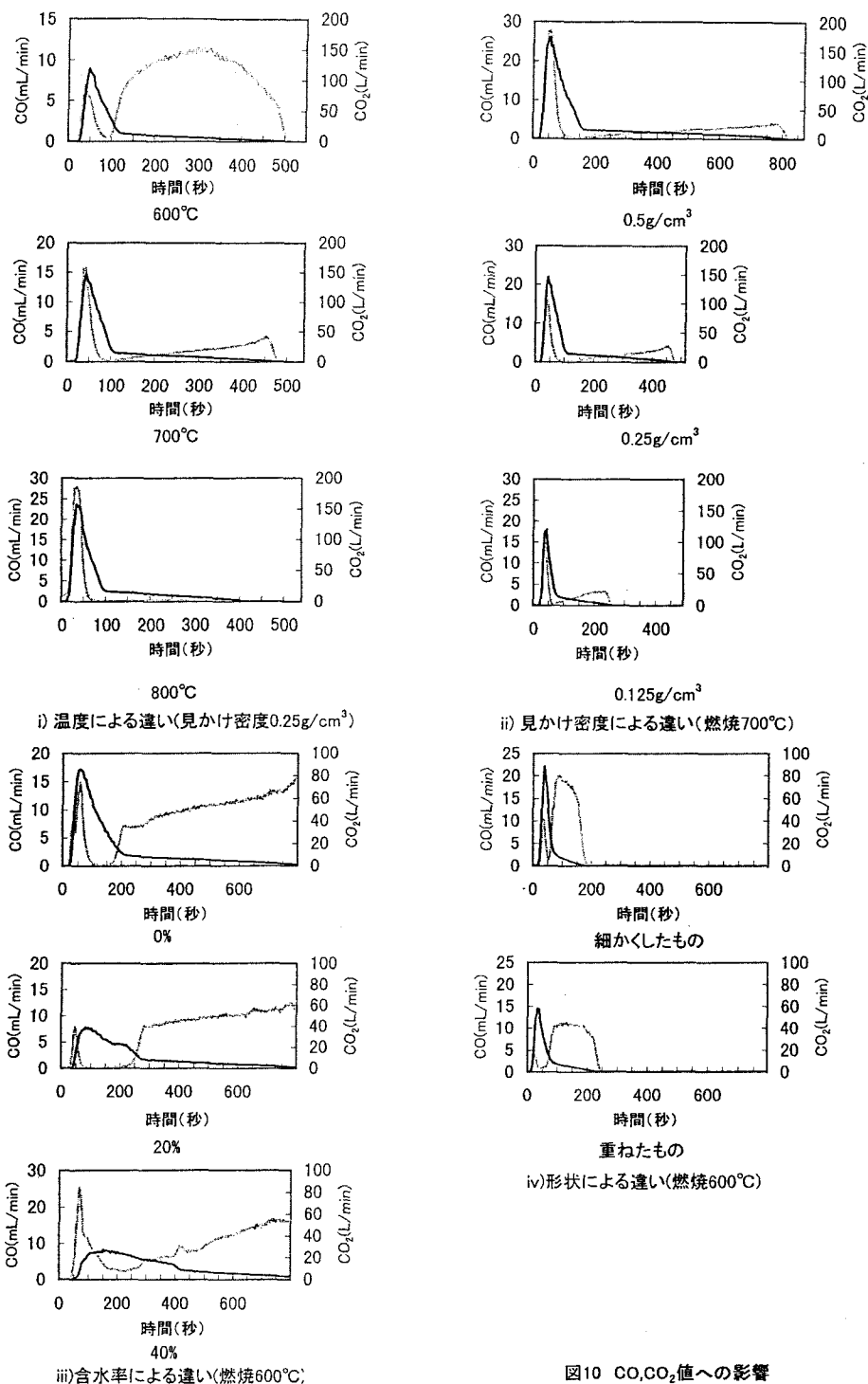


図10 CO, CO₂値への影響
(——— CO, - - - - - CO₂)

iv) 形状

熱分解、燃焼で動きは全く同じであるが、紙を細かくしたものの方が CO 値、CO₂ 値が大きいと考えられる。このことから、紙を細かくしたものの方が、紙を重ねたものよりも熱分解・燃焼しやすいことがわかる。また、細かくしたものの方が反応時間が短くなっている。

5. おわりに

本研究では代表的なごみ成分を燃焼・熱分解させたときの重量変化、生成ガス変化の特徴を見ることができた。実験から明らかになったことを以下にまとめる。

- ・燃焼が炎燃焼期間と熱分解残渣の燃焼期間に比較的是っきりと分かれた。
- ・炎燃焼期間の重量変化に対する見かけ密度、温度、含水率による影響を調べた。
- ・燃焼が内部に進行するにつれて熱分解状態になり CO 量が増加した。
- ・生成ガス変化は、見かけ密度、温度、含水率の影響を受けた。特に含水率 20% 以下では、ほとんど影響がなかったが、40% になるとその影響は大きくなった。

これらの結果はごみの燃焼過程を把握する上で興味深いものである。今後、さらに実験をすすめることにより詳細に調べていくこと、加えて熱移動や化学反応といった理論的な解析のアプローチが必要であると考えている。

【謝辞】

実験装置作成にあたり、ご協力いただいた太陽築炉工業株式会社江口正司様に深く謝意を表します。

本研究の一部は、平成 11 年度文部省科学研究費補助基盤研究 (B)(2)(課題番号 11450197)の研究助成を受けた。ここに感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 高月紘：都市ごみの焼却処理に関する基礎的研究、京都大学工学部学位論文(1977)
- 2) 片柳健一：固形ごみの熱分解処理に関する研究、京都大学工学部博士論文(1985)
- 3) 橘田岳洋他：ストーカ式ごみ焼却炉内ごみ層燃焼解析、日本機械学会第 11 回熱工学シンポジウム(1998)