

## 燃料を添加した部分予混合雰囲気中の可燃性固体の燃え拡がり\*

山本和弘<sup>\*1</sup>, 瀬尾 哲<sup>\*2</sup>  
森 幸一<sup>\*2</sup>, 小沼義昭<sup>\*3</sup>

## Flame Spread over Solid Fuel in Partially Premixed Atmospheres

Kazuhiro YAMAMOTO<sup>\*4</sup>, Satoshi SEO,  
Koichi MORI and Yoshiaki ONUMA<sup>\*4</sup> Mechanical Engineering, Nagoya University,  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8603 Japan

Studies on downward flame spread over solid fuel are useful to understand complex two-phase non-premixed flames including fires. We investigate the flame spread in partially premixed atmospheres, which may occur under poorly ventilated conditions, forming the combustible mixtures of oxygen and fuel vapors. In this experiment, methane is added in the ambient air, which could be formed in the degradation process. The flame spread rate is measured with constant inflow velocity, and the temperature measurement of gas-phase is conducted. Two kinds of paper sheet are used as samples. Additionally, using a temperature-controlled furnace connected with gas chromatography, gaseous products are quantitatively analyzed to examine the degradation process. Results show that, CO and CO<sub>2</sub> are major degradation products. A variety of hydrocarbon and small portion of hydrogen are also detected. In partially premixed atmospheres, the flame spread rate is increased, with the expanded high temperature region. This is because the fuel already exists in the upstream region to support the flame formation. Resultantly, the heat flow into preheat region is increased mainly due to heat conduction, resulting in the higher flame spread rate.

**Key Words:** Flame Spread, Solid Fuel, Gasification, Diffusion Combustion, Heat Transfer

## 1. 緒 論

実際の火災は現象が非常に複雑であるため、単純な条件下で実験を行い、基礎的な知見を得ることは有用であると思われる。試料に沱紙やPMMA(Poly-methyl methacrylate)を用いた場合の鉛直下方への燃え拡がり現象は、解析が容易であるため多くの研究が行われており、試料の厚さと密度の違いや周囲雰囲気の影響が詳しく調べられている<sup>(1)-(7)</sup>。著者らも試料に沱紙を用いて、対向流中の燃え拡がりを調べることにより、周囲温度や酸素濃度の影響を詳細に検討した<sup>(8)(9)</sup>。

これまでの火災に関連した基礎研究では、火災の燃え拡がりを防ぐという観点から、おもに不活性ガスなどの希釈剤が燃焼場に及ぼす影響が調べられてきた<sup>(10)</sup>。一般に可燃性固体の燃え拡がりでは、まず火災からの熱流入により固体が熱分解を起こし、その結果生じた可燃性のガスが気相で反応することにより火災

が維持される。しかし、火災が延焼していく過程において、気相中にまだ燃焼していない熱分解ガス(一酸化炭素や炭化水素など)が存在する場合には、これら気体燃料と周囲空気とが混合した雰囲気形成されることが考えられる。したがって、このような状況下での可燃性固体の燃え拡がりを解析することも防災上重要である<sup>(11)</sup>。

本研究では、可燃性固体の熱分解過程を明らかにするため、加熱炉型の熱分解装置とガスクロマトグラフを用いて、熱分解ガスの同定と定量化を行った。また、熱分解ガス中に検出された炭化水素の中で比較的発生量が多かったメタンに着目し、希薄可燃限界以下の濃度の燃料を対向する空気に添加して、部分予混合雰囲気中の可燃性固体の燃え拡がりを調べることにした。なお、試料には沱紙を用いた。

## 2. 実験装置

実験に用いた燃焼風洞はこれまでのものと同様であるのでその詳細は省略するが、燃え拡がり実験を風洞で整流した燃焼ダクト内で行うことにより、対向する混合気の流速、温度、組成を均一に変化させることが可能である<sup>(8)(9)</sup>。今回は対向する空気に燃料であるメタンを添加した雰囲気中の燃え拡がりについて検討し

\* 原稿受付 2002年6月20日。

<sup>\*1</sup> 正員, 名古屋大学大学院 (☎ 464-8603 名古屋市千種区不老町)。<sup>\*2</sup> 豊橋技術科学大学大学院。<sup>\*3</sup> 正員, 豊橋技術科学大学 (☎ 441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)。

E-mail: kazuhiro@mech.nagoya-u.ac.jp

た。ただし、混合気自身の燃焼を防ぐため、希薄可燃限界以下の燃料濃度に設定した。この火炎伝ば性のない混合気を部分予混合気と呼ぶ<sup>(11)</sup>。なお対向流速は 25 cm/s 一定とした。試料はステンレス製のホルダで燃焼ダクト内に固定し、幅 40 mm の試料の上部をニクロム線で一様に加熱し、火炎を鉛直下方に燃え拡がらせた。燃焼ダクトは長さ 200 mm、断面 80 mm×80 mm であり、燃え拡がりのようすを観察するために一部を石英ガラスとした。これまでの実験で用いた試料の特性を表 1 に示す<sup>(8)</sup>。ここで  $\delta$  と  $\rho$  は汙紙の厚さと密度であり、試料番号を A から E (東洋ろ紙社製、括弧内は製品番号) とした。これらはすべて熱的に薄い場合に相当する。ただし熱的に薄いとは、可燃性固体の燃え拡がり現象を解析的に調べる際に、固相内の温度が厚さ方向に均一と仮定した場合であり<sup>(1)</sup>、そのときは火炎の燃え拡がり速度  $V$  は  $\rho\delta$  に逆比例する (すなわち  $\rho\delta V$  は一定)。今回は単位面積当たりの重量の大きく異なる試料 B, E を用いた。

気相の温度測定は、Pt-Pt/13%Rh の熱電対を用いて行った。素線径は 50  $\mu\text{m}$  であり、熱電対の起電力は、分解能 14 bit、最大サンプリング周波数 50 kHz のカード形 A-D 変換器 (KEYENCE, NR110) を介してパーソナルコンピュータに取り込み、解析を行った。ただし、ふく射による温度補正は行っていない。

熱分解ガスの分析はガスクロマトグラフ (島津製作所 GC14-B) を用いた。試料はスライディングボード式の加熱炉型熱分解装置 (島津製作所 PYR-2A) で熱分解させる。図 1 に装置の概略を示す。炉内温度は最高 800°C まで任意に設定することが可能である。検出

器については、炭化水素の成分は水素イオン化検出器 (FID) を、それ以外の成分は熱伝導度検出器 (TCD) を用いた。ガスの定量化は、標準ガスから検量線を作成して行った。

### 3. 実験結果

**3.1 熱分解ガスの同定と定量化** 可燃性固体上を伝ばする火炎の燃焼過程において、試料が熱分解して可燃性のガスが放出れ、それが周囲の酸素と反応することで火炎が維持される。燃料を対向する流れに添加した部分予混合雰囲気中では、燃料濃度が可燃範囲以下であってもすでに燃料が火炎前方に存在するため、燃え拡がりのようすが大きく変化することが予想される。そこで燃え拡がりの実験に先立ち、熱分解過程でどんな成分のガスが生成されているのかを確かめるため、熱分解装置を用いて試料から生成される熱分解ガスの同定と定量化を行った。なお予備実験において、熱てんびんにより昇温速度や周囲雰囲気 (Air, He, N<sub>2</sub>) を変化させたときの熱重量分析と示差熱分析を行った。その結果、温度が 100°C 程度で約 10% の重量減少 (水分の蒸発) がまず見られ、350°C 前後で重量が急激に減少した。温度が 600°C では、全重量の 90% 以上が熱分解することがわかった。したがって、熱分解装置の温度を 600°C まで変化させた。

一般にセルロースの熱分解反応は複雑なため簡単には説明できないが、初期にセルロース鎖が切れてモノマであるレボグルコース (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) ができ、その後、分子量のより小さなガスが生成される<sup>(12)</sup>。まず、炭化水素の同定・定量化を行ったが、今回同定できたものは比較的低位炭化水素に限られた。これは、高級な炭化水素ほど同位体が多く、同定が難しいためである。今回は、CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, および *n*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> の 7 種類の定量化を行った。図 2 に炉内温度を変化させたときのそれぞれの生成量を示す。用いた汙紙は試料 E であり、あらかじめ 1 mm×5 mm (重量は 0.7 mg) に切り揃えたものを熱分解装置に挿入して、熱分解させた。その結果、これらの炭化水素は約 400°C 前後で生成し始め、生成量は炉内温度が増加するにつれて単調に増加した。また C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> の生成量が多く、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, *n*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> は非常に少ないことがわかった。

次に炭化水素以外の成分について調べた。今回同定できた水素、一酸化炭素、二酸化炭素を定量化した結果を図 3~図 5 に示す。H<sub>2</sub> は 400°C 付近から生成し始め、500°C 以降で急激に増加していることがわかる。しかし、その生成量は図 2 の炭化水素と比較するとか

Table 1 Physical properties of samples

No. (Sample)	$\delta$ mm	$\rho$ mg/cm <sup>3</sup>	$\rho\delta$ g/m <sup>2</sup>
A(7)	0.18	480	87
B(4A)	0.12	800	96
C(3)	0.23	490	113
D(2)	0.26	460	125
E(131)	0.25	560	140

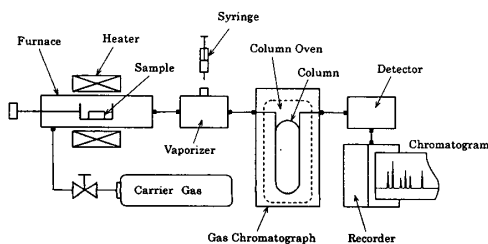


Fig. 1 Experimental setup

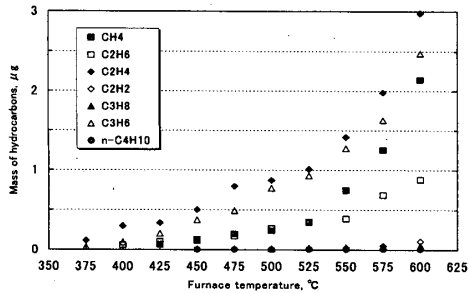


Fig. 2 Variations of mass of hydrocarbons with heated temperature

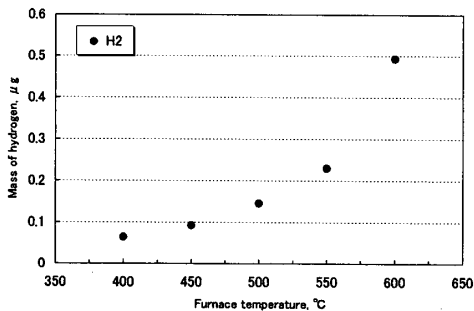


Fig. 3 Variations of mass of hydrogen with heated temperature

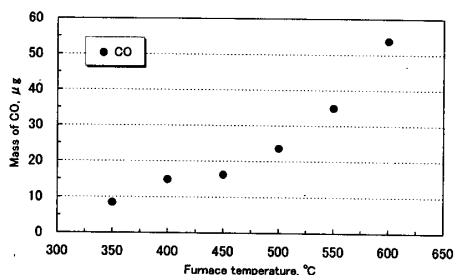


Fig. 4 Variations of mass of CO with heated temperature

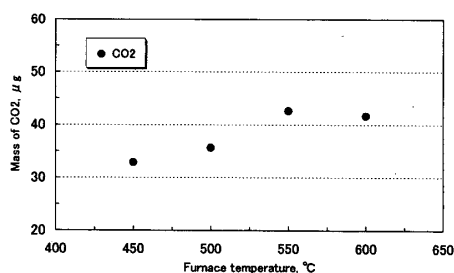


Fig. 5 Variations of mass of CO<sub>2</sub> with heated temperature

なり少ない。一方 CO は、350°C 付近から生成し始め、450°C 以降で急激に増加した。また CO<sub>2</sub> もかなり多く、炭化水素と比べるとこれらの二つの生成量が非常に多いことがわかった。

### 3.2 部分予混合雰囲気中の火炎のようす 次に、

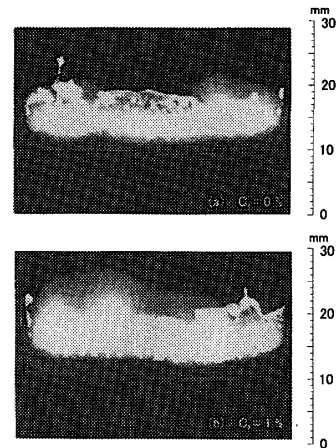


Fig. 6 Direct photograph of flames; No. E

熱分解ガス中の炭化水素のうち、比較的生成量の多いメタンを対向する空気に添加し、部分予混合雰囲気中の火炎の燃え拡がりについて検討した。まず、火炎の燃え拡がりのおよぶようすを観察した。35 mm カメラにて撮影された試料 E の火炎写真を図 6 に示す。絞りは 2.8、シャッタースピードは 1/250 であり、燃料濃度  $C_f$  (体積濃度) は 0% と 1% とした。先行する火炎の先端は青炎であるが、この青炎については火炎の二次元性が非常によいことがわかる。周囲に燃料が存在すると青炎の鉛直方向の幅が大きくなり、火炎も拡大した。実験では燃料濃度を 4% まで添加したが、燃料濃度が高いほどこの青炎の幅が単調に増加した。

また、熱分解ガスが発生する領域について検討した。図 6 の写真では明確でないが、先行する青炎の下に試料表面が褐色に変色した領域が存在する。Sato らによれば、この変色領域で熱分解ガスが発生しており、この領域の大きさが火炎の燃え拡がり速度と密接な関係にあることが指摘されている<sup>(13)</sup>。そこで、直接写真およびビデオ画像を用いて、変色領域の鉛直方向の長さを求めた。燃料濃度を变化させた場合の結果を図 7 に示す。ここでは、5 回の測定結果の平均値を示している。露光条件により変色領域の幅がいくぶん変化すること、また、測定位置により 10% 程度のばらつきはあったが、定性的な傾向を調べることは可能である。これによると、いずれの試料においても、燃料を添加することにより変色領域の長さは単調に増加した。したがって、周囲に燃料が存在すると、熱分解ガスが発生する領域は大きくなり、燃焼領域も拡大することがわかった。

**3.3 火炎の燃え拡がり速度** 次に、火炎の燃え拡がり速度について検討した。図 8 は試料 B に対し、燃料濃度がそれぞれ 0, 1, 2, 3, 4% のときの火炎位置

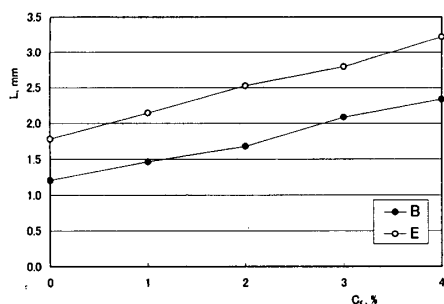


Fig. 7 Variations of pyrolysis region with fuel concentration

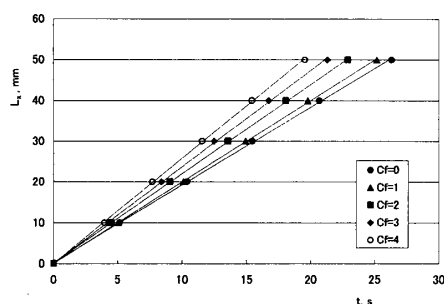


Fig. 8 Position of flame front; No. B

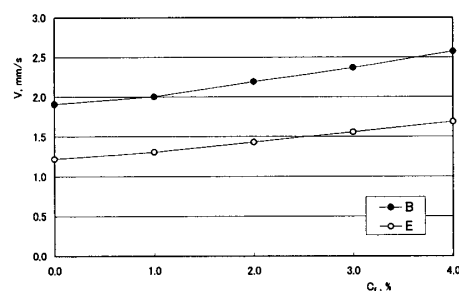


Fig. 9 Variations of flame spread rate with fuel concentration

$L_x$  の時間変化を示す。なお、着火の影響を避けるため、着火位置から下方 20 mm の位置(図の原点に相当)で測定を開始した。これによるといずれの場合も、火炎は時間とともにほぼ一定の速度で移動していることがわかる。したがって、火炎が燃え拡がっているときも周囲雰囲気の状態(対向する混合気の状態や組成)がほぼ均一になっていることが推察された。火炎の移動速度は図 8 のこう配で求められることから、燃料を添加すると燃え拡がり速度が大きくなることがわかった。

そこで、火炎位置の時間変化から火炎の燃え拡がり速度  $V$  を求め、燃え拡がり速度に及ぼす燃料添加の影響を定量的に調べた。図 9 は、試料 B, E に対して燃え拡がり速度を求めた結果である。測定は 5 回行い、その平均値を示しているが、データのばらつきは

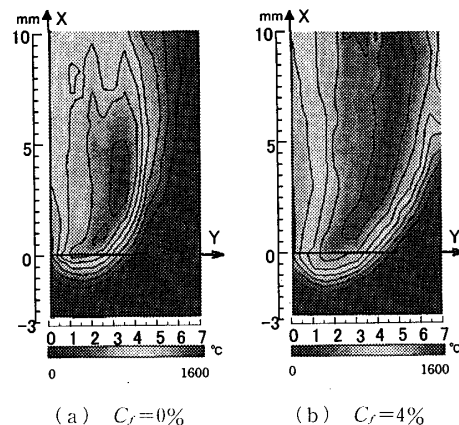


Fig. 10 Temperature distributions; No. E

小さかった。これによると、燃料濃度を増加させると、燃え拡がり速度は単調に増加することがわかった。

**3・4 気相の温度測定** 最後に、気相の二次元温度分布を求め、周囲に燃料が存在する場合の気相の温度変化について調べた。温度測定には熱電対を用いたが、複数の熱電対を挿入すると燃焼場に与える影響も相対的に大きくなることが考えられる。そこで 2 本の熱電対を用い、試料表面からの距離を変えて温度の時系列データを求めた。別々の時刻に測定した時系列データから、火炎の燃え拡がり速度を用いて時間を座標に変換することで、二次元の温度分布を作成した。熱電対が 1 本の場合は、時系列データを座標に変換する際にずれが生じる可能性があるが、2 本の熱電対のデータを重複させて同地点のデータを重ねることにより、時系列データを座標に直す際のずれを修正した。

試料 E において得られた気相の温度分布を図 10 に示す。ここでは、燃料濃度が 0% と 4% の結果を比較している。図 10 中の座標は、鉛直上方を  $X$ 、試料に垂直方向(試料表面から法線方向)を  $Y$  とし、座標の原点は試料表面の変色領域開始位置とした。 $X = -3$  mm から 10 mm、 $Y = 0$  mm から 7 mm の範囲の温度分布であり、等高線は 200°C ごとに示した。これによると燃料を添加しない場合でも、 $X = 0$  mm の変色開始位置よりも先行して温度が上昇し始めていることがわかる。ただし、燃料を添加した場合には、さらに上流側で温度が上昇し始め、高温の領域も拡大することがわかった。

次に、試料表面近くの温度を詳しく調べた。燃料濃度が 0, 2, 4% のときに、試料表面からの距離が 0 mm と 0.5 mm の位置において得られた試料 E の温度を図 11 に示す。まず、 $Y = 0$  mm (試料表面) の温度であるが、いずれの場合も  $X = -2$  mm 付近で上昇し始め、 $X = 0$  mm でいったん変化しなくなり、その後単

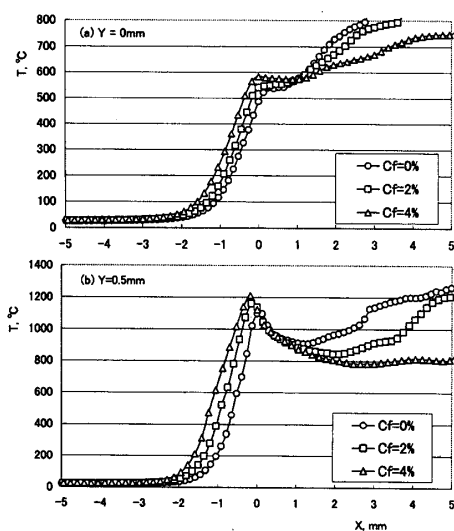


Fig. 11 Temperature distributions; No. E

調に増加した。この温度が変化しない傾向は試料 B でも見られ、Sato らも同様の温度変化を報告した<sup>(13)</sup>。Fernandez-Pello によれば、沱紙の熱分解開始温度は 345°C である<sup>(14)</sup>。今回の温度測定の結果、変色開始位置 ( $X=0$  mm) の温度は、約 550°C であったので、この変色領域よりも上流側ですでに熱分解ガスが発生していることが推察される。一方、 $Y=0.5$  mm の温度も、ほぼ同じ位置で温度が上昇し始めるが、火炎付近の温度が検出されるため、いったん最大となりその後減少した。

次に添料添加の影響を調べるため、これらの分布を比較した。その結果、 $Y=0$  mm と 0.5 mm のいずれの分布でも、燃料を添加すると温度が上昇し始める位置がわずかながら上流側に移動していることがわかった。加えて、試料表面の温度分布において、 $X=0$  mm 付近の温度がほぼ一定の領域が、燃料を添加すると大きくなった。したがって、熱分解ガスが発生している領域が拡大しているものと思われる。また燃料を添加すると、 $Y=0.5$  mm での温度の最大値もわずかに増加した。

#### 4. 考 察

可燃性固体の燃え拡がりに関する基礎的知見を得るため、試料に沱紙を用いて実験を行った。沱紙を熱分解させたときに発生するガスの同定・定量化を行った結果、炭化水素系の成分に加えて、一酸化炭素や二酸化炭素がかなり含まれていること、また微量の水素も存在することがわかった。さらに、比較的生成量の多い炭化水素であるメタンを周囲空気に添加し、部分予混合雰囲気中の燃え拡がりを調べた。その結果周囲に

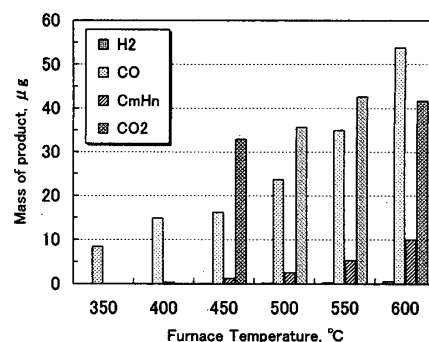


Fig. 12 Variations of mass of products with heated temperature

燃料が存在する場合は、高温の領域が拡大して熱分解ガスが生成される領域が大きくなり、燃え拡がり速度も増加することがわかった。

この燃料添加による燃え拡がり速度の増加は、Ronney らの結果と定性的に一致した<sup>(11)</sup>。彼らは、燃焼場を予混合火炎と拡散火炎の領域に分けて漸近解析を行い、現象を説明した。しかしながら、本実験のように希薄可燃限界以下の燃料しか添加していない場合は、明確な予混合火炎が形成されないため、彼らのモデルを直接適用することはできない。そこで、温度分布などの実験結果をもとに考察を行う。

まず、今回同定することができた熱分解ガスの発生量について検討する。図 12 は水素、一酸化炭素、二酸化炭素、および今回同定できた全炭化水素の生成量を、熱分解させた温度で比較した結果である。300°C 以下ではこれらのガスは検出されないが、400°C まで温度を上昇させると一酸化炭素のみが検出された。450°C 以上では、一酸化炭素と二酸化炭素の生成量が急激に増加した。一方、炭化水素の総量はそれほど多くなく、水素はかなり微量であった。

Cullis らは、おもにセルロースから成る試料を用いて、周囲雰囲気酸素濃度を変化させ、急加熱した場合に発生するガスの分析を行った<sup>(15)</sup>。それによると、酸素濃度により生成されるガスの量が異なることがわかった。特に炭化水素については、酸素濃度が高くなると排出される量が減少した。周囲に酸素が存在すると、熱分解により生成された炭化水素が周囲の酸素と反応するため、検出される量が減少する。本実験においても、試料を熱分解装置に挿入する際に空気も同時に入るため、検出された炭化水素が比較的少なかったものと思われる。Kashiwagi らは、セルロースの熱分解ガス中に含まれる可燃性ガスの発生量について調べた<sup>(16)</sup>。ここで可燃性ガス量とは、炭化水素と CO を合せた量である。その結果、発生する可燃性ガス量は、

周囲雰囲気中に酸素がない場合は試料の初期重量のおよそ23%、酸素がある場合はおよそ16%であると報告した。本研究で用いた試料において、初期に含まれていた水蒸気量を10%程度とすると、熱分解させた試料が700  $\mu\text{g}$ であるので、試料の乾燥重量はもとの重量の90%として630  $\mu\text{g}$ となる。図12によれば、温度600°Cのときの炭化水素とCOの発生量は合せて約65  $\mu\text{g}$ であるから、この値は初期重量の約10%強に相当した。したがって本実験において、分子量の大きな高級炭化水素は同定できなかったものの、熱分解により生じる可燃性ガスの定量化がある程度できたといえる。

次に、部分予混合雰囲気中の燃え拡がりについて検討する。火炎の燃え拡がりには、まず火炎からの熱流入により可燃性の熱分解ガスが放出されること、次にこの熱分解ガスが拡散により輸送された酸素と反応すること、その結果火炎帯で熱放出が起こり、再び試料に熱が輸送されること、という機構が重要となる。ただし、あらかじめ燃料を周囲空気に添加した場合、熱分解ガスがまだ十分に気化・拡散していない領域でも火炎が形成されることになるため、実験結果で示したように火炎の構造や燃え拡がり速度が大きく変化することになる。今回は詳細な温度測定を行っているので、試料への熱流入量をもとに燃料添加の影響について考察を行うことにする。

まず燃料を添加したことによる温度分布の変化であるが、火炎が形成される位置が燃料を添加することにより上流側に移動した(図10)。また図11の試料表面から0 mmと0.5 mmの位置において得られた温度においても、燃料を添加すると温度が上昇し始める位置がより上流側に移動することがわかった。ただし、このような火炎形成位置の変化に伴う温度分布の移動だけでは、燃料添加による燃え拡がり速度の増加を説明できない。

de Ris<sup>(1)</sup>は可燃性固体の燃え拡がり現象を理論的に解析した。その結果、試料が熱的に薄い範囲においては、燃え拡がり速度が予熱領域に流入する熱量と関連付けられることが示された。著者らもこれまでの研究において、予熱領域に流入する熱量  $Q$  を以下の式から見積もり、温度や酸素濃度を変化させたときの汚紙の燃え拡がりについて検討してきた<sup>(8)(9)</sup>。

$$Q = \frac{1}{2} \rho \delta w VC (T_p - T_0) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $T_0$ は試料の初期温度、 $T_p$ は熱分解温度、 $w$ は試料の幅、 $C$ は比熱 [セルロースでは1.22 J/(g·K)]である。その結果、周囲温度や酸素濃度を変え

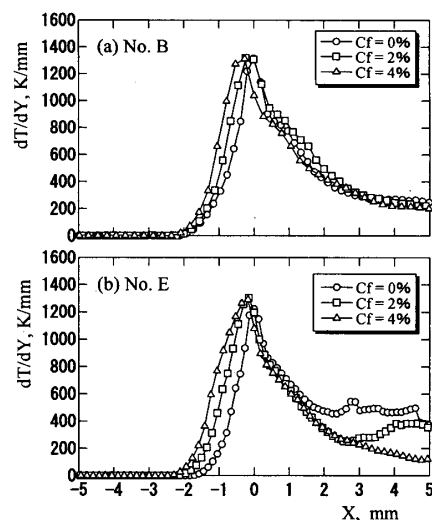


Fig. 13 Temperature gradient of  $dT/dY$

た場合の火炎の燃え拡がり速度の変化を、熱量  $Q$  をもとに説明できることが明らかとなった。

そこで本研究でも、予熱領域に流入する熱量を同式により求めた。また、詳細な温度測定を行っていることから、気相から熱伝導により予熱領域に流入する熱量  $Q_c$  を、以下の式により求めることにした。

$$Q_c = -w \int_{-\infty}^{X_p} \left( \lambda \frac{dT}{dY} \right) dX \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\lambda$ は熱伝導率であり、 $X_p$ は温度が熱分解温度に達する  $X$  方向位置である。温度こう配は予熱領域を過ぎてから値をもつことから、試料表面における予熱領域への熱流入量は、それぞれの位置での温度こう配を上流側から熱分解温度に達する位置まで  $X$  方向に積分することにより求められる。そこでまず、試料表面の温度こう配を決定する必要がある。図11では、試料表面から0 mmと0.5 mmの位置の温度を測定していることから、この2点間の温度こう配を直線で近似することにより試料表面の温度こう配を決定した。燃料濃度が0, 2, 4%のときの温度こう配を図13に示す。その結果、周囲に燃料が存在する場合には、温度だけでなく温度こう配が上昇し始める位置も上流側に移動していることがわかったが、温度こう配の値自体はそれほど大きく増加しておらず、予熱領域に流入する熱量が増加しているかどうかについては明確でない。

そこで式(2)から、熱伝導による熱流入量  $Q_c$  を計算した。試料Bの結果を図14に示す。比較のため、予熱領域に流入する熱量  $Q$  を式(1)により求め、両者の  $Q - Q_c$  の値も計算した。その結果、燃料を添加すると予熱領域に流入する熱量が増加することがわかった。ただし、熱伝導による熱流入量  $Q_c$  も同様に増

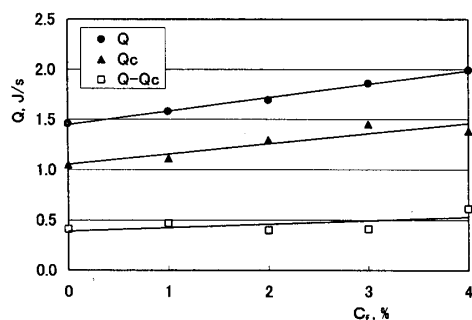


Fig. 14 Heat flow into preheat region; No. B

加していること、また  $Q_c$  の値は  $Q$  に近いことから、燃料を添加することによりおもに熱伝導による熱流入量が増加して、 $Q$  が増加したものである。ちなみにこれらの差  $Q - Q_c$  について考察すると、今回は試料表面付近の流速が小さいと考えられるため、対流による熱輸送はほとんどない。したがって、この差が熱放射により輸送された熱量であると考えられる。

以上の結果から、燃料を添加することにより、おもに試料への熱伝導による熱流入量が増加し、燃え拡がり速度が増加したことが推察された。

## 5. 結 論

可燃性固体の燃え拡がりに関する基礎的知見を得るため、試料に汚紙を用いた場合の熱分解ガスの同定・定量化を行った。また、メタンを対向する空気に添加した部分予混合雰囲気中の燃え拡がりについて検討した。それにより以下のことが明らかとなった。

(1) 熱分解ガスの同定・定量化を行った結果、炭化水素系の成分に加えて、一酸化炭素や二酸化炭素がかなり含まれること、また微量ではあるが水素も発生していることがわかった。

(2) 部分予混合雰囲気中では、燃料が存在しない場合よりも燃え拡がり速度が増加した。また、先行する青炎と熱分解領域に相当する変色領域も拡大した。

(3) 気相の温度測定を行った結果、燃料が存在することにより高温の領域が拡大すること、また、火炎

の形成位置も変色開始位置に対してより上流側に移動した。

(4) 温度分布から予熱領域への熱流入量を求めた。その結果、おもに熱伝導により予熱領域に熱が流入していた。また燃料を添加すると、予熱領域に流入する熱量が増加することがわかった。

したがって、周囲雰囲気中に燃料が存在すると、予熱領域への熱伝導による熱流入量が増加し、可燃性ガスの発生量が増えて燃え拡がり速度が増加したものである。

本研究の一部は、財団法人 谷川熱技術振興基金の助成を受けて行った。ここに記して感謝の意を表す。

## 文 献

- (1) de Ris, J. N., *Proc. Combust. Inst.*, **12** (1969), 241-252.
- (2) Fernandez-Pello, A. C. and Williams, F. A., *Proc. Combust. Inst.*, **15** (1975), 217-231.
- (3) Fernandez-Pello, A. C., Ray, S. R. and Glassman, I., *Proc. Combust. Inst.*, **18** (1981), 579-589.
- (4) Hirano, T., Sato, K. and Tazawa, K., *Combust. Flame*, **26** (1976), 191-200.
- (5) Fernandez-Pello, A. C. and Hirano, T., *Combust. Sci. Technol.*, **32** (1983), 1-31.
- (6) Di Blasi, C., *Combust. Flame*, **97** (1994), 225-239.
- (7) Suzuki, M., Dobashi, R. and Hirano, T., *Proc. Combust. Inst.*, **25** (1994), 1439-1446.
- (8) 山本和弘・森幸一・小沼義昭, 機論, **68-672**, B (2002), 2437-2443.
- (9) 山本和弘・森幸一・小沼義昭, 機論, **69-680**, B (2003), 954-961.
- (10) Zhang, Y., Ronney, P. D., Roegner, E. V. and Greenberg, J. B., *Combust. Flame*, **90** (1992), 71-83.
- (11) Ronney, P. D., Greenberg, J. B., Zhang, Y. and Roegner, E. V., *Combust. Flame*, **100** (1995), 474-483.
- (12) Lewellen, P. C., Peters, W. A. and Haward, J. B., *Proc. Combust. Inst.*, **16** (1977), 1471-1480.
- (13) Sato, K., Suzuki, K., Sakai, Y. and Segal, S., *Fire Sci. Tech., Proc. 2nd Asia-Oceania Symp.*, (1995), 161-171.
- (14) Fernandez-Pello, A. C., *Combust. Sci. Technol.*, **39** (1984), 119-134.
- (15) Cullis, C. F., Hirschler, M. M., Townsend, R. P. and Visanuvimol, V., *Combust. Flame*, **49** (1983), 249-254.
- (16) Kashiwagi, T. and Nambu, H., *Combust. Flame*, **88** (1992), 345-368.