

消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



1997 No. 4

SAPPORO FIRE SCIENCE LABORATORY

札幌市消防科学研究所

目 次

【研究論文】

- バックドラフトに関する研究（その3） 1
- ハンカチ・タオルの除煙効果に関する研究19
- 高規格救急車（トライハート）内における電子サイレン音等の騒音調査25
- アクリル樹脂について31
- 粉じん爆発について37
- 車内におけるスプレー缶の爆発危険について40

【科学情報】

- 酸素欠乏について44
- 都市ガス等の性質について47
- 航空燃料と化学熱傷について49

【業務事業実績】

- 業務実績表51
- 主な研究実績51

CONTENTS

【Research Papers】

- Research of Backdraft (No.3) 1
- Research on Smoke-proof Effectiveness of Handkerchiefs and Towels19
- Survey on Noise from Electronic Sirens in Tri-Heart State-of-the-art Ambulances25
- Combustion of Acrylic Resin31
- Dust Explosions.....37
- Risk of Explosion Resulting from Spray Cans Placed in Vehicles40

【Scientific Information】

- Deficiency of Oxygen44
- Characteristics of City Gas and Other Substances47
- Aviation Fuel and Chemical Burn49

【Table of Results】

- Table of Practical Results51
- Main Research Results51

バックドラフトに関する研究（その3）

内部観察ができる区画模型を用いた燃焼再現実験

Research of Backdraft (No. 3)

Experimental Reproduction of Combustion using Compartment Models Which Allow Internal Observation

小島 秀吉*
Kojima Hideyoshi
早坂 洋史**
Hayasaka Hiroshi
工藤 祐嗣***
Kudou Yuji

要 約

高気密性住宅の火災において発生する可能性のあるバックドラフトの発生性状を把握するため、側面に耐火耐熱ガラスを設置し、開口部を設けた区画模型を用いて燃焼実験を実施した。

この結果、急激な火炎の噴出以外に燃焼形態の異なる3種類の火炎が観測された。

また、可燃性ガスの濃度として全炭化水素の濃度、さらに成分としてメタンの濃度を測定し、実火災においてバックドラフトが発生した時の、ファイアボールによる被害の予測を行うことができた。

Summary

To understand the properties of back-draft generation which could possibly occur as a result of living room-sized fires in highly-airtight houses, combustion experiments were conducted using compartment models equipped with an opening, and fireproof, heat-resisting glass on their sides.

As a result, three flames different in their combustion conditions were observed, in addition to sudden outburst flames.

Furthermore, a concentration of total hydrocarbon was measured as combustible gas concentrations, and a concentration of methane as a component. It was possible to predict damage by fireballs during a back draft in an actual fire.

1 はじめに

高気密性住宅の火災におけるバックドラフトの発生性状を把握するため、バックドラフトに関する研究（その2）札幌市消防科学研究所報1996 No. 3（以下「前報」という。）では、内部の燃焼状況を観察できるように、側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置した区画模型を製作し、バックドラフトが発生する直前の内部火炎の状況及び燃焼速度、温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度の変化について報告した。

また、内部の可燃性ガス等がバックドラフトの発生に大きく関係していると思われること、さらに、噴出火炎の被害や爆発の威力の予測が必要であることから、今後、可燃性ガスの濃度及び成分について測定することが必要であることを報告した。

以上のことを踏まえて今回は、前報と同様に耐火耐

熱ガラスの観察窓を設置した区画模型を使用して実験を行い、内部の燃焼状況を詳細に観測しながら、温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度の他、可燃性ガスの濃度として、全炭化水素濃度、さらに成分としてメタン濃度のデータを測定することができたので、この結果を報告する。

また、この可燃性ガス濃度結果から、相似則を適用し、ファイアボールの火炎温度及び放射熱を算定して、バックドラフトが6畳間ほどの区画で発生した場合の被害予測を試みた。

なお、今回の実験は北海道大学工学部情報図形科学講座との共同研究として行ったものである。

2 実験の目的

側面に耐火耐熱ガラスを取り付けた区画模型を用いて燃焼実験を行い、バックドラフトを発生させて、内部の燃焼状況及び温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度、さらに全炭化水素濃度及びメタン濃度の変化等を把握しながら、今後に予定してい

* 消防科学研究所

** 北海道大学工学部

*** 北海道大学大学院工学研究科

る実大規模の燃焼実験に必要なデータを得るとともに、バックドラフトの発生メカニズムを解明して消火活動の安全性及び警防戦術の向上に資することを目的とする。

3 実験の内容

3.1 日 時

平成9年2月18日(火) 13時00分～16時30分

3.2 場 所

西区八軒10条西13丁目
消防科学研究所 燃焼実験室

3.3 温度及び湿度

室温24℃、湿度50%

3.4 実験の方法

(1) 実験概要

前報と同じ区画模型(写真1)で、バックドラフト発生時の内部燃焼状況を観測すると共に、区画模型内部の温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度の変化及び可燃性ガスの濃度として、全炭化水素濃度、さらに成分としてメタン濃度の変化を測定した。

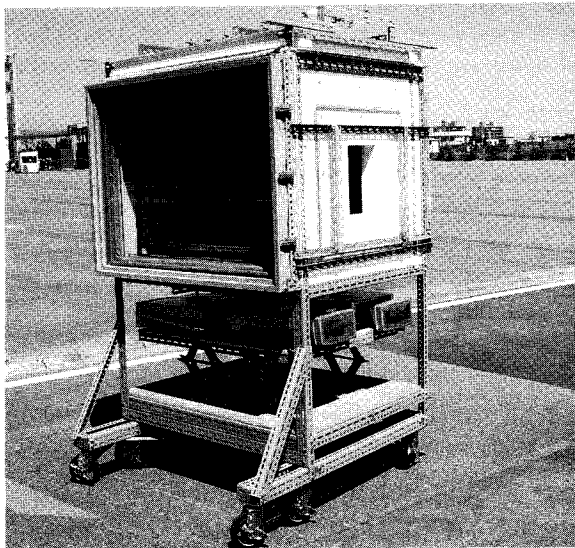


写真1 区画模型

(2) 燃焼材

前報と同様に、厚さ18mm、幅80mmのラワン材を用いて、天井部分には長さ900mmを8枚、背面壁体部分には長さ620mmを6枚、正面から右側の側面壁体部分には長さ620mmを6枚を簀子状に組み立てたものをアングル鋼材で製作した枠に固定し、区画模型内部に入れて重量測定用の支柱に載せて設置した。

なお、可燃性ガスの発生を容易にし、燃焼性を高

めるため、板材に直径10mmの穴を千鳥状に約50mm間隔で開けた。

また、燃焼材の重量は合計11.9kgであった。

(3) 点火の方法

火源として短冊状のラワン材(20mm×20mm×200mm)2.0kgを井桁状に組み(以下「クリブ」という)、その中に灯油をしみ込ませた紙と約0.5kgの木片を着火材として入れたものを2つ作成して、これらを内部背面の右隅に置きLPGトーチバーナにより点火した。

なお、内部の燃焼状況を観測するために開口部正面、また、開口部からの煙や火炎の噴出状況を観測するために真横、さらに、区画模型内部の煙や火炎の発生状況を観測するために観察窓真横に、それぞれ1台ずつビデオカメラを設置した。

3.5 区画模型の概要

(1) 寸 法

内寸は、高さH=850mm、幅W=820mm、奥行きD=1,050mmであり、開口部は前報と同様に幅200mm、高さ240mmの大きさであり、開口部の耐火耐熱ガラスは脱着式とした(図1)。

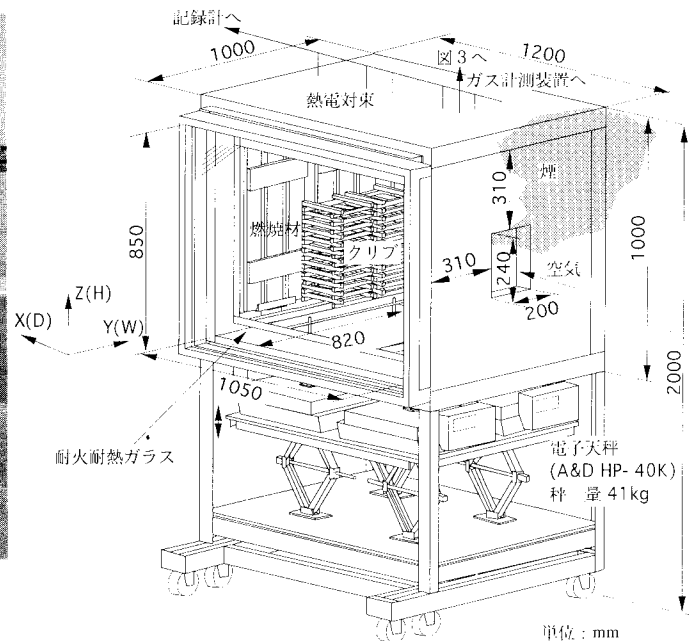


図1 区画模型外観

(2) 材 質

壁面は、耐火耐熱ボード(三菱化成(株)マフテックボード厚25mm)2枚をケイ酸カルシウム板(三菱化成(株)ダイヤセーラ厚12mm)2枚で挟んだ部材を用いて壁体及び天井とし、さらに、この部材をランバー

コア合板（幅 900mm×高さ1200mm×厚15mm）上に載せて底板として、また断熱性の確保と重量測定用鋼製枠の支柱の挿入穴からの空気漏れを防ぐため床面に耐火断熱材（三菱化成㈱マフテックブランケット厚25mm）1枚を敷いたものに鋼製アングル材を用いたキャスター付きの枠台に組上げ作成した。

さらに、開口部に向かって左側の側面には耐火耐熱ガラス（日本電気硝子㈱超耐熱結晶化ガラス・ファイアライト厚5mm、耐熱温度800℃）2枚を組み込んだ窓枠を設置して内部の状況を観察できるようにした。このガラスは、熱膨張係数が0に近く、800℃に熱して冷水をかけても割れることのない、熱衝撃強度の高いガラスである。さらに、気密性を保持するため、壁体、天井等の継ぎ目や隙間は、耐熱シーリング材やアルミテープでシールした。

3.6 温度の測定方法

区画模型内部の温度分布変化の測定は、7本のシース型K熱電対（素線径1.6mm）を130mm間隔でずらして束ねたもの8本を区画模型中心線に沿って130mm間隔で区画天井から吊るした状態で設置し、図2に示すように、合計56点（7×8=56）について測定した。

なお、各測定点の位置はH（床面からの高さを天井高さで除したもの）及びD（測定位置の開口部からの距離を区画奥行長さで除したもの）で表した。

データの収録はハイブリッドレコーダ（日本電気三

栄㈱RD3500）で1秒毎に計測し、メモリーカードに記録した。

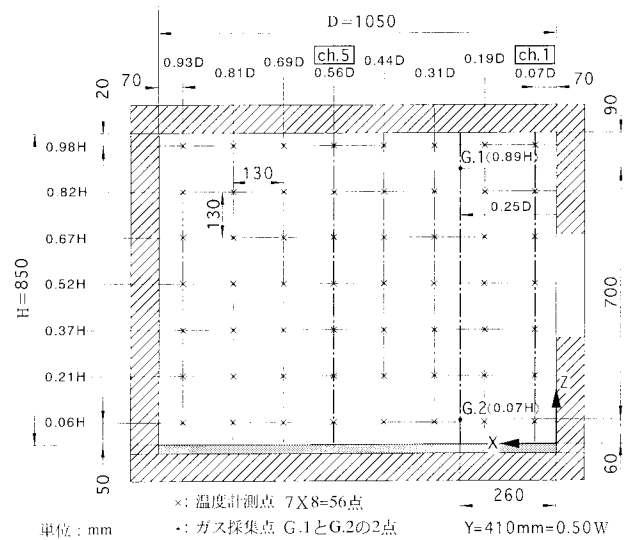


図2 測定点位置

3.7 区画模型内部のガス濃度の測定方法

区画模型内部のガス濃度変化の測定は、ステンレス製の導管（内径4mm）2本を用い、天井より吊るして図2に示すように天井付近と床付近の2か所について内部の燃焼ガスを1か所当たり毎分0.6ℓ、合計毎分1.2ℓ吸引して測定した。

吸引した内部ガスについては、図3に示すようにド

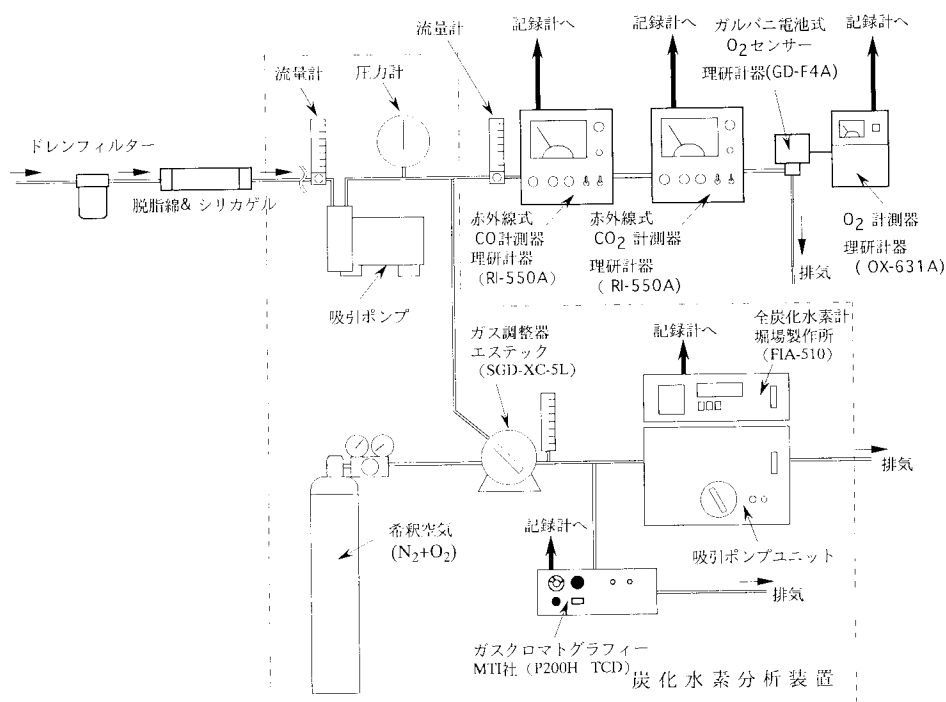


図3 燃焼ガス測定システム

レンフィルター及び脱脂綿、シリカゲルを通して凝縮水、タールなどを除去して長さ10mのテフロンチューブ（内径4mm）により各計測器に導いた。また、各計測器の出力信号はハイブリッドレコーダ（日本電気三栄㈱RD3500）で、1秒毎にAD変換してメモリーカードに記録した。

なお、各計測器の応答時間は40～60秒であった。

(1) 酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度については、ガルバニ電池式酸素計（理研計器㈱GD-F4A,OX-631A）で、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度については、赤外線式ガス分析計（理研計器㈱RI-550A）で測定した。

(2) 全炭化水素濃度及びメタンの濃度

全炭化水素濃度については、水素炎イオン化検出方式（FID）全炭化水素ガス分析計（㈱堀場製作所FIA-510）で、メタン換算濃度として測定した（写真2）。メタン濃度については、熱伝導度検出方式（TCD）ガスクロマトグラフィー（MTI社P200Hカラム：ポラプロットQ→8m、カラム温度：G.1→125℃ G.2→90℃、キャリアガス：空素 流量→3ml/分）で1分おきに測定した（写真3）。

なお、全炭化水素ガス分析計の最大測定濃度範囲が3%であり、燃焼ガス中の全炭化水素濃度が10%を超えることが予想されたため、図3に示すとおりガス調整器（㈱エステックSGD-XC-5L）で、吸引ガスを純粋空気中で5倍に希釈して測定した。

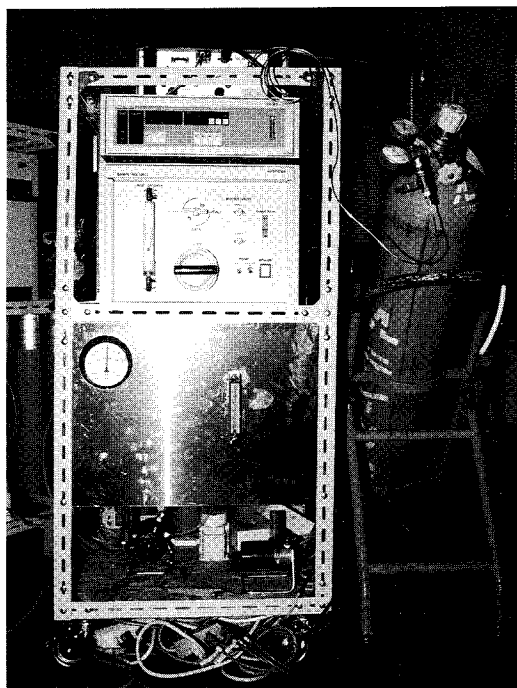


写真2 全炭化水素ガス分析計

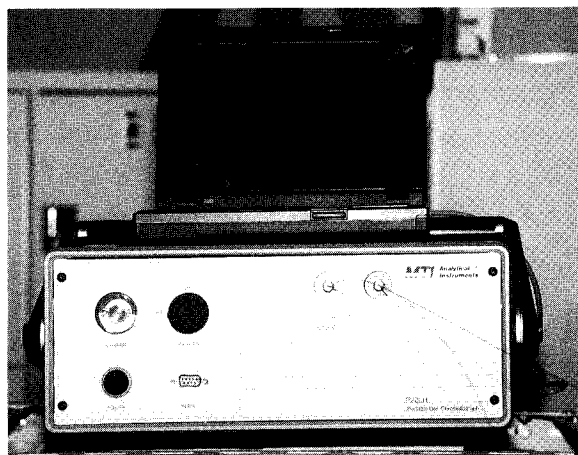


写真3 ガスクロマトグラフィー

4 実験結果

4.1 燃焼の状況経過

側面の観察窓から見た内部の状況と開口部からの煙や炎の状況経過を表1に示す。

実験の開始から終了までの約39分間に、3回の急激な火炎の噴出現象が起きた。

点火後30秒には開口部から白煙が流出し始め、時間の経過とともに次第に煙の量が増加した。

点火後7分過ぎ頃からクリブ材の燃焼が収まり始め、区画内部の中性帯部分で約2分間ほど、ゆっくりとたなびくように動く比較的暗い火炎、いわゆるゴースティング火炎が見られた（文末カラー写真4）。さらに、開口部からの煙が褐色に変化し、渦状態となり流出し始めた。

点火後10分ほどでゴースティング火炎が開口部へ延び、明るく活発に動く火炎に変化しながら、開口部から流出するが、まもなく内部の火炎が消失し、開口部からの火炎流出も止まった。

その後、無炎状態で開口部から褐色の濃煙が流出し続け、点火後19分43秒で区画内部に火炎が急激に拡大し1回目の急激な火炎の噴出が発生した（文末カラー写真5、6）。その直後、内部開口部付近に付着しているような、明るく活発に動く火炎が発生し、開口部からも激しく流出し続けた（文末カラー写真7）。

その後も開口部から火炎の流出が続いたため、点火後24分23秒で開口部を閉鎖すると、内部の火炎も消失した。その7秒後に開口部を開放すると、内部は無炎状態で開口部から煙の流出が続いた。そして、その2分30秒後に煙の色が薄くなり、さらに、その29秒後に2回目の急激な火炎の噴出が発生した。この噴出と同時に内部の火炎が消え、開口部から薄い煙の流出が続いた。さらに、点火後28分10秒で内部床面付近でゴースティング火炎が発生し、開口部から若干火炎が流出

した。その33秒後に内部開口部付近で火炎が発生し、次第に下面一面へと延び、開口部から流入する外気と押し合うように燃焼し続けた（文末カラー写真8）。この時、開口部では火炎が息継ぎをしながら激しく流出していた。そして、点火後29分57秒で内部の火炎が

消失したが、その1分11秒後に3回目の急激な火炎の噴出が発生した。その直後に、区画内部にゴースティング火炎が発生し、これが活発に動く火炎に変化しながら区画下面全体に広がり、実験終了まで開口部から薄い煙を流出させ、燃焼し続けた。

表1 燃焼の状況経過

経過時間	燃 焼 の 状 況
点火直後	クリブ中の着火材が炎を上げ燃焼する。
30秒	開口部から白煙が流出する。
2分	中性帯の部分に煙りがたなびく。
3分	クリブから炎が立上り、天井の燃焼材に達するとともに、煙の流出量が増す。
7分20秒	クリブの燃焼が緩慢となり、収まってくる。
7分50秒	クリブ周辺及び区画内部奥でゴースティング火炎が発生する。
8分	褐色の濃煙が開口部から渦状態となり流出する。
9分	内部でゴースティング火炎が天井へ延びる。
10分	さらにゴースティング火炎が開口部へ延び、明るく活発に動く火炎になり、開口部から火炎が盛んに流出する。
10分08秒	火炎が消失すると共に、開口部からの火炎の流出も止まり、褐色の濃煙が流出し続ける。
19分43秒	天井中央部から着火し、区画内部に火炎が急激に拡散すると同時に、1回目の急激な火炎の噴出。
19分45秒	内部開口部付近で明るく活発な火炎が発生し続け、開口部からも激しく火炎が流出続ける。
21分45秒	開口部を閉鎖する24分23秒まで、開口部面積を変化させて観察を行った。
24分23秒	開口部閉鎖すると同時に内部の火炎消失。
24分30秒	開口部開放、内部では火炎の発生は認められず、開口部からの煙の流出のみが続く。
26分58秒	開口部から流出する煙の色が薄くなる。
27分27秒	天井奥から着火し、区画内部に火炎が急激に拡散すると同時に2回目の急激な火炎の噴出。側壁燃焼材の崩れた部分から火炎が立上がり、奥の方でゴースティング火炎が見られ、薄い煙の流出が続く。
28分10秒	内部床面付近全体でゴースティング火炎が発生し、開口部から若干火炎が流出し続ける。
28分43秒	内部開口部付近で明るく活発な火炎が発生し、しだいに下面一面に延びて行き、開口部から流入する外気と押し合い状態となり燃焼し続ける。 開口部から火炎が息継ぎをしながら激しく流出し続ける。
29分57秒	内部の火炎が消失し、開口部から煙りが流出する。
31分08秒	天井奥から着火し、区画内部に火炎が急激に拡散すると同時に3回目の急激な火炎の噴出。直後にゴースティング火炎が発生し、側壁燃焼材の崩壊部から火炎が発生し、開口部から薄い煙が流出し続ける。
34分	開口部面積を絞る、ゴースティング火炎が開口部付近や区画奥で発生したり、又は無炎状態になったりし続ける。開口部からは薄い煙の流出が続く。
38分40秒	ゴースティング火炎が発生し続け、自然に消えない状態であり注水して消火し、実験を中止する。

4.2 火炎噴出時の内部の燃焼状況

文末カラー写真5に、観察窓より撮影した1回目の火炎噴出時の区画内における燃焼状況の分解写真を示す。撮影間隔は1/30秒であり、①から⑭まで2.1秒である。区画内中央の天井付近にゴースティング火炎が発生するが、一時消滅しそうになる(①~⑭)。しかし、再び成長し、明るさを増しながら下へ延びる(⑮~⑳)。そして白く輝く部分が区画中央部で拡大しながら右側の開口部へと急激に延びて行く(㉑~㉓)。

さらに、全体に広がった炎が明るさを減少させながら、右側の開口部へ吸込まれて行く(㉔~㉖)。

4.3 開口部からの火炎の噴出状況

文末カラー写真6に、一回目の開口部からの火炎噴出状況の分解写真を示す。撮影間隔は1/30秒であり、①から⑧まで約0.2秒である。順に見ると、火炎が開口部から勢よく噴出しており(①~②)、さらに、噴出した火炎が明るさを増しながら、外で急激に拡大しファイアボールが発生している(③~④)。さらに、発生したファイアボールが明るさを減少させながら縮小し、しわ状の火炎となる(⑤~⑧)。

4.4 区画模型内の温度変化

図4は開口部付近に設置した熱電対束ch.1(0.07D)の測定結果である。

1回目の急激な火炎の噴出前までは、床に近い測定点0.06H,0.21H,すなわち開口部下端より下の部分(以下「床面部」という。)と、その他の測定点、すなわち天井に近く開口部上端より上の部分0.82H,0.98H,(以下「天井部」という。)と、開口部に面する部分

0.37H,0.52H,0.67H(以下「中間部」という。)の温度差が比較的大きく、天井部及び中間部では滑らかに、床面部では細かく変動している。

点火後10分頃に、一旦急激に上昇し、まもなく低下したが、その2分後には全体として緩やかに上昇している。

1回目の急激な火炎の噴出によって急激な温度上昇が見られ、約2分間ほど高温状態が続いた。さらに、開口部の面積を変化させた時に、温度は一旦低下したが、火炎の噴出は止まらず、開口部の閉鎖前に温度は再度急上昇した。

点火後24分頃に開口部を閉鎖すると同時に温度は低下し始め、その3分後に2回目の急激な火炎の噴出が発生したが、温度は急激に上昇するも、それほど上がらなかった。

点火後28分頃、内部でゴースティング火炎が発生し温度が急激に上昇し始めた。

点火後30分頃に内部の火炎が消失すると、温度は急に低下し始め、特に天井部及び中間部、つまり開口部下端より上では特徴的なカーブを描いて低下し、点火後30分頃に3回目の急激な火炎の噴出が発生した。

その後、実験終了まで細かく変動を繰り返しながら高温状態となり、特に、天井部及び中間部では比較的一定温度となっている。

図5は区画中央付近に設置した、熱電対束ch.5(0.56D)による測定結果である。前報と同様に、火炎の噴出前にピークが発生し、約10分後に火炎の噴出が発生しており、開口部付近に比べて火炎の噴出後の温度上昇と変動が少なく、全体的に滑らかである。

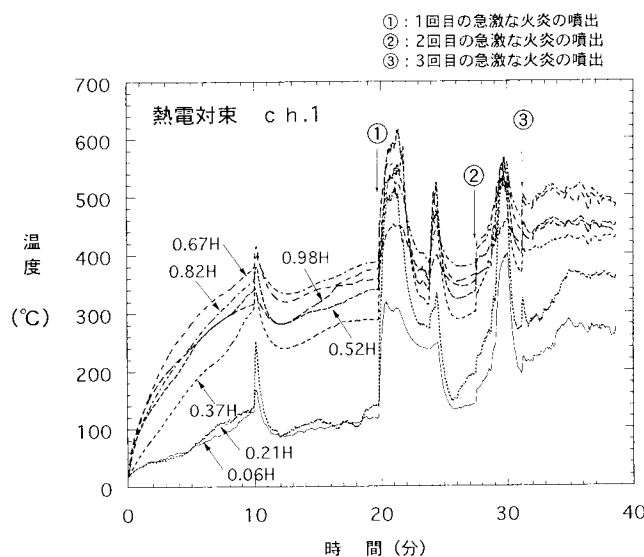


図4 温度変化(開口部付近)

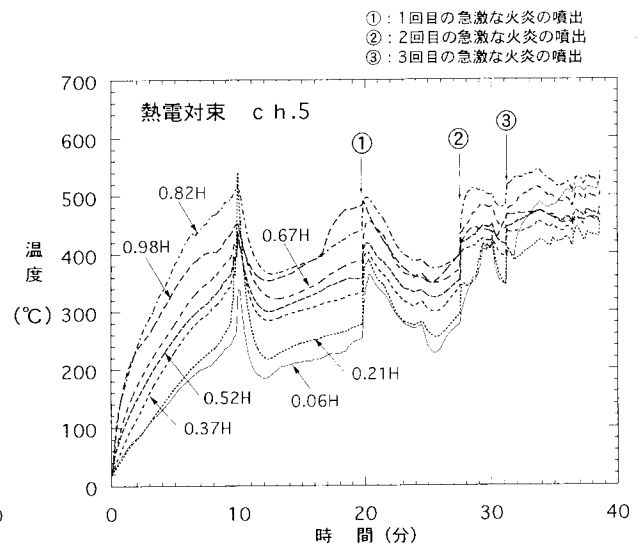


図5 温度変化(区画中央付近)

4.5 酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度の変化

図6に天井付近 (G.1:0.89H,0.25D)のガス濃度変化を示す。

各ガス濃度ともに最高で、一酸化炭素が17%、二酸化炭素が28%、全炭化水素がメタン換算で8%となった。

点火後、急激に酸素濃度が低下し、これに伴い一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度及び全炭化水素濃度が上昇し、約10分後までには酸素がほぼ0%、一酸化炭素が7.5%、二酸化炭素が24%、全炭化水素が2.5%となり、さらに、その20秒後には一酸化炭素が10%、二酸化炭素が26%にそれぞれ上昇した。

その後、火炎が消失したため酸素濃度が急速に上昇し、それに伴い、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度及び全炭化水素濃度が減少した。そして、点火後約13分から酸素濃度が減少し、他のガス濃度は増加した。1回目の火炎の噴出までこれを2回繰り返している。

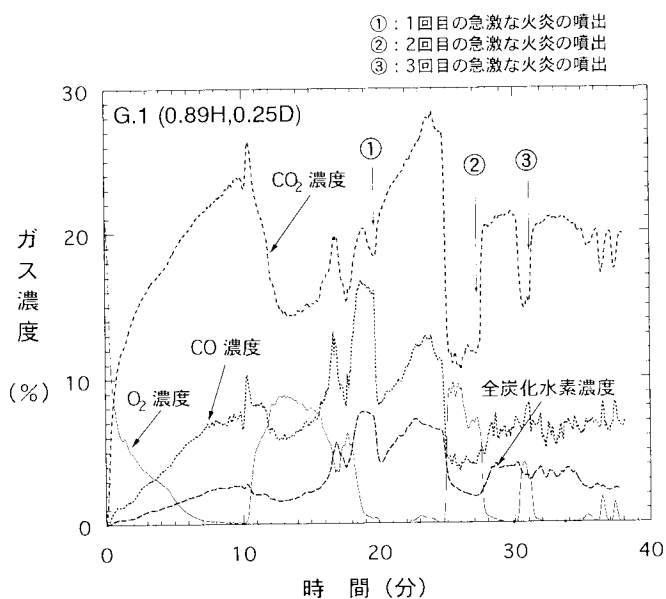


図6 ガス濃度変化 (天井付近)

図7に、床付近 (G.2:0.07H,0.25D)のガス濃度変化を示す。

天井付近と同様に酸素濃度が低下すると、他のガス濃度については増加する傾向にある。

しかし、天井付近に比べて、酸素濃度の低下は少なく1回目の火炎噴出から6分間までと、2回目の火炎噴出以降を除き、17~18%前後で変動している。また、他のガス濃度も少なく、特に全炭化水素は1%にも満たないことがわかる。

1回目の火炎噴出から約6分間ほどは、酸素濃度は

2~3%に低下し、一酸化炭素濃度は16%、二酸化炭素濃度は30%、全炭化水素濃度については5%を越えており、天井付近と同様に大きく変動している。

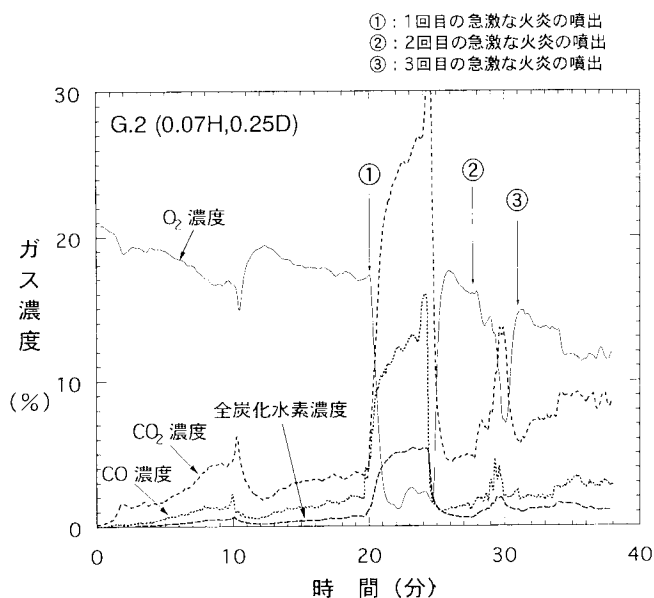


図7 ガス濃度変化 (床付近)

4.6 全炭化水素及びメタン濃度の変化

全炭化水素濃度については、燃焼ガス中に含まれる炭化水素の濃度を、炭素数が1個のメタンに換算した値である。すなわち炭素数が2個のエタンガス1%を測定すると全炭化水素濃度として2%となる。

また、メタン濃度については1分おきに測定した値である。

図8に天井付近 (G.1:0.89H,0.25D)の全炭化水素濃度及びメタン濃度の変化を示す。

全炭化水素濃度の変化に呼応してメタン濃度も変化しており、全炭化水素濃度は点火後10分までと、点火後26分から実験終了までは、2~4%の間で変動しており、メタン濃度に対して約3倍の値である。

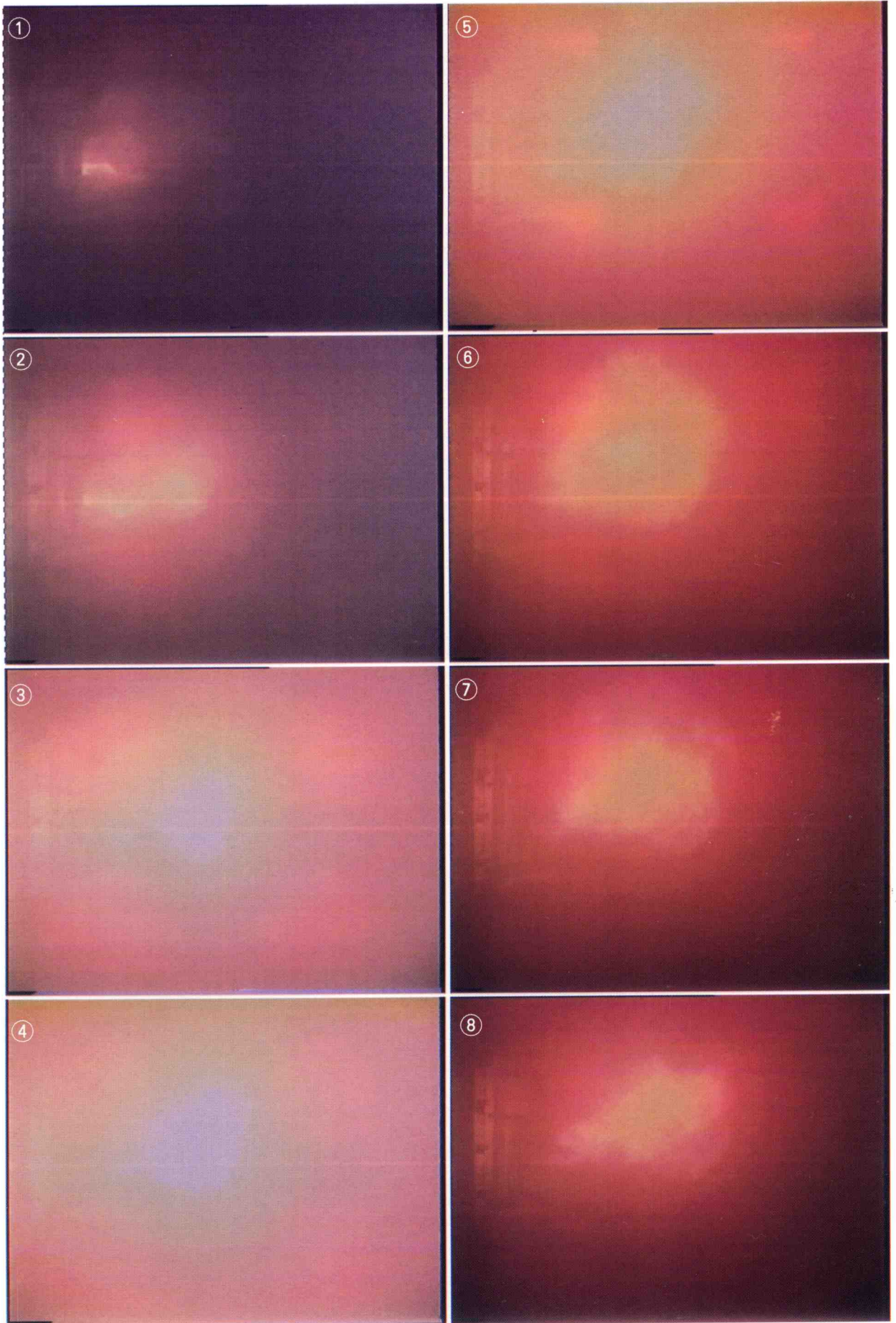
一方、大きく変動している点火後10分から26分までは、4~8%の間で変動しており、前述の2倍の値であり、メタン濃度に対しても約2倍の値となっている。

1回目の火炎噴出の2~3分前には両者ともにピーク濃度に達し、噴出後は急激に低下した。

同様に床付近 (G.2:0.07H,0.25D)の全炭化水素濃度変化を図9に示す。1回目の火炎が噴出する直前まで、天井付近に比べて濃度が低く、全炭化水素は1%未満で推移し、メタンの約3倍の濃度で変化している。

しかし、1回目の火炎噴出直後から約6分間、全炭化水素の濃度は急激に増加し、5%を越え、かつメタ

写真6 ファイアボールの発生状況 ①～⑧まで0.24秒 1コマ0.03秒



ン濃度に対して約2倍となり、天井付近（G.1）と、ほぼ同じ濃度レベルとなった。

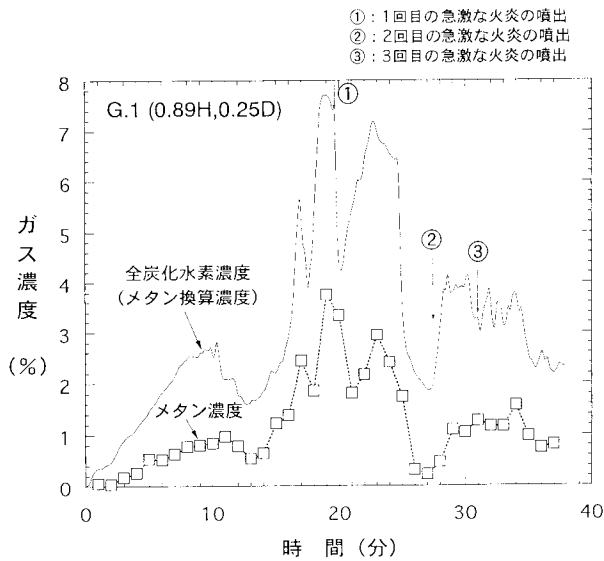


図8 全炭化水素濃度変化（天井付近）

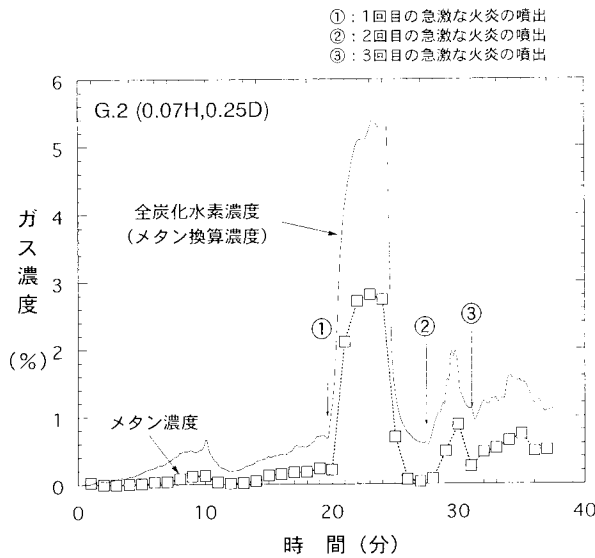


図9 全炭化水素濃度変化（床付近）

5 考察

5.1 区画模型内部の燃焼形態

前報と同様に、側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を取り付けて、区画模型内部の燃焼状況を観察しながら実験を行った。この結果、火炎の急激な噴出以外に、複数の燃焼形態が観測された。

文末カラー写真4に点火後7分過ぎ頃から区画模型内部で発生した、ゆっくりとたなびくように動く比較的暗い火炎、いわゆるゴースティング火炎の燃焼状況の分解写真を示す。撮影間隔は0.27秒であり、①から

⑧まで1.8秒である。また、開口部は各コマの右側に位置する。

区画中央床面部分で発生した火炎が開口部方向に移動するに従い明るくなるのが分かる、これは開口部に近づくに従い酸素濃度が増加していると思われる。このことから、開口部からの弱い空気の流入があることが推測できる。

やがて点火後10分頃には、火炎が開口部へ延びて、開口部から盛んに噴出するが、まもなく火炎が消えて燻焼状態となる。

点火後19分45秒に最初の急激な火炎の噴出が発生し、その直後に開口部付近で明るく活発に動く火炎が発生した。文末カラー写真7にその様子分解写真を示す。撮影間隔は0.27秒であり、①から⑧まで1.8秒である。また、開口部は各コマの右側に位置する。

これを見ると火炎が明るさを変えながら、開口部を塞ぐように活発に動く状態が分かる。明るさが変化していることから、開口部から空気の流入があることが推測できる。

文末カラー写真8に、2回目の火炎が噴出した後で、点火後28分43秒に発生した、開口部から流入する外気と押し合うように動く火炎の分解写真を示す。撮影間隔は0.17秒であり、①から⑩まで5.4秒である。また、開口部は各コマの右側に位置する。

これを見ると、開口部付近で発生した火炎が、渦を巻きながら底部に沿って区画中心部へと発達し、消えかけてはまた発達するという状態を周期的に繰り返している。

これは区画内部の高温ガスの圧力と、流入する外気の圧力とのバランスが変化することにより、区画内部に流入する空気の勢いと流入量が変化し、可燃性ガスが燃焼し火炎が生じる部分、すなわち、酸素濃度が燃焼範囲内にある部分が広がったり、縮小したりして火炎の大きさが変化していると考えられる。

今後、開口部からの空気の出入りや、区画内部の圧力変化を測定して内部の燃焼状態との関係を解明する必要があると思われる。

5.2 火炎噴出時の内部の燃焼状況

この実験では、3回の火炎噴出が発生した。文末カラー写真5に、この3回の中で一番強かった1回目の火炎噴出時の、区画内の燃焼状況の分解写真を示す。撮影間隔は1/30秒であり、①から⑩まで2.1秒である。また、開口部は各コマの右側に位置する。

これを見ると区画内中央の天井付近から何らかの着火源により小さな火炎が発生し、0.3秒間ほど拡大せず燃焼する（①～⑩）。その後、消えかけるが再び明

るさを増しながら内部全体に拡大し、火炎中心の明るく輝く高温部分が下方へ成長していく状況がよく分かる(12~14)。さらに、明るく輝く部分が区画内中央で横方向に拡大し、開口部から急激に噴出しているのが分かる(14~16)。これは、明るく輝く高温部分からの熱放射を受け、区画内の可燃性ガスに引火しながら、急速に火炎が伝播して行くものと考えられる。

5.3 開口部からの火炎噴出による被害予測

文末カラー写真6では、開口部から噴出した火炎と可燃性ガスが周囲の空気に触れ、さらに燃焼拡大しながらファイアボールを形成しているのが分かる(3~5)。

区画模型の大きさが、6畳間のはぼ3分の1であることから、今回の実験結果に相似則を適用し、6畳間規模の区画でファイアボールが発生した場合の被害予測を行う。

なお、バックドラフトの発生による被害としては、爆風やファイアボールの高温火炎及び放射熱によるものが考えられるが、爆風に関しては相似則の適用が難しいため、今回はファイアボールの火炎温度及び放射熱について算定を行った。

(1) ファイアボールの火炎温度の算出

本実験においては、区画模型内上層の一酸化炭素濃度および全炭化水素濃度を測定している。ここで未燃ガスが開口部より噴出するまで酸化されないものと考え、これを開口部からの噴出ガスの濃度として計算を行った。また、開口部からのガス噴出速度及び噴出時間は、過去の実験結果¹⁾より15m/秒、1秒間とした。ただし、この噴出速度はピーク値であるので、図10のような速度履歴を持つものと仮定し、式(1)から噴出ガスの質量を求めた。

$$m_{out} = \rho A V_{out} \cdot \frac{1}{2} t_{out} \quad (1)$$

ここで、 m_{out} は噴出ガスの質量 (kg)、 ρ は噴出ガスの密度 (kg/m³)、 A は開口部面積 (m²)、 V_{out} はガスの噴出速度 (m/秒)、 t_{out} はガスの噴出時間 (秒) である。

今、開口部から噴出したガスが区画模型の外で完全燃焼し、ファイアボールを形成するとすれば、ファイアボールの発生によって発生する熱量は、式(2)により算出される。

$$Q_c = \Delta H_{lco} \cdot Y_{co} \cdot m_{out} + \Delta H_{lthc} \cdot Y_{thc} \cdot m_{out} \quad (2)$$

ここで、 Q_c は燃焼発熱量 (kJ)、 ΔH_{lco} 、 ΔH_{lthc} は一酸化炭素及び炭化水素の低発熱量 (kJ/kg_{fuel})、 Y_{co} 、 Y_{thc} は一酸化炭素及び炭化水素の質量分率である。ただし、未燃炭化水素の成分はすべてメタンであるとした。

図11に示すように、ファイアボールを一樣な球形の要素と仮定し、質量収支及び熱収支を考える。

質量収支からは、噴出したガスと反応する外気の合計が燃焼ガスとなるものと考え、式(3)が得られる。

$$m_{burnt} = m_{out} + m_{air} \quad (3)$$

ここで、 m_{burnt} は燃焼ガスの質量 (kg) であり、 m_{air} は反応する空気の質量 (kg) で式(4)で求められる。

$$m_{air} = \frac{1}{2} m_{out} \cdot \frac{1}{0.235} Y_{co} + 2 m_{out} \cdot \frac{1}{0.235} Y_{thc} \quad (4)$$

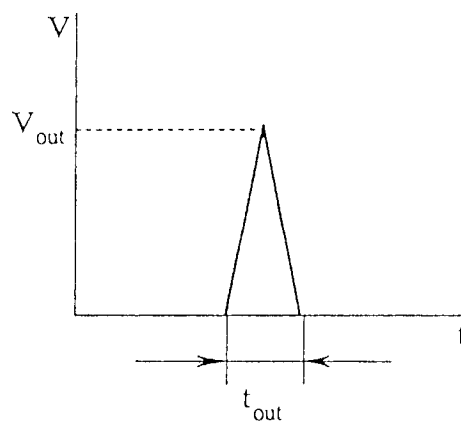


図10 速度履歴 (噴出速度の時間変化)

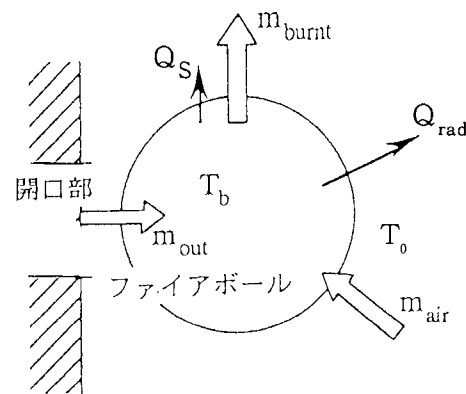


図11 ファイアボールの質量収支と熱収支

また、熱収支からは、式(5)が得られる。

$$Q_c = Q_{rad} + Q_s \quad (5)$$

ここで、 Q_c は燃焼発熱量(KJ)、 Q_{rad} は放射によりファイアボール外へ伝えられる熱量(W)、すなわちファイアボールが発散する放射熱量で式(6)により、また、 Q_s は燃焼ガスが持ち去るエンタルピー(W)で式(7)により求められる。

$$Q_{rad} = \varepsilon_F \sigma (T_b^4 - T_0^4) A_s \quad (6)$$

ここで、 ε_F は火炎の放射率、 σ はStefan-Boltzmann定数 (W/m^2K^4)、 T_b はファイアボール火炎温度(K)、 T_0 は周囲温度(K)、 A_s はファイアボールの表面積(m^2)である。

$$Q_s = C_p m_{burnt} \cdot (T_b - T_0) \quad (7)$$

ここで、 C_p は燃焼ガスの比熱 ($kJ/kg/K$)である。

式(5)に式(2)、(6)、(7)を代入し、二分法を用いてファイアボールの火炎温度 T_b を算出する。これに相似則³⁾を適用して、6畳間規模の実火災におけるファイアボールの火炎温度を求める。

このようにして求めた火炎温度は1062°Cとなり、これは長谷川ら³⁾によるファイアボール火炎温度の測定値(877°C~1247°C)にほぼ近い値である。

(2) ファイアボールの放射熱の算出

温度 T_b 、火炎半径 r のファイアボールから距離 L にある物体が受ける放射熱、すなわち放射強度は、式(8)により求められる。

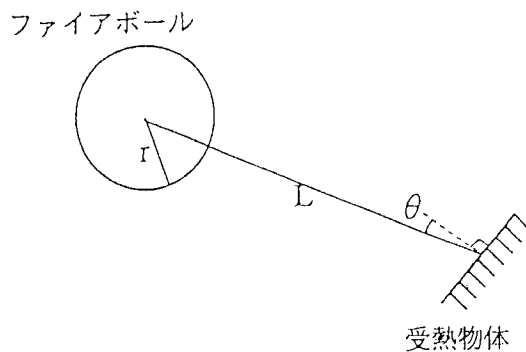


図12 ファイアボールと受熱物体の幾何学的構造

$$E = \varepsilon_F \varepsilon_M \sigma (T_b^4 - T_0^4) F \quad (8)$$

ここで、 E は放射強度 (W/m^2)、 ε_F は火炎の放射率、 ε_M は物体表面の放射率、 F は火炎と物体の形態係数で、ファイアボールと受熱物体が図12のような幾何学的構造を持つときには、式(9)により求められる。

$$F = \left(\frac{r}{L}\right)^2 \cos\theta \quad (9)$$

いま、放射強度が最大となる場合、すなわち $\varepsilon_F = \varepsilon_M = 1$ 、 $\theta = 0^\circ$ の時の、ファイアボールからの距離ごとにおける放射強度を計算し、図13に示す。

図13には、文献4)~7)から引用した各状況における放射強度を、目安として併記した。これによると、ファイアボールが発生した場合、開口部から3~4m以内にいる場合は、火炎に直接暴露した場合とほぼ同等か、それ以上の放射熱を受けることとなる。

また、10m以上離れた場合でも、木造家屋の実大火災実験において、火災家屋から4m離れた位置での測定値より高い放射強度となり、短時間ではあるが通常の火災より強い放射熱を受けることになる。

このことから、ファイアボールの発生が予想される場合、放射熱に対し、噴霧注水を行うなど十分注意して消防活動を行う必要がある。

一方、通常防火設計の際に人間の耐放射熱限界の目安とされる $2.4kW/m^2$ まで放射強度が低下するのは、ファイアボールから15m以上離れた場合であり、バックドラフト等によって発生したファイアボール

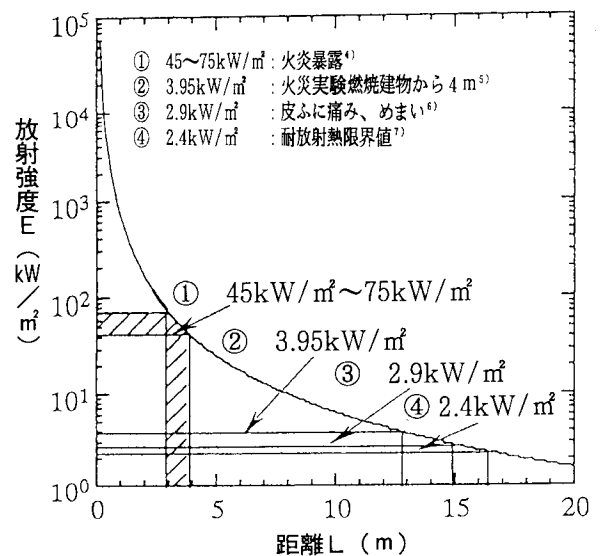


図13 ファイアボールからの放射強度

からの放射熱の被害が広範囲に渡る可能性があることが示された。⁸⁾

実際にバックドラフトが発生した事例⁹⁾においても、放射熱による影響は15m程度離れた地点でも見られ、本予測の妥当性を示すものと考えられる。

5.4 全炭化水素及びメタンの濃度変化

図8、9を見ると、1回目の急激な火炎噴出の発生前後において、天井付近 G.1と床付近 G.2の濃度変化が異なることが分かる。すなわち、発生前に天井付近では急に増加しながら、直前にピーク濃度に達しているが、床付近では1%未満の低い濃度で徐々に増加している。さらに、発生後は天井付近では急激に減少しているが、床付近では急激に増加して、両方4~5%の濃度値となっている。

このことは、図6、7を見ても理解できるが、火炎噴出発生前までは区画模型内部のガスが中性帯を境に層状に分布していたのが、発生後は内部ガスが燃焼等により攪拌され均等な分布になったものと思われる。

全炭化水素中のメタンが占める割合の変化であるが、天井付近では、ゴースティング火炎が発生して開口部から火炎が噴出する点火後約10分から点火後約26分までは約50%がメタンで、それ以外の時間には約30%である。

一方、床付近では、火炎噴出の発生前まで約30%であり、発生後は50%である。このように、割合として2種類の値しかとらないというのも興味深い。

一般的に木材の熱分解ガスにおいて、温度が高くなるほどメタンの割合が高くなる¹⁰⁾。したがって、火炎噴出の発生前までは、温度の異なるガスが上下方向に層状に分布しており、天井付近においては、発生の約10分前から高温の可燃性ガスが滞留していたと推察される。

また、メタンの割合として2つの値しか示さないということは、区画内の温度状況がほぼ一定であり、大きく分けても無炎か有炎の状態しかないためと考えられる。

6 まとめ

観測された、区画模型内部の温度変化、ガス濃度変化、及び燃焼状況から以下の結果が得られた。

6.1 区画模型内部の燃焼形態

火炎の急激な噴出以外に、燃焼形態が異なる3種類の火炎が観測された。

- (1) 区画模型内部を、ゆっくりとたなびくように動く、比較的暗い火炎（ゴースティング火炎）。

- (2) 急激な火炎の噴出直後に発生した、開口部を塞ぐように燃焼する火炎（開口部付着火炎）。
- (3) 開口部から流入する外気と押し合うように、区画模型内部で活発に動く火炎。

6.2 開口部からの火炎噴出による被害予測

開口部からの火炎噴出状況及び可燃性ガスの濃度測定結果から、バックドラフトが6畳間ほどの区画で発生した場合の被害予測を試み、以下の結果が得られた。

- (1) 開口部から噴出した火炎と可燃性ガスは、周囲の空気に触れ、急激に燃焼拡大しながらファイアボールを形成する。
- (2) ファイアボールの火炎温度が1000℃以上となることが予測できた。
- (3) ファイアボールからの放射熱は、10m以上離れた場合でも、火災家屋から4m離れた位置での測定値より高い放射強度となり、短時間ではあるが通常の火災より強い放射熱を受けることが予測できた。

6.3 全炭化水素及びメタンの濃度変化

可燃性ガスの濃度として全炭化水素（メタン換算値）及び、この中に含まれるメタンの濃度を測定した。

- (1) 全炭化水素濃度は、最大で天井付近は8%近くまで達し、床付近は5%を越えた。
- (2) 全炭化水素中のメタンが占める割合は約30%と約50%の2つの値であった。
- (3) 区画模型内部のガスが中性帯を境に層状に分布している場合は、可燃性ガスは、主に上層に滞留している。
- (4) 天井付近において、火炎噴出発生直前にピーク値を示し、発生後は急激に減少した。

7 あとがき

耐火耐熱ガラスの観察窓から、区画模型内部の燃焼状況を詳細に観測しながら、温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度のほか、可燃性ガスの濃度として、全炭化水素の濃度、さらに成分としてメタンの濃度のデータを測定することができた。

そして、この結果から実火災においてバックドラフトが発生した時の、ファイアボールによる被害の予測を行うことができた。

また、火炎の急激な噴出以外に、3種類の燃焼形態が異なる火炎が観測された。特に、開口部を塞ぐように燃焼する火炎（開口部付着火炎）については、過去に米国で3人の消防士が殉職した事例¹¹⁾¹²⁾で報告されている。

以上のことから、ファイアボールの発生が予測さ

れる時は、噴霧注水等により保護水幕を作るなど、十分に注意することが必要である。

また、気密性の高い建物、可燃物の種類や量が多い場合、消火作業が長時間に及ぶ場合など、火災の状態が急変することを踏まえ、消防活動を行うことが大事である。

さらに、消防隊の進入口、排煙口の開削などにより建物内部への空気流入が変化し、火災の状態が急激に変化する可能性があるため、吸気と排気を十分考慮し、各隊が連携し、消防活動を行うことが重要である。

今後は内部の圧力変化や、開口部からの空気の入りに着目しながら、開口部の位置や大きさ、また、燃焼材の量や取り付け位置などを変化させて、バックドラフト発生の有無や内部の燃焼状況にどの様に影響するかなど検討し、さらには実大規模の実験を行っていく予定である。

また、これらの研究成果を基に、消防活動の安全性や警防戦術の向上及び機械器具の開発等に向けて研究を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 小島秀吉「バックドラフトに関する研究」札幌市消防局 消防科学研究所報 No.2 (1995) P1～P10
- 2) 江守「模型実験の理論と応用(第2版)」P225技報堂出版(1988)
- 3) K.Hasegawa et al.,The Proc. 2nd Int.Symp. on Loss Prev.(1978)
- 4) 渡部「サーマルマネキンを用いた防火衣の火炎暴露実験(その1)」消防研究所報告 消防庁消防研究所 No.66 (1989.9)
- 5) 川越「日本火災学会研究発表会概要集p32(1977)
- 6) 長谷見ほか「火災時における人間の耐放射限界について」日本火災学会論文集Vol.31No.1(1981)
- 7) 例えば建築学大系・建築防火論(改訂増補版)P448彰国社(1970)など
- 8) 小島秀吉「粉じん爆発について」札幌市消防局 F S L情報 No.2 (1995)
- 9) 村上「新興海陸運輸倉庫爆燃火災の概要」火災 Vol.28 No.2 (1978)
- 10) 東京消防庁消防科学研究所監修「火と煙と有毒ガス」東京法令出版(株)
- 11) Bukowski,R.W., "Modeling Backdraft",NFPA Journal,89-6,pp.85-89,1995
- 12) 財団法人消防協会編集「ほのお」1996,3号

写真4 ゴースティング火炎 ①～⑧まで1.8秒 1コマ0.27秒

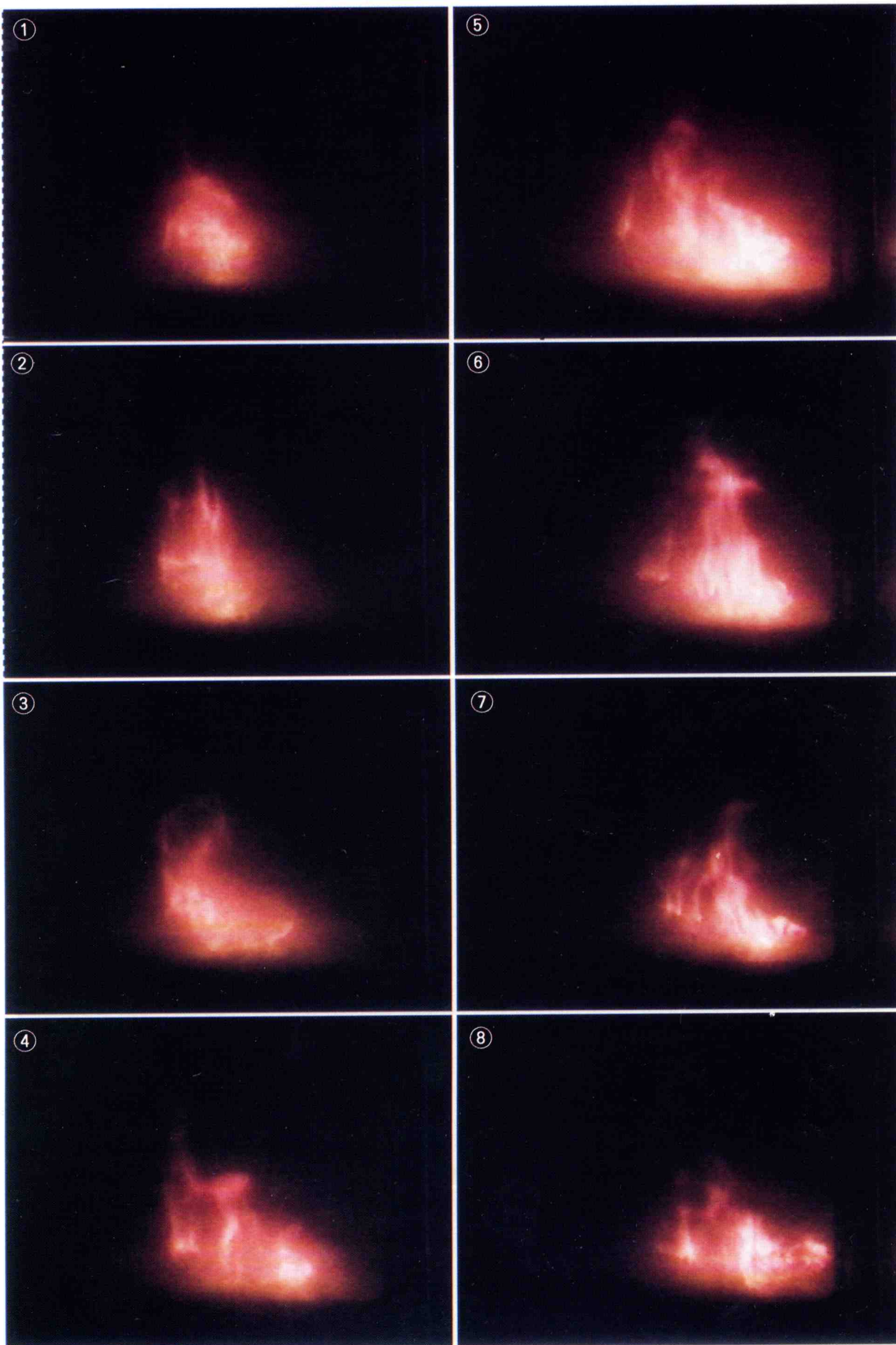
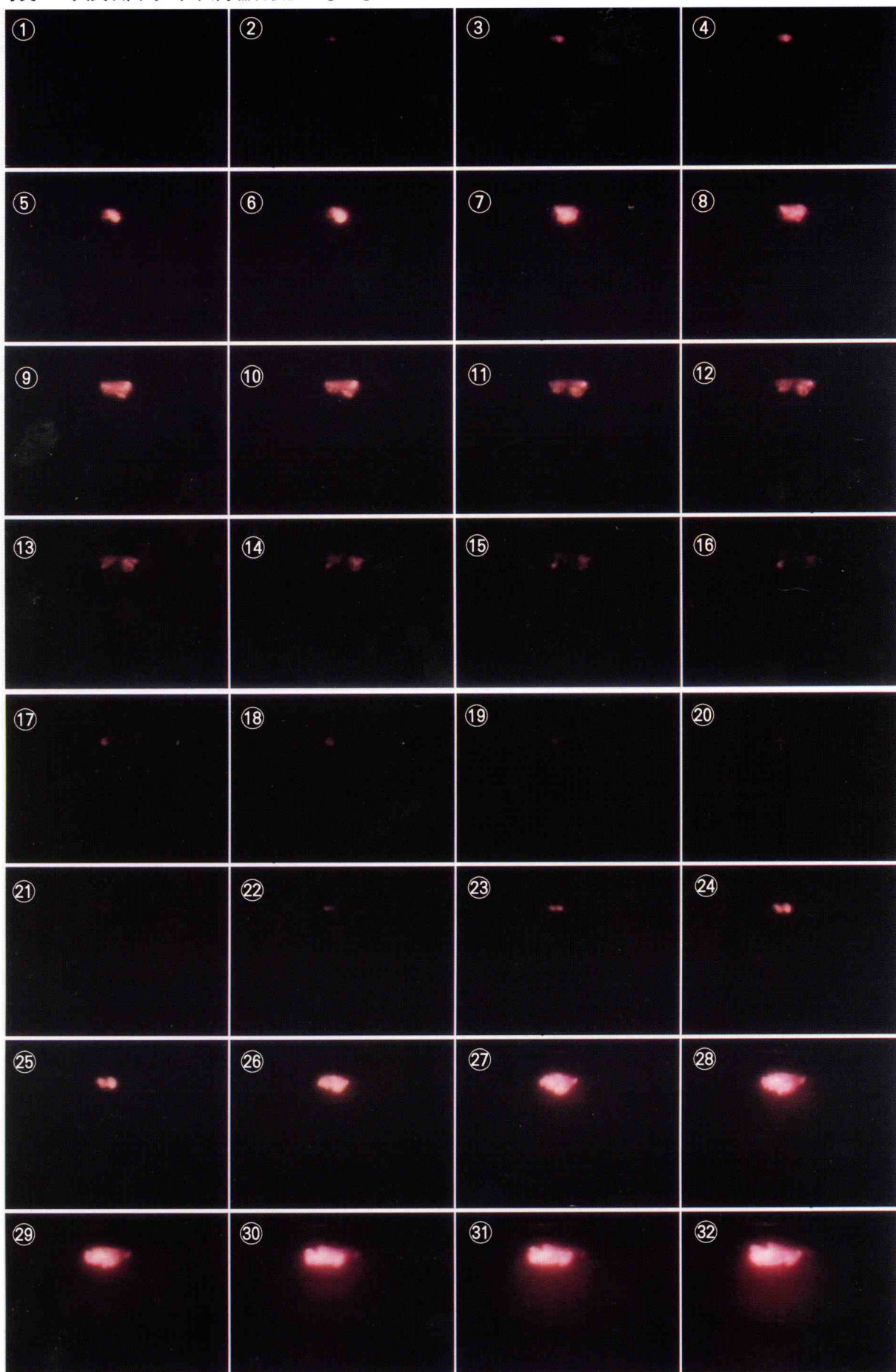


写真5 火炎噴出時の区画内燃烧状况 ①~④まで2.1秒 1コマ0.03秒



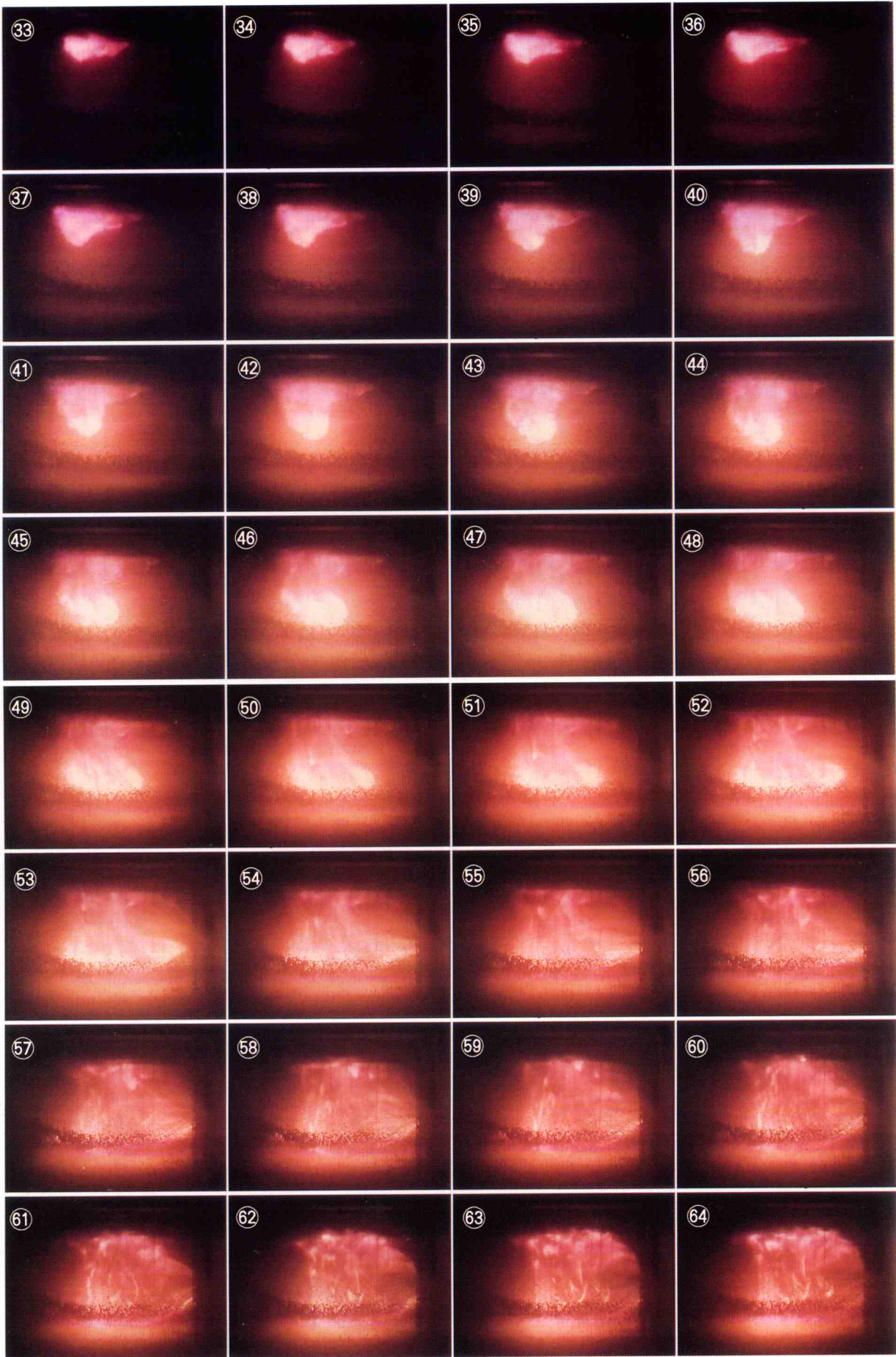


写真7 開口部付着火炎①～⑧まで1.8秒 1コマ0.27秒

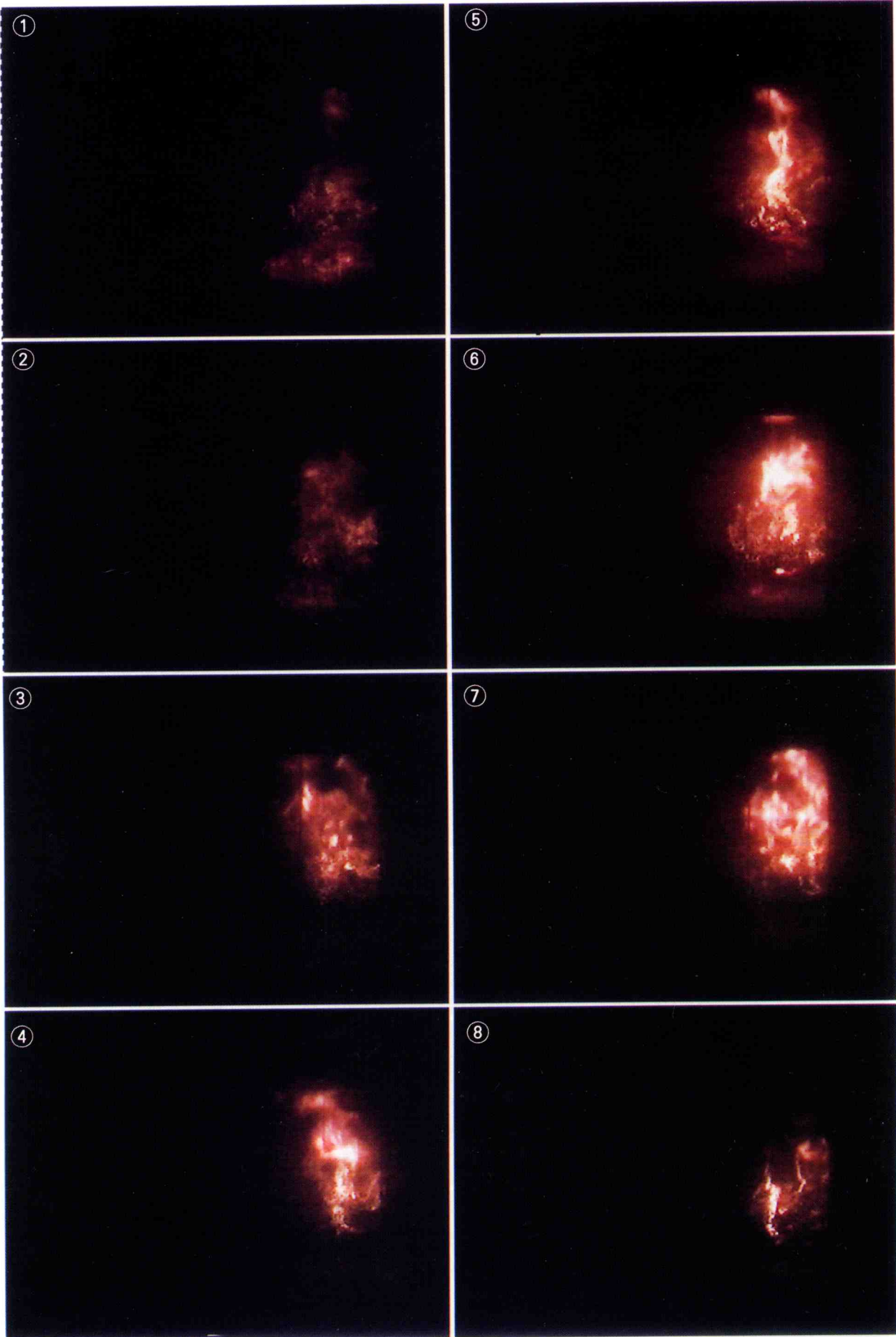
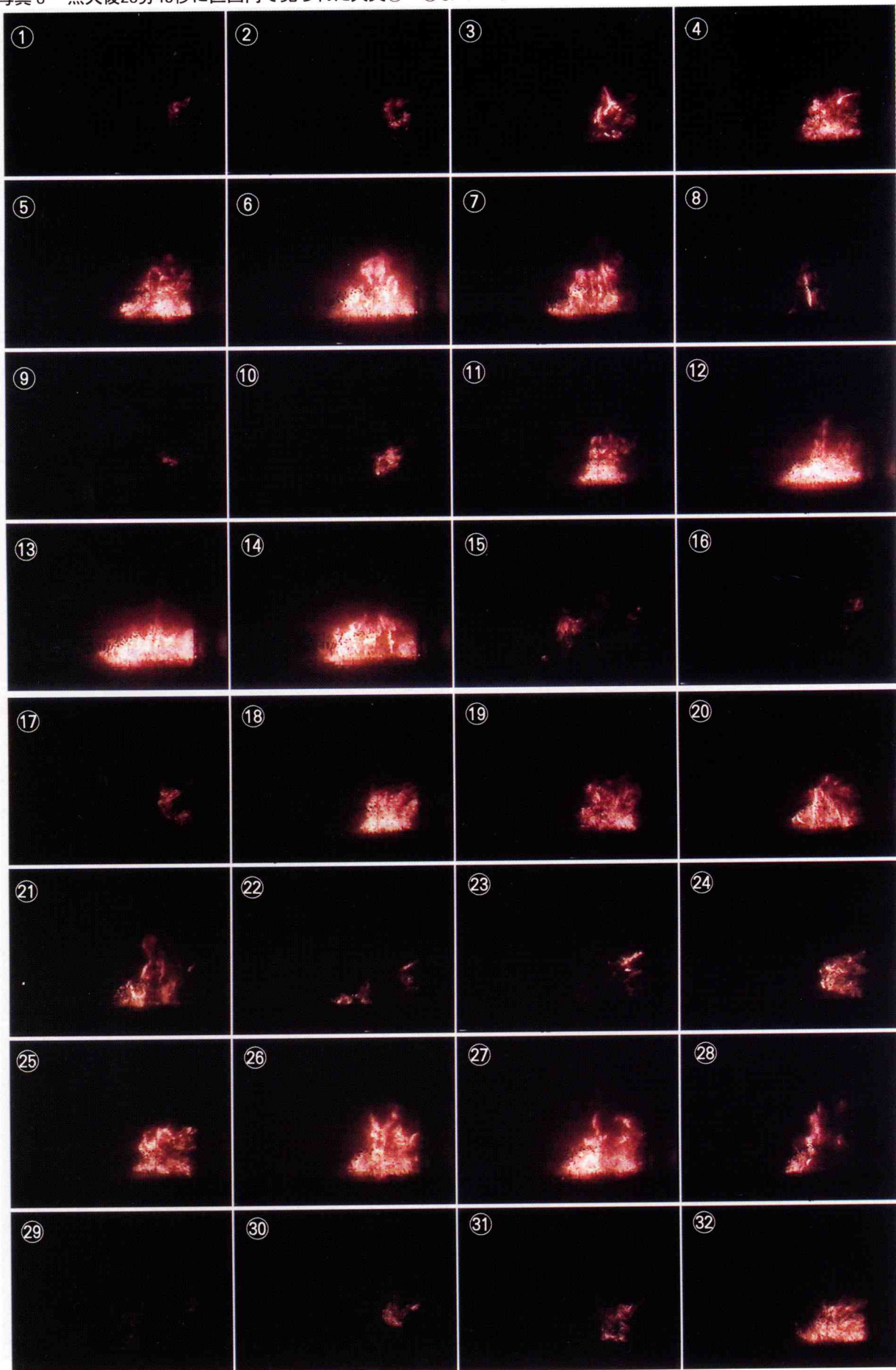


写真8 点火後28分43秒に区画内で見られた火炎①～⑳まで5.4秒 1コマ0.17秒



ハンカチ・タオルの除煙効果に関する研究

Research on Smoke-proof Effectiveness of Handkerchiefs and Towels

小島 秀吉*

Kojima Hideyoshi

要 約

火災で避難する際、ぬれタオル等で口を覆うことにより、除煙効果があることが一般に周知されている。ところが水でぬらした場合に、折り重ねの回数や、布の織目の粗さ等によって、呼吸ができない場合があるのでは、という問題が提起された。このため消防科学研究所では、ぬれタオルの除煙効果を検証するために実験を行った。この結果、織目の荒いタオルを折り重ねて使用した場合は、水にぬらさなくても有効であること。また、ハンカチなど織目の細かい布は、水でぬらした場合は、通気性が悪く息苦しくなるため実用的でないことが確認できた。

Summary

It is widely known that when people evacuate fire disasters, covering their mouths with wet towels or other materials is an effective smoke-proof measure. The question was raised that breathing might be prohibited depending on the number of folds or coarseness of the cloth. Given this, the Fire Science Laboratory conducted an experiment to verify the smoke-proof effectiveness of wet towels. The results suggested that coarse folded towels were effective even when they were not wet. It was also found that fine materials such as handkerchiefs were not practical when wet, because their poor permeability would make breathing difficult.

1 はじめに

火災で避難する際、ぬれタオル等で口を覆うということが、従前から広く普及しているが、当局でも各種パンフレットやチラシ類で、煙の中で避難する時は、タオルや衣服をぬらして口にあて、できるだけ煙を吸わないようにするよう指導・広報をしている。

ところが「乾燥状態のタオルでも煙は除去できるのではないか」といった問い合わせが寄せられたり、また、水でぬらした場合や折り返し回数、布の織目の粗さによって、呼吸が出来ない場合があるのではないかという問題が提起された。

このため消防科学研究所では、ハンカチとタオルについて、ぬれた状態と乾燥した状態の除煙効果、冷却効果、通気性について比較検証するため、実験装置を作製し実験を行ったのでその結果について報告する。

2 実験の内容

2.1 日 時

平成8年4月3日(木) 10時00分～19時00分

2.2 場 所

西区八軒10条西13丁目 消防科学研究所開発室

2.3 温度及び湿度

室温25℃, 湿度50%

2.4 実験の方法

写真1及び図1に示すアクリル製の風洞装置を用いて実験を行った。

タオル及びハンカチを、風洞装置中央部分のフィルター取付部に挟み込み、煙発生部において煙や高温の空気を発生させながら、吸引ポンプにより毎分40ℓで煙吸引部に吸引して、煙の発生部と吸引部との煙濃度変化、気圧差、温度変化から除煙効果、通気性能、冷却効果を検証した。

煙濃度変化及び通気性能については、煙発生部で線香2gを燃やしながら、フィルター前後の煙濃度を煙

* 消防科学研究所

濃度計で、気圧差をマンメータで測定して、それぞれの変化を見た。

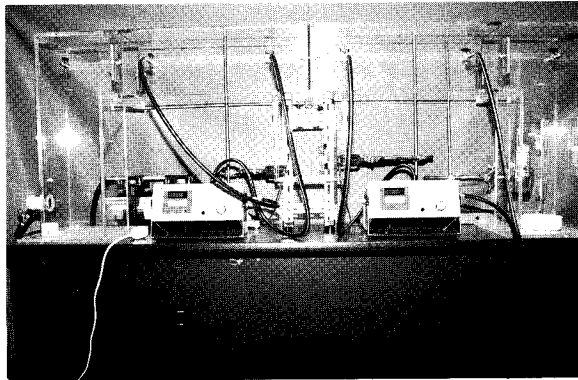


写真1 実験装置

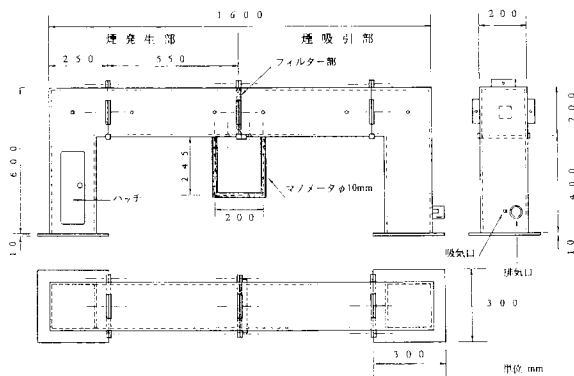


図1 風洞装置

温度変化は、煙発生部からヘアードライヤーで70℃の空気を送り、フィルター前後の温度を熱電対で測定し変化を見た。

なお、タオル及びハンカチは市販のものを用いた。

また、火災時の避難において8枚重ねが限度と思われることから、それぞれ乾燥状態及び水で湿らした状態（水が垂れない程度に絞る。）で、2枚重ね、4枚重ね、8枚重ねの場合について評価した。

2.5 実験装置

実験装置として厚さ10mmの亚克力板を用いて図1及び写真1に示す内寸180×180mmの風洞装置を作製した。

装置はフィルター取付部（写真2）をはさんで、煙発生部及び煙吸引部からなる構造とし、内径10mmのマンメータを設け、それぞれに内径4mmの一方式コックをつけた空気の吸引口3カ所及び内径2mmの熱電対挿入口1カ所を設けた。

さらに、煙発生部の基部には高さ300×幅100mmのハッチを設け、また吸引口基部には吸引ポンプにつながる内径7mmの吸気口及び測定終了後に装置内部の煙を排

気するための、内径40mmの排気口を設けた。

また、フィルター開口部の寸法は、フィルターの除煙効率が空気の流速に影響され、通気抵抗は流速の二乗に比例することから、人間が口で呼吸する時の空気の流速が得られるように決定した。

すなわち、被験者による測定から、呼気量を1秒間に1,134mlとし、また口鼻の面積を10cmとした時の平均風速は113.4cm/secとなった。そして吸引ポンプの吸引量が40ℓ/minであることから同じ流速を得るためには、フィルターの開口面積は5.87cm²となり、開口部寸法を2.4cm四方とした。

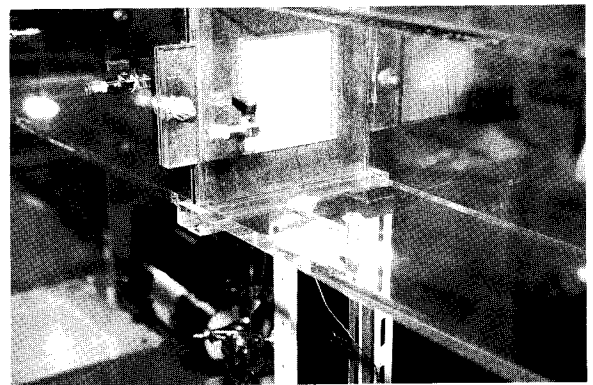


写真2 フィルター取付け部

2.6 実験手順

(1) 通気性能及び除煙効果

通気性能については、発煙部で線香2gを1分間燃焼させた後、2分間煙を拡散させてから、吸引ポンプにより毎分40ℓで20秒間吸引しながら、マンメータにより発煙部と吸引部との差圧を測定した（写真3）。

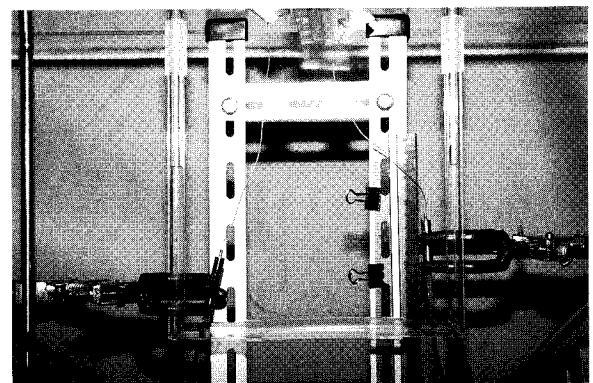


写真3 マンメータ

また、除煙効果については、吸引後に煙濃度計（日本カノマックス(株)光散乱式デジタル粉塵計 MODEL3411）により煙発生部と煙吸引部の煙の重量濃度（mg/m³）を同時に3分間測定した平均値により求めた（写真4）。



写真4 光散乱式デジタル粉塵計

(2) 冷却効果

煙発生部において、ヘアードライヤーで70℃の温風を送りながら前述と同様に吸引ポンプで吸引し、フィルター前後（煙発生部と煙吸引部）の温度をシーズ型K熱電対（素線径1.6mm）で測定した。

3 実験の結果及び考察

除煙効果、通気性能、冷却効果は、それぞれ以下の数値により評価した。

除煙効果については、煙発生部における、ポンプ吸引前の煙濃度に対する吸引後の煙濃度割合を除煙率とした。

通気性能については、息苦しさを我慢できる限界の差圧は50mmH₂O以下であると言われて¹⁾ことから、差圧が50mmH₂Oを超えるものは評価外とし、差圧が0mmH₂Oであれば1、50mmH₂Oであれば0となるように、50mmH₂Oに対する差圧の割合を1から引いて通気率とした。

冷却効果については、煙発生部の空気温度70℃が煙吸引部で何度下がったかで評価した。

以上の結果を表1に示した。

表1 実験結果（数値が高いほど効果がある）

		除煙率			通気率			低下温度		
		2枚重	4枚重	8枚重	2枚重	4枚重	8枚重	2枚重	4枚重	8枚重
タオル	乾燥	0.73	0.83	0.79	0.60	0.36	0.12	7℃	7℃	10℃
	水ぬれ	0.66	0.75	0.83	0.56	0.0	0.0	42℃	42℃	43℃
ハンカチ	乾燥	0.50	0.71	0.79	0.36	0.08	0.0	4℃	7℃	5℃
	水ぬれ	—	—	—	測定不能	測定不能	測定不能	—	—	—

※1 除煙率=吸引後の煙濃度÷吸引前の煙濃度：煙発生部
 ※2 通気率=(50mmH₂O-水頭差)÷50mmH₂O：但し、水頭差が50mmH₂Oを超えるものは通気率を0とする
 ※3 低下温度=温度70℃の空気を煙発生部から送った時の、煙吸引部での温度低下

なお、水ぬれハンカチについては重ね枚数に関わらず、マンメータの測定限界150mmH₂Oを超え測定でき

なかったため、通気性がないとし評価外とした。

このことから、ハンカチのような織目の細かい布については、水分が表面張力により、繊維の間に水膜を形成し通気を阻害していると考えられる。

図2に各種類別の重ね枚数による除煙効果の比較を示した。

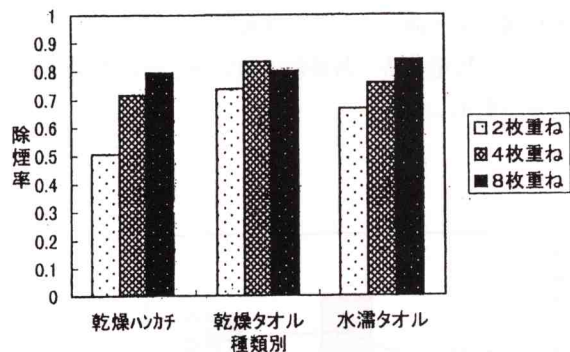


図2 種類別による除煙率の比較

乾燥ハンカチ、水ぬれタオルについては重ね枚数の増加に伴い除煙率も増加している。

乾燥タオルは、8枚重ねに比べ4枚重ねの方が若干高く、また、2枚重ねにおいても0.7の値を超えている。

全般的にハンカチよりもタオルが、しかも乾燥タオルの方が除煙効果が高い。

このことは、ハンカチの繊維（写真5、6）に対してタオルの繊維（写真7、8）には毛羽立ちが多数あり、煙の粒子がこれに付着し除煙効果が高くなるためと思われる。

また、水ぬれタオルより乾燥タオルの方が除煙効果が高いのは、水分により繊維の毛羽立ちがなくなり間隙が大きくなったり、又は繊維の含水率が上がり湿度が増大し、帯電性が低下したりして、煙粒子が付着しづらくなったためと考えられる²⁾。

図3に重ね枚数ごとの種類別による除煙効果の比較を示した。

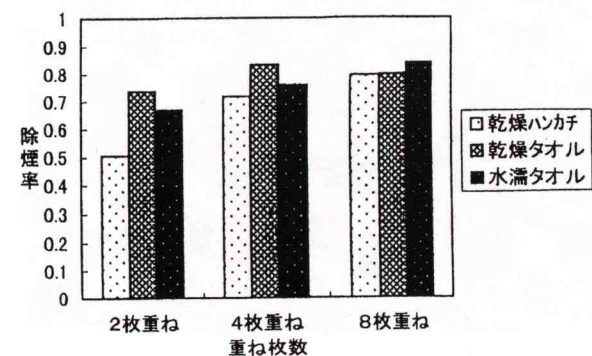


図3 重ね枚数による除煙率の比較

2枚重ね、4枚重ねともに乾燥タオルの除煙効果が
高く、8枚重ねにおいては乾燥ハンカチ、乾燥タオル
がほぼ同じで、水濡れタオルがこれらより若干上回っ
ている。

各種類とも4枚重ね以上であればそんなに変わらな
値を示し、特に、乾燥タオルは2枚重ねから高い除煙
効果を示している。

次に通気率の違いについて考察する。

図4に2枚重ね時の各種類の通気率と除煙率を比較
したものを示した。

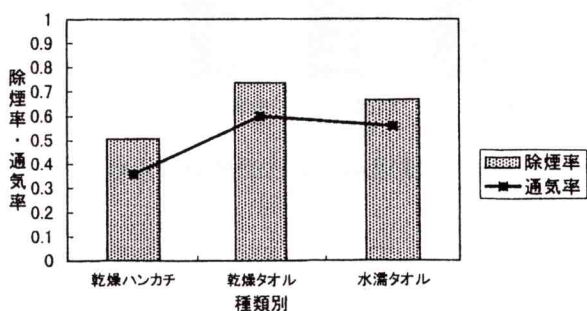


図4 除煙率と通気率の比較 (2枚重ね)

通気率については乾燥タオル、水ぬれタオルがほぼ
0.6近くの値であり、乾燥ハンカチは0.36であり、除
煙率も通気率とよく対応して変化している。

同じく図5に4枚重ね時を示した。

重ね枚数の増加に伴い、乾燥タオルは2枚重ね時の
約半分、その他ではかなり低下し水ぬれタオルでは0
となり、息苦しさを我慢できる限界を越えてしまった。

さらに、図6の8枚重ね時では乾燥ハンカチも同様
に息苦しさを限界を越えてしまい、乾燥タオルも0.1
近くまで低下した。

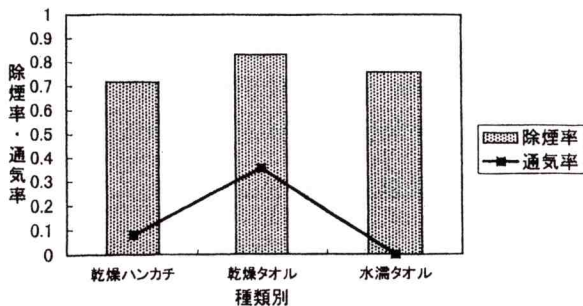


図5 除煙率と通気率の比較 (4枚重ね)

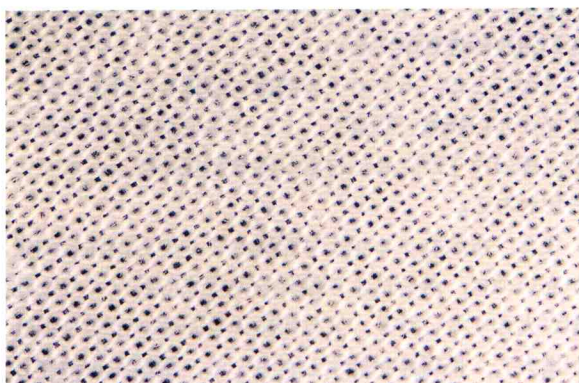


写真5 ハンカチの表面 (10倍)

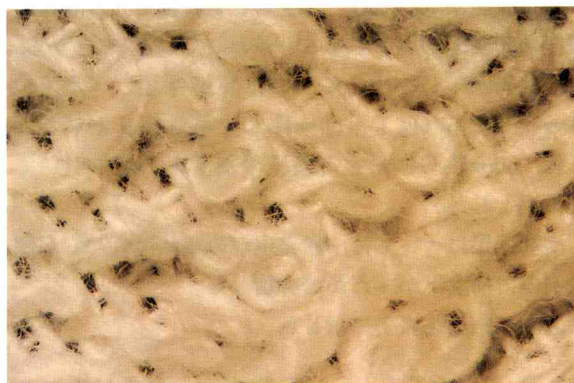


写真7 タオルの表面 (10倍)

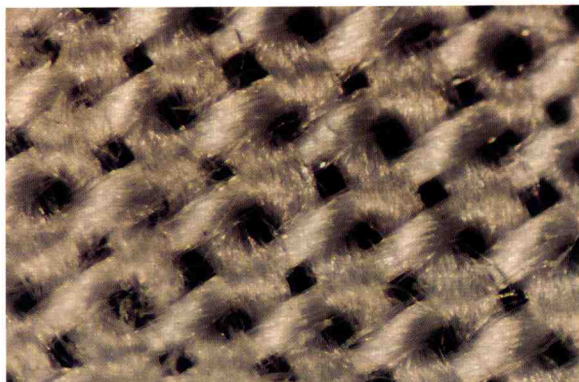


写真6 ハンカチの繊維 (63倍)



写真8 タオルの繊維 (63倍)

また、除煙率については、図5の4枚重ね時と比べて乾燥ハンカチと水ぬれタオルについては若干増加しているが、乾燥タオルでは逆に、わずかに減少している。

この乾燥ハンカチと水ぬれタオルの除煙率の増加は、通気率の低下すなわち空気を通さないことにより、煙の粒子が織目を通らず移動しないためであると考えられる。

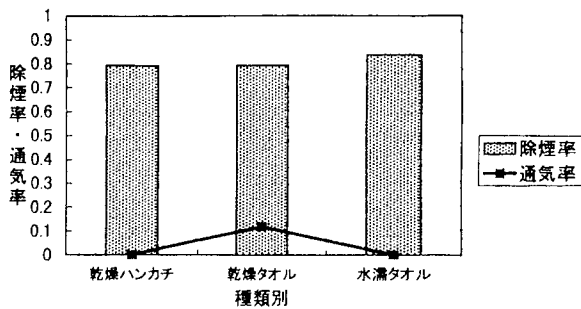


図6 除煙率と通気率の比較 (8枚重ね)

図4から図6を通して見ると、種類によらず重ね枚数を増やしても、通気率の低下に比べて除煙率の増加は少なく、息苦しくなるだけで除煙効果はそんなに上がらないことが分かる。

図7に各種類の冷却効果の比較を示した。

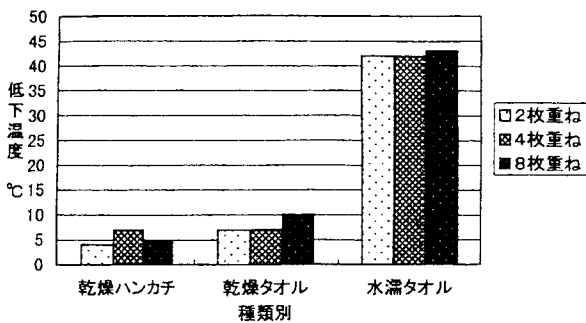


図7 種類別による温度低下効果の比較

乾燥ハンカチと乾燥タオルは、ほとんど冷却効果は見られず、これに対して水ぬれタオルの温度低下は著しく、重ね枚数及び種類によらず水ぬれによる冷却効果が顕著に見られる。

すなわち、水でぬらすことが、吸気温度を下げて呼吸を楽にし、精神的に安心感を与え³⁾、火災時の熱気に対して有効であることが分かる。

4 まとめ

この実験から次のことが確認できた。

① 水ぬれハンカチについては、2枚、4枚、8枚重ねのいずれも通気性が悪く、息苦しさの限界を超えてしまう。

ハンカチや日本手拭いなど、織目が細かく繊維に毛羽立ちがない布は水でぬらすと、どんなに固く絞っても通気性がなくなることから、火災時の避難用には適さないことが確認できた¹⁾。

② 水ぬれタオルの4枚、8枚重ね、及び乾燥ハンカチの8枚重ねは非常に息苦しい。

除煙率については最高で0.8から0.9であり、通気性を考慮すると、乾燥タオルの2枚、4枚重ね、水ぬれタオルの2枚重ねが適当である。

また、乾燥ハンカチの2枚重ねは除煙率が低いが使用できると思われる。

③ 理想的には乾燥タオルの2枚、4枚重ねで、熱気に対して考慮すると水ぬれタオルの2枚重ねが適当であると考えられる。

火災においては多種の有毒ガスが発生するが、早期に致死濃度に達するガスとして一酸化炭素とシアン化水素が一般的であり、特に一酸化炭素は発生量も多く危険性が高い(表2)。

今回、火災時に発生する有毒ガスに対しての実験評価を行わなかったが、これら有毒ガスに対してタオル等の除去効果はほとんど期待されず、水でぬらした場合でも水溶性のアンモニア、硫化水素、塩化水素、シアン化水素に対して効果は認められるが、水に不溶性の一酸化炭素に関しては、除去できないことが報告されている^{1) 3) 1)}。

表2 火災における床面積1㎡当たりの発生ガス、及びその発生量(耐火建築物、事務所と比較的可燃物の多い状態)

発生ガス	発生量(ℓ)	(%)
CO 一酸化炭素	36.2	21
CO ₂ 炭素ガス	134.9	78.4
HCl 塩化水素	0.8	0.5
NH ₃ アンモニア	0.11	0.06
HCN シアン化水素	0.053	0.03

5 あとがき

今回の実験から、織目の荒いタオルを折り重ねて使用し、通気抵抗を減らすため、通気面積が大きくなるように口や鼻にあて、一瞬たりとも絶対に離さないこと。また、水でぬらさなくとも除煙効果があることが分かった。

特に、火災時の避難を考えると、水でぬらすため洗面所などを捜そうとして手間取り、避難の機会を失うよりも、どんな布でもいいから口と鼻にあて、一刻も早く避難することが重要である¹⁾。

【参考文献】

- 1) 神 忠久「ぬれタオルの除煙効果について」火災学会誌 Vol 31(1981) P26～P30
- 2) 静電気学会「静電気ハンドブック」オーム社
- 3) 小方義信, 大山繁之「ぬれタオルのガス吸着について」東京消防庁 消防科学研究所報12号(1975) P79～P83
- 4) 鈴木 唯一朗, 武田 松男, 稲村 武敏, 田中 康之「火災現場における燃焼ガスの採取・分析について」東京消防庁 消防科学研究所報26号(1989) P45～P52

高規格救急車（トライハート）内における電子サイレン音の騒音調査

Survey on Noise from Electronic Sirens in Tri-Heart State-of-the-art Ambulances

伊藤 潤*
Itoh Jun
山内 正勝**
Yamauchi Masakatu
鈴木 重夫***
Suzuki Shigeo

要 約

救急車内では、電子サイレン音やエンジン音など様々な音が傷病者、傷病者の関係者及び救急隊員などへ影響を及ぼしている。そこで、高規格救急車（トライハート）内におけるこれらの音の実態を把握した。

この結果、今後の騒音対策の基礎データを蓄積することができた。

Summary

Noise from electronic sirens and engines of ambulances affect the patients, attendants and rescue workers inside. Examinations were conducted to determine the actual noise conditions in a Tri-Heart state-of-the-art ambulance.

As a result, we were able to collect basic data for future countermeasures for such noises.

1 はじめに

救急車内では電子サイレン音やエンジン音など様々な音が傷病者及び救急隊員へ影響を及ぼしている。さらに、緊急走行中は一般車両にその接近を知らせるため、トライレンも併せて吹鳴させているので、救急車内の騒音はますます大きくなっている。

そこで、今回は、本市が開発導入した高規格救急車（トライハート：ディーゼルエンジン車）について、これらの音の実態を把握し、今後の騒音対策の基礎データを蓄積するために調査を実施した。

2 調査の概要

(1) 調査車両

高規格救急車 トライハート（ディーゼル車）

(2) 調査年月日及び場所

平成8年11月4日 10時00分～17時00分

(3) 調査内容

現在、本市に配備されている高規格救急車（トライハート）について、患者収容室内及び運転室内の

適当な場所を設定し、音圧及び波形を測定する。

(4) 調査項目

停車時（アイドリング中）及び40km/h走行時における車内騒音状況

ア サイレン吹鳴のみ

イ サイレン吹鳴で冷房時

ウ サイレン吹鳴で暖房時

エ サイレン・トライレン吹鳴のみ

オ サイレン・トライレン吹鳴で冷房時

カ サイレン・トライレン吹鳴で暖房時

(5) 使用資器材等

騒音機、データアナライザー

3 サイレン音と救急活動

サイレン音は、道路交通法施行令第13条により、救急車として必要とされる要件のひとつであり、一般車両や歩行者に救急車の接近を知らせる手段として、その役割を果たしている。

参考：電子サイレン音の要件

救急車電子サイレン音は、「救急自動車に備えるサイレンの音色の変更について」（昭和45年6月10日消防防第337号消防庁長官通達）等により

* 消防科学研究所

** 救急課救急係

*** 管理課装備係

次のように規定されている。

(1) 音の大きさ

電子サイレン音の音の大きさは、道路運送車両の保安基準（昭和26年運輸省令第67号）第49条第1項第2号に定められており、その自動車の前方20mの位置において90ホン以上120ホン以下であること。

(2) 音の特性

高低2音による繰り返し音であって、おおむね次のとおりとする。

ア 基本周波数

高音 960Hz・低音 770Hz

イ 音の長さ

高音及び低音それぞれ0.65秒であり、1周期は1.3秒。

なお、救急車のサイレン音は、サイレン音としての効果を減ずることなく、しかもできるだけソフトな音色が望まれる点を考慮して、高低音による繰り返し音（いわゆるピーポー音）を発する電子サイレンとされている。

しかし、救急隊員同志及び救急隊員と傷病者との情報交換や、救急隊員が聴診器等で容態を観察するとき傷病者の心音・呼吸音の確認が容易に行えない場合もあり、さらに現在では、救急救命士が救急車内で携帯電話を使用して医者からの指示により傷病者の処置を行っている状況からみても、騒音対策は必要である。

一般的に「騒音」とは、やかましい音と定義されている。騒音によって、会話や電話等の音声がかき消され聴取妨害が発生する。

救急車の場合、緊急走行時においてはサイレンを継続使用し、そのサイレン音で一般車両にその接近を知らせているため、車外のサイレン音量を小さくするこ

とは不可能であり、車内で聞こえる騒音を減少させることが、救急隊員や収容された傷病者に対する負担の軽減を図れることになるとと思われる。

4 騒音の会話、学習、作業能率に対する影響

会話の場合、話す方は騒音レベルが高い時には自然と声を大きくする。また、大声を出すこともある。この関係から得られた、満足な会話の可能な距離と周囲の騒音のレベルとの関係を図1に示す。ここで、満足な会話が可能であるとは、正しく聴取できた割合が95%以上であることを言い、会話妨害を起ささないためには、50dB以下であることが望ましい。78dBまでだと1m離れて会話が可能だが、実際上継続した会話が必要なら、70dB以下が望ましいことがわかる。ここで「音の大きさ」とは、圧力変動の大きさであり、Pa（パスカル）の単位で表され、さらに人間の感覚に合わせて扱いやすくしたdB（デシベル）の単位が広く用いられている。

騒音が作業能率に影響するかは、作業の種類に関連があり、単純な作業などは騒音の影響を受けにくい。さらに、騒音が聞きなれない音の場合は、影響を受けやすいが、聞きなれた音であれば、影響は小さい。

同時に複数の計器を監視する作業の場合、騒音があれば特に注意が必要な計器に注意が集中し、それ以外の部分への注意が低下する。したがって、注意を一点に集中する作業には、騒音は促進的な場合もあり、2か所以上に注意を分散する作業には、騒音は妨害的であるといわれている。

騒音が作業能率に平均的には影響しない場合でも、作業の確実性などを変動させることがある。これは、機械の操作などの場合に問題となる。

工場では、騒音による聴取妨害のため、作業員同士の通常での会話が困難となり、作業能率が低下する場

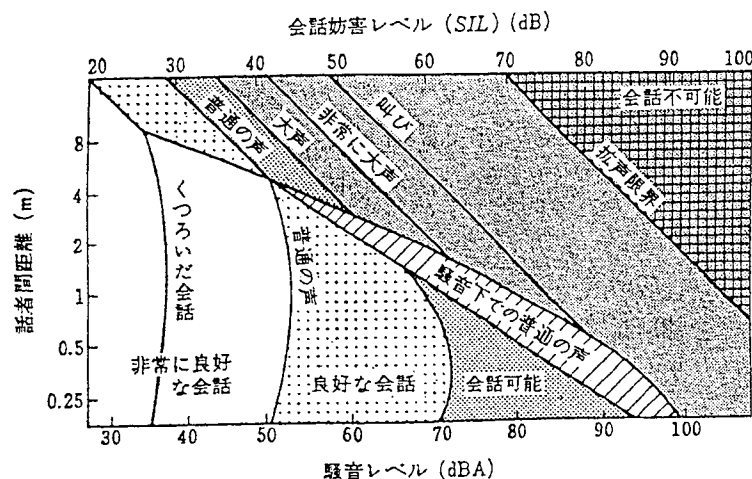


図1 騒音レベル、会話妨害レベルと会話可能な距離の関係

合がある。また、騒音が80dBと95dBとの2か所の職場での事故率比較では、95dBは80dBの20倍という結果が報告されている。これは、騒音以外の要因の他、単純に騒音の大きい職場がより危険であることも考えられる。また、耳栓を用いるとその差は縮まった例もある。

一般には90dBを超える騒音によって、作業能率が低下し、特に監視作業、情報収集、分析などが影響を受けやすいと言われている。しかし、これ以下のレベルでも影響があるので、作業の能率低下及び学習への影響を防ぐには、50dB以下が望ましいとされている。

一般生活における騒音レベルの例は図2及び図3に示すとおりである。これによると、振り子時計の音が30dB、普通の会話が60dB、鉄道トンネル車内及びトラックの音が90dBであることがわかる。なお、継続した会話及び電話通話の許容限界は約70dBといわれている。

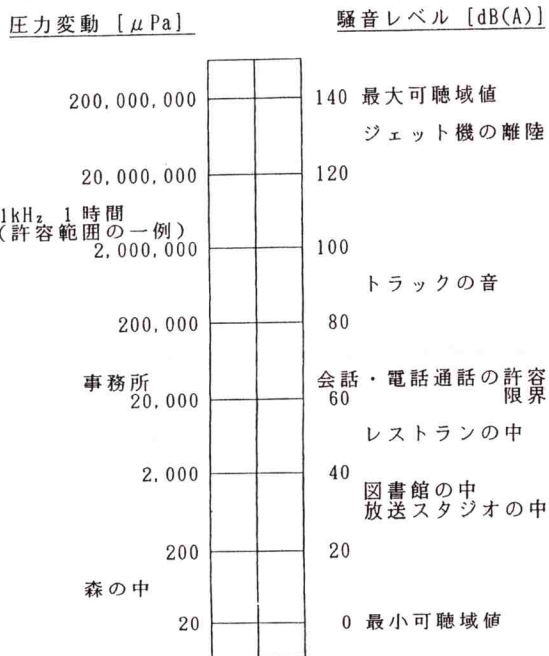


図2 圧力変動と騒音レベルの関係

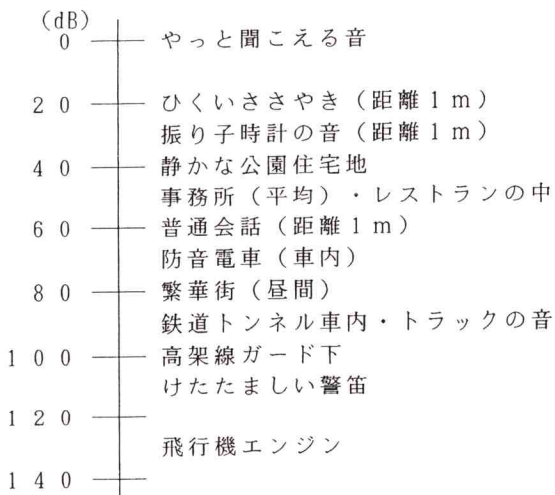


図3 騒音レベルの例

5 調査結果

高規格救急車（トライハート）の停車時における、エンジン回転数と車内騒音の関係については表1のとおりであり、回転数が100rpm上昇するごとに、騒音は約1dBの上昇がみられる。また、40km走行時における騒音については表2のとおりで、サイレンなしの場合、冷房及び暖房の入切にかかわらず80dB～81dBでほぼ同じであり、サイレンのみ吹鳴及びサイレン・トライレン両方吹鳴時の場合についても冷房及び暖房の入切にかかわらず87dB～89dBの結果が得られた。

このことから、40km走行時では騒音にそれほど大きな差がないことが、この調査結果により確認できた。

※調査場所～救急車内のストレッチャー頭部の位置
高さ75cmで調査した騒音最大値

表1 エンジン回転数との関係

回転数 (rpm)	停車中のアイドルのみ (サイレン, トライレン, 冷房, 暖房なし)
800	61.0 dB
1,500	67.5 dB
2,000	72.5 dB
2,500	75.0 dB
3,000	80.0 dB

表2 40km走行中との関係

条件	冷暖なし	冷房入り	暖房入り
サイレンなし	80dB	81dB	81dB
サイレンのみ吹鳴	—	87dB	87dB
サイレン, トライレン両方吹鳴	—	89dB	88dB

また、高規格救急車（トライハート）のサイレン音を収録して、任意の1周期分について周波数分析を行った結果をグラフ化したものは図4に示すとおりである。このグラフの中で赤色線が960Hz（高音・ピー音）、

緑色線が770Hz（低音・ポー音）の部分である。この結果から、今回測定したサイレン音の基本周波数（960Hzと770Hz）は、電子サイレンの音の要件に適合しており特に問題はないと考えられる。

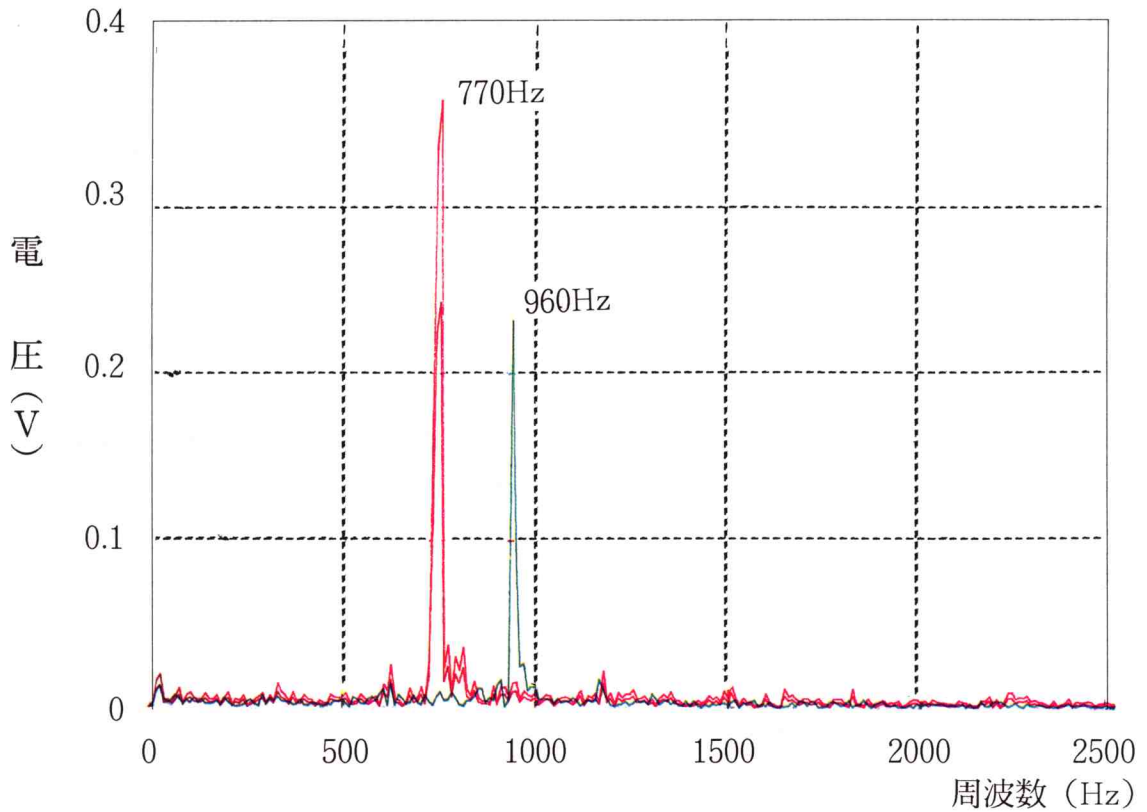


図4 サイレン音の周波数分布

6 まとめ

救急業務は、そのほとんどが急病や、負傷者の搬送であるため緊急性を必要とし、同時に救急車は赤色回転灯を点灯、サイレンを吹鳴して、歩行者や一般車両に対して待避を促している。しかし、救急車内で聞こえるサイレン音等は大きく、救急隊員には、さまざまな影響を与えている。このため、救急車内の騒音をいかにして減少させることができるかが大きな課題とされている。

今回の騒音調査結果をみると、救急車内の騒音分布（サイレン、トライレン両方吹鳴時）を色で表すと図5に示すとおりであり、また、ストレッチャー頭部（高さ75cm）における騒音波形は図6に示すとおりとなる。この結果、車両前部、運転席及び隊長席では90dB以上、隊員席でも85dB以上となっており、ストレッチャー頭部付近では80dB台前半の騒音がみられる。さらに、図2及び図3より、救急車内ではおおむね鉄道のトンネル車内やトラックの音と同じような騒音が発生していることがわかる。ストレッチャー頭部付近の騒音値は、他の場所と比べ低い値となり、救急車内においては、傷病者の観察位置にほぼ適した場所であると言えるが、それでも80dB台前半の騒音が発生している。

騒音対策としては、吸音材等を使用する方法、ほか東京消防庁消防科学研究所が検討を行っているアクティブ騒音制御方式が考えられる。

当研究所においても、さらに分析を重ねた研究が必要であるが、今回の調査により今後の騒音対策の基礎データを蓄積することができた。

【参考文献】

- 1) 脇 賢, 中西正浩, 佐々木一治, 大原義雄「高規格救急車内に伝播する電子サイレン音の減衰に関する研究開発（第1報）」東京消防庁消防科学研究所報33号(1996) P119～P132
- 2) 染谷茂美, 島津幸廣, 正木豊, 河田正「聴診器を用いた観察行為に影響を及ぼす音の調査及び防音装置付電子式聴診器の性能調査の結果について」東京消防庁消防科学研究所報32号(1995) P165～P173
- 3) 「プレ・ホスピタル・ケア」1996年第9巻第1号 東京法令出版
- 4) 安全工学講座9「騒音・振動」安全工学協会編
- 5) 「理科年表」机上版 1996年第69冊 国立天文台編

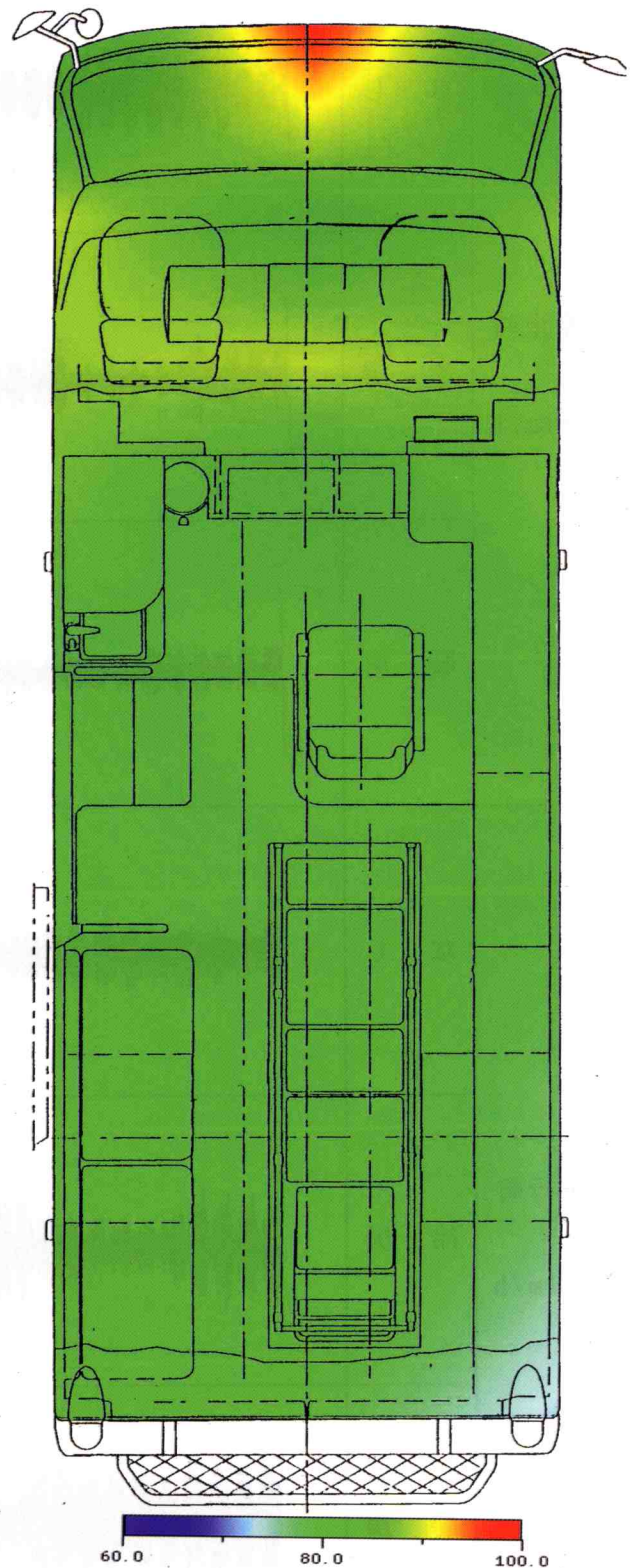


図5 救急車内の平均騒音分布

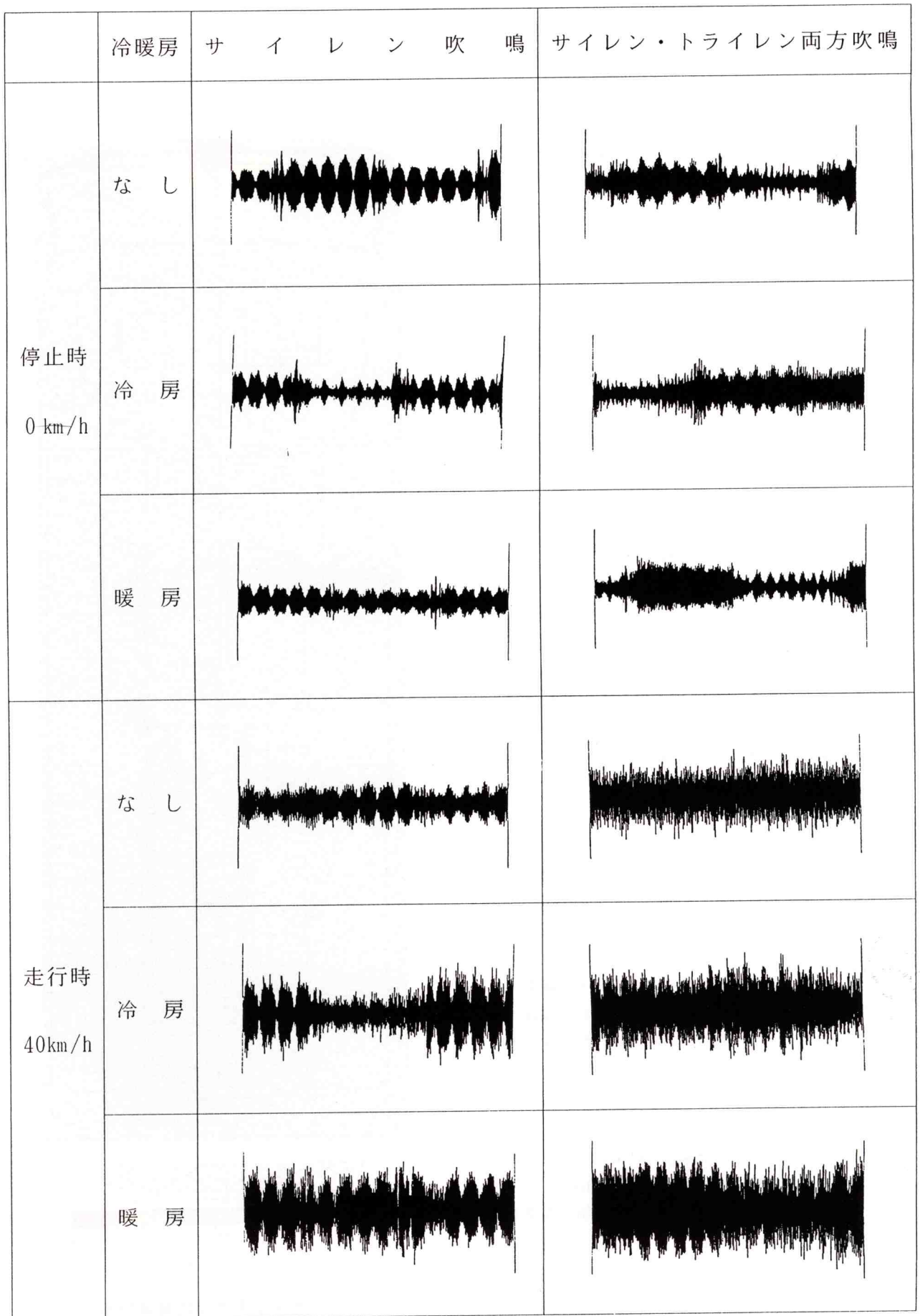


図6 ストレッチャー頭部における騒音波形

アクリル樹脂の燃焼について

Combustion of Acrylic Resin

伊藤 潤*
Itoh Jun

要 約

平成8年10月28日にH市の20階建て高層住宅において、9階で発生した火災が各階のベランダに使用されていたアクリル板を伝わって最上階まで延焼する火災が発生した。そこで、アクリル板について調査したものである。この結果、アクリル樹脂の燃焼について基礎データを蓄積することができた。

Summary

A fire which broke out on the ninth floor of a 20-story condominium in H city on October 28, 1996 spread to the top floor through acrylic boards used for porches on each floor. Given this disaster, combustion of acrylic boards was examined.

The results allowed the collection of basic data regarding the combustion of acrylic resin.

1 はじめに

アクリル樹脂とは、プラスチックの一種で、無色透明の硬い樹脂で、透明性は樹脂の中ではもっとも高く、ガラスに比べ軽くて強靱であり、着色、加工も容易であることから、証明用、看板、広告用をはじめ、住宅、工場の明かり採りなどに用いられるほか、レンズ、サングラスにも用途が広がっている。また、耐熱性のアクリル樹脂は、自動車、航空機の窓ガラスなどに用いられており、その性質は表1に示すとおりである。

※1 アクリル樹脂とは、メタクリル樹脂 (PMMA) を指す場合が多い。

※2 アクリル樹脂～JIS規格-K6718

表1 アクリル樹脂等の性質

	アクリル樹脂	塩化ビニル樹脂	木 材 (杉)
比 重	1.17~1.20	1.35~1.45	0.32
分 解 温 度	170~300℃	200~300℃	200℃以下
引 火 点	280℃	390℃	260~300℃
発 火 点	450~462℃	455℃	400~450℃
燃 焼 熱	6,265cal/g	4,315cal/g	4,520cal/g
燃 焼 の 難 易	易	難	難
炎を去っても燃え続けるか	燃える	否	燃える
炎 の 色	黄色、端は青色少し黒煙	低部緑色の黄色	赤色
燃焼生成ガス	一酸化炭素 CO 二酸化炭素 CO ₂	塩化水素HCl 塩素Cl ₂ ホスゲンCOCl ₂ 一酸化炭素CO 二酸化炭素CO ₂	一酸化炭素 CO 二酸化炭素 CO ₂

* 消防科学研究所

2 アクリル樹脂の燃焼

アクリル樹脂についた火は、そこを起点として周囲に燃え広がって行く。この燃え広がり、発火によって生じた火炎からの熱エネルギーが火炎の前方の未燃部分に伝達され、そこで熱分解が起こって可燃性ガスを出し、これが次々に引火していくものと考えられている。(図1参照)

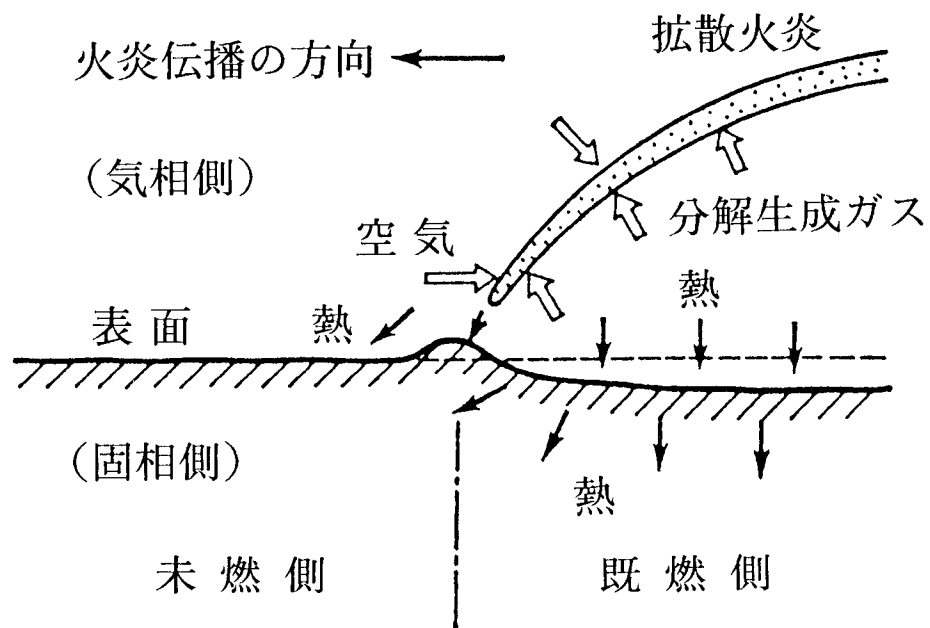


図1 高分子物質の表面上の火炎伝播
(1次元モデルの説明図)

なお、消防科学研究所で実際に燃焼実験を行ったところ、アクリル樹脂は塩化ビニル樹脂や木材に比べて燃えやすく、燃焼時には青色の火炎が確認できた。

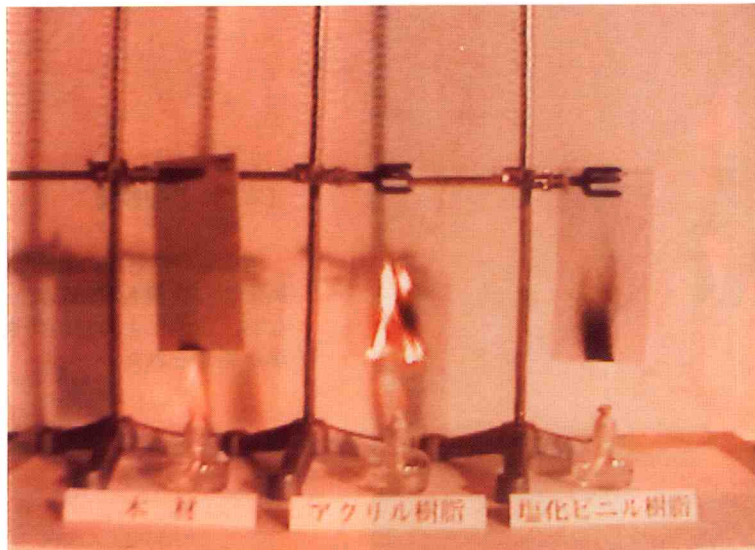
(写真1～6参照)

また、プラスチックの燃焼による識別法(アルコールランプ法)を表2に、さらに、燃焼と臭気によるプラスチックの識別を図2に示す。

当研究所においても、さらに分析を重ねた研究が必要であるが、今回の燃焼実験によりアクリル樹脂の燃焼について基礎データを蓄積することができた。

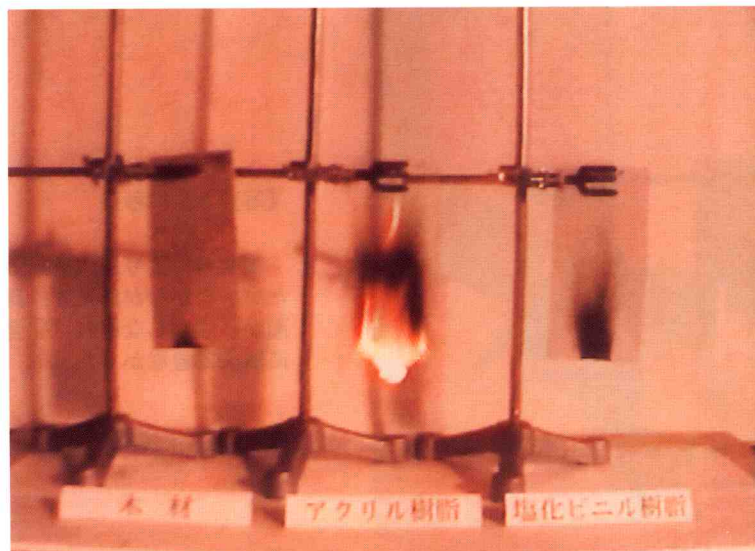
【参考文献】

- 1) 「JISハンドブック」 日本規格協会編
- 2) 「火と煙と有毒ガス」 (財)東京連合防火協会編
- 3) 「火災便覧」 日本火災学会編



【写真1】30秒後

アルコールランプにより約30秒間接炎させたところ、アクリル樹脂は着火し上方に延焼を始めたが、木材と塩化ビニル樹脂は、炭化は進むが着火はしなかった。



【写真2】50秒後

アルコールランプを取り外したところ、アクリル樹脂のみが継続燃焼した。若干の黒煙が確認できた。



【写真3】55秒後

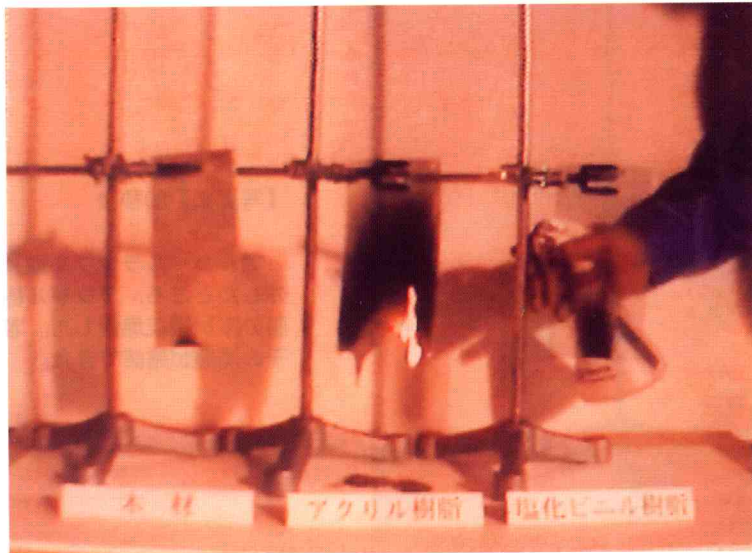
延焼が進み、一部溶融して火種ごと落下した。

※ 試料寸法：縦 195mm×横 95mm×厚 3mm
アルコールランプの温度：約700℃



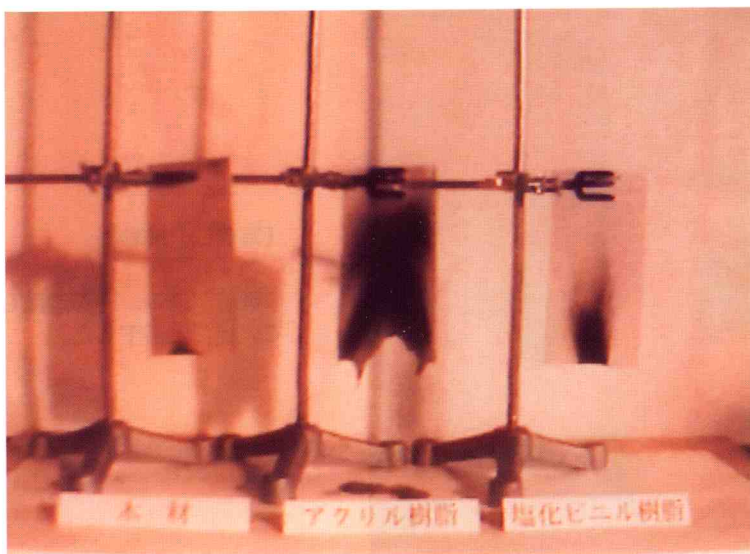
【写真4】60秒後

溶融落下はさらに継続し、黒煙の発生量も増加した。なお、燃焼による甘い果物臭が感じとれた。



【写真5】80秒後

霧吹きにより消火を試みたが、なかなか消えず、両面から注水しなければ完全に消火できなかった。



【写真6】90秒後

消火後に焼残物の重量を計測したところ、約5%しか減少しておらず、アクリル樹脂を保管している倉庫などの火災時には相当の時間にわたって、燃焼が継続するものと考えられる。

表2 プラスチックの燃焼による識別法 (アルコールランプ法)

プラスチック	燃焼の難易	炎を去っても燃え続けるか否か	炎の性状	プラスチックの性状	臭い	
熱硬化性樹脂	フェノール樹脂 (注型品)	難	否	黄色のスパーク	ひび割れ・色が深くなる	ホルマリンの強い臭い
	フェノール樹脂 (木に浸した物)	徐々に燃える	否	黄色	膨潤・ひび割れ	木材とフェノールの臭い
	フェノール樹脂 (繊維基材)	徐々に燃える	燃える	黄色	膨潤・ひび割れ	繊維とフェノールの臭い
	フェノール樹脂 (紙基材)	徐々に燃える	燃える	黄色	膨潤・ひび割れ	紙とフェノールの臭い
	尿素樹脂	難	否	青緑色の端をもった淡黄色	膨潤・ひび割れ	尿素と強いホルマリンの臭い
	メラミン樹脂	難	否	淡黄色	膨潤・ひび割れ・白化	尿素に似た特有の臭い
	ポリエステル樹脂	易	燃える	黄色・黒煙	膨潤・ひび割れ	スチレンモノマーの臭い
熱可塑性樹脂	塩化ビニル樹脂	難	否	底部緑色の黄色の炎	軟化	特有の臭い
	塩化ビニリデン樹脂	きわめて困難	否	黄色端は緑	軟化	特有の臭い
	酢酸ビニル樹脂	易	燃える	暗黄色・黒煙	軟化	特有の臭い
	ビニルブチラール樹脂	易	燃える	黒煙	熔融落下	特有の臭い
	塩化ビニル・酢酸ビニル共重合体	難	否	暗黄色	軟化	特有の臭い
	ポリエチレン	易	燃える	先端黄色・下端青色	熔融落下	パラフィンの燃える臭い
	スチロール樹脂	易	燃える	橙黄色・黒煙	軟化	スチレンモノマーの臭い
	ポリメチルメタクリレート	易	燃える	黄色・端の方は青色・少し黒煙	軟化	特有のアクリルモノマーの臭い
	ナイロン	徐々に燃える	徐々に消える	先端が黄色・青色の炎	熔融・ぼたぼた落ちる	特有の臭い
	テフロン	不燃	—	—	—	—
繊維素誘導体	ポリモノクロロトリフルオロエチレン	難	—	—	—	—
	酢酸繊維素	易	燃える	暗黄色少し黒炎	熔融・ぼたぼた落ちる	特有の臭い
	硝酸繊維素	きわめて容易	燃える	黄色	完全にしかも速やかに燃える	酪酸・特有の臭い
	酢酸・酪酸繊維	易	燃える	端がわずかに青黄色の炎	熔融・ぼたぼた落ちる	臭いをかく暇もないくらい早く燃える
	酢酸・プロピオン酸繊維素	易	燃える	暗黄色・黒煙	熔融・ぼたぼた落ちる	プロピオン酸特有の臭い
エチル繊維素	易	燃える	黄色・端は青色	熔融落下	特有の臭い	
天然ゴム	易	燃える	暗黄色・黒煙	軟化	特有の臭い	
ブタジエン系合成ゴム	易	燃える	暗黒色・黒煙	軟化	特有の臭い	
ブチルゴム	易	燃える	黄色・黒煙	軟化・ひび割れ	特有の臭い	
カゼイン	徐々に燃える	否	黄色・灰色の煙	膨潤・炭化	羊毛・絹などに似た臭い	
シラック	易	燃える	橙黄色・下端青色・黒煙	軟化	特有の臭い	

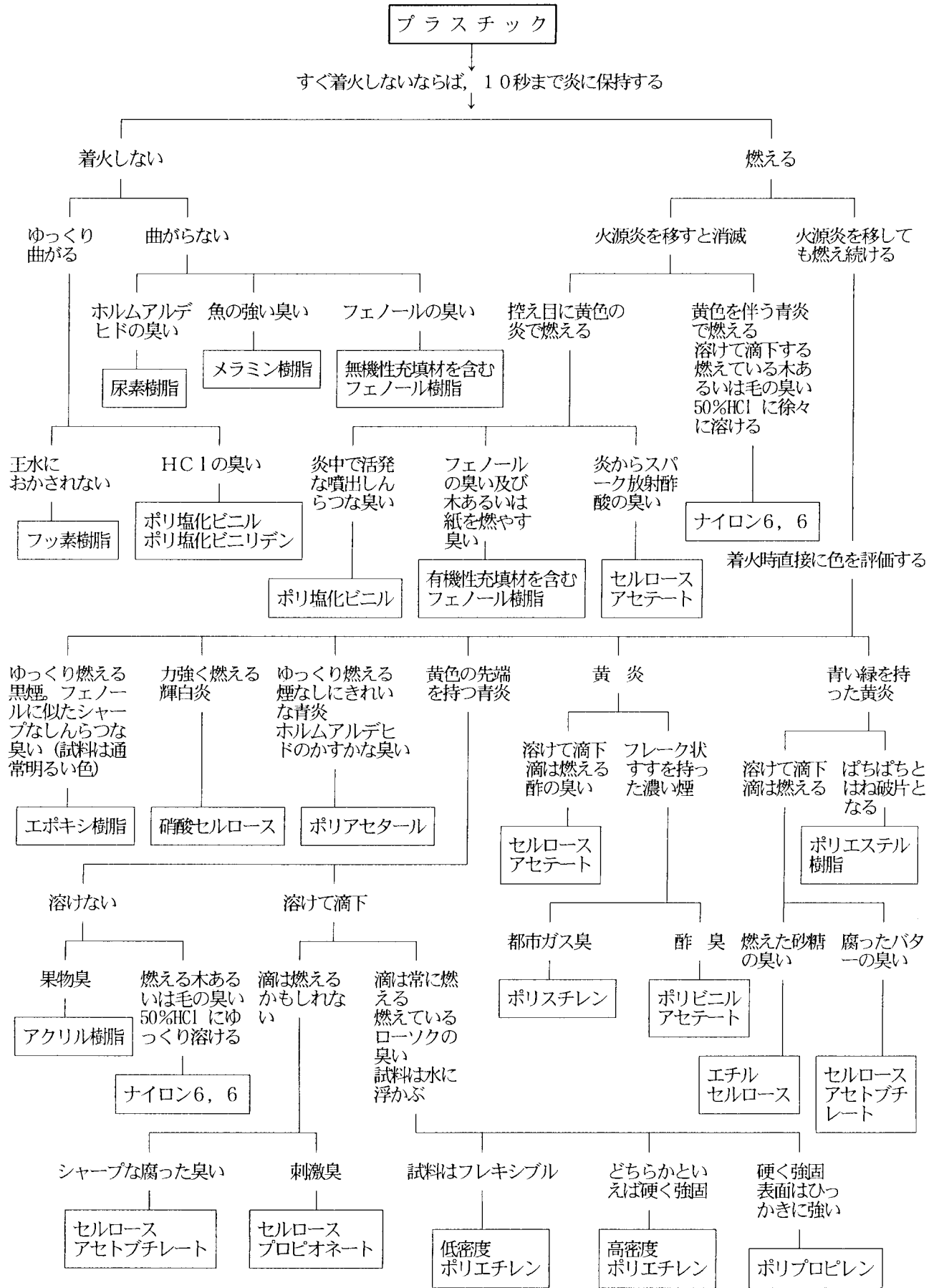


図2 燃焼と臭気によるプラスチックの識別

粉じん爆発について

Dust Explosions

小島 秀吉*
Kojima Hideyoshi

要 約

平成8年8月、A市内の木製家具製造工場で発生した火災において、延焼した木くず集じん庫の消火作業中、同集じん庫内で爆発的燃焼が起こり、開口部から火炎が急激に噴出し、7名の消防職員がこの火炎をあび、顔面にⅠ～Ⅲ度の火傷を負った。この急激な火炎の噴出は、バックドラフト現象や粉じん爆発などが原因と思慮されることから、「粉じん爆発」について紹介する。

Summary

A fire broke out in August 1996 in a wooden furniture manufacturing plant in A city. While firefighters were extinguishing a fire in a wood-chip storage, there was an explosive combustion. Flames immediately blasted out of an opening and seven firefighters suffered I- and II-degree facial burns. Because this sudden blaze was attributed to a back draft phenomenon or a dust explosion, this paper discusses dust explosions.

1 はじめに

粉じん爆発とは、固体の可燃性微粒子が空気中に浮遊している場合、これに火炎または、放電火花などにより爆発する現象である。

粉じん爆発を起こす微粉末は表1に示すように様々あり、アルミニウム、マグネシウム、チタンなどの金属粉、炭じん、木粉、各種プラスチック粉、小麦粉などの乾燥した微粉状の可燃性物質はすべて爆発する能力を持っていて、消防法の危険物に該当するものもある。

粉じんが発火爆発する条件は、下記の4条件である。

- (1) 可燃性であること。
- (2) 微粉状態であること。
- (3) 可燃性ガス(空気)中で、良く攪拌、流動していること。
- (4) 着火源が存在すること。

表1 粉じん爆発を起こす可燃性物質の例
(微粉状態)

炭素製品	石炭、亜炭、木炭、コークス、活性炭
肥料	魚粉
食料品	でん粉、砂糖、小麦粉、ココア、穀粉、粉ミルク、粉末コーヒー、乾燥酵母
金属類	アルミニウム、マグネシウム、亜鉛、鉄、マンガン、ケイ素、バナジウム、スズ、フェロシリコン、チタン、ジルコニウム
木質類	木粉、コルク類、リグニン粉、紙粉
合成薬品類	染料中間体、各種プラスチック、合成洗剤、ゴム類
農産加工類	コショウ、除虫菊、タバコ

* 消防科学研究所

2 粉じん爆発とガス爆発の比較について

粉じん爆発とガス爆発の違いについて、燃焼速度、爆発圧力、燃焼時間、発生エネルギー及び起こりやすさを比較した結果を表2に示す。

表2 粉じん爆発とガス爆発の比較

	粉じん爆発	ガス爆発
燃焼速度、瞬時の爆発圧力	小さい	大きい
燃焼時間	長い	短い
爆発による発生エネルギー（破壊力、焼け、温度）	大きい（ガス爆発の数倍） 2,000～3,000℃	小さい 1,000～2,000℃
爆発の起こりやすさ（最少発火エネルギー）	起こりにくい （大きい： 10 ⁵ ～10 ² J）	起こりやすい （小さい： 10 ³ ～10 ¹ J）

3 粉じん爆発の発生過程について

粉じん爆発の発生過程は、図1に示すように最初の部分的な爆発により、爆風が周りの粉じんを舞い上げさせ、2次、3次の爆発へと波及することによって被害が大きくなる。

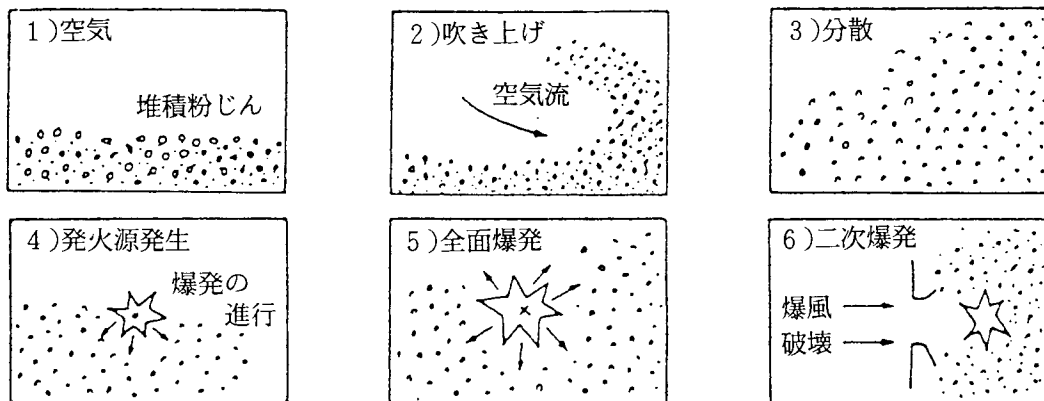


図1 粉じん爆発の発生過程

4 まとめ

粉じん爆発は乾燥状態で起こりやすいことから、この爆発を防ぐには、十分な放水を行うこと。また、微粉を空中に拡散させないよう必要以上に攪拌や流動を行わないことがポイントである。さらに、可燃性ガスに比べ不完全燃焼を起こしやすいため、燃焼後のガスに一酸化炭素が多量に存在することがあり、中毒の危険性がある。

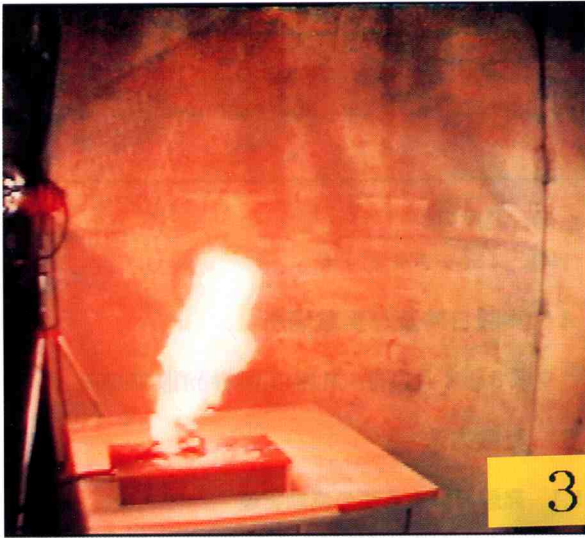
この事例については、建物内に空間を作ったため、空間内部に可燃性ガスや木屑の粉じんなどが充満したところに、空気（酸素）が流入し何らかの着火源により爆燃したことが考えられる。また、負傷者の位置から見て、噴出した火炎が外部でさらに拡大し、ファイアーボールなどを形成した可能性も思慮される。

以上のことから、災害現場ではドアなどを開放する時以外に、開口部が既に開放されている状態でも爆燃現象が起こることを念頭に入れ防ぎよ活動を行う必要がある。

なお、現場で採取した木屑の粉じんを用いた粉じん爆発の再現を写真1に示す。

【参考文献】

- 1) 「火災調査技術教本 第3巻」
（財）東京防災指導会編
- 2) 「爆発防止技術の実際」 F・T・ボダー著
- 3) 「火と煙と有毒ガス」 （財）東京連合防火協会編
- 4) 「火災 No.67」 日本火災学会発行
- 5) 「火災便覧 新版」 日本火災学会編



1コマ 1/30秒

写真1 粉じん爆発の再現

車内におけるスプレー缶の爆発危険について

Risk of Explosion Resulting from Spray Cans Placed in Vehicles

橋上 勉*
Hashigami Tsutomu
中村 義則**
Nakamura Yoshinori

要 約

乗用車のトランクに置かれていたスプレー缶による爆発と思われる車両火災が発生したことから、爆発危険を回避するため、スプレー缶の充填ガスであるプロパンガスの代用として二酸化炭素を用い、車内における濃度変化を測定し、その爆発危険性を考察した。

Summary

A fire which broke out in a car was believed to be the result of a spray can stored in the trunk. In an attempt to avoid such risks, we used carbon dioxide instead of propane gas, a filler for spray cans. We then measured changes in concentration of the altered material in a car, and examined the risks of explosion.

1 はじめに

スプレー缶は整髪料、殺虫剤、車両手入れ用品など日常生活で広く使用されており、誤った使い方をすると爆発し火災に至る可能性がある。

その充填ガスは、かつてフロンガスを用いていたが、オゾン層の破壊を防止するため、可燃性ガスである液化石油ガス（以下「LPG」という）を使用しているものが殆どである。

このスプレー缶に充填されたLPGが何らかの要因により漏洩したと思われる車両火災が発生したことから、爆発を回避するためLPGの代用品として不燃性でプロパンガスと分子量が同じである二酸化炭素を用い、車内における濃度変化とその爆発危険性を考察した。

2 実験使用車種

昭和62年型乗用車（セダン）

3 使用資器材

- (1) 燃焼管理テスター-1式
・光明理化学工業(株) SEM-102
- (2) 液化炭酸ガス

(3) 発煙筒

(4) ストップウォッチ

4 実験日時及び実験場所

平成8年4月14日、札幌市消防局消防訓練所

5 実験方法

5.1 発煙筒による煙の流動実験

- (1) トランク内で発煙筒1本を点火し、車内の換気装置を入れない状態で煙が車内にどのように流入するかを目視確認する。
- (2) トランク内で発煙筒1本を点火し、車内の換気装置を内気循環にしなが風向きを「デフロスタ（DEF）+足元」の状態に煙の流動を目視確認する。

5.2 二酸化炭素の流動及び濃度測定

- (1) トランクの水抜き栓から二酸化炭素を20ℓ/分の割合で5分間、計100ℓ入れ（内容量420mlのスプレー缶に含有率90%のLPGが気化した時に相当する量）車内の換気装置を入れない状態でトランク及び後部座席の足元の濃度を測定する。
- (2) トランクの水抜き栓から二酸化炭素を20ℓ/分の割合で5分間、計100ℓ入れ、車内の換気装置を内気循環にしなが風向きを「DEF+足元」にして、運転席及び後部座席の足元の濃度を測定する。

（写真1参照）

* 消防科学研究所

** 予防課調査二係

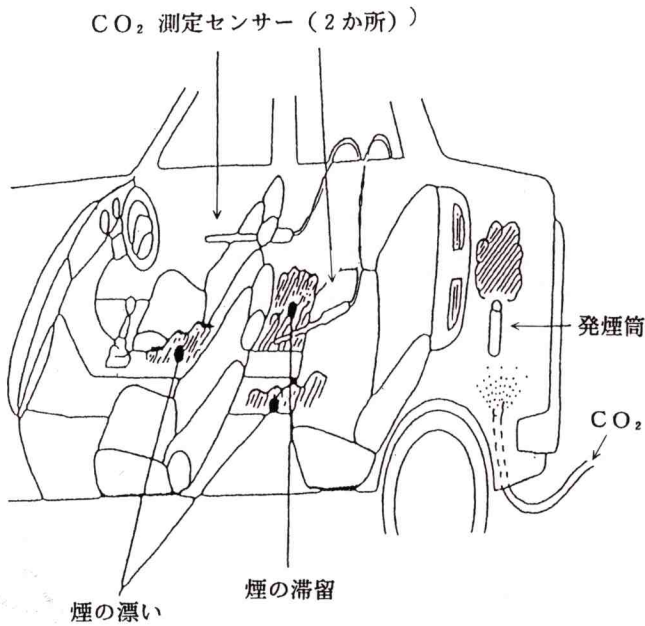


図1 実験方法



(写真2)

(2) 換気を入れた状態では、2分後に後部座席の隙間から徐々に煙が流入したが、前記(1)のような滞留は見られず、車内全体に薄い煙が均一に充満した。(写真3参照)



(写真1)



(写真3)

5.3 ペール缶によるスプレアの爆発実験

ペール缶(容量24ℓ)の下部に灯油ストーブの赤熱点火装置を設け、ガスが漏洩しないようにペール缶上部をラップで覆い、LPGが90%含有しているスプレアを噴霧後、爆発の有無を確認し、爆発下限濃度を測定する。

6 実験結果

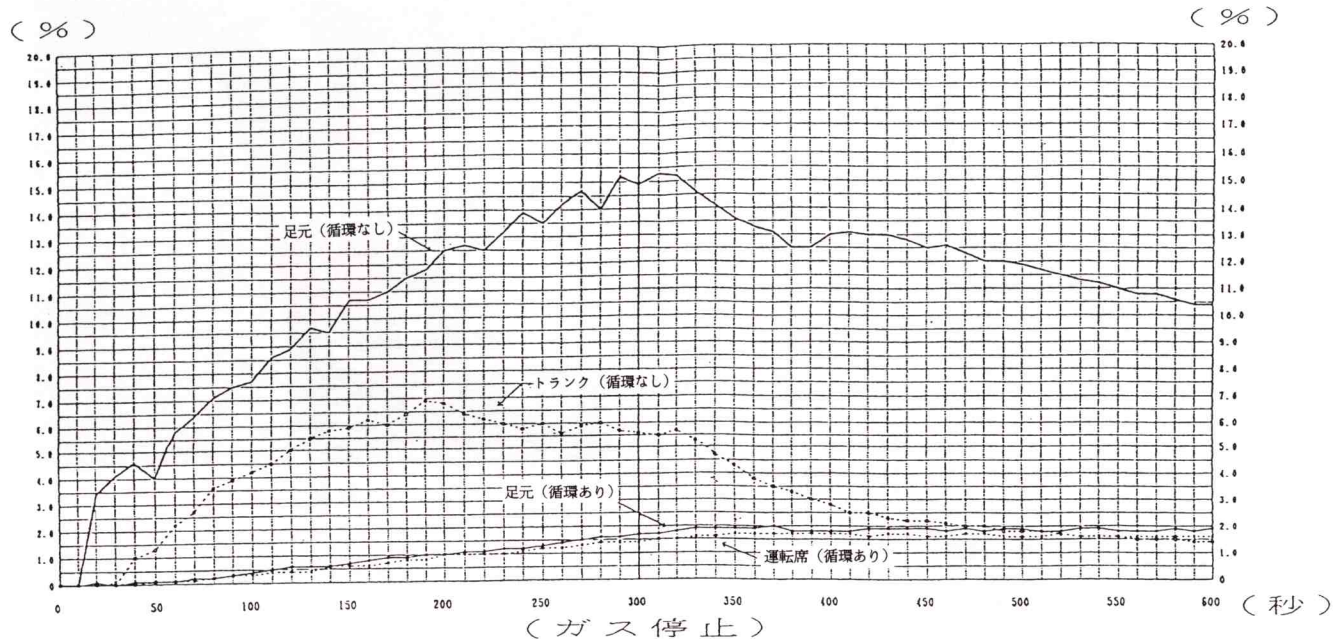
6.1 発煙筒による煙の流動実験について

(1) 換気を入れない状態では、後部座席の足元に煙が滞留し、時間の経過とともに運転席と助手席の隙間に置かれているサイドボックスを這うように前方へ流動した。(写真2参照)

6.2 二酸化炭素の流動及び濃度測定について

車内における二酸化炭素の濃度はグラフ1「濃度測定表」のとおりであり、換気なしの状態における後部座席の足元の濃度は時間経過とともに徐々に増し、4分50秒で最高値15.2%に達したのに対し、トランクでは3分10秒で最高値6.9%を示し、その後、濃度は徐々に下がった。換気を入れた状態では後部座席の足元と運転席の濃度にはほとんど差が無く、足元の最高濃度は6分10秒で2.0%、運転席においては5分50秒で1.7%となり、その後、実験が終了するまでこの濃度を維持続けた。

グラフ1 「濃度測定表」



6.3 ペール缶によるスプレーの爆発実験について

ペール缶にスプレーの充填ガスを0.3g,0.5g,0.7g, 0.8g,0.9g,1.3g注入し,それぞれの爆発の有無及び缶内における充填ガス濃度を測定したものが表1「スプレー缶の爆発結果」である。

注入量が0.3gから0.9gまでのものは濃度がプロパンガスの爆発下限界である2.1%に達していないため,爆発は起こらなかったが,1.3g注入した時は爆発範囲に入り,爆発音とともに火炎が噴出し,缶上部を覆っていたラップが溶融した。

注入量 (g)	爆発の有無	濃度 (%)
0.3	無し	0.50
0.5	無し	0.83
0.7	無し	1.16
0.8	無し	1.32
0.9	無し	1.49
1.3	有り	2.15

表1 スプレー缶の爆発結果

7 実験考察

換気装置を入れない実験では,空気より重い発煙筒

の煙は,後部座席の足元等の低部に滞留することが確認されたことから,トランクに置かれていたスプレー缶から充填ガスが漏洩した場合,後部座席などの隙間を経由し車内へ流入するものである。

換気装置を入れた発煙筒の実験では,発煙筒の煙は滞留せず均一に拡散し,二酸化炭素の実験でも足元の最高濃度は2.0%,運転席の最高濃度は1.7%となり,この濃度で定常状態となったことから1.7%~2.0%の範囲で車内に均一に拡散しているものと思料される。

さらに,プロパンガスの爆発下限界は2.1%であり,実験による二酸化炭素の濃度はこの値に近似したことから,爆発の可能性は否定できないものである。

しかし,この車両火災は走行中に発生したものであり,窓の開閉状態や走行時における車内圧と外気圧の関係によるガスの流動,ガス濃度変化は今回の実験条件と異なることから,走行中における車内での爆発危険性を判定することはできないが,その危険性を十分に注意しなければならないものである。

8 参考

8.1 スプレー缶の構造と原理

スプレー缶は原液(目的内容物)と噴射剤(液化ガス)が入った容器及び内容物を噴射したり止めたりするバルブ等で構成されており,その構造は図2「スプレー缶の構造図」のとおりである。

缶内の原液に対する噴射剤のあり方によって,二相系,三相系等に分類することができるが,ここでは一般的に使用されている二相系のスプレー缶について説明する。

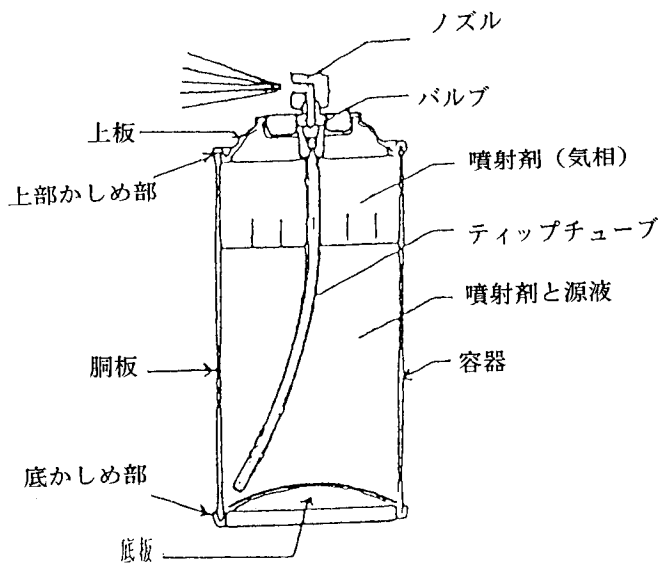


図2 スプレー缶の構造図

気層部は噴射剤の飽和蒸気で液層部は液体の噴射剤と原液の均一な混合物から成っており、缶内の温度に対応した圧力を保持している。

バルブを押すと噴射剤の蒸気圧力により原液と噴射剤の混合物がディップチューブを通り、この管を通過する時、原液が噴射剤の急激な膨張(200～300倍)により、細かい霧状となって放出される。

噴射剤は液体が残っているうちは缶内の温度に対応した圧力に保たれ必要な時、バルブを押すと手軽に目的内容物を吹きつけることができる。

8.2 スプレー缶爆発のメカニズム

一般に市販されているスプレー缶には噴射剤としてLPGが封入され、缶の中で気体(飽和蒸気)と液体の状態温度上昇につれ缶内の噴射剤が蒸発するとともに缶内圧力が上昇する。

スプレー缶を加熱すると缶内圧力は缶が破壊するまで高まり、缶の破れやすい箇所が破裂し、LPGが急激に膨張して缶がロケットのように飛び出し、その飛行距離は全量で最高63m、半量で36mと報告されている。

従来使用されていたフロン入りのスプレー缶は缶の破壊にとどまっていたが、LPGの場合、缶の破壊と同時に周囲へ飛散したLPGが爆発限界濃度に達した時、引火爆発を引き起こすものである。

8.3 安全のための注意書

スプレー缶は業界及び行政機関により定められた基準に従い厳重な品質管理のもと設計、製造、検査されている。

従って、正しい使い方、正しい保管、正しい捨て方を行っている場合は安全であるが、下記の注意事項を怠ると容器内の圧力が高まり、容器が破裂したり、噴射剤が爆発して思わぬ事故を発生させる危険性がある。

【注意事項】

- (1) 製品に表示されている注意事項をよく読んで正しく使用する。
- (2) ストープ、ファンヒータ、こたつの中など火気、熱気のアたる場所に置かない。
- (3) 直射日光のあたる場所に置かない。
- (4) 自動車内は高温となるためフロント及びリアウインドの付近又は座席上等に置かない。
- (5) 火気を使用している室内で使用しない。
- (6) 使い切った後、安全な場所で缶に穴を開けて透明な袋に入れて燃やせないゴミとして処理する。
- (7) スプレー缶は空になっても、火気へは絶対投げ入れない。

以上の注意事項を厳守し使用することが事故防止につながるものであるが、市民はスプレー缶に潜んでいる危険性を知らずに使用していることが多く観られることから、マスコミ等を通じ広報する必要がある。

酸素欠乏について

【概要】

酸素欠乏等を原因とする災害は、土木、建築等の工事現場をはじめとして化学工業、食品製造施設など様々な場所で発生し、これらの災害はしばしば死亡事故につながり、また救助に向かった人が二次的に被災するという事例も発生している。

消防隊が酸素欠乏事故現場に出動した場合、危険場所としての認識やその危険性の理解が必要であり、人間の感覚では無色無臭の酸素欠乏空気の状態は判定できないため、酸素濃度等の測定、換気及び空気呼吸器の使用など安全管理に配慮しながら活動しなければならないことから酸素欠乏について調査したものである。

1 酸素欠乏が人体に及ぼす影響

地球大気には、組成率にして約21%の酸素が存在し、人間をはじめとする生物の生命をささえている。酸素不足状態では、呼吸中枢、心臓中枢などが刺激されて、呼吸深度、呼吸数、心拍数の増加がおこり、空気をより多く吸収して酸素摂取量を補い、酸素含有量の低下した血液をより大量に循環させ、また、脳の血管は拡張して大量の血液を受け入れるという、さまざまな補償機能が働く。しかし、その限界は、正常人では空気中の酸素濃度16%くらいまでである。酸素欠乏症の症状は、通常一般的には16%くらいから自覚症状が現れ、低濃度になるほど症状は重く、10%以下では死の危険が生じてくる。

酸素欠乏症等防止規則第2条1項1号で酸素欠乏とは「空気中の酸素の濃度が18%未満である状態」をいい、人体に及ぼす影響を表1「酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係」に示す。

2 酸素欠乏の原因及び危険場所

労働安全衛生法施行令別表6に酸素欠乏危険場所が上げられており、その発生原因として以下のことが考えられる。

(1) 物質の酸化

硫化鉄、鉄鉱石、石炭、鋼材、乾性油等は常温においても空気中の酸素を奪って酸素を消費する。

この反応は通常きわめて緩慢であるが、一度反応が始まり温度が上昇すると、その反応速度は速くなる。

(井戸、たて坑、ピット、タンク槽、暗きよ等)

(2) 穀物、果菜、木材などの呼吸作用

穀物、野菜、果物、木材などは生物作用としての呼吸を行い、この時酸素を消費し、同時に炭酸ガスを発生する。

この作用も環境温度が上昇した場合は特に活発になり、発芽、生長が伴えばさらに急速に進行する。

(タンク、サイロ、倉庫、醸造槽、むろ等)

表1 酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係

階段 (ヘンダーソンの分類による)	空気中酸素		酸素欠乏症の症状等
	濃度 (%)	分圧 (mmHg)	
	18	137	安全下限界で、作業環境内の連続換気、酸素濃度測定、安全帯等、呼吸用保護具の用意が必要
1	16~12	122~91	脈拍・呼吸数増加、精神集中力低下単純計算まちがい、筋力低下、頭痛耳なり、吐き気、動脈血中酸素飽和度80~85% (酸素分圧50~45mmHg) でチアノーゼが現れる
2	14~9	106~68	判断力低下、不安定な精神状態、頭痛、嘔吐、当時の記憶なし、傷の痛み感じない、意識朦朧、階段・梯子からの落下の危険性、チアノーゼ
3	10~6	76~46	嘔吐、行動の自由を失う、危険を感じても動けず叫べず、意識喪失、昏倒、全身痙攣、死の危険
4	6以下	46以下	数回の喘ぎで失神・昏倒、痙攣、心臓停止、死

(3) 有機物の腐敗、微生物の呼吸

し尿、厨芥等の有機物が腐敗する場合には、酸素が消費され、同時に炭酸ガス、硫化水素、アンモニア等の有害ガスが発生する。この作用は温度が上昇した場合に活発となる。

下水、汚物は細菌の増殖に伴い、はじめに酸素を消費するとともに、炭酸ガスを発生し、無酸素状態になるとメタン、硫化水素などが発生する。暗きよ、マンホール内には長い年月の間に地表から汚水が流入して溜まっていることが多々みられ、その中で増殖した微生物が酸素を消費する。建築中のマンホール、ピット等の内部でもコンクリート打設時に、コンクリートの強アルカリ成分によって溶け出した木材成分と、地表から流入した汚水、さらにコンクリートの凝固熱が作用して細菌による酸素の消費及びメタン、硫化水素の発生がみられる。

(井戸、ピット、タンク、槽、マンホール、暗きよ等)

表2「生物の酸素消費量」に各生物の単位重量当たりの酸素消費量を示したが、細菌類にあっては人間の6000倍もの酸素を消費するため、ピット等の閉鎖された場所は非常に危険である。

表2 生物の酸素消費量 (kg当たり30°Cml/hr)

ヒト		200
原生動物	パラメシウス	500
藻類	クロレラ	40,000
糸状菌	フザリウム	10,000
細菌	アゾトバクタ	1,200,000

3 ガスの比重について

ガスは液体や固体と比較すると密度が大変小さいため、室内に漏れたり、タンク等に滞留したときは、窓や蓋などを開放すれば外部の新鮮な空気が入ってくると思いがちである。しかしガスの比重はかなりばらつきがあり、大気へ自然拡散しにくい比重の大きなものも少なくない。

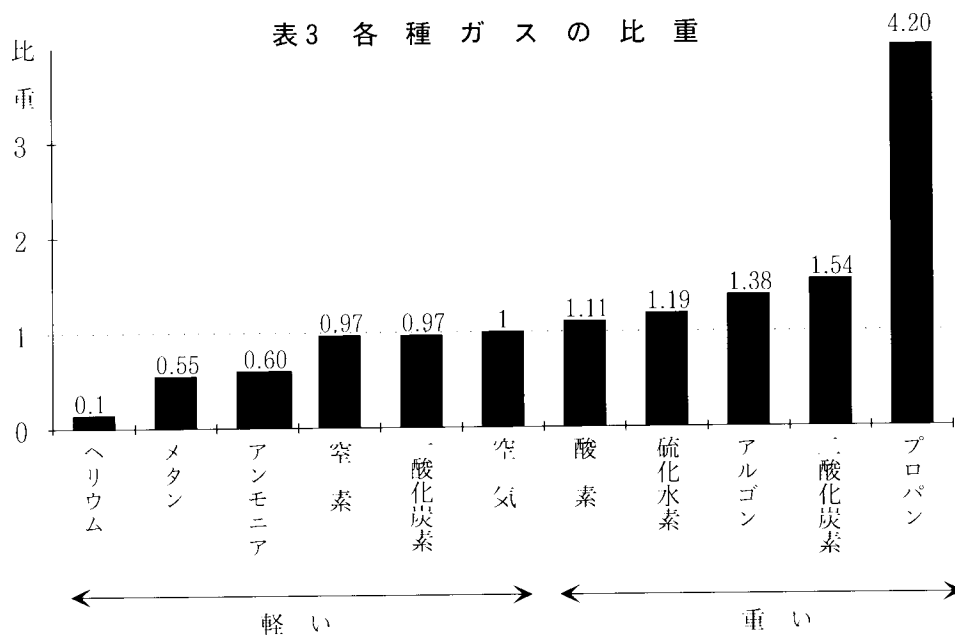
表3「各種ガスの比重」は空気を1とした時の各種ガスの比重で、比重の大きいガスはトンネル、ピットなどの低所に滞留するため、換気や酸素濃度測定の際には、換気装置の設置やガスの採取の位置に注意しなければならない。

【参考文献】

- 1) 「酸素欠乏症等防止規則の解説」
労働省労働衛生課編
- 2) 「新酸素欠乏危険作業主任者テキスト」
労働省労働衛生課編
- 3) 「火災燃焼生成物の毒性」 新日本法規
- 4) 「知らぬと危ないガスの話」 菅華堂

<文 責 橋 上 勉>

表3 各種ガスの比重



労働安全衛生法施行令 別表第6

- (1) 次の地層に接し、又は通ずる井戸等（井戸、井筒、たて坑、ずい道、潜函、ピットその他これらに類するものをいう。次号においても同じ。）の内部（次号に掲げる場所を除く。）
 - イ 上層に不透水層がある砂れき層のうち含水若しくは湧水がなく、又は少ない部分
 - ロ 第1鉄塩類又は第1マンガン塩類を含有している地層
 - ハ メタン、エタン又はブタンを含有する地層
 - ニ 炭酸水を湧出しており、又は湧出するおそれのある地層
 - ホ 腐泥層
- (2) 長時間使用されていない井戸等の内部
- (3) ケーブル、ガス管その他地下に敷設される物を収容するための暗きょ、マンホール又はピットの内部
- (3)の2 雨水、河川の流水又は湧水しており、又は滞留したことのある槽、暗きょ、マンホール又はピットの内部
- (3)の3 海水が滞留しており、若しくは滞留したことのある熱交換器、管、暗きょ、マンホール、溝若しくはピット（以下この号において「熱交換器等」という。）又は海水を相当期間いれてあり、若しくは入れたことのある熱交換器等の内部
- (4) 相当期間密閉されていた鋼製のボイラー、タンク、反応塔、船倉その他その内壁が酸化されやすい施設（その内壁がステンレス鋼製のもの又は内壁の酸化を防止するために必要な措置が講じられているものを除く。）の内部
- (5) 石炭、亜炭、硫化鉱、鋼材、くず鉄、原木、チップ、乾燥油、魚油、その他空気中の酸素を吸収する物質を入れてあるタンク、船倉、ホッパーその他の貯蔵施設の内部
- (6) 天井、床若しくは周壁又は格納物が乾性油を含むペイントで塗装され、そのペイントが乾燥する前に密閉された地下室、倉庫、タンク、船倉、その他通風が不十分な施設の内部
- (7) 穀物若しくは飼料の貯蔵、果菜の熟成、種子の発芽又はきのこ類の栽培のために使用しているサイロ、むろ、倉庫、船倉又はピットの内部
- (8) しょうゆ、酒類、もろみ、酵母その他発酵する物を入れてあり、又は入れたことのあるタンク、むろ又は醸造槽の内部
- (9) し尿、腐泥、汚水、バルブ液その他腐敗し、又は分解しやすい物質を入れてあり、又は入れたことのあるタンク、船倉、槽、管、暗きょ、マンホール、溝又はピットの内部
- (10) ドライアイスを使用して冷蔵、冷凍又は水セメントのあく抜きを行っている冷蔵庫、冷凍庫、保冷貨物自動車、船倉、又はコンテナの内部
- (11) ヘイウム、アルゴン、窒素、フロン、炭素ガスその他不活性の気体を入れてあり、又は入れたことのあるボイラー、タンク、反応塔、船倉その他の施設の内部
- (12) 前各号に掲げる場所のほか、労働大臣が定める場所

都市ガス等の性質について

【概要】

燃料ガスには、様々な種類があり、一般家庭用として使用されている燃料ガスには、都市ガス、LPガス、天然ガスなどがある。

札幌地区の都市ガスは平成8年5月より6Bから13Aに順次転換作業を行っている。

都市ガス13Aは、苫小牧勇払地区で産出する天然ガスを主成分としたもので、一酸化炭素を含有せず、従前の6Bの2.2倍の熱量を持つ高カロリーエネルギーである。

1 都市ガス転換計画の概要

転換作業は、北海道ガス㈱により、平成8年5月に厚別区から開始され、以降おおむね反時計回りに札幌地区の外周部から中心に向かい、約10年かけて約47万件（予想累計件数）の転換作業を順次行って行く予定である。

また、ガスの転換と同時にガス機器の調整も必要となることから、この作業も同時に進められる。

2 都市ガスの種類と特性

(1) 都市ガスの種類

都市ガスは、使用する原料や製造方法の違いにより、その燃焼に係る性質の類似性に基づいて13種類（LPガスは除く）に分類されている。

都市ガスの種類は、6B、13Aのように数字と英字の組合せで分類表示されるが、数字は発熱量の指数であるウォッペ指数を1,000で割って小数点以下を切捨てたものに該当し、英字は燃焼速度の指数を示したものであってA（遅い）、B（中間）、C（速い）と3種類に分けられている。なお、ウォッペ指数とは、ガス機器の消費熱量の指数であり、供給ガスの圧力とバーナーの口径が一定の場合は、ガス機器の消費する熱量に比例する。

$$\text{ウォッペ指数} = \frac{\text{発熱量}}{\sqrt{\text{比重}}}$$

表1 ガスの種類

種類	標準発熱量
6B	5,000Kcal/Nm ³ (20.93MJ/m ³)
13A (転換後)	11,000Kcal/Nm ³ (46.05MJ/m ³)
LPG	24,000Kcal/Nm ³ (100.46MJ/m ³)

(2) 都市ガスの成分

都市ガスの主成分は6Bが水素（50%）、転換後の13Aがメタン（85%）であり、共に空気より軽く無色の機体である。

また、都市ガスは本来無臭であるが、漏洩時の早期発見を目的としてガス事業法により付臭することが義務づけられている。

一般にガス臭いとされる臭いは、ターシャリブチルメルカプタン（TBM）、テトラヒドロチオフェン（THT）などの付臭剤の臭いである。（苫小牧勇払地区から北広島までは無臭のガスが送られており、北ガス北広島供給所で付臭作業が行われた後、札幌地区に送られてくる。）

燃焼したときの発熱量は、13Aの方が6Bよりも2.2倍大きい。すなわち、転換後は、従前の約半分のガス量ですむ。このため、現在使用している都市ガス用機器は、ガス流量の調整などをしないと不完全燃焼を起こし一酸化炭素（CO）などの有毒ガスが発生するため危険である。

表2 ガスの代表的な成分

成分	6B	13A	LPG
水素	H ₂	49.5	
酸素	O ₂	3.1	
窒素	N ₂	14.1	
一酸化炭素	CO	3.6	
二酸化炭素	CO ₂	14.6	
メタン	CH ₄	5.5	84.9
エチレン	C ₂ H ₄		0.9
エタン	C ₂ H ₆	0.1	7.5
プロピレン	C ₃ H ₆		95.2
プロパン	C ₃ H ₈	2.2	5.1
ブタン	C ₄ H ₁₀	7.2	1.0
その他の炭化水素系		0.1	1.5

表3 供給ガスの標準比重

	6 B	13 A	LPG
比重(空気=1)	0.68	0.67	1.55

(3) 都市ガスの燃焼範囲

発火して燃焼が起こるためには、ガス成分と空気とがある適当な割合に混合したときに限られ、ガスと空気の混合割合がうす過ぎても、濃過ぎても、ある限度を超えると燃焼が起こらない。

この低い方の値を燃焼下限界、高い方を燃焼上限界といい、この燃焼の起こる範囲を燃焼範囲という。

表4 燃焼範囲(空气中vol%)

	6 B	13 A	LPG
下限(%)	5.4	4.4	1.8
上限(%)	39.8	14.3	9.5

(4) 理論空気量

ガス1m³を完全に燃焼させるために必要な空気を理論空気量という。しかし、実際には理論空気量だけでガスを完全燃焼させることはできないため、理論空気量の約1.2~1.5倍の過剰の空気が必要となる。転換後は、従前の6Bガスに比べて約2.5倍の空気量が必要である。

表5 理論空気量

	6 B	13 A	LPG
理論空気量(m ³ N/m ³ N)	4.4	10.9	24.1

(5) 圧力

ガス栓の出口におけるガスの圧力を供給圧力と呼び、供給圧力はガス事業法によって最高値と最低値を供給規程に明示することになっている。

表6 供給ガスの圧力

	6 B	13 A	LPG
最高圧力(mm水柱)	200	250	330
最低圧力(mm水柱)	50	100	230

3 ガス濃度測定について

転換後の都市ガス13Aの濃度は、消防隊に配備されているガス検知器(GX-94)で測定可能であり、HC(炭化水素:メタン、プロパン、ブタンなど)の表示部に数値が示される。

この可燃性ガスの表示は、下限界濃度を100%とした[%LEL]となっている。例えば、メタンが20%LELのときは、メタンの下限界濃度は約5%であるから、実際の濃度は5%×(20/100)=1%ということになる。

<文責 伊藤 潤>

【参考文献】

- 1) 「都市ガスの知識」北海道ガス(株) 供給管理部
- 2) 「火と煙と有毒ガス」(財)東京連合防火協会, 東京法令出版(株), 東京消防庁消防科学研究所監修

航空燃料と化学熱傷について

【概要】

航空機火災において、消防隊員が消火及び救助活動中、機体から流出した航空燃料（Jet A-1）が皮膚に付着し、炎症（化学熱傷）をおこし52名が負傷した事故がF市で発生した。そこで、航空燃料と化学熱傷について調査したものである。

なお、化学熱傷はジェット燃料が原因ではなく、主成分である灯油（ケロシン）によって起きたものである。

1 航空機火災の概要

平成8年6月13日12時08分頃、F空港で航空機が、離陸しようとしたところ失敗し、滑走路をオーバーランし緩衝地帯で停止炎上したもので、搭乗者275名中112名の死傷者が発生したものである。

事故当時の気象状況は、天候くもり、気温22.5度、風速5.1m/S、湿度84.7%であった。

出火12:08、鎮圧12:28、鎮火16:31、消防隊85隊（ヘリ1機を含む）、出動人員431人

2 消防職員の負傷状況

消火・救助活動中、機体から流出した航空燃料（Jet A-1）が皮膚に付着し、炎症（化学熱傷）が15時38分頃（事故発生から3時間30分）から発生したため、52名を病院に搬送、46名は6月13日19時現在現場復帰したものの、6名は経過観察のため入院したものである。

表1 消防職員の負傷状況

中等症	軽症	計
6名	46名	52名

3 航空燃料について

航空燃料は、灯油系と、灯油・ガソリン・ナフサ混合物系の二つに分けられ、民間機の多くは前者、軍用機には主として後者が用いられる。

JISでは、「航空タービン燃料油」として次の3種類に分けている。

表2 航空タービン燃料油

種類	1号	2号	3号
記号	Jet A-1	Jet A	Jet B
タイプ	灯油形 (低析出点)	灯油形	広範囲 沸点形
引火点	38℃以上		—
密度 (g/ml)	0.7753~0.8398		0.7507~ 0.8017
用途	民間機		軍用機

航空燃料は、広範囲な温度圧力条件で使用できるものではないし、燃焼に際しては燃焼室壁温の上昇を減らすため、発煙性が少なく灰分や腐食性物質が生じないことが要求される。また、必要に応じて酸化防止、腐食防止、氷結防止、潤滑性向上の添加剤が加えられている。

なお、Jet A-1の化学的性質は、灯油と類似しており、火災防御戦術についても灯油と同じと考えて支障はない。また、本市の札消ヘリもJet A-1を使用している。

4 化学熱傷について

化学物質が皮膚に接触することにより発症し、疼痛を主とする炎症を「化学熱傷」という。

化学物質としては、

- (1) 酸（塩酸、硫酸等）
- (2) アルカリ（水酸化ナトリウム、アンモニア水等）
- (3) 芳香族化合物（ベンゼン、トルエン、キシレン等）

- (4) 脂肪族炭化水素（メタン，プロパン，ガソリン，灯油等）
- (5) 金属及びその化合物（マグネシウム，亜鉛等）
- (6) 非金属及びその化合物（フッ素，塩素等）

に分類することができる。

消防職員が負傷したのは、長靴の中に航空燃料（Jet A-1）がしみ込んで長時間暴露して起きたものと思われる。（前記(4)に該当）

脂肪族炭化水素は、蛋白変性作用、脱脂により生ずるが、比較的表存性である。

応急手当てとしては、まず、化学物質にさらされている状態を解除することから始める。衣服をとり直ちに大量の水で洗浄する。特別な中和剤を待つよりも化学物質を除くことが重要である。このため大量の水で洗浄することがもっとも効果的である。

5 まとめ

当局の防火衣は、衣服の暴露部分が殆どなく、このような脂肪族炭化水素による化学熱傷を起こす可能性は小さいと思われるが、誤って長靴に入った場合は速やかに除去、水洗いが必要である。

このような現場では、編上靴等液体が入り易い構造のものは活動に適さないことを留意しておく必要がある。

〈文 責 橋 上 勉〉

【参考文献】

- 1) J I S K 2 2 0 9 「航空タービン燃料油」
- 2) 「熱傷ハンドブック」 島崎 修次
- 3) 「熱傷と環境障害」 メジカルビュー社

業 務 実 績 表 (平成8年度中) (単位:件)

研 究			燃焼実験	成分鑑定	危 険 物 確認試験	研 修	防火教室	施設見学 行政視察 対応など
燃焼関係	機器関係	鑑定関係						
3	2	1	4	49	5	4 (127)	3 (149)	27 (665)

(注) () は、対象者の人数である。

主 な 研 究 実 績 表 (消防科学研究所報掲載)

年度	所報 No	分 野	研 究 テ ー マ	研究担当者	件数
平成 5 年度	No.1	燃 焼	耐火煉瓦の遮熱効果と低温加熱着火について	小島・上藤	3
		開 発	高規格救急車(トライハート)における防振ストレッチャー架台の防振性能評価について	桜井 清明	
		鑑 定	燃焼による灯油成分の変化について	橋上 勉	
平成 6 年度	No.2	燃 焼	バックドラフトに関する研究(その1)	小島 秀吉	4
			木炭の燃焼に伴う一酸化炭素の発生について	小島 秀吉	
		開 発	高規格救急車(トライハート)における防振ストレッチャー架台のバネ選定について	桜井・伊藤	
		鑑 定	燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について(その1)	橋上 勉	
		情 報	サリン[(CH ₃) ₂ CHO ₂ PFCH ₃]の特性について	橋上 勉	
火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について	桜井 清明				
平成 7 年度	No.3	燃 焼	バックドラフトに関する研究(その2)	小島 秀吉	5
		開 発	防火衣の保温性能に関する実験結果について	伊藤 潤	
			赤外線カメラの使用時に発生した特異現象について	伊藤 潤	
			低温下における空気呼吸器の特性について	伊藤 潤	
鑑 定	燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について(その2)	橋上 勉			
平成 8 年度	No.4	燃 焼	バックドラフトに関する研究(その3)	小島 秀吉	6
			ハンカチ・タオル等の除煙効果に関する研究	小島 秀吉	
			粉じん爆発について	小島 秀吉	
	開 発	高規格救急車(トライハート)内における電子サイレン音等の騒音調査	伊藤 潤		
		アクリル樹脂について	伊藤 潤		
	鑑 定	車内におけるスプレー缶の爆発危険について	橋上 勉		
	情 報	酸素欠乏について	橋上 勉	3	
航空燃料と科学熱傷について		橋上 勉			
都市ガス等の特性について	伊藤 潤				