

# 消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



1996 No. 3

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2） ..... 1
- ・防火衣の保温性能に関する実験結果について ..... 18
- ・赤外線カメラの使用時に発生した特異現象について ..... 29
- ・低温下における空気呼吸器の特性について ..... 33
- ・燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について（その2） ..... 36

## 【業務事業実績】

- ・主な研究実績 ..... 44
- 

# CONTENTS

## 【Research Papers】

- ・ Research of Backdraft (No. 2) ..... 1
- ・ Results of Experiments on Thermal Insulation Performance of Fireproof Clothing ..... 18
- ・ Unusual Phenomena Occurring during the Use of Infrared Cameras ..... 29
- ・ Characteristics of Compressed Air Breathing Apparatus in Low Temperatures ..... 33
- ・ Changes in the Chemical Makeup of Heating Kerosene According to Combustion Surface Area (No. 2) ..... 36

## 【Table of Results】

- ・ Main Research Results ..... 44

# バックドラフトに関する研究（その2）

内部観察ができる区画模型による燃焼再現実験

〈 英 訳 〉

## Research of Backdraft (No. 2)

Backdraft simulation tests using compartment model

小 島 秀 吉 \*

Kojima Hideyoshi

### 要 約

バックドラフトの発生状況を把握するため、ガラスを透して内部観察ができる区画模型を作成し、燃焼実験を実施した。この結果、バックドラフト発生時の火炎の状況が観察でき、また、内部の温度分布や、酸素濃度なども同時に測定することができた。

〈 英 訳 〉

### Summary

To clarify conditions under which backdraft occurs, a compartment model featuring a glass portion through which the interior could be observed was constructed and combustion tests were conducted.

As results, data concerning fire conditions at the time of backdraft and interior temperature distribution and gas concentration were obtained.

## 1 はじめに

高気密性住宅において居室規模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、前報（バックドラフトに関する研究 消防科学研究所報 1995 No.2）では、区画模型を用いて燃焼実験を行い、開口部から繰り返し、火炎が急激に噴出する現象が確認され、温度及び酸素濃度変化等のデータが得られた。また、内部の火炎や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から、今後、内部の燃焼状況の変化を把握するとともに、燃焼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。

今回は、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て実験を行った。1回目の実験ではバックドラフト発生時の内部の状況を側面から観測し、2回目の実験においては、区画模型の断熱性を高めるために、観測窓を耐火断熱材でふさいだ状態で実験を行い、温度分布や燃焼速度及び一酸化炭素濃度等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。

## 2 実験の目的

側面に耐火耐熱ガラスを設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、内部の燃焼の状況及び温度分布変化、酸素濃度、さらに前報では測定していない一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度及び燃焼速度の変化等を把握しながら、今後に予定してい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

- (1) 実験1 ～ 平成8年2月29日（木）  
13時00分～16時30分
- (2) 実験2 ～ 平成8年3月6日（水）  
14時00分～17時00分

### 3.2 場 所

- (1) 実験1及び実験2  
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

- (1) 実験1 ～ 室温24℃、湿度50%
- (2) 実験2 ～ 室温21℃、湿度67%

### 3.4 実験の方法

- (1) 実験概要  
ア 実験1

\*消防科学研究所

バックドラフト発生時の内部燃焼状況を観測した。

#### イ 実験2

観察窓をふさいだ状態で、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燃焼速度を測定した。

#### (2) 燃焼材

厚さ18mm、幅80mmのラワン材で、天井部分には長さ900mm 8枚、背面壁体部分には長さ620mm 6枚、正面から右側の側面壁体部分には長さ620mm 6枚を簀子状に組み立てたもの(写真1)をアングル鋼材で製作した枠に固定し(写真2)、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(写真3)。

なお、実験2では可燃性ガスを発生しやすくして燃焼性を高めるために、板材に直径10mmの穴を千鳥状に約50mm間隔で開けた(写真4)。

燃焼材の重量は、実験1で合計12.3kg、実験2で合計12.0kgであった。

#### (3) 点火の方法

短冊状のラワン材(20×20×200mm)2.0kgを井桁状に組み、その中に灯油をしみ込ませた紙と500g程の木片を焚き付けとして入れたものを2つ作製して、これらを内部背面の右隅に置きLPGトーチバーナーにより点火した(写真5)。

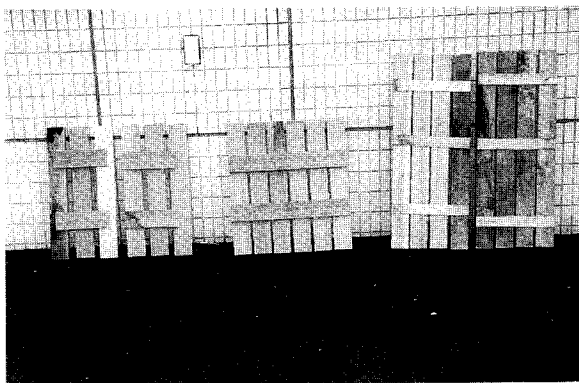


写真1 簀子状に組み立てた燃焼材の状況

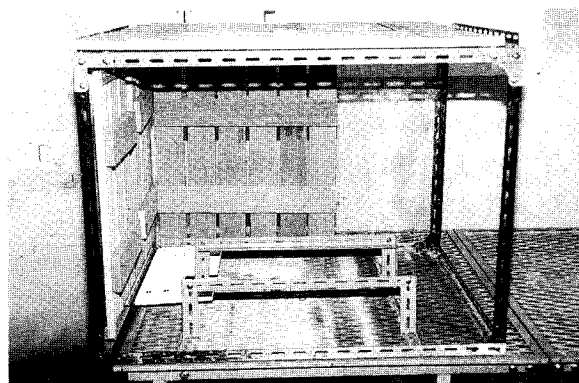


写真2 アングル鋼製枠への燃焼材の固定状況

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、さらに実験1では区画模型内部の煙り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(写真6)。

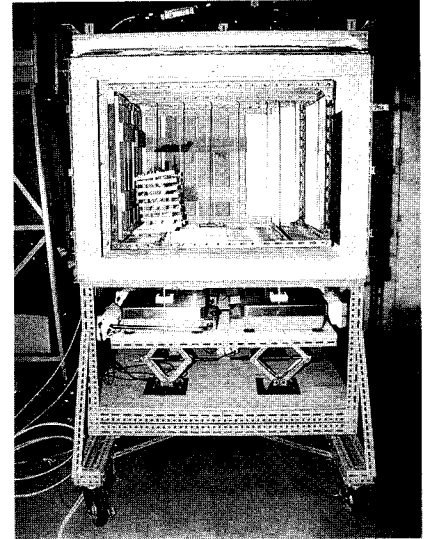


写真3 燃焼材の設置状況

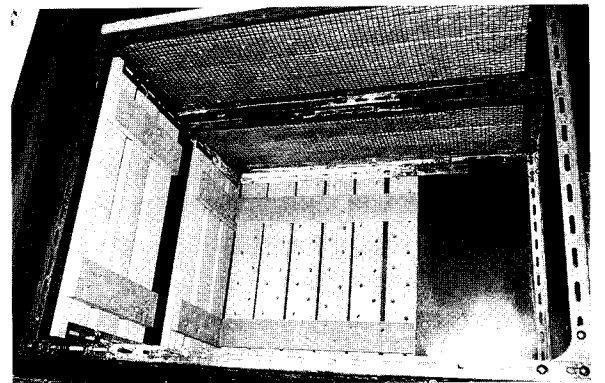


写真4 実験2における燃焼材の状況

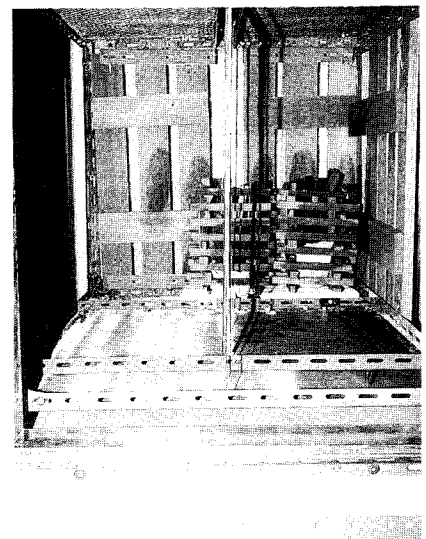


写真5 区画模型右隅奥に置かれた点火材の状況



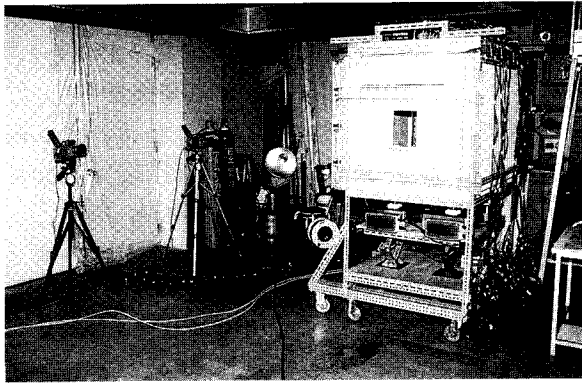


写真6 ビデオカメラの設置状況

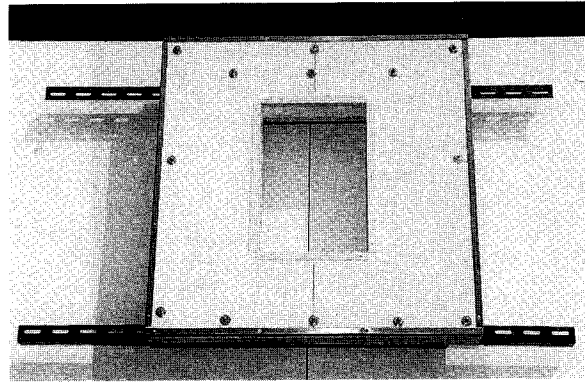


写真8 脱着式開口部の状況

### 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、開口部は前報と同じく幅200mm、高さ240mmであり、開口部を有する正面壁体は脱着式とした(図1、写真7、8)。

#### (2) 材質

耐火断熱ボード(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)ダイアセーラ厚12mm)2枚で挿んだ部材(写真9)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900×高さ1200×厚15mm)上に載せて底板とした。そして、これらを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た(写真10、11)。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(株)マフテックブランケット厚25mm)1枚を敷いた。

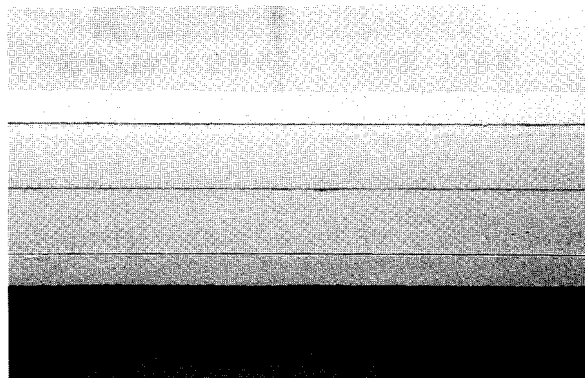


写真9 壁体部材断面

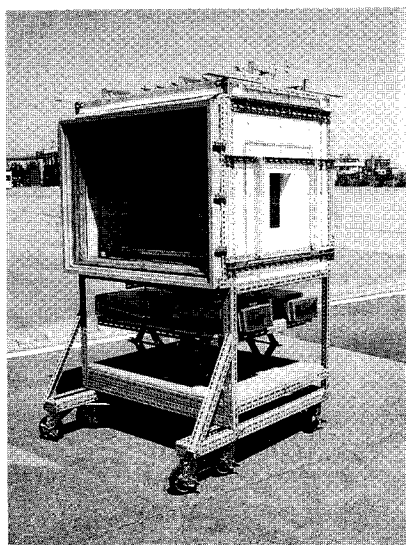


写真7 区画模型の状況

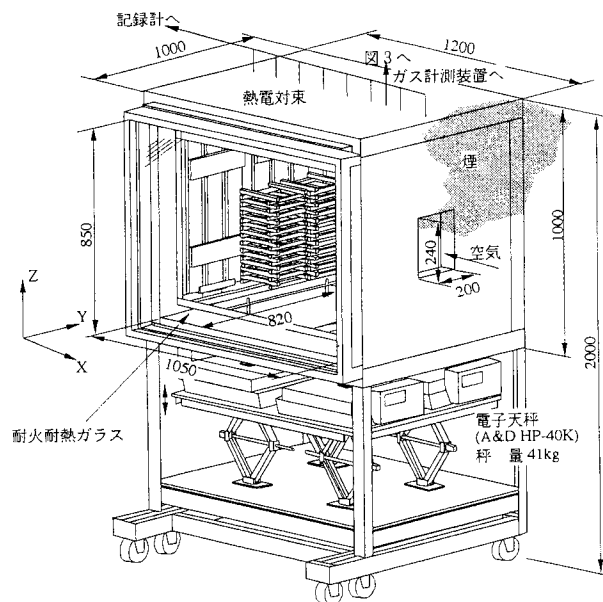


図1 区画模型外観(単位mm)

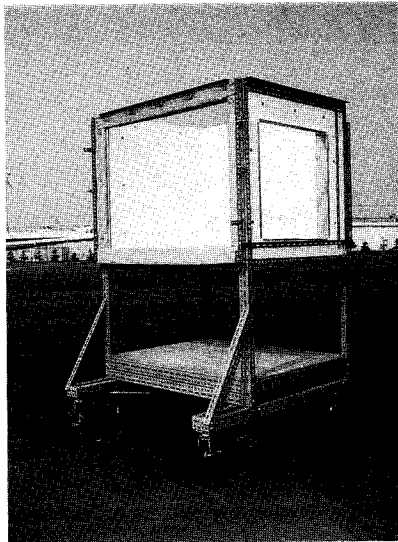


写真10 壁体とアングル枠台との組上状況

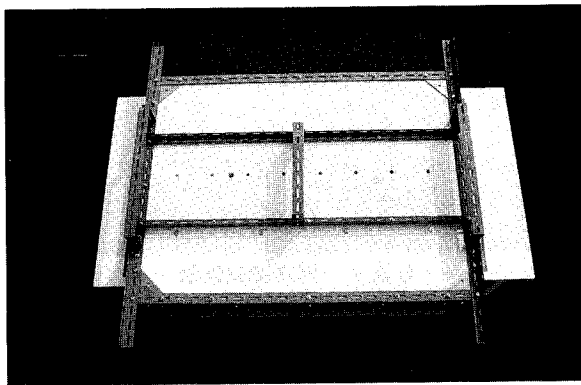


写真11 天井とアングル枠との組上状況

また、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(株)、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（写真12）を設置して内部の状況を観察できるようにした。これは、熱膨張係数が0に近く、800℃に熱し冷水をかけても割れない、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。

なお、実験2では、耐火耐熱ガラス窓内側に耐火断熱材（マフテックブランケット厚25mm）2枚を組み込み、亜鉛引きトタン板（厚0.25mm）でふさいだ。

### 3.6 燃焼速度の測定方法

前述の燃焼材を固定したアングル銅製枠を区画模型内に設置し、底板を貫いている4本の支柱に載せ、区画模型下に設置した4台の電子天秤（株A&D HP-40K 秤量41kg、感度0.5g）で燃焼材の重量減少を1秒毎に計測し、燃焼速度を測定した（写真13）。

### 3.7 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を8本、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、合計56点（ $7 \times 8 = 56$ ）について測定した（写真14, 15）。

データの収録はハイブリッドレコーダ（日本電気三栄(株)RD3500）で、1秒毎に計測し、メモリーカードに記録した（写真16）。なお、測定点は図2に示すとおりである。

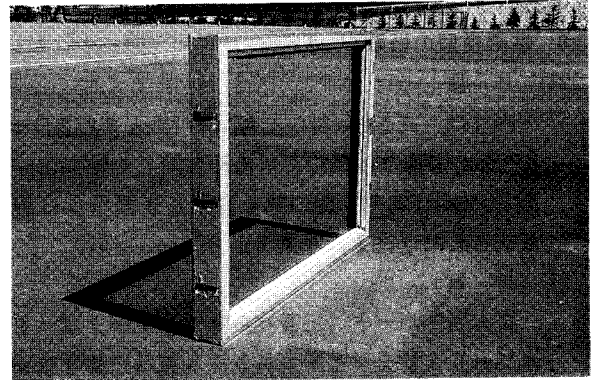


写真12 耐火耐熱ガラス窓

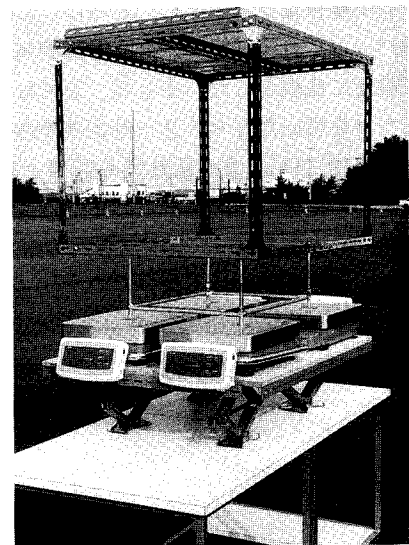


写真13 燃焼速度測定装置

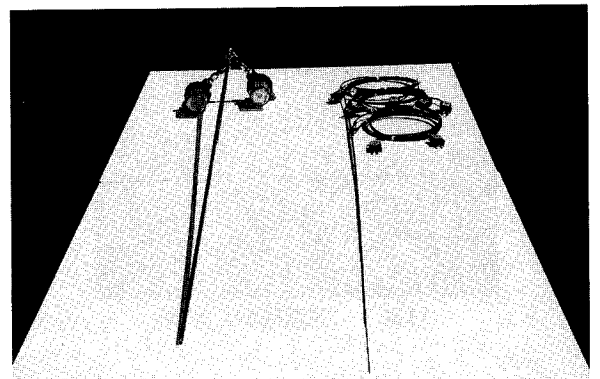


写真14 ガス導管(左側)と熱電対束(右側)の状況

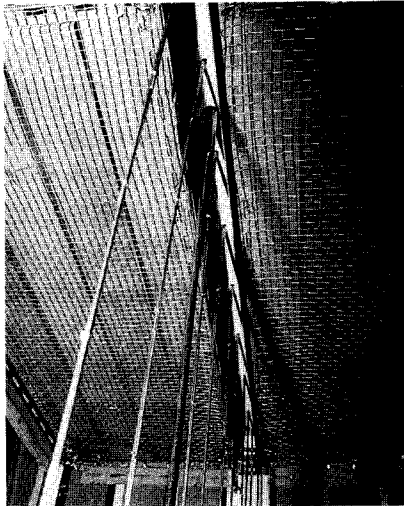


写真15 熱電対束とガス導管の設置状況

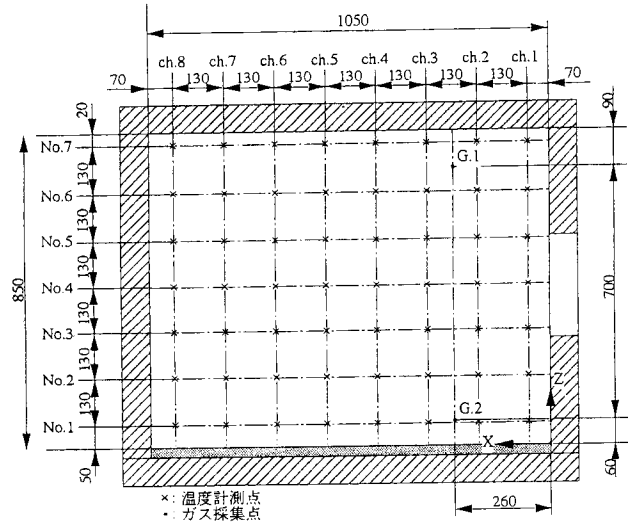


図2 測定点位置 (単位mm)

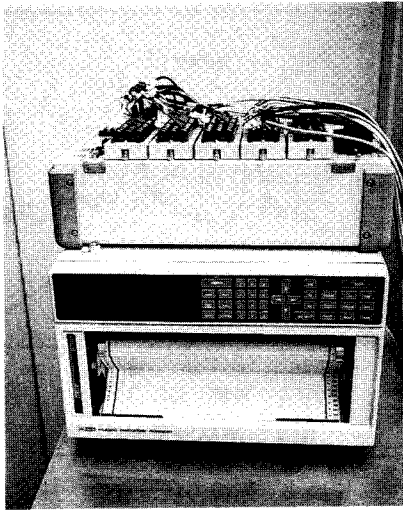


写真16 ハイブリッドレコーダ

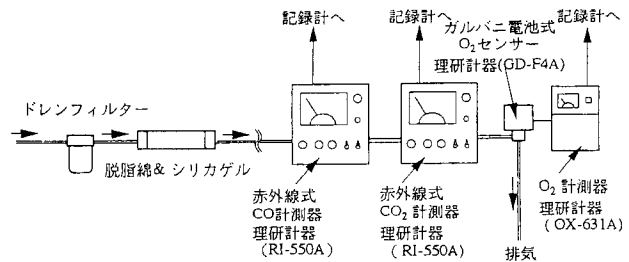


図3 燃焼ガス測定システム

吸引した内部の燃焼ガスについては、図3に示すようにド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4 mm) により各計測器に導いた。

酸素濃度については、ガルバニ電池式酸素計 (理研計器(株) GD-F4A, OX-631A) で、一酸化炭素、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(株) RI-550A) で測定した (写真17)。これらフィルターを含めた計器の応答時間は約60秒であった。

また、これらの出力信号はハイブリッドレコーダ (日本電気三栄(株) RD3500) で、1秒毎にAD変換してメモリーカードに記録するとともに、データ出力装置 (グラフテック(株) WR8000) により濃度変化をプリンタ出力した。

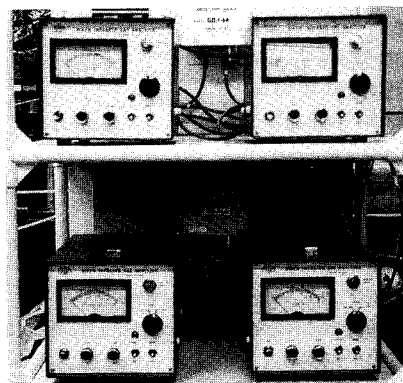


写真17 赤外線式ガス分析計

### 3.8 酸素、一酸化炭素、二酸化炭素の測定方法

内部の酸素、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の変化の測定は、銅製の導管(内径4 mm) 2本を用いて天井より吊るし、図2に示すように天井付近(G.1)と床付近(G.2)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、計毎分1.2ℓ吸引して測定した(写真14, 15)。

## 4 実験結果

### 4.1 実験1

#### (1) 火炎噴出時の内部の燃焼状況

文末カラー写真18に、観察窓より撮影したバックドラフト発生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⑭ま

で1.6秒である。区画内中央の天井付近から発生した火炎は、拡大しながら次第に下がり(①~⑧)、全体に広がって行く。特に天井と床の間開付近では白く輝いた部分が見られ(⑨~⑬)、さらにこれが黄色から赤色になりながら広がり前方へと伝搬していき開口部から火炎を急激に噴出している(⑭~⑳)。

(2) 開口部からの火炎の噴出状況

文末カラー写真19に、真横より撮影したバックドラフト発生時の火炎の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⑳まで1.6秒である。①から順に見て行くと、①~③まで開口部から煙が流出して天井付近で火炎が発生し拡大して行くのが分かる(④~⑧)。さらに、火炎の膨張拡大に伴って煙が押し出され(⑨~⑬)、それに続き火炎が激しく噴出しながら明るく輝く部分が舌状に延びて行くのが分かる(⑭~⑲)。特に⑮から⑰では、外に噴出した火炎がファイアーボールを形成しているのが分かる。その後、舌状の明るく輝く部分がなくなり(⑱~⑲)、多数のしわを持つしわ状火炎へと変化し、上方へ傾きながら小さくなっていく(㉓~㉔)。

開口部からの炎の流出が減少しているも区画模型内部においては、まだ火炎が残っている(㉕~㉖)。

4.2 実験2

(1) 燃焼の状況経過

実験の開始から終了までの39分間に、2回の火炎の噴出現象が起きた。この間の開口部から噴き出す煙や火炎の状況経過を表1に示す。点火後40秒には開口部から白煙が流出し始め、点火後3分には煙の量が増加し、さらに1分後には褐色に変化した。点火後10分ほどで内部の炎が見えなくなった。その後4分33秒で壁体が燃えて内部に炎を確認したが、すぐに内部の炎が消え、煙が息継ぎをし始めた。点火後21分には勢いよく頻繁に息継ぎを繰り返す、点火後24分13秒に1回目のバックドラフトが発生した。発生直後、煙は薄くなるが20秒後には再び濃くなり、点火後24分53秒には2回目のバックドラフトが発生した。点火後25分09秒からは開口部から火炎が流出し続け、量を減少させながら、また色や輝きを薄くさせながら、消火するまで流出した。点火後36分42秒には開口部を閉鎖し窒息消火を試みたが消火できず、点火後39分に消火のため注水して実験を終了した。

(2) 燃焼速度の変化

図4に実験2における、燃焼材の重量減少の変化と時間当たりの重量減少量(燃焼速度)の変化を示す。燃焼材の重量減少変化を見ると実験終了時まで9.3kg減少しており、点火後4分までと15分前後さらにバックドラフトが発生した24分から25分前後に勾配の変化が見られるが、ほぼ一定の勾配で減少しており、平均燃焼速度は0.0039kg/sである。

この変化を時間当たりの重量減少量(燃焼速度)で見ると、点火後4分までは燃焼速度は急激に増加し、その後0.0035kg/sほどの値で多少増減しながら一定の値をとるようになる。点火後7分頃から燃焼速度が増加し、点火後14分42秒には最初

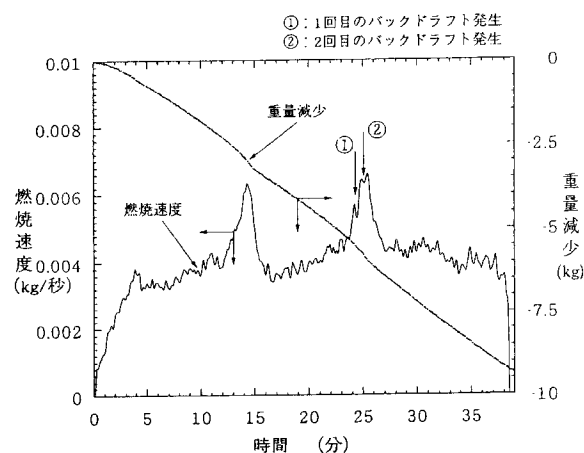


図4 燃焼速度変化

表1 燃焼の状況経過

経過時間	燃 焼 の 状 況
点火直後	焚付けに着火し炎を上げ燃焼する。
40秒	開口部から白煙が流出し始める。
1分	流出する白煙の量が増加する。
3分	白煙の量がさらに増大する。
4分	白煙が褐色に変化する。
8分	煙の量が増加し、勢いも増す。
10分	煙が時々脈動する。
10分30秒	流出する煙で内部の炎が見えなくなる
14分33秒	内部壁体に着火し、炎が立ち昇る。
15分	内部の炎が消えて、煙が時々息継ぎ状態となる。
18分	息継ぎを頻繁に繰り返す。
21分	煙が褐色となり、息継ぎを勢いよく頻繁に繰り返す。
24分13秒	1回目の急激な火炎噴出、すぐに火炎が消え薄い煙の噴出が続く。
24分33秒	煙の色が濃くなる。
24分53秒	2回目の急激な火炎噴出、すぐに火炎が消え薄い煙の噴出が続く。
25分00秒	煙の色が濃くなる。
25分09秒	開口部から火炎が流出する。
27分02秒	火炎の流出が減少する。
27分46秒	火炎の流出が更に減少し、火炎の色が薄くなる。
31分05秒	流出する炎の輝きが少なくなり透明になる。
36分42秒	開口部を閉鎖する。
36分52秒	開口部を開放、褐色の煙が流出する。
37分07秒	火炎が噴出する。
39分	火炎の流出が続き、自然に消えない状態であり、注水して消火した。

のピークに達する。このときの燃焼速度は0.0062 kg/sであり、80%ほどの燃焼速度の増加が見られた。その後燃焼速度は低下し、再び0.0035kg/sほどの値をとるようになり、点火後23分頃から再び燃焼速度が増加し始め、点火後24分13秒に1回目のバックドラフトが発生した。この時の燃焼速度は0.0052kg/sであり、40%ほどの燃焼速度の増加がみられた。その後、さらに燃焼速度が増加し、点火後24分53秒に2回目のバックドラフトが発生した。この時の燃焼速度は0.0068kg/sである。そして、その直後に開口部からの火炎の流出が発生し、燃焼速度は低下し0.004kg/s程度と、ほぼ一定値をとる。

(3) 区画模型内の温度変化

図5に実験2における、開口部付近に設置した熱電対束ch.1 (0.07D) の測定結果を示す。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のもの) 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のもの) で表した。バックドラフト発生までは、床に近い0.06H, 0.21Hとその他の測定点の温度差が比較的大さい。点火後

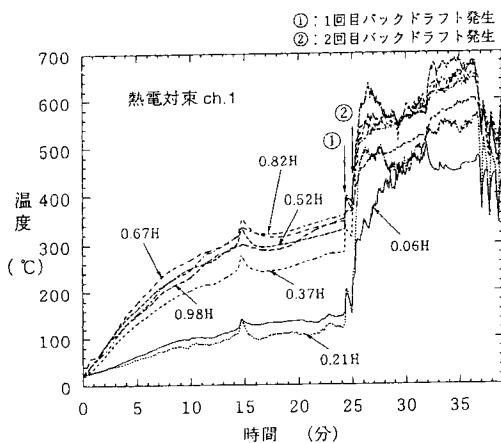


図5 温度変化 (開口部付近)

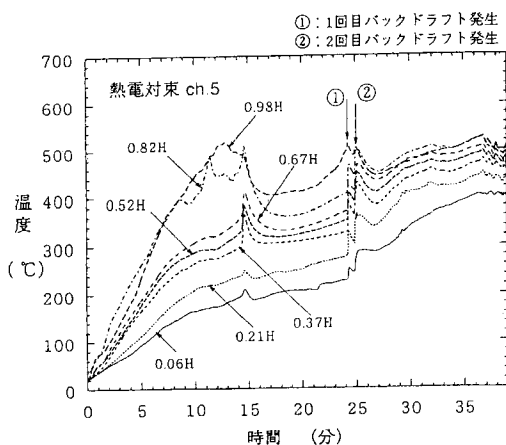


図6 温度変化 (区画中央付近)

14分50秒頃に一旦上昇したが、すぐに低下した。1回目のバックドラフト発生によって急激な温度上昇が見られた後、前報と同様に温度降下が見られた。その後2回目のバックドラフトが発生したが温度は低下せず、開口部からの火炎の流出が発生して600℃程度まで上昇し変動も激しい。

図6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。2回目のバックドラフトまでは図5の開口部付近に比べて、床付近 (0.06H, 0.21H) 及び天井付近 (0.82H, 0.98H) の温度が高い。開口部からの火炎の流出後は、全般的に図5の開口部付近と比較して低く変動も小さい。

(4) 酸素、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の変化

図7に天井付近 (G.1:0.89H,0.25D) のガス濃度変化を示す。点火後4分まで急激に酸素濃度が低下し、これに伴い一酸化炭素、二酸化炭素濃度の上昇が見られる。点火後5分頃からは、酸素濃度はほぼ一定で、一酸化炭素、二酸化炭素濃度もほぼ一定になる。点火後11分過ぎには酸素濃度の低下、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の上昇が見ら

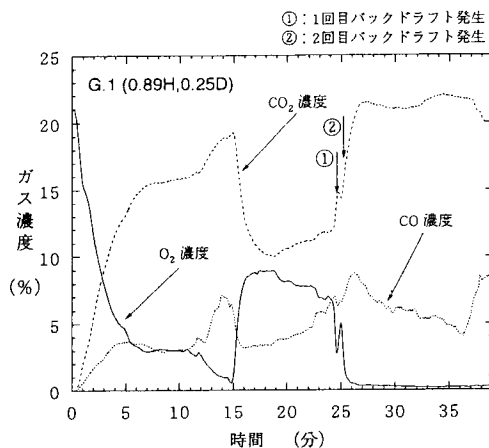


図7 ガス濃度変化 (天井付近)

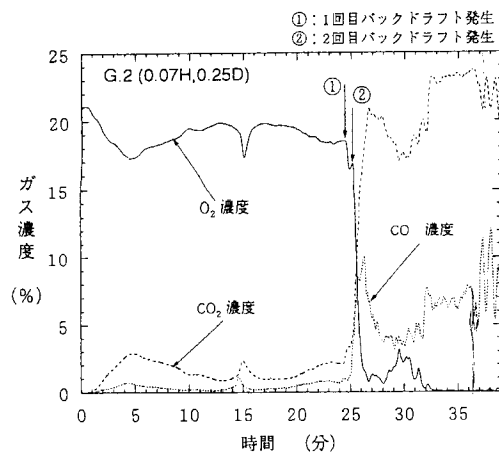


図8 ガス濃度変化 (床付近)

れ点火後15分前には、酸素濃度が1%以下となった。その直後急激に酸素濃度が増加し1分ほどで8%まで達しバックドラフト発生までの8分間に7%まで徐々に減少した。1回目のバックドラフト発生時の酸素濃度は7%、一酸化炭素濃度は6.8%、二酸化炭素濃度は11.9%であった。1回目のバックドラフトの直後に酸素濃度は上昇するが、一酸化炭素、二酸化炭素濃度はさほど変化しないまま2回目のバックドラフトが発生し、続けて開口部から火炎が流出した。酸素濃度は急激に低下し、これに伴い一酸化炭素、二酸化炭素濃度は上昇し、開口部からの火炎流出以後は平均的に見て、酸素濃度はほぼ0%、一酸化炭素濃度は6%から7%程度、二酸化炭素濃度は21%程度とほぼ一定の値をとる。

図8には、床付近(G.2:0.07H,0.25D)のガス濃度変化を示す。点火後5分頃までは天井付近(G.1)と同様に酸素濃度は低下するが、その減少率は低く、17%程度までしか減少しない。一酸化炭素、二酸化炭素濃度の増加も低く、一酸化炭素が1%程度、二酸化炭素が3%程度である。その後、酸素濃度はやや上昇し、一酸化炭素、二酸化炭素濃度は減少する。点火後15分前後には、酸素濃度の低下、一酸化炭素、二酸化炭素の上昇がみられ、1回目のバックドラフトが発生すると、酸素の濃度は低下し、二酸化炭素濃度は上昇した。その後2回目のバックドラフトが発生し、酸素濃度の低下、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の上昇がみられ、さらに火炎の発生で、一酸化炭素、二酸化炭素濃度は上昇し、酸素濃度はほぼ0%となった。その後は各ガス濃度は天井付近(G.1)と比べ、変動が大きいものの平均的に見ると、酸素はほぼ0%、二酸化炭素は20%、一酸化炭素は6%ではほぼ同じ様な傾向を示している。

## 5 考察

### 5.1 実験1

バックドラフト発生時の区画模型内部の燃焼状況を観察するため側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置して実験を行い、今回初めて発生時の状況の観察に成功したものである。

文末カラー写真18では、バックドラフト発生時、区画内中央の天井付近から何らかの着火源により発生した火炎が内部全体に拡大していく状況がよく分かる(①~⑬)。撮影間隔は1/30秒であることから、内部に火炎が発生して開口部から噴出するまで約0.5秒程度である。また、拡大した火炎の中心部に白く輝く部

分が成長していくのが見られ、回りの火炎に比べかなり温度が高いと思われる(⑨~⑬)。また、火炎が噴出している間に、この白く輝く部分が次第に輝きを失いながら拡大している(⑭~⑳)。このことは高温のガス体が温度を下げながら拡散しているものと思慮される。

また、火炎の噴出が弱まるにつれて内部の火炎が開口部側に移動していることから、区画奥の酸素濃度が低くなり、またその供給がなくなっていると考えられる(㉓~㉘)。

文末カラー写真19では、火炎の噴出前に内部の火炎が拡大し噴出直前に内部の煙が急激に排出される状況がよく分かる(⑤~⑬)。

開口部から噴出した火炎は周囲の空気に触れ、ファイヤーボールを形成している(⑮~⑰)。

火炎の噴出が弱まっていくに従い、内部の火炎の輝きも少なくなり、噴出している火炎の色からも温度が低下しており、また内部の火炎が開口部の方へ移動していることが分かる(㉑~㉔)。これは開口部からの空気の流入により酸素濃度が開口部付近で高いため燃焼が続いていると思慮される。

### 5.2 実験2

#### (1) 燃焼の状況変化

この実験では、2回のバックドラフトが発生した。発生前には、褐色の煙が勢いよく頻繁に息継ぎをしながら開口部より流出しており、また開口部から火炎が流出し続ける時に炎の色が次第に変化していることから、内部の高温気体や可燃性ガス、及び開口部からの空気や煙の出入りが発生に大きく関係していると思われる。

#### (2) 燃焼速度の変化

図4の燃焼速度変化について。点火後4分までの燃焼速度の増加は十分な酸素の中、クリブから燃焼材に着火し、しだいに火炎が大きくなっていく過程であり、やがて燃焼速度を増加させるほどの酸素がなくなり、一定になったことが思慮される。多少増減があるものの燃焼速度が一定の部分には、二つの大きなピークにより3つの部分に分けられている。最初の部分と2番目部分は、発生した煙や可燃性ガスの量と流入空気量が平衡となり燃焼速度が一定となっていると考えられる。3番目の一定部分は開口部から火炎を流出しながら一定の速度で燃焼しているものと思われる。

二つの大きなピークに着目すると、点火後14分前後のピークは、開口部からの火炎の流出はなかったが、内部の壁体が炎を上げて燃焼していること

から、フラッシュオーバーが起ころうとしたが、すぐに内部の酸素を消費し炎が消えたものと考えられ、一時的に燃焼速度が増加したと考えられる。点火後25分前後のバックドラフトが発生した時のピークは、内部で急激に火炎が発生したため一時的に急に燃焼速度が増加したと考えられる。また、2回目のバックドラフト発生直後に開口部から火炎が流出し、さらに増加しようとするが、十分に酸素がないため、減少して行き一定になったと思われる。

### (3) 区画模型内の温度変化

図5（開口部付近ch.1）と図6（区画中央付近ch.5）を比べてみると、バックドラフトが起きるまでは、区画中央付近の方が温度が高く推移しているが、どちらもほぼ高さ方向に高くなっており開口部付近では、下の2点（0.06H、0.21H）とそれ以外の上の部分との差が顕著である。これは開口部において中性帯をはさんで、下から外気が流入し上からは内部で発生した煙等の高温気体が流出しているためと考えられる。また区画中央付近では天井部分が特に高く、高温の煙などの気体が滞留しており、0.82Hの所では温度変化の乱れから火炎が存在していると推察される。点火後14分から15分の間で、開口部付近、区画中央付近、両者とも急な立ち上がりを見せているが、このころ内部で火炎の拡大を確認していることから、フラッシュオーバーが発生しようとしたことが推察される。

バックドラフト及び開口部から火炎が流出した点火後25分以降、両者は大きく異なる、すなわち開口部付近は火炎の激しい流出のため、高温かつ激しく変化しているが、区画中央付近はバックドラフト発生前と同様に高さ方向に層状に変化している。このことは開口部から盛んに火炎が流出していても内部では火炎が発生していないことが推察される。

なお、点火後36分頃からの規則的な温度の昇降は開口部を閉鎖し消火を試みたためである。

文末カラー図9及び図10は、内部の温度分布を等温線及び色で表示したものである。

図9の(a)は点火後10分の時である。クリブは燃尽き温度が低く、天井部分に500℃以上の高温部分が見られ、図6の温度変化からも火炎の存在が推定される。(b)は点火後24分13秒の1回目のバックドラフトの時であり、内部が300℃以上となっているのが分かる。(c)は点火後35分の開口部から火炎が流出している時である。開口部から奥行き

方向4分の1ほどが600℃以上となっており、その他は比較的低温となっている。このことは、開口部から空気が流入し開口部付近の可燃性ガスが炎を上げて燃焼しており、前述の図5及び図6からも開口部から火炎が盛んに流出していても内部奥の方には火炎がないことが推察される。

図10の(a)と(b)はそれぞれ2回目のバックドラフト発生前の点火後24分44秒と1秒後の24分45秒の時であり、(c)は2回目のバックドラフトが発生した点火後24分53秒の時である。(a)と(b)について、350℃から400℃の等温線に着目し、両者を比較すると、内部奥の方へ、これらの等温線が後退していることから、開口部から外気が流入することにより、内部の酸素濃度が可燃性ガスの燃焼限界に達し、バックドラフトを発生させていることが推察される。

### (4) 酸素、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の変化

図7（天井付近G.1）と図8（床付近G.2）を比較してみると、床付近の変化に比較して、天井付近は大きく変化している。2回目のバックドラフト発生後、開口部から火炎が流出している間は、床付近の方が変動は大きいものの、平均的に見て酸素はほぼ0%、二酸化炭素は20%、一酸化炭素は6%で、両者はほぼ同じ様な値をとっている。このことは、バックドラフト発生以前は内部の気体層が少なくとも2つの層に分かれており、2回目のバックドラフト発生後、開口部から火炎が流出している時は内部に攪乱が起き、ほぼ一様な層となっていることが推察される。また天井付近より床付近の方が変動が激しいのは、中性体下部から流入する空気の影響のためと思われる。

点火後36分から37分以降、図7（天井付近G.1）の一酸化炭素濃度の上昇及び二酸化炭素濃度の減少、さらに図8（床付近G.2）の周期的な一酸化炭素濃度の上昇及び二酸化炭素濃度の減少は開口部を閉鎖した影響と考えられるが、「一酸化炭素が増加したら二酸化炭素も増加する」という、開口部を閉鎖する以前と異なった傾向を示しているのが興味深い。

酸素濃度に関して前報と比較すると、床付近で16%から20%の範囲で変動しており前報でも15%から19.5%であり、ほぼ同じ傾向を示しているが天井付近では、変動は1%から9%の範囲で前報の1%から13.5%に比べ範囲の上限が低くなっており、発生時の濃度も7%と5%で前報の強い噴出時の10%から13.5%よりも低く、弱い噴出時の6.5%とほぼ同じであった。

## 6 まとめ

### 6.1 実験1

実験1では、区画模型内部の燃焼状況を観察するため側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置した。

その結果、バックドラフト発生時において、区画内中央の天井付近から何らかの着火源により発生した火炎が内部全体に拡大していく状況を捉えることに初めて成功した。

また、常に内部の燃焼状況が把握できるようになり、温度、燃焼速度、内部のガス濃度等のデータと照合しながら、正確な内部現象の観測が可能となった。

### 6.2 実験2

実験2では、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、さらに燃焼材の燃焼速度の変化を測定した結果、以下のことが観測された。

#### (1) 燃焼速度の変化

- ア バックドラフト発生時に急激に増加した。
- イ バックドラフトが発生しなくとも一時的に増加した時があった。
- ウ 2回目のバックドラフト発生以後、開口部から火炎が流出している時は一定となった。

#### (2) 温度変化

- ア 2回目のバックドラフト発生以後、開口部から火炎が流出している時、区画中央付近では火炎が発生していないことが推察された。
- イ バックドラフト発生直前に開口部からの空気の流入によると思われる、温度分布の変化が測定された。

#### (3) 酸素、一酸化炭素、二酸化炭素の濃度変化

- ア バックドラフト発生までは、床付近と比較して天井付近では濃度が大きく変化している。
- イ 開口部から火炎が流出している時は、床付近の方が変動しているものの、床付近と天井付近では平均的に見てほぼ同じ様な濃度で変化している。
- ウ 開口部を開放した状態では、一酸化炭素濃度が上昇すると二酸化炭素濃度も上昇したが、開口部を閉鎖すると一酸化炭素濃度は上昇し二酸化炭素が減少するという傾向が見られた。

## 7 あとがき

側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置したことで常に区画模型内部の燃焼状況が把握できるようになり、温度、燃焼速度、内部のガス濃度等のデータと照合しながら、正確な内部現象の観測が可能となった。

今後は内部の煙や可燃性ガスの濃度及び種類に着目するとともに、開口部の位置や大きさ、また、燃焼材の量や設置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、消火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) 田中哮義「建築火災安全工学入門」  
日本建築センター
- 2) 堀内三郎「建築防火」朝倉書店
- 3) 長谷見雄二「火事場のサイエンス」井上書院
- 4) 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
- 5) 平沢正巳、武田松男、大神田郁夫「フラッシュオーバーに関する研究(その7)」東京消防庁  
消防科学研究所報31号(1994) P28～P37



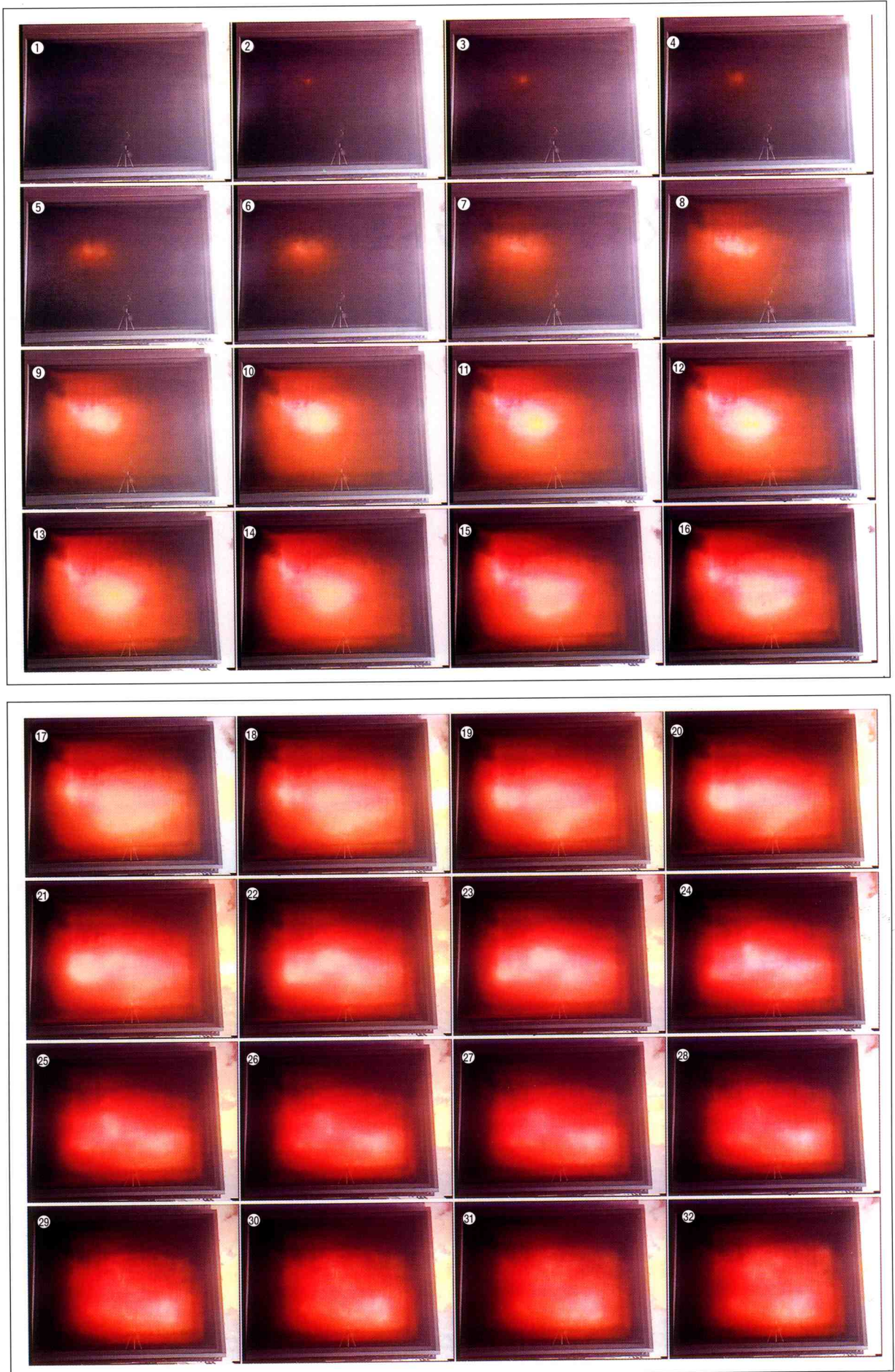
## 〈バックドラフト連続写真〉

コマ数…48

コマ間…1／30秒

総時間…1.6秒

写真18 区画内の燃焼状況 ①～⑳まで1.6秒 1コマ1/30秒





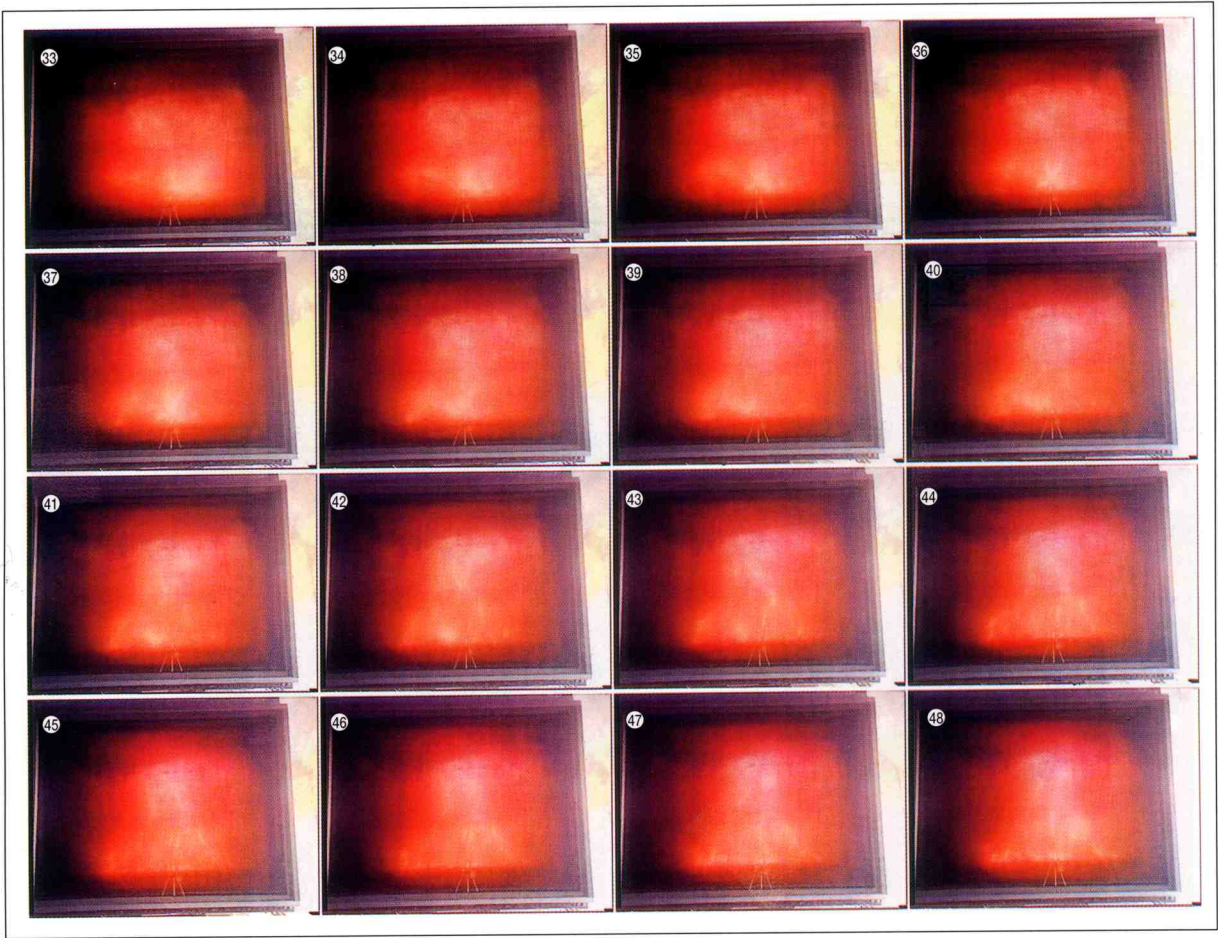
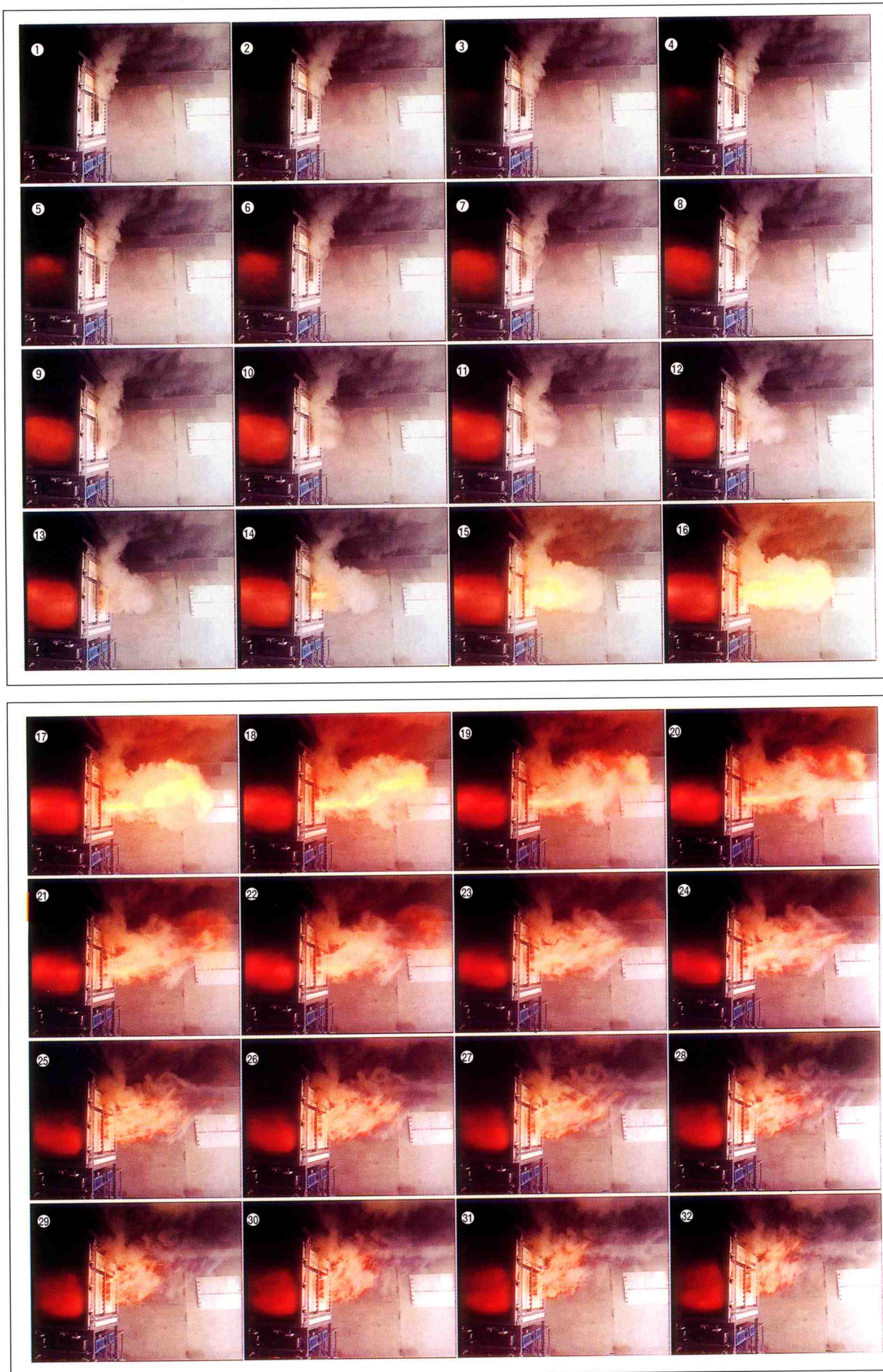


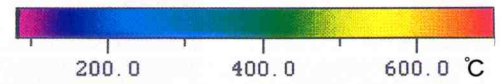
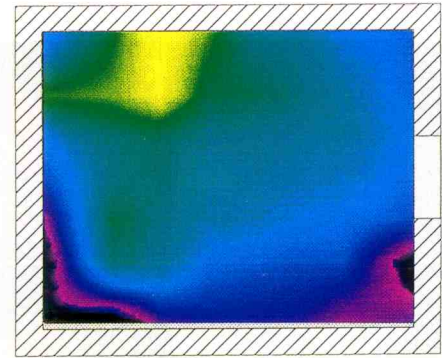
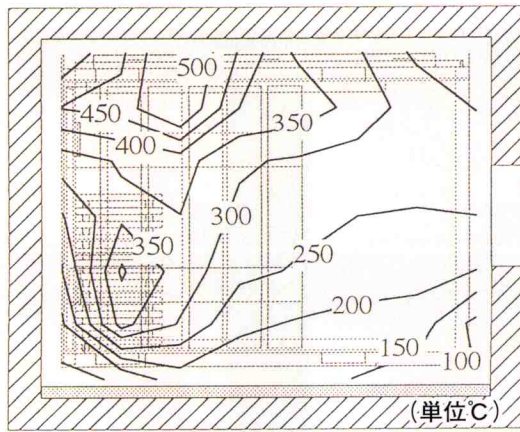


写真19 火炎の噴出状況 ①～④⑧まで1.6秒 1コマ1/30秒

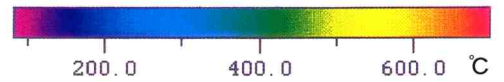
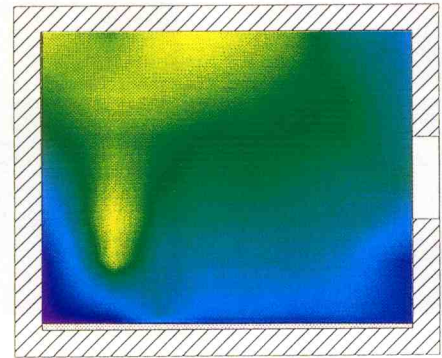
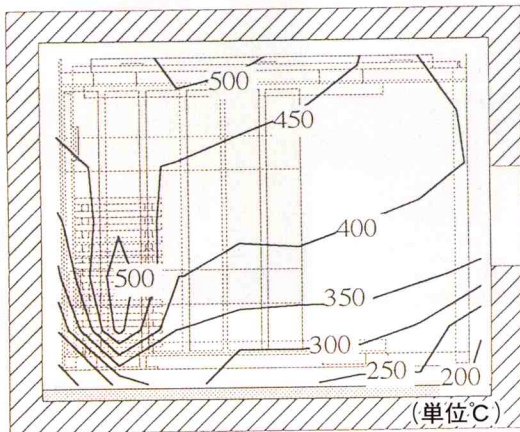




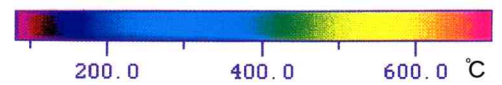
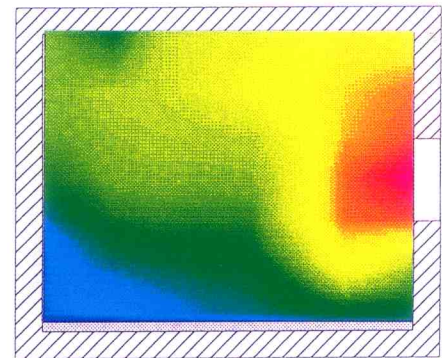
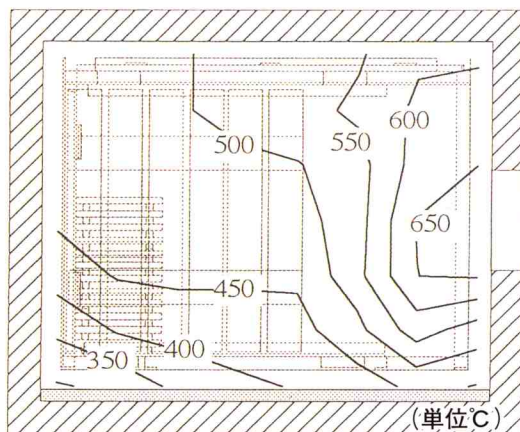




(a) 点火後10分



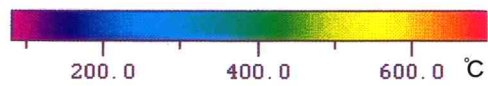
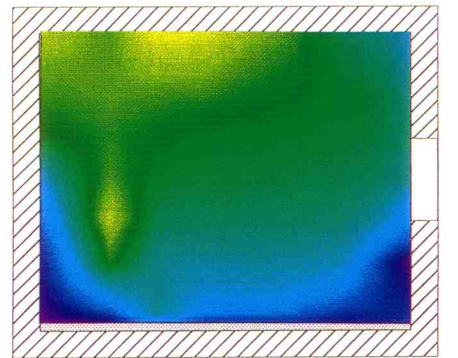
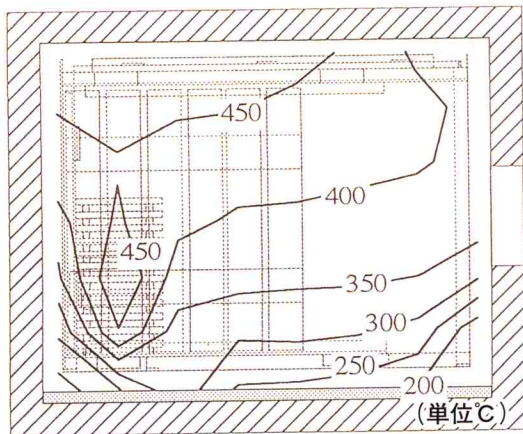
(b) 点火後24分13秒 (1回目バックドラフト発生時)



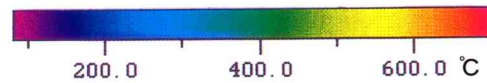
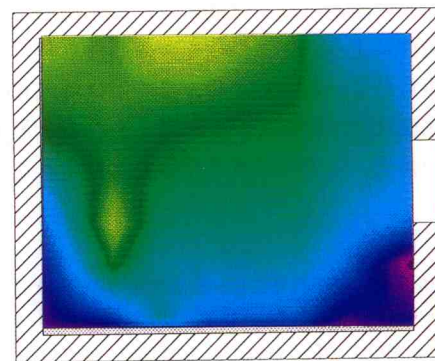
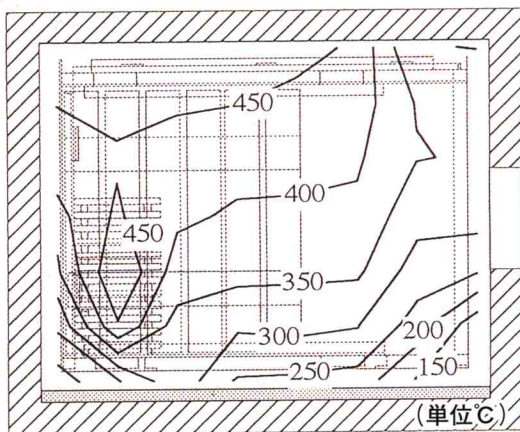
(c) 点火後35分 (開口部からの火炎流出時)

図9 区画模型内温度分布図

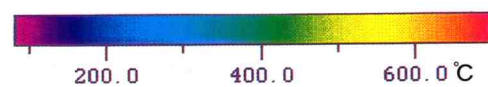
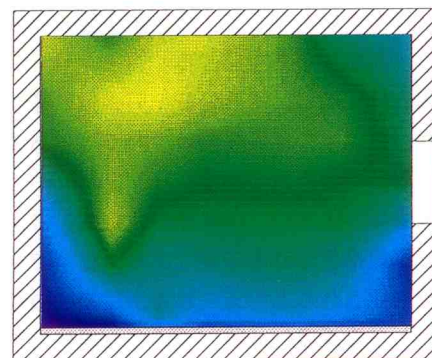
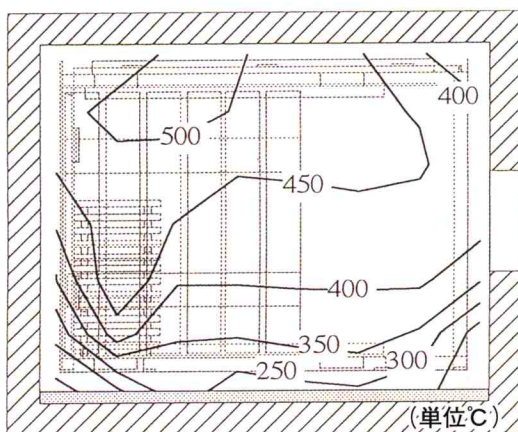




(a) 点火後24分44秒 (外気流入時)



(b) 点火後24分45秒 (外気流入時)



(c) 点火後24分53秒 (2回目バックドラフト発生時)

図10 区画モデル内温度分布図

# 防火衣の保温性能に関する実験結果について

〈 英 訳 〉

Results of Experiments on Thermal Insulation Performance of Fireproof Clothing

伊 藤 潤\*  
Itoh Jun  
湯 浅 洋\*\*  
Yuasa Hiroshi  
大 野 有 子\*\*  
Ohno Yuko

## 要 約

防火衣に求められる性能には、その使用目的から防炎性能や引裂強さ等があるが、札幌市においては積雪寒冷の気候条件により、保温性能や非凍結性も防火衣の重要な性能であり、これらを含めて総合的に優れた防火衣の導入が求められている。そこで、この度は防火衣の保温性を比較するため、現在、札幌市で使用している防火衣とともに、保温性能が優れていると考えられる2重構造の2種類の防火衣について低温実験室で温度測定実験を行った。この結果、体表の温度変化等を比較することができた。

〈 英 訳 〉

## Summary

Fireproof clothing must resist in the course of their use both flames and tears. In Sapporo, due to cold, snowy conditions, clothing should also offer thermal insulation and freezing-proof performance. Development of overall excellent materials for the fireproof clothing is required. Experiments were therefore carried out in a low-temperature room to compare clothing currently used by Sapporo with 2 other kinds of double layers, which are thought to offer superior thermal insulation. Comparison of changes in body surface temperatures was possible.

## 1 はじめに

札幌市のような寒冷地では、消防活動時に水がかかったり、汗をかいたりして、火災鎮圧後の残火処理時などには、急激に寒さを感じる。

防火衣は一般に、耐熱性能や引張強さ等が必要とされるが、低温下の保温性能については、あまり重視されていないのが現状である。

防火衣は、ISO（国際標準化機構）により平成10年までに規格化される予定であり、日本でもこれに合わせ規格化されると考えられるが、地域の特殊性ゆえに必要な保温性能等については規格対象外となると考えられる。

そこで、この度は札幌市の現行防火衣を含む仕様の異なる3種類の防火衣を低温実験室で実際に装着して温度測定実験を行い、その結果について比較検討した。

## 2 実験の目的

各種防火衣の保温性能を比較することを目的とする。

## 3 実験概要

寒冷地の消防活動を想定して被験者が一定の運動を低温環境下で行い、並行して体表温度等の測定を行った。

### 3.1 実験日時

平成7年8月25日 10:00～16:00

### 3.2 実験場所

消防科学研究所 低温実験室  
西区八軒10条西13丁目

### 3.3 低温実験室状況

・室内温度  $-20^{\circ}\text{C}$   
・室内湿度 17%

### 3.4 実験に使用した防火衣

実験には仕様の異なる3種類の防火衣を使用した。  
(表1参照)

\* 消防科学研究所  
\*\*管理課装備係



表1 防火衣諸元表

比較事項		防火衣A	防火衣B	防火衣C	
構	造	上下とも外衣の一重 背部のみ基布二重	上下とも外衣+インナー 上衣は総ウラ 下衣は膝までのウラ	上下とも外衣+インナー 上下とも総ウラ	
重	量	(Lサイズ) 上 1.9 kg 下 0.9 kg 合計 2.8 kg	(Lサイズ) 上 1.7 kg 下 1.1 kg 合計 2.8 kg	(Lサイズ) 上 2.0 kg 下 1.3 kg 合計 3.3 kg	
外	混	率	アラミド 35 % 炭素繊維 65 %	アラミド100 %	
	組	織	平 織	綾 織	平 織
	引	張 強 さ	縦 111 kg/5 cm以上 横 131 kg/5 cm以上	縦 160 kg/5 cm以上 横 120 kg/5 cm以上	縦 200 kg/5 cm以上 横 140 kg/5 cm以上
	引	裂 強 さ	縦 4.2 kg 横 4.6 kg	縦 6.4 kg 横 6.4 kg	縦 7.9 kg 横 5.9 kg
	重	量	444 g/m <sup>2</sup> 以上	270 g/m <sup>2</sup> 以上	285 g/m <sup>2</sup> 以上
	色		銀	黒	茶
	防	炎 性	残炎時間 0 秒 残じん時間 0 秒 炭化面積 10.6 cm <sup>2</sup>	残炎時間 1 秒 残じん時間 1 秒 炭化面積 7.0 cm <sup>2</sup> 以下	残炎時間 1 秒 残じん時間 1 秒 炭化面積 15.0 cm <sup>2</sup> 以下
加	工	表面アルミ粉末入ゴム コーティング	帯電防止加工 發水, 發油加工	帯電防止加工 發水, 發油加工	
内	構	造	①アラミド 100%織物 (透湿防水加工) ②アラミド 100%ニットの2重構造	①アラミド 100%織物 (透湿防水加工) ②アラミド 100%ニットの2重構造	
衣					



写真1 防火衣A (現行防火衣)



写真2 防火衣B

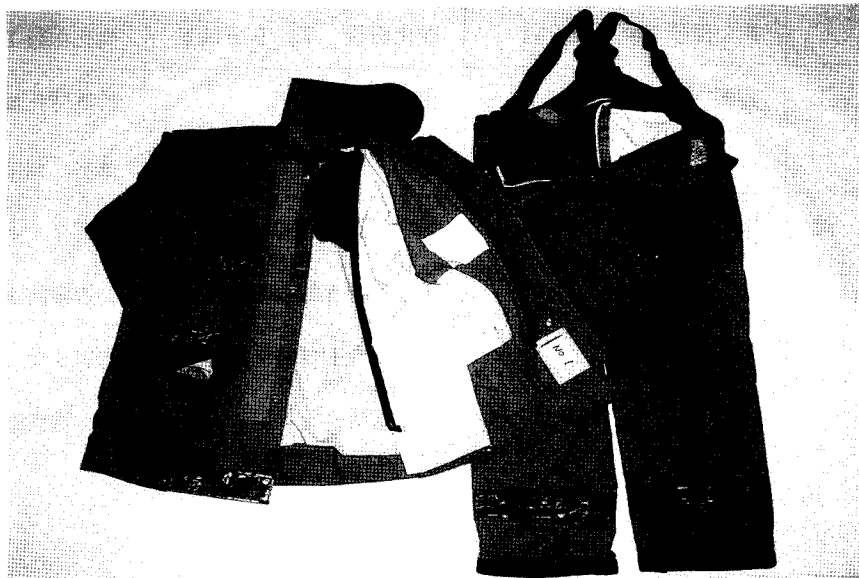


写真3 防火衣C

### 3.5 被験者

被験者は、標準的な体格の男性職員とした。

- ・身長 172 cm
- ・体重 67 kg
- ・年齢 33 歳

### 3.6 被験者の運動カリキュラム

被験者は、防火衣を着装し表2のカリキュラムにより運動した。

## 4 温度測定方法

温度測定は熱電対をセンサーに使用し、パソコンに収録した。また、運動終了後に、上半身を熱画像装置により撮影した。

### 4.1 熱電対

実験にはシート状のT型熱電対を使用し、測定部にアルミテープで固定した。

### 4.2 熱電対設置箇所

熱電対は胸部及び腕部を体表、作業服外面、防火衣

外面のそれぞれの部分で合計6箇所を設置した。(図1)

### 4.3 測定機器

熱電対からのデータは10秒間隔でリモートスキャナを通し、パソコンにより収録した。

- ・リモートスキャナ：NEC三栄 DE1200
- ・パソコン：NEC PC-9821Ne

### 4.4 熱画像装置

所定のカリキュラム終了後、常温室(22℃)において速やかに脱衣し、体表を正面と背面の2方向から熱画像装置で撮影した。

- ・熱画像装置：AVIO TVS-2000ST

## 5 温度測定結果

### 5.1 体温の変化

低温室内での体温変化は図2のとおりであり、次のことがわかる。

- (1) 胸部は腕部に比べて体温が高い。

表2 作業内容

順序	時間	内容
準備	10分	1 熱電対を設置し、防火衣を着装 2 活動内容の確認
待機	5分	平常時における着心地、体の動かしやすさ等について体験
作業	10分	1 低温実験室に入り、直立で静止
	10分	2 踏台昇降(高さ20cmの台を使用し、2秒間で1回上下する)
	10分	3 防火衣外側から水500mlを吹き掛け、直立で静止
	2分	4 低温実験室から出て熱画像装置により撮影

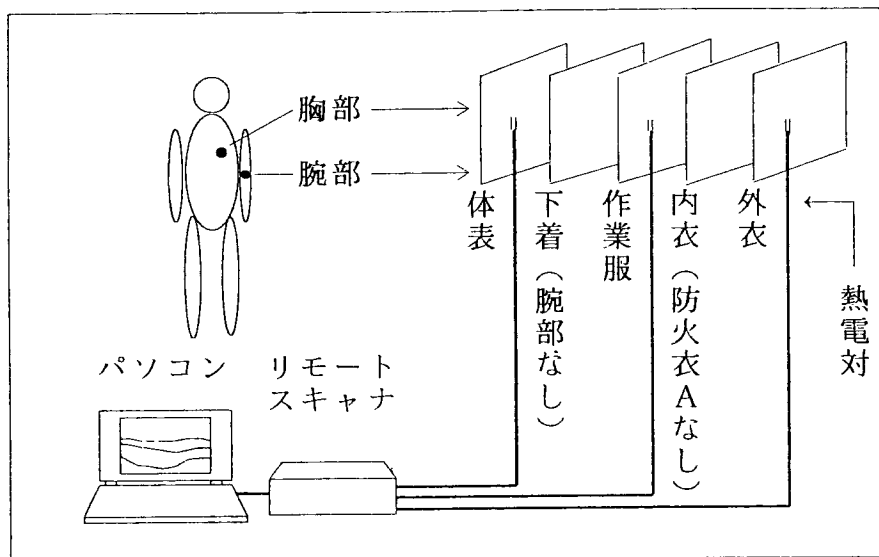


図1 温度測定箇所

- (2) 防火衣Aは、入室時から他の防火衣による体温よりも低くなっている。
- (3) 踏台昇降終了時までには全てほぼ一定の速度で体温が低下している。
- (4) 踏台昇降時に細かく体温が上下する。
- (5) 踏台昇降終了後は、各防火衣で体温の差が大きくなっている。
- (6) 踏台昇降終了後は、体温が上昇する傾向がみられるが、防火衣AとBの腕部については温度低下が継続している。
- (7) 退室時は、防火衣C、B、Aの順番で体温が高い。

## 5.2 作業服上の温度

低温室内での作業服上の温度変化は図3のとおりであり、次のことがわかる。

- (1) 防火衣Aは、入室時から他の防火衣による温度よりも低くなっている。
- (2) 踏台昇降開始前までは全ての温度が低下しており、その低下速度は徐々に緩やかになっている。  
この時、温度低下が小さい順番は、防火衣C、B、Aである。
- (3) 踏台昇降開始直後は、それまでよりも温度低下速度が増す傾向がみられるが、防火衣Aの胸部はこの傾向がみられない。  
また、踏台昇降中は温度低下は徐々に緩やかになっている。
- (4) 踏台昇降終了後は、全て温度が上昇する傾向がみられる。この温度上昇は胸部の方が腕部よりも大きい。
- (5) 退室時は、防火衣Cの胸部、腕部、防火衣Bの腕部、胸部、防火衣Aの胸部、腕部の順番で温度が高い。

## 5.3 防火衣上の温度

低温室内での防火衣上の温度変化は図3のとおりであり、次のことがわかる。

- (1) 踏台昇降開始前までは全ての温度が低下しており、その低下速度は徐々に緩やかになっている。
- (2) 踏台昇降開始直後は、それまでよりも温度低下速度が増す傾向がみられるが、防火衣Aの胸部はこの傾向がみられない。  
また、踏台昇降中は温度低下は徐々に緩やかになる傾向がみられるが、防火衣Bの腕部は逆に上昇している。
- (3) 踏台昇降終了後は、温度が上昇する傾向がみられるが、防火衣Bの腕部は一旦低下してから上昇している。この温度上昇は腕部の方が胸部よりも大きい傾向がみられる。
- (4) 退室時は、防火衣Aの腕部、防火衣Cの胸部、防

火衣Bの腕部、防火衣Aの胸部、防火衣Bの胸部、防火衣Cの腕部の順番で温度が高い。

## 6 熱画像装置による映像

### 6.1 体温

写真1～3をみると、各映像とも腕部は胸部に比べて温度が低いことが分かる。

また、各映像を比較すると防火衣Bが他に比べて温度が高いことが分かる。

### 6.2 作業服温度

写真4～6をみると、防火衣Aが他に比べて温度が低いことが分かる。

### 6.3 防火衣温度

写真7～9をみると、防火衣A、B、Cの順番で温度が高いことが分かる。

## 7 被験者の各防火衣に対する感想

### 7.1 防火衣A

「停止中に寒さを若干感じるが、運動中は涼しく快適に感じた。」

### 7.2 防火衣B

「防火衣Aより温かいが、踏台昇降の終わり頃に、うっすらと汗をかいた。」

### 7.3 防火衣C

「他の防火衣より若干生地が硬めでゴワゴワ感があり、サイズも小さめに感じる。また、暖かさは1番と思うが、踏台昇降の後半には汗をかいた。」

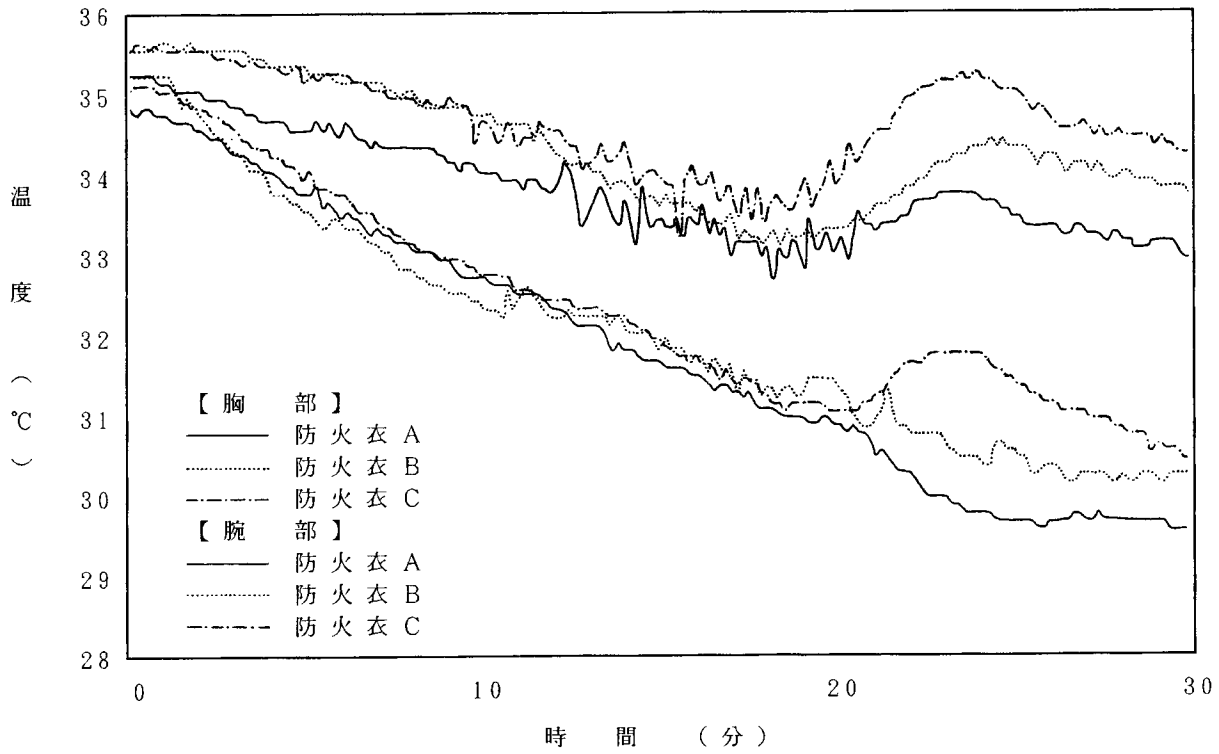


図2 体表温度変化

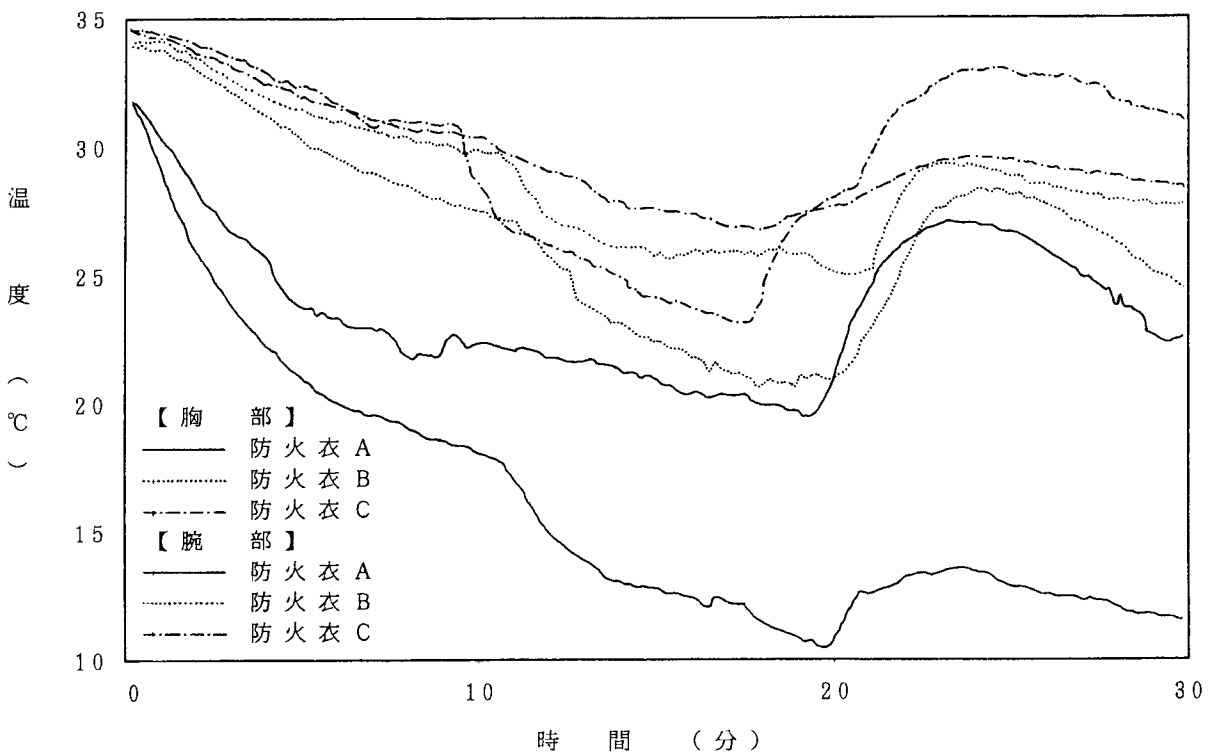


図3 作業服温度変化

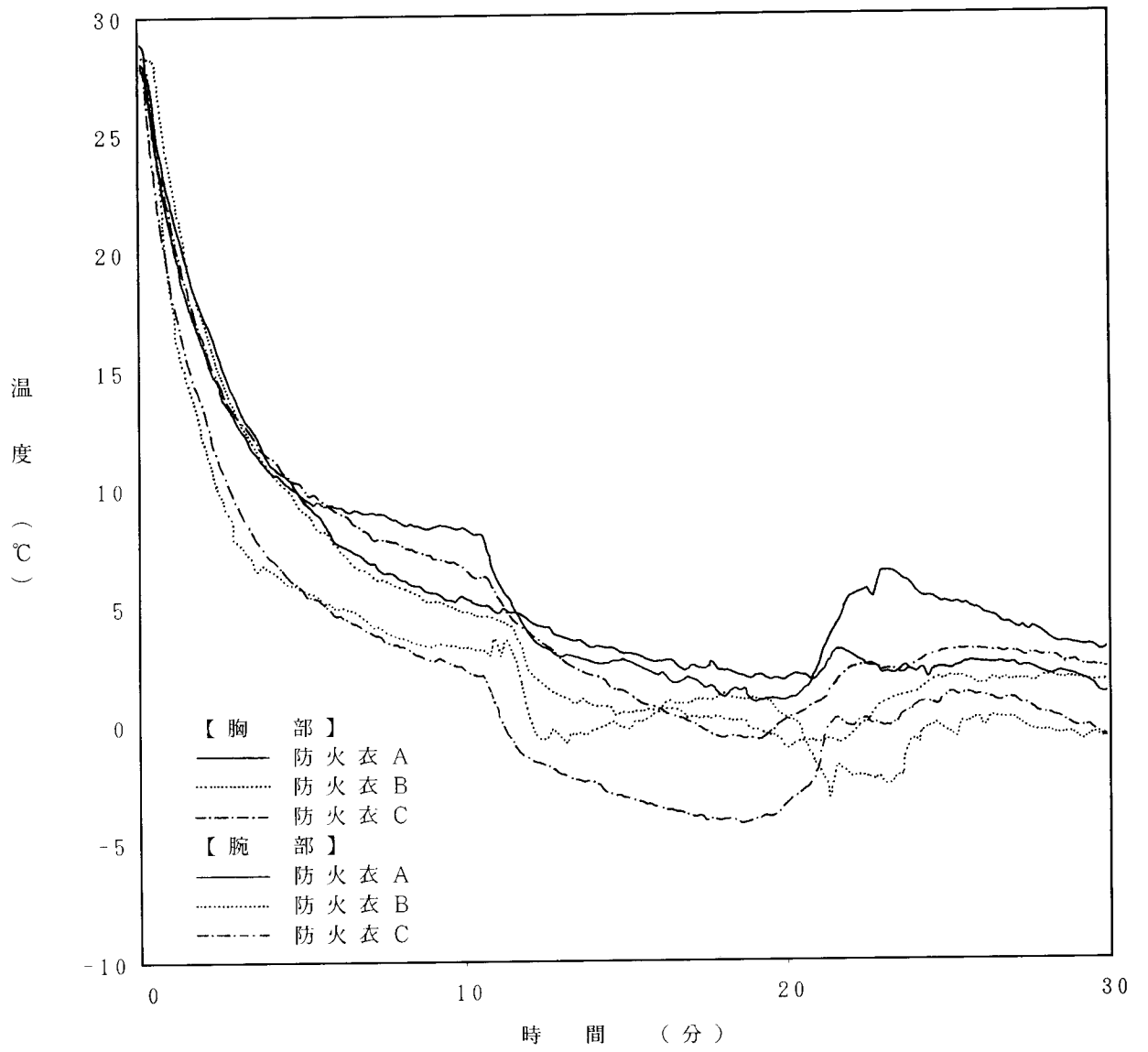


図4 防火衣温度変化



写真4 体表の熱画像（防火衣A）



写真5 体表の熱画像（防火衣B）



写真6 体表の熱画像（防火衣C）



写真7 作業服表面の熱画像（防火衣A）

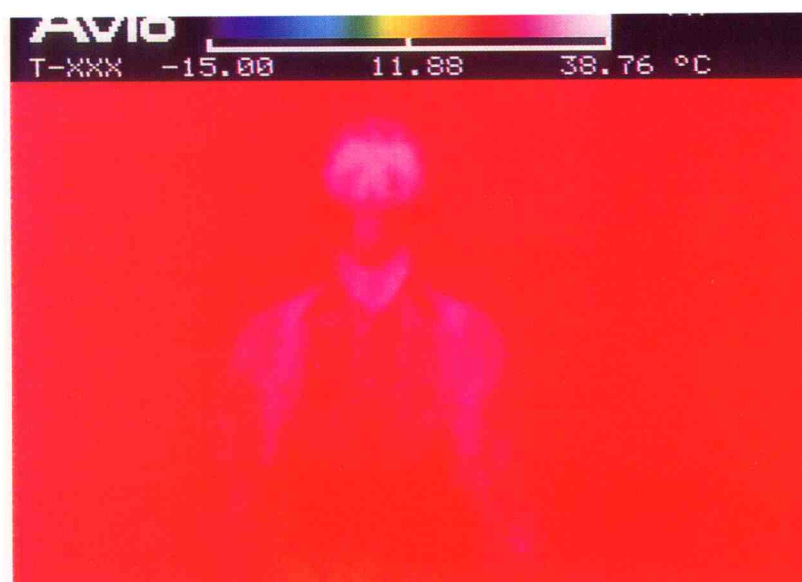


写真8 作業服面の熱画像（防火衣B）

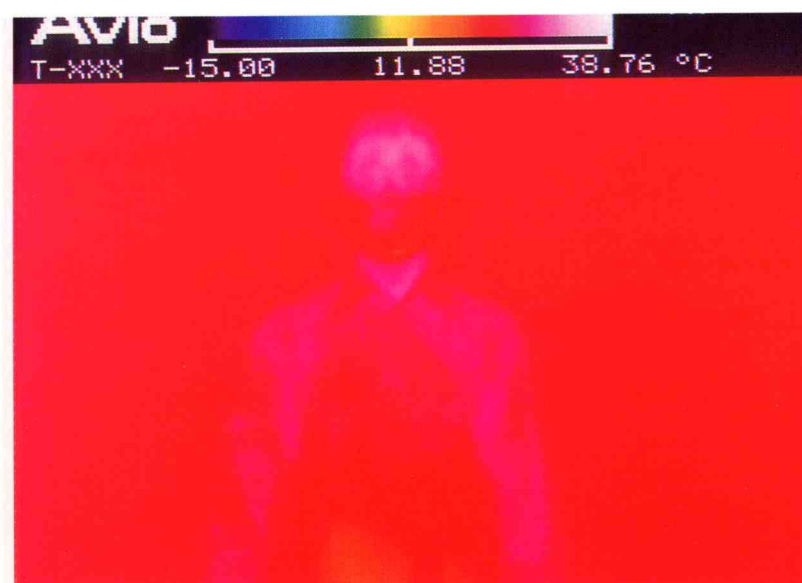


写真9 作業服面の熱画像（防火衣C）



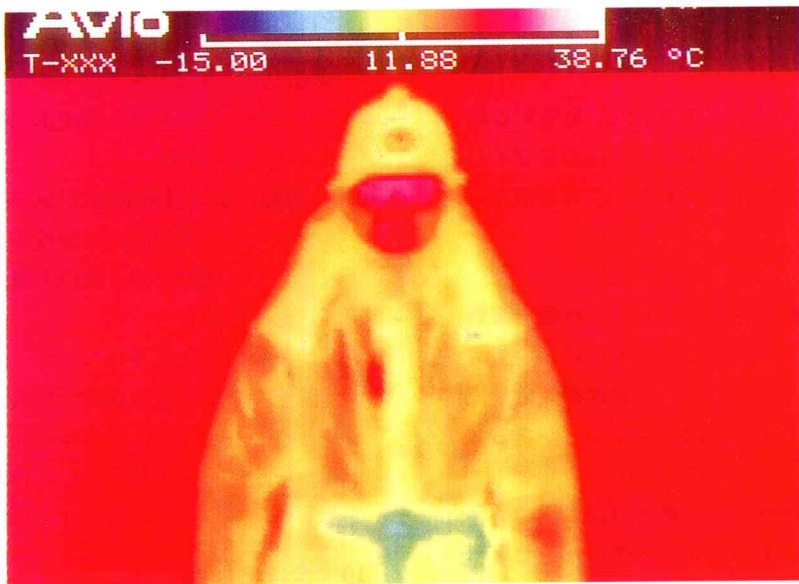


写真10 防火衣表面の熱画像（防火衣A）



写真11 防火衣表面の熱画像（防火衣B）



写真12 防火衣表面の熱画像（防火衣C）

## 8 低体温と凍傷について

医学上、直腸温や食道温が35.0℃以下を呈する場合を低体温症という。また、凍傷とは寒冷およびそれに基づく局所の循環障害によってもたらされる温度外傷である。

### 8.1 発生原因

山岳遭難、吹雪遭難、寒冷地における戦闘、海難、などが代表的なものである。なお、屋内においても泥酔者が板の間等で眠り込んだり、広範囲熱傷の幼児に冷水をかけすぎたりして低体温になることがある。

### 8.2 発生条件

低体温、凍傷など寒冷による障害は自然界の条件と生体側の条件の両者がある特定の状態になった場合のみ発生する。

#### (1) 自然界の条件

単に温度(気温)だけの問題ではなく、風力、湿度などが関与する。

冬季山岳での遭難において雪穴を掘って耐え忍ぶのは、肉体的疲労を少なくすることと同時に、風速の影響を減らすということで大いに意味のあることである。

一般的には、風速1m/sの増加は気温1℃の低下に相当するといわれている。

湿度に関しては空気の湿度よりもむしろ、身につけているものが濡れていることが問題となる。衣服、手袋、靴下などが濡れていると蒸発熱を奪うだけでなく凍結の作用が働いて、身体全体や皮膚に悪影響を及ぼす。もちろんこうした気象の悪条件下にどのくらいの時間接していたかが大きな因子となる。

#### (2) 生体側の条件

疲労、栄養状態、空腹状態、精神的状態などの肉体的条件、防寒装備や携帯食糧の状況など複数の条件が関与する。

年齢に関しては、ストレスを受けやすい老人や幼児で発生しやすく、体質では一般に筋肉質の人よりも肥満の人の方が発生しやすい。

また、凍傷は循環障害の起きやすい末梢部に発生しやすい。手足の先端部や耳介部などである。

## 9 考察

今回の実験結果から次のことがいえる。

### 9.1 保温性について

防火衣C, B, Aの順番で体温低下を抑止する能力は高いといえる。(5.1.7.3 参照)

しかし、激しい運動を行う場合には、発汗による衣服の湿度上昇などが懸念され、総合的な意味では保温性が優れるとはいえないようである。(7.1~7.3 参照)

### 9.2 胸部と腕部の温度の違いについて

胸部に比べ腕部の温度低下が大きい。これは、腕部の方が末梢に位置するためであると考えられる。

(5.1.6.1, 8.2 参照)

### 9.3 運動による温度変化について

停止時よりも運動時には温度が低下しており、この要因としては運動に伴う風の影響と考えられる。

(5.1~5.3 参照)

### 9.4 運動による発汗について

体温低下の抑止能力が高い防火衣ほど発汗する傾向がみられた。これは、脱衣時に汗の蒸発熱により温度が奪われ、熱画像で防火衣Cの体温が低くなっていることから分かる。(6.1.7.1~7.3 参照)

## 10 今後の課題

今回の実験で各防火衣の体温低下を抑止する能力については判定できたといえるが、消防活動を考慮に入れて、どの防火衣が寒冷地に適しているかについては十分に把握できたとはいえず、さらなる研究が必要と思われる。

そこで、今後の研究課題としては、次のことが挙げられる。

- (1) 通気を良くしながらも、放水活動に伴う水の進入を防ぐような襟元や袖口の形状について検討する。
- (2) 凍傷が起きやすい手足を守る手袋や靴についても検討する。
- (3) 活動性、装着性等を含めた総合的な防火衣等の性能について検討する。

### <参考文献>

- 1) 「熱傷と環境障害」メジカルビュー社
- 2) 國本由人, 加藤尊明, 渡邊清「皮革防火服の快適性に関する着装実験結果について」東京消防庁消防科学研究所報29号(1992)P1~P11

# 赤外線カメラの使用時に発生した特異現象について

〈 英 訳 〉

Unusual Phenomena Occurring during the Use of Infrared Cameras

伊 藤 潤\*  
Itoh Jun

## 要 約

冷凍倉庫で発生した火災において赤外線カメラを使用したところ、映像が黒一色になるなど、特異な現象がみられたため、消防科学研究所の低温実験室で再現実験を行った。

その結果、同様の現象が確認できたため機器の性能と照らし合わせ原因を究明することができた。

〈 英 訳 〉

## Summary

As unusual phenomena such as pictures taken by infrared cameras at fires in freezing warehouses having turned out all black, simulation tests were conducted at the Fire Research Laboratory's low-temperature room. Because the similar phenomena were observed, the cause was found, by referring to characteristics of the devices.

## 1 はじめに

赤外線カメラは、火災現場その他の災害現場において、暗闇や濃煙などを通して火元や要救助者の早期発見及び残火の確認などに使用される。

通常、赤外線カメラで室内等を見ると、壁、天井、内在品などの温度差を検知して映像化されるため、その区画等についてもある程度は把握できる。

しかし、現場で使用した職員から「冷凍庫火災で使用したところ映像化されたのは、隊員の姿、炎、消火に使用した水だけであり、他は黒一色の映像となった」。との情報があり、当研究所でその現象と原因を究明するため、低温実験室において再現実験を実施した。

## 2 実験の目的

冷凍倉庫火災、厳寒期のトンネル内火災など低温下における赤外線カメラの使用特性を把握することにより、消防活動の安全性、能率性の向上を図ることを目的とする。

## 3 冷凍倉庫の火災概況

3.1 覚 知 平成7年7月8日 13時48分  
出動台数 14 台

3.2 鎮 火 平成7年7月8日 17時04分  
出動人員 47 人

3.3 場 所 西区 M水産(株)冷凍庫

3.4 罹災状況 耐火造地上3階建て延べ面積3,202 m<sup>2</sup>のうち、冷凍倉庫の天井・壁体等焼損表面積97m<sup>2</sup>、及び収容物の一部焼損、他内部煙損・水濡れ汚損。

3.5 原因概況 出火箇所は、1階倉庫内に設置されている定置式ユニットクーラーの排水ダクト部分である。

## 4 現場で使用した赤外線カメラ

英国E. E. V. 社製 P4428型

[仕 様]

- ・視 野 : 約12度~55度
- ・検出可能温度差 : 1℃以上
- ・外型寸法 : 直径約 160mm×長さ 270mm  
(ハンドルは含まず)
- ・本体重量 : 約3.5kg
- ・消費電力 : 約4W
- ・レ ン ズ : ゲルマニウムレンズ  
f/0.75焦点距離18mm
- ・センサー方式 : 焦電型ビジコン撮像管
- ・感応スペクトル : 約 8~14μm

## 5 赤外線カメラのしくみ

赤外線カメラは、物体から放射される赤外線を検知して熱画像(白黒)として物体表面の温度分布を内蔵のモニターテレビに表示する赤外線カメラである。

\*消防科学研究所

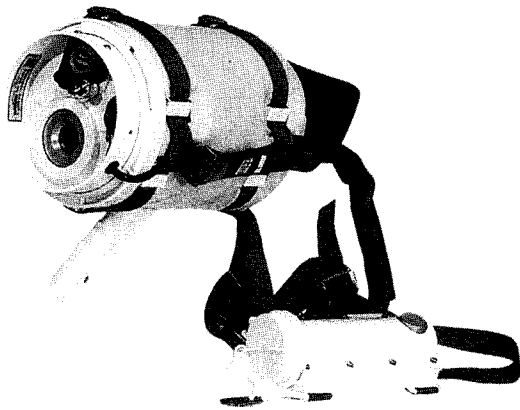


写真1 赤外線カメラ

大学等の研究機関が一般的に使用する赤外線カメラは、赤外線検知部を冷却する必要があり大型なものであるが、この赤外線カメラは検知部に焦電型ビジコン（撮像管）を使用することにより、冷却が不用なため小型化、省電力化されており、衝撃等にも強いものとなっている。

#### 【現象1】

冷凍倉庫の内部の状況が映し出されなかった

冷凍倉庫の内部は多量の濃煙と水蒸気が発生しており、携帯ライトによる目視が効かないことから、赤外線カメラを活用したところ、映像が黒一色となり、倉庫内部の壁体、床、積荷やラック等について識別が全くできなく、検索確認が困難な状況であった。

しかし、火点（炎）や隊員については、通常時と同様に白色の映像として捕らえることができ、機器は正常に作動していると思われた。

#### 【原因】

当該赤外線カメラは、災害現場での人命検索用に開発されたもので、人体の識別を第一にして検出感度を設定している。また、振動、衝撃、浸水、熱などへの耐久性が極めて高いことが特徴である。

この耐久性は、センサー部に焦電型ビジコン撮像管を採用しているため、残念ながら、識別温度の下限界は10℃までとなっている。

機器の性能上これ以下の温度をもつ物体を感知することはできないが、常温（火災状態を含む）の建物内部であれば、壁、床及び内在品等から発している熱線を検知して、内部の状況がモニター部に映像化される。

ところが今回の火災事例では、冷凍倉庫内の温度が約-25℃であることから、隊員や火点を除き、倉庫内の積荷、壁体、床等は、全て識別温度の下限界以下であった。このため、モニター部の映像は黒一色となり、

識別できない状況になったものも推察される。

#### 【現象2】

消火状況の確認ができなかった

赤外線カメラで捕らえた白い火点に対して放水したところ、黒の床、壁一面に多量の白い牛乳をまき散らしたように映し出されたため、火点（白色）があたかも延焼拡大しているような錯覚が起こった。

このため、この広がる白い牛乳が炎ではなくて消火水であることを確認するためには、極めて原始的ではあるが直接手触りをしなければならなかった。

#### 【原因】

当日の気温が27℃であることから、消火水の温度も20℃以上と思われ、これぐらいの温度になると、赤外線カメラが十分に識別できる範囲内となる。このため、辺り一面が-20℃以下に冷えた中では、鮮やかに白く映し出されたものと推察される。

なお通常の建物火災では、消火水が床や壁に比べて低温であることから、床や壁の映像が優先して捕らえられており、今回のケースは例外的事象と思量される。

当研究所でも低温実験室において、オイルパン内でアルコールを燃焼させ、水消火の実験を行ったところ、確かに別添写真（写真2～4）に示すとおり、同様の現象が再現された。

#### 【現象3】

鎮火の確認ができなかった

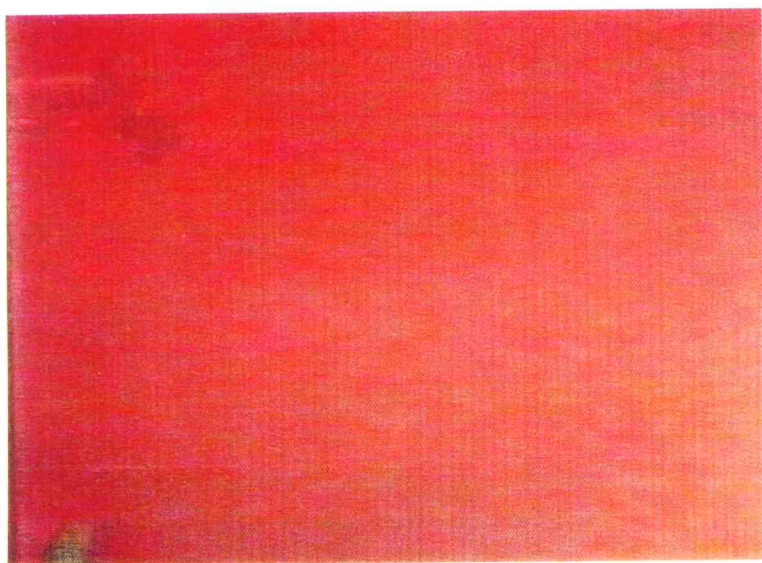
残火処理を行うため、炭化した床、壁材及び内在品に潜む高温部を赤外線カメラにより検索しようとしたが、やはりモニター部の映像が黒一色となり、残火部分の検索には有効に活用できない状況であった。

#### 【原因】

通常の建物火災では、表面燃焼して炭化状態の壁や内在品等の内部に残り火があると、燃焼していない壁又は既に完全鎮火した壁等とは明らかに放射熱量に違いを生ずる。赤外線カメラは、この温度差異を感知することができるため、残火部分の検索時にも有効に活用されている状況である。

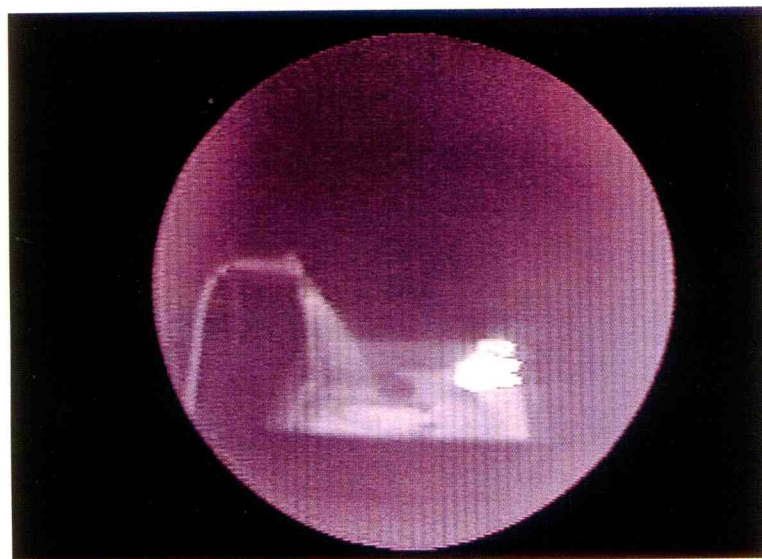
しかし、今回の冷凍倉庫火災では、表面燃焼が消火され炎が無くなると、炭化した壁等が-25℃の冷気により急速に冷却されるため、当該赤外線カメラの感知識別範囲外である10℃以下となり、感知することができない状況になったものと推察される。





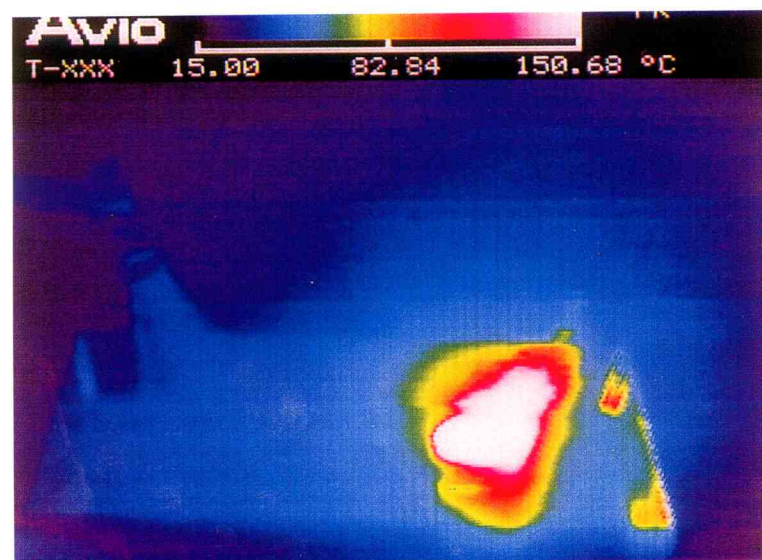
【写真2】  
-25°Cにおける可視像

照明を付けた状態で観察したが、煙が無いにもかかわらず多量の水蒸気が発生しているため、散水栓とオイルパンの一部は見えるものの炎の確認は全くできない。



【写真3】  
-25°Cにおける赤外映像  
(E E V社製一救工積載)

炎以外にも散水栓やオイルパンに溜まった水などから発する熱線を白色の映像で捕らえており、これらを的確に識別し対応するには相応の知識と経験が無ければ困難と思料される。



【写真4】  
-25°Cにおける赤外映像  
(日本アビオクス製一研究用)

炎、散水栓、オイルパンに溜まった水などから発生する熱線を、高感度の赤外線検出機で解析してカラー画像化すると、それぞれの温度差異がよく分かる。

#### 今後の対応

今回の事例は例外的ではあるが、冷えきったコンクリートや洞道内でも、同様の現象が起こることが予想されるので、本事例に示した低温下における赤外線カメラの特性を十分に把握することが重要である。



# 低温下における空気呼吸器の特性について

〈 英 訳 〉

Characteristics of Compressed Air Breathing Apparatus in Low Temperatures

伊 藤 潤\*  
Itoh Jun

## 要 約

冷凍倉庫火災の防御時に発生した空気呼吸器の諸現象について消防科学研究所の低温実験室で実験を行い、零下20℃の環境における空気呼吸器の使用時間に対する影響などを考察した。

〈 英 訳 〉

## Summary

Experiments at the Fire Research Laboratories low-temperature room were carried out regarding various phenomena concerning compressed air breathing apparatus observed during firefighting in a freezing warehouse. Influence of low temperatures of -20℃ on the duration of use of breathing apparatus at fires in such conditions was investigated.

## 1 はじめに

冷凍倉庫火災において空気呼吸器を使用した際、警報ベルが鳴動するまでの時間が短かったなど、特異と思われる現象が発生した。

そこで、消防科学研究所ではこれらの現象を確認するため低温実験室において実際に空気呼吸器を着装して実験を行った。

その結果、低温下において空気呼吸器を使用する際の注意点等を把握することができたので、個々の現象に基づいて、それぞれ考察する。

### 1 警報ベルが予想より早く作動した

冷凍倉庫（室温約-25℃）に進入するため、2名の隊員が屋外（気温27℃）でボンベ圧力を確認したところ、両者共に120kg/cm<sup>2</sup>であった。これより、警報ベル（設定圧力30kg/cm<sup>2</sup>）が作動するまでに使用できる空気量を計算すると756ℓとなる。

$$\begin{aligned} & \text{空気圧} (120-30) \text{ kg/cm}^2 \\ & \times \text{ボンベ容量} 8.4 \text{ ℓ/kg/cm}^2 = 756 \text{ ℓ} \end{aligned}$$

ここで、A隊員が活動時に消費する空気量の平均値は約100ℓ/分、B隊員は約70ℓ/分であることから、警

報ベルが作動するまでの活動時間を予測すると、A隊員は約7.6分間、B隊員は約10.8分間と算定され、冷凍倉庫への内部進入を開始した。

しかし、実際は進入後約5分でA隊員の警報ベルが鳴り出し、この時のB隊員の残圧も約70kg/cm<sup>2</sup>あったことから、やむを得ず一度退避したが、通常の活動時に比べ空気の減りかたが著しく速いと感じる状況であった。

## 【原因】

原因の第一にボンベが冷却されたことによる減圧が考えられることから、以下理論上の減圧計算をしてみると、密閉した定容積中における気体の圧力と絶対温度の関係は、ボイル・シャルルの法則により次の(1)式のとおりとなる。

ここで、(1)式のP：圧力、V：容積、T：絶対温度に、進入前後の条件を当てはめてみると、冷却されたボンベ圧力P<sub>1</sub>が求められる。

〔ボイル・シャルルの法則〕 容積が同じ場合はV=V<sub>1</sub>となり

$$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1} \longrightarrow \frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1} \dots\dots(1) \text{式}$$

$$\frac{\text{進入時のボンベ圧力 } 120 \text{ kg/cm}^2}{\text{当日の気温 } (273 + 27) \text{ K}} = \frac{\text{冷凍倉庫内のボンベ圧力 } P_1 \text{ kg/cm}^2}{\text{冷凍倉庫内の温度 } (273 - 25) \text{ K}}$$

これにより、冷却されたボンベ圧力P<sub>1</sub>は99.2kg/cm<sup>2</sup>と計算され、進入前の外気温下のボンベ圧力120kg/cm<sup>2</sup>と比較すると約17%も低下することとなる。

\*消防科学研究所

しかし、いくら冷凍倉庫の中であっても、いきなり理論上の減圧値になるのではなく、ボンベ内の空気温度の低下に比例して減圧すると推定されることから、当研究所の低温実験室で再現実験を実施した。

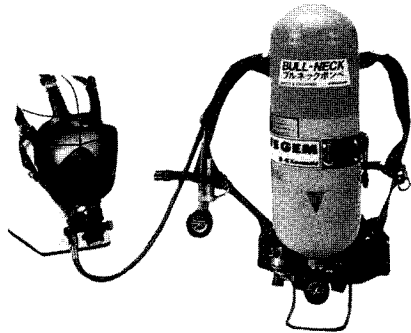


写真1 空気呼吸器

実験は、 $-25^{\circ}\text{C}$ の低温実験室に空気ポンペを放置して、5分毎に圧力の変化を観測したもので、結果は次のグラフ(図1参照)に示すとおりであり、ボンベ圧力は徐々に低下し、55分後にほぼ上記の理論上の圧力となった。

しかし、今回の事例で警報ベルが鳴り出した時間は、冷凍倉庫に進入してから5分後であることから、この5分後の変化に焦点を絞って以下考察をしてみる。

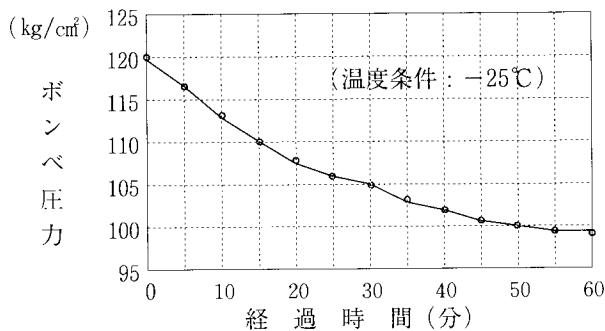


図1 空気呼吸器用ポンベ(ALT-285)の圧力変化

(1) ポンベの空気量に変化が起きていないか

冷却による減圧と空気の消費を同時に考えると話が難しくなるので、最初に、進入5分後に鳴った警報機の設定圧力について、外気温下における進入前の状態とどのような違いがあるかを検証してみる。

まず、5分後のボンベ内の空気温度 $T_1$ を求めてみる。実験データによると5分後のボンベ圧力が $117\text{kg}/\text{cm}^2$ であることから、この値を(1)式に代入すると以下の計算により $T_1$ は $19.5^{\circ}\text{C}$ となる。

$$\frac{\text{進入時のボンベ圧力 } 120\text{kg}/\text{cm}^2}{\text{当日の気温 } (273+27)\text{K}} = \frac{\text{冷凍倉庫内のボンベ圧力 } 117\text{kg}/\text{cm}^2}{\text{冷凍倉庫内のボンベ温度 } T_1\text{K}}$$

警報機が鳴り出した $19.5^{\circ}\text{C}$ 下のボンベ圧力 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ を、さらに当日の気温 $27^{\circ}\text{C}$ に換算してみると、以下の(1)式への代入計算により、換算圧力 $P$ は約 $31\text{kg}/\text{cm}^2$ と

なる。

これにより、警報が鳴り出した時点では、この換算圧力との差圧分だけ空気量が多く残ることとなることから、その分、活動に消費できる空気量は減少することとなる。

つまり、これは警報機の設定圧力は不変であるにもかかわらず、ボンベが冷却され減圧が起こると、図2に示すように、あたかも外気温下で警報機の設定圧力を若干上げて使用したケースと同様の結果となることが分かる。

$$\frac{\text{外気温下での換算圧力 } P \text{ kg}/\text{cm}^2}{\text{当日の気温 } (273+27)\text{K}} = \frac{\text{冷凍倉庫内のボンベ圧力 } 30 \text{ kg}/\text{cm}^2}{\text{冷凍倉庫内のボンベ温度 } (273+19.5)\text{K}}$$

以上のことから、警報が鳴るまでに使用できる空気量は、 $19.5^{\circ}\text{C}$ で作動する警報設定圧力を $27.0^{\circ}\text{C}$ に換算し、ここで得られる空気残量をボンベの総空気量から差し引くと求められることになる。

この条件下で、警報が鳴るまでに実際に消費できる空気量(有効空気量)をもう一度計算すると、次のとおり $748\text{ l}$ となり、結果的に冷凍倉庫へ進入して5分後位では、当所の予想量とそれほど大きな差異が認められない状況である。

$$\begin{aligned} & \text{空気圧 } (120-31) \text{ kg}/\text{cm}^2 \\ & \times \text{ポンベ容量 } 8.4 \text{ l}/\text{kg}/\text{cm}^2 = 748 \text{ l} \text{ (有効空気量)} \end{aligned}$$

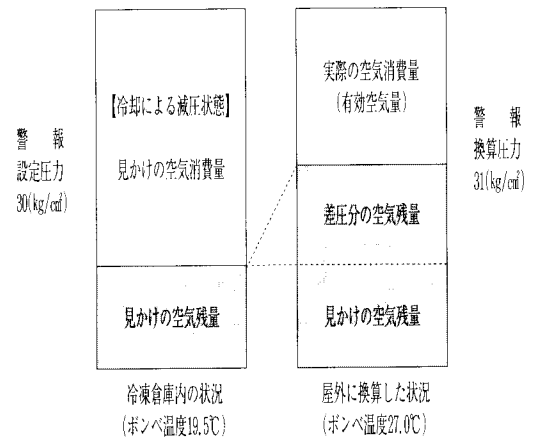


図2 減圧状態における空気残量の変化

ここで、冷却による減圧空気を体内で消費する場合の影響を考えるため、空気が肺に取り込まれるときのメカニズムを調べてみる。

体内では、大気圧が多少変動しても、血中へ取り込む酸素量を一定に保つ必要があることから、空気が気道に入ると急速に体温の水蒸気で飽和され、常に一定の酸素分圧を保持する仕組みになっている。

一方、空気呼吸器は使用中に温度変化の影響を受けて、ボンベ内の高圧空気が増圧又は減圧の状態になっ



たととしても、減圧弁やプレッシャーデマンド弁を経ると、空気圧はほぼ大気圧レベルで供給するシステムとなっている。このレベルの空気を肺が受け入れると、直ちに37℃の体温下で一定圧力に調整してから体内で消費するため、高圧ポンベの空気圧が例えば使用中に変動したとしても、肺はその影響をほとんどを受けずに、同一量の空気を消費することとなる。

当研究所でも検証のため、事例と同様の温度条件で実験を試みた。

27℃及び-25℃の温度下において、3名の救工隊員に踏み台昇降による運動負荷を与え、警報ベルが鳴るまで空気呼吸器を使用させたところ、両条件による差異はほとんど認められず、むしろ隊員の体調や意思による影響が反映される傾向が見られた。

(2) 隊員の空気消費量に変化が起きていないか

前記の有効空気量における活動時間を算出すると、A隊員は当初見込みの7.6分から7.5分に減少することとなるが、5分で警報ベルが作動するまでの減少には至らないため、次に隊員の当時の空気消費量に注目してみる。

この有効空気量と実際の活動時間を基に、A隊員の1分間当たりの空気消費量を逆算してみると、

$$748 \text{ l} \div 5 \text{ 分} = 150 \text{ l} / \text{分}$$

となり、これを通常の活動時に比較すると実に50%も増加したこととなる。

同様にB隊員の空気消費量を計算してみると、19.5℃におけるポンベ圧力70kg/cm<sup>2</sup>気温27℃下に換算すると72kg/cm<sup>2</sup>

5分間の空気消費量は、

$$\text{空気圧}(120-72) \text{ kg/cm}^2$$

$$\times \text{ポンベ容量 } 8.4 \text{ l/kg/cm}^2 = 403 \text{ l}$$

1分間当たりの消費量は、

$$403 \text{ l} \div 5 \text{ 分} = 81 \text{ l} / \text{分}$$

となり、通常の活動時に比較してやはり16%の増加が認められる。

このように、両隊員とも空気消費量が大幅に増加していることから、通常の活動に比べ、冷凍倉庫への進入活動で特異と思われる身体的変化について考察してみると、

- ◆ 極低温下の活動であり、かつ暗闇のために声掛け動作を多用しており、運動エネルギーの消費量が増加した。
- ◆ 肉眼及び携行ライトが効かないことから、唯一眼の代わりとなる赤外線カメラを頼りにしたが、予想外（未経験）の特異な映像が現れ、精神的に相当な動揺があった。
- ◆ 冷凍機の冷媒であるアンモニアが爆発する危険性

があるとの情報が流れ、不安があった。

などの生理的・心理的負荷が認められることから、これらの原因で空気消費量が通常時よりも増加したものと推定される。

【結論】

以上の実験結果及び考察により、次のことが明らかになった。

- (1) 高圧ポンベが低温により減圧すると、警報ベルが作動した時の空気残量は常温時より多くなり、この分だけ有効空気量は減少する。
- (2) 特異又は未知の環境下で活動すると、生理的・心理的負荷が増大するため、空気消費量が著しく増加する。

表1 体重60kgの人が1分間に使う酸素の量

活 動 の 状 態	酸素量(ml)
眠っているとき	185
目を覚まして、静かに寝ているとき	220
腰かけているとき	285
楽な姿勢で立っているとき	300
気をつけの姿勢で立っているとき	330
歌うとき	350
ゆっくり歩くとき（1時間に約4km）	570
やや速く歩くとき（1時間に約6km）	850
泳ぐとき	1,400
走るとき（1時間に約8.5km）	1,600
階段を登るとき	3,100

2 冷凍倉庫から脱出した際、呼吸器の表面に結露が発生した。

冷凍倉庫から屋外に脱出した際、呼吸器全体の表面に結露が発生した。特に、面体ガラス外側に発生した結露が、再進入後に凍結して視界が遮断された。

【原因】

結露の発生原因については、冷えた缶ビールの外側に温かい空気が触れると、結露が生ずると同じ現象で、冷凍倉庫内で冷却された空気呼吸器の表面に大気中の水蒸気が凝結して水滴が付いたものである。

研究所の低温実験室を利用して再現実験を実施したところ、同様の結露の発生が確認できた。なお、面体ガラスには外側よりも内側に多く発生したが、これは面体内側の空気が呼吸等により外気に比べて高温多湿な状態であったためと推察され、冷凍倉庫内でも活動時間が長くなると、内側にも発生すると思われる。現場での結露対策としては、脱出後に面体ガラスに結露した水滴を拭うことが必要となる。

# 燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について (その2)

〈 英 訳 〉

Changes in the Chemical Makeup of Heating Kerosene According to Combustion Surface Areas (No. 2)

橋 上 勉\*  
Hashigami Tsutomu

## 要 約

火災現場から取去された物品に含有する灯油は、燃焼により変質していることが多い。そこで、燃焼による灯油の成分変化の特性を把握するため、径の異なるシャーレで灯油を燃焼させてガスクロマトグラフで分析し、その結果を比較検討した。

その結果、燃焼面積の違いによる成分変化に関して基礎データを蓄積することができた。

〈 英 訳 〉

## Summary

Kerosene contained in materials collected from fire sites is usually changed in quality. To understand changes in chemical composition of kerosene due to combustion, kerosene specimens were burnt in petridishes of different diameters and analyzed by gas chromatography. The results were examined and compared.

As results, basic data on changes in components based on difference in combustion surface areas were collected.

## 1 はじめに

前報では(消防科学研究所報1995.No2参照)直径が6cm, 12cm, 18cmのシャーレに底から1cmの高さまで標準灯油(以下「灯油」という。)を入れ、燃焼時間を変えながら燃焼面積の違いによる成分変化等を比較したところである。

今回は、さらに火炎の形状が層流領域と乱流領域の間に位置する遷移領域の径の鉄製シャーレを用い、燃焼時間を変えながら試料を作成し、ガスクロマトグラフ(以下「GC」という。)により、成分変化の特性を調べたものである。

## 2 実験の概要

### 2. 1 実験方法(写真1~5参照)

内径が10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 深さ2cmの鉄製シャーレに底から1cmの高さまで灯油を入れ(10cmは78.5ml, 20cmは314ml, 30cmは706.5ml, 40cmは1256ml, 50cmは1962ml), 簡易点火器具(LPGガスバーナー)で点火してから、2分後に窒息消火させたものを2分燃焼灯油の試料とし、同様に4分, 6分, 8分までの19試料(径50cmで8分燃焼した灯油は燃え尽きた)をそれぞれ作製した。

その後、GC分析を行い、それぞれのクロマトグラムの波形変化及び主な成分の燃焼速度等を比較した。

### 2. 2 試料作製の日時及び場所

平成7年11月5日, 消防訓練所 耐煙訓練室

### 2. 3 温度及び湿度(試料作製時)

室温1℃, 湿度38%

### 2. 4 分析装置

ガスクロマトグラフ

ヒューレット・パッカード製 GC-5890

### 2. 5 分析条件

昇温速度 20℃/min

昇温範囲 50℃~280℃

注入口温度 300℃

検出器温度 380℃

検出器 FID

キャリアガス He 1.2ml/min

カラム DB-1キャピラリーカラム

## 3 実験結果及び考察

### 3. 1 概観

作成した燃焼灯油の試料を試験管に入れ、色を観察すると内径10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cmのシャーレで燃焼した2分燃焼灯油は、淡黄色で着色度合いにほとんど差は無いが、4分, 6分, 8分と燃焼時間が長くなるにしたがい、且つ径が大きくなると色は淡黄色から赤黄色へと変化し、50cmシャーレを用いた6分燃焼灯油では一層濃色となっている。(写真6~10参照)

また、その時の比重変化を示したものが図1であり、

\*消防科学研究所

各径による比重は燃焼時間が長くなるに従い重くなっていることから、各径による一番燃焼時間の長い8分燃焼灯油に残留している成分は灯油と比較して比重の重い成分が残留しているものと推察される。

### 3. 2 GC分析

灯油及び内径が10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cmのシャーレでそれぞれ2分, 4分, 6分, 8分燃焼した燃焼灯油の20試料についてGC分析したクロマトグラムは、図2～図21に示すとおりである。

灯油のクロマトグラムを観ると、複数のピークが保持時間の2分から8分の間ではほぼ等間隔に山型を成して連なり、個々のピーク波形はC<sub>7</sub>から徐々に右上がりとなりC<sub>8</sub>を最高頂点として以下C<sub>15</sub>まで下がっている。

内径10cmの2, 4分燃焼灯油は灯油と比較してC<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>が若干減衰し、最高頂点の位置がC<sub>9</sub>へと移行している。

同径6, 8分では低沸点成分の減衰はさらに進み頂点の位置もC<sub>11</sub>へと移っている。

20, 30, 40, 50cmシャーレを用いた各燃焼灯油でもこの傾向が認められ、40cmの8分燃焼灯油及び50cmの6分燃焼灯油ではC<sub>7</sub>がほとんど消失しているのに対し、高沸点成分のC<sub>14</sub>, C<sub>15</sub>, C<sub>16</sub>, が増加している。

これらのことから、低沸点成分の減衰及び高沸点成分の増加は燃焼面積が広く且つ燃焼時間が長くなるに従い大きくなるものと思料される。

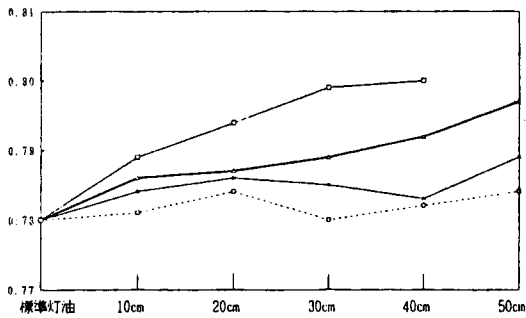


図1 燃焼灯油の比重変化

### 3. 3 ノルマルパラフィンの容積変化

#### (1) 燃料灯油1μℓ中に占めるC<sub>n</sub>の容積変化

灯油及び燃焼灯油における各ノルマパラフィン(以下C<sub>n</sub>という)を定量するため、前記のクロマトグラムから灯油及び10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cmシャーレにおける各燃料灯油1μℓ中に占めるそれぞれのC<sub>n</sub>の面積率から容積率に換算したグラフが図22～図26である。

成分ごとの構成割合を灯油と比較すると、2分燃焼灯油では径が異なってもC<sub>9</sub>が最高の含有量を示している。

6分燃焼灯油においては、径が10～30cmのものはC<sub>11</sub>が最高含有量であり、40～50cmではC<sub>13</sub>へと推移しており、径と燃焼時間が大きくなるに従い分子量の重い成分の含有量が多くなっている。

さらに、径が10, 20, 30cmでは灯油の容積率が2分, 4分, 6分, 8分燃焼灯油のものとC<sub>10</sub>～C<sub>11</sub>の間でほぼ1点に交わり、その交点はシャーレの燃焼面積が大きくなるほど、右側(高沸点側)に移動しているが40～50cmのものでは、その交点は明確に現れていない。

これは表1から径と燃焼時間が大きくなるに従い燃焼速度が速くなるため、C<sub>10</sub>～C<sub>11</sub>の残量にばらつきが生じ交点が現れないものと推察される。

#### (2) 液面降下速度について

各径のシャーレに対する燃焼速度は表1, 各シャーレの燃焼速度を平均したものが図27である。

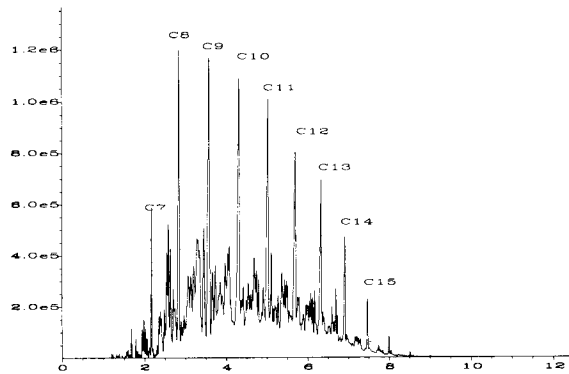


図2 標準灯油のクロマトグラム

表1 燃焼灯油の燃焼速度

直径 / 燃焼時間		標準	2分	4分	6分	8分	平均値
10cm	残量(ml)	78.5	67.5	58.4	48.4	38.3	
	減少率(%)	—	14.0	25.6	38.3	51.2	
	燃焼速度(ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.070	0.064	0.064	0.064	0.066
20cm	残量(ml)	314.0	263.1	206.0	144.4	80.4	
	減少率(%)	—	16.2	34.4	54.0	74.4	
	燃焼速度(ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.081	0.086	0.090	0.093	0.088
30cm	残量(ml)	706.5	568.0	412.6	244.4	62.2	
	減少率(%)	—	19.6	41.6	65.4	91.2	
	燃焼速度(ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.098	0.104	0.109	0.114	0.106
40cm	残量(ml)	1256.0	921.9	582.8	185.9	40.2	
	減少率(%)	—	26.6	53.6	85.2	96.8	
	燃焼速度(ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.133	0.134	0.142	0.121	0.133
50cm	残量(ml)	1962.5	1377.7	573.1	102.1	0	
	減少率(%)	—	29.8	70.8	94.8	100.0	
	燃焼速度(ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.149	0.177	0.158	—	0.161

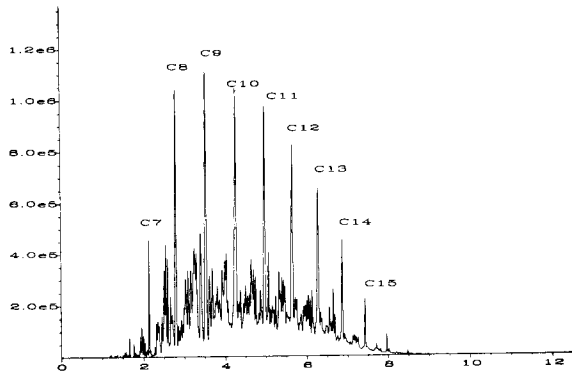


图3 10cm 2分燃烧灯油

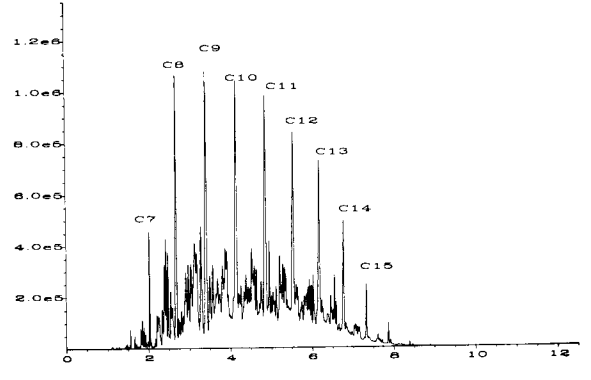


图7 20cm 2分燃烧灯油

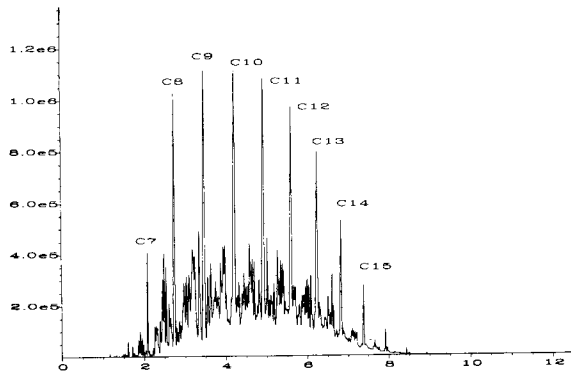


图4 10cm 4分燃烧灯油

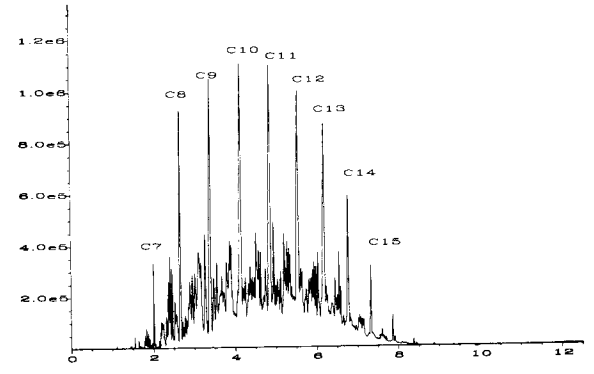


图8 20cm 4分燃烧灯油

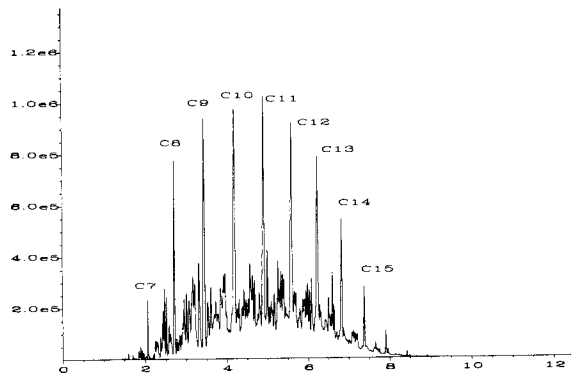


图5 10cm 6分燃烧灯油

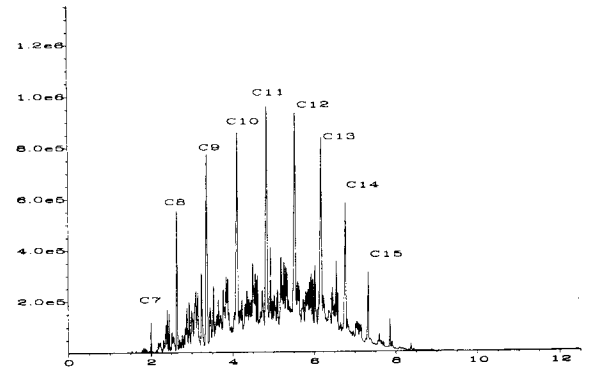


图9 20cm 6分燃烧灯油

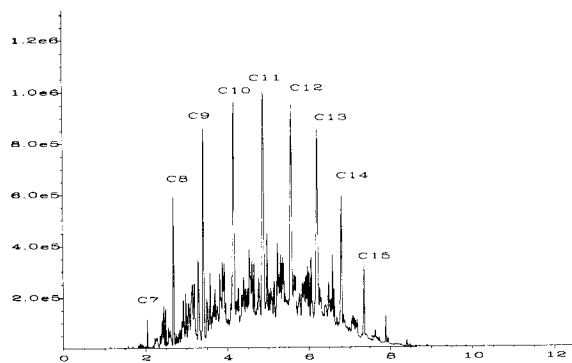


图6 10cm 8分燃烧灯油

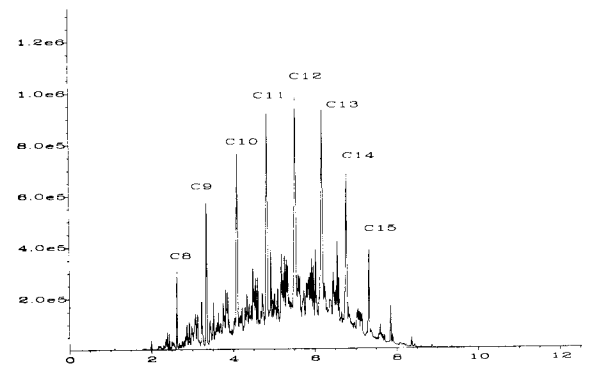


图10 20cm 8分燃烧灯油

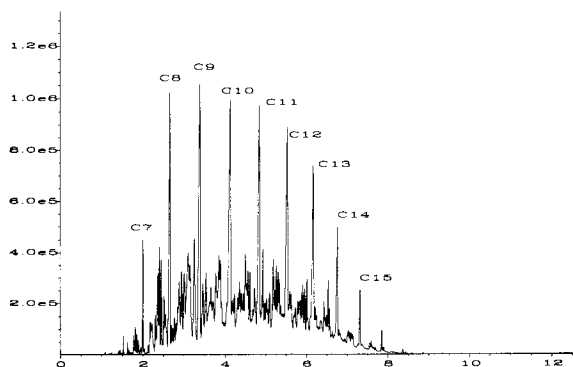


图11 30cm 2分燃烧灯油

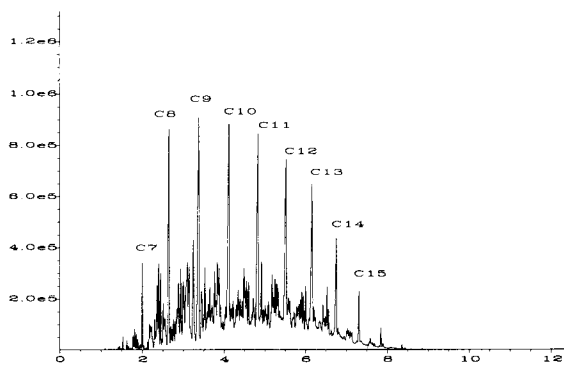


图15 40cm 2分燃烧灯油

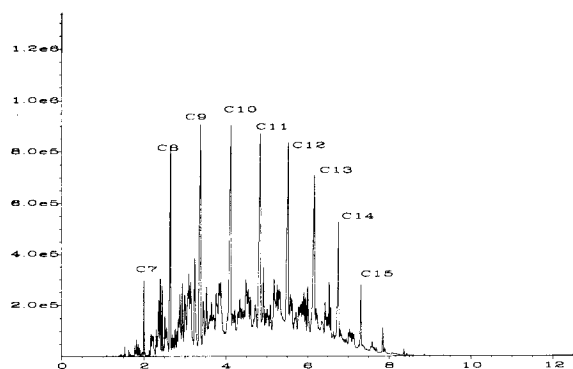


图12 30cm 4分燃烧灯油

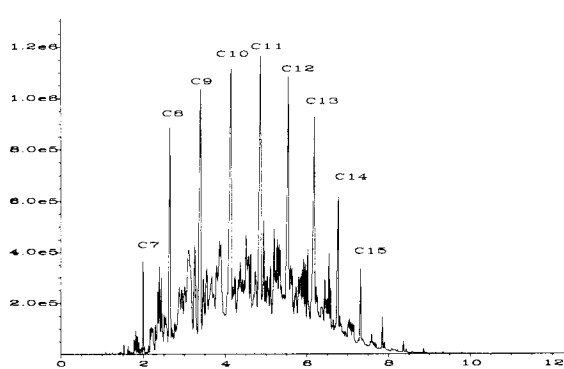


图16 40cm 4分燃烧灯油

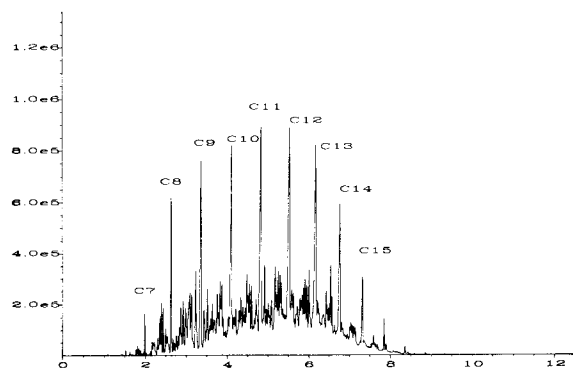


图13 30cm 6分燃烧灯油

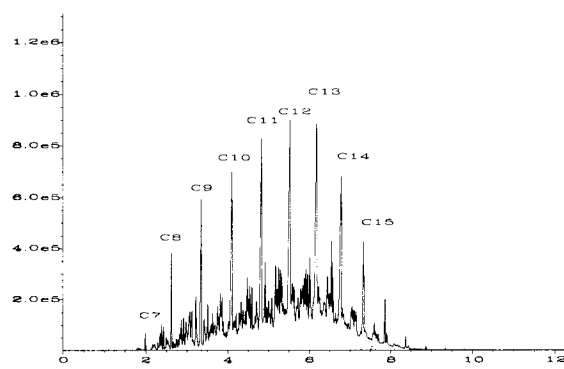


图17 40cm 6分燃烧灯油

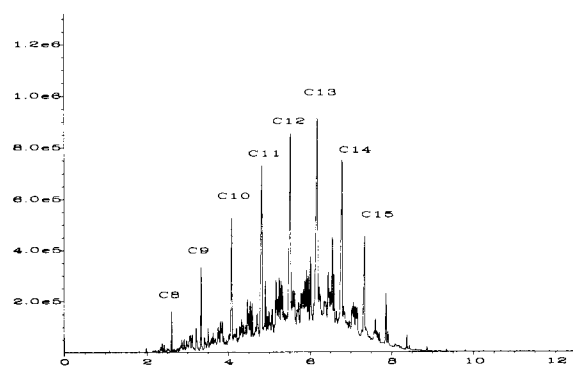


图14 30cm 8分燃烧灯油

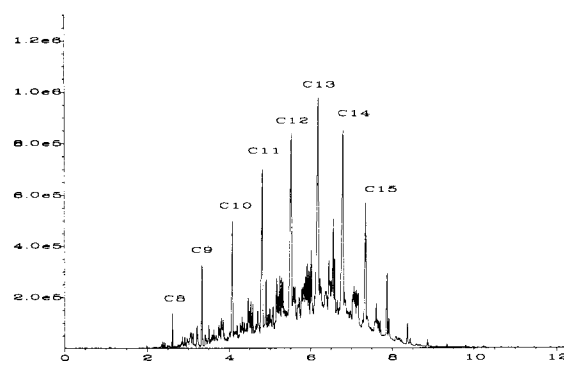


图18 40cm 8分燃烧灯油

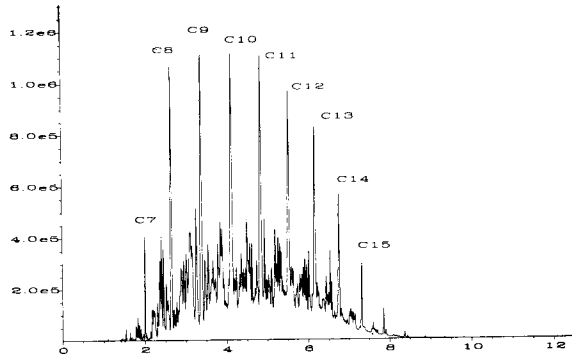


図19 50cm 2分燃焼灯油

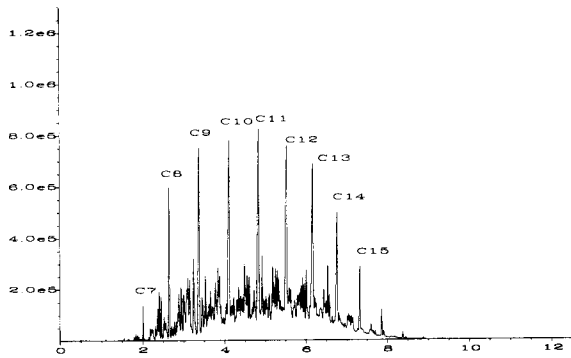


図20 50cm 4分燃焼灯油

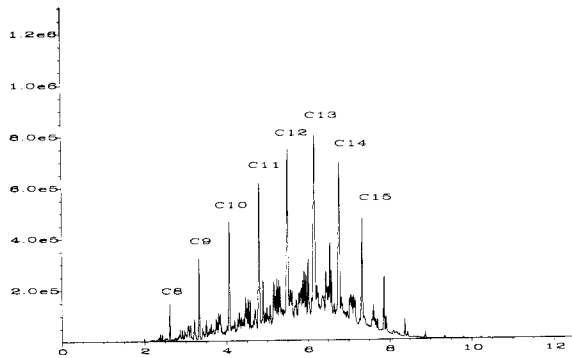


図21 50cm 6分燃焼灯油

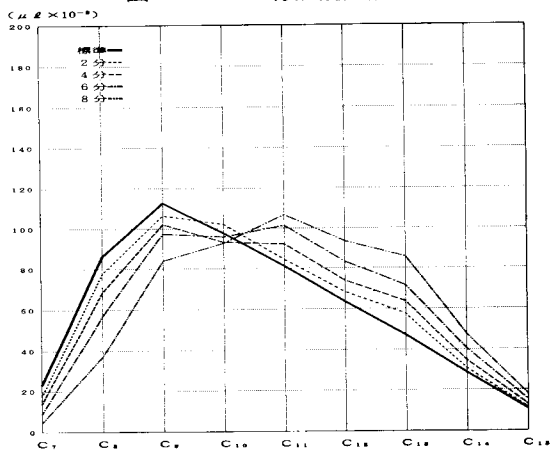


図22 燃焼灯油 1 μl 中に占めるノルマルパラフィンの容積比較 (10cmシャーレ)

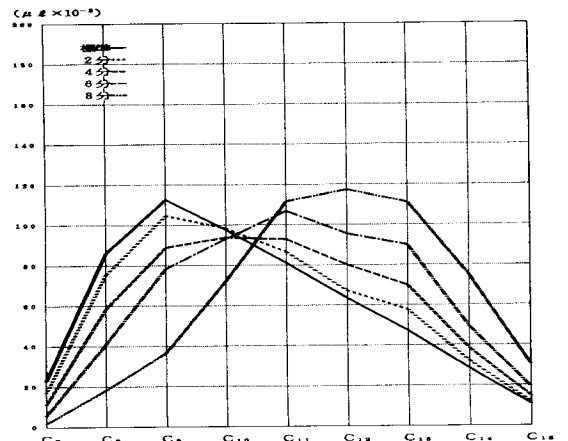


図23 燃焼灯油 1 μl 中に占めるノルマルパラフィンの容積比較 (20cmシャーレ)

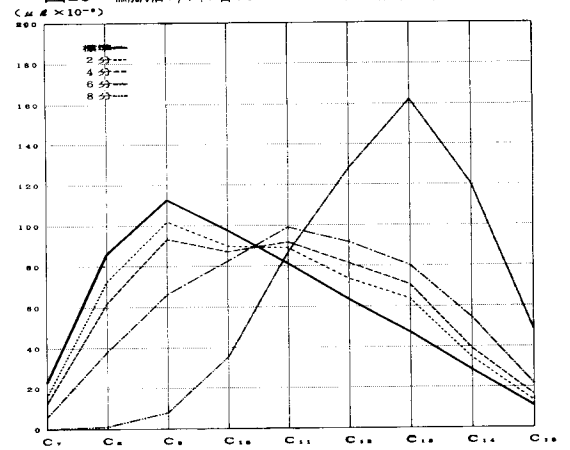


図24 燃焼灯油 1 μl 中に占めるノルマルパラフィンの容積比較 (30cmシャーレ)

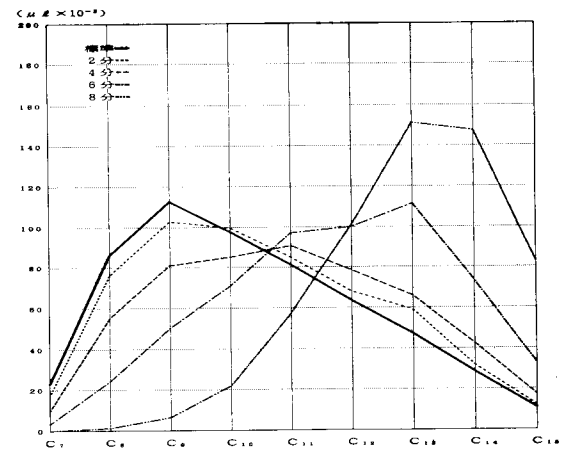


図25 燃焼灯油 1 μl 中に占めるノルマルパラフィンの容積比較 (40cmシャーレ)

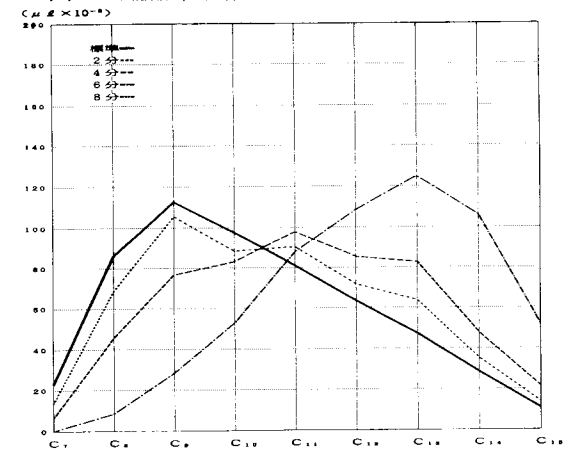


図26 燃焼灯油 1 μl 中に占めるノルマルパラフィンの容積比較 (50cmシャーレ)

火炎はその形状により層流領域、遷移領域、乱流領域に大別され、液体燃料の液面降下速度すなわち、単位面積あたりの消費速度は容器の径とともに変化するものである。

面積降下速度は容器径が小さいうちは容器径にほぼ反比例し、容器径が一定の値を越すと容器径に関係なくほぼ一定になると言われている。

今回の各シャーレの容器径は10cm～50cmの5種類であり、これは遷移領域に属するものである。

液面降下速度の平均値は径が10cmのもので0.66mm/分、20cmで0.88mm/分、30cmで1.06mm/分、40cmで1.33mm/分、50cmで1.61mm/分であり、なだらかな上昇カーブを描いている。

この曲線と遷移領域における燃焼灯油の液面降下速度を比較すると若干低い値であるが、非常に類似しており、今回行なった実験の環境化における表面降下速度の特性曲線を表しているものである。

容器内の可燃性液体が燃焼する速度は、火炎から液体へ伝わる熱に見合った蒸発の速度に等しく、火炎から液体への熱の移動は、容器の縁から液体への伝導、液面上の高温気体から液体への対流及び火炎を含む高温気体からの熱ふく射が支配するものである。

熱移動速度の総和 $Q$ は単位時間あたりの容器内で減少した燃焼灯油（液体表面積 $\pi d^2/4$ と表面降下速度 $v$ の積）を蒸発させるのに必要な熱量に等しいため、

$$Q = Q_{\text{伝導}} + Q_{\text{対流}} + Q_{\text{ふく射}}$$

$$= (\pi d^2/4) v \rho L$$

$d$  : 容器の径

$v$  : 液面降下速度

$\rho$  : 燃焼灯油の密度

$L$  : 単位質量の燃焼灯油を蒸発させるのに必要な熱量

で表され、伝導による熱量は径、対流は火炎温度と液温の差、ふく射は火炎温度がそれぞれ大きく影響すると言われており、今回の実験による液面降下速度と文献による燃焼灯油における液面降下速度の差は

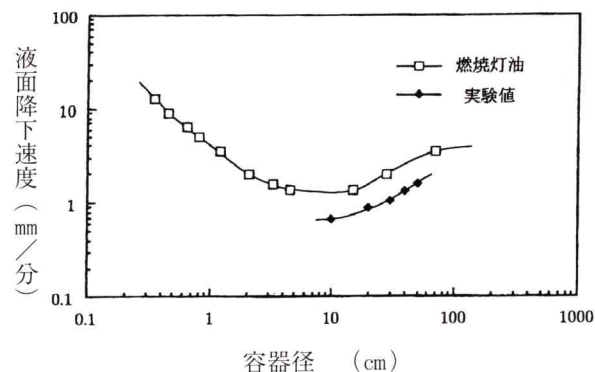


図27 液面降下速度

① 灯油を入れた時点でシャーレの縁の高さが1cm露出し、さらに燃焼により露出高が増して伝導熱が液面へ伝わりにくくなる。

② 燃焼時間の経過に伴いシャーレの縁から供給される酸素量が徐々に減少し、ふく射熱が液面に伝わりにくくなる。

これらの要因により、生じるものと推察される。

#### 4 まとめ

燃焼灯油の色の変化は燃焼時間および径の大きさで色彩は変わっていくものであり、燃焼時間が長いほどまた径が大きくなるほど淡黄色から赤黄色へと変化している。

G C分析から低沸点成分の減少及び高沸点成分の増加はシャーレの径が大きいほど又燃焼時間が長くなるに従い大きくなっている。

これは燃焼灯油の密度変化からも同様なことが言え、灯油等の混合物の成分変化の特性を表しているものである。

燃焼灯油1 $\mu$ l中にしめる $C_n$ の容積変化における交点はシャーレの径が40～50cmでは明確に現れなかったが、10～30cmでは $C_{10}$ ～ $C_{11}$ の間で交わり、シャーレの径が大きくなる程、高沸点側に移行していることから、今後この交点を手掛かりに燃焼時間、シャーレの径、深さ等を変えながら基礎データを蓄積していきたい。

また、これに合わせて液面降下速度についても、発熱量、燃焼形態等の因子に注目し分析していく所存である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 「燃焼学」 平野敏右
- 2) 「燃焼の基礎と応用」 架谷昌信, 木村淳一
- 3) 「日本火災学会論文集」 Vol. 53 日本火災学会
- 4) 「火災」 Vol. 41 日本火災学会
- 5) 「安全工学」 Vol. 27 No.5 コロナ社
- 6) 「消防科学研究所報」 1994 No.1
- 7) 「消防科学研究所報」 1995 No.2





写真1 燃焼灯油の作成状況 (10cmシャーレ)



写真4 燃焼灯油の作成状況 (40cmシャーレ)



写真2 燃焼灯油の作成状況 (20cmシャーレ)



写真5 燃焼灯油の作成状況 (50cmシャーレ)



写真3 燃焼灯油の作成状況 (30cmシャーレ)



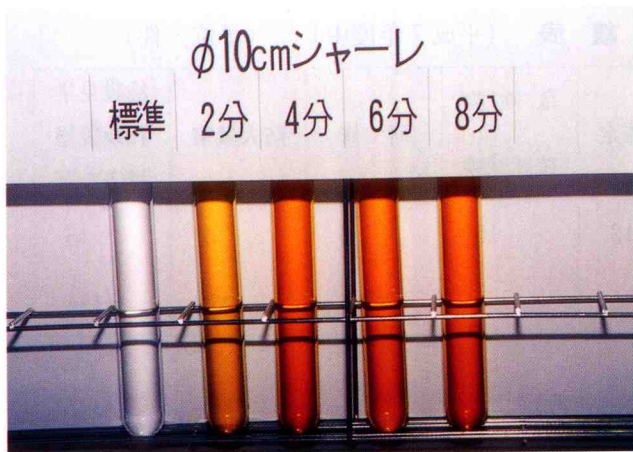


写真6 10cmシャーレの変色状況

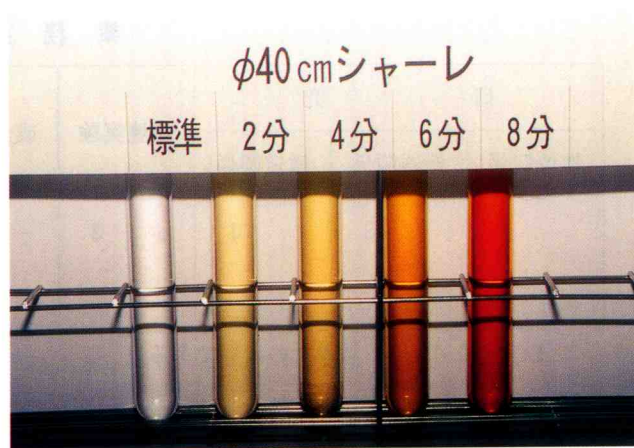


写真9 40cmシャーレの変色状況

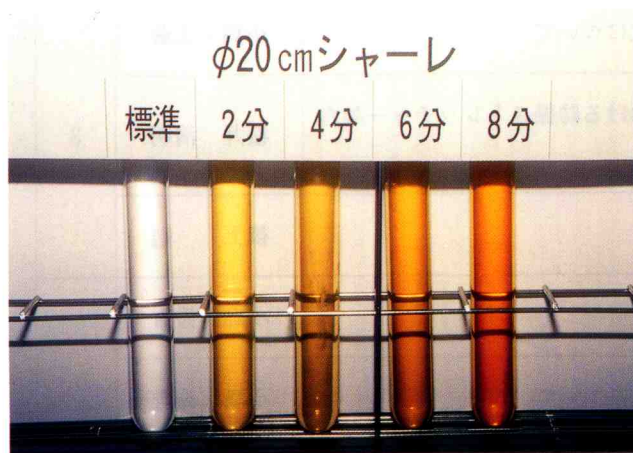


写真7 20cmシャーレの変色状況

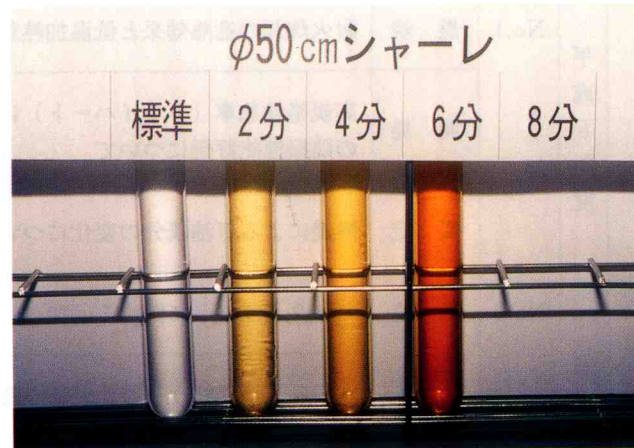


写真10 50cmシャーレの変色状況

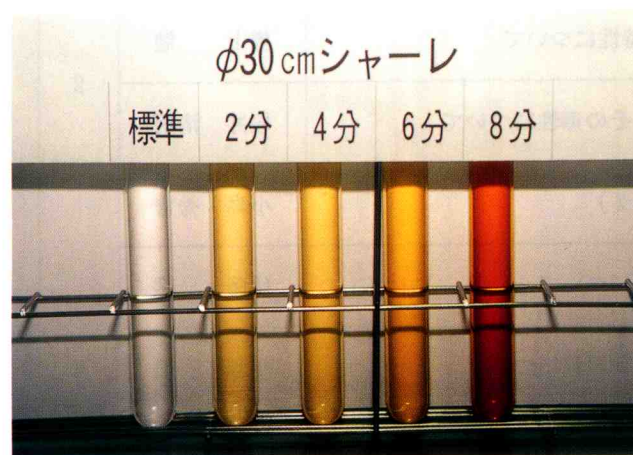


写真8 30cmシャーレの変色状況

業 務 実 績 表 (平成7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						
1	3	1	3	12	15	6	3	16
						(124)	(93)	(194)

(注) ( ) は、対象者の人数である。

主 な 研 究 実 績 (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・工藤	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	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	橋上 勉	
		情 報	サリン [(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHO <sub>2</sub> PFCH <sub>3</sub> ] 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			