

# 消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



1995 No. 2

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…………… 1
- ・木炭の燃焼に伴う一酸化炭素の発生について……………17
- ・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……………23
- ・燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について……………35

## 【科学情報】

- ・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 ……45
- ・火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について……………49

## 【事務事業実績】

- ・主な研究実績……………52

---

# CONTENTS

## 【Academic Papers】

- ・ Reseach of Backdraft…………… 1
- ・ Carbon Monoxide Produced with the Combustion of Charcoal ……17
- ・ Selection of an Anti-vibration Stretcher Bed Suspension for  
the State-of-the-Art Ambulances ……23
- ・ Changes in the Chemical Makeup of Heating Kerosine  
According to Combustion Surface Area……………35

## 【Scientific Information】

- ・ Characterisitic of Sarin(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHO<sub>2</sub>PFCH<sub>3</sub>……………45
- ・ Poison Gasses Generated in Fires and their Toxicity ……49

## 【Result of Office Activities】

- ・ Main Research Results ……52

# バックドラフトに関する研究

区画模型を用いたバックドラフトの再現実験

## Research of Backdraft

Backdraft simulation tests using small compartment model

小島 秀吉\*  
Kojima Hideyoshi

### 要 約

高気密性住宅における居室規模の区画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、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、開放状態の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た。

また、この現象に伴う温度及び酸素濃度変化等のデータを得ることができた。

### Summary

Experiments were carried out using a small compartment model with a single open section to determine the conditions under which backdraft arises in a fire in a living-room sized compartment of a highly air-tight residence. In this results, We confirmed the repeated phenomenon of flames abruptly belching out of the opening, and obtained data concerning the changes in temperature and concentration of oxygen which accompanied this phenomenon.

## 1 はじめに

気密性の高い部屋の火災において、火炎が成長するに連れ酸素が不足し、不完全燃焼が始まり、炎がしだいに消滅し濃煙や可燃性ガスが充満する。この時にドアや窓を開けると空気(酸素)が流入し爆発的に火炎が拡大する、いわゆるバックドラフトが発生する。この現象は発生時に爆風や衝撃波を伴い、爆発的に燃焼拡大するため、火災の被害を大きくすると共に、消火活動中の消防隊員にとっても大変危険である。

また、従来は気密性の高いRC造において発生しやすいものとされていたが、本市の住宅構造においては、積雪寒冷に対応するため、近年、木造戸建住宅の高気密化が進みRC造と同様にバックドラフトが発生する可能性が高くなっている。このため、この現象の発生メカニズムを解明して、発生の予知、未然防止、及び安全かつ効果的な消火方法の確立を図ることが必要となっている。

しかしながら、一般的にこの現象は、区画された室内の可燃物に一斉に着火して火炎が急速に広がり、室内が火の海となるフラッシュオーバーと混同されたり、区別が曖昧にされているため研究例も少なく、発生のメカニズムは殆ど解明されていない。

このため当局では、高気密性住宅における居室規模の区画火災におけるバックドラフトの発生性状を把握し、この現象のメカニズムを解明するため、開口部を設けた区画模型を作製して燃焼実験を実施したのでこの結果を報告する。

## 2 実験の目的

開口部を設けた区画模型を用いて燃焼実験を行い、バックドラフトを再現させて、この時の区画模型内部の温度及び酸素濃度等の変化を把握しながら、今後に予定している実大規模の区画居室を用いた燃焼実験に必要なデータを得るとともに、この現象の発生メカニズムを解明して消火活動に従事する消防隊員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 実験の概要

### 3.1 日時

平成7年2月15日(水) 10時00分～19時00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25℃、湿度70%

### 3.4 実験方法

開口部を有する区画模型を作成し、この中でコンク

\*消防科学研究所

リート型枠合板を燃焼材として燃焼させ、区画模型内部の温度、酸素濃度及び開口部から噴出する火炎の圧力を測定しながら、バックドラフトを再現させて発生状況を観察した。

燃焼材については、厚さ12mmのコンクリート型枠合板を使用して、天井部分に大きさW620×D900mm、背面壁体部分に大きさW700×H750mm、開口部に向かって右側の側面壁体部分に大きさW420×H750mm、合計13.3kgを設置した。また、燃焼性を高め可燃性ガスを発生しやすくするために、背面及び側面に設置した燃焼材に直径10mmの穴を約50mm間隔で110カ所ほど開けた(写真1)。

点火の方法は、短冊状の松材(20×20×200mm)1.1kgを井桁状に組み、その中に灯油をしみ込ませた紙と500gほどの木片を焼き付けとして入れたものを2つ作製し、これらを区画模型内部背面の右隅に置き、LPGトーチバーナにより点火した(写真2)。

なお、開口部より内部の燃焼状況を観察するために開口部正面、また、煙や火炎の噴出状況を観察するために、区画模型真横にそれぞれ1台ずつビデオカメラを設置した。

### 3.5 区画模型の概要(図1、図2、写真3)

区画模型は耐火断熱ボード(三菱化成(株)マフテックボードt25mm)2枚を石綿スレート板(t6mm)2枚で挟んだ部材(写真4)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(W900×D1200×t15mm)の上に乗せて底板として、銅製アンクル材(40×40×t2mm)を用いたキャスター付きの枠台(写真5)に組上げ作製した。なお、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。

また、区画模型の内壁を保護するために壁体及び天井の内側をトタン板(t0.25mm)で覆い、さらに、底板に耐火断熱材(三菱化成(株)マフテックブランケットt25mm)2枚を敷き断熱性を高め、その上にトタン板製の受け皿(W780×D1080×H70mm)を設け、燃え殻の処理をしやすくした。

区画模型の寸法は図1で示すように、外寸で幅910mm、奥行き1210mm、高さ1040mm、内寸で幅780mm、奥行き1080mm、高さ850mmであり、内容積は0.71m<sup>3</sup>である。また、開口部を有する正面壁体は脱着式とし、開口部の大きさは幅200mm、高さ240mmとした。

### 3.6 温度の測定方法(図3、写真6)

区画模型内部の温度変化の測定は、被覆型K熱電対(素線径0.8mm)を用い、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

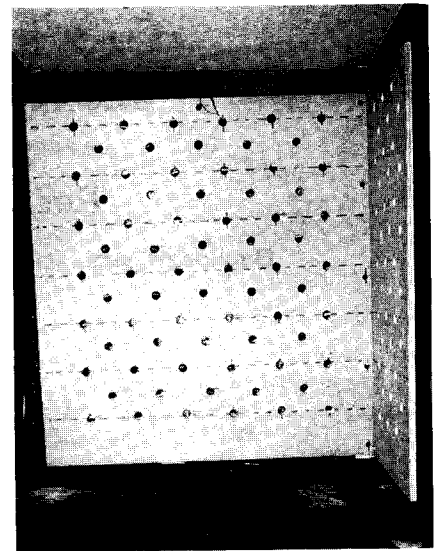


写真1 燃焼材の状況

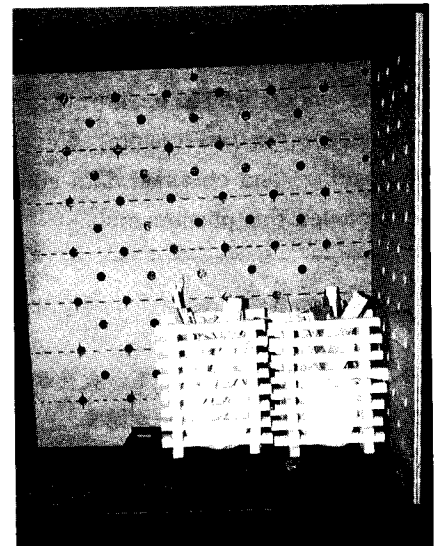


写真2 点火用松材の状況

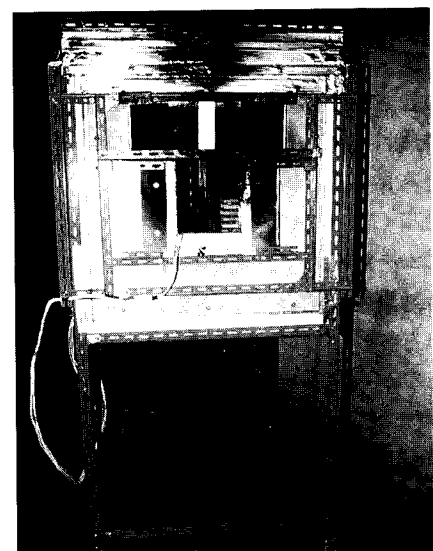


写真3 区画模型と開口部の状況

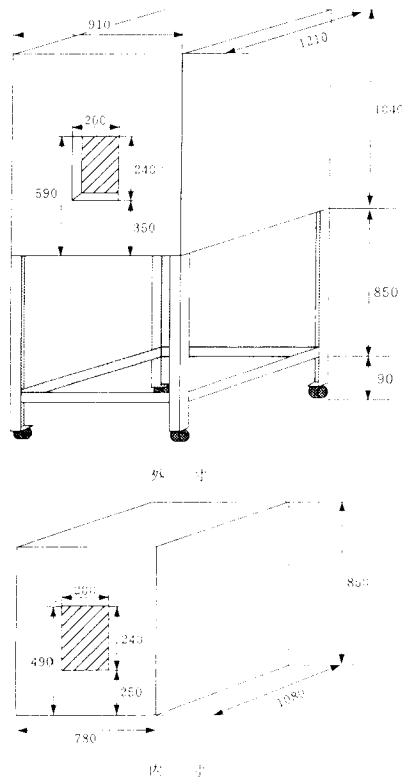


図1 区画模型外觀図および内寸（単位mm）

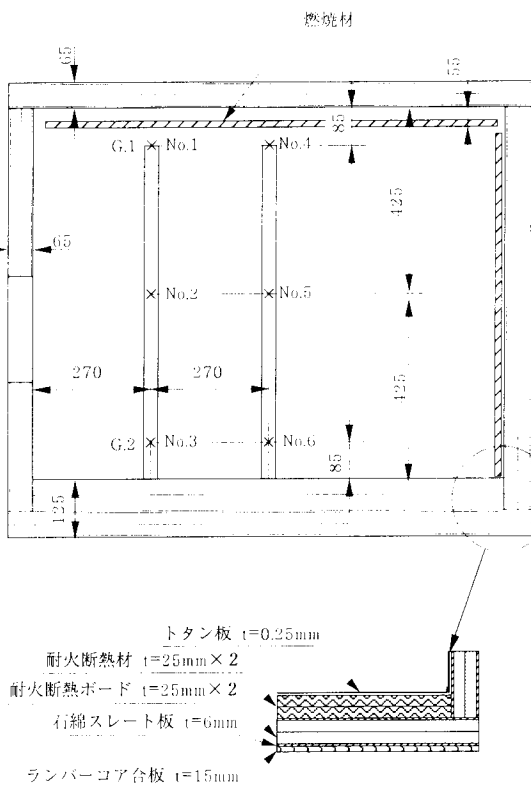


図2 区画模型断面図（単位mm）

計測記録した。測定点は図3に示すとおり奥行き方向に開口部から内寸の1/4, 1/2の距離で、高さ方向には床面部, 中間点, 天井部の3分割として合計6ヶ所（測定点の番号については図3注釈参照）とした。

なお、熱電対は区画模型内部に銅製アングル支柱を2本立て、これに支持させた。

### 3.7 酸素濃度の測定方法（図3、写真7）

区画模型内部の酸素濃度の変化の測定は、銅管（内径8mm）を用いて開口部の下から内部の燃焼ガスを吸引して、多点式ガス濃度測定器（テストターム株式会社 testo33）で酸素の濃度を連続測定し、データレコーダ（株式会社共和電業 RTP-772A）に収録すると同時に、データ出力装置（グラフテック株式会社 WR8000）により濃度変化を記録紙に出力した。また、データレコーダに収録した連続波形データ（アナログデータ）をデータアナライザー（株式会社共和電業 DAA-110B）を用いて数値データ（デジタルデータ）に変換した。

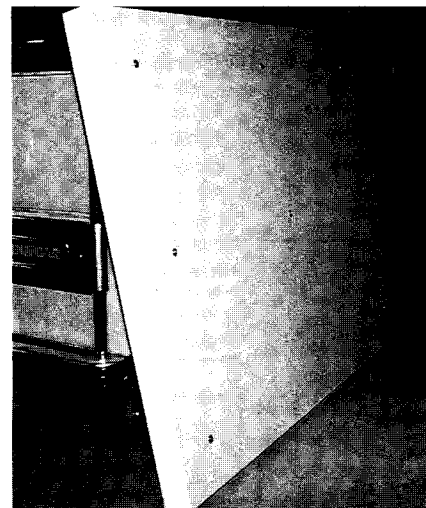


写真4 壁体部材の状況

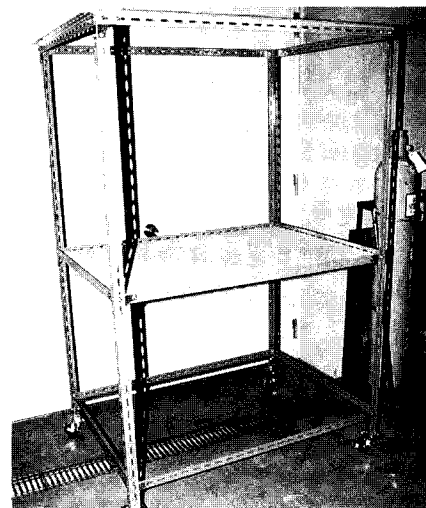


写真5 キャスター付き枠台

測定点は図3に示すとおり、模型の奥行き方向に開口部から内寸の1/4の距離で、高さ方向には天井部（G.1）と床面部（G.2）の合計2ヶ所とし、吸引銅管は熱電対を支持するアングル支柱に支持させた。

### 3.8 火炎の噴出圧力の測定方法（図3、写真8）

火炎の噴出圧力の測定については、開口部中心から20cm離れた位置（P.1）にピトー管（株式会社岡野製作所LK-5 外径10mm）を設置して、火炎が噴出した時の動圧と静圧の差を火炎の噴出圧力として微差圧変換器（株式会社共和電業PDL-40GB）で計測し、信号増幅器（株式会社共和電業CDV-230C）を介して、データ出力装置（グラフテック株式会社WR8000）に出力し、これを直接読み取った。また、この結果とベルヌーイの定理から噴出速度を求めた。

## 4 実験結果

### 4.1 燃焼の状況経過

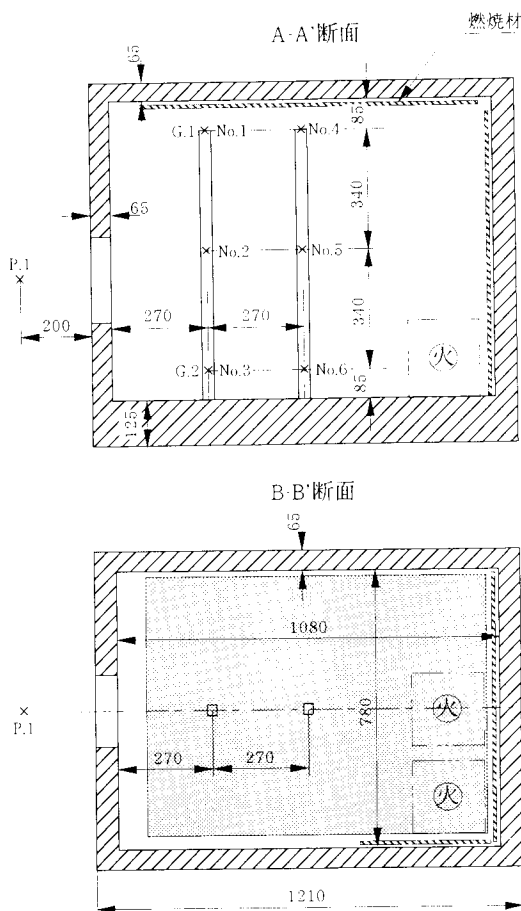
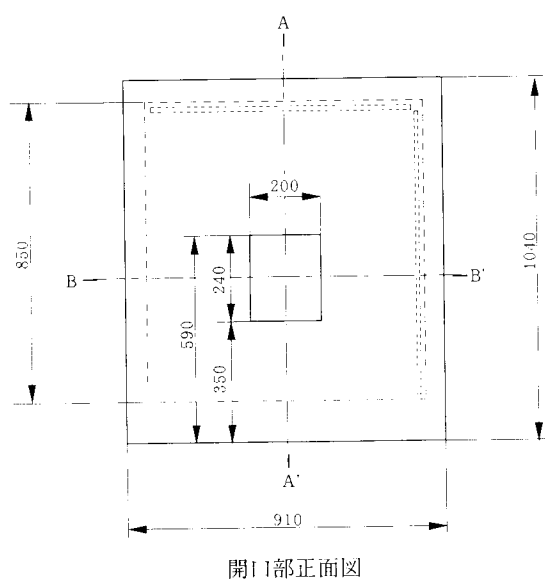
実験の開始から終了までの24分40秒間に、合計7回の火炎の噴出現象が見られた。この間の開口部から噴き出す煙や火炎及び開口部から観察した区画模型内部

の状況経過を表1に示す。また、火炎噴出の発生周期及び発生までに開口部から出た煙の色を表2に示す。

点火後1分、井桁に組んだ点火用の松材が燻焼し始め、点火後4分には着火して炎を上げた。点火後6分には内部背面壁体の燃焼材に着火して炎が立ち昇り、次第に煙の量が増加した。さらに、点火後9分には天井の燃焼材に着火し、同時に開口部から噴き出している黄色の煙が増加し、50秒後には内部の観察が不可能となった。その後、濃い黄色または褐色の煙が、頻繁に息継ぎを繰り返しながら勢いよく開口部から噴出する状態が続いた。

点火後17分7秒に1回目の急激な火炎の噴出（バックドラフト）が発生した。火炎の急激な噴出後、すぐに内部の火炎が消え、薄い黄色の煙の噴出が続き、30秒後の点火後17分37秒には、再び煙の色が濃くなり、点火後18分9秒には2回目のバックドラフトが発生した。この様に急激な火炎の噴出→薄い黄色の煙の噴出→濃い黄色の煙への変化→急激な火炎の噴出という現象が、4回目のバックドラフトまで繰り返し見られた。

その後、5回目のバックドラフト以降は、噴出する



- 【注釈】 (1) 温度測定点 No.1からNo.6の6ヶ所  
 (2) 酸素濃度測定点 G.1およびG.2の2ヶ所  
 (3) 火炎噴出圧力測定点 P.1

図3 測定点位置図（単位mm）

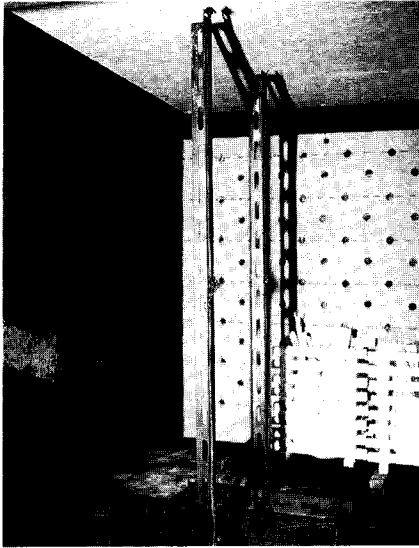


写真6 熱電対の設置状況

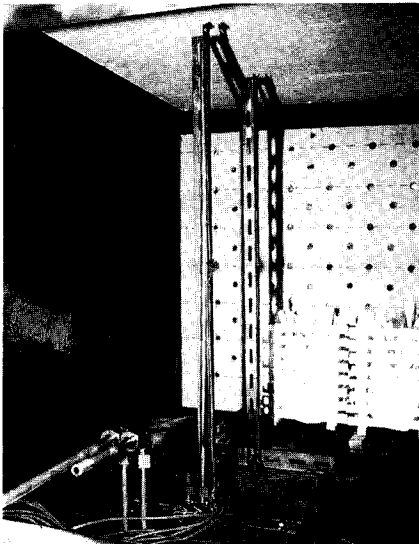


写真7 酸素濃度測定用吸引銅管の設置状況

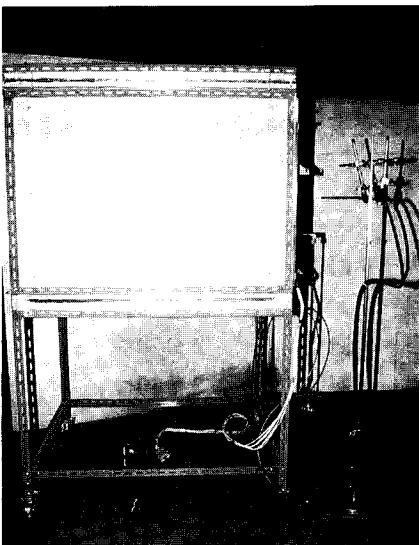


写真8 火炎の噴出圧力測定用ピトー管の設置状況

煙が薄黄色から徐々に白くなり量も減少し、また、火炎の噴出も次第に弱くなり発生周期も短くなっていくのが観察された。

6回目の弱い火炎噴出の後には、噴出する煙の量が減ったことから、開口部より内部の観察が可能となり、点火後23分50秒にはゆっくりとたなびくように動く火炎、いわゆるゴースティング火炎が発生し、次の火炎が噴出するまで連続して見ることができた（文末カラー写真9）。写真を見ると開口部の上部、左から右にたなびきながら火炎が動いているのが分かる（白丸枠内参照）。なお、①から④まで0.2秒間である。

点火後24分2秒に7回目の火炎の噴出があり、火炎が消えた後、点火後24分37秒に内部一面に火炎が広がり、開口部より炎が連続的に流出し、そのまま燃え続け自然に消えない状態となったため、これ以上火炎の噴出現象が発生しないと判断し実験を終了した。

#### 4.2 火炎の噴出状況

文末カラー写真10に横方向より撮影した4回目のバックドラフトの火炎噴出の分解写真を示す。撮影間隔は1/30秒であり、①から④まで1.6秒間である。①から順に見ていくと、まず開口部から噴出する煙りの濃度が濃くなり、開口部全体から噴き出し、高さ方向に厚くなり（①～②）、つづいて開口部より茸状の煙が噴き出して来る（④～⑭）。

火炎の噴出直前には、開口部付近の煙が模型内部の火炎によってうっすらと赤くなり、すでに模型内部では火炎がかなり成長していることが分かる（⑬～⑭）。その後、火炎は開口部から舌状の形で明るく輝きながら噴出する。この時、開口部の上半分、すなわち中性帯の上側全体が明るく輝いている（⑮～⑯）。

さらに火炎は奥行き方向に真っ直ぐに成長してゆく。明るく輝く部分は上から次第に細くなって行くが、中性帯付近は明るく輝いたままである（⑰～⑱）。

その後、時間とともに火炎の明るく輝く部分は無くなり、多数のしわを持つしわ状火炎へと変化し、また、火炎は上昇気流に乗って上方へと傾いていく（⑲～⑳）。時間の経過に従って、火炎はさらに小さくなり、ほぼ垂直に立ち上がるようになっていく。また、開口部から火炎に先行して噴出した煙も上昇気流に乗って、次第に上方へと拡散しながら移動している（㉑～㉒）。

次に、同じ火炎の噴出を開口部正面から撮影した分解写真を文末カラー写真11に示す。横方向から撮影した分解写真と同様に撮影間隔は1/30秒であり、①から④まで1.6秒間である。開口部付近より噴出している煙の流れが次第に乱れ、模型内部に火炎が生じて赤くなり（①～③）、続いて開口部から煙が噴き出す（④～⑭）。煙の噴出初期には周囲の煙が開口部の中

表1 燃焼の状況経過

経過時間	燃 焼 の 状 況
点火直後	点火用松材の焚付けの紙に着火し、勢いよく炎を上げ燃焼する。
0分30秒	紙が燃尽き炎が消える。
1分	内部に煙が発生し、開口部から噴出し始める。
2分	煙のため内部の状況確認が不可能となる。
3分	噴出する煙が薄くなり、量も減少し、内部背面の壁体が見えてくる。
3分40秒	内部背面の壁体が完全に見えてくる。
4分	内部背面の右隅に置いた点火用松材に着火し、炎が立ち昇る。
5分10秒	開口部より白煙が噴出してくる。
6分	内部背面壁体の燃料材に着火し、炎が立ち昇る。
7分	再び煙の量が増加し、開口部上半分から噴出してくる。
9分	天井の燃焼材に着火し、煙が黄色味を帯びて量も多くなり、勢いも増す。
9分50秒	煙の量が増加し、内部背面の壁体が見えなくなる。
10分	煙の色が濃黄色となり、時々脈動する。
11分	煙が時々息継ぎ状態となる。
11分50秒	煙が褐色となり、頻繁に息継ぎが見られる。
12分	煙の勢いも増し、かなり強い息継ぎが見られる。
14分	煙が渦を巻き、2秒程度の間隔で息継ぎを頻繁に繰り返す。
15分	煙の量がさらに増加し、1秒程度の間隔で息継ぎを頻繁に繰り返す。
16分	煙が褐色となり、息継ぎを勢いよく頻繁に繰り返す。
17分07秒	<b>1回目の急激な火炎噴出</b> 、すぐに火炎が消え淡黄色の煙の噴出が続く。
17分37秒	煙の色が濃くなる。
18分09秒	<b>2回目の急激な火炎噴出</b> 、すぐに火炎が消え淡黄色の煙の噴出が続く。
19分40秒	煙の色が濃くなる。
20分29秒	<b>3回目の急激な火炎噴出</b> 、すぐに火炎が消え淡黄色の煙の噴出が続く。
20分56秒	煙の色が濃くなる
22分39秒	<b>4回目の急激な火炎噴出</b> 、すぐに火炎が消え淡黄色の煙の噴出が続く。
23分	煙の量が多くなる。
23分15秒	<b>5回目の若干弱い火炎噴出</b> 、すぐに火炎が消え淡黄色の煙の噴出が続く。
23分30秒	煙の色が白くなり量が減る
23分38秒	<b>6回目の弱い火炎噴出</b> 、徐々に火炎が消え白煙の噴出が続く。
23分46秒	煙の量がさらに減り煙の色も薄くなる。
23分50秒	内部にゴースティング火炎が出現するのを確認。
24分02秒	<b>7回目の非常に弱い火炎噴出</b> 、徐々に火炎が消え薄い煙の噴出が続く。
24分10秒	煙の色がほとんど無くなり、量も減る。
24分37秒	内部に火炎が広がり開口部から流出する。
24分40秒	開口部から火炎の流出が続き自然に消えない状態であり、これ以上火炎の噴出現象が起これないと判断し実験を終了する。

心付近へと渦を巻きながら吸い込まれている様子が見られる(④～⑥)。

続いて火炎が噴出するが、先行して噴出した煙に視界を遮られ、はっきりと確認することはできない。しかし、火炎が明るく輝くため、煙の下部が赤く見える(⑮～⑱)。さらに、火炎が上方へと広がるにつれて、煙の赤く見える部分が上方へと移り、煙の切れ間から火炎が見える(⑲～㉕)。

その後、煙は上昇して行き、開口部付近の煙が薄くなっていくために、開口部より模型内部の様子を観察できるようになる。模型内部は、始めは盛んに炎をあげて燃えているが、時間の経過に伴い次第に火勢は弱まってくる(㉖～㉘)。

表2 火炎噴出の発生周期及び発生直前の煙の色

発生回	発生周期	煙の色
点 火～1回目	17分07秒	濃黄色
1回目～2回目	1分02秒	濃黄色
2回目～3回目	2分20秒	濃黄色
3回目～4回目	2分10秒	濃黄色
4回目～5回目	36秒	薄黄色
5回目～6回目	23秒	白 色
6回目～7回目	24秒	白 色



### 4.3 温度変化

図4に各測定点における温度の変化を示す。各測定点では変動しながら徐々に温度が上昇しており、区画模型内部の温度は全体的に次第に上昇している。実験終了時には天井部 (No.4) で460°C、床面部 (No.6) で270°Cとなった。また、天井部 (No.1, No.4)、中間点 (No.2, No.5)、床面部 (No.3, No.6) の順で温度変化が激しく、特に天井部 (No.1, No.4) については、内部の燃焼状況の変化によって温度が大きく変化しており、これに比べて床面部 (No.3, No.6) はバックドラフトが繰り返し発生している期間を除き、あまり変動せず上昇している様子が分かる。

点火後バックドラフトが発生するまでの16分間と、現象の発生を繰り返している時期との温度変化のパターンは大きく異なる。すなわち、現象が発生するまでの16分間は、各測定点において変動があるものの全体的に上昇していくのに対して、バックドラフトが繰り返し発生している時期においては、発生する30秒~2分ほど前の時点から、各測定点で温度が急速に低下している。特に1回目から4回目までは特徴的なカーブを描きながら低下し、現象の発生と同時にほぼ垂直に急上昇しており、40秒~2分程度の周期を持って、天井部 (No.1, No.4) 及び中間点 (No.2, No.5) で250~480°C、床面部 (No.3, No.6) で120~290°Cの温度範囲で特徴的な変化をしていることがわかる。

5回目以降については、4回目までと同様に急激な温度変化を繰り返しているが、その周期は短くなり、温度低下のカーブも崩れて、温度の変動範囲も4回目までと比較して狭く、やや高温側にシフトしていることが分かる。

計測時間を通して、開口部側及び区画模型中央部で、それぞれ「No.1 > No.2 > No.3」, 「No.4 > No.5 > No.6」となり、高さ方向に関し天井部が最も高く、次いで中間点、床面部の順となっている。また、奥行き方向に関して、天井部と床面部では、それぞれ「No.1 < No.4」, 「No.3 < No.6」となり、区画模型中央部の方が高くなっているが、中間点では「No.2 > No.5」となり、ほぼ同じ温度で変化しているものの、開口部側の方が僅かに高くなっている。

### 4.4 酸素濃度変化

酸素濃度の変化を図5に示す。床面部 (G.2) の変化については、点火後1分ほどで約2%減少し、バックドラフト発生30秒前まで、約1%程度の範囲での増減を繰り返しながら、1分間に0.2%の減少率で減少していく。1回目のバックドラフト直前、すなわち点火後16分20秒に15.1%まで低下するが、ここから酸素濃度は上昇し始め、火炎の噴出が発生する点火後17分

7秒に18.6%に達した。以後、火炎の噴出に対応して表3に示した極小値・極大値を持つ酸素濃度変化が得られた。

天井部 (G.1) の変化については、点火後30秒ほどで約7%減少し、さらに6分後の点火後7分までに1分間に1.3%の低下率で7%まで低下する。点火後10分までは、やや上昇するが、その後、再び低下し、1回目のバックドラフト直前の点火後16分20秒に1.0%まで低下する。その後、酸素濃度が40秒ほどで10.2%まで上昇して1回目のバックドラフトが発生し、それに伴い酸素濃度は3.4%まで急激に低下する。以後、床面部と同様に火炎の噴出に対応して表4に示した極小値・極大値を持つ酸素濃度変化が得られた。図5及び表3と表4の極小値・極大値の差を見ても分かるように床面部の変化に比較して、天井部は区画模型内部の燃焼状況に対応したダイナミックな変化をしている。

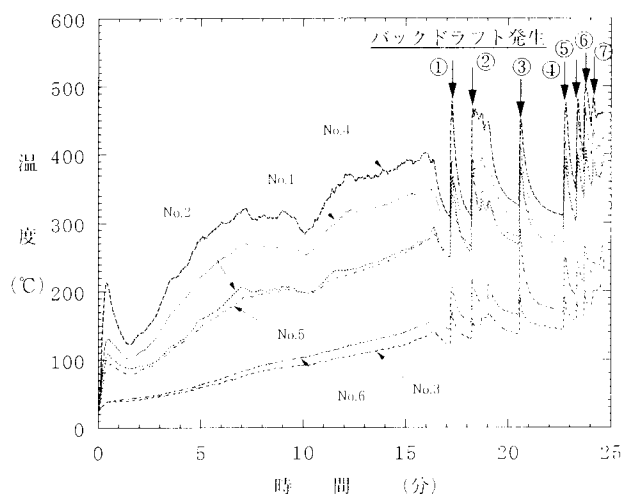


図4 温度変化

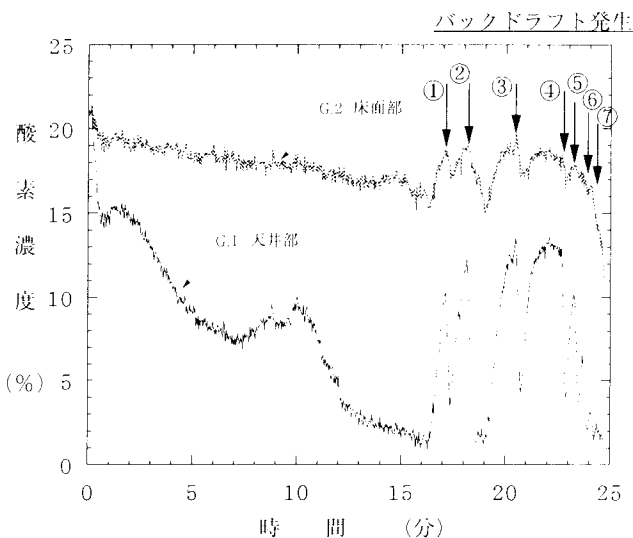


図5 酸素濃度変化

表3 床面部の酸素濃度の極小・極大値 (%)

回	極小値	極大値	差
1回目	15.1	18.6	3.5
2回目	17.0	18.9	1.9
3回目	15.0	19.6	4.6
4回目	17.0	18.9	1.9
5回目	15.6	17.8	2.2
6回目	17.1	17.4	0.3
7回目	16.1	16.7	0.6

表4 天井部の酸素濃度の極小・極大値 (%)

回	極小値	極大値	差
1回目	1.0	10.2	9.2
2回目	3.4	12.2	8.8
3回目	1.2	13.5	12.3
4回目	4.1	13.5	9.4
5回目	4.0	10.0	6.0
6回目	3.8	6.5	2.7
7回目	2.1	3.2	1.1

実験終了近くには、床面部、天井部の酸素濃度は、区画模型内部に火炎が広がるに伴い急速に低下していくが、実験終了時の最終酸素濃度は、床面部が11%、天井部が1.5%であり、天井部が床面部よりかなり低かった。

#### 4.5 火炎の噴出圧力と速度

測定された火炎の噴出圧力から、次式により火炎の噴出速度を求める。

$$\begin{aligned}
 V &: \text{火炎の噴出速度} \quad [m/sec] \\
 \Delta P &: \text{火炎の噴出圧力} \quad [g/cm^2] \\
 g &: \text{重力加速度} \quad [cm/sec^2] \\
 \gamma &: \text{燃焼ガスの密度} \quad [g/cm^3] \\
 V &= (2g \times \Delta P / \gamma)^{1/2} / 100
 \end{aligned}$$

ここで、 $g=980cm/sec^2$ 、燃焼ガスの密度 $\gamma$ は不明のため空気の密度 $1.165 \times 10^{-3}g/cm^3$  (25°C) として速度を求める。この結果を表5に示す。これにより5回目以降の火炎の噴出では、4回目までと比較して明らかに噴出速度が低下しているのが分かる。

#### 5 考察

今回の実験では、開口部を開放したままでバックドラフトが繰り返し発生した。前出の表2と表5に示すように、この現象の発生周期及び煙の色、また火炎の

表5 火炎の噴出圧力と噴出速度

回	噴出圧力 $g/cm^2$	噴出速度 $m/sec$
1回目	0.86	12.0
2回目	1.30	14.7
3回目	1.35	15.0
4回目	1.98	18.2
5回目	0.47	8.9
6回目	0.18	5.5
7回目	0.05	2.9

噴出速度から見ると、4回目までの火炎の噴出と5回目以降の火炎の噴出では明らかに相違点が見られる。

まず、表5の火炎の噴出速度から分かるように、4回目までの火炎の噴出はかなりの強さであったが、5回目以降からは徐々に弱くなり、また表2からは現象の発生周期も短くなっているのが分かる。また、噴出する煙も5回目以降には濃い黄色から薄い黄色、さらに白色へと変化し、6回目の噴出後には量も減少してくる。これらのことから、5回目の現象以降では、それ以前と比較して燃焼ガスの濃度や成分が変化しているものと思われる。

火炎の噴出状況については、横方向から撮影した連続写真を見ると、先に煙が噴出してから、続いて火炎が噴出したことが分かる。また、舌状の明るく輝く火炎が噴出しているのが分かるが、このような火炎は可燃性ガスが急激に噴き出す際に周囲の空気を巻き込んで燃焼した時に見られ、相当な高温になっていると考えられる。

その後、火炎は噴出速度の低下に伴い、上側からしわ状火炎へと変化していくが、下側の部分はまだ明るく輝く部分が残っている。これは火炎の下側において、上記に述べたように可燃性ガスが周囲の空気を巻き込み高温で燃焼しているためと思われる。すなわち、火炎の下側には、開口部中性帯下側から区画模型内部に吹き込む、火炎と逆方向の空気の流れがあり、これと炎が接しているため、相対的に火炎の下側の速度が高くなり、周囲の空気を巻き込みながら高温で燃焼し、明るく輝いているものと考えられる。このことから、火炎の噴出と同時に区画模型内部に吹き込む強い空気の流れがあることが予想される。

文末カラー写真10の⑯と⑰から火炎の噴出速度の概算を試みる。火炎は写真上で15mm進んでおり、写真に写っている配管の実寸法(180mm)から比較すると、火炎は実スケールで1/30秒に0.67m進んでいることになる。よって、噴出速度は次の様になる。

$$V = 0.67 \times 30 = 20.1 \text{ [m/sec]}$$

これと表5の圧力差から算出した4回目の噴出速度18.2m/secと比較すると、写真からの読み取り誤差や、噴出の圧力差から速度を算出した際に、燃焼ガスの密度を空気の密度としたことによる誤差等を考慮すれば、両者は概ね妥当であると思われる。

また、正面から撮影した文末カラー写真11を見ると、煙が噴出する際に開口部付近に渦が発生し、煙がドーナツ状になり開口部から区画模型内部の様子を観察することができる。これは区画模型内部へ急激に空気が入ったため、この渦の発生が外部の空気を引き込み、これに続く爆発的な燃焼の引き金になっていることも考えられる。

次に、区画模型内部の温度変化に着目してみると、バックドラフト発生直前の点火後16分20秒には、開口部側の天井部 (No. 1) で350°C、中央部の天井部 (No. 4) で400°Cに達し、その後、特徴的なカーブを描いた温度低下が見られた後にバックドラフトが発生している。現象が発生すると、再び温度は開口部側の天井部 (No. 1) で400°C、中央部の天井部 (No. 4) で480°Cまで上昇する。以後、4回目までは若干の上下があるものの、一定の温度幅でシフトしているが、5回目以降の温度幅は小さくなり減衰している。これは、先に述べた噴出速度、煙の色の变化の結果と対応しており、このことから燃焼ガスの成分変化が生じているものと思われる。

床面部 (No. 3, No. 6) に比べて天井部 (No. 1, No. 4) が内部の燃焼状況の変化により、大きく変化している。また、中間点 (No. 2, No. 5) の温度に着目すると、天井部 (No. 1, No. 4) と床面部 (No. 3, No. 6) では区画模型中央部の方が開口部側より温度が高い [No. 1 < No. 4, No. 3 < No. 6] のに対して、中間点 (No. 2, No. 5) では開口部側の方が温度が高く [No. 2 > No. 5]、天井部 (No. 1, No. 4) や床面部 (No. 3, No. 6) と逆の関係を示しており、しかもその差も小さいことが分かる。これらは区画模型内部の気体層が高さ方向に概ね上下2つの層に分れており、中間点 (No. 2, No. 5) がこの境界面に近いために、天井部 (No. 1, No. 4) や床面部 (No. 3, No. 6) とは異なった傾向を示したものである。

火炎の噴出が繰り返し発生している間の酸素濃度の変動に関しては、図5及び表3、表4に示すとおり、床面部においては15.0~19.6%の範囲で変動し、これに対して天井部では1.0~13.5%の範囲で大きく変動している。すなわち、床面部よりも天井部の方が大きく増減し、その変化はダイナミックなものである。先に述べた温度変化の状況と合わせて、このことから、

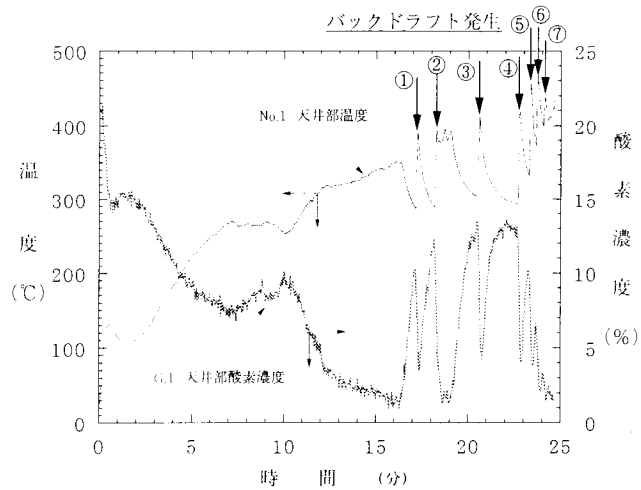


図6 天井部の温度及び酸素濃度変化

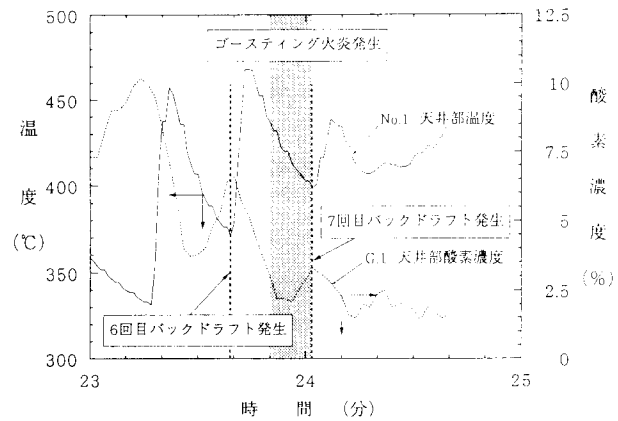


図7 ゴースティング火炎発生時の温度及び酸素濃度

区画模型内部の高さ方向に分布を持ち、内部の気体層が少なくとも2つの層に分かれる可能性があることが考えられる。

図6に開口部側天井部の温度 (No. 1) 及び酸素濃度 (G.1) の比較を示す。バックドラフトが発生する時に、天井部の酸素濃度変化と温度変化は非常に良く対応しており、4回目までの現象の発生する温度は約300°Cであり、酸素濃度は10~14%の範囲であることが良く分かる。すなわち、区画模型内部で燃焼が続き温度が高くなるとともに、内部の酸素も消費され、火炎が消えて温度が下がり始める。すると、ある時に内部と外気の圧力バランスが崩れて急に開口部より酸素を含んだ空気を吸引し、さらに温度が下がり酸素濃度が上昇して、可燃性ガスの燃焼範囲内に達した時、何らかの着火源により爆発的に燃焼し火炎が噴出する。

この時、瞬間的に内部の酸素を消費し、火炎が消え温度が下がり始めると同時に空気を吸引し、さらに温度が下がり酸素濃度が上昇して、ある温度及び酸素濃度で再び爆燃現象を起こし、火炎を噴出するというこ

とを繰り返していると推察される。

7回目の火炎が噴出する12秒前に、区画模型内部にゴースティング火炎が発生した。この時（点火後23分～25分）の開口部側天井部の温度（No.1）及び酸素濃度（G.1）を図7に示す。6回目の火炎噴出が終わり、酸素濃度及び温度が下がり始めた途中からゴースティング火炎が発生して7回目の火炎の噴出まで続いた（図中網かけ）。このゴースティング火炎が発生している間、温度は下がり続け、酸素濃度は発生の前半5秒間は一定に変化し、後半の6秒間は増加している。

一般に火炎が発生している時は内部の温度は上がり、酸素濃度が減少するものと考えられるが、この場合は全く逆であった。これと同じ現象が武田<sup>6)</sup>や須川<sup>9)</sup>によっても報告されている。また、武田<sup>6)</sup>はこのゴースティング火炎が見られた場合は、火炎の噴出が真近であると判断できると述べている。いずれにせよ、このゴースティング火炎は火炎の噴出の発生前に見られたことから、バックドラフトの発生に関して、着火源など何らかの役割を担っている可能性が高いと考えられ、今後、発生機構や構造を探る必要があると思われる。

## 6 まとめ

今回の実験では、7回の爆燃現象による火炎噴出が見られたが、4回目までと5回目以降とは明らかに異なる性質が見られた。このことから区画模型内部の燃焼現象に起因する可燃性ガスの濃度及び種類が異なることが予想された。今後は、可燃性ガスに着目し現象の解明実験を行う必要がある。

温度変化については、バックドラフトの発生前に特徴的な温度降下が見られ、また、天井部及び床面部の温度がある一定温度の時に現象が発生していることが分かった。もし、実火災においてもこのような特徴的な温度降下が見られるならば、バックドラフトの発生の予知に大いに役立つであろう。

温度の変化及び酸素濃度の変動に関して、天井部と床面部とでは大きく異なった状況が見られたことから、区画模型内部の気体層が少なくとも2つの層に分かれていることが予想された。このことから内部の状態を大きく2層に分けて現象を解明するゾーンモデル法を用いたコンピュータシミュレーションにより、現象を解明することができる可能性がある。

ゴースティング火炎が区画模型内部において見られた直後にバックドラフトが発生した場合があったことから、内部の火炎などの高温気体や可燃性ガスが、現象の発生に大きく関係していると思われる。今後は区画模型側壁に耐熱ガラスを用いるなど、内部の燃焼状況の変化を把握することが必要と思われる。

一般的にバックドラフトは気密性の良い区画室において、ドアや窓を開放した時に、急に空気が入り発生するとされるが、今回の実験では開口部を開放したままの状態バックドラフトが発生した。すなわち、ドアや窓の開放又は破壊時以外にすでに開口部が開放され、煙が噴出している状態においても発生する可能性があるということが確認された。これは武田らの実験<sup>6)</sup>でも確認されていることであるが、防御活動において十分注意すべきことである。

以上、区画模型内部の温度、酸素濃度、開口部から出る煙の状態などから、この現象の発生の予知が可能な感触を今回の実験で得られた。しかし、バックドラフトの発生を支配する諸条件は、燃焼材料の種類、開口部の大きさ、位置、区画室の大きさや形、空気温度や湿度など数多くあることから、発生の予知は非常に困難であり、今回の区画模型を使用した実験結果すべてが、実大規模の火災に適用できるわけではない。

したがって、今後は実大規模の火災実験に向けて、さらに研究を行っていく予定である。

## <参考文献>

- 1) 田中峰義「建築火災安全工学入門」日本建築センター
- 2) 財)東京連合防火協会編「火と煙と有毒ガス」東京法令出版
- 3) 堀内三郎「建築防火」朝倉書店
- 4) 水谷幸夫「燃焼工学」森北出版
- 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
- 6) 國本正巳、武田松男、大神田郁夫「フラッシュオーバーに関する研究（第6報）」東京消防庁 消防科学研究所報30号（1993）P1～P6
- 7) 真下由人、武田松男、大神田郁夫「フラッシュオーバーに関する研究（第5報）」東京消防庁 消防科学研究所報29号（1992）P22～P29
- 8) 桜井高潔、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4）」東京消防庁 消防科学研究所報28号（1991）P18～P22
- 9) Sugawa O. et al., "Burning Behavior in a Poorly Ventilated Compartment Fire—Ghosting Fire", Fire Science and Technology, No.9 (1989), pp5-14
- 10) 姫路市消防局「気密の新築住宅で爆発的な燃焼」東京法令出版 月刊消防（1993）8月
- 11) 大阪市消防局「化学薬品製造所の爆発火災概況」近代消防社 近代消防（1994）11月



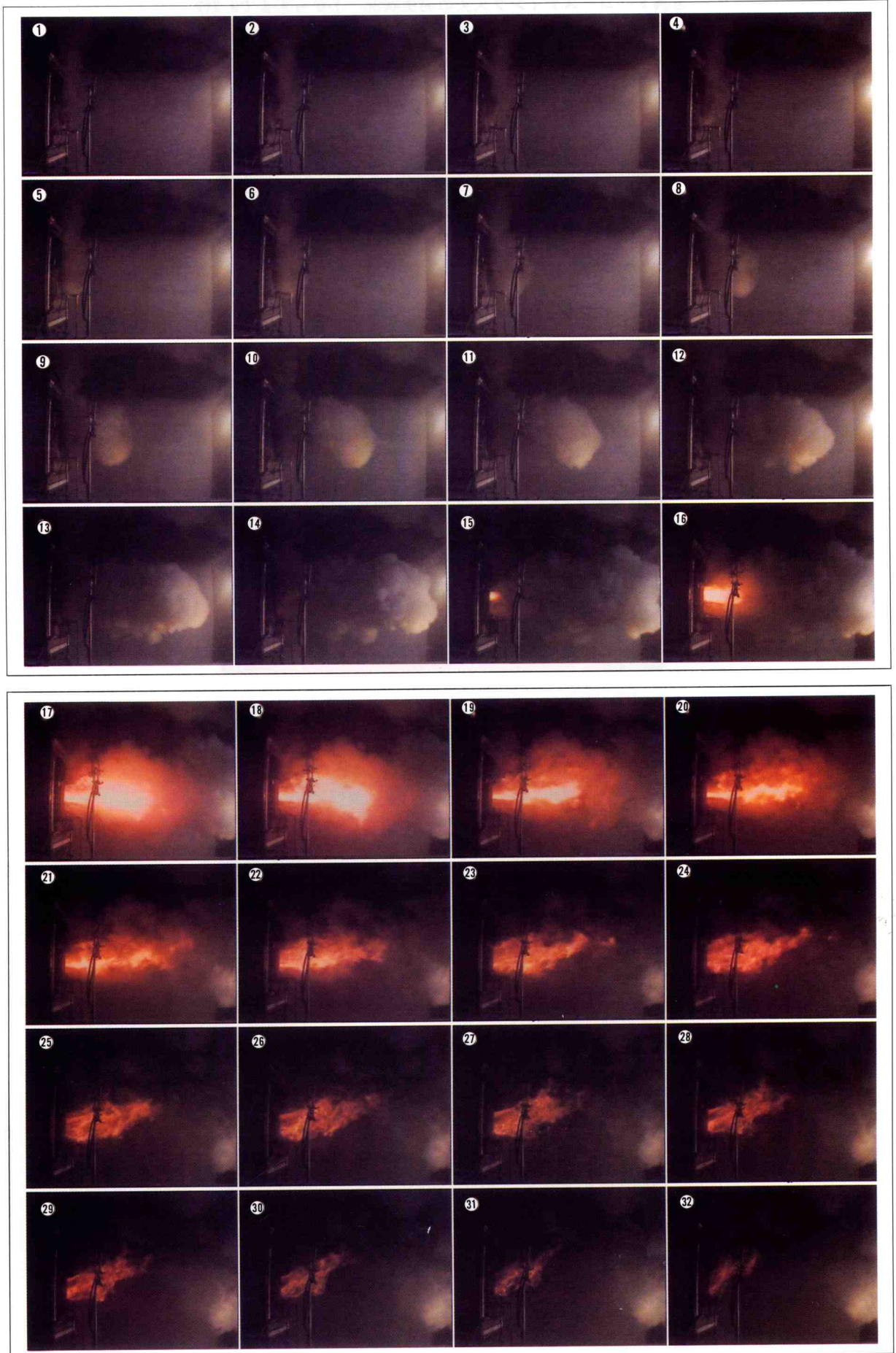


写真9 ゴースティング火炎の発生状況 ①から④まで0.2秒

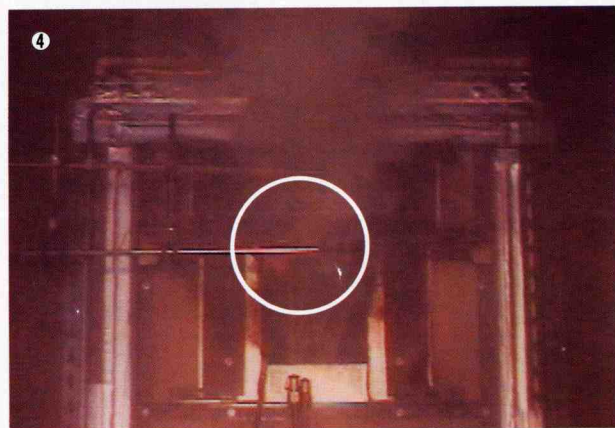
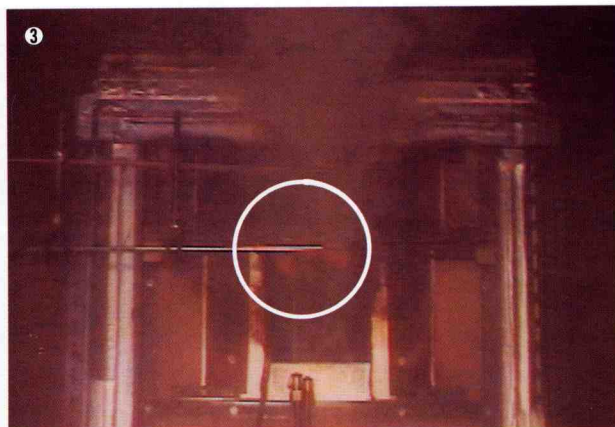
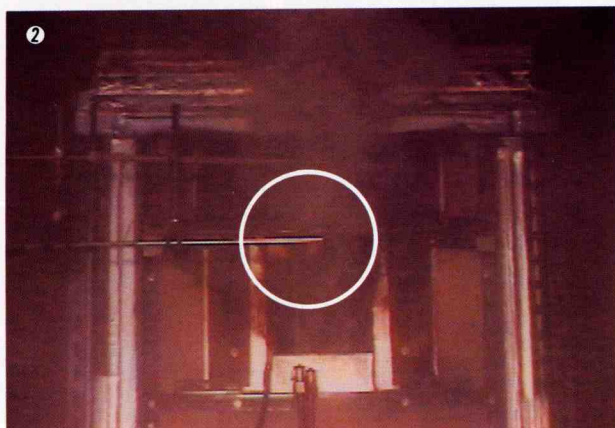
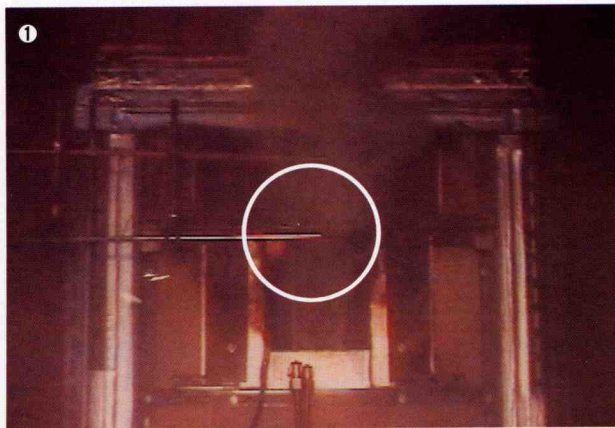
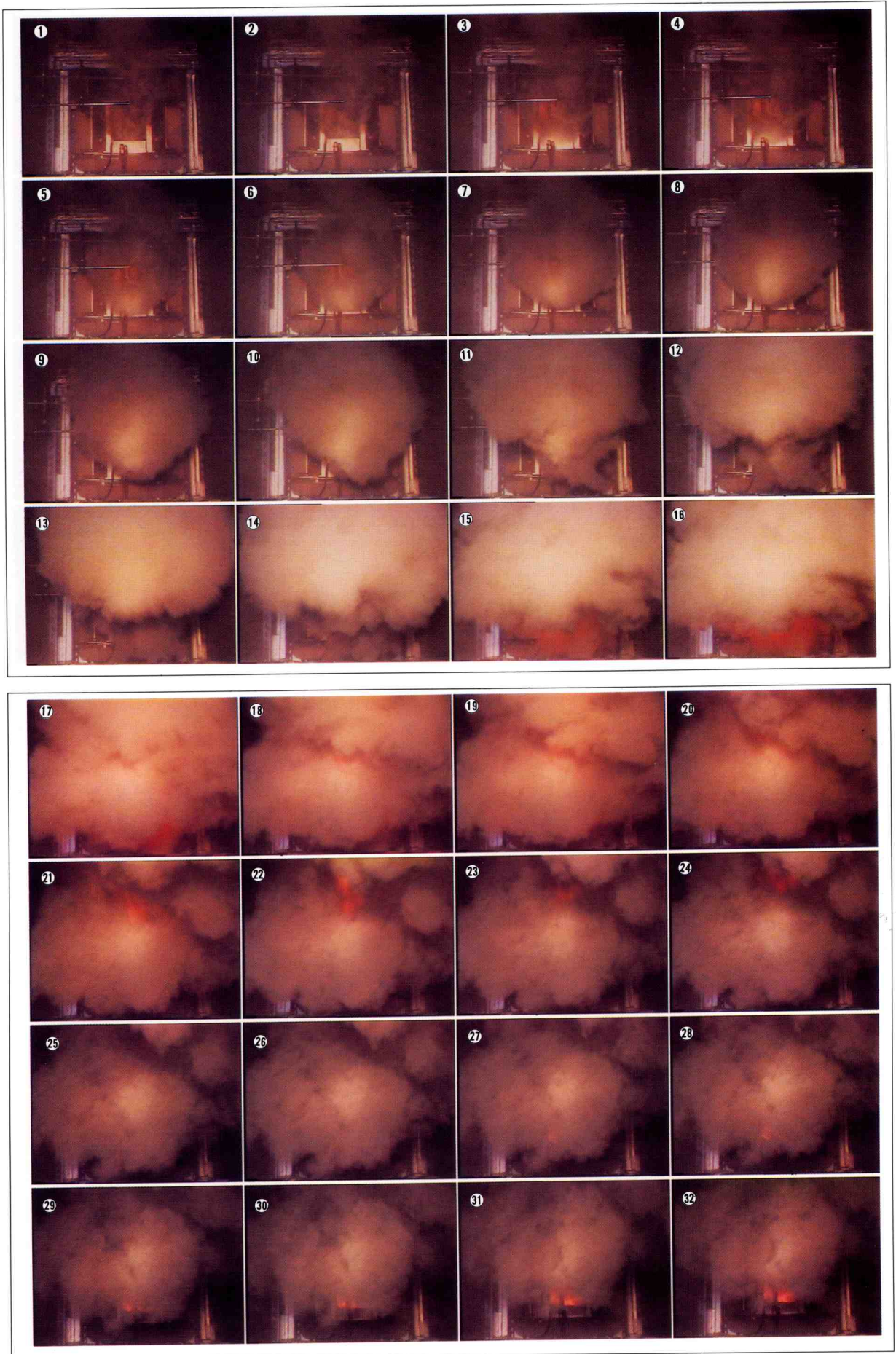
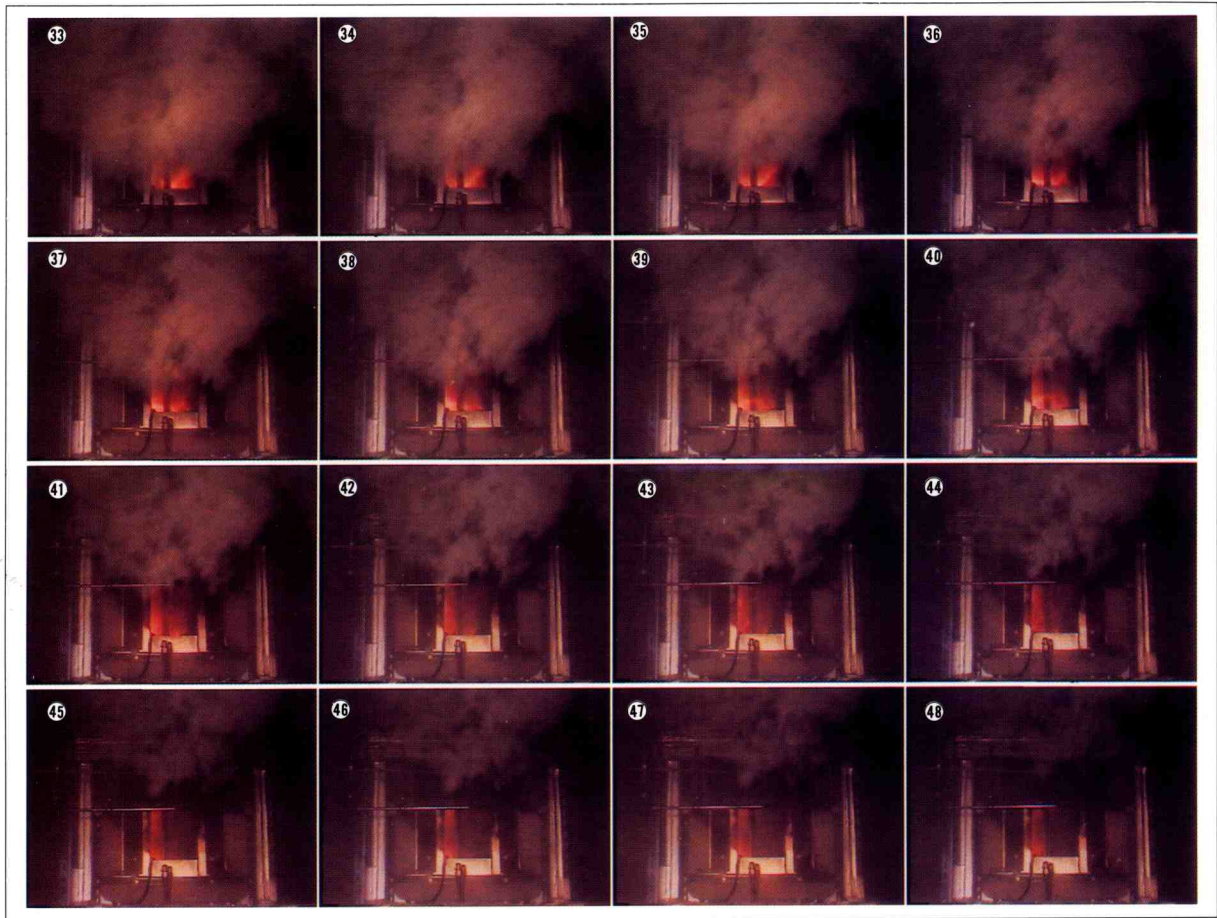


写真11 火炎の噴出状況（正面方向） ①から⑳まで1.6秒

1コマ 1/30秒







# 木炭の燃焼に伴う一酸化炭素の発生について

小型ユニットハウス内で木炭を燃焼させた時に発生する一酸化炭素及び酸素濃度の測定実験

## Carbon Monoxide Produced with the Combustion of Charcoal

Tests to Determine Concentrations of Carbon Monoxide and Oxygen Produced when Charcol is Combusted within a Small "Unit House"

小島 秀吉\*  
Kojima Hideyoshi

### 要 約

気密性の高い一般住宅の6畳間を想定して、換気口を閉めた小型ユニットハウス内で、木炭を燃焼させて一酸化炭素及び酸素の濃度変化を測定した。

この結果、木炭の燃焼に伴い大量の一酸化炭素が発生し極めて危険であること、また、十分な換気が必要であることが分かった。

### Summary

Charcol was combusted in a small "unit house" with its ventilators shut, visualizing a six-mat tatami room (approximately 10m<sup>2</sup>) of a highly air-tight residence to determine the changes in concentration of carbon monoxide and oxygen.

The test showed that a significant quantity of carbon monoxide is produced when charcoal is combusted creating an extremely dangerous conditions that would require adequate ventilation.

## 1 はじめに

本市では、室内型燃焼機器の使用による一酸化炭素中毒事故が、近年、特に多発している状況が認められる。

一方、北国の住宅は、積雪寒冷の気候風土に対応するため気密性を重視した住宅構造へと変化しており、室内空気の換気状況が温暖地域と異なる事情がある。

すなわち気密性が良いために、室内が酸欠状態になりやすく、室内燃焼機器を使用する時には、不完全燃焼を起こし、一酸化炭素が発生する危険性が高くなっており、換気を十分に取り必要が生じている。

また、最近のグルメ嗜好などにより、炭火が高気密化の進んだ建物内で、手軽に使用される機会が増え、一般家庭や飲食店でも一酸化炭素中毒事故が発生するようになり、その危険性が増大している。

このため当局では、換気が不十分な部屋で木炭を燃焼させた時の一酸化炭素の発生状況を把握するため、換気口を閉めた小型ユニットハウス内で木炭を燃焼させて、一酸化炭素濃度及び酸素濃度の測定実験を実施したのでその結果を報告する。

## 2 実験の目的

気密性の高い一般住宅の6畳間を想定して、換気口を閉めた小型ユニットハウス内で木炭を燃焼させながら、一酸化炭素濃度及び酸素濃度を測定し、その発生の状況を把握するとともに、今後、換気が不十分な室内において、木炭などの固形燃料を使用する時の安全性の向上に資することを目的とする。

## 3 実験の概要

### 3.1 日 時

平成6年10月5日(水) 13時00分～16時00分

### 3.2 場 所

中央区北2条西5丁目 札幌テレビ放送(株)社屋敷地駐車場内

### 3.3 天候、温度、湿度及び風速

晴れ、気温23℃、湿度37%、0.2m/sec

### 3.4 実験方法

密閉された小型ユニットハウスを用いて、床の中央で写真1に示す成型木炭(備長炭を粉状にし、再度固めて成型したもの)3kgを鋼製のこんろ内で燃焼させながらハウス内の一酸化炭素及び酸素の濃度変化を測定した(写真2)。

\*消防科学研究所

なお、ハウスの内容積は22.4m<sup>3</sup>でありドアや窓及び換気口については、全て閉めた状態にして空気の流入を極力少なくした。また、こんろの下には不燃材として人造石（テラゾウブロック：t15×w600×d350mm）を敷いた。



写真1 使用した成型木炭

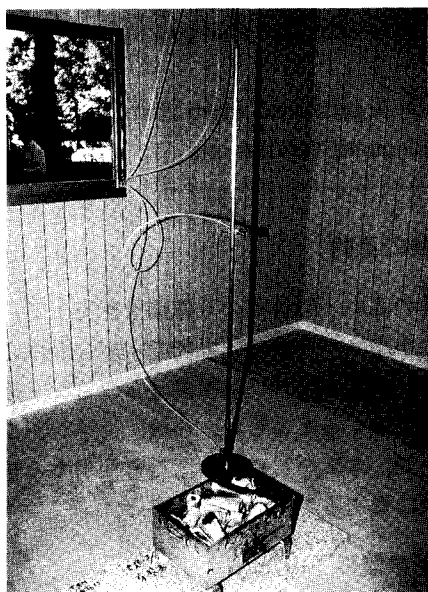


写真2 こんろの設置状況

### 3.5 小型ユニットハウスの概要 (図1. 写真3)

実験に用いた建物は、工事現場などにおいて仮設で用いられる小型ユニットハウスで、大きさは外寸で間口4,500mm、奥行2,350mm、高さ2,400mmであり、内寸は間口4,390mm、奥行2,240mm、高さ2,280mmであり、構造材は角型鋼、等辺山形鋼で外装材はサイディング鉄板（ウレタン貼り）、屋根材は長尺カラー鉄板、天井はスタイロホーム断熱材を使用している。また、床は耐水合板12mm、内壁はプリント合板6mmである。

付属の建具類としては、高さ1,840mm、幅780mm

のアルミ製フラッシュドア1枚、高さ730mm、幅1,680mmのアルミサッシ窓2枚である。また、換気口は高さ160mm、幅210mmのプラスチック製ガラリが1カ所である。

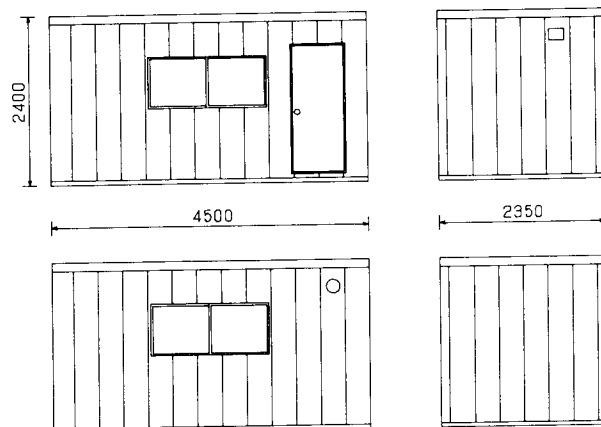


図1 小型ユニットハウス外観図 (単位mm)

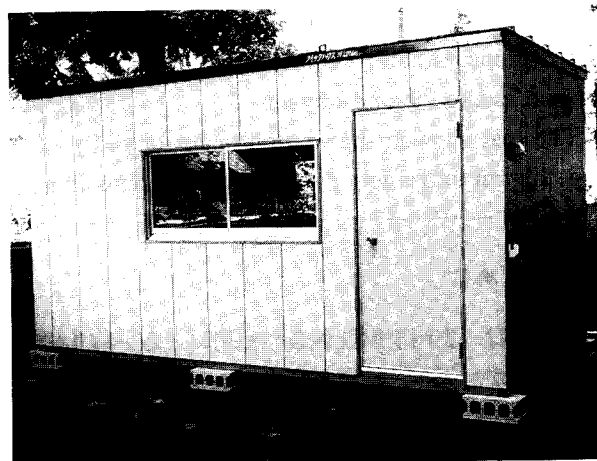


写真3 小型ユニットハウスの外観

### 3.6 一酸化炭素濃度及び酸素濃度の測定方法

(図2. 写真4)

小型ユニットハウス内の一酸化炭素濃度及び酸素濃度変化の測定は、多点式ガス濃度測定器（テストターム(株)testo33）で計測し、2分毎に記録した。測定点は床部分 [G.1]、大人が座った時の顔の位置 [G.2 (床面より900mmの位置)] 及び立った時の顔の位置 [G.3 (床面より1,700mmの位置)]、天井部分 [G.4 (床面より2,200mmの位置)] の合計4カ所とした。

また、写真4に示すとおりステンレス製パイプ（外径6mm、内径5mm、長さ200mm）とテフロンチューブ（外径5mm、内径4mm、長さ10m）を用いて、ハウス内の空気を外の測定器に導いた。なお、チューブは窓から出して、隙間はガムテープで目張りをした。

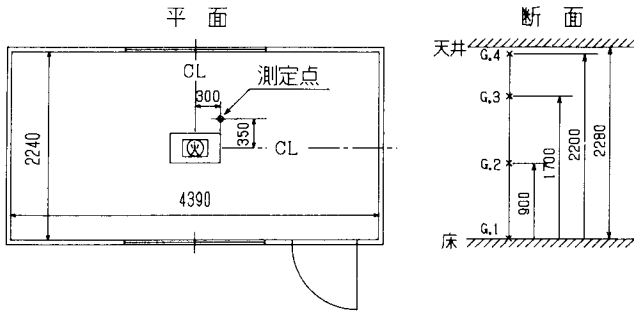


図2 測定点位置図 (単位mm)

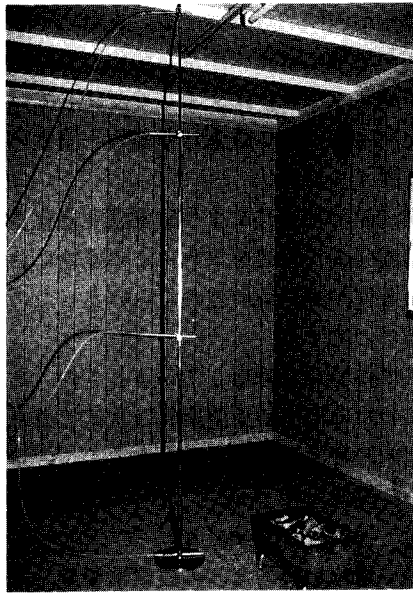


写真4 ガス吸引部の状況

## 4 実験結果

### 4.1 一酸化炭素濃度の変化

一酸化炭素濃度の変化を図3に示す、各測定点においてほぼ直線的に増加している様に見えるが、実験開始後10分にはやや増加率が減少しており、実験開始から16分ほどで、床部分G.1を除いて1500ppm以上となった。測定全般にわたりG.2とG.3、すなわち座ったとき及び立ったときの顔の位置ではほぼ同じ濃度で変化しており、G.4、G.2及びG.3、G.1の順で濃度が高く、高さ方向に対して層状に分布しながら増加している様子がみられる。また、時間の経過に伴い、床部分G.1と他の部分の濃度の差が大きくなっている。

実験終了時には天井部分G.4で、2800ppmに達しているが、床部分G.1については約1900ppmであり、他の3点と比べて低くなっている。

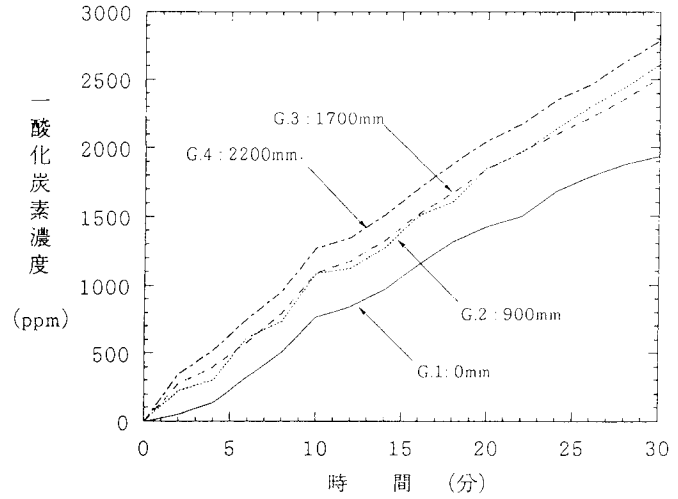


図3 一酸化炭素の濃度変化

### 4.2 酸素濃度の変化

酸素濃度の変化を図4に示す、各測定点において互いに上下し交差しながら減少しているが、床部分G.1の酸素濃度の低下率は他の測定点よりも低く、特に実験開始後22分以降は他との差が大きくなっている。実験終了時にはG.1で19%、G.3で18.6%、G.2とG.4で18.4%となった。

変化を詳細に見ると、実験開始からG.1とG.2が互いに交差しながら減少しており、G.3とG.4も同様に減少している。ところが実験開始後約12分からはG.1及びG.2の組とG.3及びG.4の組に分れながら減少している。さらに実験開始後約22分から実験終了時までG.2がG.3及びG.4の濃度に近くなり、床部分G.1だけが高い状態で減少している。

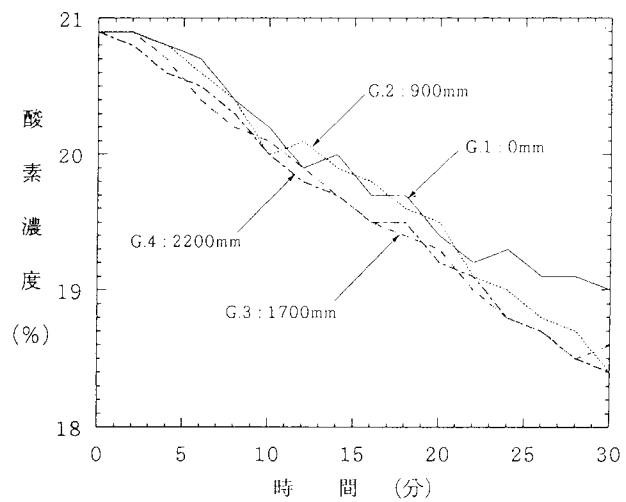


図4 酸素の濃度変化

## 5 考察

今回の実験条件では、酸素濃度は、表1に示す安全限界18%を下まわらなかったが、減少率をみると30分を超えた場合には下まわると考えられる。また、木炭の燃焼量がこれより多い場合など燃焼状態によっては、もっと早く下まわるものと推察される。

表1 酸素濃度と身体に与える影響(ヘンダーソンの分類)

O <sub>2</sub> 濃度 (%)	症 状
18	安全限界(労働衛生法, 酸素欠乏症等防止規則)
16~12	脈拍, 呼吸数の増加・頭痛・精神集中できない 細かい作業がうまくゆかない
14~9	チアノーゼ・体温上昇・記憶喪失・酩酊状態 痛みを感じない・精神不安定・発揚状態 判断力低下
10~6	意識不明・中枢神経障害・痙攣・チアノーゼ
10~6の継続 又はこれ以下	昏睡→呼吸停止→6~8分後心停止→死亡 瞬時に昏倒→呼吸停止→痙攣→6分で死亡

表2 一酸化炭素濃度と暴露時間による症状

CO濃度 (ppm)	暴露時間	症 状
300	1時間	頭重, 頭痛
500	1時間	めまい, 頭重, 頭痛, 顔面紅潮, チアノーゼ, 耳鳴り, 不安感
700	1時間	頭痛著明, 興奮, 手足のしびれ感
1000	1時間	呼吸促進, 脈拍数増大, 動悸, 目まい, 悪心, 嘔吐
	2時間	激しい頭痛, 興奮状態, 手足麻痺, 歩行不能, 感覚障害, 精神混濁
	3時間	痙攣, 虚脱, 昏睡, チェーンストークス呼吸, 死
1500	1時間	危険
2000	30分	危険
3000	30分	死
4000以上	30分	死

一酸化炭素濃度については、実験開始後23分ほどで、床部分を除いた3測定点において2000ppmを超える濃度に達した。これは、表2に示すとおり30分間この環境下にいると生命が危険となる状態である。しかし、一般に住宅などは今回の実験で用いたユニットハウスより気密性が高いことから、さらに早く危険な状態になる可能性があると思われる。また、座った時の顔の位置G.2と立った時の位置G.3とでは際立った濃度差が見られなかったことから、本実験条件では立った時

でも、座った時でも同様の危険性があることが分かった。

一酸化炭素の増加率と酸素の減少率については、両者共に床部分が他の測定点に比べ勾配が小さく、それぞれの増加率及び減少率が小さくなっている。また、一酸化炭素濃度、酸素濃度ともに30分ほどすると床部分を除いて、他の3点がほぼ同じ濃度に近づくことから、このような狭く、換気の無い空間では部屋全体にそれぞれ一様に分布する傾向があると推察される。また、一酸化炭素においては実験開始直後から床部分と他の測定点との差が現れているのに対し、酸素では22分過ぎからその傾向が出ている。また、一酸化炭素は高さ方向に層状に分布しながら変化しているのに対し、酸素は各測定点が互いに交差して変化している。これは一酸化炭素がppmで酸素が%という濃度の違いによるものと考えられる。

次に測定値と理論式により酸素濃度変化及び一酸化炭素濃度変化の実験式を求め、この建物において自然換気による室内換気量がどのぐらいあったのか、推定を試みることにする。

一般に燃焼器具を使用しているときの、ある時刻t [h]における室内酸素濃度Kは次式で表される。ただし、室内の酸素濃度は一様とする。

R : 室内容積 [m<sup>3</sup>]

Q : 換気量 [m<sup>3</sup>/h]

k : 単位燃料当たりの酸素消費量 [m<sup>3</sup>/kg]

G : 燃焼器具の燃料消費率 [kg/h]

K<sub>0</sub> : 時刻t = 0のときの室内酸素濃度

$$K = (K_0 - A) + A e^{-Bt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、係数A, Bは次式で表される。

$$A = k G / Q \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$B = Q / R \quad \dots\dots\dots (3)$$

また、同様にある時刻t [h]における室内の一酸化炭素濃度Pは次式で表される。

A<sub>1</sub> : CO-O<sub>2</sub>特性勾配 [m<sup>3</sup>/kg]

m<sub>1</sub> : 単位燃料当たりのCO発生量 [m<sup>3</sup>/kg]

$$P = C t e^{-Bt} + D (1 - e^{-Bt}) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、係数C, Dは次式で表される。

$$C = A_1 k G^2 / (R Q) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$D = G m_1 / Q - A_1 k G^2 / Q^2 \quad \dots\dots (6)$$

次に、測定で得られた酸素濃度の値と(1)式から係数A, Bを求める。すなわちK<sub>0</sub>を空気中の酸素濃度20.9%として、同じ時刻における3点の測定値の平均から最小自乗法により求めると係数Aは20.9, 係数Bは0.236となる。

同様に一酸化炭素濃度の測定値と(4)式から係数C, Dを求めると係数Cは16985.6, 係数Dは-45612.5と

なる。したがって、この実験の酸素濃度K及び一酸化炭素濃度Pの実験式は次式で表される。

$$K = 20.9 e^{-0.236t} \dots\dots\dots (7)$$

$$P = 16985.6te^{-0.236t} - 45612.5 (1 - e^{-0.236t}) \dots\dots\dots (8)$$

図5及び図6に、上記実験式により求めた酸素濃度及び一酸化炭素濃度の1時間までの値と、30分までの3点の平均測定値を重ねて示す。すると、酸素及び一酸化炭素ともに実験式による計算値と測定値の平均がよく一致しており、このことから各係数は妥当と思われる。

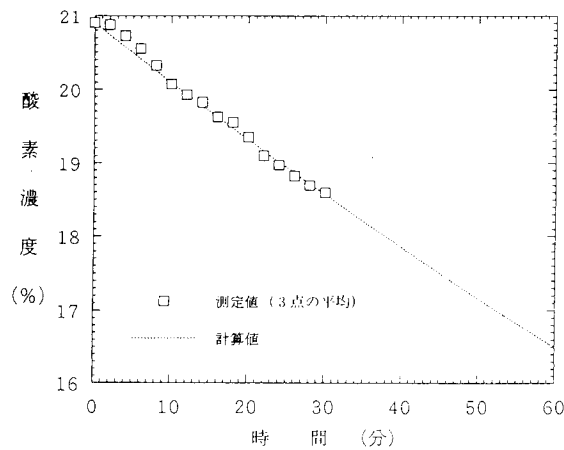


図5 酸素濃度の測定値の計算値

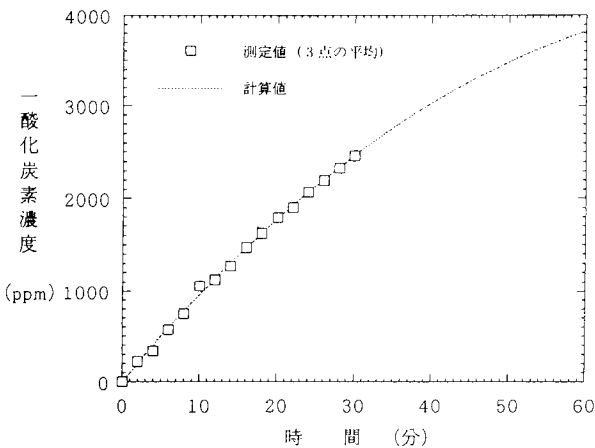


図6 一酸化炭素濃度の測定値と計算値

そこで、上記で求めた係数Bの値から本実験における室内換気量Q [m<sup>3</sup>/h]を(3)式から得られた次式より求めて推定する。

$$Q = B R \dots\dots\dots (9)$$

つまり(9)式において、係数Bを0.236、室内容積Rを22.4 [m<sup>3</sup>]として計算すると、室内換気量Qは5.3 [m<sup>3</sup>/h]となる。

よって、この場合の換気回数n [回/h]は次式で表される。

$$n = Q / R \dots\dots\dots (10)$$

ここで、室内換気量Qを5.3 [m<sup>3</sup>/h]、室内容積Rを22.4 [m<sup>3</sup>]とすると、換気回数nは0.2 [回/h]となる。これは空気調和・衛生工学会換気規格(HASS 102)による湯沸かし室6~10、厨房30~40 [回/h]に比べても極端に少なく、多量の換気が必要であることが分かる。

次に先に求めた実験式から、表1に示す安全限界である酸素濃度18%に達する時間、及び表2に示す30分の暴露で死亡するという一酸化炭素濃度3000ppmに達する時間をそれぞれ求める。すなわち、(7)、(8)式においてKを18%、Pを3000ppmとし、時刻tについてそれぞれ解くと、酸素濃度については38分、一酸化炭素濃度については39分となり、40分以内にハウス内が非常に危険な状態となることが推定できる。

また、一酸化炭素中毒は、濃度だけでなく暴露時間にも関係することから、一般的に表3に示す中毒指数を人体に対する影響の指標としている。この指数は濃度と時間の積で表される。すなわち、図6において曲線と横軸(時間軸)との間の面積に相当することから、本実験の時刻tにおける中毒指数Iは、(8)式を時刻tについて積分することにより次式で表される。

$$I = -e^{-0.236t}(71972.9t + 498243.1) - 45612.5t + 498243.1 \dots\dots\dots (11)$$

この式より中毒指数Iが表3に示す値、すなわち、600、900、1200となる時間を求めると、それぞれ28分、35分、41分となり1時間もたたずに生命が危険な状態となることが予測できる。

表3 一酸化炭素の中毒指数

中毒指数 ppm×時間 [h]	人体に対する影響
300以下	症状は認められない
600	異常感が現れる
900	頭痛、吐き気がおこる
1200以上	生命が危険となる

## 6 まとめ

今回の実験結果として、一酸化炭素は木炭を燃やし始めてからすぐに、許容濃度(その中で連続8時間労働しても健康に支障を及ぼさない濃度)50ppmを超え、実験開始23分後には、2000ppmに達した、これは30分間この環境下にいると生命が危険となる濃度である。

また、酸素濃度については実験中には安全限界18%を下まわらなかった。以上のことから、室内が酸欠状態でも、木炭が燃焼する時には多量の一酸化炭素を発生することが分かった。このことから、木炭な

どの固体燃料は燃焼直後から室内の空気を著しく汚染するため、これらを室内などで燃焼させる場合には十分な換気が必要であることが再認識された。

また、本実験では30分間の測定しか行わなかったが、測定値と理論式から実験式を求め、1時間までの酸素と一酸化炭素の濃度の予測ができた。また、室内の換気量及び換気回数を推定することができた。

一酸化炭素は無色無臭の気体で、空気とほとんど同じ重さの可燃性ガスであり、毒性については、一酸化炭素と血液の結合力は酸素との結合力の200倍以上も強く、これを呼吸すると中毒を起し死亡する 경우가多々あることから、危険なガスであることは一般に知られているところであり、5000ppmでは数分で死亡するといわれている。

中毒症状は頭痛、吐き気、目まいを伴い、このような症状が出たらただちに新鮮な空気の中に出なければならず、自覚症状が現れたころは、意識不明になる寸前の状態である。また、濃度よりも暴露時間のほうが影響が大きいので、低濃度であっても暴露時間と作業強度に大きく左右されるため十分注意をする必要がある。今回の実験を中毒指数で評価したところ、実験開始後約30分以内で異常が現れ、40分ほどで生命が危険となることが分かった。

部屋の空気の汚れは、室内の人には気付きにくく、また外から入って来た人は臭い等で気付くが、中にいるうちに慣れてしまい、知らず知らずのうちに、一酸化炭素中毒や酸欠状態に進んで行くため、こうならないうちに、換気することが絶対必要である。

一酸化炭素中毒事故については、本市において、住宅の高断熱、気密化に伴い新たな換気方式が今後増加して行くことが予想され、今までにない条件や原因で事故が起こりうる可能性があることから、今後、北方型住宅などのモデルルーム等を用いた実物実験を行い、各種燃焼機器の使用条件と建物構造との関係を解析して、これらの事故の未然防止を図る必要がある。

#### <参考文献>

- 1) 財) 東京連合防火協会「火と煙と有毒ガス」東京法令出版
- 2) 小池和弥「知らぬと危ないガスの話」裳華房
- 3) 木内孝文、山形真司「燃焼排ガスによる室内空気の汚染について」東京消防庁消防科学研究所報14号(1977) P1~P7
- 4) 斉藤安正、木内孝文、山形真司「燃焼排ガスによる室内空気の汚染について(第2報)」東京消防庁消防科学研究所報15号(1978) P1~P7
- 5) 斉藤安正、山形真司「燃焼排ガスによる室内空気の汚染について(第3報)」東京消防庁消防科学研究所報16号(1979) P1~P6

- 6) 斉藤安正、木内孝文、山形真司「燃焼排ガスによる室内空気の汚染について(第4報)」東京消防庁消防科学研究所報17号(1980) P1~P11
- 7) 日本建築学会編「建築学便覧 I 計画」丸善 P1031
- 8) 水谷幸夫「燃焼工学」森北出版
- 9) 東京消防庁予防部調査課 監修「火災調査技術教本」東京防災指導協会 P794
- 10) 前澤正禮「化学安全工学概論」共立出版
- 11) 小林義隆「実験室の事故例と対策」大日本図書
- 12) 林英輔、安井勝、高橋健「数値計算」森北出版
- 13) 労働省編集「労働法規総覧」第一法規

# 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

## Selection of an Anti-vibration Stretcher Bed Suspension for the State-of-the-Art “Tri-Heart” Ambulances

桜井 清明 \*  
Sakurai Kiyooki

伊藤 潤 \*  
Itoh Jun

### 要 約

高規格救急車（トライハート）に装備されている防振ストレッチャー架台は、振動緩衝材にバネコイルを使用しており、バネコイルのバネ定数や搬送傷病者の重量などにより防振性能が変化する。

そこで、平成6年度型高規格救急車（トライハート）の走行実験を基に、バネ定数の異なる3種類のバネコイルについて、搬送傷病者重量を変えて振動レベル及び振動特性の解析を実施し、防振性能の比較評価を行った。

この結果、平成6年度型高規格救急車（トライハート）に最も適当なバネコイルを選定することができた。

### Summary

An anti-vibration stretcher bed suspension for the state-of-the-art “Tri-Heart” ambulances uses a spring coil as vibration cushioning. The spring constant of the spring coil and the weight of the patient carried causes changes in anti-vibration capabilities.

Three types of spring coil with different spring constants were compared and evaluated in terms of vibration resistance by analyzing the levels and characteristics of vibration based on moving tests with the '94-model of the the state-of-the-art “Tri Heart” ambulance, with different weights of patients carried.

Test showed the most appropriate spring coil that should be selected for the '94-model the state-of-the-art “Tri Heart” ambulance.

## 1 はじめに

札幌市消防局においては、平成4年度から、高規格救急車（トライハート）を独自に開発しており、これに伴い、緊急走行時の車両の揺れに対して、救急隊員がよりスムーズに応急処置を実施することができるとともに、搬送傷病者への振動による影響を軽減するため、車両に装備されるストレッチャー架台の防振構造の改良を進めているところである。

この改良についての評価試験として、昨年度は、平成5年度型高規格救急車（トライハート）の防振ストレッチャー架台の防振性能について他車種との比較実験を行い、防振機構の改良による防振性能の向上を確認することができた。

この度、継続実験として防振性能のより一層の向上を図るため、振動緩衝材であるバネコイルに着目し、バネ定数の異なる3種類のバネコイルについて、想定

搬送傷病者の重量を変えて平成6年度型高規格救急車（トライハート）の走行実験を行い、防振性能の比較評価を行った。

ここでは、走行実験に基づく振動レベル及び振動特性の解析結果とバネコイルの選定結果について報告する。

## 2 研究の目的

バネ定数の異なるバネコイルについて防振ストレッチャーの防振性能の比較評価を行い、平成6年度型高規格救急車（トライハート）に最も適当なバネコイルを選定する。

## 3 実験概要

### 3.1 実験日時

- ① 第1回目：平成6年11月7日(月)  
9時00分～12時00分
- ② 第2回目：平成6年11月18日(金)

\*消防科学研究所



9時00分～12時00分

③ 第3回目：平成6年11月28日(月)

9時00分～12時00分

④ データ分析及び評価判定期間：平成6年11月29日～平成7年4月28日

### 3.2 実験場所

札幌市西区八軒10条西13丁目 消防科学研究所敷地

### 3.3 走行コース(路面条件)

振動測定実験は、①直線舗装路 ②砂利道 ③障害段差(10cm)の3路面条件を組み合わせたコースを使用して行った。なお、走行コースの概略は図1のとおりである。

### 3.4 実験車両等

#### (1) 実験車両

本実験には、平成6年度型高規格救急車(トライハート)を使用した。なお、実験車両の車種、重量等の諸元は次のとおりである。

- ・メーカー、型式 ～ 三菱U-FG638E(キャンター4WD)
- ・車両総重量 ～ 5,220kg
- ・車両本体のサスペンション構造 ～ エア・サスペンション方式

#### (2) 使用タイヤ

- ・メーカー、タイヤサイズ ～ ブリジストン、700R-16-12P
- ・空気圧 ～ 前輪3.5kg/m<sup>2</sup>、後輪4.5kg/m<sup>2</sup>

### 3.5 バネコイル

今回の実験にはバネ定数の異なる3種類のバネコイルを使用した。それぞれのバネコイルについての諸元は表1のとおりである。

なお、防振ストレッチャーには4本のバネコイルが組み込まれており、防振ストレッチャーそのもののバネ定数は実測の結果、次のとおりである。

- バネA……18.1kg/cm
- バネB……22.1kg/cm
- バネC……26.6kg/cm

### 3.6 走行速度条件

それぞれの実験車両について、以下の速度条件を設定した。

- ① 直線舗装路……40km/h
- ② 砂利道……30km/h
- ③ 障害段差……5km/h

### 3.7 測定部位及び測定方向

測定部位は、図2に示すとおり、ストレッチャー上の①頭部、②腹部、③足部、及び車両床面上の④頭部下位置、⑤腹部下位置の計5ポイントとし、それぞれの上下方向の振動について測定した。

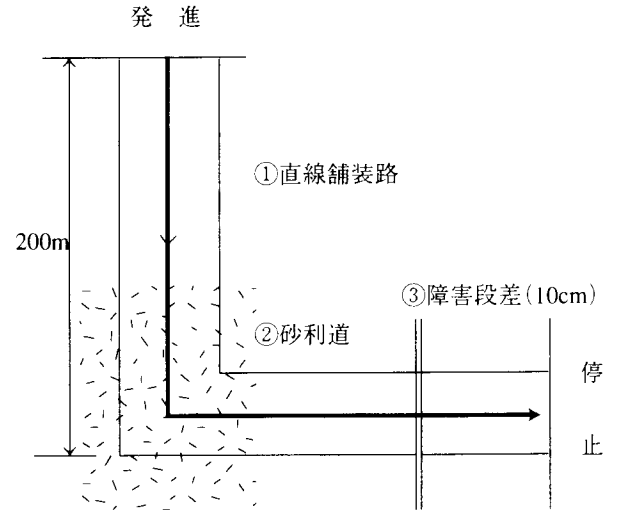


図1 走行コース概略図

表1 防振架台バネコイル(単体)諸元

バネ諸元	バネA	バネB	バネC
線径	φ10mm	φ10mm	φ11mm
中心径	φ55mm	φ55mm	φ55mm
総巻数	19	16	18.5
有効巻数	17	14	16.5
自然長	300mm	300mm	300mm
バネ定数	3.6kg/cm	4.4kg/cm	5.3kg/cm

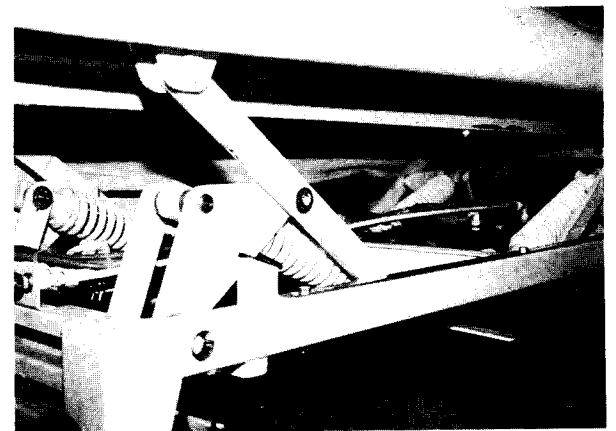


写真1 バネコイル組み込み状況

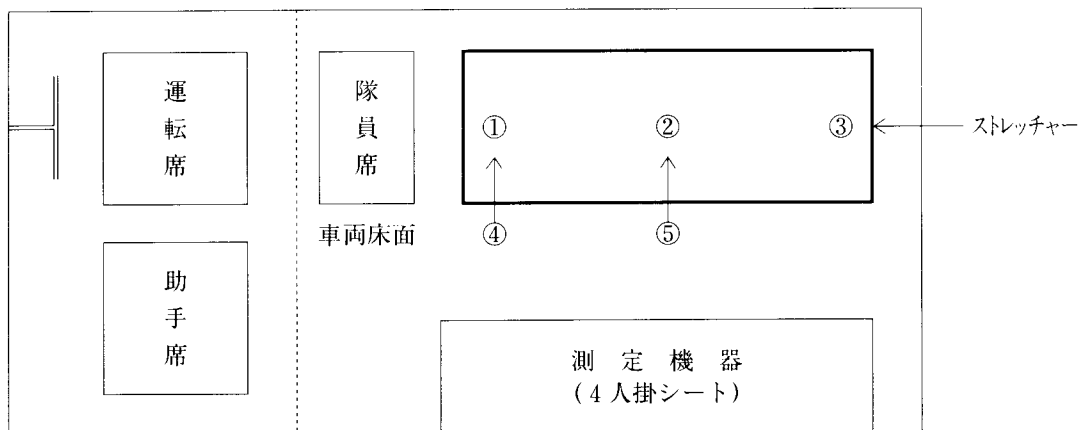


図2 測定部位及び測定方向



写真2 測定位置①：ストレッチャー頭部

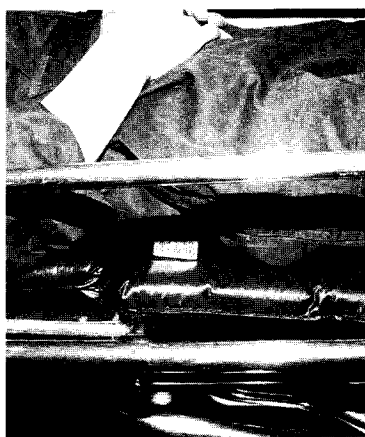


写真3 測定位置②：ストレッチャー腹部

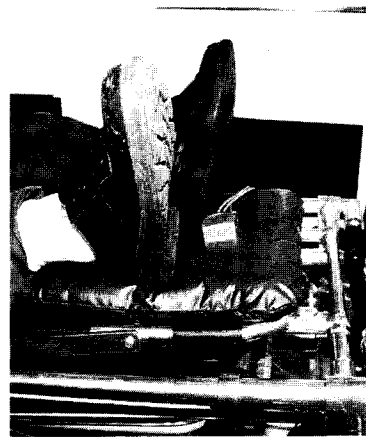


写真4 測定位置③：ストレッチャー足部

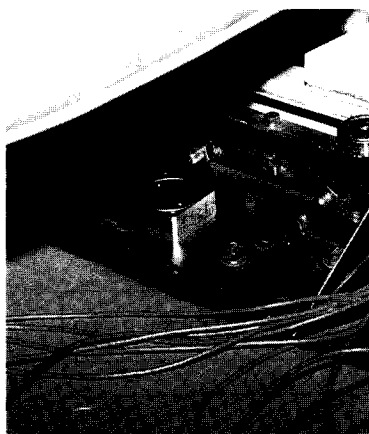


写真5 測定位置④：車両床面頭部下位置

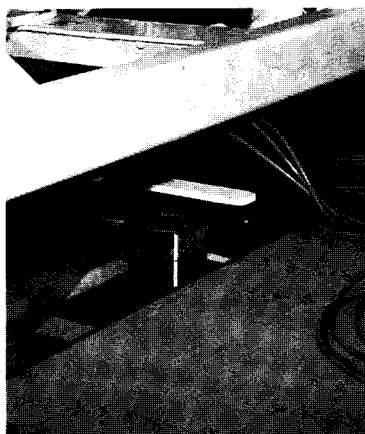


写真6 測定位置⑤：車両床面腹部下位置

### 3.8 模擬搬送者重量等

#### (1) 模擬搬送者重量

走行実験ではストレッチャー上に模擬搬送者として標準的な体格の研究所員（体重65kg）が乗った。

また、体重100kg近い傷病者の搬送を想定した走行実験では、さらに35kgの鉄塊を追加して乗せた。

条件① 65kg(体重65kgの生体)

条件② 100kg(体重65kgの生体、頭部10kg・腹部15

kg・足部10kgの鉄塊)

#### (2) 乗車人員等

実験車両の乗車人員は、運転席、隊員席に各1名、4人掛けシート付近に2名、防振架台のストレッチャー上に模擬患者1名の合計5名とした。また、4人掛けシート上に測定機器2台を積載した。なお、これらの総重量は375kgである。



写真7 65kg 想定 of 仮想搬送者積載状況



写真8 100kg 想定 of 鉄塊積載状況

#### 4 振動測定及びデータ分析の手順

##### 4.1 振動測定の手順

防振ストレッチャー上に仮想搬送傷病者〔2条件〕を乗せ、各バネコイル〔3種類〕ごとに、各路面条件〔3条件〕における、ストレッチャー上及び車両床面上〔5カ所〕に固定した加速度変換器（センサー）からの上下方向の振動の加速度の時間軸上の変化を、信号増幅器（アンプ）を介してデータレコーダに収録するとともに、データ出力装置により振動波形のプリンタ出力（確認）を行った。

##### 4.2 データ分析の手順

データレコーダに収録した測定データを、各走行・測定条件ごとに一定時間単位に抽出し、分析器（データアナライザ）を用いて振動レベル（加速度変化）及び振動特性（周波数分布）の整理、演算を行い、その結果（波形及び統計表）をデータ出力装置（カラープロッター等）により出力した。

##### 4.3 測定機器及び分析機器のシステム構成

###### (1) 測定システム

次に掲げる機器により、図3に示すシステムを構成した。

- ① データレコーダ  
（株）共和電業製 RTP-772A
- ② 信号増幅器（アンプ）  
（株）共和電業製 MCC-16A
- ③ データ出力装置  
グラフィック（株）製 WR8000
- ④ 加速度変換器  
（株）共和電業製 AS-10TG

###### (2) 分析システム

次に掲げる機器及び前記(1)の①、③機器により、図4に示すシステムを構成した。

- ① データアナライザ

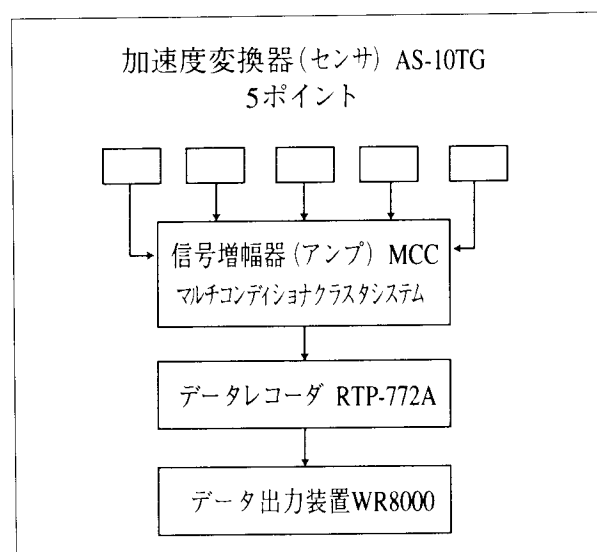


図3 測定システム

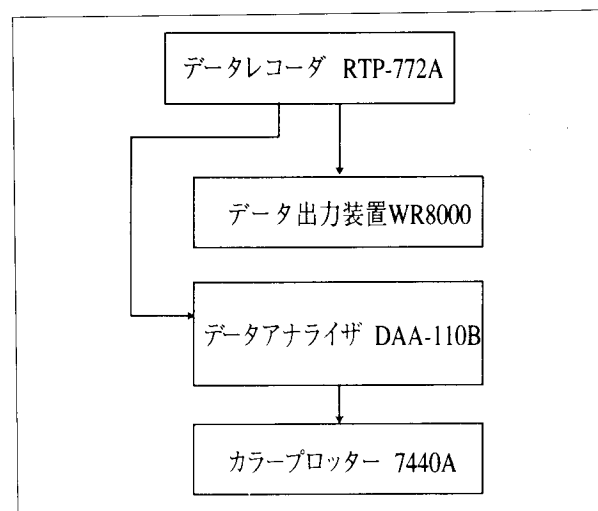


図4 分析システム

- （株）共和電業製 DAA-110B
- ② カラープロッター  
ヒューレットパッカード社製 7440A

## 5 防振ストレッチャー架台におけるバネ定数と防振性能の関係

### 5.1 バネコイルの防振性能

バネコイルの荷重によるたわみ量は、一般に図5のような特性を示す。線の傾き、すなわち単位たわみ量あたりの荷重の変化をバネ定数という。傾きが大きい、すなわちバネ定数が大きいほど、いわゆる硬いバネとなり、逆に傾きが小さい、すなわちバネ定数が小さいほど、軟らかいバネとなる。

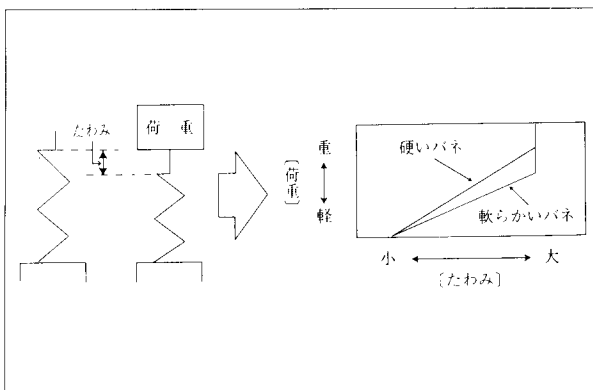


図5 圧縮時のバネの特性

バネコイルの基本的な性質を表現するものとしてバネ定数  $k$  とともに固有振動数  $f$  があり、それぞれ次の式で表される。

$$k = \frac{\omega}{\delta}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\omega} g}$$

$k$  : バネ定数 (kgf/cm)

$\omega$  : バネ上荷重 (kg)

$\delta$  : たわみ長さ (cm)

$f$  : 固有振動数 (Hz)

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

図6に示す車体が上下に振動することを考えると、車体がゆっくり振動している時には、ストレッチャーの振幅  $\chi$  は、車体の振幅  $X$  とほぼ同じになる。車体の振動を速くしていくとストレッチャーの振幅  $\chi$  はだんだん大きくなり、振動の周波数とそのバネの固有振動数に一致したとき、その振幅は最大になる。これを共振という。さらに振動を速くしていくと物体の振幅は

急激に減少し、車体の振幅  $X$  よりも小さくなる。すなわち、固有振動数よりも高い周波数では車体の振動はストレッチャーに伝わりにくくなる。これがバネコイルが防振性能を持つ理由である。

これらのことからバネ定数が小さく、バネ上荷重が大きいほど固有振動数が小さくなり防振性能が良くなるといえる。

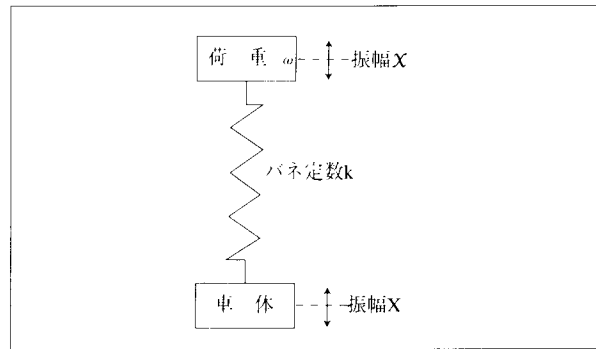


図6 防振ストレッチャーの振動系 (その1)

### 5.2 防振ストレッチャーの理想的なバネ定数

前述したように理論的にはバネ定数が小さく、バネ上荷重が大きいほど防振性能が大きくなるが、バネ定数を小さくすると単位荷重あたりのたわみ量が大きくなるためバネを極端に長く設定しなければならなくなり、バネの長さに限りがあがる防振ストレッチャー架台には使用できない。

また、図7に示すとおり防振ストレッチャー架台の構造上、ストレッチャーの上下方向の移動範囲は約20cmであることから、大きな振動が加わって下限又は上限にストレッチャーが当たると打撃的な衝撃が搬送傷病者に伝わってしまう。さらに極端な例では、搬送傷病者の重量が重ければ、乗っただけで下限にストレッチャーが当たってしまう。以上のことから、防振ストレッチャー架台のバネコイルは、ある程度のバネ定数の大きさが必要であるといえる。

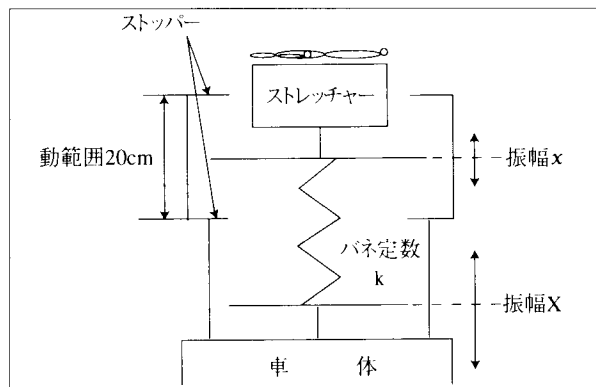


図7 防振ストレッチャーの振動系 (その2)

## 6 実験用バネコイルの特性

今回の実験に使用した3種類のバネ特性を、図8に示す。バネAは傾きが緩やかな、バネ定数が小さい、いわゆる軟らかいバネであり、バネCは、傾きが急なバネ定数が大きい、いわゆる固いバネである。バネBは、その中間の特性を持つバネであるといえる。

また、移動下限におけるバネ上荷重をみると、バネAは、理論上は搬送傷病者が210kgで振動が加わらなくてもストレッチャーが移動下限に当り、バネBは284kg、バネCは、368kgでそれぞれ当たることがわかる。さらに、今回の搬送傷病者の想定重量100kgに着目すると、バネAでは、移動下限までの距離が約6cmとなることわかる。

これらの数値を基に算出した各バネコイルの搬送傷病者重量別の固有振動数と限界振動加速度を表2に示す。ここでバネAは搬送傷病者100kg時の限界加速度が1.2Gであり、障害段差を乗り越えるような強い衝撃を受けたとき、ストレッチャーが移動下限のストッパーに当たり打撃的な衝撃が搬送傷病者に伝わる危険

表2 実験に使用したバネコイルの搬送傷病者重量別の固有振動数と限界振動加速度

	重量	バネA	バネB	バネC
固有振動数	65kg	1.5Hz	1.6Hz	1.8Hz
	100kg	1.4Hz	1.5Hz	1.6Hz
限界加速度	65kg	2.3G	3.7G	4.8G
	100kg	1.2G	2.0G	2.9G

性が高いことがわかる。また、バネCは固有振動数が高く、他のバネよりも防振性能が相対的に低くなると予測される。

## 7 実走行実験結果の分析及び評価結果

ストレッチャーの構造上、頭部及び足部では前後方向の振動が若干上下方向の振動に影響を与えるため、実験結果の分析及び評価については、腹部の測定データに基づき行った。

### 7.1 振動レベル（加速度変化）の分析及び評価結果

……………波形比較（資料1, 2 参照）

搬送傷病者重量及び路面条件別によるストレッチャー腹部の最大加速度について各バネコイルの比較評価した結果を表3に示す。比較評価方法は、最大加速度が小さい、すなわち防振性能が優れる順に◎, ○, △とした。

振動レベル（加速度変化）については、計算による推測どおり直線舗装路、砂利道ではバネ上荷重が重く、バネ定数が小さい程、防振性能が優れている傾向がみられた。

表3 路面条件別によるストレッチャー腹部の最大加速度値比較（単位：G）

重量	条件 バネ	直線舗装路		砂利道		障害段差	
65kg	A	0.11	○	0.20	◎	1.31	△
	B	0.09	◎	0.26	○	0.91	◎
	C	0.17	△	0.69	△	1.15	○
100kg	A	0.07	◎	0.21	◎	2.35	△
	B	0.14	○	0.26	○	0.73	◎
	C	0.16	△	0.31	△	1.03	○

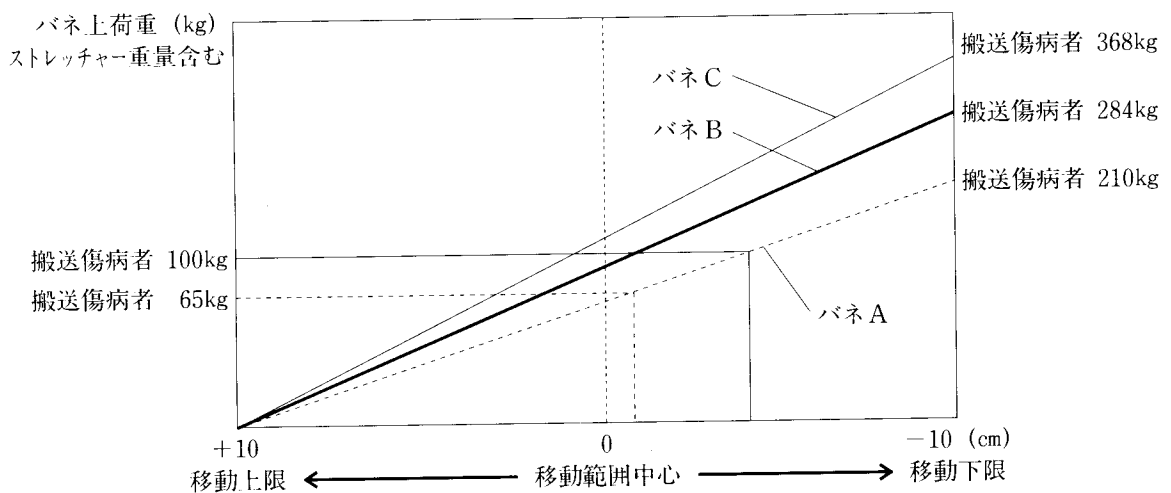


図8 実験に使用したバネコイルの特性

しかし、障害段差においてはバネBとバネCを比べると、他の路面状況と同様にバネ上荷重が重く、バネ定数が小さい方が防振性能が優れている傾向がみられたが、バネ定数が最も低いバネAにおいて、2Gを超える打撃的な衝撃が発生した。

この理由としては図9に示すとおり、乗り上げは、1方向のみの衝撃であり、上下方向を繰り返す振動とは異なるため、乗り上げ後の揺り返しが発生し、バネ定数の小さなバネAにおいてはストレッチャーがストッパーに当たったものと考えられる。

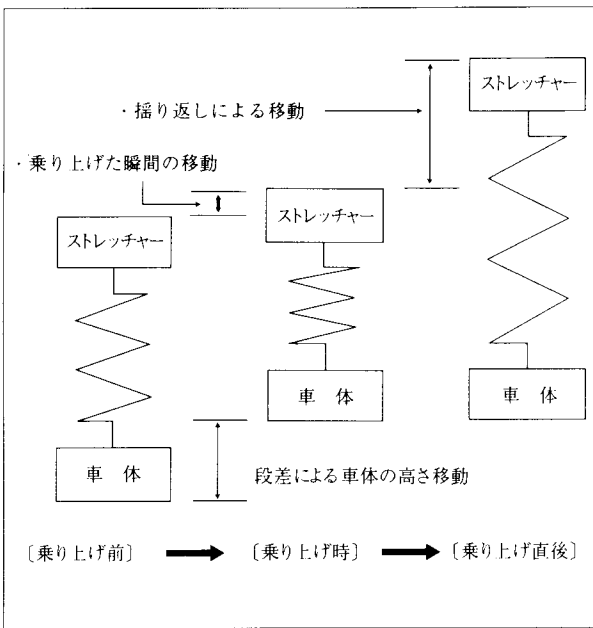


図9 障害段差による影響

## 7.2 振動特性（周波数分布）の分析及び評価結果

……………波形比較（資料3、4参照）

### (1) 振動特性（周波数分布）の解析方法

振動特性（周波数分布）の解析は、前報<sup>1)</sup>と同様にデータアナライザー（周波数成分の解析装置）によるFFT（FAST FOURIER TRANSFORM）：高速フーリエ変換）解析の手法を採用した。

また、分析及び比較評価は、サンプリング周期20ms（0.02秒）ごとに連続的に収録した256点の時間軸領域における加速度変化（デジタルデータ）を解析し、時間にして20ms×256点=5.12秒間の走行中に発生した周波数領域上の各周波数成分の分布（振動の大きさ）について、①路面条件別 ②仮想搬送者重量別に3種類のバネコイルについて比較評価を行った。

なお、前報<sup>1)</sup>生体腹部の共振周波数帯域とされる1～14Hzの振動に着目して分析を行った。

### (2) 振動特性（周波数分布）の分析及び評価結果

表4に示すとおり、振動特性（周波数分布）につい

ては、振動レベル（加速度変化）と同様に直線舗装路と砂利道では、バネ定数が小さく、搬送傷病者重量が重い方が防振性能が優れている傾向がみられた。

また、障害段差については、バネAが移動範囲下限に達し、強い衝撃が加わったため1番大きい振動値を記録した。

バネBとバネCを比較すると、バネ定数が小さいバネBが低い振動値を記録しており、障害段差においてもストッパーにぶつからない場合は、バネ定数が小さい程、防振性能が優れる傾向がみられた。

表4 周波数帯域1～14Hzにおけるストレッチャー腹部の振動の最大値比較（単位：10<sup>-2</sup>×G）

条件	荷重	バネ	直線舗装路			砂利道		障害段差	
			値	◎	○	値	◎	値	◎
65kg		A	0.8	◎		3.3	◎	4.4	○
		B	1.1	○		3.9	○	4.1	◎
		C	1.1	○		4.0	△	4.5	△
100kg		A	0.9	○		2.9	◎	4.8	△
		B	0.8	◎		3.5	○	3.4	◎
		C	1.1	△		3.7	△	4.3	○

## 8 まとめ

### 8.1 結論

今回は、平成6年式高規格救急車（トライハート）の防振ストレッチャー架台について、3種類のバネコイルにおける振動レベル（加速度変化）、振動特性（周波数分布）について着目し、各走行条件、仮想搬送者重量条件別に振動測定実験及び分析・評価を行った。

その結果、バネAは直線舗装路、砂利道では優れた防振性能を示したが、障害段差時に大きな揺り返しが起こり、特に仮想搬送者の重量によってはストレッチャーの移動限界に達してしまい強い衝撃が発生した。

また、バネCは、直線舗装路、砂利道で他の2種のバネコイルよりも防振性能が劣り、さらに障害段差時においてもバネBよりも防振性能が劣ることが判った。

これらのことから、バネBが総合的に安定した防振性能を発揮するといえる。

### 8.2 今後の課題

今回の実験により、直線舗装路等の大きな振動が加わらない路面条件では、搬送傷病者重量が大きくバネ定数が小さい程、防振性能が優れることが確認できた。

しかし、バネ定数が低くすぎたり、搬送者が重すぎたりすると段差の乗り上げ時に強い衝撃が発生することも確認できたことから、搬送者が重いほどバネ定数

は高く設定しなければならないことが判った。

そこで今後の課題として、搬送者重量や路面から受ける振動変化などの条件によりバネ定数を自動制御できる油圧制御装置等の応用が挙げられる。この研究開発を進めるには、救急車としての、自動車サスペンションと防振ストレッチャー架台の理想的な機能関係を明確にして総合的な防振機構について検討する必要があると考えられる。

また、搬送中の最悪状況は急ブレーキや正面衝突等の交通事故であることから、前後方向の大きな衝撃に対応する緊急装置等の研究開発についても検討していく必要がある。

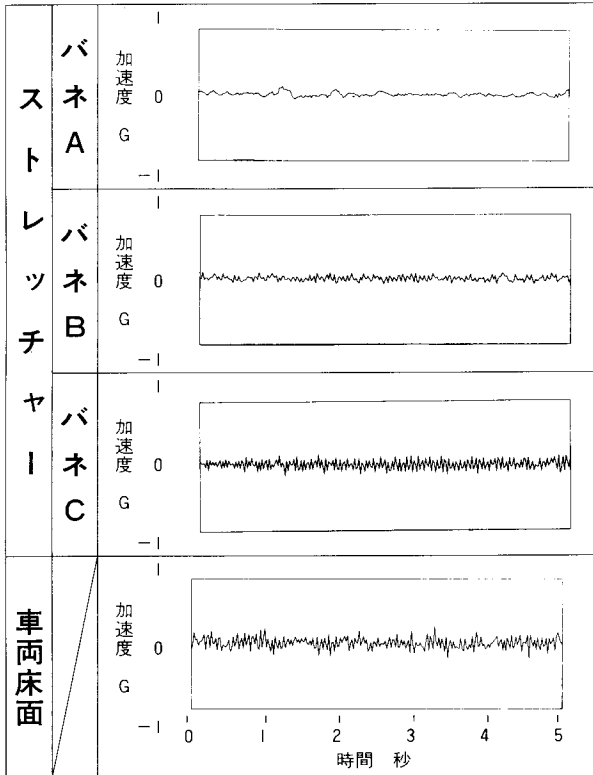
#### 【参考文献】

- 1) 札幌市消防科学研究所報No.1
- 2) 「自動車のサスペンション」カバヤ工業株
- 3) 「振動・騒音計測技術」日本機械学会
- 4) 「機械・構造物の振動」ラプラス研究会
- 5) 「騒音・振動」安全工学協会
- 6) 「自動車設計と解析シミュレーション」培風館

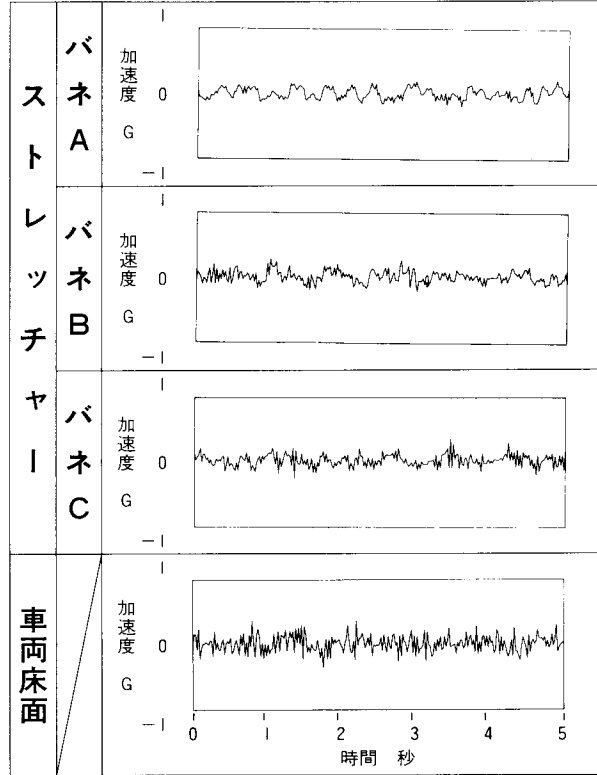
資料1 振動レベル（加速度変化）の波形比較 [その1]

条件：搬送傷病者重量 ～ 65kg  
 車両走行時速 ～ 直線舗装路 40km/h, 砂利道 30km/h, 障害段差 5 km/h  
 測定位置, 方向 ～ 腹部のストレッチャー上と車両床面, 上下方向

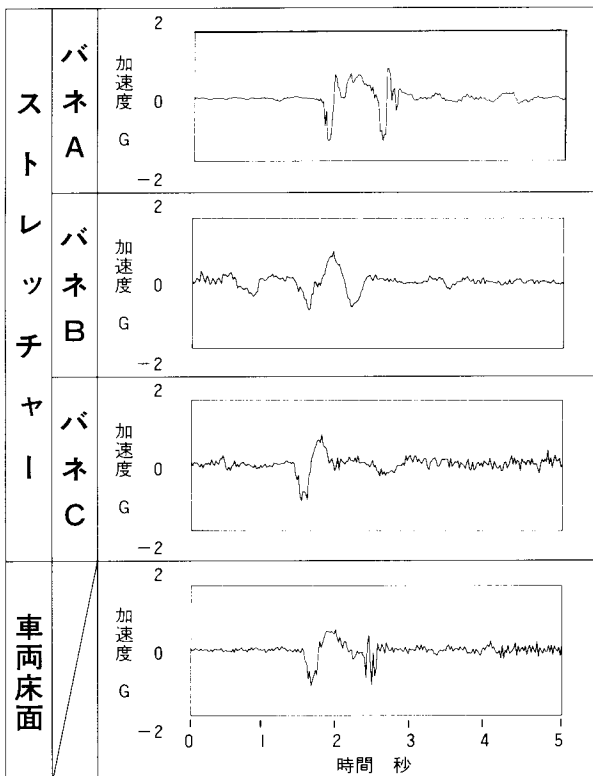
【直接舗装路】



【砂利道】



【障害段差】

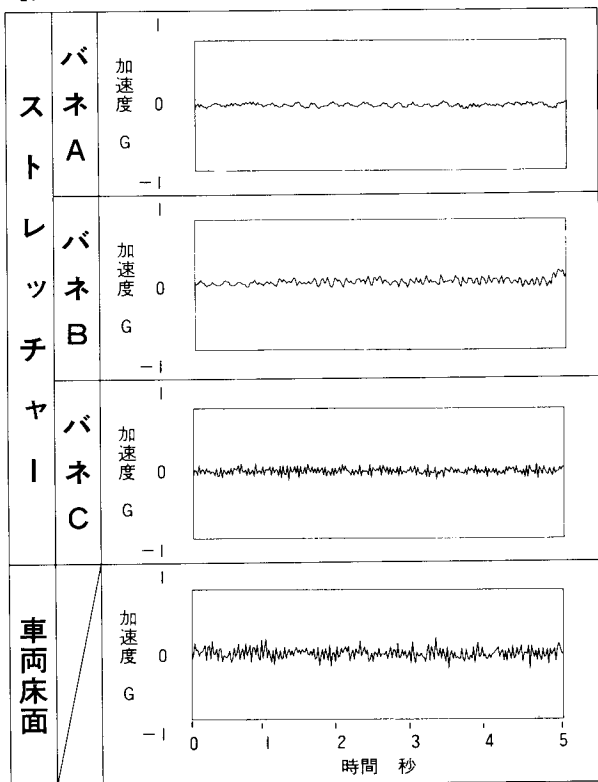




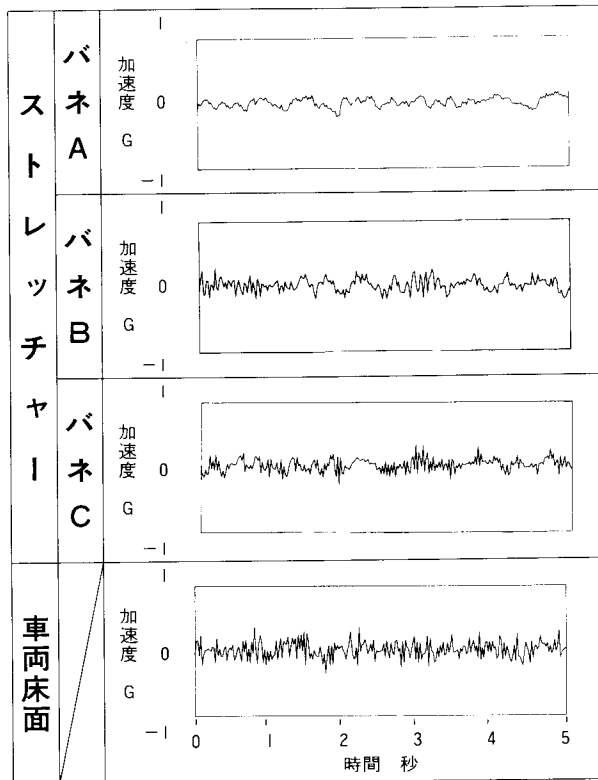
資料2 振動レベル（加速度変化）の波形比較 [その2]

条件：搬送傷病者重量 ～ 100kg  
 車両走行時速 ～ 直線舗装路 40km/h, 砂利道 30km/h, 障害段差 5 km/h  
 測定位置, 方向 ～ 腹部のストレッチャー上と車両床面, 上下方向

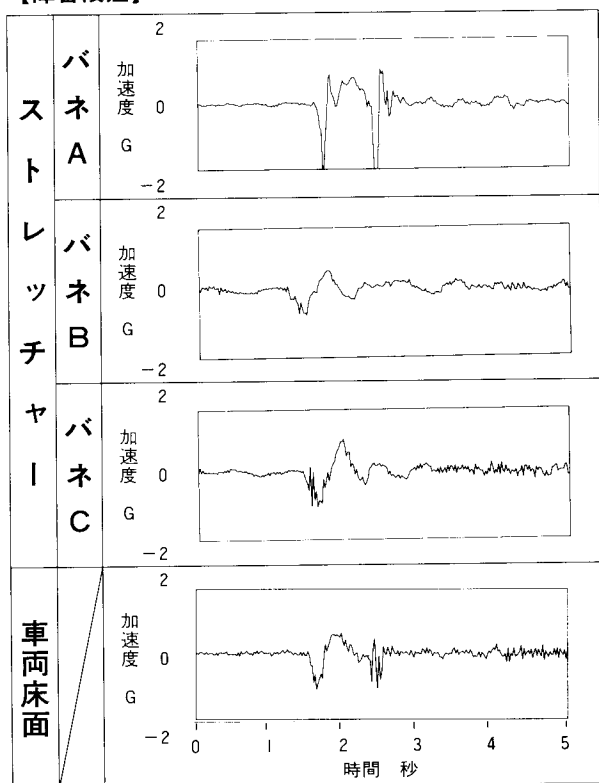
【直接舗装路】



【砂利道】

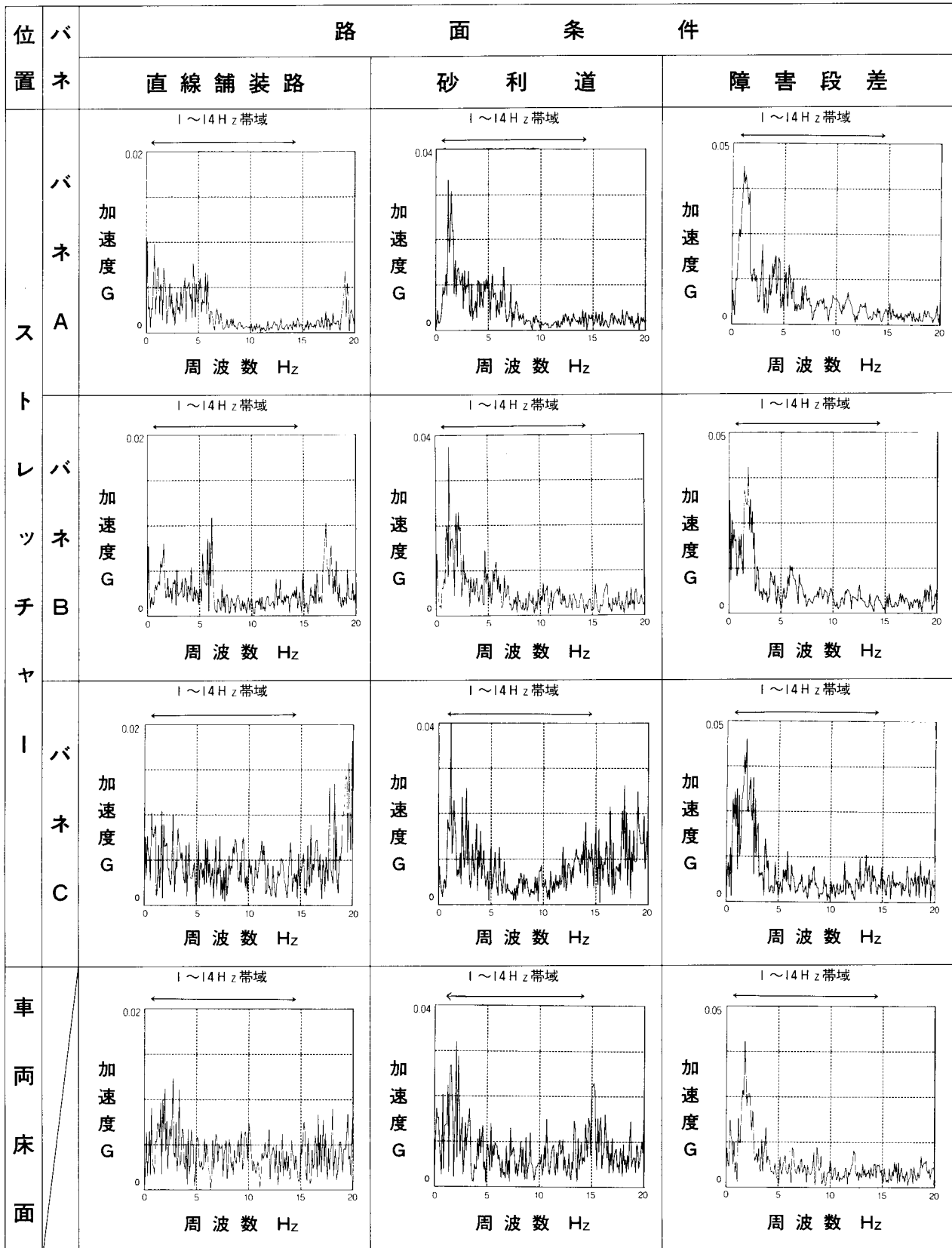


【障害段差】



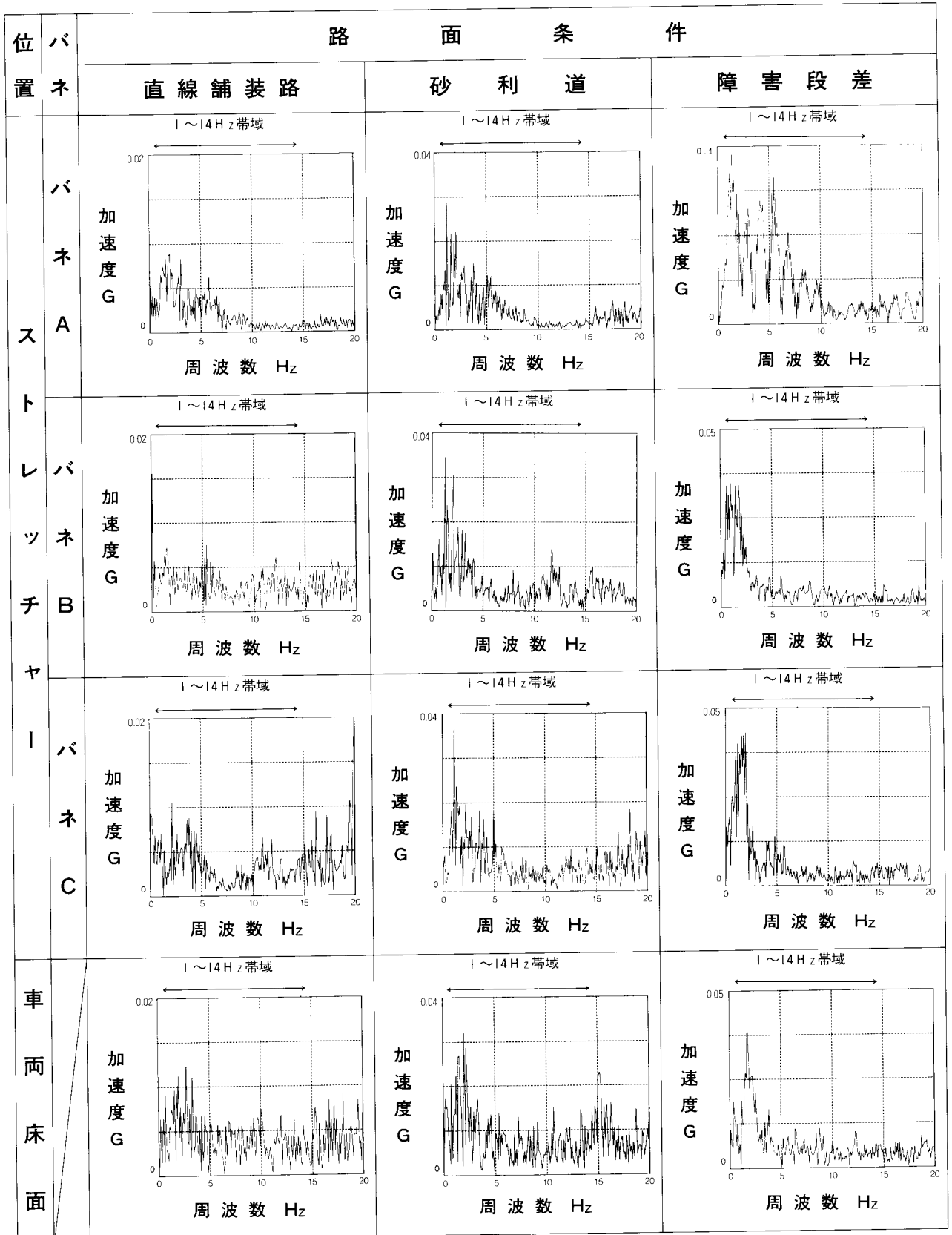
資料3 周波数分析 (FFT) の波形比較【その1】

条件：搬送傷病者重量 ～ 65kg  
 車両走行時速 ～ 直線舗装路 40km/h, 砂利道 30km/h, 障害段差 5 km/h  
 測定ポイント, 方向 ～ 腹部のストレッチャー上と車両床面, 上下方向



資料4 周波数分析 (FFT) の波形比較【その2】

条件：搬送傷病者重量 ~ 100kg  
 車両走行時速 ~ 直線舗装路 40km/h, 砂利道 30km/h, 障害段差 5 km/h  
 測定ポイント, 方向 ~ 腹部のストレッチャー上と車両床面, 上下方向



# 燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について

## Changes in the Chemical Makeup of Heating Kerosine According to Combustion Surface Area

橋 上 勉 \*  
Hashigami Tsutomu

### 要 約

実験室において標準灯油を径の異なるシャーレで燃焼させ、その燃焼灯油をガスクロマトグラフで分析し、クロマトグラムの波形変化及び主な成分の減少率について比較検討した。

その結果、燃焼面積の違いによる成分変化の特性を把握するとともに、現場で収去した灯油の燃焼時間を判定するための基礎データを蓄積することができた。

### Summary

Specimens of standard heating kerosine were combusted in a laboratory in Petri dishes of different diameters. The products of each case of heating kerosine combustion were analyzed in a gas chromatograph and the chromatographic waves changes and rate of decrease of major components were compared.

As a result of the tests, the researchers were able to determine the characteristics of the changes in components with differences in surface area of combustion, and basic data was gathered for estimating the combustion duration of any particular amount of heating kerosine.

## 1 はじめに

近年、全国の主な出火原因を調べると第1位は放火であり、本市においても同様な傾向が見られ、その着火物としてウエートを占めているものは、容易に購入できる灯油等の液体燃料である。また、積雪寒冷地の本市では、多種多様な暖房器具が一般家庭や事業所等で使用されており、その燃料としてはほとんどが灯油であることから、昨年に引き続き灯油についての研究を行った。

昨年は、(消防科学研究所報1994.No1参照)燃焼時間を変えながら一定量の標準灯油を同径のシャーレで燃焼させ、その燃焼灯油に含有する主成分の変化を分析した結果、火災現場から採取される試料のように燃焼時間及び容積が不明であっても、これらを判定するために必要な基礎データを蓄積したところである。

今年は燃焼灯油の鑑定照合に必要なデータをさらに蓄積するため、径の異なるシャーレを用いることにより燃焼面積を変え、その燃焼灯油の主成分をガスクロマトグラフ(以下「GC」という。)により分析し、燃焼面積の違いによる成分変化の特性について報告する。

## 2 実験の概要

### 2.1 実験方法(写真1~3参照)

内径60mm, 120mm, 180mmのシャーレに底から1cmの高さまで、標準灯油(JIS-2203-1号)を入れ(60mmは28.3ml, 120mmは113.0ml, 180mmは254.3ml)、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12試料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減少率を比較した。

### 2.2 試料作製の日時及び場所

平成6年11月2日, 消防科学研究所 燃焼実験室

### 2.3 温度及び湿度(試料作製時)

室温22°C, 湿度31%

### 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°C/min

昇温範囲 50°C~280°C

注入口温度 300°C

検出器温度 380°C

\*消防科学研究所

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 15m×φ0.35mm

### 3 実験結果及び考察

#### 3.1 概観

作成した各燃焼灯油の試料を試験管に入れ、色を観察すると、内径60mm, 120mm, 180mm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、かつ径が大きくなると色は淡黄色から黄褐色へと変化し、180mmシャーレを用いた8分燃焼灯油では褐色となっている。(写真4, 5, 6, 7参照)

#### 3.2 GC分析

標準灯油及び内径が60mm, 120mm, 180mm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13試料についてGC分析したクロマトグラムは図1～図13に示すとおりである。

標準灯油と60mmのシャーレで燃焼した2分, 4分, 6分燃焼灯油のクロマトグラムを観ると、複数のノルマルパラフィン（以下「C<sub>n</sub>」という。）のピークが、保持時間の2分から8分の間にほぼ等間隔で特徴のある山形を成して連なり、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>10</sub>を最高頂点として以下C<sub>15</sub>まで右下がりとなっている。

同径8分燃焼灯油を観ると、上記の燃焼灯油と同様に等間隔で特徴のある山形波形が見られるが、ピーク波形の最高頂点がC<sub>10</sub>からC<sub>11</sub>に移動するとともに低沸点成分のC<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>に減衰が認められる。

120mmシャーレを用いた2分, 4分燃焼灯油では60mmシャーレの2分, 4分, 6分燃焼灯油と同形の山型波形を示し、最高頂点もC<sub>10</sub>と同じであるが、6分燃焼灯油では最高頂点がC<sub>12</sub>へと移動し、C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>は減衰するとともに、高沸点成分のC<sub>13</sub>, C<sub>14</sub>, C<sub>15</sub>は増加している。さらに、8分燃焼灯油について

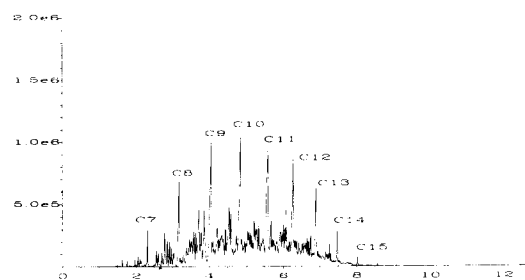


図2 60mm 2分燃焼灯油

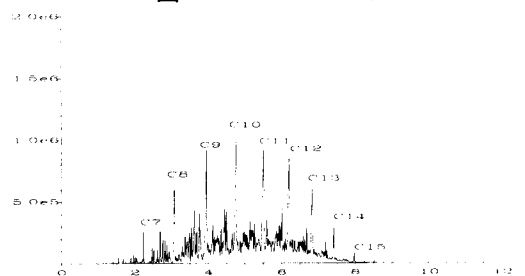


図3 60mm 4分燃焼灯油

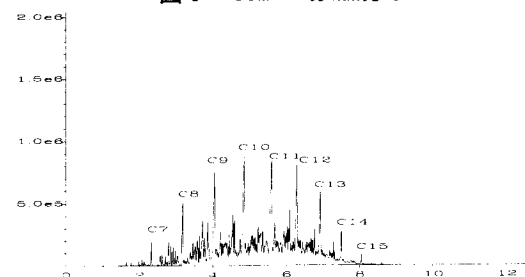


図4 60mm 6分燃焼灯油

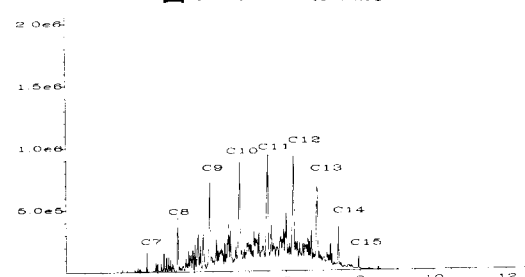


図5 60mm 8分燃焼灯油

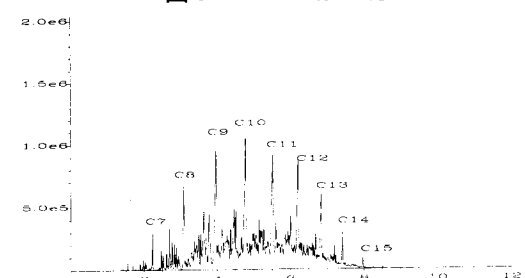


図6 120mm 2分燃焼灯油

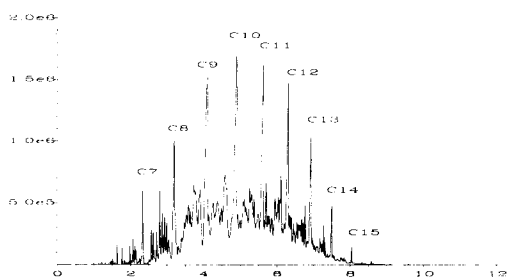


図1 標準灯油のクロマトグラム

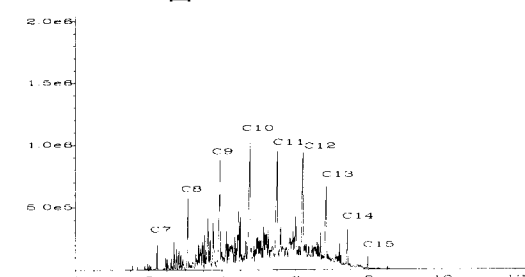


図7 120mm 4分燃焼灯油

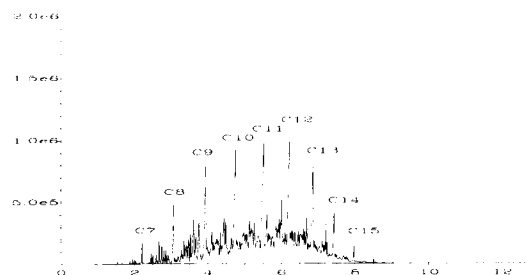


図8 120mm 6分燃焼灯油

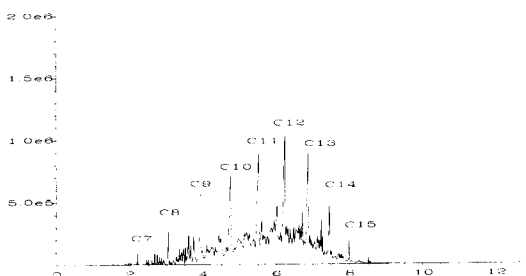


図9 120mm 8分燃焼灯油

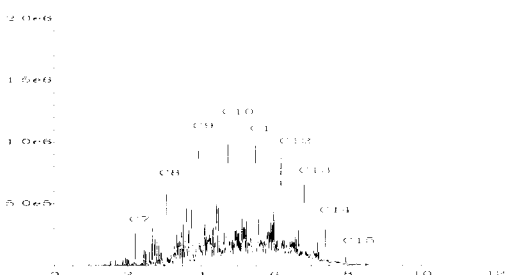


図10 180mm 2分燃焼灯油

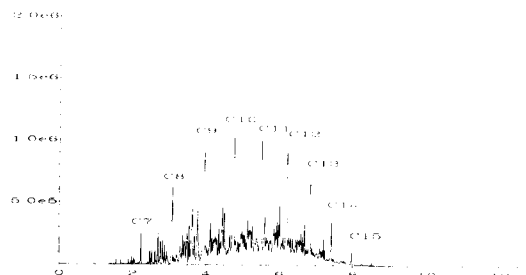


図11 180mm 4分燃焼灯油

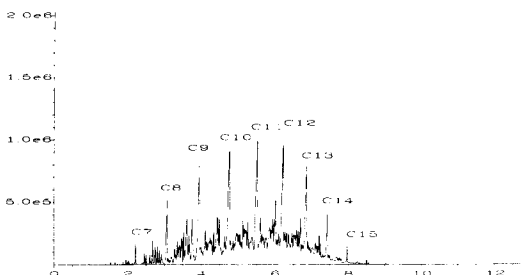


図12 180mm 6分燃焼灯油

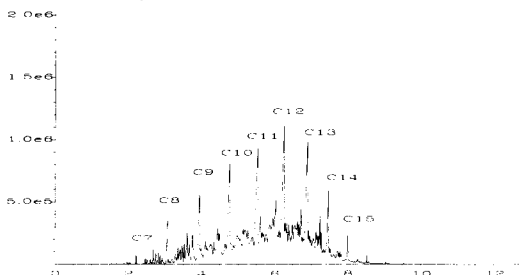


図13 180mm 8分燃焼灯油

は、同径6分に観られるC<sub>n</sub>の増減が著しく現れているのが認められる。

180mmの2分、4分燃焼灯油は前段120mmの2分、4分と同形の波形であり、最高頂点もC<sub>10</sub>で一致している。6分燃焼灯油では最高頂点がC<sub>11</sub>へ移動し、C<sub>7</sub>、C<sub>8</sub>、C<sub>9</sub>の低沸点成分は120mmの6分燃焼灯油と同様に減衰している一方、高沸点成分のC<sub>13</sub>、C<sub>14</sub>、C<sub>15</sub>は増加しているのが認められる。

さらに、8分燃焼灯油では最高頂点がC<sub>12</sub>へ移動し、180mmの6分燃焼灯油に観られるC<sub>n</sub>の増減する傾向が著しく現われている。

これらのことから、低沸点成分の減少及び高沸点成分の増加は燃焼面積及び燃焼時間が長くて長くなるに従い大きくなっている。

### 3.3 ノルマルパラフィンの減少率

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

標準灯油及び燃焼灯油における各C<sub>n</sub>を定量するため、前記のクロマトグラムから標準灯油及び60mm、120mm、180mmシャーレにおける各燃焼灯油1μl中に占める各C<sub>n</sub>の面積率を求めるとともに、これを各C<sub>n</sub>の容積率に換算しグラフ化したものを図14～図16に示す。

各成分の構成割合をシャーレ毎に比較すると、2分燃焼灯油では径が異なっても各C<sub>n</sub>の容積変化に殆ど差は見られないが、8分燃焼灯油では各シャーレともC<sub>7</sub>からC<sub>10</sub>までの容積率は一番低い値を示し、特に120mm、180mmシャーレの減衰は著しいことが認められる。

4分、6分燃焼灯油のC<sub>7</sub>からC<sub>10</sub>までの容積率は各シャーレとも2分と8分燃焼灯油の間に上から順に4分、6分と入っており、6分燃焼が4分と比べ低い容積率を示している。また、各シャーレとも燃焼時間が長くなるにしたがいC<sub>11</sub>からC<sub>15</sub>までの高沸点成分の容積率は増加している。

さらに、各シャーレとも標準灯油の容積率が2分、4分、6分、8分燃焼灯油と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）に移動しており、燃焼面積の違いによる容積変化の特性を表しているものと考えられる。また、この交点の移動は燃焼速度の違いによる消失成分の構成割合によるものと推察され、交点における、それぞれの傾きは燃焼時間が長くなるにしたがい、急となっていることが認められる。

#### (2) 燃焼灯油の残量におけるC<sub>n</sub>の容積

標準灯油の燃焼が進むと各C<sub>n</sub>の容積がどのように変化したかを明らかにするため、1μl中に占める各C<sub>n</sub>の容積をもとに、燃焼灯油の残量におけるC<sub>n</sub>の

容積を算出し、グラフ化したものを図17~図19に、また燃焼灯油の残量を表1に示す。

一番外側の太実線が標準灯油を示しており、以下内側に2分燃焼灯油から同8分までを表している。

前図14~図16では、燃焼が進むと高沸点成分の $C_n$ に増加が見られたが、これは、あくまでも各燃焼灯油の $1\mu\ell$ 中に占める $C_n$ の成分構成を表したもので、残量における各 $C_n$ の容積変化状況は図17~図19に示すとおりであり、いずれのシャーレも全ての $C_n$ が燃焼時間の経過とともに減少しているのが認められる。

8分燃焼灯油と標準灯油を比較すると減少量が1番多い $C_n$ は60mmシャーレでは $C_9$ 、120mm、180mmでは $C_{10}$ となっている。

また、60mm、120mm、180mmシャーレの燃焼面積はそれぞれ $9\pi\text{cm}^2$ 、 $36\pi\text{cm}^2$ 、 $81\pi\text{cm}^2$ であり、120mm、180mmシャーレは60mmの4倍、9倍となり、各シャーレとも底から1cmの高さまで標準灯油を入れたため60mmシャーレは28.3ml、120mmは113.0ml、180mmは254.3mlである。

表1の各シャーレの減少率を観ると、どの時間帯を取っても径が大きくなるほど減少率は順次高い値を示している。さらに、燃焼速度も時間毎に観ると燃焼面積が広がるほど速くなっており、このことから燃焼面積が広がるに従い、燃焼速度と減少量は速くなると考えられる。

### (3) 燃焼灯油の各 $C_n$ 容積の減少率

各シャーレにおける2分、4分、6分、8分燃焼灯油の $C_n$ の減少率を比較するため、前図17~図19で示した燃焼灯油の各 $C_n$ 容積について、標準灯油を基準に減少率を求め、グラフ化したものが図20~図23である。

2分燃焼灯油の減少率を観ると、60mmシャーレの $C_7$ は29.0%、 $C_8$ は32.1%、 $C_9$ は21.2%、 $C_{10}$ は19.9%、 $C_{11}$ は9.7%、120mmの $C_7$ は36.0%、 $C_8$ は34.5%、 $C_9$ は23.8%、 $C_{10}$ は20.5%、 $C_{11}$ は10.6%、180mmの $C_7$ は43.5%、 $C_8$ は41.4%、 $C_9$ は28.3%、 $C_{10}$ は24.5%、 $C_{11}$ は14.1%であり、燃焼面積が広がるにしたがい低・中沸点成分の減少率が高くなっていくが、高沸点成分については燃焼面積と減少率の関係について規則性は認められない。

4分燃焼灯油では $C_7$ ~ $C_{14}$ までの低・中・高沸点成分とも燃焼面積の広い順に減少率が高くなっており、60mmの $C_7$ は47.9%、 $C_{11}$ は18.4%、 $C_{14}$ は6.5%、120mmの $C_7$ は62.9%、 $C_{11}$ は33.6%、 $C_{14}$ は10.9%、180mmの $C_7$ は67.7%、 $C_{11}$ は38.6%、 $C_{14}$ は22.6%である。

6分、8分燃焼灯油では $C_7$ ~ $C_{15}$ までの全ての成分について4分燃焼の傾向がさらに強くなり、8分燃焼

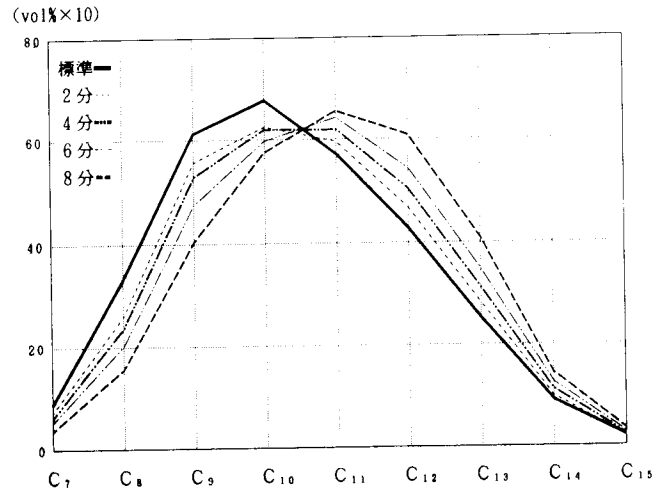


図14 燃焼灯油 $1\mu\ell$ 中に占めるノルマルパラフィン  
の容積比較 (60mmシャーレ)

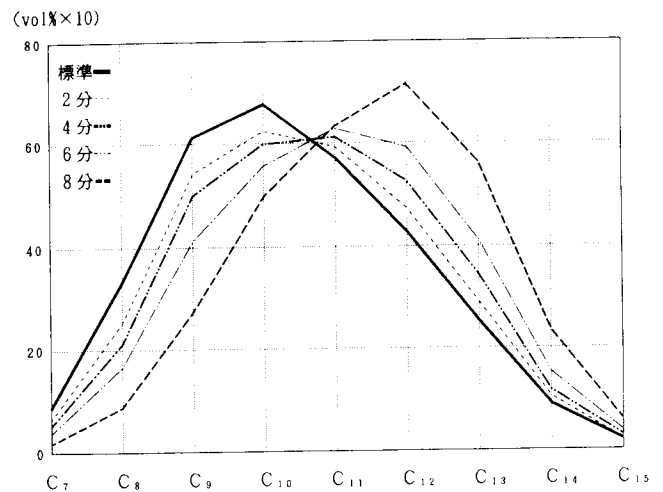


図15 燃焼灯油 $1\mu\ell$ 中に占めるノルマルパラフィン  
の容積比較 (120mmシャーレ)

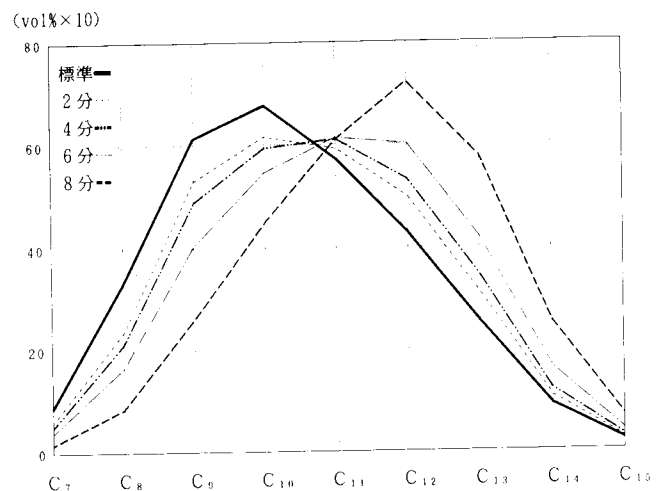


図16 燃焼灯油 $1\mu\ell$ 中に占めるノルマルパラフィン  
の容積比較 (180mmシャーレ)

表1 燃焼灯油の残量

燃 焼 時 間		標 準	2 分	4 分	6 分	8 分
φ60mm	残 量 (ml)	28.3	24.5	21.3	18.2	13.9
	減少率 (%)	—	13.5	24.8	35.7	50.9
	燃焼速度 (ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.067	0.061	0.059	0.063
120mm	残 量 (ml)	113.0	97.3	70.0	50.0	25.0
	減少率 (%)	—	14.0	38.1	55.8	77.9
	燃焼速度 (ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.070	0.095	0.093	0.097
180mm	残 量 (ml)	254.3	210.6	146.0	88.6	39.6
	減少率 (%)	—	17.3	42.6	65.2	84.4
	燃焼速度 (ml/分・cm <sup>2</sup> )	—	0.086	0.106	0.108	0.105

の60mmのC<sub>7</sub>は80.2%, C<sub>11</sub>は43.7%, C<sub>15</sub>は18.6%, 120mmのC<sub>7</sub>は95.6%, C<sub>11</sub>は75.4%, C<sub>15</sub>は34.6%, 180mmのC<sub>7</sub>は97.1%, C<sub>11</sub>は83.3%, C<sub>15</sub>は46.7%であり、燃焼面積が広いシャーレほど低・中・高沸点成分の減少率は高い値を示しており、燃焼面積の異いで減少率に差が認められる。

前報では同一径(燃焼面積が同一)のシャーレで一定量の灯油を燃焼すると、先に低沸点成分が消失後、中・高沸点成分が順次、消失していくことが確認できたものである。本実験においても、このことが再確認され、その減少率は燃焼面積が大きくなるにしたがい、高い値を示している。これは、表1で示すとおり、燃焼面積が広いほど燃焼速度が速くなっていることから、減少率と燃焼速度の関係について考察したものが下記(4)である。

(4) 同じ条件下における消費灯油の成分変化

各シャーレにおける2分、4分、6分、8分燃焼灯油の単位時間・1cm<sup>2</sup>当たりの消費量を算出し(表1参照)、各燃焼時間における60mmシャーレの消費量を基準として120mm、180mmシャーレの消費量に換算した補正減少率のグラフが図24~図27である。2分燃焼灯油を観ると、各シャーレともC<sub>8</sub>からC<sub>11</sub>までの補正減少率はほぼ同じであるが、高沸点成分のC<sub>13</sub>、C<sub>14</sub>、C<sub>15</sub>については径の違いにより補正減少率はばらつき、規則性は観られない。

4分燃焼における60mmシャーレの補正減少率はC<sub>7</sub>が47.9%、C<sub>8</sub>が46.3%、C<sub>9</sub>が35.0%、C<sub>10</sub>が31.0%、C<sub>11</sub>が18.4%、C<sub>12</sub>が11.3%、C<sub>13</sub>が6.6%、C<sub>14</sub>が7.0%、C<sub>15</sub>が16.6%、120mmではC<sub>7</sub>が41.0%、C<sub>8</sub>が39.4%、C<sub>9</sub>が32.2%、C<sub>10</sub>が29.3%、C<sub>11</sub>が21.8%、C<sub>12</sub>が15.4%、C<sub>13</sub>が10.2%、C<sub>14</sub>が12.8%、C<sub>15</sub>が9.0%、180mmではC<sub>7</sub>が39.5%、C<sub>8</sub>が36.9%、C<sub>9</sub>が31.6%、C<sub>10</sub>が28.9%、C<sub>11</sub>が22.5%、C<sub>12</sub>が16.7%、C<sub>13</sub>が12.5%、C<sub>14</sub>が13.6%、C<sub>15</sub>が12.6%である。

60mmと180mmシャーレの低沸点成分であるC<sub>7</sub>、C<sub>8</sub>、

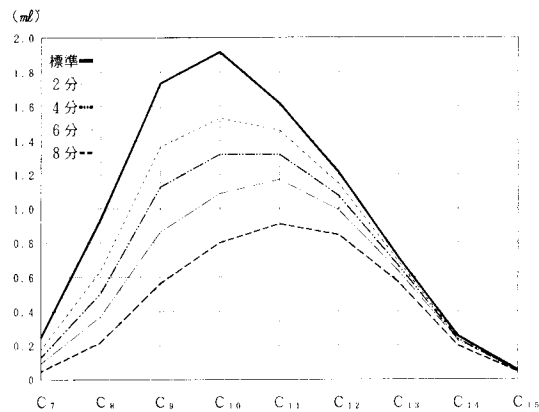


図17 残量におけるノルマルパラフィンの容積変化 (60mmシャーレ)

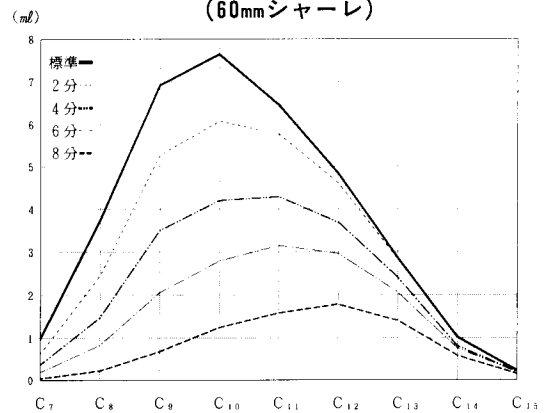


図18 残量におけるノルマルパラフィンの容積変化 (120mmシャーレ)

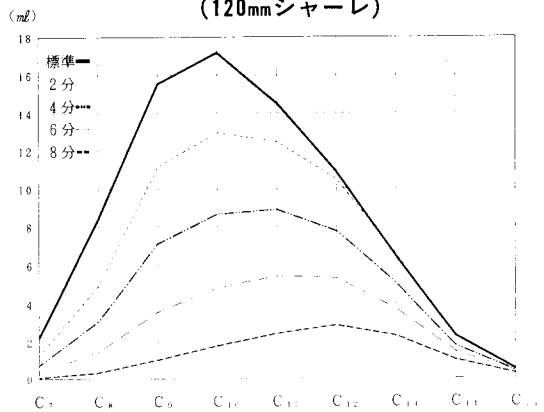


図19 残量におけるノルマルパラフィンの容積変化 (180mmシャーレ)



C<sub>9</sub>及びC<sub>10</sub>の補正減少率は図21の4分燃焼灯油の減少率と逆転し、燃焼面積の狭い60mmシャーレの減少率が高い値を示している。また各シャーレの補正減少率はC<sub>10</sub>とC<sub>11</sub>の間で交差後、C<sub>11</sub>以降の中・高沸点成分の補正減少率は60mmの方が180mmに比べ低い値を示している。また6分、8分燃焼灯油でも4分と同じ傾向が観られ、燃焼時間が長いだけ減少率は高い値を示している。

これらのことから、60mmシャーレが持つ熱量で120mm、180mmのシャーレに入れた灯油を燃焼すると、燃焼面積が狭いものは低沸点成分を多く消失させるのに対し、燃焼面積が広いものは狭いものに比べ中・高沸点成分を多く消失させることが推察される。

#### 4 まとめ

前回の研究では、同一径のシャーレに一定量の標準灯油を1分から6分まで燃焼させたところ、C<sub>n</sub>の減少は低沸点成分から順次、中沸点、高沸点成分へと移行することが判明したところであるが、今回の研究は、標準灯油を内径60mm、120mm、180mmのシャーレで高さを一定にし、各シャーレ毎2分、4分、6分、8分燃焼させ、燃焼面積の違いによるC<sub>n</sub>の減少率を比較するとともに、60mmシャーレの単位時間・1cm<sup>2</sup>当たりの消費量を基準として120mm、180mmシャーレの消費量に換算した補正減少率について考察した。

燃焼面積の違いによるC<sub>n</sub>の減少率については、燃焼面積が広がるにしたがい、燃焼速度は速くなり、これに伴って低沸点成分から中沸点・高沸点成分へと順次消失することが判明した。また、補正減少率については、60mm、120mm、180mmシャーレの順に低沸点成分の補正減少率は高い値を示したことから、60mmシャーレの熱量で120mm、180mmシャーレを燃焼させた時、燃焼面積が狭い物は広いものに比べ、低沸点成分の減少量が多くなり、また、中・高沸点成分については、180mm、120mm、60mmの順で補正減少率が高い値を示していることから、燃焼面積が広いものほど中・高沸点成分を多く消失させる傾向があるものと推察される。

さらに、燃焼灯油1μl中に占めるC<sub>n</sub>の容積変化については、各シャーレとも標準灯油の容積率とC<sub>10</sub>、C<sub>11</sub>の間ではほぼ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高沸点成分側に移動していることが認められ、これは燃焼面積の違いによる容積変化の特性を表しているものと考えられる。

この交点の移動は燃焼速度の違いによる、消失成分の構成割合によるものと推察され、交点における、それぞれの傾きは燃焼時間が長くなるとともに、急にな

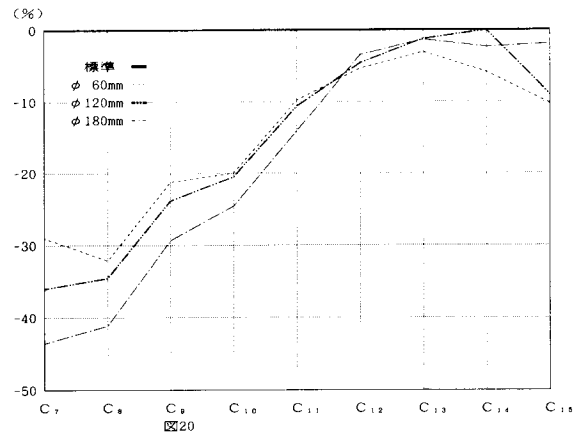


図20 2分燃焼灯油における減少率

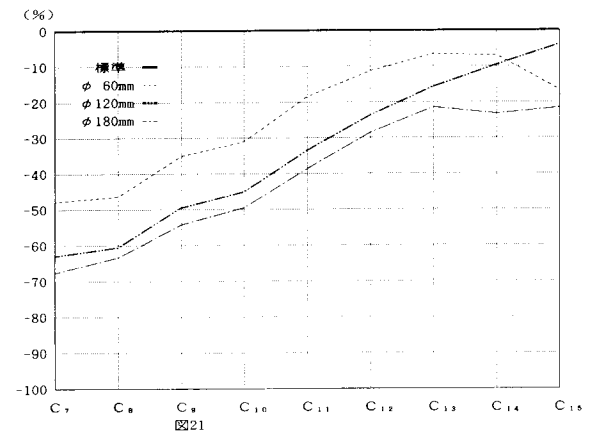


図21 4分燃焼灯油における減少率

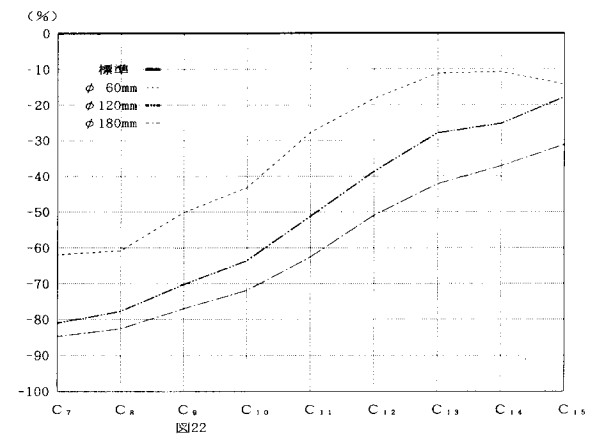


図22 6分燃焼灯油における減少率

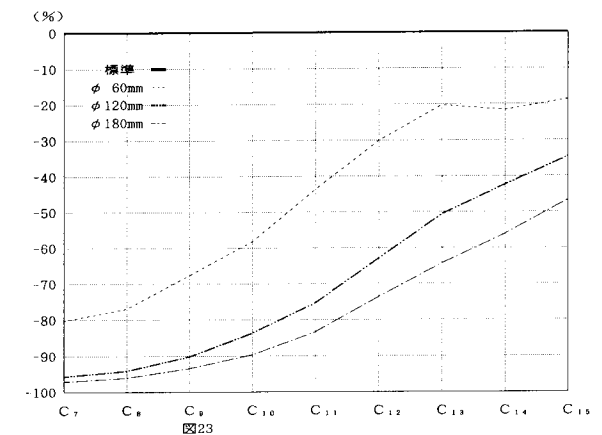


図23 8分燃焼灯油における減少率

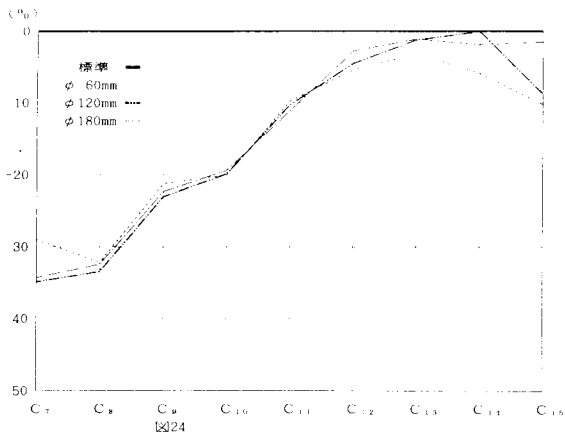


図24 2分燃焼灯油における補正減少率

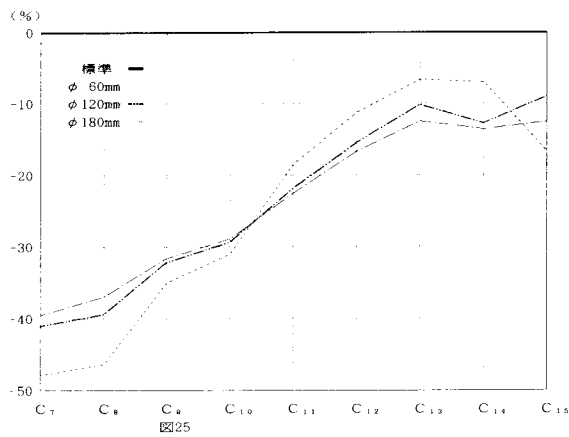


図25 4分燃焼灯油における補正減少率

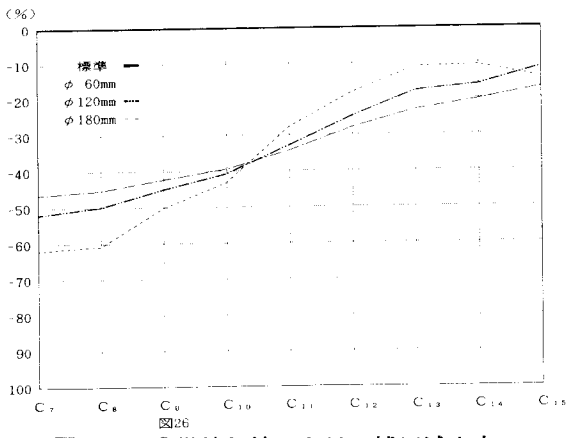


図26 6分燃焼灯油における補正減少率

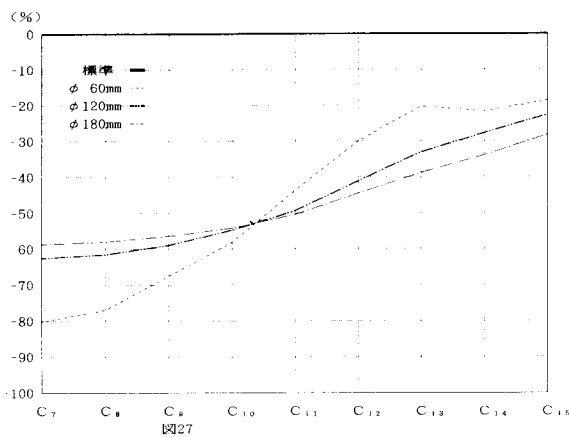


図27 8分燃焼灯油における補正減少率

ることから今後は、この交点を手掛かりとして、さらに燃焼面積を変えながら、燃焼速度、発熱量等の要因に着目し、現場で収去される灯油の燃焼時間を判定するための基礎データを蓄積していきたいと考えます。

〈参考文献〉

- 1) 「火災」Vol.41 No.5 日本火災学会
- 2) 「安全工学」Vol.27 No.5 コロナ社
- 3) 「日本火災学会論文集」Vol.43 日本火災学会
- 4) 「燃焼学」平野敏右
- 5) 「燃焼の基礎と応用」架谷昌信, 木村淳一
- 6) 「消防科学研究所報」1994 No.1



写真4 2分燃烧灯油の変色状况

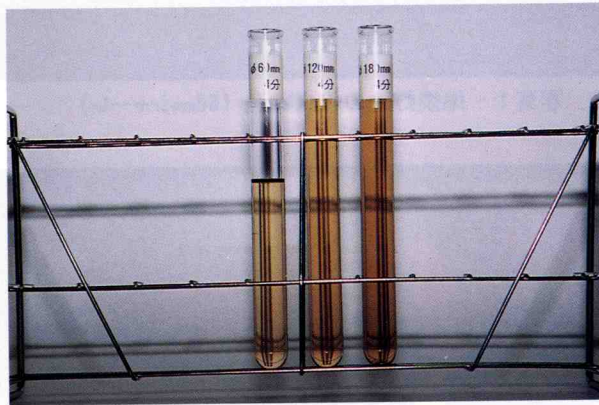


写真5 4分燃烧灯油の変色状况

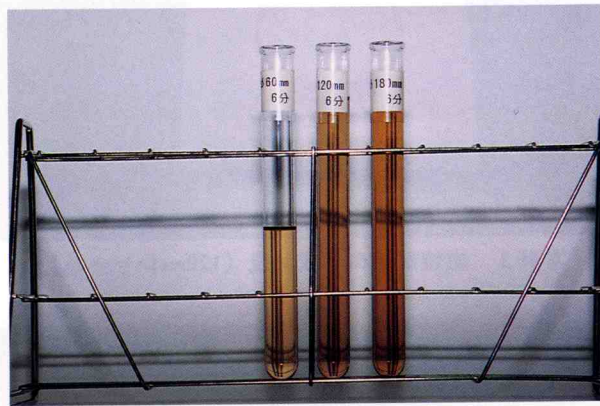


写真6 6分燃烧灯油の変色状况

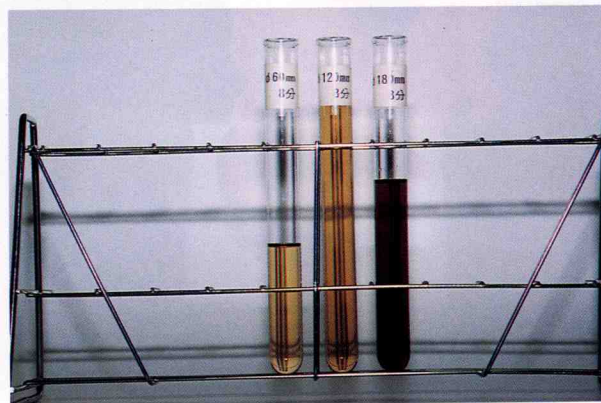


写真7 8分燃烧灯油の変色状况

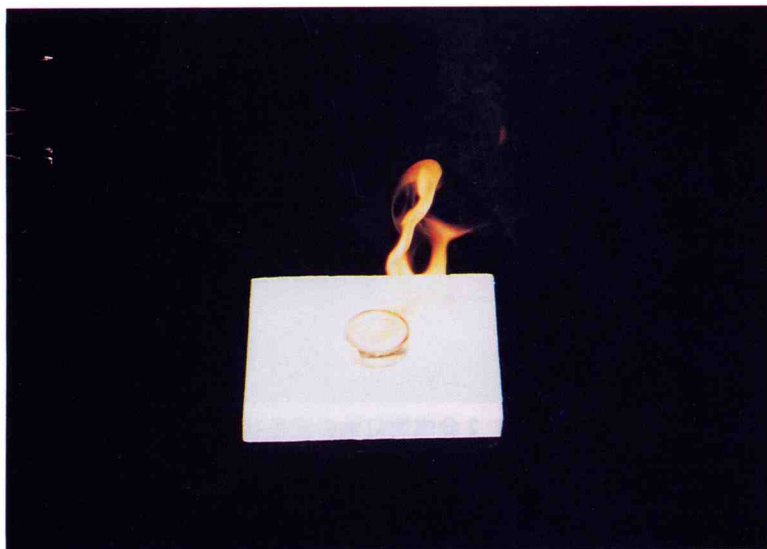


写真1 燃烧灯油の作成状況 (60mmシャーレ)



写真2 燃烧灯油の作成状況 (120mmシャーレ)



写真3 燃烧灯油の作成状況 (180mmシャーレ)

# 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

## 【概要】

サリンはフッ素、イソプロピル基、メチル基を含むリン酸化合物であり、天然では存在せず、無色無臭の液体で揮発性、水溶性が高い。

また、中枢神経の働きを阻害して人間を殺す神経毒物の一種であり、強アルカリ性物質や含塩素化合物によって、速やかに不活性化される。

## 1 サリンの開発経緯

サリンは有機リン系の毒ガスで、その研究は農薬の開発から始まり、1934年に開発されたヘプトという農薬がサリンの前身といわれている。

ヘプトの強い効果に目を付けたナチスが毒ガスへの転用を計画し、37年にタブン、38年にサリン、44年にはソマンをそれぞれ開発した。これらはいずれも神経毒物の化学兵器である。

サリンの化学名は、メチルホスホノフルオリド酸イソプロピルであり、「サリン」の命名は、4人の研究者の名前の一部を組み合わせたものである。

Schrader, Ambros, Rudriger, van der Linde  
シュラーデル アンブローゼ ルートリゲル ファン・デル・リンデ

## 2 サリンの物性

サリンは無色無臭の液体で揮発性が高く、常温では容易に気化する。気化したサリンは空気より重いため、無風の室内等では低位部に滞留しやすい性質をもつ。

サリンをはじめとする神経ガスの化学構造式は表1に示すとおりである。

神経ガスの一般的な構造式は図1で表され、R、R'、R''の部分  
 1が表され、R、R'、R''の部分  
 がCN（シアン）、C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O（炭  
 化水素）、F（フッ素）、CH<sub>3</sub>（メ

図1 神経ガスの一般的な構造図

表1 神経ガスの化学構造式

サリン	タブン	ソマン
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ (\text{CH}_3)_2\text{CHO}-\text{P}-\text{F} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{O}-\text{P}-\text{CN} \\   \\ \text{N}(\text{CH}_3)_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{O} \\   \quad \parallel \\ (\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{P}-\text{F} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$

チル基)などと少しずつ異なっているだけである。

有機リン酸系殺虫剤も同様の構造のもの、酸素(O)が硫黄(S)に置き換わったものがある。

したがって、有機リン酸系殺虫剤による中毒と神経ガスによる中毒は症状も似ている。

## 3 サリンの毒性

サリンなどの神経剤は体表のどこからでも吸収される。蒸気、霧状で散布されたりすると、それらは呼吸器や結膜から容易に吸収され、神経剤が液体の場合は結膜、皮膚、消化器系を通して吸収される。

サリンを大気1 m<sup>3</sup>中に25~100mg含む空気を1分間吸えば、半数の人が死ぬほどの毒性をもち、青酸ガスよりも吸入毒性は50倍高いものである。また、経口の致死量は体重50kgの人の場合、わずか7 mg、皮膚には1.5 g 付着しただけで死亡する。

表2 神経ガスの致死量

ガス名	状態	肺	皮膚
サリン	気体	100mg-min/m <sup>3</sup>	15g-min/m <sup>3</sup>
	液体	—————	1.5g
タブン	気体	400mg-min/m <sup>3</sup>	30g-min/m <sup>3</sup>
	液体	—————	1.0g

表3 毒ガスに対処可能な時間

ガス名	濃度	時間
神経ガス	0.2mg/m <sup>3</sup>	<30秒
	5.0mg/m <sup>3</sup>	<10秒
マスタードガス (非神経ガス)	10mg/m <sup>3</sup>	<120秒
	50mg/m <sup>3</sup>	<30秒

#### 4 サリンによる中毒症状

サリンを皮膚暴露、眼の暴露、経口によって吸入すると全身症状を呈すると考えられる。

サリンが体内に入ると、血液中の酵素であるアセチルコリンエステラーゼ値が低下する症状や気道が狭くなって引き起こす肺水腫、目の瞳孔が縮んで目の前が暗くなるという有機リン系薬物特有の症状である縮瞳、激しい嘔吐、全身痙攣、意識混濁などが起きる。

##### (1) ガス暴露

低濃度のガス暴露では、数秒から数分間に、縮瞳、視覚障害（うす暗い、ぼんやりするなど）、鼻漏、呼吸困難を起こし、汚染地区から移動するとそれ以上の重篤化はしない。

高濃度のガスは、1～2分で意識消失し、その後、痙攣、弛緩性麻痺、無呼吸を起こす。

##### (2) 皮膚への暴露

致死量に近い量であれば、意識消失、弛緩性麻痺、無呼吸を起こし、症状の発現は10～30分への無症状期の後に突然起こる。

##### (3) 眼への暴露

サリン暴露で縮瞳が引き起こされ、サリン製造時に発生する中間体のDifluoro体では、眼に対する刺激が強く、視力障害が残ることがある。

以下に有機リン剤中毒の一般症状を示す。（サリンが全ての症状を呈するとは限らない。）

##### 【ムスカリン様症状】

神経剤が吸収されると、胸部圧迫感が早期に現れ、中等度や高度の暴露では気管支分泌液が著しく出てくる。これが非常に激しくなると、せき、呼吸困難をきたすようになる。（発汗、げり、縮瞳、嘔吐、血圧低下）

##### 【ニコチン様症状】

ムスカリン様作用が中等度になると、疲労感の増加や軽度の筋力低下が現れ、これに付随的な筋収縮、筋

痙攣が起きるようになる。

皮膚は蒼白となり血圧は上昇し、暴露が多い場合、眼瞼、顔面筋、腓腹筋にまず筋収縮が起こり、これが全身の筋に広がり呼吸筋も麻痺する。

その後、咽頭痙攣、気管支収縮や気管支分泌液の増加による呼吸障害でチアノーゼが起きる。この場合、人工呼吸を速やかに行わない限り2、3分以内に死亡する。（筋力の低下、血圧上昇、呼吸停止）

##### 【中枢神経系症状】

最初に現れる症状は、緊張、不安、不穏、情緒不安定であり、続いて頭痛、震戦、眠気、集中力の低下、記憶力の障害、反応性の遅延が起こり、時にはうつ状態となることもある。

中程度の障害では過呼吸が起こり、それが1分以上経過すると脳波異常が現れる。さらに高濃度の暴露を受けた場合、錯乱、運動失調、構音障害が出現し、その後、昏睡に陥る。（頭痛、運動失調、不眠、反射消失、神経障害）

##### 【その他の症状】

体温の上昇（37～38℃）、心筋炎、頻呼吸（30回/分以上）、呼気にニンニク臭のすることがある。

#### 5 中毒の治療法

##### (1) 中毒の仕組み

神経と筋肉のつなぎ目（シナプス）の様子を図2に示し、中毒がどのように起こるかを説明する。

動物の神経伝達は、全身に張り巡らされた神経細胞（ニューロン）によって行われている。刺激が与えられるとシナプスでアセチルコリンという神経伝達物質が放出される。この物質が、シナプス間隙を渡って筋肉側のアセチルコリン受容体に付くと電気刺激が伝わり、筋肉が収縮する。

情報伝達の役目を終えたアセチルコリンは、酵素のアセチルコリンエステラーゼによって瞬時に加水分解され、筋肉は弛緩して元の状態に戻る。

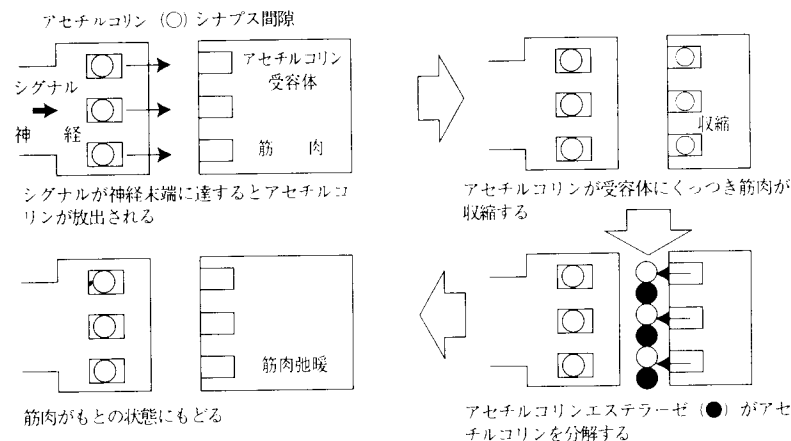


図2 シナプスにおけるアセチルコリンエステラーゼの正常な作用

ところが、サリンが体内に入るとアセチルコリンエステラーゼと不可逆的に結合するため、酵素の作用が阻害される。このため、アセチルコリンは分解されずに受容体に付いたままとなり、筋肉は痙攣状態を起し中毒症状をもたらすこととなる。

## (2) 治療法

薬物治療としては、硫酸アトロピン、プラリドキシムヨウ化メチル（PAM）、ジアゼパムの三種の薬剤が使用されてきた。

このほか、予防薬としてカバーメート系の薬剤である臭化ピリドスチグミンが用いられる。

硫酸アトロピンは、アセチルコリン受容体をブロックして筋肉の痙攣を防ぐが、副作用として、のどの渇き、瞳孔の収縮、めまいなどを伴う。

PAMは、神経ガスに付いて動きが抑制されたアセチルコリンエステラーゼを遊離して再活性化させると考えられている。

ジアゼパムは本来抗てんかん薬として使用されてきたものであるが、中枢神経のニコチン受容体におそらく何らかの特殊な作用があるものと考えられている。

臭化ピリドスチグミンの予防的効果は、体内のアセチルコリンエステラーゼを神経ガスから防御し、神経ガスを吸ってもアセチルコリンエステラーゼを速やかに遊離するものと考えられている。

### ア 予防

臭化ピリドスチグミンは1回量30mgを8時間毎に服用しておけば予防効果があるとされている。アセチルコリンエステラーゼの活性は8時間後に衰えるため、投与量と服用時間を厳守することが不可欠であることは言うまでもない。

### イ 汚染除去と基本応急処置

#### (ア) 汚染除去

汚染除去には特別な配慮が必要である。汚染除去は保護衣、ブーツ、手袋、ガウンを着用し、医療機関の外で一定の安全な場所を決めて行い、汚染された着衣は緊急に撤去し、安全な場所で処分する。

汚染物質がサリン等の水溶液の場合は、脱衣した着衣を石鹼と水により汚染除去を行い、水洗した水も一か所に集め、漂白粉、希アルカリ液、アンモニア水などの中和剤で無毒化した後に処分する。

#### (イ) 基本的処置

##### 【皮膚暴露】

よく吸収されるので10倍に希釈した漂白剤、アルコール剤を使用すると、より効果的である。

##### 【眼への暴露】

眼に暴露した場合には、微温湯で15～20分以上洗淨すること。

#### (ウ) 三者併用療法

英国軍では、神経剤治療用に硫酸アトロピン2mgとPAM500mgを詰めた特殊な注射器ができており、その安全キャップの中にはジアゼパム5mgの錠剤が入っている。

治療手順は、まずその錠剤を服用し、硫酸アトロピンとPAMの入った自動注射器を被服の上から大腿外側部に自分で注射した後、呼吸器を装着することになっている。

動けなくなっている犠牲者に対しては、汚染された皮膚の汚染除去をまず行い、呼吸器を着用させ、自動注射器で注射してやる。又、意識があり、飲み込むことができる場合のみジアゼパム錠を服用させる。呼吸が停止している場合には間歇的陽圧呼吸法を行い、人工呼吸器がない時は、環境汚染されていないことや患者の口内の汚染除去が行われていることを確かめた上で呼気吹き込み蘇生を行うべきである。

#### ウ 本格的治療

サリンを含む神経剤の治療で最も肝心なことは、できる限り早急に治療を開始することである。まず汚染除去を行い、有機リン系中毒と同様に薬物療法及び気道確保等の呼吸管理を開始する。

汚染除去には格別の配慮が必要であり、特に医療従事者や救急隊員が、汚染により中毒を起こすことも少なくない。着衣・靴を緊急に撤去し焼却後、使用器具などの汚染を石鹼と水で十分に除去する。

薬物療法として早急に硫酸アトロピンの筋肉注射を行い、PAMを加える。

痙攣発作に対しては、ジアゼパムの筋肉注射か静脈注射を行い、中等症から重症では呼吸管理が大切である。薬物治療で中心となるのはアトロピン療法であり、2～5mgを15～30分毎に増量する。増量の日処としてアトロピン治療効果が明らかで、口渇きが出現し、心拍数が70～80回/分となるように調整する。PAMは1gを30分かけて点滴する。

## 6 救急搬送時の留意点

サリン等の有毒物質は、迅速かつ進行性であり、呼吸器系、皮膚、粘膜等から吸収されるとともに、液体に触れると皮膚から吸収されて微量でも死に至る。又、水に溶けると効力を失うなどの特徴がある。したがって、有毒物質により障害を受けた傷病者の搬送にあつては、以下の点について特に留意が必要である。

- (1) 皮膚・粘膜等を露出しないよう衣服・ゴム手袋等を確実に装着すること。特に液体には直接触れないよう細心の注意を払うこと。
- (2) 傷病者を救急車に乗せる際には、汚染された衣服

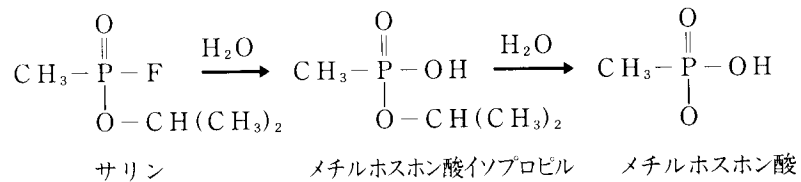


図3 サリンの分解

等は除去し車内に汚染物質を持ち込まないように留意すること。

- (3) 搬送途上では、救急車内の換気を十分に行うこと。  
 (4) 救急車内が汚染された場合には、大量の水で洗い流すこと。

8) 「化学軍縮と日本の産業」並木書房

## 7 サリンの分解

サリンは図3で示すとおり大気中で加水分解し、有機リン酸系化合物であるメチルホスホン酸イソプロピルに変化する。また、土壌中では数日かけてメチルホスホン酸イソピルに変わり、その後ゆっくりとメチルホスホン酸に分解される。

サリンの中和薬剤としては、漂白剤や殺菌剤として家庭でも使用されている次亜塩素酸ナトリウムが使用される。

## 8 サリンの検出方法

### (1) 試料の収集

神経ガスは活性炭に吸着されるので、空気中などの神経ガスを活性炭を使って採集する。活性炭に吸着した神経ガスは有機溶媒で抽出する。それができない場合は、神経ガス発生地点近辺の土壌や水を採取し、同様に抽出する。

### (2) 検出

検出には質量分析装置により、抽出した試料の分子量を正確に測定する。分析した質量スペクトルから、どの神経ガスが使用されたかを確定する。

〈文責 橋上 勉〉

### 【参考文献】

- 1) 「化学大辞典」共立出版者
- 2) 「第2版危険物データブック」(財)東京連合防火協会
- 3) 「世界大百科辞典」平凡社
- 4) 「現代化学 (94, 9)」東京化学同人
- 5) 「サリン対策マニュアル」消防通信 (九州大学医学部マニュアル作成委員会)
- 6) 「身のまわりの毒」東京化学同人
- 7) 「続身のまわりの毒」東京化学同人



# 火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について

## 【概要】

一般的な火災現場における燃焼生成ガスとして、一酸化炭素及びシアン化水素（別名：青酸ガス）が、致死濃度以上の高濃度で発生する可能性が高い。

これらの有毒ガスのうち、一酸化炭素は全ての有機物の燃焼により、また、シアン化水素は、アクリル繊維、ナイロン、ポリウレタン、羊毛等の含窒素系物質を原材料とする衣料品や家具類が燃焼することにより発生する。

## 1 燃焼生成ガスの種類と毒性

最近の建築物は、新建材、合成繊維、プラスチックなどの高分子化合物が多用され、また住宅構造の気密化の傾向が進むなど、有毒ガスによる危険性は増してきている。

過去の事例をみても、千日デパート、ホテルニュージャパン、伊豆熱川温泉の火災など、大量の死者を出

す火災の多くは、発生した有毒ガスがその死因といわれている。

火災時に発生する燃焼生成物としてのガスの種類は多く、木材の熱分解からだけでも200種類以上の生成ガスが発生するが、実際に人体に有害な毒性ガスは、一酸化炭素、シアン化水素、塩化水素、窒素酸化物など極く限られており、その毒性は表1に示すとおりである。

表1 火災時に発生する主な有毒ガスとその毒性

一酸化炭素 (CO)	燃焼時に全ての有機材料から生成し、毒性も極めて強い。COは血液中のヘモグロビン(Hb)と結合してCOヘモグロビン(CO-Hb)を形成し、ヘモグロビンの酸素(O <sub>2</sub> )運搬機能を阻害する。
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	気体には毒性はないが吸入すると酸素欠乏を起こし、深い呼吸、速脈、頭痛、興奮、眠気、脱力等の症状が現れる。重症の時は全身痙攣や、窒息死を招く。
シアン化水素 (HCN)	HCNの毒性はCOよりも強くかつ急性であり、高濃度のガスを吸入するとほとんど瞬時に虚脱し呼吸が停止する。低濃度では目粘膜の刺激、胸内苦悶、頭痛、吐き気などの症状が現れる。
塩化水素 (HCl)	代表的な刺激性ガスであり、その水溶液は強酸性の塩酸となり、目、鼻、喉の粘膜を刺激する。上部気道及び肺胞の破壊等により呼吸不可能となる。
二酸化硫黄 (SO <sub>2</sub> )	刺激性ガスであり、暴露すると眼、鼻、咽頭に痛みを感じ、くしゃみ、咳などが起きる。また、高濃度のガスを吸入すると、さらに気管支に痙攣性の変化が現れ、気管支炎、肺浮腫、肺炎などが起こり、窒息死を招く。
二酸化窒素 (NO <sub>2</sub> )	気管支及び肺胞刺激性ガスであり、水に溶けにくいいため上部気道粘膜の水分に吸収されることが少なく、直接肺胞内へ侵入する。したがって上部気道に対する影響は少ないが、肺胞を破壊し窒息死を招く。

## 2 生体への影響

火災時に発生する有毒ガスの中でも特に人体に危険な一酸化炭素 (CO) とシアン化水素 (HCN) の生体毒性作用に関する自治省消防庁消防研究所の研究報告によると、ラビットを使用した動物実験において、①難燃性建材 ②一般に室内に存在する非難燃物質のいずれの場合も、燃焼により生成された有毒ガスによるラビットの死亡が確認され、死亡したラビットの血液中のCOヘモグロビン (CO-Hb) は致死レベルより遙かに低く、かつ燃焼ガス中のシアン化水素濃度は致死濃度以上であることから、シアン化水素 (HCN) が致死の主因と考えるのが妥当であるとの結論を得ている。

表2 一酸化炭素濃度と人体への影響

CO濃度 (ppm)	症 状
50	許容濃度
200	2～3時間後に頭痛
500	30～120分後に幻覚症状
1,000	歩行困難, 2時間吸入後死亡
3,000	30分以内に致死
5,000	数分間で致死
8,000	即死

表3 シアン化水素濃度と人体への影響

HCN濃度 (ppm)	症 状
10	許容濃度
18～36	数時間後に頭痛
100	1時間後に死亡
110～135	30～60分後に致死, 生命危険
135	30分以内に致死
180	数分間で致死
280	即死

## 3 火災現場における毒性ガスの発生源

東京消防庁消防科学研究所において、昭和61年～63年にかけて行われた、火災現場での燃焼生成ガスの採取・分析に関する研究報告によると、一般家庭で多く使用されている可燃物から発生する一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、シアン化水素 (HCN)、塩化水素 (HCl)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)、窒素酸化

物 (NO<sub>x</sub>) の6種類の有毒ガスに着目し、火災現場から採取された138例のガスについて分析を行った結果、全ての採取事例のうち、COは94.1%から、シアン化水素は54.9%から検出されるとともに、採取事例の25.5%からは“数分間の暴露で死に至る”濃度の有毒ガス (一酸化炭素もしくはシアン化水素) が検出された。特に、シアン化水素は採取条件によってはさらに高い濃度 (200～350ppm) で検出された。

そこで、これらの有毒ガスの発生源となる燃焼物を分析した結果、一酸化炭素 (CO) は全ての有機物から、また、シアン化水素 (HCN) は含窒素系のアクリル繊維、ナイロン、ポリウレタン等の各種高分子物質や羊毛、絹等の蛋白質系天然繊維の燃焼から発生することが確認されたと報告されている。

さらに、同研究所と東京都監察医務院との協力による別の研究報告によると、火災による死因の生理学的検討の結果、血中にシアン化水素 (HCN) が検出された事例は、108例中87例 (80.6%) にも及んだとされている。最も濃度の高い例はメッキ作業所併用住宅、次いでアクリル材料加工工場併用住宅であったが、その他はごく一般的な住宅であり、死者の周囲に存在した焼損物件で多く共通するのはソファ、クッション、カーペットなどであったと報告されている。

また、名古屋市消防局消防研究室によると、ケーブルの燃焼ガス分析に関する研究報告によると、消防隊員が吐き気を訴え消火活動に支障を生じたため、火災現場から採取した電気ケーブルの燃焼ガスを分析した結果、刺激性の有毒ガスである塩素や塩化水素の発生が確認され、これらのガスは、ケーブルの絶縁保護被覆材として使われる含塩素高分子化合物であるポリ塩化ビニルから発生したものであるとされている。この物質は、ポリエチレンなどとともに合成樹脂製の絶縁被覆材として広く一般的に使用されているものである。

## 4 まとめ

一般的な火災現場において発生する燃焼生成ガスのうち人体に対する毒性を有するものは、主に一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、シアン化水素 (HCN)、塩化水素 (HCl)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) などであるが、このうち一酸化炭素とシアン化水素は、“数分間の暴露で死に至る”濃度に達するケースが認められる。

このように毒性の強い一酸化炭素は全ての有機物から、また、シアン化水素は含窒素系物質から発生しており、これらはアクリル繊維のカーテンやカーペット、セーターなどの衣料品、クッションやソファなどのウレタンのつめもの、綿、羊毛、さらにメラミン樹脂板

のテーブルや家具などの原材料として、日常の生活環境の中に広範囲に浸透しているものである。

このため、鉛、水銀等の重金属やフッ素、アニリンなどの人体に有害となる物質を製造する工場あるいは貯蔵・取扱施設の火災においては、当然それぞれの有毒ガス、蒸気あるいは粉塵の発生が予想されるが、一般的な住宅からの火災においても、一酸化炭素（CO）はもちろんのこと、これよりも毒性の強いシアン化水素（HCN）が高濃度で発生する可能性が高い。

また、新建材や新たな複合素材の開発が盛んな現在の社会情勢下では、今後、火災時における新たな毒性ガスの発生が予想されることから、この分野における研究が必要となってくると考えられる。

（文責 桜井 清明）

#### 【参考文献】

- 1) 「防災物品等を含む火災における発生ガスの毒性に関する研究」自治省消防庁消防研究所
- 2) 「一酸化炭素とシアン化水素の毒性作用について」（消防輯報：No.40, 1986）自治省消防庁消防研究所
- 3) 「火災現場における燃焼生成ガスの採取・分析について」（消防科学研究所報：No.26, 1989）東京消防庁消防科学研究所
- 4) 「火災による死因の生理学的検討結果報告」（火災：No.198, 1992）日本火災学会
- 5) 「難燃性建材を含む実大規模火災実験における有毒ガスの発生とその毒性」（日本火災学会論文集：Vol41, No.1, 1992）日本火災学会
- 6) 「テーブルの熱分析及び燃焼ガス分析結果について」（消防研究室年報：No.22, 1993）名古屋市消防局消防研究室
- 7) 「火災における死因」（予防時報：No.153, 1988）  
財団法人日本損害保険協会
- 8) 「火災便覧」共立出版(株)，日本火災学会編
- 9) 「危険物データブック」財団法人東京連合防火協会
- 10) 「化学大辞典」共立出版(株)
- 11) 「毒劇物警防マニュアル」全国加除法令出版(株)
- 12) 「火災燃焼生成物の毒性」新日本法規出版(株)，自治省消防庁予防課監修
- 13) 「火と煙と有毒ガス」財団法人東京連合防火協会，東京法令出版(株)，東京消防庁消防科学研究所監修

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
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
		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
			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10月発行

消防科学研究所報 (1995 No.2)

編集・発行 札幌市消防科学研究所

〒063 札幌市西区八軒10条西13丁目

☎(011)622-5357

印刷 幡本印刷株式会社

---