

消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



1998 No. 5

SAPPORO FIRE SCIENCE LABORATORY

札幌市消防科学研究所

目 次

【研究論文】

- 硬質発泡ウレタンとABS樹脂について 1
- 放水音・空気呼吸器警報音・レスクトーン警報音調査について26
- バックドラフトに関する研究（その4）29
 区画模型開口部における流出流入速度の測定
- 噴霧ノズルの角度について38
- 噴霧注水による排煙効果について42
- 自動放水停止器具の開発について48
- 過マンガン酸カリウムと酸及びアルコールについて51

【業務事業実績】

- 業務実績表56
- 主な研究実績56

CONTENTS

【Research Papers】

- Hard Urethane Foam and ABS Resin 1
- Research on Water Spray Sounds,
Air Respirator Alarm Sounds and Rescue Tone Alarm Sounds26
- Research of Backdraft (No. 4)29
 Measurement of Inflow and Outflow Velocities at the Opening of Compartment Models
- Angles of Spray Nozzles38
- Smoke Elimination Effect by Injecting Spray Water.....42
- Development of an Automatic-Stop Water Spraying Apparatus48
- Reaction of Potassium Permanganate with Acid or Alcohol.....51

【Table of Results】

- Table of Practical Results56
- Main Research Results56

硬質発泡ウレタンとABS樹脂について

Hard Urethane Foam and ABS Resin

上田 孝志*
Ueda Takashi
橋上 勉*
Hashigami Tsutomu
菅原 法之*
Sugawara Noriyuki
小島 秀吉*
Kojima Hideyoshi

要 約

平成9年5月8日の豊平区美しが丘電器店火災において消防職員2名が殉職するという事故が発生した。本火災の特徴としては、電化製品であるプラスチック類と、断熱材として壁体及び天井等に吹きつけられた硬質発泡ウレタンが主な燃焼物であり、火災により多量の煙及び有毒ガスを発生したことである。

このことから、硬質発泡ウレタンとプラスチック類のなかで代表的なABS樹脂について燃焼実験を行った。

Summary

On May 8, 1997, a fire occurred at an electric appliance store located in Utsukushigaoka, Toyohira-ku, Sapporo. Two fire fighters were killed in the line of duty.

Two characteristics of this disaster were that plastic materials of electric appliances and hard urethane foam, which is sprayed onto walls and ceilings as a thermal insulation material, provided the main sources of combustive material and a great deal of smoke and poisonous gas were produced by the fire.

Therefore, we conducted a combustion test on hard urethane foam and ABS resin, a representative plastic material.

1 はじめに

都市環境は、社会情勢の変化に伴って年々変貌し、市民生活は、利便性や快適性を求めて向上する一方、高層化及び深層化が進み、建築構造も複雑多様化し、日用品を始め建築材料等に燃焼時に有毒ガスが発生するプラスチック類の普及、管理面においては、夜間無人化による機械警備の普及など、消防を取り巻く環境は非常に厳しく、消防活動に困難性を与えるとともに危険要因を増しているといっても過言ではない状況下にある。

このような中、平成9年5月8日深夜の豊平区美しが丘3条2丁目の電気店火災においてベテラン消防職員2名が殉職するという事故が発生した。

このため、当局では事態を重視し、直ちに特別調査委員会を発足させ火災の燃焼形態と事故発生要因の解明に努めてきた。

当研究所は、本火災の特徴として、主な燃焼物が電

化製品に使用されているプラスチック類と、断熱材として壁体及び天井等に吹きつけられた硬質発泡ウレタンであることに注目し、燃焼現象の解明のために実験を行ったので報告する。

電化製品のプラスチック類は、多種あるがその中で比較的使用されていて、熱分解すると有毒ガスのシアン化水素が発生するABS樹脂に注目し実験を行った。

なお、本報告は、「豊平区美しが丘電器店火災に関する調査・検討結果書」の実験部分を抜粋したものである。

火災の概要

- 1.1 出火場所
豊平区美しが丘3条2丁目3-10
「P電気機」（電化製品販売店舗）
- 1.2 出火日時
平成9年5月8日(木) 22時50分頃
(119覚知22時59分)
- 1.3 鎮火日時
平成9年5月9日(木) 2時22分頃

* 消防科学研究所

1.4 罹災状況

準耐火造(鉄骨)地上2階建て、延べ623㎡
(建築面積343㎡)のうち、1、2階内部307㎡
及び内在品焼損

1.5 出動状況

第一出動10隊41名、特命出動10隊35名、合
計20隊、76名

1.6 死者(殉職)

A 消防士長(42歳)

B 消防士(37歳)

(2) アルコールランプ接炎による硬質発泡ウレタンの 燃焼実験

硬質発泡ウレタン、木材、綿それぞれ3gをアル
コールランプに接炎させながら、燃焼状況を観察し
た。(写真9～写真14)

綿、木材はほとんど発煙しないが、硬質発泡ウレ
タンは多量の煙を発生した。

(3) 開放空間におけるABS樹脂等の燃焼実験

ABS樹脂、木材、塩化ビニル樹脂それぞれ3.5g
を簡易点火器具により点火し、その燃焼状況を観察
した。(写真15～写真20)

(4) やや閉鎖された空間における硬質発泡ウレタン等 の燃焼実験

硬質発泡ウレタン、ABS樹脂、綿、木材それぞ
れ1gを5ℓピーカーに入れ、アルコールランプで
接炎状態のまま燃焼させ、その変化を観察した。

(写真21～写真32)

(1) 硬質発泡ウレタンとは

最近の建築物に断熱材として数多く使用されてい
る硬質発泡ウレタン(原料ポリウレタン、成形法:
原料をスプレーガンで混合しながら微粒子として吹
きつけ発泡させる)は分子の中にウレタン結合(—
NHCOO—)をもつ易燃性の高分子材料をいい、
自己消火性が認められている。

開放空間においては独立燃焼性は低く、大部分は
火源を除くと数十秒以内に自己消火する。しかし、
雰囲気温度が200℃を超える場合、または熱が容易
に拡散しないような場合は、激しい独立燃焼が継続
する。

特徴としては非常に軽く、断熱性及び電気絶縁性
に優れ、虫害もなく、耐水性及び化学物質や多くの
溶剤に対する耐久性が良く、断熱材、吸音材、船舶、
漁業用浮き等に用いられる。

(2) ABS樹脂とは

アクリロニトリル・ブタジエン・スチレンの混合
重合体を原料とし、熱可塑性で硬く、自然色は薄い
アイボリー色であるが、どんな色にも着色でき、光
沢のある成形品をつくることができる。最近では透
明なものも開発されている。

特徴としては、引張り強さ、曲げ強さ、衝撃強さ
等に優れ、電気絶縁性及び耐薬品性をもっており、
家電製品、車両関係、OA機器、電話機等に広く用
いられている。

2 実験内容及び結果

2.1 簡易点火器具及びアルコールランプによる点火燃 焼実験

(1) 開放空間における硬質発泡ウレタンの燃焼実験

硬質発泡ウレタン7gを簡易点火器具により点火
し、その燃焼状況を観察した。(写真1～写真8)

多量の発煙を伴い燃焼するが、31.6秒後に立ち消
えし、自己消火性が認められた。



写真 1

硬質発泡ウレタン7gを簡易火器具により点火し、その自己燃焼性を観察した。



写真 2 ~0.6秒後

点火器具を近づけるとすぐに着火し、発煙した。



写真 3 ~4.4秒後

試料は着火直後から多量の発煙をともない燃焼した。



写真 4 ~11.8秒後

火炎は最大となり発煙量も増加した。



写真 5 ～31.6秒後

試料は立ち消えするものの発煙は継続した。

この試料の燃焼は表面が熱により分解し可燃性ガスを発生しながら燃焼するものと思慮され、立ち消え理由として、熱が大気中に拡散し、分解温度までに達しなかったものと推察される。



写真 6 ～42.5秒後

再度、点火器具をかざしたところ、着火した。



写真 7 ～46.3秒後

試料は炎に包まれ、多量の発煙をともなった。



写真 8 ～1分6.8秒後

再度、立ち消えした。

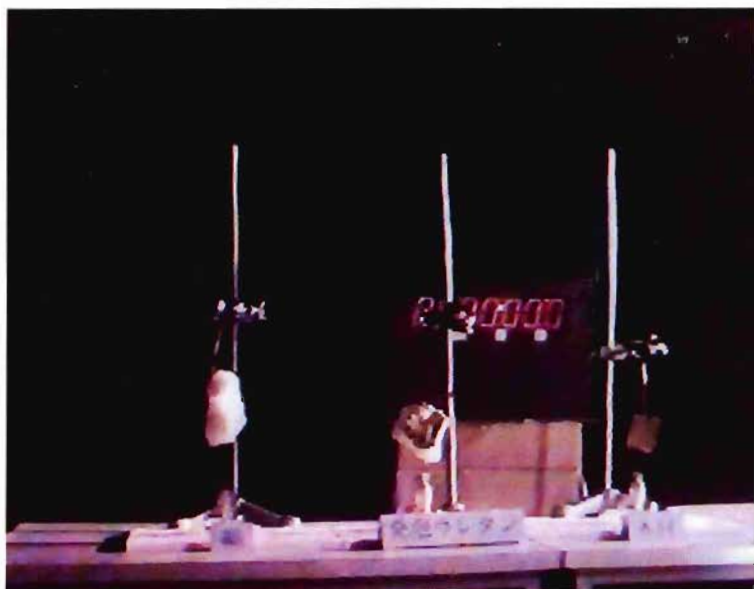


写真 9

向かって左側から綿、硬質発泡ウレタン、木材であり、アルコールランプでそれぞれの試料38を燃焼した。



写真10～4.9秒後

- ・燃焼性について
アルコールランプを保持したまま、それぞれの試料を燃焼すると、綿及び硬質発泡ウレタンは着火性は良いが、木材は悪い。
- ・発煙性について
綿、木材は殆ど発煙しないが、硬質発泡ウレタンは多量の煙を発生した。

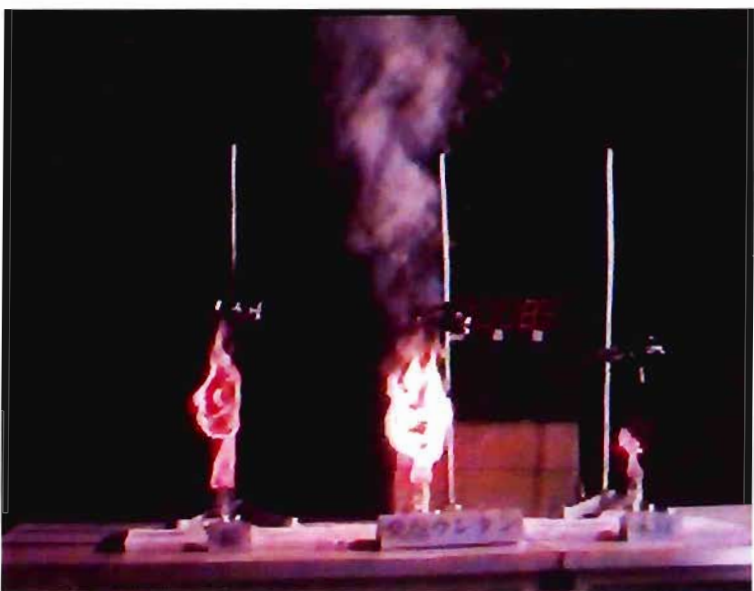


写真11～8.8秒後

- ・燃焼性について
綿、硬質発泡ウレタンの火勢は最大になったが、木材の燃焼は緩慢である。
- ・発煙性について
綿は火勢が最大にもかかわらずほとんど発煙せず、木材にあっても同様である。
しかし、硬質発泡ウレタンの発煙は勢いが止まらない。

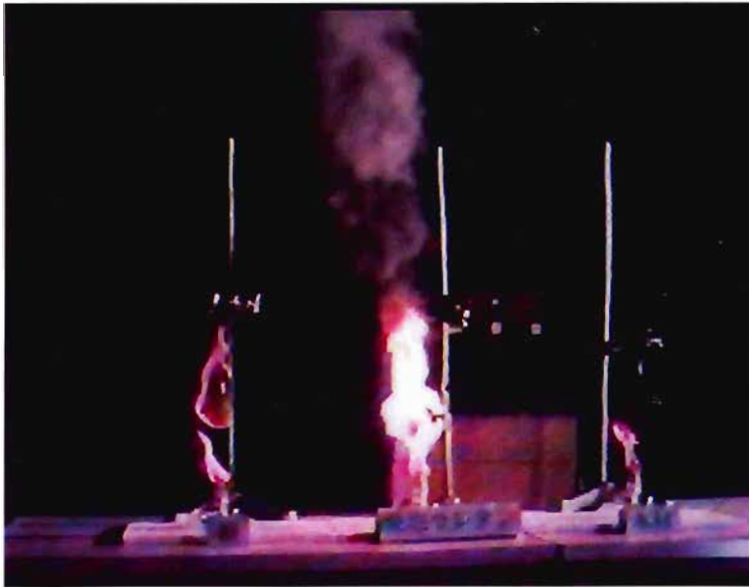


写真12～18.1秒後

- ・ 燃焼性について
綿、硬質発泡ウレタンの火勢は低下したが木材の燃焼は殆ど変化がみられない。
- ・ 発煙性について
綿、木材はほとんど発煙しないが、硬質発泡ウレタンは依然として発煙し続けている。

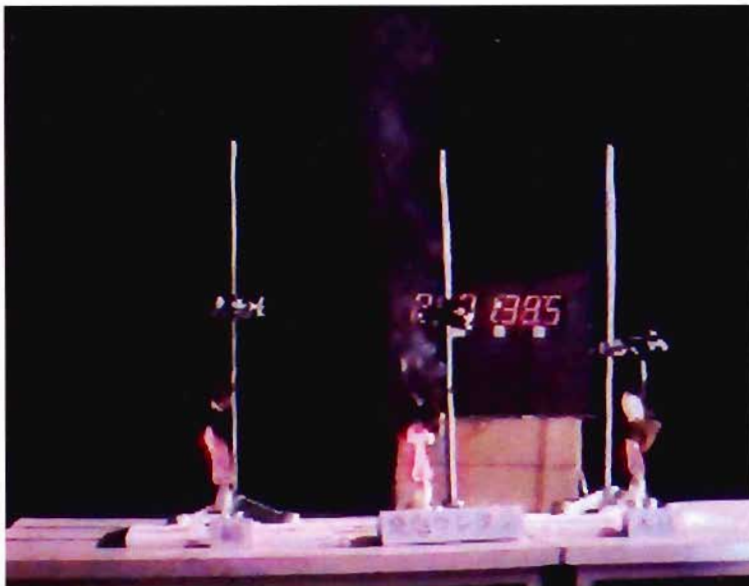


写真13～1分38.5秒後

- ・ 燃焼性について
綿、硬質発泡ウレタンは炎が消え、炭化状態となった。
木材は依然として燃焼している。
- ・ 発煙性について
綿、木材はほとんど発煙しないが、硬質発泡ウレタンは依然として発煙し続けている。

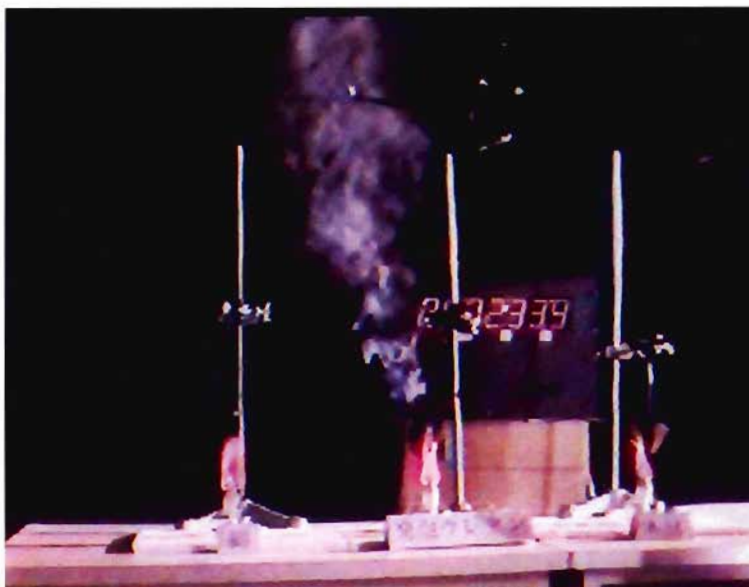


写真14～2分33.9秒後

硬質発泡ウレタンの煙に着火器具で点火したが着火しなかった。

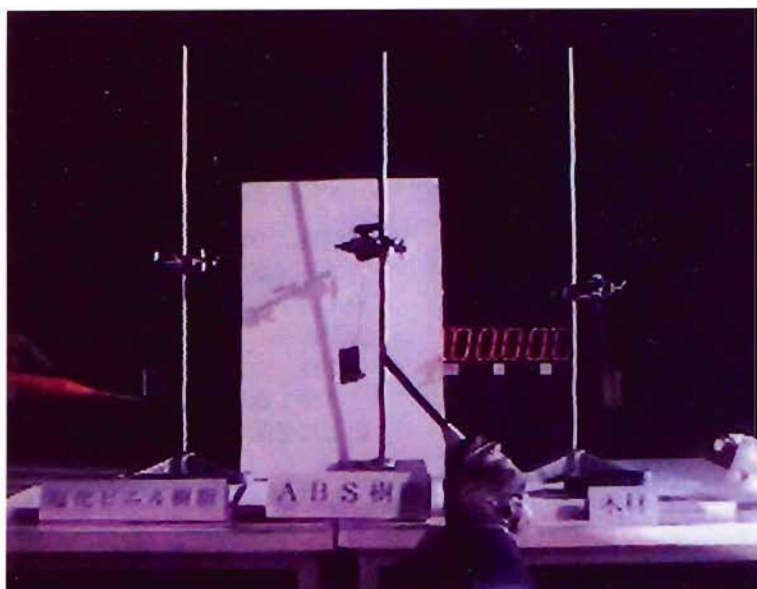


写真15

向かって左側から塩化ビニル樹脂、ABS樹脂、木材であり、簡易点火器具によりそれぞれの試料3.5gを燃焼する。

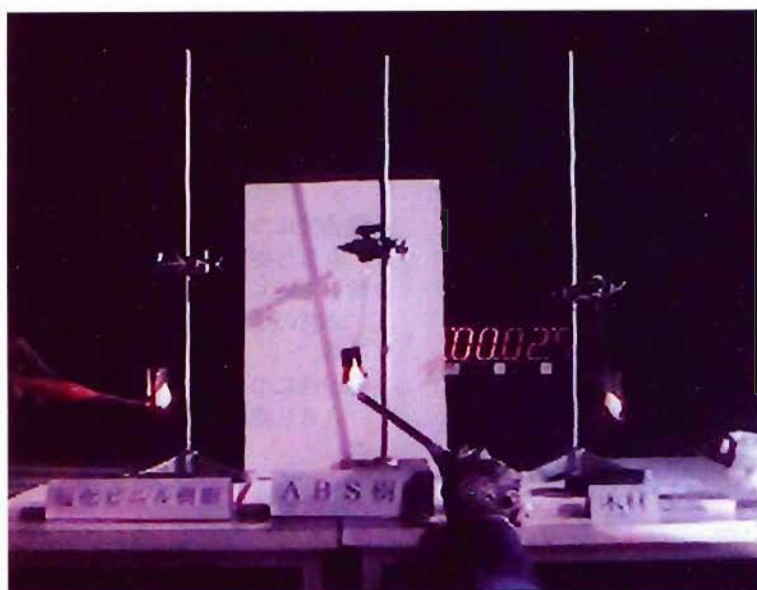


写真16～2.7秒後

- ・ 燃焼性について
いずれの試料とも着火する。
- ・ 発煙性について
着火直後は、いずれの試料とも殆ど発煙しない。

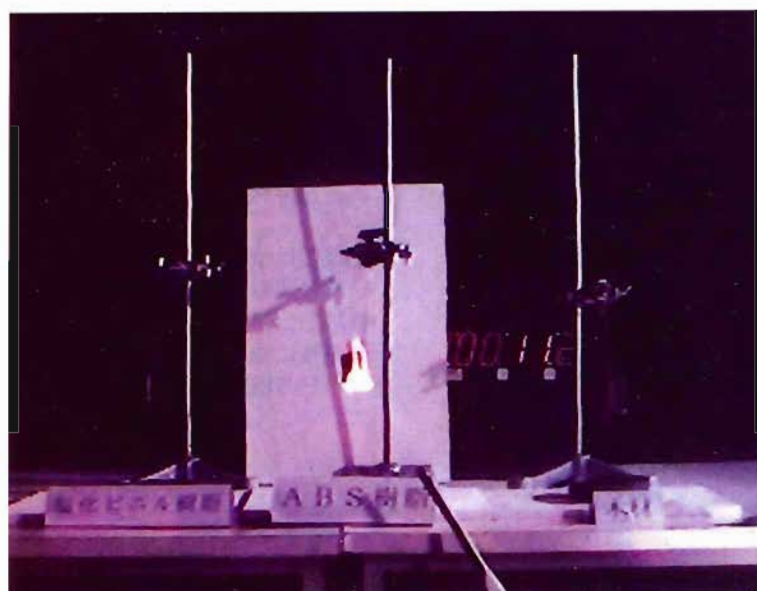


写真17～11.2秒後

- ・ 燃焼性について
ABS樹脂、木材は燃焼を継続したが、塩化ビニル樹脂は立ち消えした。
- ・ 発煙性について
ABS樹脂は煤を伴う黒煙が発生し、木材に比べて煙の発生量は多い。

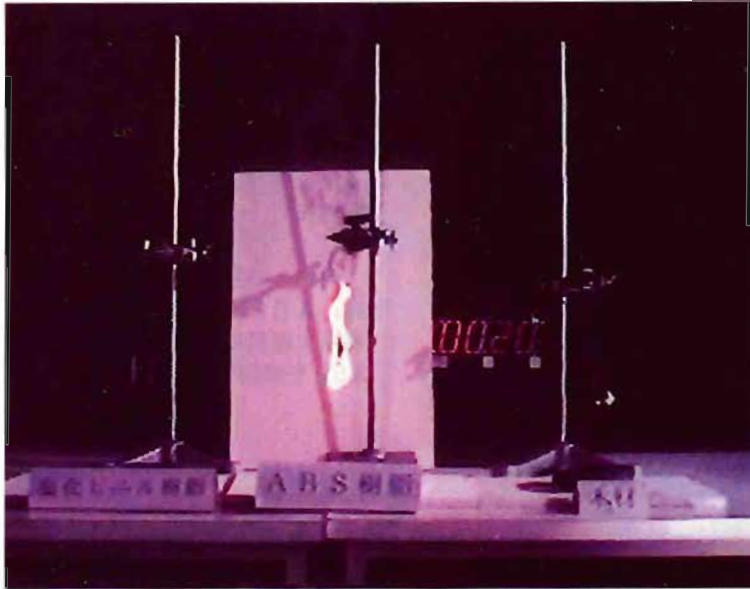


写真18～20秒後

- 燃焼性について
ABS樹脂の燃焼は最大となり、炎に包まれたが、木材の燃焼は緩慢である。
- 発煙性について
ABS樹脂は燃焼が拡大するとともに黒煙の量も増加した。

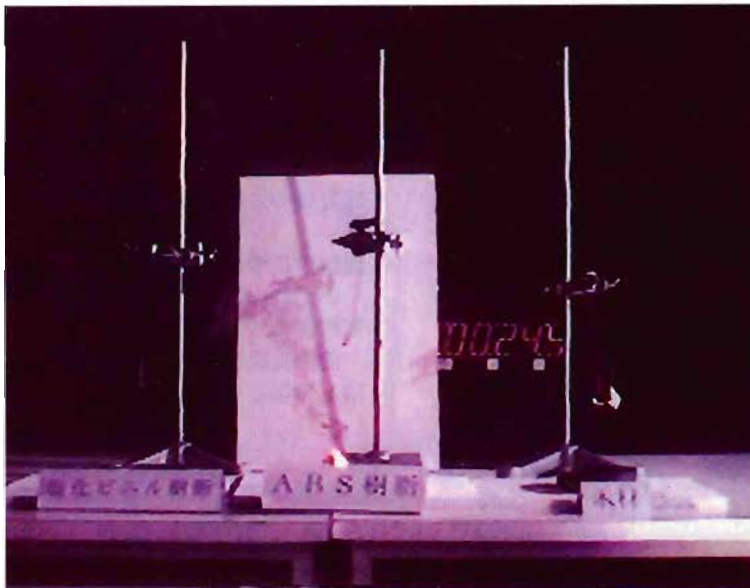


写真19～24.5秒後

- 燃焼性について
ABS樹脂は焼け落ちたが、燃焼は継続した。
木材の燃焼は依然として緩慢である。
- 発煙性について
ABS樹脂は黒煙を発生し続けた。

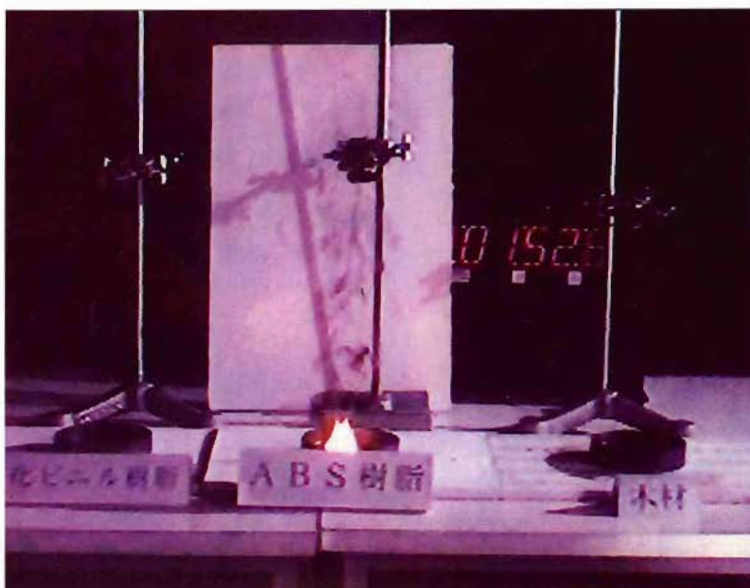


写真20～1分52.6秒後

- 燃焼性について
焼け落ちたABS樹脂の燃焼は継続したが、木材は立ち消えた。
- 発煙性について
ABS樹脂は黒煙を発生し続けた。

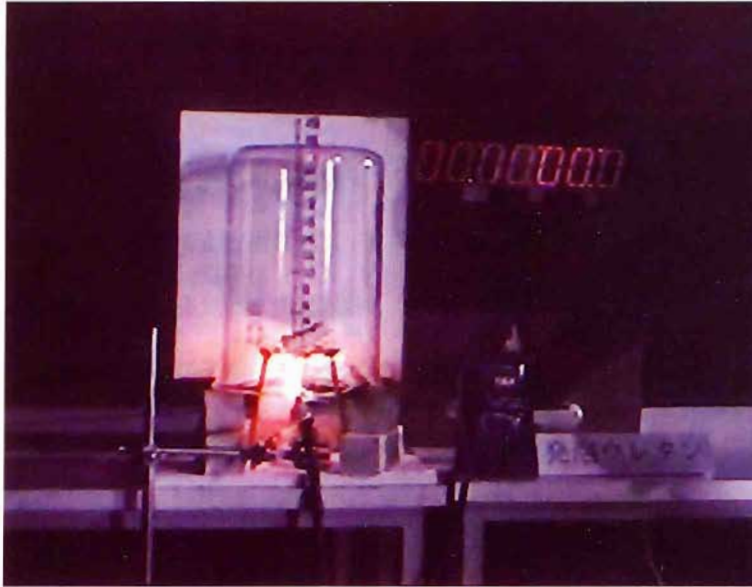


写真21

硬質発泡ウレタン1gを5ℓビーカーに入れ、アルコールランプで接炎状態のまま燃焼し、その発炎状況及び見越し具合を観察した。
※ビーカー内径17cm



写真22～7.4秒後

着火直後に発煙し、煙はビーカー上部から一気に充滿し、後方の目盛りは読めない状態である。

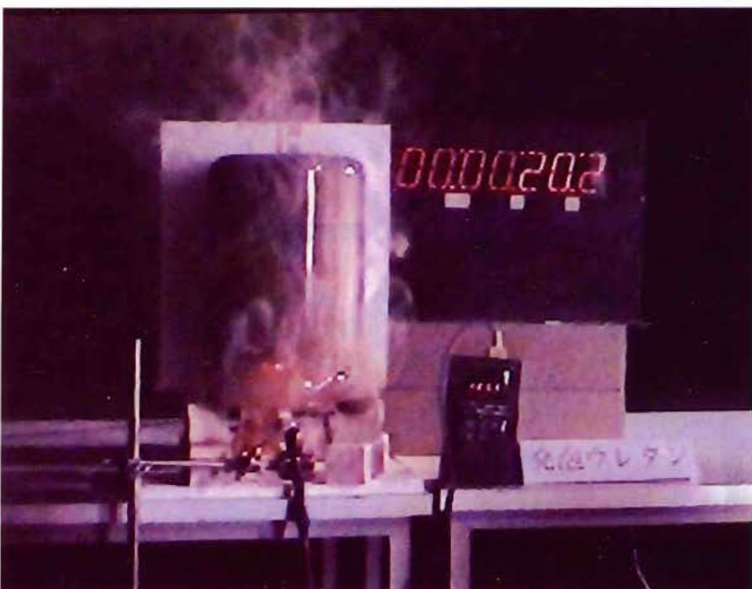


写真23～20.2秒後

煙は完全に充滿し、ビーカーの下方から漏れ出ており、その色は黄褐色である。

ビーカーの表面には茶褐色でタール状のものが付着した。

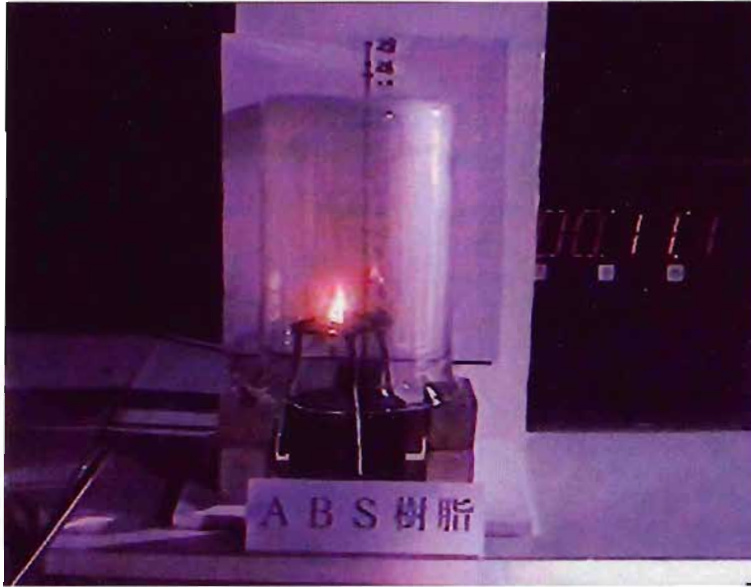


写真24～11.1秒後

ABS樹脂1gを5ℓビーカーに入れ、簡易点火器具で点火後、発煙状況及び見越し具合を観察した。

着火後、若干の黒煙が発生し、上部に滞留した。



写真25～30.4秒後

燃焼は継続するとともに、黒煙が充満し、目盛りは読み取れない状況である。



写真26～3分12.8秒後

試料は殆ど燃え尽き、黒煙が充満するとともに、ビーカーの表面に煤が付着した。

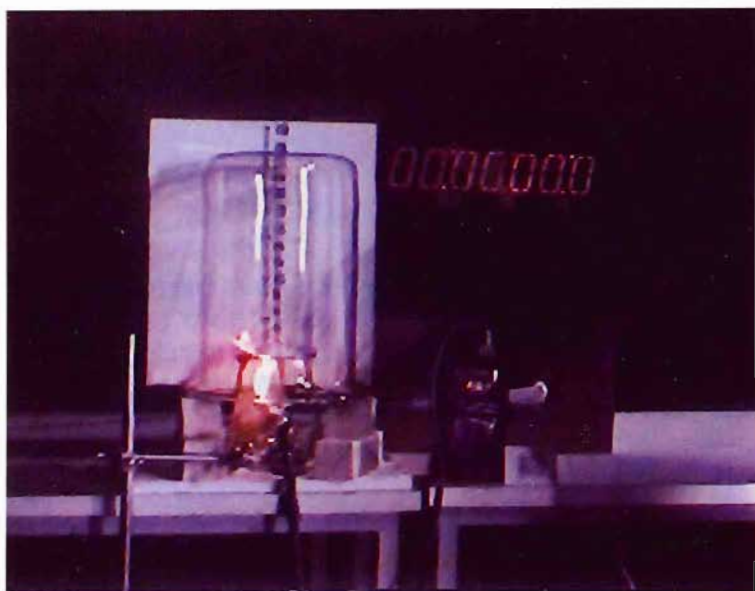


写真27

綿18を5ℓビーカーに入れ、アルコールランプで接炎状態のまま燃焼し、その発煙状況及び見越し具合を観察した。

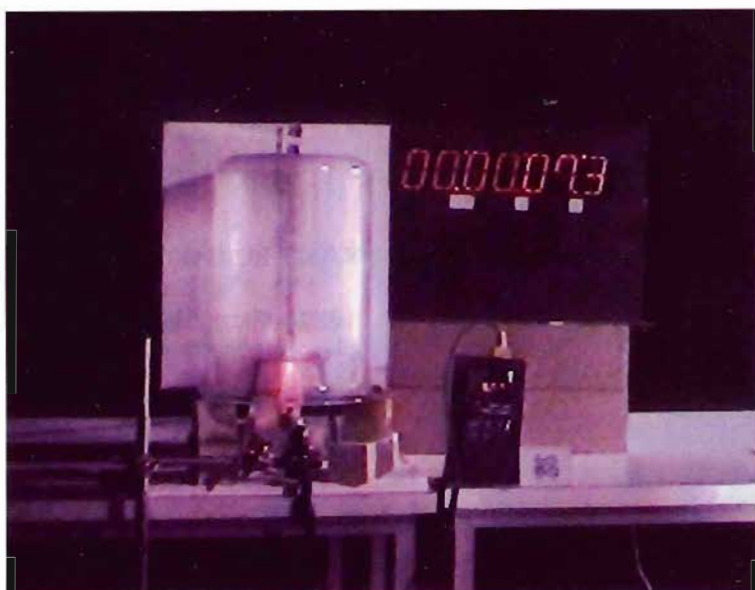


写真28～7.3秒後

着火直後は若干の煙が発生したものの目盛りはまだ読める状態である。

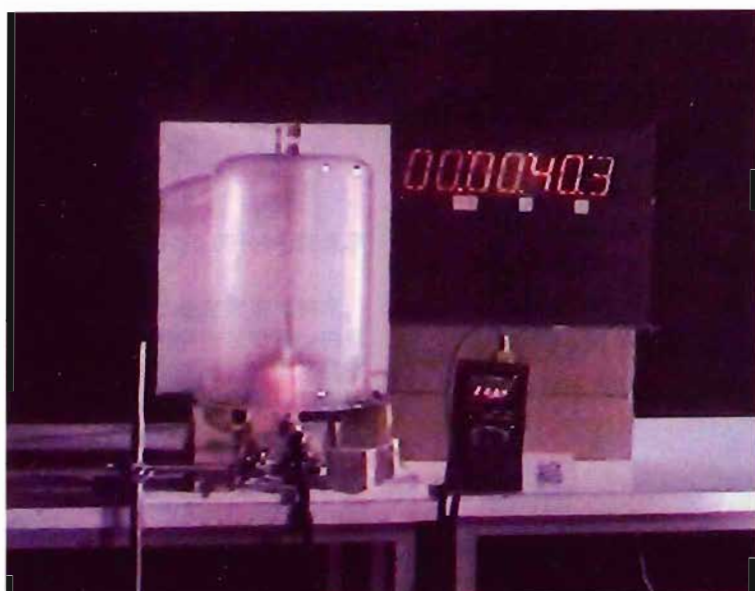


写真29～40.3秒後

写真28より多少見透しは悪くなったが後方の目盛りは見える状態である。

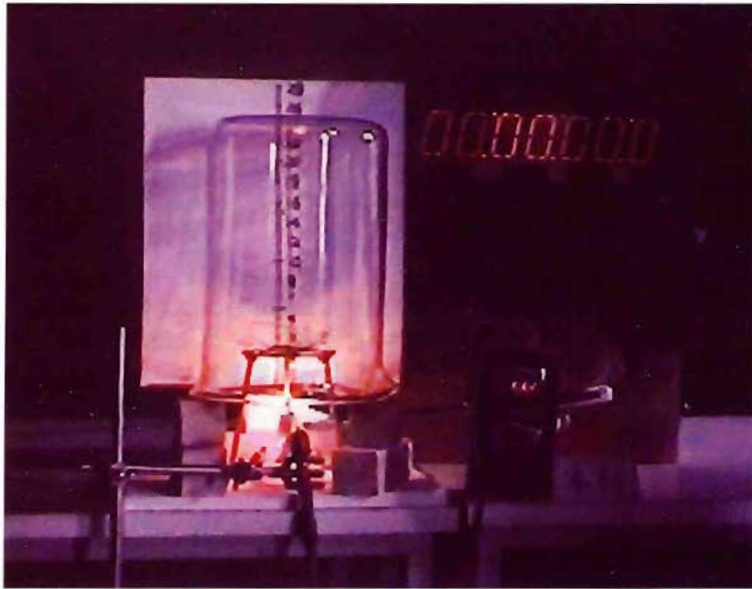


写真30

木材1gを5ℓビーカーに入れ、アルコールランプで接炎状態のまま燃焼し、その発煙状況及び見し具合を観察した。



写真31～20.3秒後

燃焼初期は水蒸気が発生し、ビーカーの表面が若干くもった。



写真32～1分00.4秒後

木材が燃焼するとともに発煙し、青白い煙が若干発生したが目盛りを見透すことができる。

2.2 硬質発泡ウレタン, ABS樹脂, 木毛セメント板 着火実験

電気炉 (内径 6.5cm, 深さ11cm, 容積 365cm³, 写真33) 内に試料を入れ, 分解温度, 着火温度及び重量変化等を測定した。



写真33 試料を燃焼させる電気炉

(1) 硬質発泡ウレタンの着火実験

硬質発泡ウレタン容量 2 cm × 1 cm × 1 cm = 2 cm³
硬質発泡ウレタン重量 約0.06 g (比重0.03)

表1 硬質発泡ウレタンの着火実験

炉内温度℃	○着火 ×未着火	燃焼 発煙時間	重量 減少率	温度上昇 変化状況
180	×	—	—	※分解温度
220	×	—	—	炭化～黒色 徐々に収縮
300	×	—	—	
400	×	75秒	56%	—
450	×	55秒	66%	—
	煙に接炎で着火			
500	×	50秒	83%	—
550	×	35秒	87%	—
560	×	35秒	86%	—
570	×	35秒	87%	—
575	×	35秒	88%	—
580	○	3秒着火	93%	※着火温度
850	○	瞬時着火	98%	—

温度400℃から実施し, 温度上昇に比例して燃焼(発煙)までの時間が徐々に短くなり, 575℃までは約35秒以上かかっていたが, 580℃になると約3秒で着火した。以上の実験結果から発火点は約580℃と推定される。

また, 燃焼後の重量減少率も温度上昇に比例して減少し, 850℃では, そのほとんどが燃えつきた。

(2) ABS樹脂の着火実験

炉内に陶器性のるつぼを入れて実施した。

(試料重量約1 g)

表2 ABS樹脂の着火実験

温度℃	○着火 ×未着火	重量 減少率	着火状況	温度上昇 変化状況
190	×	—	着火しない	※分解温度
240	×	—	着火しない	表面変色～黒へ
320	×	—	着火しない	発煙開始～白煙
400	×	—	着火しない	表面概ね真っ黒
430	×	—	着火しない	煙に接炎で着火
450	×	93.8%	着火しない	煙に接炎で着火
	※	96.1%	煙に接炎で着火	
470	×	93.2%	着火しない	—
480	×	94.7%	着火しない	—
490	×	94.8%	着火しない	—
500	○	98.6%	52秒後に溶け 落ち着火	※着火温度
550	○	98.7%	27秒後に溶け 落ち着火	—
850	○	99.1%	そのまま約2 秒で着火	—

炉内温度450℃から実施し, 450℃から490℃までは着火しなかったが, 500℃で着火し, 温度が上昇すると燃焼までの時間が徐々に短くなり850℃では約2秒で着火した。以上の実験結果から発火点は約580℃と推定される。

また, 燃焼後の重量減少率も温度上昇に比例して減少し, (450℃で煙に火源を近づけ着火した場合の重量減少率は490℃で着火しない場合よりも大きいことから, 着火によりかなり重量が減少することが理解できる。) 850℃では, そのほとんどが燃えつきた。

(3) 木毛セメント板の着火実験

天井の下地材として使用している木毛セメント板(試料重量約1 g)についても同様に実験した。

表3 木毛セメント板の着火実験

温度℃	実験結果	温度上昇変化状況
500	着火しない	——
620	約101秒後に着火	※着火温度
650	約 68秒後に着火	——
700	約 15秒後に着火	——
750	瞬時に着火	——
800	瞬時に着火	——

木毛セメント板について、温度500℃から実施したところ、620℃で着火し、温度が上昇すると燃焼までの時間が徐々に短くなり750℃では瞬時に着火した。650℃までは着火までに時間を要すことから、発火点は700℃から750℃の間と推定される。また、燃焼後はそのほとんどが燃え尽きてしまう。

2.3 煙濃度の測定

本実験は、「JIS K 7228プラスチックの煙濃度及び燃焼ガスの測定方法」に準拠して実施した。(写真34)

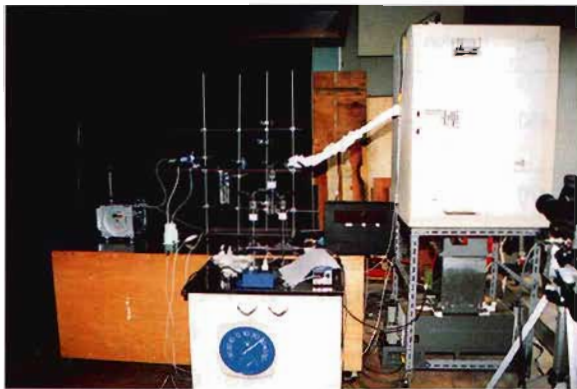


写真34 煙濃度の測定

試料を電気炉に燃焼させ、0.5㎡の集煙箱の中に拡らせ、カドミウム導電セルを使用して測定した。

(1) 硬質発泡ウレタン

硬質発泡ウレタン試料約1gを電気炉に入れ燃焼させ、0.5㎡の箱の中で減光係数、見通し距離、発煙係数を測定した。(写真35)

硬質発泡ウレタンは、高温下の方が煙の発生する量が少ないことがわかった。

表4 硬質発泡ウレタンの煙発生量

温度℃	試料(g)	減光係数(C _s)	見通し距離(m)	発煙係数C _s ㎡/g
450	1.001	0.83	2.38 ~ 4.77	0.41
550	0.880	0.63	3.13 ~ 6.26	0.35
850	0.848	0.17	11.38 ~ 22.77	0.10

(2) ABS樹脂

ABS樹脂試料約4gを電気炉に入れ燃焼させ、0.5㎡の箱の中で減光係数、見通し距離、発煙係数を測定した。(写真36)

ABS樹脂は、高温下の方が煙の発生する量が多いことがわかった。

表5 ABS樹脂の煙発生量

温度℃	試料(g)	減光係数(C _s)	見通し距離(m)	発煙係数C _s ㎡/g
450	3.654	2.43	0.82 ~ 1.64	0.33
550	4.141	2.57	0.77 ~ 1.55	0.31
850	4.351	4.97	0.40 ~ 0.80	0.57

(3) 松材

参考として松材のくん焼状態(450℃)の煙を、0.5㎡の箱の中で減光係数、見通し距離、発煙係数を測定した。

表6 松材の煙発生量

温度℃	試料(g)	減光係数(C _s)	見通し距離(m)	発煙係数C _s ㎡/g
450	1.557	0.53	3.77 ~ 7.55	0.17



写真35 煙濃度の測定

硬質発泡ウレタン試料約1gを電気炉に入れ、それぞれの温度で燃焼させたもの。



写真36 煙濃度の測定

ABS樹脂試料約4gを電気炉に入れ、それぞれの温度で燃焼させたもの。

2.4 シアン化水素の発生状況

(1) 硬質発泡ウレタン

硬質発泡ウレタン試料約1gを電気炉に入れ燃焼させ、0.5m³の箱の中からガスを10ℓ吸入し、水酸化ナトリウム溶液で捕集し、高速液体クロマトグラフでシアン化水素の量を測定した。(写真33, 37)

硬質発泡ウレタンは、高温下の方がシアン化水素が発生する量が多いことがわかった。

表7 シアン化水素の発生状況(硬質発泡ウレタン)

温度 ℃	試料 (g)	残量 (g)	燃焼 (%)	HCN発生量 (mg/g)	HCN発生量 (ℓ/g)
450	1.001	0.109	89.2	2.84	2.36×10^{-3}
550	0.880	0.019	97.8	13.00	10.78×10^{-3}
850	0.848	0.009	98.9	16.08	13.34×10^{-3}

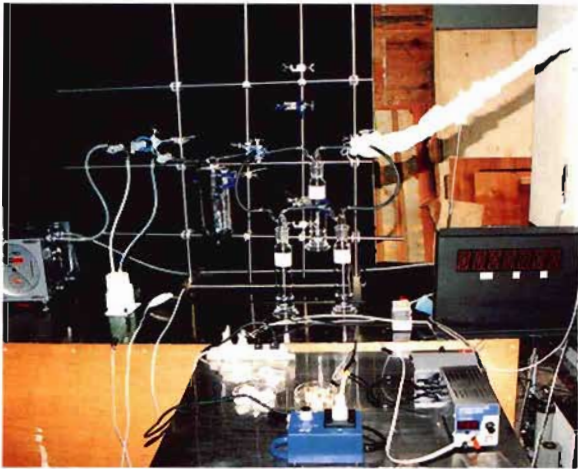


写真37 シアン化水素捕集装置

0.5m³の箱の中からガスを10ℓ吸入し、水酸化ナトリウム溶液で捕集し、高速液体クロマトグラフでシアン化水素を測定した。

(2) ABS樹脂

ABS樹脂約4gを電気炉に入れ燃焼させ、0.5m³の箱の中からガスを10ℓ吸入し、水酸化ナトリウム溶液で捕集し、高速液体クロマトグラフでシアン化水素の量を測定した。

ABS樹脂のシアン化水素の発生は、硬質発泡ウレタンより少なかった。

温度による発生量の差は、硬質発泡ウレタン程度著しくは現れなかった。

表8 シアン化水素の発生状況(ABS樹脂)

温度 ℃	試料 (g)	残量 (g)	燃焼 (%)	HCN発生量 (mg/g)	HCN発生量 (ℓ/g)
450	3.654	0.135	96.3	7.17	5.95×10^{-3}
550	4.141	0.079	98.1	2.01	1.67×10^{-3}
850	4.351	0.086	98.0	3.02	2.51×10^{-3}

本火災では、硬質発泡ウレタン235kg及び、ABS樹脂218kgが燃焼したことから、最大4.4kgのシアン化水素が大気中に放出されたことになる。

表9 硬質発泡ウレタン(235kg)のシアン化水素総発生量

温度 ℃	HCN発生量 (重量) g	HCN発生量 (体積) ℓ
450	668	554
550	3,054	2,534
850	3,778	3,134

表10 ABS樹脂(218kg)のシアン化水素総発生量

温度 ℃	HCN発生量 (重量) g	HCN発生量 (体積) ℓ
450	1,564	1,297
550	438	363
850	659	547

表11 硬質発泡ウレタン235kg及びABS樹脂218kgが燃焼した場合のシアン化水素の発生量

温度 ℃	HCN発生量 (重量) g	HCN発生量 (体積) ℓ
450	2,231	1,851
550	3,491	2,897
850	4,437	3,681

2.5 一酸化炭素の発生状況

(1) 硬質発泡ウレタン

硬質発泡ウレタン試料約1gを電気炉に入れ燃焼させ、0.5m³の箱の中からガスを連続吸入し、燃焼排ガス分析計により一酸化炭素の量を測定した。

また、重量変化も測定した。

表12 硬質発泡ウレタンからのCO発生量

温度 ℃	試料 (g)	残量 (g)	燃焼 (%)	CO濃度 (ppm)	CO発生量 (mg/g)	O ₂ 濃度 (%)
450	1.379	0.202	85.4	99.0	44.9	20.7
550	1.391	0.047	96.6	285.0	128.0	20.5
850	1.293	0.008	99.4	166.0	80.3	20.2

(2) ABS樹脂

ABS樹脂試料約4gを電気炉に入れ燃焼させ、0.5m³の箱の中からガスを連続吸入し、燃焼排ガス分析計により一酸化炭素の量を測定した。

また、重量変化も測定した。

表13 ABS樹脂からのCO発生量

温度 ℃	試料 (g)	残量 (g)	燃焼 (%)	CO濃度 (ppm)	CO発生量 (mg/g)	O ₂ 濃度 (%)
450	3.898	0.153	96.1	552	83.7	19.6
550	3.714	0.075	98.0	537	90.4	19.6
850	3.522	0.070	98.0	300	53.2	19.8

(1)及び(2)の実験も酸素が多い状況下で測定しており、参考データである。

後述の区画模型による燃焼実験では、2～4%の一酸化炭素が発生した実験結果がでている。

2.6 燃焼時の注水による影響

(1) 硬質発泡ウレタン150gをプロパンバーナーで点火後、途中から注水(毎分5ℓ)し、燃焼の状況を確認した。(写真38-①～⑥)

肉眼では確認しがたいが、ビデオのスロー再生により、注水した瞬間に炎の拡大現象が見られた。

燃焼速度は、プラスチックより速い。

消火に困難性は感じられなかった。



写真38 燃焼時の注水による影響

硬質発泡ウレタン150gをプロパンガスバーナーで点火後、途中から注水（毎分5ℓ）し燃焼の状況を確認した。

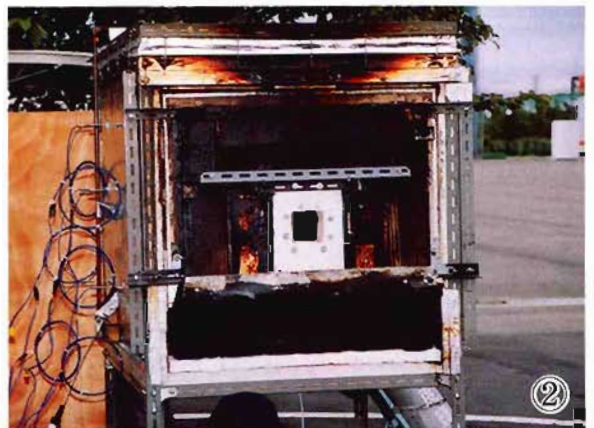
(2) プラスチック類（洗濯機、掃除機等）1kgをプロパンバーナーで点火後、途中から注水し、（毎分5ℓ）燃焼の状況を確認した。

注水した瞬間に炎の拡大現象が発生し、特に液状に滴下し燃焼しているもの（プール火炎）に注水すると顕著な炎の拡大現象（ファイアーボール）が見られた。

このファイアーボールは、高温燃焼面に当たった水の急激な蒸発が、燃料を飛散させることにより生じるものと考えられている。

このファイアーボール現象は、区画模型による実験においても確認できた。（写真42-⑫～⑭）

注水部分は消火できるが、水の当たっていない部分は燃焼が継続し、消火に困難性を感じた。



燃 焼 中



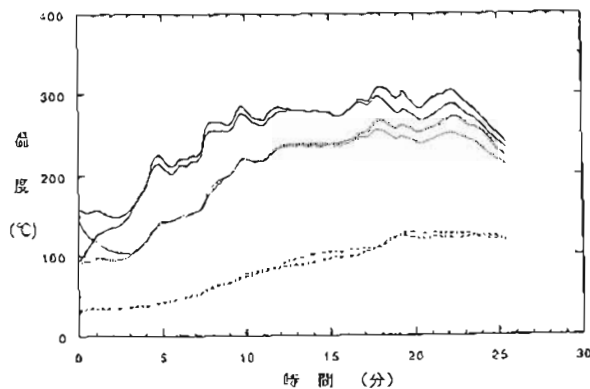
燃 焼 後

2.7 区画模型による燃焼実験

(1) 段ボール278.8g、プラスチック類（テレビ、掃除機等）392gを0.716㎡の箱の中で燃焼させ、温度変化（6点）、二酸化炭素、一酸化炭素、酸素濃度の変化を測定した。

なお、この実験で使用した区画模型は、札幌市消防科学研究所報 NO.2「バックドラフトに関する研究」で使用したものである。（写真39）

燃焼材の量が少なく300℃前後までしか、温度が上昇しなかった。しかし、高さ方向の温度差が顕著に現れた。（図1参照）



——— 区画奥上段 ——— 区画中央上段
 ——— 区画奥中段 - - - 区画中央中段
 - - - 区画奥下段 - - - 区画中央下段

図1 区画模型による燃焼実験温度変化

写真39 区画模型（0.716㎡）による燃焼実験(1)

段ボール278.8g、プラスチック類（テレビ、掃除機等）392gを区画模型内で燃焼させ、温度変化、二酸化炭素、一酸化炭素、酸素濃度の変化を測定した。

燃烧材の量が少ないにもかかわらず、酸素濃度が5%以下になった。(図2参照)

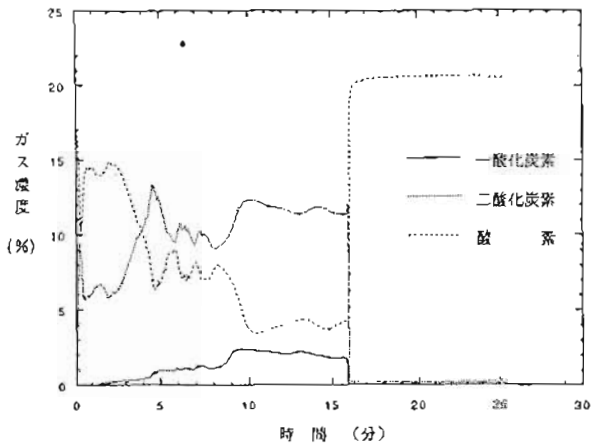


図2 区画模型による燃烧実験ガス濃度変化

(2) 段ボール771.8g, プラスチック類(テレビ, 掃除機等) 5,492gを0.716m³の箱の中で, 開口部が少ない状態で燃烧させ, 温度変化(6点), 二酸化炭素, 一酸化炭素, 酸素濃度の変化を測定した。

(写真40-①~④)

着火から83分後, 上部から注水した。

燃烧材は出火室を想定し多量に燃やしたが, 開口部が小さいためか, 600℃までしか温度が上昇しなかった。

燃烧時間が長く90分間を費やした。

83分後に上部から注水した結果, 瞬間的に150~350度の温度上昇をして温度急降下の現象が確認できた。(図3及び図4参照)



燃 焼 中



燃 焼 中



燃 焼 後

写真40 区画模型(0.716m³)による燃烧実験(2)

段ボール771.8g, プラスチック類(テレビ, 掃除機等) 5,492gを区画模型内で燃烧させ, 温度変化, 二酸化炭素, 一酸化炭素, 酸素濃度の変化を測定した。(開口部が小さい状態)

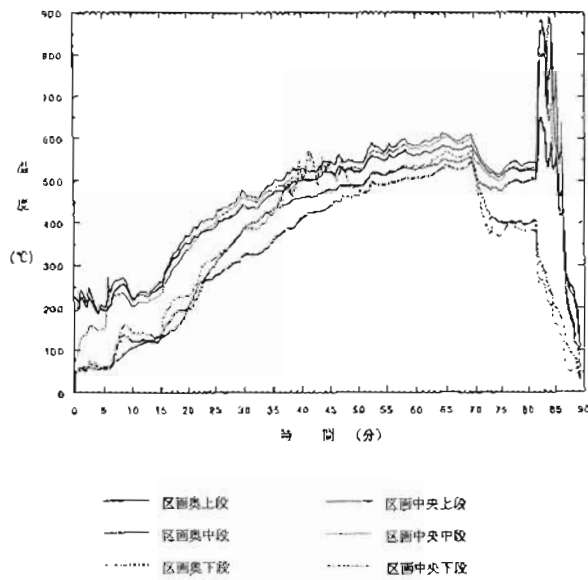


図3 区画模型による燃焼実験温度変化

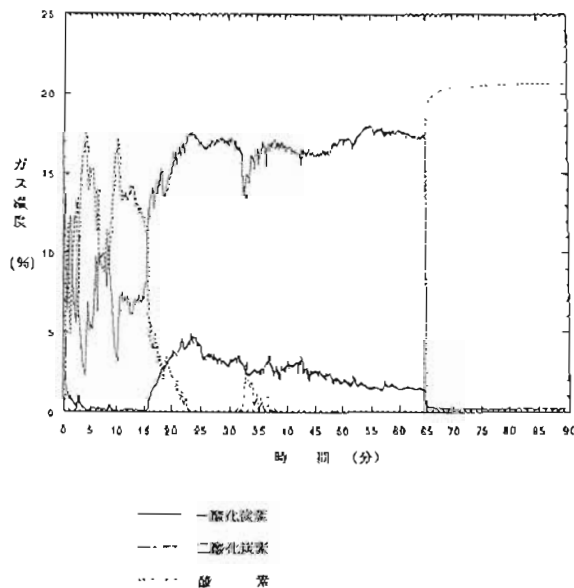


図4 区画模型による燃焼実験ガス濃度変化

(3) 段ボール964.4g, プラスチック類(テレビ, 掃除機等) 5,492g 及び硬質発泡ウレタン(側壁50×40cm, 天井50×50cm) 266g を0.716m³の箱の中で開口部がやや大きい状態で燃焼させ, 温度変化(5点), 二酸化炭素, 一酸化炭素, 酸素濃度の変化を測定した。(写真41-①~⑥)

途中で注水したり, 開口面積を変え燃焼変化を観

察した。

燃焼材の量は, (2)に硬質発泡ウレタンを加えているが, 開口部が大きいため, 燃焼が速く(2)の実験の2/3の時間で実験が終了した。

開始後, 13分~14分の温度の急上昇は注水によるもので, 瞬間的に150度温度が上昇している。(図5及び6参照)

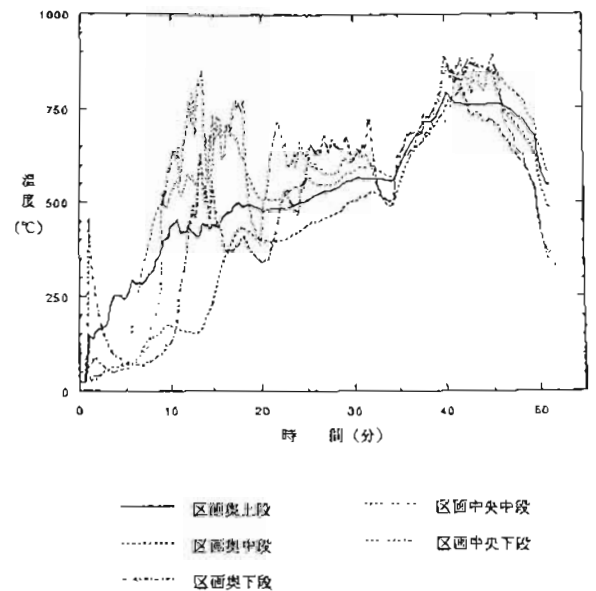


図5 区画模型による燃焼実験温度変化

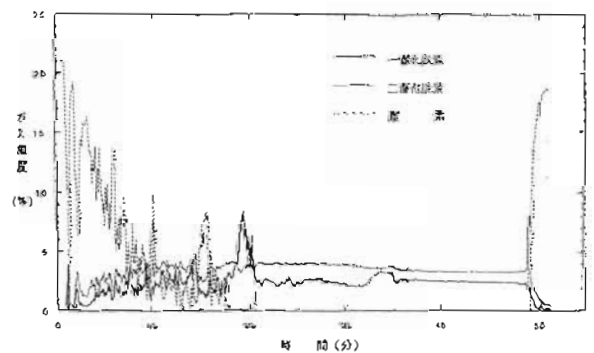
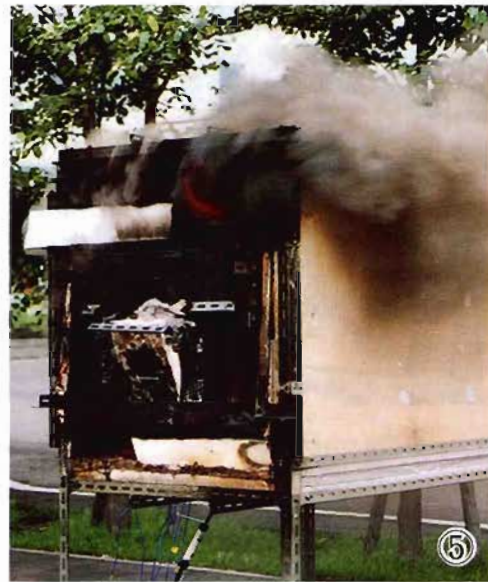


図6 区画模型による燃焼実験ガス濃度変化



燃 焼 中



燃 焼 中



燃 焼 後

写真41 区画模型 (0.716 m³) による燃焼実験(3)

段ボール964.4 g, プラスチック類 (テレビ、掃除機等) 5,492 g を区画模型内で燃焼させ、温度変化、二酸化炭素、一酸化炭素、酸素濃度の変化を測定した。(開口部が大さい状態)

(4) 段ボール708 g, プラスチック類 (テレビ, 掃除機等) 5,492 g 及び硬質発泡ウレタン (側壁41×61 cm, 天井50×50 cm) 301 g を0.716 m³ の箱の中で, 一面開放状態で燃焼させ, 写真及びビデオ撮影した。
(写真42-①~③)

途中で注水し燃焼変化を観察した。

硬質発泡ウレタンは, 黄色い煙を放出し猛烈な勢

いで燃焼する。一方プラスチックは, 液状になり滴下しながら, 黒煙をあげ継続燃焼する。

途中で注水した時, 急激な炎の拡大現象 (ファイアーボール) を肉眼でも十分確認することができた。

なお, 一面開放状態のため, 燃焼は速く20分で実験は終了した。



写真42 (①~③) 区画模型 (0.716 m³) による燃焼実験(4)

段ボール708 g, プラスチック類 (テレビ, 掃除機等) 5,492 g 及び硬質発泡ウレタン (側壁41×61 cm) 301 g を区画模型内で燃焼させ, 写真及びビデオ撮影した。(一面開放状態)

硬質発泡ウレタンは, 黄色い煙を放出し猛烈な勢いで燃焼する。



写真42 (④～⑨) 区画模型 (0.716 m^3) による燃焼実験(4)

段ボール708g, プラスチック類 (テレビ, 掃除機等) 5,492g 及び硬質発泡ウレタン (側壁41×61cm) 301g を区画模型内で燃焼させ, 写真及びビデオ撮影した。(一面開放状態)

硬質発泡ウレタンは, 黄色い煙を放出し猛烈な勢いで燃焼する。一方プラスチックは液状になり滴下しながら, 黒煙をあげ継続燃焼する。



写真42 (10~15) 区画模型 (0.716 m³) による燃焼実験(4)

段ボール708 g, プラスチック類 (テレビ, 掃除機等) 5,492 g 及び硬質発泡ウレタン (側壁41×61cm) 301 g を区画模型内で燃焼させ, 写真及びビデオ撮影した。(一面開放状態)

途中で注水した時, 急激な炎の拡大現象を肉眼でも十分確認することができる。

4 まとめ

建物内の可燃物は、従来の木質系から、プラスチック系に大幅に転換し、これらは日用品を始めとして、衣類から電化製品、新建材等の建築材料に及び、また省エネ対策として断熱材を多く使用するようになり、高気密、高断熱の建築物が普及してきている。

このような、建築物で火災が発生した場合、多量の煙と有毒ガスが室内に充満することになる。

本実験においては、硬質発泡ウレタンとABS樹脂に注目し、燃焼状況、着火実験、煙の発生量、シアン化水素の発生状況、消火実験等を行い、殉職事故に至った特異な燃焼現象の解明を試み、消防活動の困難性が極めて高い火災であったという結論に達した。

今後においても、特異な燃焼現象の知識の習得や消火技術の熟知、情報収集等を図る必要があることを痛感した。

なお、本実験を行うに当たり、「豊平区美しが丘火災特別調査委員会」に参画し、多数の助言及び協力を頂いた北海道大学工学研究科 早坂 洋史助教授、横山 貞太郎助教授に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 札幌市消防局豊平区美しが丘電器店火災特別調査委員会 「豊平区美しが丘電器店火災に関する調査・報告書」(1998)
- 2) 村上 保富 「新興海陸運輸倉庫爆燃火災の概要」火災 Vol.28 No.2 (1978)
- 3) 東京消防庁消防科学研究所監修 「火と煙と有毒ガス」東京法令出版(株)
- 4) JIS K 7228-1987 プラスチックの濃度及び燃焼ガスの測定方法 解説
- 5) 高橋 哲 「プラスチックの水及び二酸化炭素による消火」火災 Vol.40 No.2 (1990)
- 6) 名古屋消防局地下鉄栄駅変電室火災事故対策委員会 「地下鉄栄駅変電室火災に関する報告書」(1983)
- 7) 札幌市消防科学研究所報No.2 (1995)「火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について」

放水音，空気呼吸器警報音及びレスクトーン警報音の調査について

Research on Water Spray Sounds, Air Respirator Alarm Sounds and Rescue Tone Alarm Sounds

菅原 法之*
Sugawara Noriyuki
田岡 敏正**
Taoka Toshimasa

要 約

災害現場の活動時に空気呼吸器の警報音が放水音や他の騒音等により聞こえにくくなる現象が発生した。このため，消防科学研究所において放水音，空気呼吸器警報音及びレスクトーン警報音などの調査を行い，災害現場における影響などを考察した。

Summary

A phenomenon was observed in which the alarm sound of an air respirator was drowned out by noises such as the water spray sound at the site of a fire disaster while fire-fighting activities were conducted. Because of this phenomenon, the Fire Fighting Science Institute conducted research regarding water spray sounds, air respirator alarm sounds and rescue tone alarm sounds, and examined the effect these sounds had on each other at disaster sites.

1 はじめに

店舗兼倉庫火災において空気呼吸器を使用した際，空気呼吸器の警報の音が，放水音や現場騒音などにより聞こえにくくなる現象が発生した。

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に，消防隊2隊の協力を得て，実際に消防隊員が空気呼吸器を着装し，放水を行い，空気呼吸器警報音及び放水音の測定実験を実施した。

また，これに併せて，現場に配置されているレスクトーン警報音の測定も実施した。

その結果，災害現場における空気呼吸器及びレスクトーン使用時における，これらの警報音の特性や注意点を把握することができた。

なお，この実験の空気呼吸器は最高充てん圧力14.7 MPa (150kgf/cm²)のボンベ及び呼吸器（ハーネス）を使用した。

2 実験の目的

災害現場における騒音下での防ぎょ活動時の空気呼吸器警報音及びレスクトーン警報音の状況，可聴範囲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 空気呼吸器警報器について

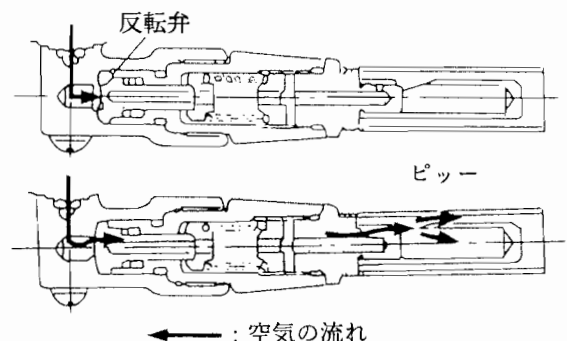
警報器は，ホイッスル方式で圧力指示計と圧力指示計導気管の接続部から分岐されている。

警報器の作動圧力は2.94MPa±0.49MPa (30kgf/cm²±5 kgf/cm²)に設定されており，構造は図1のとおりである。ボンベ圧力が高い時は反転弁が反転弁座を押し付け，通気回路を閉鎖しているため警報を発しない。

しかし，ボンベ圧力が2.94MPa±0.49MPa (30kgf/cm²±5 kgf/cm²)以下になると，反転弁座を押し付けるバネの力の作用で反転弁を反転させ通気回路を開放して，笛の部分に空気を送り警報音を発する。

(図1参照)

なお，残圧が約6.9MPa (70kgf/cm²)以下のポンペを最初から使用すると反転弁が完全に反転しないため，使用と同時に警報が鳴動し続ける。



← : 空気の流れ

図1 空気呼吸器警報器の構造

* 消防科学研究所

** 東消防署警防課丘珠出張所

4 測定内容

4.1 測定日

平成9年6月27日(金)

4.2 測定場所、時間

- (1) 消防科学研究所事務所 10時00分～12時00分
 (2) 研究開発課備蓄倉庫 13時00分～17時00分

4.3 測定機器

普通騒音計LA-215型(株式会社 小野測器製)

4.4 測定項目

(1) 測定場所～消防科学研究所事務所

- ア 室内平常音
 イ レスクトーン警報音
 ウ 空気呼吸器警報音
 エ 空気呼吸器警報器半分水没時警報音
 オ 空気呼吸器警報器全部水没時警報音

(2) 測定場所～研究開発課備蓄倉庫

- ア 車庫内平常音
 イ ポンプ圧0.29MPa(3kgf/cm²)で棒状放水
 ウ ポンプ圧0.29MPa(3kgf/cm²)で噴霧放水
 エ ポンプ圧0.39MPa(4kgf/cm²)で棒状放水
 オ ポンプ圧0.39MPa(4kgf/cm²)でコンパネ(離隔距離2.3m)へ棒状放水
 カ ポンプ圧0.39MPa(4kgf/cm²)でコンパネ(離隔距離2.3m)へ噴霧放水
 キ 空気呼吸器警報音のみ(筒先補助員背負い)
 ク 空気呼吸器警報音(警報器にめがけて放水した)
 ケ ポンプ圧0.39MPa(4kgf/cm²)でコンパネ(離隔距離2.3m)へ棒状放水+空気呼吸器警報音(筒先補助員背負い)
 コ ポンプ圧0.39MPa(4kgf/cm²)で棒状放水+空気呼吸器警報音(筒先補助員背負い)
 サ ポンプ圧0.49MPa(5kgf/cm²)で2線同時棒状放水
 シ ポンプ圧0.49MPa(5kgf/cm²)で2線同時コンパネ(離隔距離2.3m)へ棒状放水
 ス ポンプ圧0.39MPa(4kgf/cm²)で棒状放水+空気呼吸器警報音(筒先補助員背負い)～測定位置しころ付ヘルメットの中
 上記の放水形態

※1 イ～カ、ク～コ、ス

65mmホース2本+50mmホース1本+50mm筒先

※2 サ、シ

65mmホース2本+二又分岐金具+50mmホース

各1本+各50mm筒先

5 測定結果

表1 通常時における警報音測定(水没時も含む)

単位: dB(デシベル)

	測定状況	測定値
ア	室内平常音	37.0
イ	レスクトーン警報音	111.7
ウ	空気呼吸器警報音	106.4
エ	空気呼吸器警報器半分水没時警報音	93.0
オ	空気呼吸器警報器全部水没時警報音	72.4

※1 測定場所～消防科学研究所事務所

※2 レスクトーン警報音及び空気呼吸器警報音の測定場所は30cm離隔した位置である

※3 エ、オについては空気呼吸器警報音である識別は不可能である(水中のブクブク音)。

表2 測定離隔距離の変化に伴う警報音測定

単位: dB(デシベル)

測定距離	空気呼吸器1回目測定値	空気呼吸器2回目測定値	空気呼吸器警報音平均値	レスクトーン測定値
0m	102.0	99.0	100.5	109.6
1m	89.0	93.8	91.4	98.7
2m	85.0	88.5	86.8	92.9
3m	82.0	87.9	85.0	92.3
4m	80.0	86.6	83.3	90.5
5m	77.0	83.0	80.0	86.8
10m	75.0	82.4	78.7	86.0
15m	70.0	75.4	72.7	83.4
20m	67.0	71.9	69.5	82.1

※1 測定場所～研究開発課備蓄倉庫

※2 20m離れても空気呼吸器警報音及びレスクトーン警報音ともすべて聞こえ識別できた。

表3 放水音のみの測定

ポンプ圧力	1線放水状況	2線放水状況	放水内容	騒音計測定値(dB)
0.29	3 棒状	-	通常放水～障害物等なし	76.9
0.29	3 噴霧	-	通常放水～障害物等なし	75.6
0.39	4 棒状	-	通常放水～障害物等なし	78.5
0.39	4 棒状	-	筒先前方約2.3mのコンパネに放水的中	83.9
0.39	4 噴霧	-	筒先前方約2.3mのコンパネに放水的中	76.5
0.49	5 棒状	棒状	通常放水～障害物なし	84.6
0.49	5 棒状	棒状	筒先前方約2.3mのコンパネに放水的中	82.7

※1 測定場所～研究開発課備蓄倉庫(倉庫内の平常音は53.0dBである)。

※2 測定位置は筒先から約1m離れた位置である。なお、2線同時に放水した場合の測定位置は片方のいずれかの筒先から約1m離れた位置である。

※3 噴霧放水の角度は60°(ノズル表示)である。

表4 放水音+空気呼吸器警報音（空気呼吸器は筒先補助員が背負い吹鳴）の測定

ポンプ圧力		放水状況	放水内容	騒音計測定値 (dB)	空気呼吸器警報音について	
MPa	kgf/cm ²				筒先員	筒先補助員
0.39	4	棒状	通常放水～障害物等なし	91.4	筒先補助員との離隔距離3mまでなら聞こえる	聞こえる
0.39	4	棒状	筒先前方約2.3mのコンパネに放水中	90.4	聞こえない	聞こえる

※1 測定位置は空気呼吸器警報音から約1m離れた位置である。
 ※2 空気呼吸器警報音のみは95.5dBである。

表5 ポンプ圧0.49MPa（5kgf/cm²）・2線同時放水（1線棒状、2線噴霧）で1線筒先員が吸気呼吸器警報音を吹鳴させた場合（1線筒先員と2線筒先員の離隔距離は約2m）

1線放水状況	2線放水状況	放水内容	空気呼吸器警報音について	
			1線筒先員	2線筒先員
棒状	噴霧	1線筒先員の背中に2線を放水し当てた	聞こえる	聞こえない
棒状	噴霧	1線筒先員の空気呼吸器警報器に2線を放水し当てた	聞こえない	聞こえない
棒状	噴霧	1線筒先員を包むように2線を放水した	聞こえない	聞こえない

6 まとめ

今回の測定では、空気呼吸器を災害現場で装着し、放水防ぎをした場合の空気呼吸器警報音及びレスクトーン警報音の調査を実施した。

空気呼吸器・レスクトーン警報音及び放水音と日常生活での色々な音とを比較（図2参照）すると、レスクトーン警報音は、けたたましい警笛と同じ、空気呼吸器警報音は、鉄道高架線ガード下からトラックの音・鉄道トンネルの車内音と同じ、放水音は昼間の繁華街とそれぞれ同じ位の騒音であることがわかる。いずれも、それぞれ単独ではかなりの騒音ではあるが、今回の実験結果をみると、放水時は放水音により空気呼吸器警報音は筒先員補助員はもとより、筒先員本人でさえ聞こえなくなることが判明した。これが火災現場ともなると、精神的にも緊迫した状況下に追い込まれ、さらに、他の災害の騒音などにより、空気呼吸器警報音を障害する要因も増加することから、より一層の精神集中が必要となり、安全管理等に十分配慮しなければならない。



- ※1 ①～ポンプ圧力0.39MPa（4kgf/cm²）でコンパネへ棒状放水した場合
- ※2 ②～ポンプ圧力0.39MPa（4kgf/cm²）で棒状放水した場合
- ※3 ③～ポンプ圧力0.39MPa（4kgf/cm²）でコンパネへ噴霧放水した場合
- ※4 ④～ポンプ圧力0.39MPa（4kgf/cm²）でコンパネへ棒状放水し、筒先補助員が空気呼吸器を背負い空気呼吸器警報音を吹鳴した場合
- ※5 ⑤～ポンプ圧力0.39MPa（4kgf/cm²）で棒状放水し、筒先補助員が空気呼吸器を背負い空気呼吸器警報音を吹鳴した場合

図2 警報音及び放水音の日常生活での音との比較

今後は隊長はもとより隊員各自が、これらの可聴範囲を把握し、消防活動の安全性について十分認識することが必要であろう。

当研究所においても、さらに分析を重ねた研究が必要であるが、今回の測定実験により空気呼吸器警報音について基礎データを蓄積することができた。

【参考文献】

- 1) 「騒音・振動」安全工学協会編 安全工学講座9
- 2) 「消防機器便覧」II 東京消防庁装備部監修 東京消防機器研究会 東京法令出版株式会社

バックドラフトに関する研究（その4）

区画模型開口部における流出流入速度の測定

Research of Backdraft (No. 4)

Measurement of Inflow and Outflow Velocities at the Opening of Compartment Models

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

要 約

高気密性住宅の居室規模の火災において発生する可能性のある、バックドラフトの発生性状を把握するため、側面を耐火耐熱ガラスにした区画模型の開口部に2方向管を設置して、空気や燃焼ガス、煙などの出入り状況を把握するため、開口部における気流の流速測定を行いながら燃焼実験を実施した。

この結果、火炎の急激な噴出発生前に、開口部の気流流速の増加と減少が観測された。

Summary

To understand the properties of backdraft generation which could occur as a result of living room-sized fires in highly airtight houses, combustion experiments were conducted using compartment models equipped with an opening, and fireproof heat-resistant glass on their sides. To clarify the inflow and outflow conditions of air, combustion gas and smoke, two-way tubes were installed at the opening and draft velocities were measured.

As a result, increases and decreases of the draft velocities were observed at the opening before the flames rapidly blasted outwards.

1 はじめに

消防科学研究所では、高気密性住宅における火災で発生する可能性のある、バックドラフト現象の発生性状を把握するため、平成6年度から開口部を有する区画模型を製作し実験を行ってきた。

その結果、平成6年度はバックドラフト現象を再現することに成功し、開口部から繰り返し火炎が噴出する現象が確認されて、内部の温度及び酸素濃度変化等のデータが得られた。

また、平成7年度は内部の燃焼状況を観察できるように、側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置した区画模型を製作し、バックドラフト現象が発生する直前及び直後の内部の火炎状況を捉えることに成功するとともに、燃焼速度、温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び二酸化炭素濃度の変化のデータが得られた。

さらに、平成8年度は内部の可燃性ガス等がバックドラフト現象の発生に関係していると思われることか

ら、可燃性ガスの全炭化水素濃度及び、その成分としてメタン濃度を測定した。その結果として実火災においてバックドラフト現象が発生した時の、ファイアーボールによる被害の予測を行うことができ、併せて燃焼形態の異なる次の3種類の火炎が区画模型内において観測された。

- (1) 区画模型内部を、ゆっくりとたなびくように動く、比較的暗い火炎（ゴースティング火炎）。
- (2) 急激な火炎の噴出直後に発生した、開口部を塞ぐように燃焼する火炎（開口部付着火炎）。
- (3) 開口部から流入する外気と押し合うように、区画模型内部で活発に動く火炎。

これらの火炎は、区画内部で発生する高温ガスと、流入する外気の圧力バランスの変化により、火炎の位置や形態が変化しながら発生していると考えられることから、「バックドラフトに関する研究（その3）札幌市消防科学研究所報1997 No. 4」（以下「前報」という。）では、開口部からの空気の出入りや、区画模型内部の圧力変化を測定して内部の燃焼状態との関係を解明する必要があることを報告した。

* 消防科学研究所
** 北海道大学工学部
*** 北海道大学大学院工学研究科

以上のことを踏まえて今年度は、開口部における空気の出入り状況を測定するために2方向管を作成し、前報と同じ区画模型の開口部における気流の流速測定を行ったので、この結果を報告する。

なお、今回の実験は北海道大学大学院工学研究科空間形態学講座との共同研究として行ったものである。

2 実験の目的

前報と同様の前面に開口部を設けた区画模型を用いて燃焼実験を行い、内部の燃焼状況及び温度分布変化、酸素濃度や可燃性ガス濃度等の変化、さらに開口部における気流の流速変化を測定することにより、開口部からの空気や燃焼ガスの出入り状況を把握し、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、バックドラフト現象の発生メカニズムを解明して消火活動の安全性及び警防戦術の向上に資することを目的とする。

3 実験の内容

3.1 日時

平成10年2月18日(水) 13時00分～16時30分

3.2 場所

西区八軒10条西13丁目
消防科学研究所 燃焼実験室

3.3 温度及び湿度

室温24℃, 湿度50%

3.4 実験の方法

前報と同じ区画模型(図1)を用いて、同じ要領でラワン材を燃焼材(短冊状のラワン材(20mm×20mm×200mm)2.0kgを井桁状に組み込んだもの～以下「クリブ」という。)として実験を行い、内部の燃焼状況を観測しながら、開口部における気流の流速変化及び燃焼速度、区画模型内部の温度分布変化を測定した(図2)。

なお、開口部における気流の流速変化は作成した2方向管により測定を行った。また、燃焼速度、温度分布変化の測定は前報と同じ装置で同じ方法により行った。

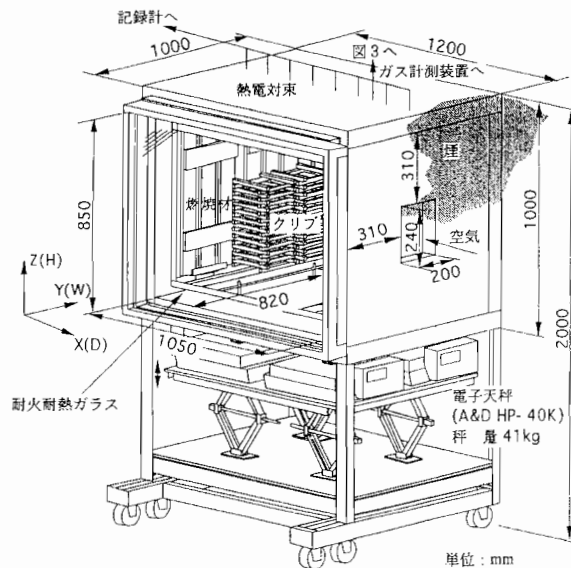


図1 区画模型外観

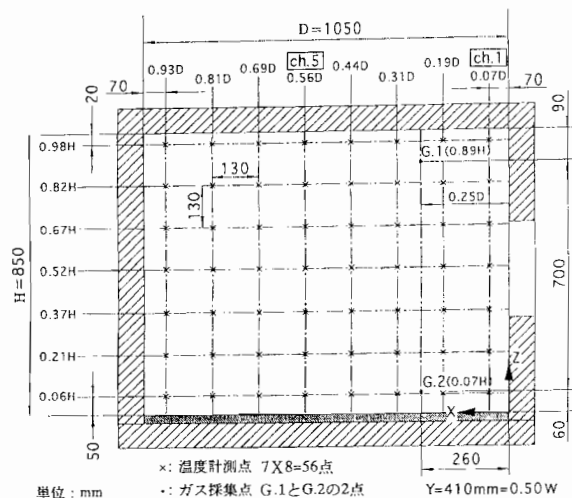


図2 測定点位置

3.5 区画模型の概要

(1) 寸法

内寸は、高さ $H=850$ mm, 幅 $W=820$ mm, 奥行き $D=1,050$ mmであり、開口部の大きさは幅200mm, 高さ240mmである。

(2) 材質

壁面は、耐火断熱ボード(三菱化成㈱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㈱ダイアセーラ厚12mm)2枚で挿んだ部材を用いて壁体及び天井とし、さらに、この部材をランバーコア合板(幅900mm×高さ1200mm×厚15mm)上に載せて底板とした。また、断熱性の確保と重量測定用鋼製枠の支柱の挿入穴からの空気漏れを防ぐため床面に耐火断熱材(三菱化成㈱マフテックブランケット

ト厚25mm) 1枚を敷いて、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製作した。

なお、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を設置して内部の状況を観察できるようにした。このガラスは、熱膨張係数が0に近く、さらに、800℃に熱して冷水を掛けても割れない、熱衝撃強度の高いガラスである。

また、気密性を保持するため、壁体、天井等の継ぎ目や隙間は、耐熱シーリング材やアルミテープでシールした。

3.6 開口部における気流速度の測定方法

内径8mmと13mmの銅管を用いて図3に示す2方向管を作成し、風圧差を差圧トランスデューサー(共和電業(株)PDS-10GA)で検知し、増幅アンプ(共和電業(株)CDV-230C)により測定した(写真1, 2)。

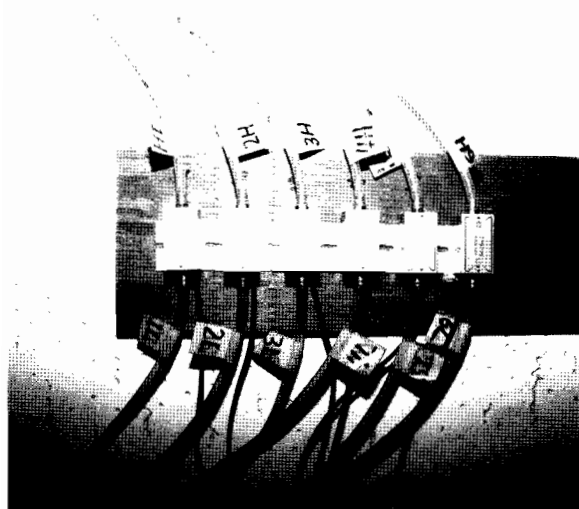


写真1 差圧トランスデューサー

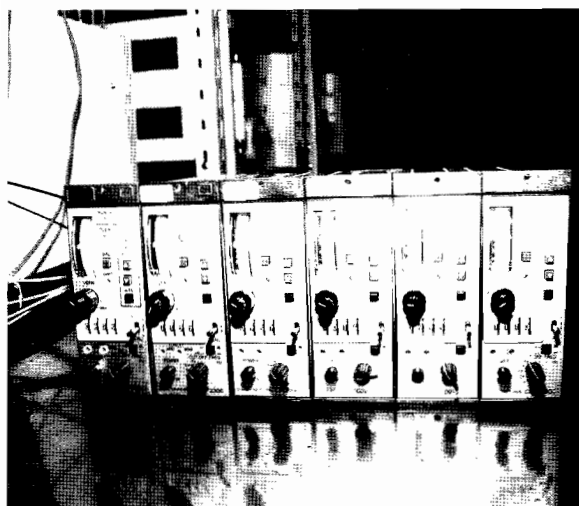


写真2 増幅アンプ

なお、測定点位置は図4に示すとおりであり、気流の密度を求めるため各測定点において温度も同時に測定した(写真3)。

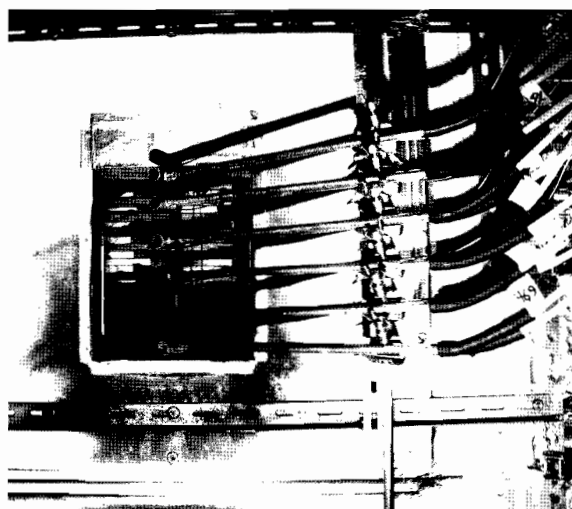


写真3 開口部における気流速度測定方法

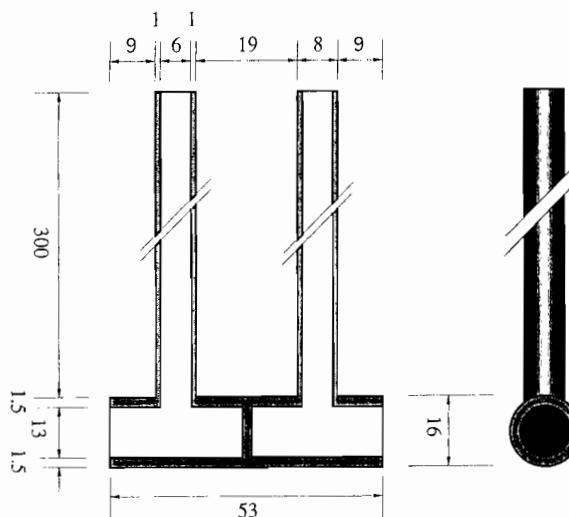


図3 2方向管の構造 単位mm

2方向管とは、図3に示すU筒管の風上、風下の風圧差から気流流速を測定するものであり、気流流速 V は風圧差 Δp から、次式により求められる。

$$V = C (2 \Delta p / \rho)^{1/2}$$

ここで、係数 C はレイノルズ数との関係で十分発達した乱流で $C \approx 0.9$ となる。

また、気流密度 ρ は燃焼生成ガスや煙が同じ温度の空気とほぼ同じ密度であれば $\rho \approx 353 / T$ (T :絶対温度)となる。

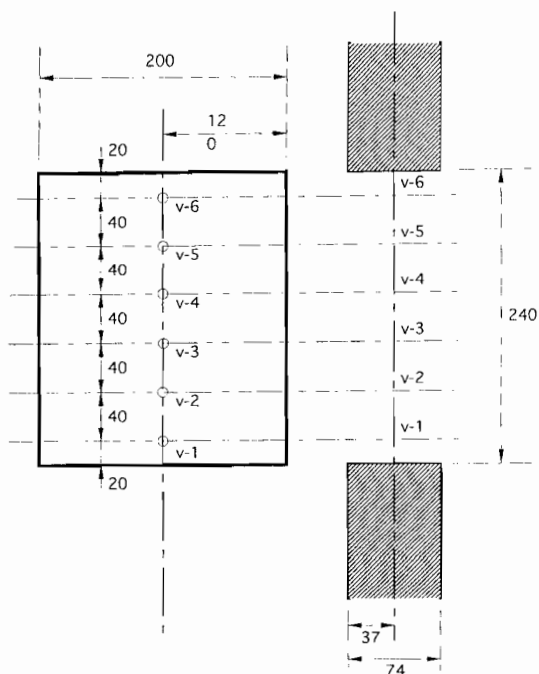


図4 開口部気流測定位置 単位mm

3.7 燃焼速度の測定方法

区画模型の底板を貫いている、燃焼材を固定したアングル鋼製枠の3本の支柱を、区画模型下に設置した3台の電子天秤（株式会社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。

3.8 温度の測定方法

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

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

また、データの収録はハイブリッドレコーダ（日本電気三栄株式会社 R D3500）で1秒毎に計測し、メモリーカードに記録した。

4 実験結果

4.1 燃焼の状況経過

前報と同様に、側面の観察窓から見た内部の煙や炎の状況経過を表1に示す。

実験の開始から終了までの約45分間に、弱い噴出が2回、強い噴出が4回、合計6回の火炎の噴出現象が発生した。

点火後30秒、開口部から白煙が流出し始め、次第に煙の量が増加し始めた。

点火後7分過ぎからクリブ材の燃焼が収まり始め、その3分後にクリブからの炎の明るさが減少し、薄い炎となる。

点火後12分過ぎから約2分間、区画内部の中性帯部分でゆっくりとたなびくように動く比較的暗い火炎、いわゆるゴースティング火炎が見られた。

このゴースティング火炎は開口部へ延びたり、内部に戻ったり繰り返し発生した。

点火後14分09秒で区画内部に火炎が急激に拡散し1回目の火炎が噴出（弱い）し約10秒間、開口部から火炎の流出が続いた。その後、ゴースティング火炎が約20秒間続き無炎状態となった。

点火後14分45秒、2回目の火炎が噴出（弱い）し、すぐ無炎状態となり、さらに点火後16分39秒に3回目の火炎が噴出（強い）し、すぐ無炎状態となった。そして、点火後17分38秒に4回目の火炎が噴出（強い）した。

この火炎の噴出直後にクリブに着火し、さらに、クリブからゴースティング火炎が発生し、それが明るい火炎となり区画内部に広がった。

そして、点火後18分30秒で区画内部の火炎が付着火炎に変化し、開口部から火炎の流出が約10秒間継続した後、消失し無炎状態となった。

無炎状態が約1分間継続し、点火後19分50秒に5回目の火炎が噴出（強い）した。その直後に区画内部で火炎が発生、開口部へ移動し付着火炎となり開口部から流入する外気と押し合い状態となった。

さらに、点火後25分20秒には付着火炎が区画内部の下面一面に延びて、明るく活発に動く火炎に変化し、開口部から流入する外気と押し合い状態となるが、その30秒後には無炎状態となった。

点火後29分10秒に6回目の火炎が噴出（強い）した。その後は、前述と同様にゴースティング火炎や開口部付着火炎、明るく活発に動く火炎の発生が繰り返えされたりしたが、火炎の噴出現象は発生せず、点火後45分00秒に実験を終了した。

4.2 開口部における気流速度の変化

図5に開口部の流速測定結果を示す。開口部の流れは脈動しており、各測定点の測定結果ともに変動しており、その変動幅は $\pm 0.15\text{m/s} \sim \pm 0.6\text{m/s}$ である。

火炎の噴出発生時にはピークが生じており、最大で 5.3m/s に達している。なお点火後46分以降にいくつか見られるピークは、消火時に2方向管を移動させたため生じたものである。

表 1 燃 焼 の 状 況 経 過

経 過 時 間	燃 焼 の 状 況
点 火 直 後	クリブ中の着火材が炎を上げ燃焼する。
3 0 秒	開口部から白煙が流出する。
2 分 0 6 秒	中性帯の部分に煙がたなびく。
3 分 1 0 秒	クリブ中から炎が立ち上がり、天井付近の燃焼材に達するとともに、煙の流出量が増加する。
4 分 1 0 秒	煙が中性帯の上部にたまり、層をなす。
4 分 4 8 秒	天井付近の燃焼材に着火する。
5 分 5 0 秒	天井付近に炎が走る状態になる。
7 分 0 0 秒	クリブの燃焼が緩慢になり、収まってくる。
7 分 3 0 秒	褐色の濃煙が開口部から渦状態となり流出する。
1 0 分 2 8 秒	クリブからの炎の明るさが減少し薄いガス炎が発生する。
1 2 分 3 0 秒	クリブ上部周囲にゴースティング火炎が発生する。
1 3 分 4 0 秒	クリブ上部周囲や区画内部奥の中性帯付近でゴースティング火炎が発生する。
1 3 分 5 0 秒	ゴースティング火炎が開口部へ延びたり、逆に内部に戻ったり繰り返す。
1 4 分 0 9 秒	1 回目 の火炎の噴出（弱い）が発生し、開口部から火炎流出が続く。
1 4 分 2 0 秒	火炎流出が収まり、区画内部奥の中性帯付近でゴースティング火炎が発生する。
1 4 分 4 0 秒	区画内部の火炎が消失し無炎状態となる。
1 4 分 4 5 秒	2 回目 の火炎の噴出（弱い）が発生し、無炎状態となる。
1 6 分 3 9 秒	3 回目 の火炎の噴出（強い）が発生し、無炎状態となる。
1 7 分 3 8 秒	4 回目 の火炎の噴出（強い）が発生し、クリブに着火する。
1 8 分 1 0 秒	クリブからゴースティング火炎が発生し、さらに区画内部に火炎が広がる。
1 8 分 3 0 秒	開口部に付着火炎が発生し、火炎が開口部から流出する。
1 8 分 3 9 秒	開口部の付着火炎が消滅する。
1 9 分 5 0 秒	5 回目 の火炎の噴出（強い）が発生し、区画内部に火炎が発生する。
2 0 分 3 8 秒	火炎が開口部へ移動して付着火炎となり、流入する外気と押し合い状態となる。
2 5 分 2 0 秒	付着火炎が次第に区画内部の下面一面に延び、明るく活発な火炎となり開口部から流入する外気と押し合い状態となる。
2 5 分 5 0 秒	無炎状態となる。
2 7 分 0 8 秒	クリブに火種（炭の無炎燃焼）が発生する。
2 9 分 1 0 秒	6 回目 の火炎の噴出（強い）が発生し、クリブに着火、さらにゴースティング火炎が発生する。
2 9 分 5 0 秒	クリブの炎が消え、ゴースティング火炎のみとなる。
3 0 分 3 7 秒	開口部に付着火炎が発生し、火炎が流出する。
3 1 分 5 6 秒	付着火炎から活発な火炎に変化し、開口部から流入する外気と押し合う状態になる。
3 4 分 5 6 秒	天井付近に炎が走る状態になる。
3 4 分 5 8 秒	内部前方下部にゴースティング火炎が発生する。
4 2 分 1 0 秒	火炎が小さくなる。
4 5 分 0 0 秒	実験終了。

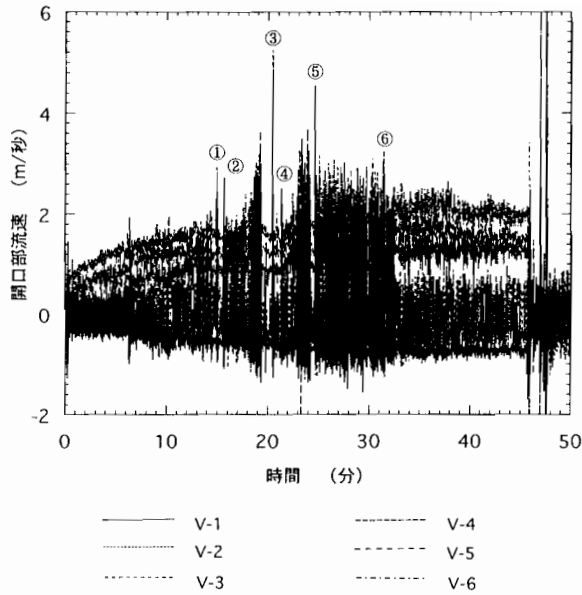


図 5

上記の結果には、開口部気流の乱れによるノイズが含まれており、開口部における空気の入りの検討には不適当なので、時定数60秒で移動平均化処理を行った。その結果を図6に示す。

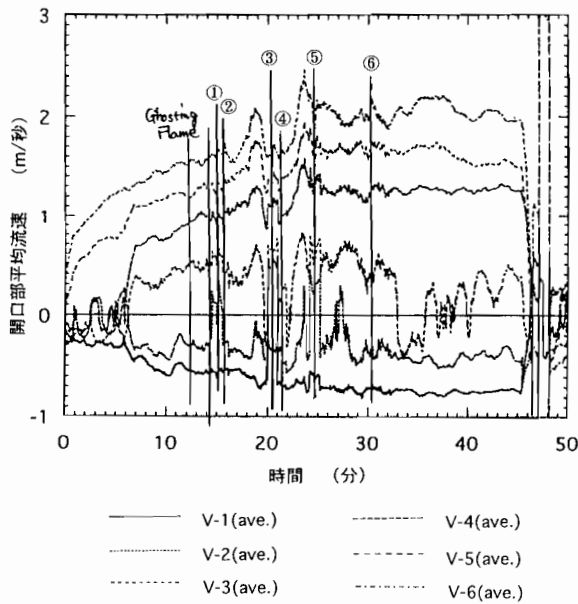


図 6

点火直後から、V-5及びV-6の測定点での開口部流速は正の値となり、開口部からの流出となっていることがわかる。一方、V-1及びV-2では負の値となっており開口部から区画模型内への流入となっている。

V-3及びV-4では正の値となったり、負の値となったりしている。

点火後5分過ぎから流出、流入速度ともに増大して

いる。また、流入側の負の速度となるのはV-1及びV-2のみとなる。

点火後11分頃にV-1及びV-2がやや減少した。つまり開口部から流入流量がやや減少するのが観測された。

点火後16分39秒には最も規模の大きい火炎が噴出した。この火炎の噴出直前の点火後16分30秒頃から開口部よりの流出流速が増大している。この時の区画内の燃焼状態は開口部付着火炎が発生している。開口部付着火炎が消滅し、無煙期間となった点火後19分過ぎには、さらに、開口部からの流出流速が以前よりも増大している。しかし、点火後19分40秒頃から開口部からの流出流速が急激に減少し始め、反対に流入流速が増大している。

さらに、この現象に続いて点火後20分25秒には火炎が噴出した。これらの類似の変化傾向は、点火後19分50秒に発生した5回目の火炎噴出でも見られた。この噴出の規模は3回目の火炎噴出に次ぐもので、噴出火炎の最大流速は、図5より4.6m/sであった。

4.3 燃焼速度の変化

図7に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。燃焼材の重量変化を見ると実験終了時までで7.2kg減少しており、点火後19分20秒までは放物線状に徐々に減少しており、3回目の火炎噴出直前の点火後15分以降は、若干変動しながら、勾配が徐々に前後した。さらに、バックドラフト現象が発生した点火後24分から25分頃にかけて勾配の変化が見られるが、勾配が急になり、さらに、減少している。実験終了時までの平均燃焼速度は0.0036 kg/sである。

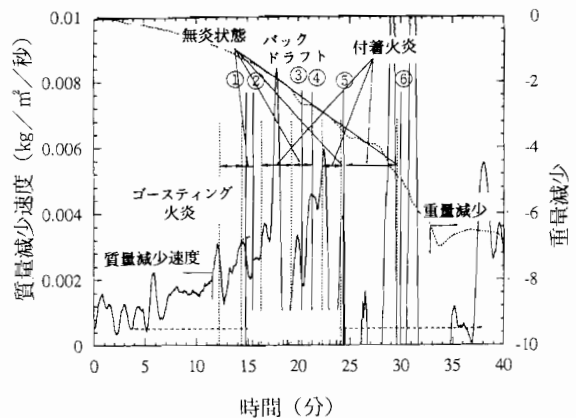


図 7

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17分までは燃焼速度が 0.0016kg/s の範囲内で変動しながら 0.0032kg/s まで増加している。

点火後17分頃から火炎の噴出直前に燃焼速度が急激に増加するなど、大きく変動して火炎が噴出している。

4.4 区画模型内の温度変化

図8、図9はそれぞれ開口部付近ch.1（0.07D）及び区画中央付近 ch.5（0.56D）に設置した熱電対測定結果である。

まず図8を見ると、1回目の火炎が噴出（弱い）した点火後14分頃までは、各測定点ともに変動がなく滑らかに温度が上昇しているが、これ以降はかなり激しく変動し上昇している。

床に近い測定点0.06H、0.21H、すなわち開口部下端より下の部分（以下「床面部」という。）は一定の温度上昇率で、一方その他の測定点、すなわち天井に近く開口部上端より上の部分0.82H、0.98H、（以下「天井部」という。）と、開口部に面する部分0.37H、0.52H、0.67H、（以下「中間部」という。）は二次曲線的に上昇しており、また、両者の温度差が比較的大きく変動している。

5回目の火炎の噴出以降、約5分間は各測定点とも小さな振幅で激しく変化している。

前回までの実験と同様に、火炎の噴出直前には特徴的な曲線を描きながら温度が減少している。

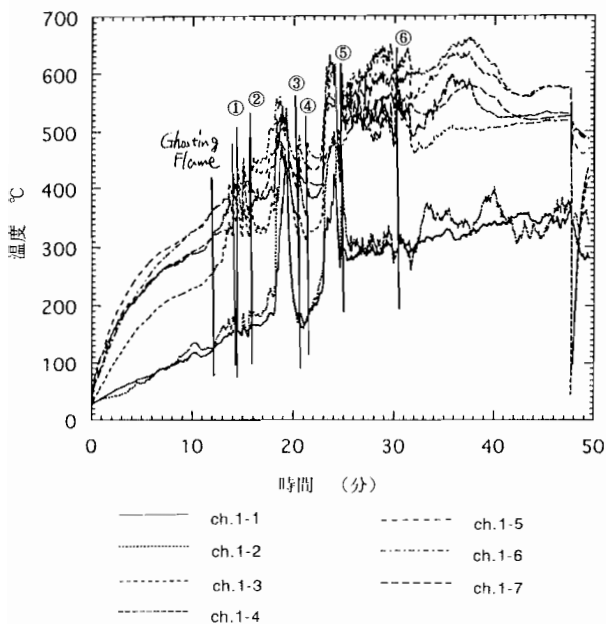


図8

図9は区画中央付近に設置した熱電対対ch.5（0.56D）による測定結果である。5回目の火炎の噴出までは、

区画内部の上部方向に向かって、各測定点順に温度が高くなっており、点火後10分以降は各測定点同士の温度差も火炎の噴出時以外変動なく変化している。

床に近い測定点 0.06Hでは6回目の火炎の噴出まで変動しながらも、ほぼ直線的に上昇している。

5回目の火炎の噴出以降、天井部及び中間部においてかなり激しく変動しており、6回目の火炎の噴出以降は床面部までもが激しく変動している。

火炎の噴出直前には開口部付近 ch.1（0.07D）に比べて顕著に特徴的な曲線を描き温度が減少しており、また、火炎の噴出後の温度上昇と変動が少なく全体的に滑らかである。

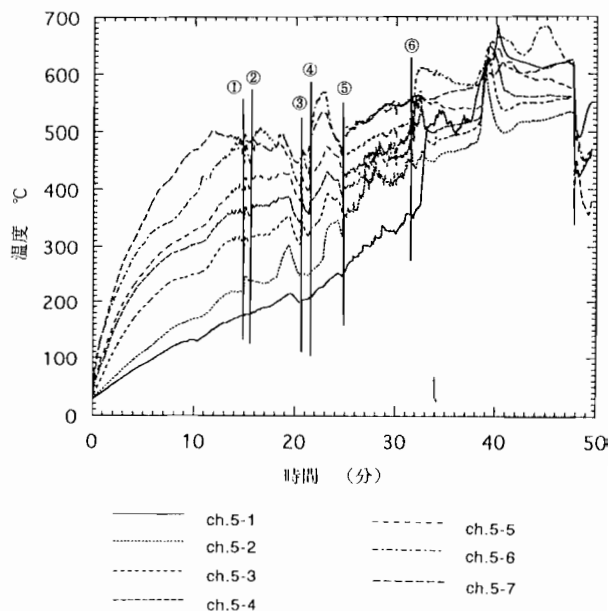


図9

5 考察

5.1 区画模型内部の燃焼形態

側面に耐火耐熱ガラスの観察窓を設置して、区画模型内部の燃焼状況を観察しながら実験を行った。この結果、前報と同様に、火炎の噴出や、火炎が消えて燻焼状態となる以外に、次の3種類の燃焼形態が観測された。

- (1) 区画模型内部を、ゆっくりとたなびくように動く比較的光い火炎（ゴースティング火炎）。
- (2) 急激な火炎の噴出直後に発生した、開口部を塞ぐように燃焼する火炎（開口部付着火炎）。
- (3) 開口部から流入する外気と押し合うように、区画模型内部で活発に動く火炎。

特に、「区画中央床面部分で発生した火炎が開口部方向に移動するに従い明るくなっていく状態」、「開口部を塞ぐ付着火炎が、その明るさを変えながら活発に動く状態」、「開口部付近で発生した火炎が、渦を巻き

ながら底部に沿って区画中心部へと発達し、開口部から流入する外気と押し合うように動く時、消えかけては、また発達している状態を周期的に繰り返している状態」などは多少なりとも開口部から空気の流入があり、区画内部の酸素濃度が変化していることが推測できる。

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

5.2 開口部における気流速度の変化

今回は開口部からの空気の出入りと、内部の燃焼状態との関係を解明するため、開口部における気流速度の変化を計測した。

移動平均化処理を行った図6を見ると、実験開始直後からV-5及びV-6の測定点での開口部流速は正の値となり、開口部から煙など燃焼ガスが流出していることがわかる。一方、V-1及びV-2では負の値となっており開口部から区画模型内へ外気が流入していることがわかる。

また、V-3及びV-4は中性帯に近いいため、中性帯の変動により、正の値となったり、負の値となったりしている。

点火後5分過ぎから流出、流入速度ともに増大している。この時期は区画模型内の中央付近の温度が300℃以上に達し、燃焼材の熱分解が盛んとなり、開口部からの流出流量は増大するものと考えられる。また、中性帯位置が低下したために、流入側の負の速度となるのはV-1及びV-2のみとなると考えられる。

したがって、このころから区画内の燃焼は換気支配型が強くなっていくことが分かる。

点火後11分頃にV-1及びV-2の流入速度がやや減少し、続いて点火後12分過ぎにゴースティング火炎が発生する。つまり燃焼材の熱分解が盛んとなり流出流量が増大し、また、開口部からの流入流量が減少して区画内部の酸素濃度が減少する途中でゴースティング火炎が発生すると考えられる。このことは、「バックドラフトに関する研究(その1)札幌市消防科学研究所報1995 No.2」の報告、つまり酸素濃度の減少途中でゴースティング火炎が発生したことからも推察できる。

点火後20分25秒には、最大規模の火炎の噴出が発生した。この火炎の噴出発生前の点火後18分頃から開口部よりの流出流速が増大しており、この時の区画模型

内の燃焼状態は開口部付着火炎が見られている。

開口部付着火炎が消滅し、無煙期間となった点火後19分過ぎには、さらに、開口部からの流出流速が増大している。

しかし、点火後19分40秒頃から流出流速が急激に減少し始め、反対に流入流速が増大し始めた。この現象に続いて火炎が噴出した。これと類似の変化傾向は、点火後24分35秒に発生した5回目の火炎の噴出でも見られた。

このことから区画模型内の温度が上昇して燃焼材の熱分解が活発となり熱分解ガスが発生し、開口部流出流速が増大する。この現象が発生することにより区画模型内の酸素濃度が低下して火炎が消滅し、温度が低下する。これに伴い開口部からの流出流速は低下し、逆に流入流速が増加する。

この結果、区画模型内の酸素濃度が再び増加し、急激な火炎噴出、すなわちバックドラフト現象が発生したと考えられる。

6 まとめ

観測された開口部における気流速度の変化や区画模型内部の温度変化、燃焼速度変化、燃焼状況及び「バックドラフトに関する研究(その1, 2, 3)札幌市消防科学研究所報1995 No.2・1996 No.3・1997 No.4」から以下の結果が得られた。

急激な火炎噴出の発生前には開口部気流速度の増大と減少が見られることが判明した。

すなわち、開口部流出流速の増大は燃焼材の熱分解の活発化により、熱分解ガスが生み出されて生じるものであること。これにより区画模型内の酸素濃度は低下し、火炎が消えてしまい、この火炎の消滅により区画模型内の温度が低下する。さらに、これに伴い開口部からの流出流速は低下し、流入流速は増加する。この結果、区画模型内の酸素濃度が再び増加するため、急激な火炎噴出、すなわちバックドラフト現象が発生することが判明した。

7 あとがき

高気密性住宅における居室規模の区画火災でのバックドラフト現象の発生メカニズムを解明し、消防活動時の安全性及び警防戦術の向上に資するため、開口部を有する区画模型を製作、改良し、また種々の計測装置を作成しながら、バックドラフト現象の再現燃焼実験及び解析を行ってきた。

特に、平成7年度は区画模型内部の燃焼状況及び温度分布、燃焼ガス等の変化を相関的に把握する必要があったことから、耐火耐熱ガラスの観察窓を側面に設

置するように、区画模型を改良した。

また、平成8年度には区画模型内部の可燃性ガス等が、このバックドラフト現象の発生に大きく関係していると思われたことから、全炭化水素濃度、さらにその成分としてメタン濃度を測定するシステムを開発した。

このことにより、内部の燃焼状況を詳細に観測しながら、温度分布、酸素濃度、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度のほか、可燃性ガスの全炭化水素濃度、さらに成分としてメタン濃度のデータを測定することが可能となった。

そして平成9年度は、開口部からの空気や燃焼ガスの出入りに着目するために2方向管を作成し、開口部における気流の流速測定が可能となった。

今後は、内部の圧力変化にも着目しながら、これらの測定装置を用いて開口部の位置や大きさなどを変化させて、バックドラフト現象発生の有無や内部の燃焼状況に、どのように影響するかなどを検討していく予定である。

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) 「バックドラフトに関する研究」小島秀吉
札幌市消防局消防科学研究所報No. 2 (1995) P 1
～P16
- 2) 「バックドラフトに関する研究(その2)」 小島
秀吉 札幌市消防局消防科学研究所報No. 3 (1996)
P 1～P17
- 3) 「バックドラフトに関する研究(その3)」 小島
秀吉 札幌市消防局消防科学研究所報No. 4 (1997)
P 1～P18
- 4) 「模型実験の理論と応用(第2版)」江守 P225技
報堂出版(1988)
- 5) 「建築学大系・建築防火論」(改訂増補版) P448
彰国社(1970)
- 6) 「火災便覧」日本火災学会編 P348

噴霧ノズルの角度について

Angles of Spray Nozzles

菅原 法之*
Sugawara Noriyuki

要 約

効率的な消火方法及び水損防止等を図るため、噴霧角度の違いによる水の分布状況を測定する装置を試作し、実験を実施した。

この結果、噴霧角度の違いによる水の分布状況について基礎データを蓄積することができた。

Summary

To realize efficient fire fighting methods and reduce water loss, an experimental apparatus was manufactured to measure water distribution conditions according to the difference of spray angles.

The results allowed the collection of basic data regarding water distribution according to differences in spray angles.

1 はじめに

近年、建物構造をはじめとした都市構造の変化が急速に進み、これに伴い火災なども多種多様化している。

これらの災害に対処するために放水器具も多くの種類が研究開発されている。このため、火災現場の状況に応じた最適な放水器具の選定等が消火効果を左右する重要なポイントとなっている。

放水器具はホース、管そう、ノズル、放水銃等があり、このうちノズルは、管そうで整流された水流を所要の放水パターンに交換する器具で多種多様なものが使用されている。ノズルの材質としては銅合金が多く使用されているが、軽量化を目的としてアルミ合金製も増加する傾向にある。

当局では、一般的な火災現場、或いは訓練において使用されているノズルは、棒状放水と噴霧放水を兼ね備えた展開型ノズルが使用されている。

展開型噴霧ノズルは、外筒内に前後方向に動く円錐板に水流を衝突させ、円錐状の噴霧として放射するものである。外筒を回すことにより円錐の位置が変わり、噴霧の展開角度の変更及び棒状放水、噴霧放水、放水停止の切替えができる。

噴霧ノズルは、水を微粒子状にして、放水するものである。噴霧放水と棒状放水とを比較すると、噴霧放水には次のような長所及び短所がある。

【長所】

- (1) 吸熱による冷却消火効果が非常に高い。
- (2) 屋内火災等では、水蒸気の発生による酸素の希釈または、窒息効果がある。
- (3) 排煙効果がある。
- (4) 輻射熱や熱気流のため、火点に接近が困難な場合は、保護水幕として接近することができる。
- (5) 広い面積に注水でき、放水量を節約することができる。
- (6) 密閉度の高い屋内火災等では、火点に直接注水しなくても消火することができる。
- (7) 反動力が小さい。
- (8) 高圧噴霧では、油火災、電気火災等にも有効である。微粒子の噴霧を使用すれば、小規模な油火災は消火することができる。この場合には、油温が充分下がるまで放水を継続すること。

【短所】

- (1) 放水距離が短い。
- (2) 衝撃力が小さい。
- (3) 非常に細かい噴霧粒子は火災熱によって発生する上昇気流によって流され、火点外に飛んでしまう。なお、次の場合は、噴霧放水とする。
 - (1) フラッシュオーバー又はバックドラフトを防ぐとき。
 - (2) 棒状放水では、衝撃、転倒など二次災害の生ずるおそれがある施設、物品の消火冷却のとき。

* 消防科学研究所

- (3) 遮蔽又は進入隊員の援護注水するとき。
- (4) 排熱又は排煙をするとき。
- (5) 油火災の消火するとき。
- (6) ガスの希釈又は拡散をするとき。

また、噴霧放水の留意点は、次による。

- (1) 風上又は吸気側から注水することを原則とする。
- (2) 有効射程が短いので、注水目標に接近し、燃焼実体に直接噴霧注水ができる位置とする。
- (3) 破壊及び浸透させる必要のある火災又は燃焼火勢の強い火災には不適當である。

- (4) 筒先員は、前方が見えにくいので、他隊員が側方から有効注水しているか確認する。

さらに、噴霧放水により排煙（熱）を行うときは、次による。

- (1) 原則として吸気側に筒先部署する。
- (2) 排気側の開口部を開放して実施する。
- (3) 開口部又は廊下の断面全体を噴霧でおおうように筒先をやや高めに保持し、次の事項に留意して注水する。

ア 必要口数は、開口部の断面4～6mについて1口とする。

イ 2口以上の口数で注水する場合は、相互の担当範囲、筒先位置などを調整し、最も効果的に排煙できるようにする。

ウ 噴霧注水は、ノズル圧力0.59MPa（6kgf/cm²）以上、ノズル展開角度60～70度とし、開口部に隙間をつくらないように注水する。

2 実験方法

50mm筒を床面からの高さ1.94m位置に筒先を床面に向けて固定、水槽車からホース2本（65mmホース1本+50mmホース1本）を接続し、ポンプ圧0.39MPa（4kgf/cm²）にて送水し、床面に向かって放水した。

噴霧角度は、ノズル部分に表示されている角度を参考にして①30度、②30度と60度の中間、③60度、④60度と90度の中間、⑤90度、⑥120度の6種類の角度を設定し実施した。

なお、床面には放水量測定器（厚さ1.5mmのプラスチック製で0.02m×0.1m×0.2mの寸法で区画された一枳を200個作成したもの～全長4.3m）を設置し、それぞれの枳に溜まった放水量を測定した。

また、実験は備蓄倉庫内で行い、風等の影響を及ぼさない場所とした。（写真1）

3 実験結果

各角度における放水分布はグラフ1のとおりである。なお、縦軸は全放水量の容量%を、横軸は角度を表示した。

ノズルの表示角度は一番外側まで飛んでいる角度と一致し、ノズルの表示角度より少ない角度に最大放射量（山の頂上）が表れた。（写真2、3）

前述したとおり、一般的に噴霧角度は60度前後が最も有効に消煙及び排煙効果があるといわれている。

今後は、噴霧角度の他、放水距離、進入速度等の違いによる消煙及び排煙効果についての基礎データを蓄積して、消火方法及び水損防止対策に活用していく所存である。

【参考文献】

- 1) 「警防活動要領」（火災防御編）札幌市消防局
- 2) 「消防機器便覧Ⅱ」 東京消防庁装備部監修
東京消防機器研究会 東京法令出版株式会社
- 3) 「消防機械器具概論」 消防科学総合センター、
消防大学校監修

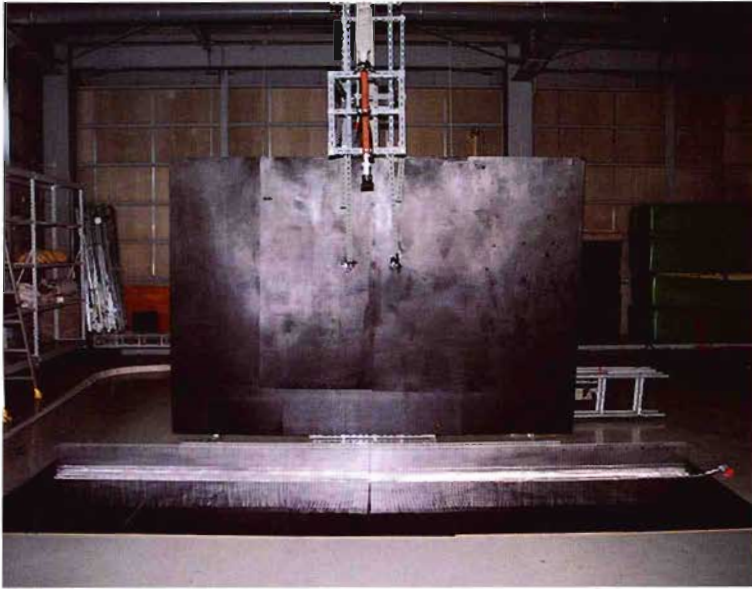


写真1 実験装置

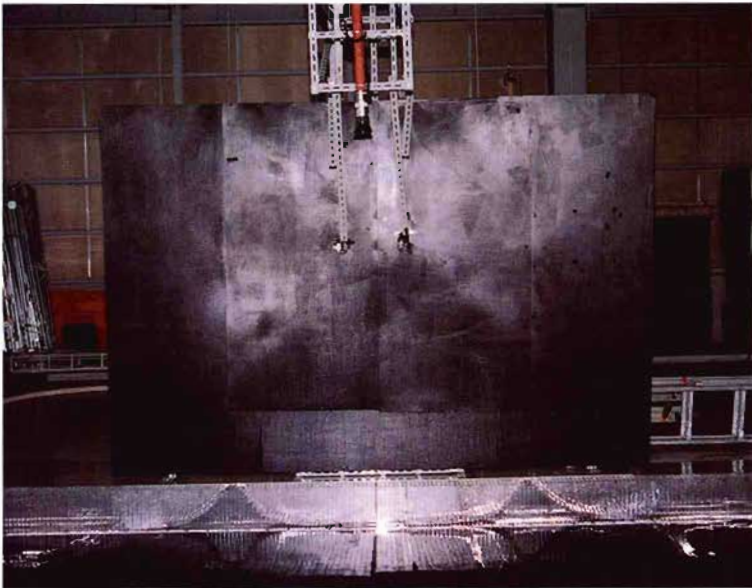


写真2 実験結果

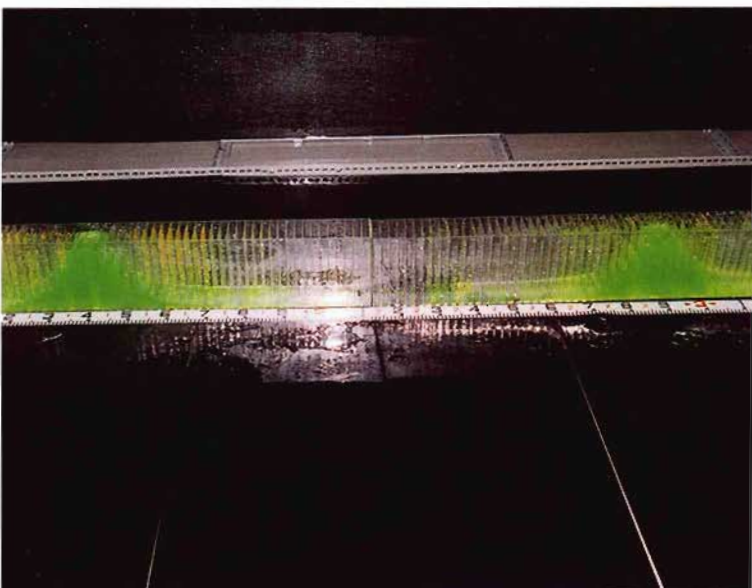


写真3 実験結果

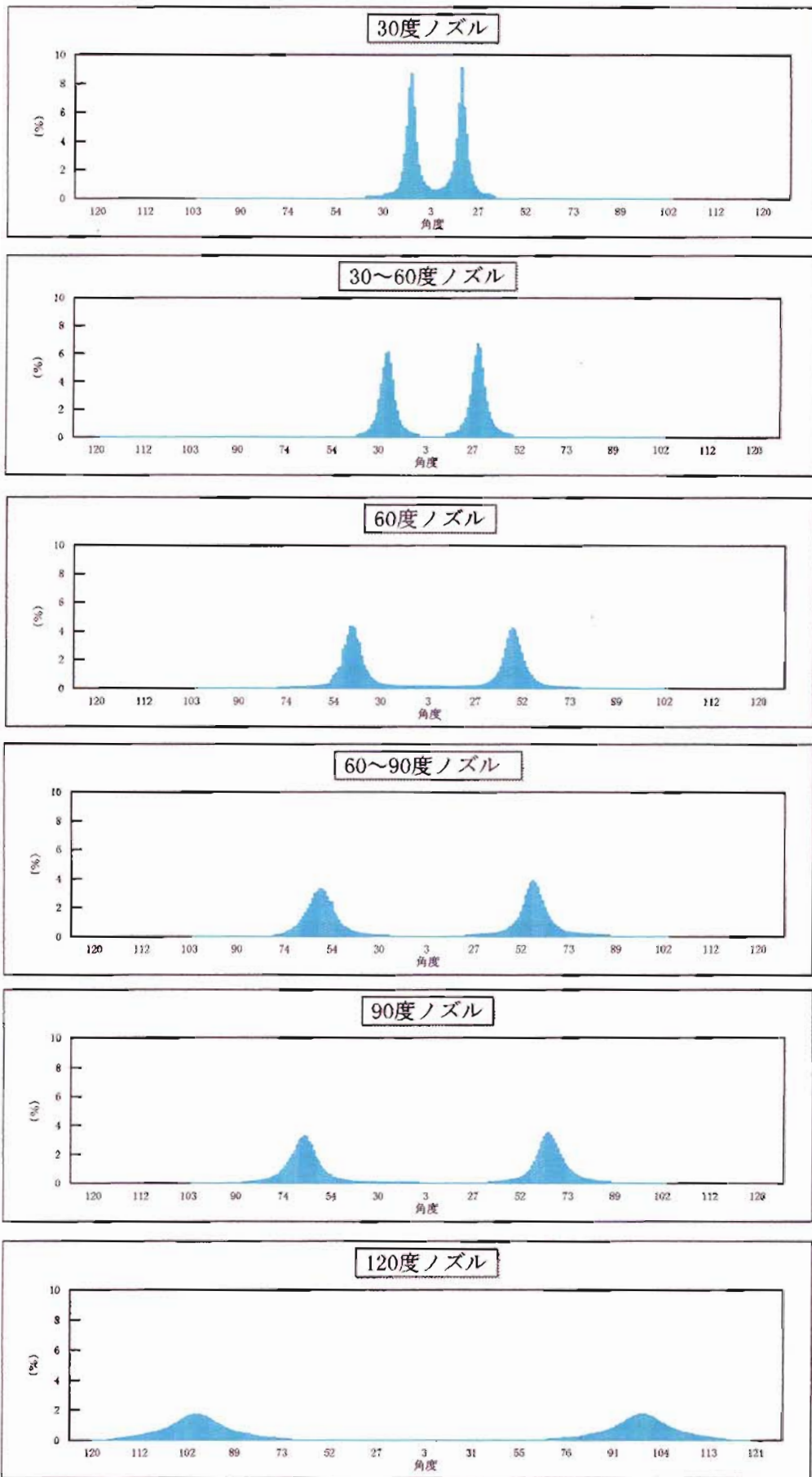


図1 各角度における放水分布

噴霧注水による排煙効果について

Smoke Elimination Effect by Injecting Spray Water

小島 秀吉
Kojima Hideyoshi

要 約

噴霧注水による濃煙の排除効果について、ノズルの噴霧角度及び放水圧力の違いによる排煙効果を実際に解明するため、実験ユニットを製作し、この中を噴霧注水で移動することにより、内部の空気を押し出し、空気の移動状況等を計測する実験を行った。

この結果、噴霧角度及び放水圧力を変化させることにより排煙効果の違いが確認できた。

Summary

To investigate the dense-smoke elimination effects of different nozzle spray angles and water spraying pressures, an experimental unit was constructed. The water spraying equipment is moved inside the unit, spraying water and forcing out the internal air. Airflow and other conditions were measured through this experiment.

As a result, it was verified that the smoke elimination effects differed according to changes in the water spraying angles and pressures.

1 はじめに

噴霧注水による濃煙の排除効果について、北海道大学との共同研究で、ノズルの噴霧角度及び放水圧力の違いによる排煙効果を実際に解明するため、実験ユニットを製作し最初の実験として、この中を噴霧注水で移動することにより、内部の空気を押し出し、空気の移動状況等を計測する実験を行った。

2 実験方法

実験ユニットの中を台車に固定した管そう(50mm)を噴霧状態で放水しながら一定速度で移動させ、噴霧水幕に押された実験ユニット内の空気が一方の出口に設置した風速測定装置の円筒内を流れる速度及び流量をノズル噴霧角度及びポンプ圧力を変えながら計測し、濃煙の排除効果として測定した。

※実験ユニットについて(図1, 写真1, 2, 3)

(1) 構造, 寸法

鉄骨造鉄板張り, 延べ面積14.58㎡, 幅2.7m, 奥行き5.4m, 天井高さ2.89m

(2) 実験ユニット内部で火災を想定した実験や訓練を行うため主要構造部は鋼製部材であり, 耐火断熱被

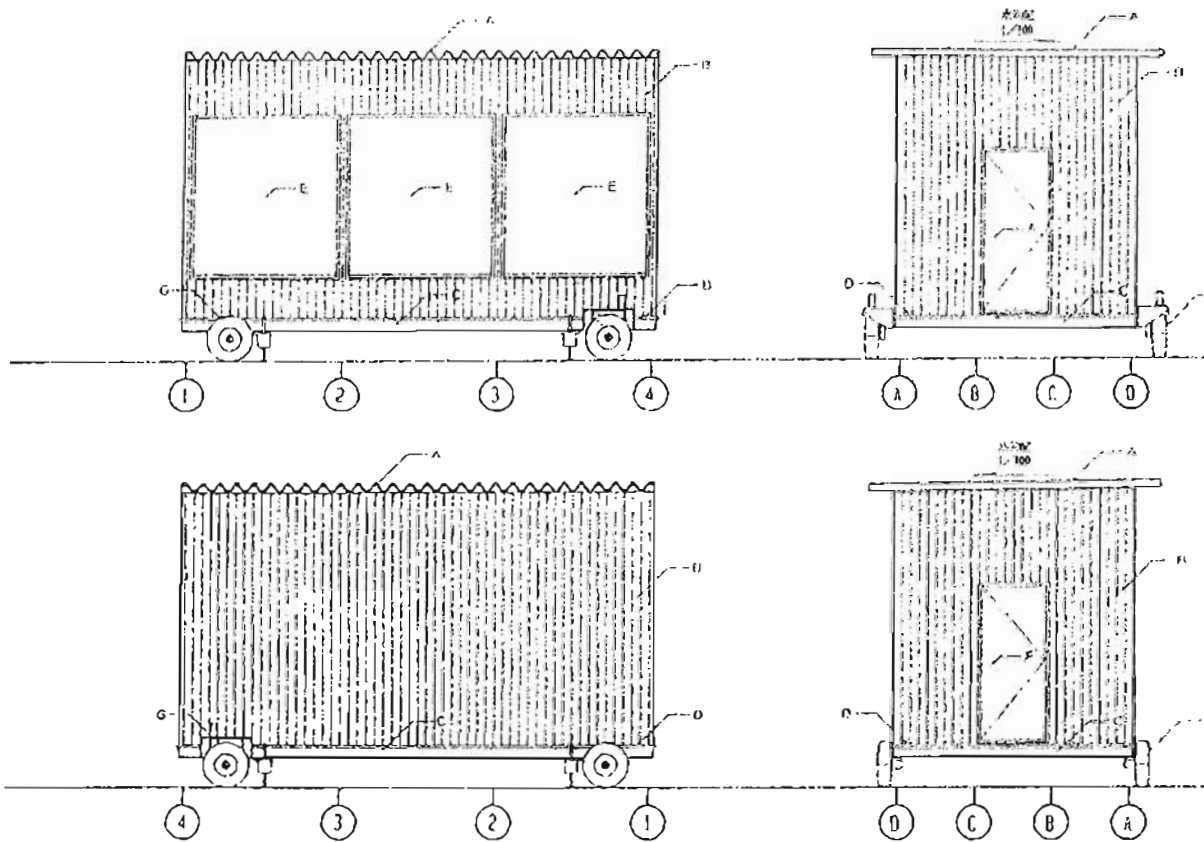
覆が可能な構造である。

- (3) ノズル等の機材を容易に設置できるように、床は鋼製として十分な強度を有する。
- (4) 内部の煙の濃度や動きを外部から観察できるように観察窓を設置し、これを保護するために窓枠周囲に保護カバー取り付け用枠が設置されている。
- (5) 実験ユニット下部に大型のキャスターを設置し移動可能とし、またジャッキによりレベル調整や固定ができる。
- (6) 実験ユニット下部フレームに牽引用金具を設置して牽引移動が可能である。

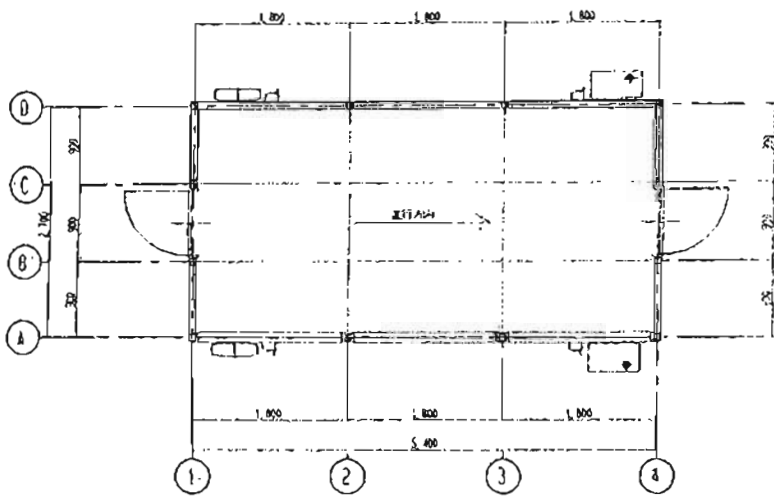
なお、台車は実験ユニット床に敷設されたレール上をモーターでワイヤーを巻き取ることにより、一定速度(0.8m/s)で走らせた。

また、円筒内を流れる空気の速度は風速測定器(日本カノマックス㈱MODEL1500)で1秒毎に計測し、パーソナルコンピュータ(NEC PC9821Ne)で記録した。

* 消防科学研究所



立面図 S=1:50



平面図 S=1:50

図1 実験ユニット図面



写真1 実験ユニット



写真2 実験ユニット



写真3 実験ユニット

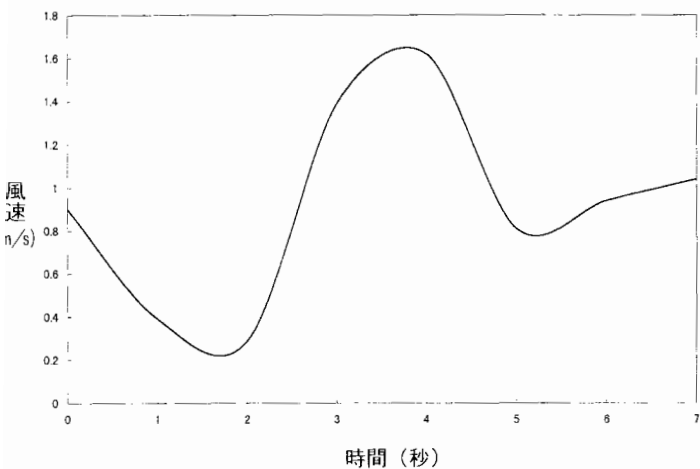


図2 噴霧角度75° ポンプ圧力0.39MPa (4 kgf/cm²)
～1回目

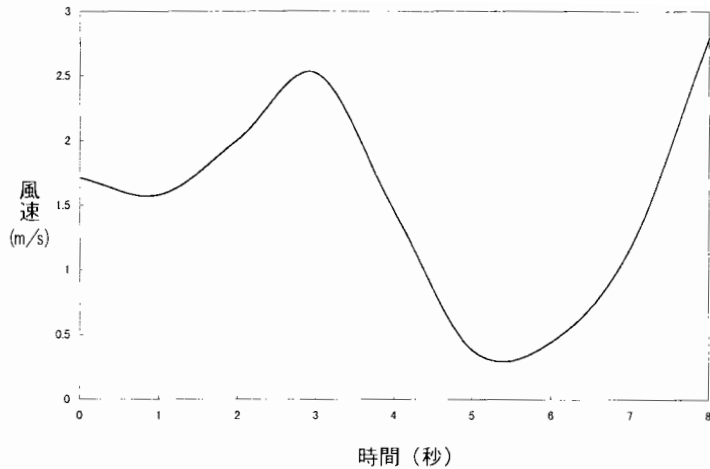


図5 噴霧角度75° ポンプ圧力0.49MPa (5 kgf/cm²)
～2回目

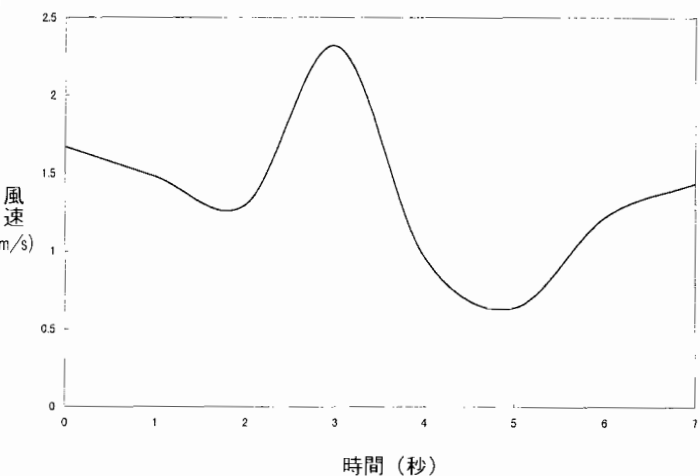


図3 噴霧角度75° ポンプ圧力0.39MPa (4 kgf/cm²)
～2回目

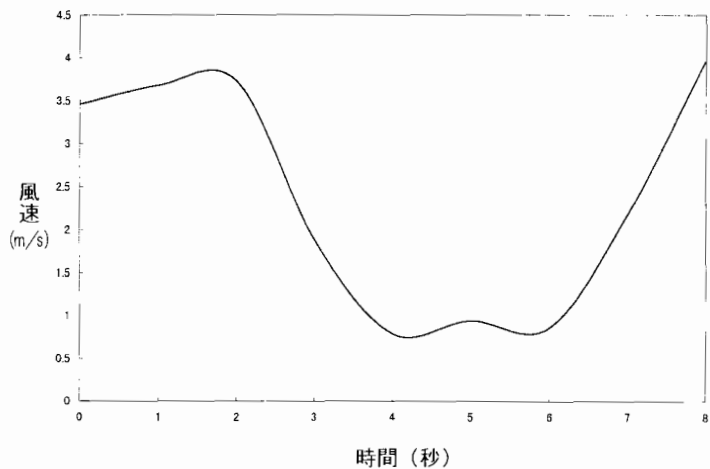


図6 噴霧角度75° ポンプ圧力0.59MPa (6 kgf/cm²)
～1回目

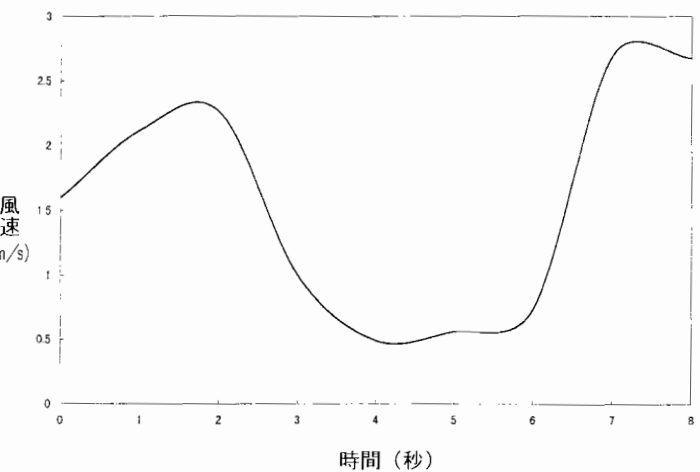


図4 噴霧角度75° ポンプ圧力0.49MPa (5 kgf/cm²)
～1回目

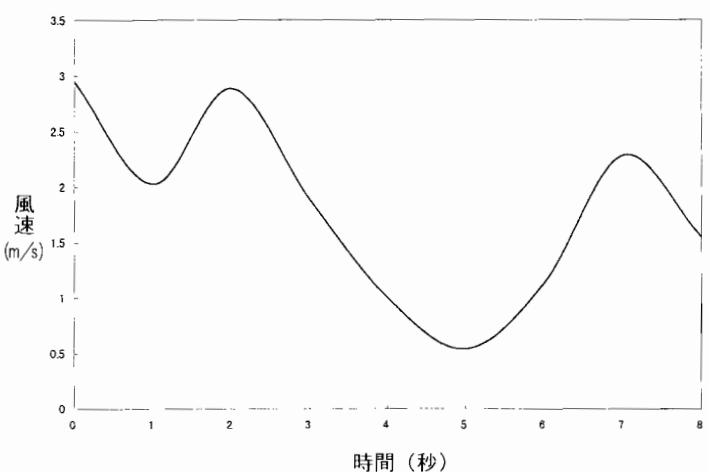


図7 噴霧角度75° ポンプ圧力0.59MPa (6 kgf/cm²)
～2回目

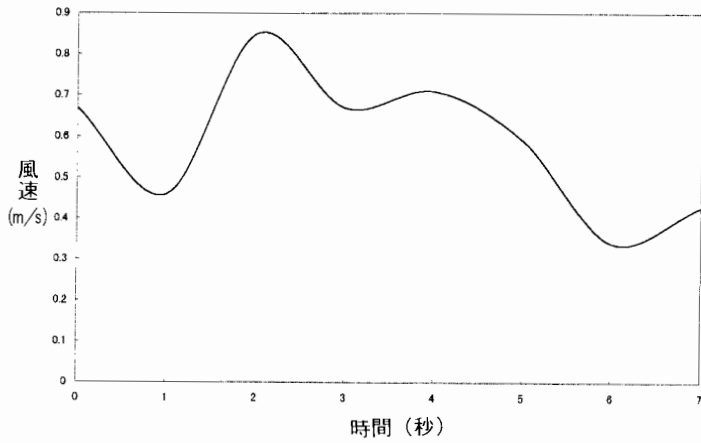


図8 噴霧角度90° ポンプ圧力0.29MPa (3 kgf/cm²)
~ 1回目

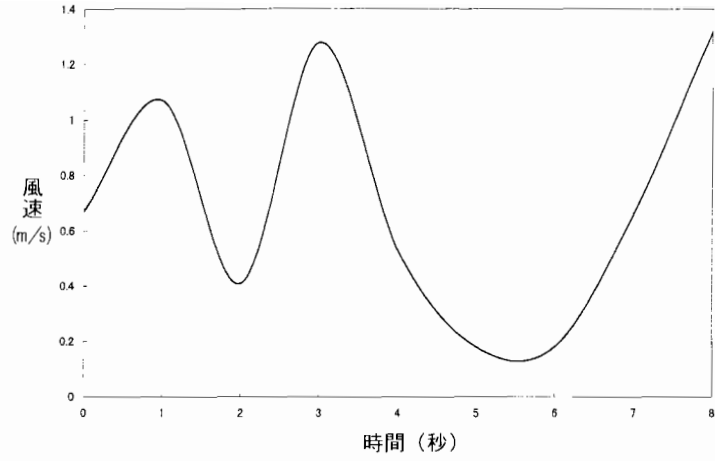


図11 噴霧角度90° ポンプ圧力0.39MPa (4 kgf/cm²)
~ 2回目

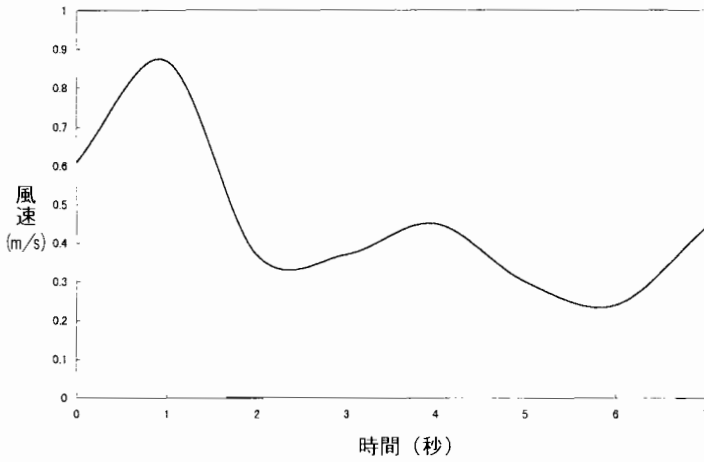


図9 噴霧角度90° ポンプ圧力0.29MPa (3 kgf/cm²)
~ 2回目

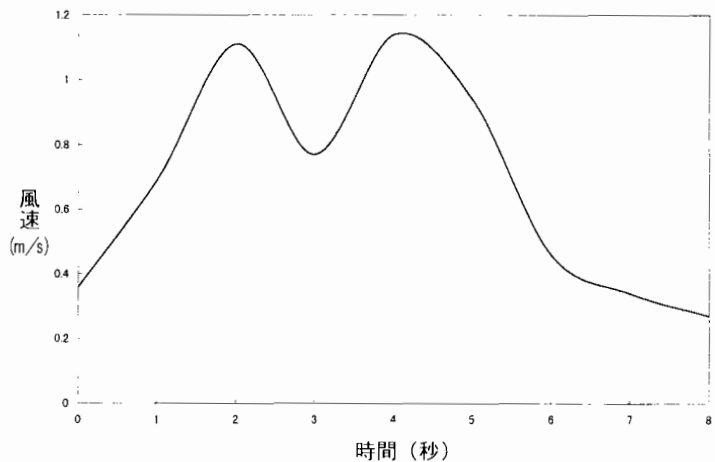


図12 噴霧角度90° ポンプ圧力0.49MPa (5 kgf/cm²)
~ 1回目

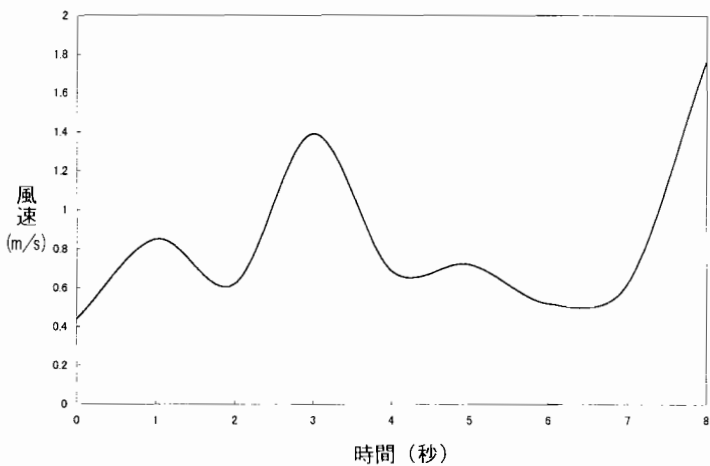


図10 噴霧角度90° ポンプ圧力0.39MPa (4 kgf/cm²)
~ 1回目

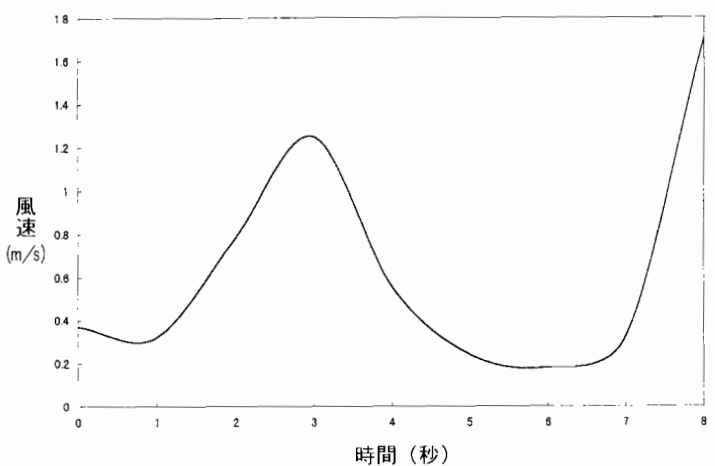


図13 噴霧角度90° ポンプ圧力0.49MPa (5 kgf/cm²)
~ 2回目

3 実験結果

噴霧角度75度については、ポンプ放水圧力0.39MPa (4 kgf/cm²)、0.49MPa (5 kgf/cm²) 及び0.59MPa (6 kgf/cm²) をそれぞれ各2回、また、噴霧角度90度については、ポンプ圧力0.29MPa (3 kgf/cm²)、0.39MPa (4 kgf/cm²) 及び0.49MPa (5 kgf/cm²) をそれぞれ各2回の合計12回行った。

縦軸に風速、横軸に経過時間をとり、図2から図13にそれぞれの結果を示した。これらの図を見ると風速のピークが1つの場合や2つの場合など噴霧角度や放水圧力が一定であるのにかかわらず、他の条件の影響があるためか変動が一定とならなかった。

しかし、すべてが1秒から4秒の間でピークとなっていることから、このピーク値をとって比較してみた結果を表1に示す。

表1 円筒内を流れる空気の流れ

ポンプ圧力		0.29MPa (3 kg/cm ²)		0.39MPa (4 kg/cm ²)		0.49MPa (5 kg/cm ²)		0.59MPa (6 kg/cm ²)	
		測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値
噴霧 角度	75度	1回目	—	1.65	1.98	2.30	2.43	3.85	3.35
	2回目	—	—	2.30	—	2.55	—	2.85	—
90度	1回目	0.85	0.86	1.40	1.34	1.10	1.18	—	—
	2回目	0.87	—	1.28	—	1.25	—	—	—

※単位 (m/s)

4 考察

噴霧注水による排煙効果については、噴霧水幕がいかに効率良く室内の空気を押し出すことが出来るかどうかに関係している。

すなわち、排煙効果が大きければ、水幕に押された実験ユニット内の空気が円筒内を流れる時の速度が速いと言えることから、今回のような実験を行ったものである。

噴霧角度が75度及び90度ともに、ポンプ圧力が高くなるほど空気の流速が速くなる傾向にあり、特に75度の時は顕著である。このことはノズル圧力が高いほど水の流量や流速が増加すること、また、水の粒子が細くなることから、噴霧幕の密度が増加し、さらに、運動エネルギーが大きくなり、実験ユニット内の空気を押し出す能力が高くなったためである。

噴霧角度についてみると、各圧力とも90度よりも75度の方が空気の流速が速くなっていることから、75度の方が排煙効果が大きいといえるが、文献によると一般に排煙に最適な噴霧角度は60度といわれていること

からも妥当であると考えられる。すなわち、90度の時はノズルから放水される水の水平速度成分が75度の時よりも小さく、また、噴霧水幕が大きく開くことにより、噴霧水幕の密度が落ちて空気を捕らえる能力が落ちるためと推察される。

5 まとめ

これらの実験から以下のことが考えらる。

- (1) 噴霧角度75度及び90度ともに、放水圧力が高くなるほど噴霧注水による排煙効果が大きい。
- (2) 噴霧角度75度の方が、90度よりも放水圧力が同じであれば噴霧注水による排煙効果が大きい。

6 あとがき

今回の実験途中でモーターが破損したため、条件を種々変化させて数多くのデータをとることができなくなり、また、実験の再現性にも問題があり、今回の実験結果で結論付けることは早計ではあるが、噴霧注水による排煙効果についての基礎データを蓄積することができた。

今後は、なぜ再現性が悪いのか原因を解明し、機器装置の改良や実験方法の見直しを行い、種々の条件で実験を実施し、ノズル性能を評価するとともに、ノズルの改良開発も視野に入れ、災害現場における放水防ぎょ及び安全確保などに役に立つ資料を作成するために、さらに分析を重ねた研究が必要である。

なお、この実験に協力していただいた西消防署警防課消防二係米田司令補以下救助隊の皆様から感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 「消防機器便覧Ⅱ」東京消防庁装備部監修
東京消防機器研究会 東京法令出版株式会社
- 2) 「E x c e l 197 パーフェクトマスター」
㈱秀和システム、名取龍彦、浅賀幸一、花房 淳

自動放水停止器具の開発について

Development of an Automatic-Stop Water Spraying Apparatus

伊藤 潤*

Itoh Jyn

橋上 勉**

Hashigami Tsutomu

要 約

火災現場における消火活動は屋根等足場が不安定な場所が多く、誤って管そうを離した場合、放水時の反動力により管そうが暴れ非常に危険であることから、これらの事故防止のためストップバルブにキックバネを取り付け、管そうとホースの間に設置し、誤って手を離した場合でもキックバネの力で自動的に放水が停止する器具を開発したものである。

Summary

Fire fighting is often conducted in places with on an unstable footing, such as roofs. It is especially dangerous in such cases if the nozzle is accidentally released and moves violently by reaction forces.

To prevent such accidents from occurring, we have developed an apparatus with a kick spring attached to a stop valve, which is installed between the nozzle and hose. Even if fire fighters inadvertently let go of the nozzle, the water flow is automatically stopped by the force of the kick spring.

1 はじめに

濃煙熱気が充満する住宅、ビルなどの複合用途建築物の火災は視界が効かず、さらに、鎮火後における残火処理時の気の緩みなどによる事故の発生が懸念されるところである。

特に積雪寒冷地である本市においては冬期の凍結路面、はしご及び屋根上などの滑りやすい不安定な場所が多く、放水時に誤って管そうを放した場合、水の反動力により管そうが暴れ非常に危険で事故につながるものである。

さらに、本市で使用している管そうはノズルを回転させて放水開始及び停止させるものであり、長時間にわたる消防活動において、緊急に放水を停止しなければならない場合であっても、握力の低下、体力の消耗等により即停止させることは困難であった。

そこで、これらの問題点を解決するため、放水開始、停止機能を備えたストップバルブに放水操作の支障とならない把手部分にキックバネを取り付けることにより、誤って手を放した時でも自動的に放水が停止する器具を開発したものである。(写真1)

* 職員課職員係

** 消防科学研究所

2 自動放水停止器具及び管そうの比較

本器具(50mmホース用)は長さが220mm、重量が1,880gであり、これにアルミ合金製のミニタイプ管そう(長さ410mm、重量1,120g)とノズル(NM-2、長さ160mm、重量680g)を装着すると全長740mm、重量3,680gとなり、アルミ合金製管そう(長さ660mm、重量1,400g)にノズル(NM-2)を装着したものと比較すると、重量では1,600g重くなるが、長さが70mm短くなり、その分使い勝手が良くなるため重くなった重量負担は体感しないものである。(表1、2・写真2)

さらに、銅製の管そう(長さ660mm、重量2,540g)との比較においては、重量がほぼ同じである。

3 使用方法

使用方法是本器具を管そうとホースの間に結合し、放水によって生じる反動力を利用して消防隊員が把手に手を掛けている時だけ同器具が容易に開くとともに放水できるものである。

もし、誤って手を放した時はキックバネの力で放水が自動的に停止するものであり、管そうの暴れなどによる事故を未然に防ぐことができるとともに、緊急時又は握力の低下及び体力の消耗を伴う長時間にわたる

消防活動での放水停止動作を容易に行えることができるものである。(図1・写真3～6)

4 開発の効果及び利点

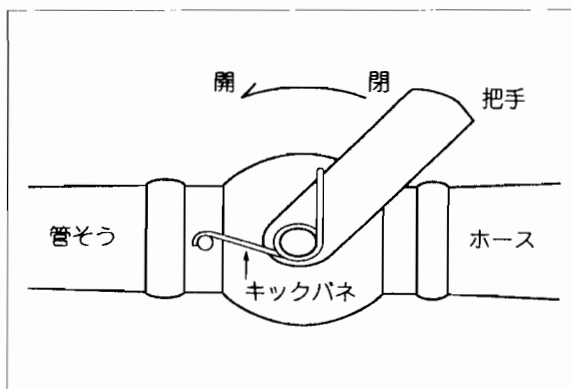
- (1) 誤って管そうを放しても自動的に放水が停止するため、管そうの暴れなどによる事故を未然に防ぐことができる。
- (2) 緊急時又は握力の低下、体力の消耗を伴う長時間の消防活動において放水停止動作を容易に行うことができる。
- (3) 放水量の調整が容易にでき、節水、水損防止を図ることができる。
- (4) 把手部が握りやすいため、長時間放水しても体力の消耗が少なく、高齢者対策用の消防資器材として将来性が見込まれる。
- (5) 放水開始及び停止が注水動作のまま一動作ででき、操作性が良い。
- (6) キックバネの取り付け等のメンテナンスが容易である。

表1 管そう・自動放水停止器具・ノズルの比較

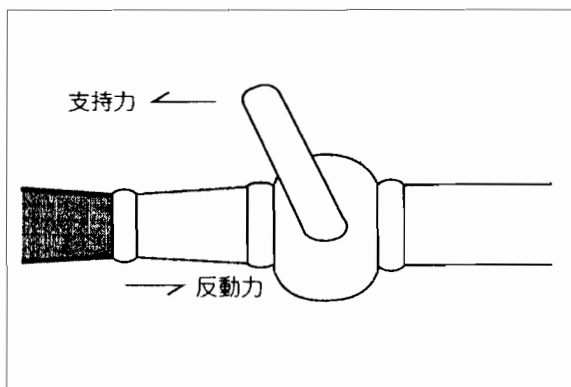
		長さ(mm)	重量(g)
各 機 器	自動放水停止器具	220	1,880
	管そう (アルミ合金製)	660	1,400
	管そう (銅製)	660	2,540
	管そうミニタイプ (アルミ合金製)	410	1,120
	ノズル (NM-2)	160	680

表2 管そう・自動放水停止器具の比較

管そうの種類	ノズル付長さ(mm)	ノズル付重量(g)
管そうミニタイプ+自動放水停止器具	740	3,680
管そう (アルミ合金製)	810	2,080
管そう (銅製)	810	3,220



〈放水時〉



〈手を放した時〉

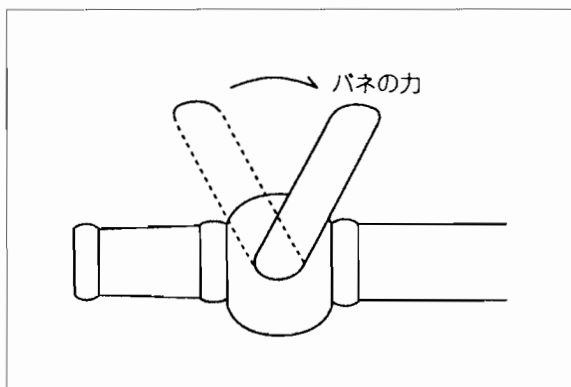


図1 自動放水停止器具の概要

【参考文献】

- 1) 「消防機器使覧Ⅱ」 東京消防庁装備部監修
- 2) 東京消防機器研究会 東京法令出版株式会社

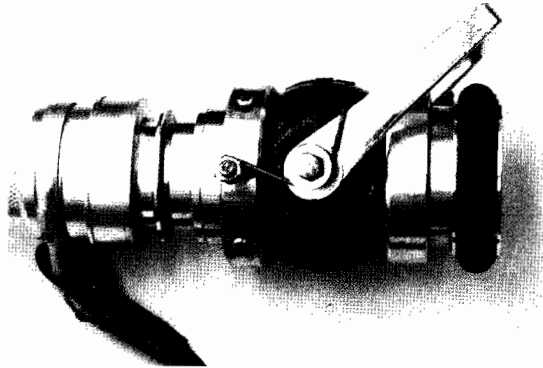


写真1 自動放水停止器具

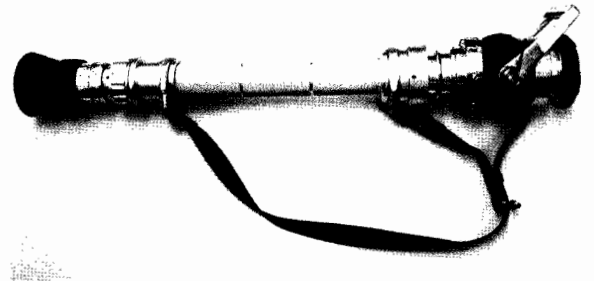


写真2 自動放水停止器具を
管そうに結合した状況



写真3 放水状況



写真4 手を放した状況



写真5 地面に落とした状況

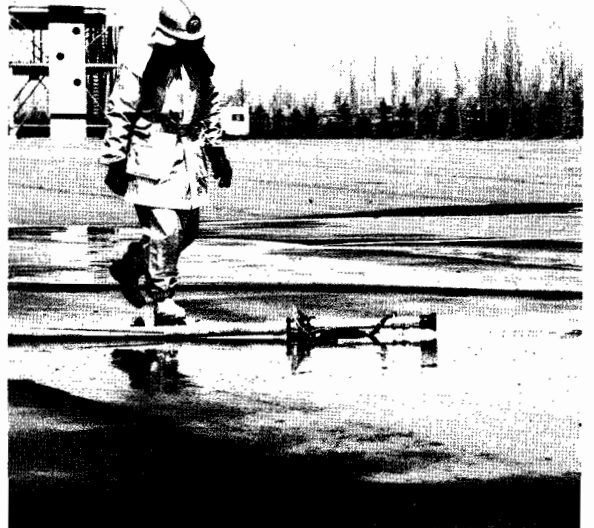


写真6 地面に落とした状況

過マンガン酸カリウムと酸及びアルコールとの反応について

Reaction of Potassium Permanganate with Acid or Alcohol

橋上 勉*
Hashigami Tsutomu

要 約

走行中のゴミ収集車から車両火災が発生し、予防課調査係の実況見分の結果、18ℓ缶に入った過マンガン酸カリウムが起因して火災に至ったものと判明したことから、過マンガン酸カリウムの特性、収去した過マンガン酸カリウムの鑑定及び過マンガン酸カリウムに酸として一般的な硝酸、塩酸、硫酸及びメタノールを滴下し、その反応を観察したものをまとめたものである。

Summary

A fire occurred in a running garbage collection car. According to an examination of the evidence conducted by the Investigation Branch of the Fire Prevention Section, it was found that the potassium permanganate contained in an 18-liter can had caused the fire.

This paper discusses the properties of potassium permanganate, the identification of collected potassium permanganate and the study of potassium permanganate's reactions with drops of nitric, hydrochloric and sulfuric acids, which are common acids, as well as with those of methanol.

1 過マンガン酸カリウムの外観

過マンガン酸カリウムは危険物第1類過マンガン酸塩類の第1種酸化性固体に属し、無臭で、その外観は黒緑色の金属光沢を有する柱状晶の粉体である。

2 危険性情報

(1) 加熱

240℃で分解して酸素を放出し、マンガン酸カリウムと酸化マンガンとなる。

(2) 混触

- ア 塩酸により塩素を発生する。
- イ 過酸化水素又は濃硫酸により爆発する。
- ウ アルカリに接触すると酸素を発生する。
- エ 可燃物、有機物と混合したものは衝撃、摩擦により爆発する。

(3) 水との接触

水溶液は有毒である。

(4) 空気との接触

空気中に放置しても危険性はないが、強力な酸化剤であり、無水グリセリンなどの有機物質と接触す

ると発火することがある。

3 消火要領

- (1) 初期消火には水、泡、粉末消火設備、器具で消火する。
- (2) 大量の水で消火する。
- (3) 注水は安全な距離を確保し、遮へい物を利用する。
- (4) 放水銃等を活用し、放水の無人化を図る。

4 収去した過マンガン酸カリウムの鑑定

4.1 鑑定方法

- (1) 分析法 ケイ光X線装置による成分分析法
- (2) 分析機種 SEIKO-SEA2010L

4.2 測定条件

- (1) 測定時間 100秒
- (2) 照射径 10mm
- (3) 検出器 Si半導体検出器
- (4) 気圧 大気圧

4.3 鑑定結果

- (1) 収去試料は黒色の粒子状の固体であり、標準試料の過マンガン酸カリウムと比較すると収去試料はや

* 消防科学研究所

や光沢がなく、形状は丸みを帯びている。

収去試料と過マンガン酸カリウムを蒸留水で溶解すると、いずれも綺麗なピンク色であり、相違は観られない(写真1~4)。

(2) 測定結果

マンガン(Mn)とカリウム(K)の化合物としては過マンガン酸カリウム(KMnO₄)、マンガン酸カリウム(K₂MnO₄)、亜マンガン酸カリウム(K₂MnO₃)等が考えられるが、理論上マンガンとカリウムの重量構成比は過マンガン酸カリウムが58.4:41.6、マンガン酸カリウムと亜マンガン酸カリウムが41.3:58.7であり、標準試料として特級試薬の過マンガン酸カリウムと比較した。

収去試料及び標準試料(過マンガン酸カリウム)の分析結果は表1に示すとおりであり、含有成分及びその構成率を観ると収去試料に含有している金属元素はマンガン(Mn)が56.8%、カリウム(K)が43.0%である。

一方、標準試料である過マンガン酸カリウムの含有成分及び構成率はマンガン(Mn)が57.1%、カリウム(K)が42.9%であり、収去試料の含有成分及び構成率は標準試料である過マンガン酸カリウムとほぼ一致し、外観も類似していることから収去試料は過マンガン酸カリウムと判明した。

表1 ケイ光X線装置による分析結果

元素	収去試料	標準試料 過マンガン酸カリウム
Mn	56.8%	57.1%
K	43.0%	42.9%
その他	0.2%	

5 酸、アルコールとの反応実験

シャーレ上に紙を敷き、過マンガン酸カリウム及び収去物品各1gを半球にもった後、硝酸、塩酸、硫酸、メタノール各5mlを滴下し、その状況を観察した。

(写真5~12)

(1) 過マンガン酸カリウム

ア 硝酸との反応

若干の白煙を生じたが、紙への着火は認められなかった。

イ 塩酸との反応

若干の白煙を生じたが、紙への着火は認められなかった。

ウ 硫酸との反応

滴下すると同時に激しい黒煙を生じ紙に着火した。

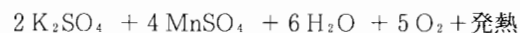
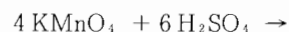
エ メタノールとの反応

変化は認められなかった。

(2) 収去物品

各酸及びメタノールとも過マンガン酸カリウムと同じ現象を生じた。

過マンガン酸カリウムと硫酸との反応は



であり、発生した酸素が発熱作用により発火し、紙へ燃え広がったものである。

【参考文献】

- 1) 「危険物ハンドブック」 ギュンター・ホンメル編、シュプリンガー・フェアラーク東京
- 2) 「危険物データブック」 東京消防庁警防研究会監修
- 3) 「国際化学物質安全性カード」 化学工業日報社
- 4) 「化学品安全管理データブック」 化学工業日報社
- 5) 「化学大辞典」 共立出版

収去試料と過マンガン酸カリウムの外観, 水溶液



写真 1

- 収去試料の外観
粒子は比較的丸みをおびている。

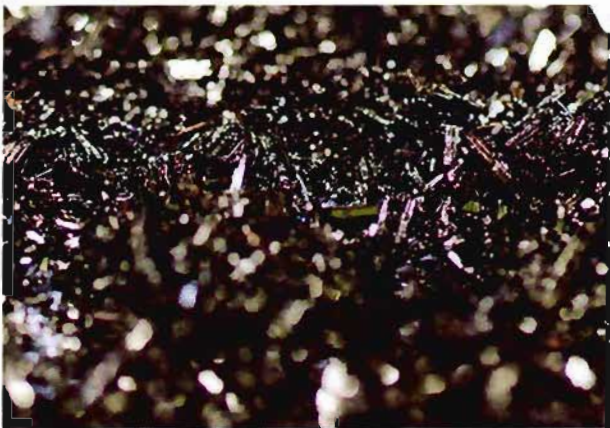


写真 2

- 過マンガン酸カリウムの外観
粒子は霜柱のように細かい柱状の結晶体である。



写真 3

- 蒸留水に溶解した収去試料
綺麗なピンク色である。



写真 4

- 蒸留水に溶解した過マンガン酸カリウム
収去試料と同様な色彩を呈している。

収去試料と酸、アルコールとの反応



写真5

- ・硝酸との反応
若干の白煙を生じるが、紙への着火は認められない。

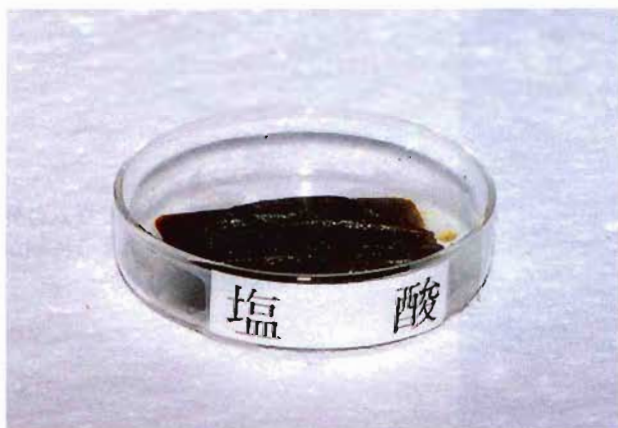


写真6

- ・塩酸との反応
若干の白煙を生じるが、紙への着火は認められない。



写真7

- ・硫酸との反応
滴下すると同時に激しい黒煙を生じ紙に着火した。



写真8

- ・メタノールとの反応
滴下するも変化は観られない。

過マンガン酸カリウムと酸、アルコールとの反応



写真9

- ・硝酸との反応
若干の白煙を生じるが、紙への着火は認められない。

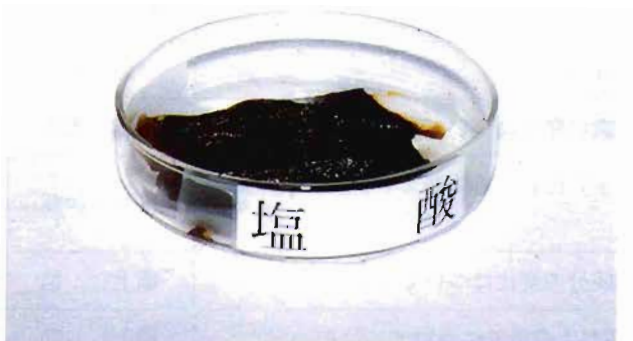


写真10

- ・塩酸との反応
若干の白煙を生じるが、紙への着火は認められない。



写真11

- ・硫酸との反応
滴下すると同時に激しい黒煙を生じ紙に着火した。



写真12

- ・メタノールとの反応
滴下するも変化は観られない。



業務実績表（平成9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						
2	3	1	54	99	3	3 (81)	3 (43)	23 (266)

(注) () は、対象者の人数である。

主な研究実績表（消防科学研究所報掲載）

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

年度	所報 No	分野	研 究 テ ー マ	研究担当者	件数
平成 9 年 度	No.5	燃 焼	硬質発泡ウレタンとABS樹脂について	上田 考志	7
			放水音・空気呼吸器警報音・レクストーン警報音調査	菅原 法之	
			バックドラフトに関する研究（その4）	小島 秀吉	
			噴霧ノズルの角度について	菅原 法之	
			噴霧注水による排煙効果について	小島 秀吉	
		開 発	自動放水停止器具の開発について	伊藤・橋上	
		鑑 定	過マンガン酸カリウムと酸及びアルコールについて	橋上 勉	