

消研輯報

53

平成11年度

[グラビア]

- ナトリウム燃焼の特殊現象
- 大規模な原油のボイルオーバー実験
- 大型ヘリコプターによる空中消火実験
- プラスチックパレットの燃焼性状

[特集：産業と火災]

- 硝酸塩等を含むアスファルトの発火および燃焼挙動
- 火災時のリチウムイオン電池の燃焼挙動
- ナトリウム火災の特殊性とその対策
- プラスチックパレットの難燃化に関する研究開発

[研究紹介]

- 大型ヘリコプターを使って行った空中消火実験
- 減煙効果のある添加剤を含む可燃性液体の燃焼性状
- 大規模な原油のボイルオーバー実験
- リゾート地域における高層宿泊施設および共同住宅の階高調査

[国際会議]

- 第1回日韓安全工学学術発表会に参加して
- 中国黄山市で開催された1999年国際都市火災シンポジウム
- 第6回国際火災安全科学シンポジウムに参加して

[平成11年度消防防災機器の開発等及び消防防災科学論文表彰作品]

- I 消防吏員等による消防防災機器の開発・改良の部（入選4編、奨励賞1編）
- II 消防吏員等による消防防災科学論文の部（入選5編）
- III 一般による消防防災機器の開発・改良の部（入選5編）
- IV 一般による消防防災科学論文の部（入選1編）

[消防研究所の活動]

- 平成11年度消防研究所一般公開の概要
 - 第47回全国消防技術者会議報告
 - 第3回消防防災研究講演会
 - 「消防研究所報告」通巻87号（1999年3月）通巻88号（1999年9月）要旨
 - 消防研究所「研究懇話会」要旨
-

消研輯報

53号

目 次

〔グラビア〕

- ナトリウム燃焼の特殊現象 1
- 大規模な原油のボイルオーバー実験 2
- 大型ヘリコプターによる空中消火実験 2
- プラスチックパレットの燃焼性状 2

〔特集：産業と火災〕

- 硝酸塩等を含むアスファルトの発火および燃焼挙動 岩田雄策、古積 博 3
- 火災時のリチウムイオン電池の燃焼挙動 鶴田 俊 8
- ナトリウム火災の特殊性とその対策 廖 赤虹、斎藤 直、鶴田 俊 12
- プラスチックパレットの難燃化に関する研究開発 山田常圭、筋内英治 20

〔研究紹介〕

- 大型ヘリコプターを使って行った空中消火実験
山田邦博、佐藤晃由、古積 博、竹元昭夫、寒河江幸平、金田節夫、岩田雄策 27
- 減煙効果のある添加剤を含む可燃性液体の燃焼性状 岩田雄策 42
- 大規模な原油のボイルオーバー実験 夏日泰忠、古積 博、岩田雄策 46
- リゾート地域における高層宿泊施設および
共同住宅の階高調査 天野久徳、山田 實、西 晴樹 53

〔国際会議〕

- 第1回日韓安全工学学術発表会に参加して 鈴木 健 56
- 中国黄山市で開催された1999年国際都市火災シンポジウム 佐藤晃由 58
- 第6回国際火災安全科学シンポジウムに参加して 佐宗祐子 60

〔平成11年度消防防災機器の開発等及び消防防災科学論文表彰作品〕

- I 消防吏員等による消防防災機器の開発・改良の部（入選4編、奨励賞1編） 65
- II 消防吏員等による消防防災科学論文の部（入選5編） 78
- III 一般による消防防災機器の開発・改良の部（入選5編） 106
- IV 一般による消防防災科学論文の部（入選1編） 124

〔消防研究所の活動〕

- 第47回全国消防技術者会議報告 130
- 平成11年度消防研究所一般公開の概要 133
- 第3回消防防災研究講演会 135
- 「消防研究報告」通巻87号（1999年3月）通巻88号（1999年9月）要旨 137
- 消防研究所「研究懇話会」要旨 140



写真1 ナトリウム酸化物表面での火炎伝播

ナトリウムの過酸化物は酸素蓄積の役割を果たしているため、溶融ナトリウムが燃えないとされた低酸素濃度雰囲気においても、ナトリウム酸化物の表面に発火が起って燃え広がることある。写真1は、加熱温度500℃と酸素濃度1%におけるナトリウム酸化物表面での火炎伝播の様子を示す。

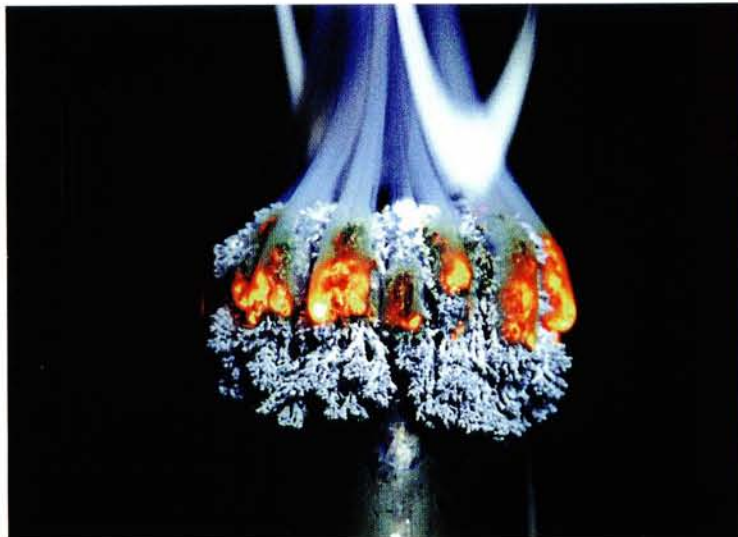


写真2 ナトリウム固体残渣の発火

通常、ナトリウムの発火温度はナトリウムの融点より高いが、ナトリウムの燃焼生成物と未反応のナトリウムを含む燃焼残渣は、室温まで冷却されても空気中で発火することある。写真2は窒素消火したナトリウム固体残渣が室温の空気中で発火して燃え広がる様子示す。



写真3 大規模な原油のボイルオーバー実験
中央にファイアーボール状の輝炎が生じ、風下側タンク直径の約6倍(30m)にわたり原油が飛散(本文p.46)



写真4 大型ヘリコプター(CH-47)による空中消火実験(本文p.27)

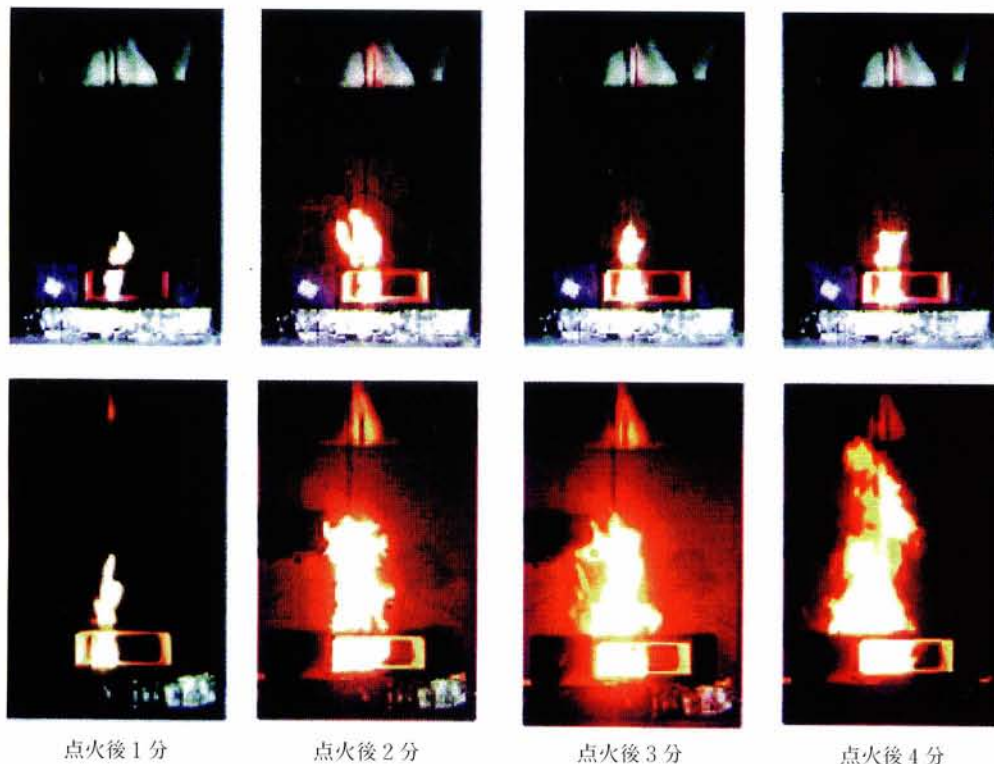


写真5 プラスチックパレットの燃焼性状
上段は、水酸化マグネシウム添加による難燃化プラスチックパレット
下段は、非難燃のポリプロピレン製プラスチックパレット(本文p.20)

硝酸塩等を含むアスファルトの発火および燃焼挙動

岩田 雄策、古積 博

1. はじめに

酸化性固体である硝酸ナトリウムおよび亜硝酸ナトリウム等の無機塩類とアスファルトの混合物は、発火し激しい燃焼に至る危険性が考えられる。硝酸ナトリウムおよび亜硝酸ナトリウム等を含むアスファルト塩混合物の燃焼性状を実証的に検討するために、約1kg程度の試料を用いて等温蓄熱実験を行い、発火性状および燃焼性状について調べた。また、アスファルト塩混合物の発火後の燃焼挙動について調べるためにコーンカロリメーターを用いて燃焼実験を行った。

2. 実験装置および実験方法

2.1 試料

アスファルト塩混合物を調整し、等温蓄熱実験および燃焼実験に用いた。表1に使用したアスファルト塩混合物の組成および調製方法を示す。

乾固した混合塩はFRITSCH(株)社製星型粉碎器を用いて粉末状に粉碎して用いた。粉碎した混合塩を篩い分けたところ、約48wt%が粒径 $53\mu\text{m}$ 未満の粒子であった。約450g程度のブローンアスファルト(以下、「アスファルト」という。)を 100°C 以上に加熱し溶融させた。粉碎した混合塩を溶融したアスファルトに添加後、均一に混合塩が分散するように攪拌して試料を調製した。アスファルトは昭和シェル石油(株)製のものそのまま使用した。硝酸ナトリウム、亜硝酸ナトリウム、炭酸ナトリウムおよび燐酸二水素ナトリウムは特級試薬を使用した。

2.2 等温蓄熱実験

1) 実験装置

等温蓄熱実験で用いた実験装置の概略図を図1に示す。ステンレス製シリコン油槽は $500\text{mm}\times 650\text{mm}\times 200\text{mm}$ (壁厚さ 50mm)の大きさのものを用い、2kWのヒーターによりシリコンオイルを加熱し設定温度に保温した。攪拌によりステンレス油槽内はほぼ均一な温度を保った。

内側の容器として直径 120mm 、高さ 120mm のステンレス製円筒容器を用いた。試料を入れた内側の容器を直径 140mm 、高さ 140mm のステンレス製円筒容器

の中に入れ、2つの容器の空間をセラミックファイバーで詰めた。また、試料容器の蓋をセラミックファイバーで覆い放熱を抑えた。約1kgの試料をシリコンオイルの入ったステンレス油槽中で数十時間、一定温度に加熱し保温した。

2) 熱電対の位置

等温蓄熱実験では図1のように試料の内部に4本の熱電対を配置した。熱電対TC1、熱電対TC2、熱電対TC3および熱電対TC4はそれぞれ、中央底部、中央底部上 50mm 、側面底部および側面底部上 50mm に設置した。実験中に試料表面が変動しても熱電対の位置が上下しないように熱電対を固定した。また、シリコンオイル中にも熱電対TC5を設置し温度を測定した。内側容器の外壁付近で容器上端から 50mm の位置に熱電対TC6を設置し周囲温度を測定した。

2.3 燃焼性状実験

アスファルト塩混合物の燃焼挙動を把握するためにコーンカロリメーターを用いて調べた。コーンカロリメーターは外部のヒーターを用いて適当な照射放射熱量(Heat Flux, kW/m^2)を直径数十mmの容器に入った試料に与えながら火花点火し試料を燃焼させて、発熱速度、重量減少速度およびガス分析等の測定を行う装置である^[1]。

約20g程度のアスファルト塩混合物を直径 90mm のステンレス製容器に入れて実験に使用した。試料1および比較のためにアスファルトを試料として実験に用いた。照射放射熱量は $20\text{kW}/\text{m}^2$ または $30\text{kW}/\text{m}^2$ の条件で実験を行った。また、試料表面の中央下部にK型熱電対を設置し試料表面付近の温度変化を測定した。

3. 結果および考察

3.1 等温蓄熱実験

試料2を用いた等温蓄熱実験で、各位置における試料温度の経時変化を図2に示す。時間軸は周囲温度が 250°C に達した時点からの時間を示す。

試料の加熱途中で試料表面が徐々に盛り上がった。試料が容器外に溢れ出した場合には溢れ出した試料を取り除いた。試料内部の熱電対は異なる温度を示して上昇した。このことは放熱の影響の他に、試料内部では

表1 実験に使用したアスファルト塩混合物

種別	As : Salt (wt比)	塩の粉碎	NaNO ₃ (wt%)	NaNO ₂ (wt%)	NaNO ₃ (wt%)	NaH ₂ PO ₄ (wt%)	乾固温度 (°C)	調整方法他
試料1	55 : 45	有	9.8	1.0	0	0	約100	燃焼性状の実験に使用。
試料2	55 : 45	有	5.0	1.0	1.6	0.4	約60	希硝酸でpH9に調整。等温蓄熱実験に使用。

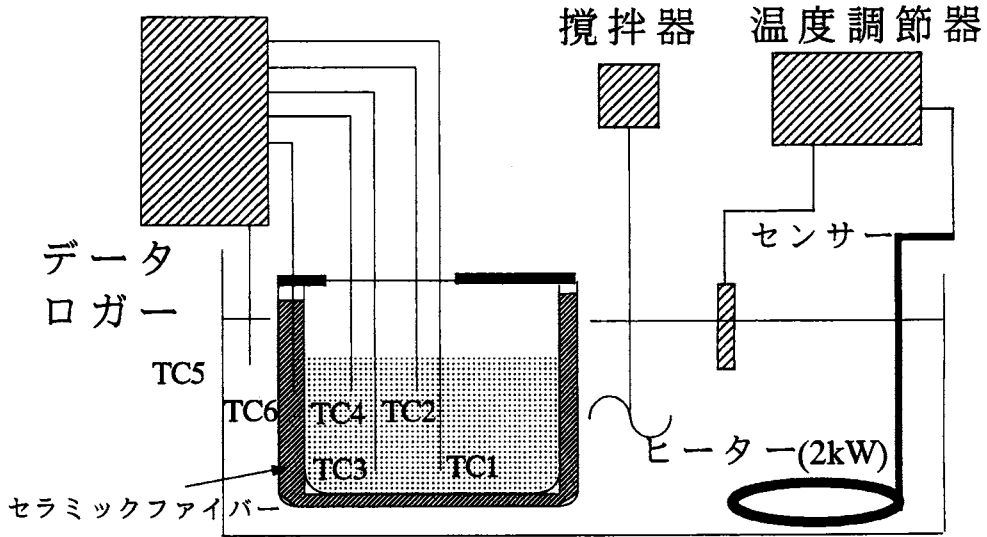


図1 等温蓄熱実験装置の概略図

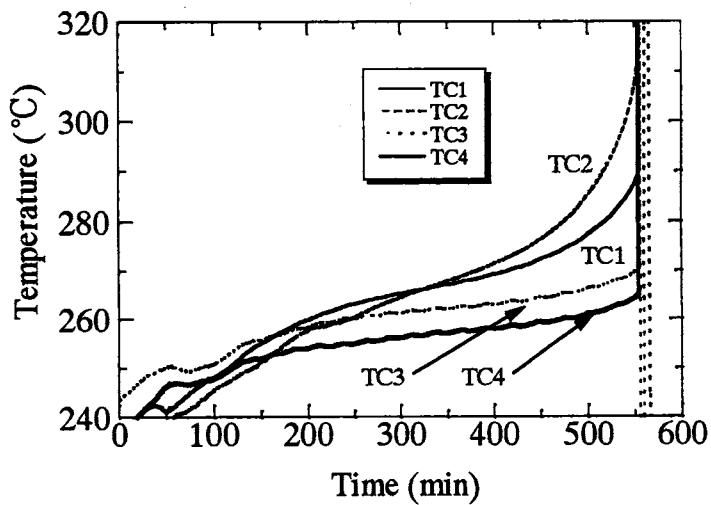


図2 等温蓄熱実験における試料内部の温度変化

激しい対流は起こっていないことを示している。

発火開始の約6時間前からTC1およびTC2(試料容器の中央底部および試料容器の中央上部)で温度上昇が観察された。TC2の位置では他の位置と比較して発火2時間前に大きな温度上昇が見られた。周囲温度を250℃に設定して約9.5時間後に試料容器から試料容器内から白煙が発生した。その後、突然火災が容器内部から噴出した。容器の中央部付近から発火した可能性が考えられる。写真1に容器内部から噴出した火炎の様子を、写真2に燃焼の様子を示す。写真1は火炎の容器に近い部分を拡大したもので、白煙が発生してから5秒後のものである。写真2は白煙が発生してから11秒後のものである。写真1では容器内部から旋回した火炎が噴出している様子がわかる。噴出した火炎が数mの高さに達した後、燃焼がしばらく継続した。発火時および燃焼中、容器内部の試料は周囲に飛散した。容器の直径の10倍以上の火災となることは、火炎からの放射熱量によって燃焼が支配される通常のプール火災ではあり得ない。酸化剤と燃料の化学反応によって



写真1 容器内部から噴出した火炎の様子



写真2 アスファルト塩混合物の燃焼の様子

熱が供給されて火災になったと考えられる。燃焼後の試料を観察したところ、燃焼前の状態と異なりアスファルト塩混合物は乾いた多孔質の固体に変化しており、反応せずに残ったアスファルトが試料容器上部に付着していた。揮発性の成分が燃焼したと考えられる。また、試料容器の底部には、白色で水溶性の固体が10mm程度の厚さで堆積していた^[2]。

硝酸ナトリウムおよび亜硝酸ナトリウムだけでなく炭酸ナトリウム等を含む混合塩間の相互作用が発火温度に影響することが考えられる。ph9の溶液中で炭酸ナトリウムが炭酸水素ナトリウムに変化し、混合塩粒子中に取り込まれた後、炭酸水素ナトリウムの分解により混合塩の粒子表面に多数の溝穴が形成されることが報告されている^[1]。本実験でも多数の溝穴の形成により、アスファルトと接する混合塩の表面積が増加し反応性が増したと考えられる。アスファルト塩混合物の発火温度に関して、今回の実験よりも試料量を増加させて実験を行った場合および断熱性を改善した蓄熱実験装置で実験を行った場合には、発火温度はさらに低下すると考えられる。

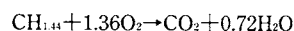
3.5 燃焼性状実験

1) 発熱速度

アスファルトおよび試料1とも照射放射熱量15kW/m²では発火しなかった。照射放射熱量20kW/m²におけるアスファルトおよび試料1について、発熱速度の時間変化を図3に示す。原点は照射放射熱量を加えた時である。アスファルトの場合は時間の経過とともに、表面が盛り上がり発火した。発熱速度の時間変化において比較的全体的なピークが一つ観察された。試料1の場合には発熱速度の時間変化においてシャープで大きなピークが1つ見られた。照射放射熱量30kW/m²におけるアスファルトおよび試料1の発熱速度の時間変化を図4に示す。照射放射熱量30kW/m²ではアスファルトおよび試料1の発熱速度の時間変化において、照射放射熱量20kW/m²の場合と比較して、発火までの時間が短くなりブロードで面積が大きい単一のピークが見られた。照射放射熱量がアスファルト塩混合物の燃焼挙動に影響を与えたと考えられる。

2) 酸素収支および燃焼熱等の測定結果

煙道で測定したガス濃度データを使ってアスファルトおよび試料1の燃焼時間中の酸素収支を求めた(表2)。アスファルトの組成はCH_{1.44}とし完全燃焼を仮定して、次式により水の生成量を推定した。



測定された二酸化炭素の生成量、一酸化炭素の生成量

表2 アスファルトおよび試料1の燃焼中における酸素収支

	Heat Flux (kW/m ²)	消費 O ₂ (vol%)	生成 CO ₂ (vol%)	生成 CO(vol%)	生成 H ₂ O(vol%)	酸素収支 (vol%)
Asphalt	20	73.4	52.3	2.5	39.5	0.2
試料1	20	50.9	42.5	5.1	34.3	- 11.2
Asphalt	30	79.6	60.9	3.0	46.0	- 5.9
試料1	30	69.2	57.7	5.6	45.5	- 14.0

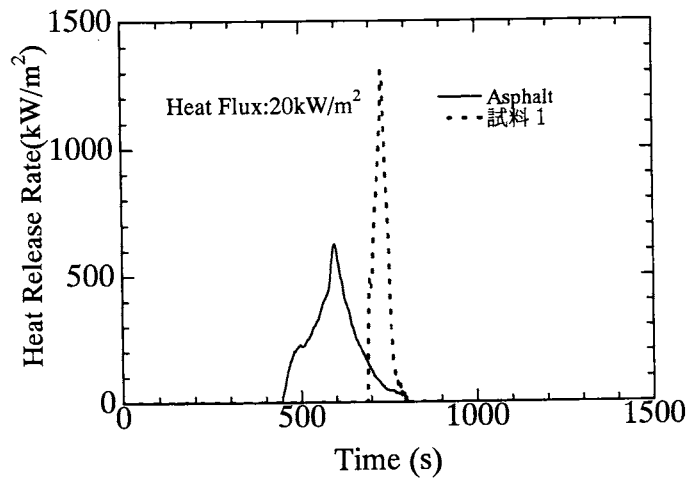


図3 照射放射熱量20kW/m²におけるアスファルトおよび試料1の発熱速度の時間変化

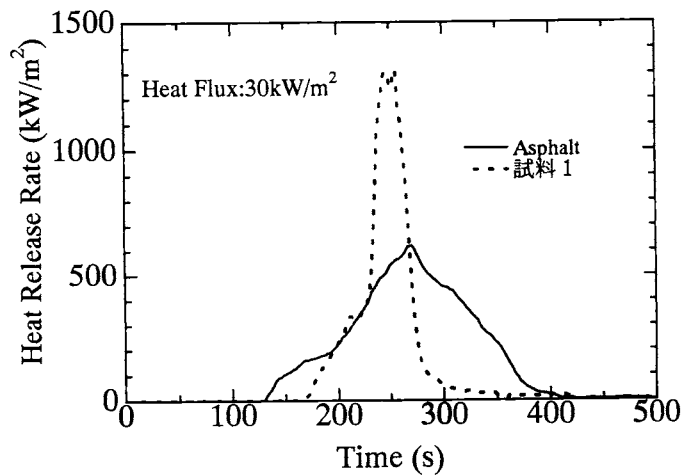


図4 照射放射熱量30kW/m²におけるアスファルトおよび試料1の発熱速度の時間変化

表3 発熱速度のピーク値、燃焼熱、無次元発熱量、燃焼時間および燃焼速度の測定結果

	Heat Flux (kW/m ²)	HRRmax (kW/m ²)	燃焼熱 (kJ/g)	Q* (kJ/g)	火炎高さ (m)	発火温度 (°C)	燃焼時間 (s)	燃焼速度 (g/s)
Asphalt	20	625	28.3	1.5	0.30	346	348	0.10
試料1	20	1307	39.4	3.1	0.43	350	94	0.40
Asphalt	30	620	29.4	1.5	0.30	348	362	0.10
試料1	30	1314	43.0	3.1	0.43	305	252	0.36

および推定された水の生成量から、実験で消費した酸素量を計算した。煙道での酸素濃度変化と生成ガス量から求めた酸素消費量の差から酸素収支を求めた。結果はアスファルト塩混合物の燃焼において空気中の酸素だけでなく、混合塩中の酸素が反応に加わっていることを示した。表3に発熱速度の時間変化におけるピーク値（HRRmax）、アスファルト1g当たりの燃焼熱、無次元発熱量（Q*）^[1]、Q*から計算される火炎高さ^[2]、発火時の試料表面付近の温度、燃焼時間および燃焼速度を示す。測定されたアスファルトの燃焼熱は石炭等の炭化水素の燃焼熱と比較してほぼ等しい値となった。いずれの場合にもアスファルト塩混合物の燃焼熱はアスファルトの燃焼熱よりも高くなった。これらの結果から、アスファルト塩混合物の燃焼においてはアスファルトのみの燃焼とは異なり、硝酸ナトリウムおよび亜硝酸ナトリウムによるアスファルトの急激な自己発熱反応が短時間に起きたものと推定された。

コーンカロリメーターを用いた実験における発火温度の測定結果から、等温蓄熱実験で噴出した火炎は、試料内部の温度がアスファルトと混合塩の自己発熱反応によって上昇し、アスファルトの発火温度以上になり発火したものと考えられる。

4. まとめ

アスファルト塩混合物の燃焼性状および発火性状を調べるために、等温蓄熱実験を行った。次いで、アスファルト塩混合物の発火後の燃焼性状を調べるために、コーンカロリメーターを用いて発熱速度、重量

減少速度およびガス分析等の測定を行った。その結果、以下のことが判った。

- (1) 等温蓄熱実験では時間の経過とともに容器の中央部付近の温度が上昇した。試料容器内から、突然白煙が発生し、発火した。燃焼中、旋回した火炎が観察された。容器内部から噴出した火炎は数mの高さに達した。
- (2) コーンカロリメーターを用いた燃焼実験の結果から、アスファルトと混合塩の自己発熱反応によって急激な温度上昇が起こりアスファルトが発火した。また、アスファルト塩混合物の燃焼は、アスファルトの燃焼の他にアスファルトと硝酸塩等の自己発熱反応を伴う燃焼であった。

参考文献

- [1] Babrauskas, V., Modern Test Methods for Flammability, NIST-IR 4326 (1990)
- [2] 岩田、古積：硝酸塩等を含むアスファルトの発火に関する研究、第31回安全工学研究発表会予稿集、p.177 (1998)
- [3] 長谷川、李：動燃アスファルト固化体処理施設の火災爆発原因に関する考察（Ⅲ）、第31回安全工学研究発表会予稿集、p.187 (1998)
- [4] MaCaffrey, B., "Flame Height" in the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, Quincy, MA, p.1-298 (1988)
- [5] Heskestad, G., Luminous Heights of Turbulent Diffusion Flames, Fire Safety Journal, 5 p.103 (1983)

火災時のリチウムイオン電池の燃焼挙動

鶴田 俊

1. まえがき

リチウムイオン電池は、従来利用されてきた鉛蓄電池やニッケルカドミウム蓄電池よりも大きなエネルギー密度で電力を貯えることができる。1990年代後半から供給が本格化し、ビデオカメラ、ポータブルコンピューター、携帯電話、デジタルスチルカメラなどの電力供給源として普及している。

リチウムイオン電池は、出荷量も増加する傾向を示し、生産を拡大するために新規に工場を建設することも行われている。従来は、研究開発拠点の近傍に工場が立地していたが、生産規模の拡大にしたがって、大都市近傍の研究開発拠点から遠く離れた地方都市へ立地する事例も見られる。

リチウムを用いた蓄電池は、リチウムが水と反応するために非水溶液の電解液が必要となる、金属のリチウムが電極に析出する過程で針状結晶が成長し短絡を起こすなどの困難な問題があった。リチウムイオン電池では、正極と負極の材料を工夫し、針状結晶の成長を予防し、制御用の電子回路を組み込んだパックの形態で供給し、電池セルの過充電や過放電を予防するなどしている。国内製造者の説明資料によると『1989年には、国産製品が米国運輸省危険物輸送課より「危険物規則からの除外判定』を受けている。同資料によると『1991年には、同国産製品がIATAより「危険物規則からの除外判定』を受けている。

リチウムイオン電池は、さらに電池セルを大型化し、電気自動車や電力貯蔵に用いるための技術開発が続けられている。リチウムイオン電池は、金属状態のリチウムを用いたリチウム一次電池やリチウム二次電池と異なり、比較的安全であると言われていたが、平成7年11月と平成9年8月に火災が電池工場において発生している。

平成8年4月2日付け消防第48号執務資料で「第4類の危険物を電解液として内蔵するリチウムイオン電池は危険物を収納しているものと解す。」旨示している。

平成9年8月の大阪府守口市で発生した事例では、火災とともに爆発も起きている。知覚から鎮火まで8時間を要し、合計22台の消防車両、合計約150名の消

防関係者の活動が必要であった。

リチウムは、禁水性の危険物であり、電解液は可燃性液体の危険物である。しかも電池の火災は、電気火災としての側面もある。リチウムイオン電池の火災に対してどのような消火活動が適しているかについて考えてみる必要がある。

リチウムイオン電池が、一般の消費者のもつてで使用されるときには、比較的少量で利用される。ところが製造所や倉庫などでは大量に貯蔵されることが予測される。製造所や倉庫は、必ずしも大都市に立地しているとは限らず、中小の地方都市に立地する例もある。平成9年8月の事例に類似した火災が発生した場合に、限られた装備や人員で対応することも考えられる。

これまでにリチウムイオン電池の開発の過程で、内部不具合によって発熱し、発火する現象や電池構成要素の熱安定性の研究が行われている。ところが、リチウムイオン電池の火災時における挙動について公表された資料は少ない。

火災時に外部から加熱された場合を想定し、リチウムイオン電池の挙動を実験により調べた。

2. リチウムイオン電池の構造

現在、市販されているリチウムイオン電池は、正極にリチウムを取り込んだり放出するリチウム化合物のコバルト酸リチウム (LiCoO_2)、負極にグラファイトやカーボンを用いている。正極と負極は、合成樹脂セパレーターによって電氣的に絶縁されている。大電流を取り出すためには、正極と負極の距離を小さくしたり、正極と負極の面積を大きくすることが行われている。

電池は、電力を貯えたり、放出したりするときに内部で酸化還元反応を行っている。電力を放出すると内部の燃料となる物質は、酸化剤となる物質と反応し、酸化生成物の形で存在する。電力を貯蔵すると内部の酸化生成物が、電気エネルギーによって還元され電極の表面にそれぞれ燃料と酸化剤が形成されている。正常時には、電解液を介して物質移動が起きる。

電池が電力を貯えたり、放出したりするときに一定の損失が発生する。この損失によって電池内部の温度が上昇する。一方、電解液の損失を防ぐためには電池

を気密液密構造としている。そのため、電池内部の温度が上昇すると内部圧力が大きくなる。電池容器の破裂による被害を低減する目的で、安全弁が取り付けられている。

3. 火災時のリチウムイオン電池の挙動

電池が外部からの加熱によって内部温度が上昇すると内部の圧力が上昇し、安全弁が作動し、可燃性液体の電解液が噴出する。このとき、電解液は、液滴、噴霧あるいは蒸気の形で噴出する。

空气中に噴出した電解液は、空気と混合し、周囲へ拡散する。着火源が存在すると火災となる。一方、電池に外部の火災から供給される熱は、残留している電解液の気化や樹脂セパレーターの軟化溶融などが終わると電池に流入する熱によって電池の温度が上昇する。

充電状態のリチウムイオン電池の正極物質コバルト酸リチウムは、リチウムイオンの一部が引き抜かれた状態で、構造的に不安定となっている。リチウムイオンが負極へ充電によって移動した結果、酸素が過剰な状態になっている。温度の上昇に伴って、酸素が遊離し始める。充電完了時のコバルト酸リチウムの酸素遊離開始温度は、225℃～240℃と報告されている¹⁾。

3.1 実験

火災時のリチウムイオン電池の挙動を調べる目的で市販の電池パックから取り出した円筒形の電池で実験を行った。

電池セルは直径18mm、長さ65mmであった。電池セルは、パックの状態専用充電器を用い充電を完了した。

火災による加熱実験装置では、一辺110mmの正方形、深さ50mmの容器の液面を直径およそ40mmに制限し、有機溶媒を燃料とした火炎を加熱源とした。火炎が周囲

空気流の影響で揺らぐ現象を軽減する目的で、容器の周囲を一辺500mmの正方形底面のカバーで被ってある。カバーの上部中央には直径97mmの開口部が設けられており、金属製アングルにアルメルクロメル熱電対素線を用い、取り付けした電池セルを置いた。金属製アングルは、電池セルの作動時の衝撃によって電池セルが観察領域から移動することを防止する目的で用いた。電池セルを垂直に取付け火炎で加熱した実験FV1では、電池セルが底部安全弁作動時に20mm程度上部へ飛び上がる現象が観察された。

電気ヒーターによる加熱実験装置では、直径150mm、厚み80mmの200Wのマットヒーターを加熱源とした。電気ヒーターの上面に熱電対を取付け、温度制御装置によって400℃以上に上昇しないように制御した。

一辺500mmの不燃内装ボードの下部に固定した電池セルは、電気ヒーター上面から30mm上方に設置した。

実験装置は、3.6m×2.5mの平面で高さ2.4mの実験小屋の内部に設置した。小屋の側面には、幅1.8m高さ2mの開口を設けた。

電池は、高速ビデオカメラと通常のビデオカメラで観察した。高速度カメラの撮影速度は、200コマ/秒とした。電池の中央部と底部に熱電対を取付け、温度を記録した。電池の起電力も同時に計測した。

3.2 実験結果

実験結果を表1に示す。火災による加熱実験と電気ヒーターによる加熱実験の結果を示す。

電池の昇温度速度は、最大0.77℃/秒であり、最小0.06℃/秒であった。

電池セルの設置方向は、火災による加熱実験では、電池の軸を水平と垂直の二方向であった。電気ヒーターによる加熱実験では、電池の軸を水平にした。

電池セルには、上部の正極部と底部の負極中心部に

表1 実験結果

	FV1*	FH1	EH1S	EH2S	EH3	EH4
加熱方法	火炎	火炎	電気ヒーター	電気ヒーター	電気ヒーター	電気ヒーター
電池セル設置方向	垂直	水平	水平	水平	水平	水平
昇温速度 (℃/秒)	—	0.77	0.08	0.09	0.06	0.11
底部安全弁	作動	作動	不作動	作動	作動	作動
起電力低下温度 (℃)	—	132	139	139	142	134
上部安全弁作動温度 (℃)	—	163	168	163	168	166
内部発火時の温度 (℃)	—	208	210	204	203	208
最高温度 (℃)	—	697	691	750	642	692

* 温度計測実施せず。

安全弁が設けられている。正極部の安全弁は、すべての場合作動したが、底部の安全弁は実験EH1Sで作動しなかった。

電池セルの起電力は、132℃～142℃の範囲で低下し始めた。上部安全弁の作動温度は、163℃～168℃であった。

内部での発火の起きる温度は、203℃～210℃であった。内部発火の直後電池の表面温度は急激に上昇した。最高温度は、642℃～750℃であった。

図1に実験EH3の電池セルの表面温度と起電力の時間変化を示す。横軸は、電池セル内部で発火の起きた時点を基準にした経過時間、 t で単位は秒である。左側の縦軸は、温度、 T で単位は℃であり、右側の縦軸は起電力、 E で単位はVである。

室温付近では、 $E=4.2V$ 程度の起電力である。

温度の上昇に伴って、 $t=-1210$ 秒の時点で起電力の低下が観察された。さらに温度が上昇すると $t=-1060$ 秒の時点で起電力は不連続に変化し、 $t=-860$ 秒から2V程度でしばらく安定しやがて $t=-510$ 秒の時点で0.5V以下に低下する。

この0.5V以下に低下する時点は、上部安全弁の作動の時期と一致する。上部安全弁が作動すると電気的な接続が切断されるが、その直後に小さいながらも起電力が表れるので、何らかの伝導体による回路が形成されたと推定される。

上部安全弁が作動すると内部からの電解液の噴出が起り、液体の気化や気体の膨張によって熱エネルギーが電池セルから運び出されるようになる。そのため

温度上昇速度は低下する。

起電力が再び0.5Vを越えて変動する $t=-210$ 秒の時点から温度上昇速度は、再び増加している。そして、 $t=0$ 秒で内部発火が起きると極めて短時間に温度が600℃以上にまで上昇している。電池セルの中央部と底部での温度上昇にほとんど時間差が観測されないことから内部で急激な反応が起きたことが推定できる。

この電気ヒーターによる加熱実験では、噴出した電解液に着火していない。電池セルからの電解液や分解生成物と思われる気体の噴出が終息した状況で内部発火が起きているので、電極を構成する物質が反応し、発熱が起きたと推定できる。

4. あとがき

完全に充電したリチウムイオン電池を用いて火災時を想定した実験を行い、1) 電解液の噴出、2) 電解液の燃焼、3) 電池セルの内部発火などの現象を観察した。

電解液は、噴出すると可燃性の噴霧あるいは予混合気を形成する。着火源が近傍にない場合には、大量の可燃性噴霧や予混合気が形成されることが予測される。

電池セルから噴出する電解液に着火すると安全弁の周囲に火炎が形成された。

電気ヒーターによる加熱で電解液に着火することなく昇温した場合にも電池セルの内部での発火が観察された。このことは、リチウムイオン電池の電解液だけ

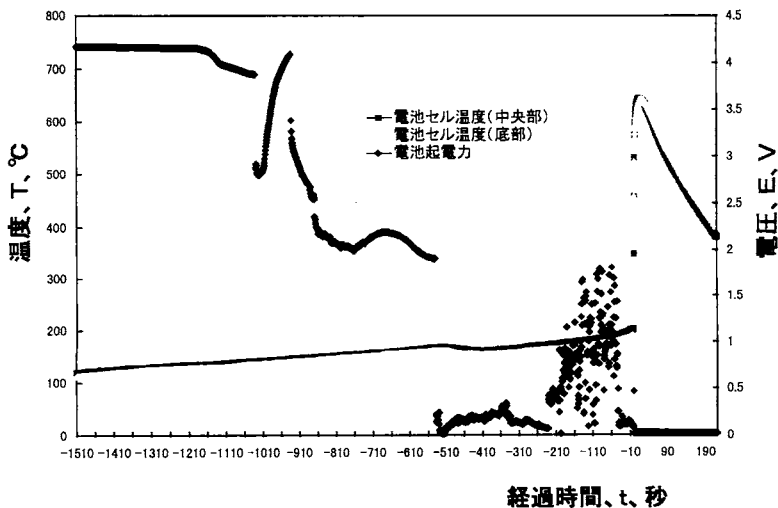


図1 電池セルの表面温度と起電力の時間変化

ではなく、電極を構成する物質が反応することが推定できる。

新しく開発されたリチウムイオン電池は、日本の産業界が優位性を持つ製品である。しかし、リチウムイオン電池の工場における大規模な電池火災が起きており、リチウムイオン電池の火災時の挙動を把握することが、消火活動を行うためには不可欠である。

今後リチウムイオン電池を世界市場に供給するのであれば、供給先における安全対策も同時に供給する必要がある。

リチウムイオン電池は、その構成材料の特性上、密閉された容器を用いているために通常の観察手法では内部の様子を知ることができない。また、短時間に急激な発熱を起こし、内部の圧力も急激に上昇するので通常の熱分析装置を用いた解析が行えない。

現在、圧力容器を備えた熱分析装置を導入し、リチウムイオン電池の熱分析を実施する準備を行っている。

る。

これに加えて、金属容器などの内部で起きている変化を捉えるためX線CT撮影装置の導入を検討している。

日本の産業界が、新しい製品を開発し、世界市場における優位性を獲得するためには、安全上の問題も製品開発と共に検討し、安全性を確保することが望まれる。新規の製品には、未知の部分が当然存在する。火災や地震などの災害事象も想定して安全対策を講じて技術開発を行うことが必要であると思われる。

謝辞

事故事例の調査に対してご協力いただいた守口市門真市消防組合消防本部や多くの方々に感謝します。

参考文献

- 1) 芳尾真幸、小沢昭弥編：“リチウムイオン二次電池”、P. 33、日刊工業新聞社、(1997)

ナトリウム火災の特殊性とその対策

廖 赤虹、斎藤 直、鶴田 俊

1. はじめに

金属ナトリウムは熱伝導性に優れ、融点97.8℃、沸点881℃と液体状態の温度範囲が広く、高速中性子を減速させないなど、原子力エネルギー開発における高速増殖炉の冷却材として、優れた特性を持っている。その一方、ナトリウムは消防法の危険物第3類に分類され、酸素や水に触れると激しく反応して発火し、空気中において、一度燃え上がるとなかなか消し難く、また、酸化反応に伴い、毒性・腐食性の強いエアロゾルが大量に発生する危険な物質でもある。

高速増殖炉の冷却材として使われる熔融ナトリウムは、空気中に漏洩すると発火し火災となる。これまで、世界中に高速増殖炉関連のナトリウム漏洩事故やトラブルが多発した。表1に諸外国のいくつかの高速増殖

炉で起ったナトリウム漏洩事故の概要をまとめた¹⁾。もちろん、これは外国で起った漏洩事故の一部に過ぎないと考えたほうがよい。また日本においても、この30年近く、ナトリウムの漏洩火災が発生している。そのなかでよく知られているのが、1995年12月8日の高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏洩火災事故である。そのほかに、原子力関係以外のナトリウムの火災事故も多く発生している²⁾が、これまでのナトリウムの火災研究の多くは、高速増殖炉の研究・開発に関連した原子力工学の分野でなされてきた研究がほとんどである。

1960年以降のナトリウム燃焼研究は、主に次の3分野に行われた³⁾。

- 1) 高速増殖炉の安全対策を主眼とした研究
- 2) ナトリウム火災の消火及び防災全般に関する研究

表1 諸外国で発生した高速増殖炉のナトリウムまたはNaK漏洩事故¹⁾

発生年月日	発生地点	増殖炉名称と出力	漏洩場所	漏洩原因	備考
1960年	旧ソ連、モスクワ近郊のオブニンスク物理エネルギー研究所	実験炉BR-5、熱出力500kW	1次系のポンプと2次系の空気冷却器	1次系はパッキンゆるみ。2次系は不明	外部への被害がなし
1963年7月と1966年7月	イギリス、スコットランド北端	実験炉DFR、熱出力72000kW、電気出力15000kW	蒸気発生器伝熱管	金属腐食	NaK漏洩 外部への被害がなし
1966年10月	フランス、カダラッシュ原子力研究所	実験炉ラプソディー、熱出力20000kW	2次系ナトリウム注入用配管	予熱時のナトリウム熱膨張による破壊	外部への被害がなし
1967年5月	イギリス、スコットランド北端	実験炉DFR、熱出力72000kW、電気出力15000kW	原子炉入口の1次系配管	配管の金属疲労	外部への被害がなし
1976年7月と10月	フランス、マルクール	原子炉フェニックス、電気出力25万kW	2次系の中間熱交換器	熱膨張による溶接部の破損	外部への被害がなし
1978年10月 1981年1月	フランス、カダラッシュ原子力研究所	実験炉ラプソディー、熱出力20000kW	原子炉容器壁	欠陥によるもの	外部への被害がなし
1987年3月8日	フランス、マルクール	実験炉スーパーフェニックス、熱出力300万kW、電気出力124万kW	炉外燃料貯蔵槽壁	溶接部分の亀裂	外部への被害がなし
1993年10月7日	ロシア、ベロヤルスク原子力発電所3号機	原子炉BN-600、電気出力60万kW	1次ナトリウム純化系配管	溶接部分の亀裂	少量の放射性ナトリウムが外部へ

表2 Naの主な化学反応とその条件²⁾

	物資名	反応条件及び挙動	反応式
1	空気	溶融Naは乾燥空气中に115℃以上で着火、大気中では室温でも吸湿して発火するおそれ	$2\text{Na}+1/2\text{O}_2\rightarrow\text{Na}_2\text{O}$ $2\text{Na}+\text{O}_2\rightarrow\text{Na}_2\text{O}_2$
2	二酸化炭素	赤熱状態で反応し、遊離の炭素を生成する	
3	窒素	窒素とは反応しない。ただし、放電で活性化した窒素とは窒化ナトリウムを形成する	
4	水素	200℃以上で反応	$\text{Na}+1/2\text{H}_2\rightarrow\text{NaH}$
5	水	常温で激しく反応、空气中で爆発	$\text{Na}+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{NaOH}+1/2\text{H}_2$
6	ハロゲン及びハロゲン含有ガス 塩素 フッ素 臭素 ヨウ素 ハロゲン含有ガス	室温ではわずかに反応、溶融Naは塩素中で燃焼 フッ素ガスが乾燥状態でない限り発火する 300℃で爆発的な表面反応 300~360℃で表面反応 ハロゲン化ナトリウムを生成する	$\text{Na}+1/2\text{Cl}_2\rightarrow\text{NaCl}$ $\text{Na}+1/2\text{F}_2\rightarrow\text{NaF}$ $\text{Na}+1/2\text{Br}_2\rightarrow\text{NaBr}$ $\text{Na}+1/2\text{I}_2\rightarrow\text{NaI}$
7	水素含有ガス パラフィン系炭化水素 フッ化水素 塩化水素 水蒸気 硫化水素 液体アンモニア アルケン、芳香族炭化水素 アセチレン	一般にはNaがH ₂ と置換してナトリウム塩を生ずる 反応しない 常温で激しく反応する 融点以上でわずかに反応する 常温で反応する 液体アンモニアに溶解し、300℃では激しく反応する 分解温度以下では反応しない	$\text{Na}+\text{HF}\rightarrow\text{NaF}+1/2\text{H}_2$ $\text{Na}+\text{HCl}\rightarrow\text{NaCl}+1/2\text{H}_2$ $\text{Na}+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{NaOH}+1/2\text{H}_2$
8	酸素含有ガス	酸化ナトリウムとナトリウム塩を生ずる	$4\text{Na}+2\text{SO}_2\rightarrow\text{Na}_2\text{S}+\text{Na}_2\text{SO}_4$ $2\text{Na}+\text{N}_2\text{O}\rightarrow\text{Na}_2\text{O}+\text{N}_2$
9	その他の物資 水銀 アルコール チオアルコール 塩 非鉄元素 硫黄、セレン、テルル リン 炭素、黒鉛、ダイヤモンド ケイ素	激しく反応してアマルガムを形成する Cの数が増加するほど反応しにくくなる 反応する 多くの無機ハロゲン化物と激しく反応 強熱すると反応する 反応する 反応しない 融点まで反応しない	$\text{Na}+\text{ROH}\rightarrow\text{NaOH}+1/2\text{H}_2$ $\text{Na}+\text{RSH}\rightarrow\text{NaSR}+1/2\text{H}_2$

3) 燃焼現象の解明を主目的とした研究

しかし、ナトリウムの燃焼は現象が複雑で、観察も困難なので、多くの研究は行われたがナトリウムの燃焼現象を十分に把握できるところまでに至っていない。また、ナトリウムを含むアルカリ金属火災に対して、従来消火方法として、乾燥砂、パーミキュライト、または、塩化ナトリウムや炭酸ナトリウムを主剤とした粉末消火剤を燃焼表面に散布し、空気から物理的に隔離して消火する方法が一般的に知られているに過ぎず、これらの物質の火災安全対策はきわめて貧弱な状況にあるといえる。

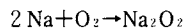
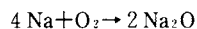
消防研究所は1995年の高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏洩火災事故により、ナトリウムの火災安全対策を目的としてナトリウムの燃焼と消火に関する3度目の研究を開始し、ナトリウム燃焼に関するいくつかの新しい知見を得た。ここで、それに基づいて金属ナトリウムの火災対策を再検討してみたい。

2. ナトリウムの一般性質および特徴

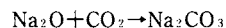
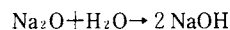
2.1 ナトリウムおよびその酸化物の主な反応

ナトリウムは、常温では銀灰色の固体で、比重が0.97g/cm³ (20℃) で水より軽い。原子番号23、アルカリ金属の一つで、反応性は強く、一部の単体、塩類、有機物を除きほとんどの物質と高温で反応する。表2にナトリウムの主な反応と反応条件を示した²⁾。

また、ナトリウムのみならず、ナトリウムの酸化物も反応性が高い。ナトリウムは酸素とつぎのような反応を起こし、酸化ナトリウムNa₂Oまたは過酸化ナトリウムNa₂O₂を生ずる。



過酸化ナトリウムはナトリウムの酸化生成物でありながら、強い酸化剤でもあるから、ナトリウムの燃焼反応に一般の燃焼に見られない挙動をもたらす。また、酸化ナトリウムは水蒸気および二酸化炭素とは以下のように反応し、水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムが生成される。



これらの反応もいずれも発熱反応であり、災害をもたらすおそれがあるので、ナトリウムが空气中で燃え尽くしたとしても、最後に水酸化ナトリウムまたは炭酸ナトリウムに変わるまでは気を緩めてはいけない。ただし、空气中で燃え尽くしたナトリウムの酸化生成物に高濃度の二酸化炭素を導入すると、急激の発熱で赤熱状態まで達するおそれがあるから、処理にあたって

低濃度の二酸化炭素で徐々に反応させなければならない。水で処理する場合も同様で、ゆっくりと慎重に行わなければならない。

2.2 毒性

溶融ナトリウムが周囲に漏れ出すと、たとえ、1%以下の低酸素濃度においても毒性と腐食性のあるエアロゾルが発生する。また、燃えていなくても、ナトリウムおよびその化合物が生体に有害なもので、消火活動や処理にあたって十分な注意を払わなければならない。表3にナトリウムおよびその化合物の生体に対する影響を示した²⁾。

3. ナトリウムの発火と燃焼

3.1 ナトリウムの発火温度

発火温度は危険物の安全管理上で重要なパラメータであり、もっとも関心度の高いデータの一つであるが、ナトリウムの発火温度はナトリウムの状態や周囲条件によってかなり異なる。塊状のナトリウムは常温で乾燥空气中に暴露しても通常発火しないが、大気中に放置されて吸湿し、発火した事故例がある²⁾。また、ナトリウムの噴霧微粒子は常温においても空气中で発火する¹⁾。

ナトリウムの最低発火温度、いわゆる発火の限界温度は2種類の方法で測定された。一つはナトリウムを空气中で発火するまで徐々に加熱して、発火温度を調べる方法である。この場合の発火温度はナトリウム表

表3 Naおよびその化合物による生体への被害²⁾

接触方式	被害
溶融ナトリウムが直接に皮膚に接触する	激しい火傷とアルカリによる薬傷を起こし、皮膚のみならず筋肉ならびに骨組織をも腐食する。
ナトリウムや水酸化ナトリウムが眼の中に飛び込む	水酸化ナトリウムによるたんばく質分解作用を起こし粘膜炎を浸し、視力を低下させ失明に至らしめることが多い。
口中に入り飲み込み	急性または慢性的の吸収中毒は起こさないが、食道・胃の粘膜を浸され死亡することがある。
ナトリウムの熱気やミストを吸入する	ナトリウム、水酸化ナトリウムならびに炭酸ナトリウムなどにより気管支、肺などに炎症を起こし、濃度が高い時には呼吸困難となり、死亡することがある。

面に形成された皮膜の溶融によって決まり、皮膜を破壊しなければ290℃以上となり、皮膜を故意に破壊すると140℃でも発火する⁷⁾。もう一つの方法は不活性ガス中で所定の温度まで加熱して、目標の温度に達したら不活性ガス雰囲気を実験室に切り替えて発火の有無を観察することである。後者の方法は実際のナトリウム漏洩火災の状況に近い。この方法で測定された最低発火温度は121℃⁸⁾と報告されている。

著者が行っているナトリウム燃焼の研究では、図1の装置を用いて発火と燃焼の挙動を調べている。装置は内径85mm、高さ400mmのパイレックスガラス管の中央に外径17mm、内径15mm、深さ10mmのステンレス製の燃焼容器を同軸状に配置して作られており、雰囲気ガスの流量、酸素濃度およびナトリウムの加熱温度は自由に調整できる。

実験では、燃焼容器に充填したナトリウムを窒素雰囲気中で所定の温度に加熱してから、窒素ガスを空気または所定の酸素濃度に調整した雰囲気ガスに切り替えて発火や燃焼挙動を観測する。

この装置で測定されたナトリウムの発火の最低温度、いわゆる発火限界温度は空気流量20l/minの条件では120℃で、空気流量5l/minの条件では115℃であった⁷⁾。この値はこれまでに報告された最も低い発火温度となっている。ただし、この場合でももしナトリ

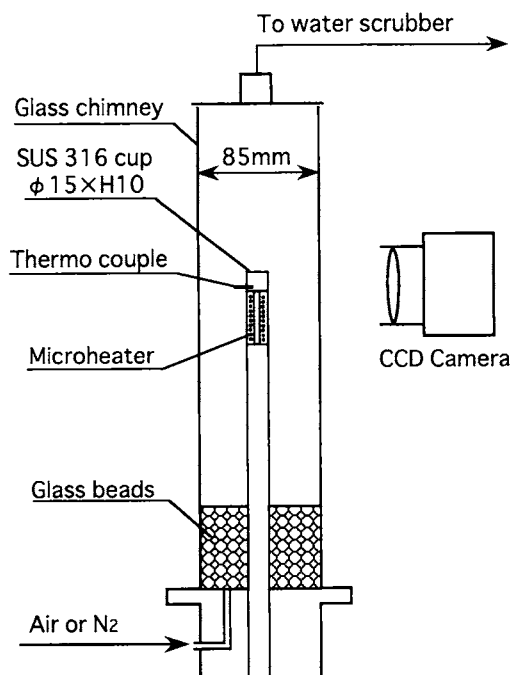


図1 小型ナトリウム燃焼実験用同軸流バーナー

ウム表面皮膜を引掻き破壊すると、もっと低い温度でも発火するのが認められている。

要するに、ナトリウムの発火温度は、ナトリウムの表面状況、伝熱条件、雰囲気中の水蒸気濃度など多くの条件に支配された複雑なるものとなっている。

また、本研究によれば、ナトリウムの発火は気相での発火と固体酸化物表面近傍での発火との2つのタイプがある⁷⁾。気相中の発火現象は625℃以上の加熱温度で現れ、高温になるにつれ、図2 aのようにナトリウムの表面からより離れた高い位置で発火する。ビデオ記録の解析から、700℃における気相発火後の火炎の伝播速度は約100mm/sであった。それに対し表面近傍での発火にともなう燃え広がり速度は約1mm/s程で二桁違いに遅い。600℃以下の加熱温度の場合、図2 bのように所定の温度まで加熱されたナトリウムに空気を導入すると、まずナトリウムの表面に酸化物の突起が形成され、その近傍で発火する。また、発火は1箇所だけではなく複数のところから始まり、燃えながら合流し一つとなる。

3.2 ナトリウムの燃焼

燃焼時のナトリウムは融解しているから、その燃焼

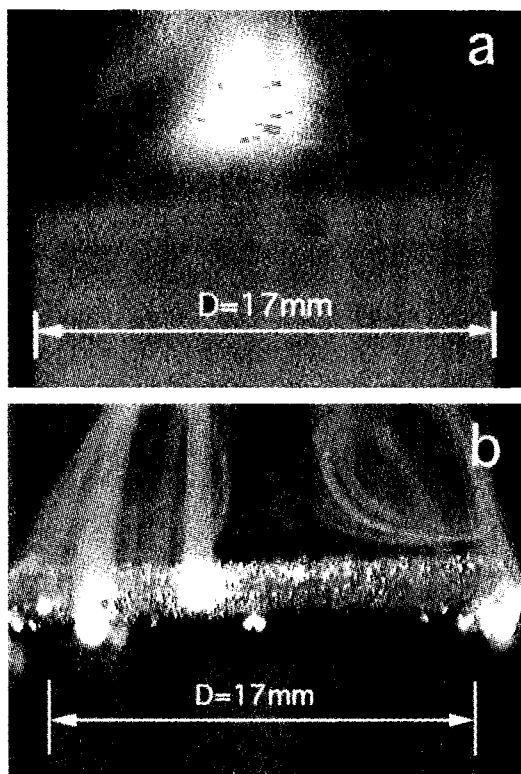


図2 ナトリウムの気相発火と表面酸化物近傍での発火

は液体燃料などの場合と同様に液面燃焼と見なされる。一般的にナトリウムのプール燃焼は石油系燃料に比べ、火炎が低く、燃え方が非常に穏やかであると報告されているが、それは燃焼時の温度条件によって変わるものである。

ナトリウムの燃焼速度は文献によってかなり異なり、0.3～3 kg/min/m²の範囲で与えられている^{7,8)}。このように燃焼速度が広い範囲でさまざまに報告されている原因はおそらく実験時の伝熱条件にあると考えられる。図3に示したように⁹⁾ナトリウムの蒸気圧は温度に大きく依存し、温度の上昇につれ急激的に増大する。例えば、500℃に加熱されたナトリウムの蒸気圧は大気圧の1%以下であるが、700℃になると、蒸気圧の割合は約14%にもなる。図4に示したように、消防研究所の小型プールによる燃焼実験では、ナトリウムの加熱温度は700℃をすると、燃焼初期の火炎形状は石油系燃料の場合と同様にコーン型の火炎となる

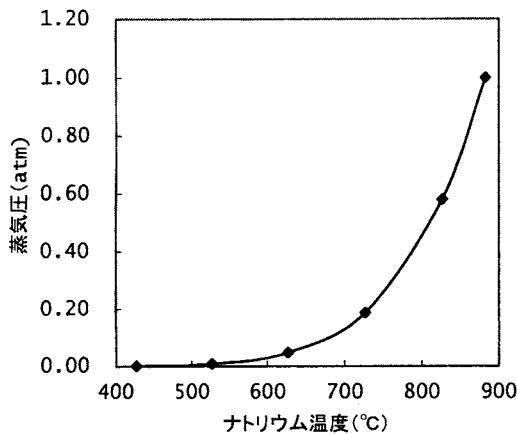


図3 ナトリウムの温度と蒸気圧との関係

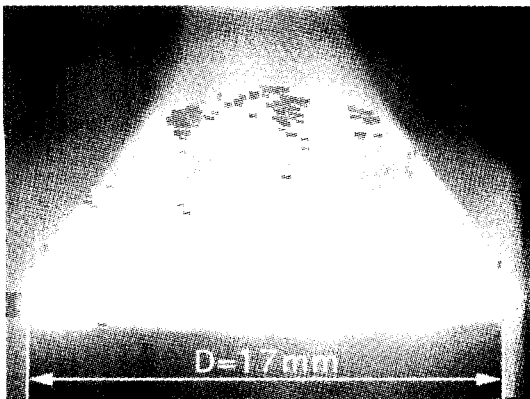


図4 700℃に加熱されたナトリウムの燃焼初期にできたコーン型火炎

。また、出口を絞った容器に入れたナトリウムを沸点の883℃以上に加熱すると、ナトリウム蒸気が出口から噴出し、橙色の噴流拡散火炎が形成される¹⁰⁾。

3.3 ナトリウム燃焼抑制可能な酸素濃度

従来、発光を伴うナトリウム燃焼反応を抑制するには、雰囲気中の酸素濃度を4%または5%以下に下げればよいとされた¹¹⁾。著者らは高速増殖炉「もんじゅ」の漏洩ナトリウム火災対策として計画されている窒素消火装置の性能、すなわち、窒素により空気中の酸素濃度を5%に低下させてナトリウム火災を消火することの可能性を確認する目的で、窒素の導入によりナトリウム燃焼を抑制できる雰囲気中の酸素濃度について実験的検討を行った。

実験は図1に示した装置を用いて行った。まず、ナトリウム試料を窒素雰囲気中で目標温度まで加熱した後、20l/minの空気気流に切り替えて10秒間自由燃焼させた。その後窒素により低酸素濃度に調整した雰囲気に切り替え、炎が消えるかどうか目視で確認することにより実験を行った。その結果、空気中で自由に燃焼しているナトリウムの炎を消すことのできる必要な酸素濃度はナトリウムの初期加熱温度によって異なったことが明らかとなった。すなわち、初期加熱温度150℃における6%から600℃における2%まで、加熱温度の上昇と共に直接的に低下した¹²⁾。ただし、ナトリウムの場合には酸素があるかぎり、炎が消えても発熱を伴う酸化反応が続くので、通常の「消火」と意味が異なるものである。

3.4 低酸素濃度雰囲気でのナトリウム燃焼挙動

ナトリウム冷却配管からの漏洩火災対策の1つとして、ナトリウム配管を二重構造にしてその外管に不活性ガスを注入し低酸素濃度雰囲気にする、あるいは、配管の設置場所にあらかじめアルゴンガスを導入し低酸素雰囲気しておくなどの方法が採用されている。このように漏洩があっても火災が起らないように工夫している。

しかし、前述したように、高温ナトリウムは酸素があればこれと反応するので、雰囲気中の酸素濃度を自由燃焼の抑制される濃度以下にしても、間欠的に燃え出すことがある¹³⁾。著者らの実験では、あらかじめナトリウムを窒素中で500℃に加熱しておき、500℃では燃焼が抑制される1%の酸素濃度雰囲気に切り替えると、ナトリウムは燃焼しないが、酸化されながら容器から溢れて側面に一面に流れた。しばらくすると、容器表面が一面の黄色いナトリウムの酸化物に覆われ

た。そのまま数分間経って、容器の縁から火炎が現れ、酸化物の一面に燃え広がった（グラビア参照）。その伝播速度は、ナトリウムが容器から流れ出て広がる速度より30倍ほど速かった。また、このような燃え方は一回だけではなく、温度や酸素濃度の条件によって影響されるが、繰り返し起るものであった。

本実験では、上記の現象は400℃以上の温度範囲で発生し、また酸素濃度を0.5%までに下げても観測された。このようにいままですべて消火できるとされた酸素濃度の雰囲気中で間欠的に火炎が酸化物の表面に燃え広がる現象は、これまで報告されていない。そのメカニズムはまた明らかにされていないが、ナトリウムが燃えないとされた低酸素濃度中で発火が起り燃え広がることは、酸化物の一つとして過酸化ナトリウムが生成し、酸化剤として作用したためと推定された。しかしながら、容器からナトリウムが繰り返し溢れ出て間欠的に燃えるメカニズムの全容はいまだ不明である。

3.5 固体残渣の発火

ナトリウム燃焼のもう一つ大きな特徴はその反応生成物が燃焼系内に留まることである。炭化水素燃料の主な燃焼生成物は気体であり、燃焼系内に留まることがないが、それに対して、ナトリウムの燃焼は固体の生成物を与え、その固体生成物が燃焼系内に留まり未燃のナトリウムと共存しているため、ナトリウムの燃焼現象を複雑にさせてしまう。

消防研究所で行ったナトリウムの消火実験では、500℃に加熱されたナトリウムを空气中に10秒間燃やしてから、3%酸素濃度の雰囲気中に切り替え燃焼を抑制した。その後、雰囲気を窒素に切り替えて反応を止め、ナトリウムを含む燃焼残渣を室温まで冷却した。そこで窒素雰囲気を空气中に切り替えると、固体になったナトリウムの燃焼残渣が再び発火して燃え広がった（グラビア参照）。

さらに、ナトリウムの加熱温度を150～600℃に、雰囲気酸素濃度を0.5～5%に変えて、ナトリウム酸化物の成長状況と発火挙動を詳しく観察した。その結果、窒素で消火したナトリウムの固体残渣はナトリウムの加熱温度と雰囲気酸素濃度に関係なく、酸化物に金属ナトリウムが染み込んだ構造になったら、室温で空気を触れると発火する可能性がある¹⁰⁾。

一般にナトリウムの発火温度は融点より高く、固相のナトリウムが室温で発火しないと認識していたが、実際にナトリウムが一旦酸化反応を起こすと、酸化生成物がナトリウムと共存しているため、ナトリウム単体とは異なった状態になってしまう。ナトリウムの固

体残渣が室温で発火する現象はその混合物の構造にあると推定される。したがって、ナトリウムの燃焼研究にしても、火災対策にしても、ナトリウム酸化物の混在によりもたらした影響を十分に調べて考慮に入れなければならない。

4. 従来の消火法と問題点

第2節に述べたように、ナトリウムは反応性の非常に高い物質なので、一般の消火剤は効かないだけでなく、激しく反応するものもあり、使用することができない。したがって、従来ナトリウム火災の消火は以下の2通りの方法に絞られた。

- 1) 環境中の酸素を除去して反応を断つ
- 2) ナトリウムを冷却し発火点以下に温度を下げる

これまで消火に用いることのできる物質として採用された物質は、大まかに言えば、

- 1) 気体物質の不活性ガス
- 2) 分解温度までナトリウムと反応しない炭化水素系の油類
- 3) 無機物質の固体粉末

の3種類があるが、実際に消火に用いるにあたってはいずれも問題が残されている。

- 1) 不活性ガス

ナトリウム火災の対策の一つとしては、窒素、アルゴンのような不活性ガスを密閉空間に導入して、酸素濃度を低下させて消火し、ナトリウムの発火温度以下までに冷却されるのを待つことである。この方法は消火用のガスの放出が制御しやすく、立体的な火災にも適用できる利点があるが、実際の使用にあたっていくつかの制約を受けている。すなわち、第1に、火災の現場は密閉空間でなければならない。第2に、ナトリウムの燃焼反応の抑制に必要な酸素濃度は、ナトリウムの初期加熱温度150℃における6%から600℃における2%まで、加熱温度の上昇と共に直線的に低下する。空気中の酸素濃度をそこまで低下させるには、火災となっている区画容積の1.3～2.4倍もの体積の不活性ガスを必要とし、消火剤として貯蔵するガス量は膨大になる。また、気体の冷却力が乏しいので、消火後もナトリウムが発火点以下に冷却されるまで不活性ガスの供給を長時間続けなければならない。第3に、たとえ酸素濃度を下げて燃焼反応を抑制することができていても、酸素が存在する限り、発熱に伴う酸化反応が続くわけである。どこまでの発熱速度は安全のため許容できるかよく検討しなければならない。第4に、第3節において説明したように、窒素で消火したナトリウム固体残渣は室温までに冷却されても空气中で発火す

ることがあるので、条件によっては、「ナトリウムを冷却して発火点以下に温度を下げる」という消火の想定が根底から否定される場合もありうる。

2) 油類

炭化水素は分解温度までナトリウムと反応しない性質を持っているので、油類を用いて燃焼ナトリウムの表面を覆って、酸素を断つと同時に冷却して消火する方法も考えられ、テストされた⁴⁾。しかし、ナトリウムの量が多いと二次的な大油火災を引き起こすおそれがあるので、実用化されていない。

3) 固体粉末

無機物質の固体粉末は液体に比べ冷却力は小さいが、二次火災の心配がないので、ナトリウムから空気を遮断するために使われる。粉末消火剤としては、高温でもナトリウムと反応しないこと、比重が小さく溶融ナトリウムの表面に浮かぶこと、腐食性、吸湿性、毒性のないこと、価格が低廉であることなどが求められるが、上記の条件を満たすものはなかなか見つからない。

いままでに、ナトリウム火災の消火に有効とされた無機固体物質には、炭酸カルシウム (CaCO₃) 酸化カルシウム (CaO)、炭酸ナトリウム (Na₂CO₃)、リン酸ナトリウム、塩化ナトリウム (NaCl)、酸化マグネシウム (MgO)、砂、炭素粉、パーミキュライト、塩化物の共晶物、(NaCl、BaCl₂、KCl) などがある。表4のように¹⁴⁾、そのなかの多くは高温のナトリウムと反応するので、低温にしか使えない。そのほかに、ナトリウムの毛細管現象による表面への染み出しに起因する再発火の問題、粉末の防湿の問題、塩化物の腐食性の問題、および火災源に近づけない場合の粉末の散布方法の問題など、実用上解決されるべき問題が残っている。このため、実験室レベルの消火実験結果は多数報告されているが、実火災に対する有効性は不明である。

5. 火災対策について

表4 550℃におけるNaと各種無機物との反応¹⁴⁾

物資名	反応状況
砂	激しく反応
パーミキュライト	激しく反応
酸化カルシウム (CaO)	激しく反応
炭酸カルシウム (CaCO ₃)	激しく反応
グラファイト	酸素と反応して燃焼
シラスボール	激しく反応
無水ホウ砂	激しく反応
炭酸ナトリウム (Na ₂ CO ₃)	反応せず

このように、ナトリウムの種々の化合物は身近な物質として昔からよく使われているが、ナトリウムそのものの燃焼特性については十分に把握するところまでには至っていない。そのため、ナトリウム火災に対して、有効な火災安全対策が十分確立されているとは言えない。

これまでの火災対策はナトリウム火災を消火できるように努めたが、上述のようにナトリウムおよびその酸化生成物は反応性の非常に高い物質であり、漏洩ナトリウムの量が多くなると、未反応のナトリウムが残っている限り、消火もその後処理も難しい。そのため、現時点の火災対策の指針として無理に消火するよりもむしろ漏洩したナトリウムを安全に反応させることがより現実的な選択と考える。したがって、火災対策として以下のことが重要と思われる。

- 1) ナトリウムの漏洩しそうなところの耐熱性、耐食性、耐圧性を高め、漏洩ナトリウムをほかの反応物質に接触しないように工夫する。
- 2) 一旦漏洩が起ったら速やかにドレーンを行い、ナトリウムの漏洩量を最小限に止まるようにする。
- 3) 不活性ガスを用いて暴露したナトリウムの燃焼を制御し、被害が拡大しない前提でなるべく漏洩したナトリウムを徐々に反応させたほうがよい。
- 4) 反応のナトリウムを含む固体残渣は室温で空気を触れると再び発火する危険があるので、一旦消火した固体残渣の処理方法もあらかじめ用意しなければならない。
- 5) ナトリウムの燃焼により生成される過酸化ナトリウムは強い酸化剤であり、ナトリウム自身と激しく反応するから、たとえ低酸素濃雰囲気下においてもナトリウムの漏洩を繰り返し、生成した過酸化ナトリウムに高温ナトリウムを接触させることのないように注意しなければならない。

引用文献

- 1) (財) 日本原子力文化振興財団、「高速増殖炉のトラブルと対策」、(1995.3)
- 2) 日本化学会、「金属ナトリウム」、化学防災指針、丸善(株)、vol.5, chap.8, pp.165-204, (1980)
- 3) 斎藤 直、廖 赤虹、鶴田 俊、「ナトリウム火災の燃焼と消火」、燃焼の科学と技術 (投稿中)
- 4) Gracie, J. D. and Droher, J. J., "A Study of Sodium Fire", NAA-SR-4383, Atomic International, pp.1-84, (1960)
- 5) Akita, K. and Yamashika, S., "Ignition of a sodium piece in air", Report of Fire Research Institute,

- No.24, pp.38-43, (1964)
- 6) H. C. Cowen and H. Vickers, "The Oxidation of Sodium, A Review of Progress from 1-4-54 to 31-12-54" R & DB (C) TN-121 (1955)
- 7) 斎藤 直、廖 赤虹、鶴田 俊、「小型プール中の高温ナトリウムの着火挙動」、第36回燃焼シンポジウム論文集、pp.803-805 (1998) .
- 8) R. K. Hilliard, et al., U.S. Position Paper Part II, International Working Group on Fast Reactors Specialists' Meeting on "Sodium combustion and Its Extinguishment-Techniques and Technology" (1972)
- 9) 化学工学協会、「Naの蒸気圧」、物性定数第3集、pp.161.
- 10) 湯浅三郎、「ナトリウム拡散火炎の発光スペクトル」、東京都立工科短期大学研究報告第14号、pp.165-166, (1985)
- 11) Ballif, J. L., " Liquid Metals Fire Control Engineering Handbook" , HEDL-TME79-17, pp.1-150, (1979)
- 12) 斎藤 直、廖 赤虹、鶴田 俊、「金属ナトリウムの加熱温度と窒素希釈時の消火酸素濃度」、火災学会研究発表会、pp.230-231 (1999) .
- 13) 廖 赤虹、鶴田 俊、斎藤 直、「窒素消火したナトリウム固体残渣の着火挙動」、第37回燃焼シンポジウム論文集、pp.517-518 (1999) .
- 14) 守川時生、「ナトリウム火災の消火」、火災、27(3)、28-34、(1977)

プラスチックパレットの難燃化 に関する研究開発

山田 常圭、箭内 英治

1. はじめに

1995年11月、埼玉県吉見町の東洋製罐(株)自動ラック式倉庫で発生した火災では、自動スプリンクラー設備や自動火災報知設備が動作したにもかかわらず、火災が抑制できず全焼倒壊し、消防隊員を含む3名の方が亡くなった。この火災に限らず一般に倉庫の収納可燃物は、通常の建物に比較して多く、いったん火がつくと消火が困難となる。特に、本火災では倉庫の主たる収納物は不燃性の空き缶であったが、搬送のためプラスチックパレットが多く用いられ火勢拡大の一因となった点が、新たな倉庫の防火上の課題として注目された。

プラスチックパレットは、従来の木製パレットに比較し、耐久性・規格の統一性・衛生上等の様々なメリットがあり、使用量は年々増加する傾向にあるが、一方で木製パレットに比較して着火しやすく、発熱量も約3倍という火災安全上の欠点を有している。消防研究所では、平成10年度より(社)日本パレット協会及び民間企業との共同により実用的な難燃化プラスチックパレットの研究開発を行ってきた。この詳しい内容は、別途報告書¹⁾にまとめられているが、ここでは要点をかいつまんで述べる。

2. 倉庫火災の防火安全上の問題

2.1 火災統計から見た倉庫火災

倉庫は、物置程度のものからラック式立体自動倉庫のように高さ30m以上にも及ぶ巨大なものまで様々で、消防法上は消防法施行令別表第1の防火対象物の用途区分14項で定められている。統計上²⁾、火災発生件数としては、全建物火災の約2.4% (建物火災の件数=約3万3千件、その内倉庫火災約780件) と比率としてはあまり多くない。しかしながら焼損床面積では全建物火災の焼損床面積の約5.2% (建物火災全焼損床面積=約155万㎡: 倉庫火災の焼損床面積=8万㎡)、損害額も全建物火災の損害額の約6.1% (建物火災の全損害額=約1,368億円: 倉庫火災の損害額=8.3億円) と、建物火災の場合の2倍以上となってい

る。つまり、倉庫では単位面積あたりの可燃物量が大きく、いったん倉庫内の可燃物に着火すると、倉庫内部は炉のような状況となり消火が困難な火災に発展する可能性が高いといえる。

2.2 ラック式倉庫内の火災危険要因と対策

最近の倉庫では、空間の有効利用からラック式と呼ばれる倉庫が増えてきている。ラック式倉庫は、消防法施行令第12条第1項第4号に『棚またはこれに類するものを設け、昇降機により収納物の搬送を行う装置を備えた倉庫』と規定されており、その多くが搬送のためパレットを用いている。ラック式倉庫の実態は、冒頭で述べたラック式倉庫火災後、消防庁により日本国内の15都市におけるスプリンクラー設備の設置義務が生じる規模のものについて調査が行われ報告書³⁾にまとめられている。以下簡単にその内容を紹介する。

ラック式倉庫の高さは25m以上のものが全体の約7割以上を占め高層化の傾向がみられる。図1は、立体自動倉庫で用いられているパレット数(納入実績)の推移を示す。なお、図中のビル式・ユニット式は、ラックが建物と構造的に一体化しているかどうかの違いである。ここ数年、経済の停滞とともに増加は停滞しているが、最近10年のパレット使用総数は、年とともに直線的に増大してきている。

パレットの材質の内訳を図2に示す。最も多いのが

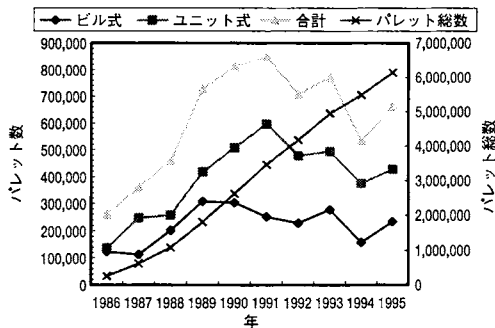


図1 立体自動倉庫におけるパレット数の推移⁴⁾

木製、それに次いで鉄鋼製、合成樹脂（プラスチック）製と続く。合成樹脂製のパレットは木製のパレットに比較して約1/7しか利用されていない。しかしながらプラスチック製は、衛生的・軽量・耐久性に富みリサイクルが可能等という特徴を備え、コストパフォーマンスも良いことから、我が国では、昭和45年頃から生産され始め近年急速に普及してきている。

また、パレット搬送時の積載物は、多くの場合全体が梱包されることが多い。梱包材の材質としては、紙製が約8割、合成樹脂製が約1割と可燃物が殆どを占めている。東洋製罐ラック式倉庫火災の第一着火物と考えられる缶パレットも、全体がポリエチレン製シートで包まれており、この梱包材が着火し、燃えながら下に熔融滴下することにより、火災拡大を招いたと推察されている。東洋製罐ラック式倉庫火災の出火原因に関しては広範囲な調査研究¹⁾が実施され、ラック式倉庫火災の防災対策に関して以下のようなものが掲げられている。

- 1) パレット材料の不燃化あるいは難燃化
- 2) 火災感知器及び消火設備等、消防設備の増強
- 3) 自動化された機器の防火安全性の向上
- 4) その他、管理面を含めた総合的防災対策の推進

3. プラスチックパレットの現状とその難燃化

3.1 流通プラスチックパレットの規格・関連法規

プラスチックパレットは、形式（構造）、サイズ等、様々な種類があるが、主なものは日本工業規格「プラスチック製平パレット」（JIS Z 0606）に規定されている。全業界的にはJIS規格のT11型（1100×1100mm）の利用が主流となっているが、飲料業界のT9型（1100×900mm）のように、業界独自の流通圏を形成して同一業種を中心として共同保有・利用による運用が広がりつつある。

プラスチックパレットは主としてポリプロピレン、高密度ポリエチレンからなっており、実用上必要な力学的特性（圧縮・曲げ強度、下面デッキボード強度、落下強度）の試験方法は「JIS Z 0602」で規定されている。こうした力学的物性値以外にもプラスチックパレットは消防法をはじめとする以下の法規によって安全確保が図られているため、開発に際しては、それらへの考慮が必要である。主な関連法規内容は、以下のとおりである。

(1) 消防法

プラスチックパレットに使用する原料の合成樹脂類に関連して、消防法では『第1条1の指定可燃物及び別表第4の品名に掲げる物品』として『指定可燃物の

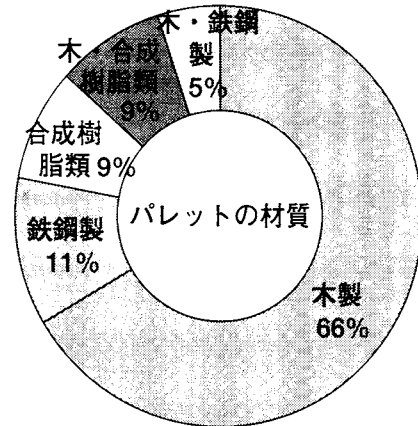


図2 パレット材質の内訳¹⁾

内、不燃性又は難燃性でない合成樹脂類（発泡させたもの）20㎡、合成樹脂類（その他のもの）3000kg以上のものを該当するものとしている。また、ラック式倉庫にプラスチックパレットを多く使用する場合、消防法施行規則第13条5～14条に基づき、『高熱量熔融性物品（指定可燃物の内燃焼熱量34kJ/g（＝8kcal/g）以上で熔融する性状の物品）』として、立体倉庫へのスプリンクラーの設備個数・バリアー（水平遮蔽板）の設置等を考慮することが必要となる。

(2) 労働安全法

労働安全衛生規則（第151条19）においては、プラスチックに限らず全ての材質のパレットについての品質及び強度において『事業者はフォークリフトによる荷役運搬の作業に使用するパレットは、積載する荷の重量に応じた十分な強度を有し又は著しい損傷、変形、腐食のないものを使用する』旨、定められている。

(3) 食品衛生法

プラスチック製食品容器の衛生上の安全性について規定されており、食品容器業界等でプラスチックパレットを使用する場合には、プラスチックパレットに使用する原料・顔料について同法令で定められる試験方法により蒸発残留物の基準値が設けられている。

(4) 産業廃棄物処理法

産業廃棄物として廃棄される場合、同法第2条第項に規定されている事業活動に伴って生じた廃棄物の内、燃え殻、汚泥、廃油、廃アルカリ、廃プラスチック類、その他政令で定められている物に該当する。

3.2 プラスチックパレットの難燃化方法

パレットの素材となるプラスチックの難燃化は、当初、ハロゲン系難燃剤、三酸化アンチモンが使用され、

その後リン系難燃剤、無機系難燃剤がこれに加わり、これらの組み合わせ及び配合量により、各種難燃化処方が提案されてきた。これら難燃剤のうち、三酸化アンチモンは、劇物に指定され取扱に注意がいること、資源的に量が少なく近年価格が高騰してきたこと等の理由で使用量は減っている。また、ハロゲン系難燃剤は、燃焼時発煙が多いことや、ハロゲン化水素の発生、更には臭素系難燃剤の一部に、ダイオキシン関連物質が発生するとの指摘もあり、有害との懸念が出ている。

今回のプラスチックパレットの難燃化にあたり、パレットが火災発生時、発煙が少なく、有害ガスが出ないように配慮し、基本的に、リン系難燃剤、無機系難燃剤を用いて難燃化することを検討した。以下、主要なプラスチックの難燃化方法を述べる。

(1) ハロゲン系難燃剤

ハロゲン系難燃剤は、臭素系と塩素系に分けられるが、使用実績では、難燃化効果が大きく、コストパフォーマンスが良い臭素系が圧倒的に多い。ハロゲン系難燃剤は、耐熱性の向上、耐候性の向上、樹脂との相溶性の向上、コストダウン等、現在も改良がなされているが、燃焼時の発煙や、ハロゲン化水素の発生等、人体上、有害物質の発生は解消されておらず、環境面での対応が今後の大きな課題である。

(2) 非ハロゲン系難燃剤

現在、非ハロゲン系難燃剤として使用または研究されているものを分類すると、水和金属化合物、シリコン系化合物、赤リン及びリン系化合物、窒素含有化合物、金属酸化物などがある。これらの難燃剤は、樹脂の種類や加工方法などで使い分けられている。

a. 水和金属化合物系難燃剤⁷⁾：水和金属化合物で実用化されている難燃剤は、水酸化アルミニウムと水酸化マグネシウムが代表的なものである。両者は、類似した特性を有しているが、脱水開始温度に大きな差がみられる。水酸化アルミニウムの場合、脱水開始温度が160℃前後にあるため、ポリマーの加工温度で脱水し、成形品を発泡させてしまうことが多い。熱可塑性樹脂の低密度ポリエチレンやEVA樹脂は加工温度が低いため問題ないが、プラスチックパレットに用いられるポリプロピレンでは、加工温度が230℃以上になるため発泡し良品を得ることが出来ない。このような理由でプラスチックパレットに使用される水和金属化合物は、水酸化マグネシウムのみである。

b. 赤リン系難燃剤⁸⁾：赤リンは消防法で危険物第2類第1種可燃性固体に指定され着火しやすいが、赤燐系難燃材は、打撃発火性・粉塵爆発性が改良され、取

扱い安全性が向上しているものもある。消防法上の制約を克服するために、赤リン系難燃剤と金属水酸化物などの無機粉体や粉体樹脂との混合品、各樹脂の赤リン系難燃剤マスターベレットとして使用されることが多く、こうしたものの中には、消防法の非危険物品に該当するもある。また、赤リンは他の難燃剤、助剤と併用することにより相乗効果を発揮することが知られている。添加量が少なくても難燃性を付与することが可能なこと、また少量添加のためベース樹脂の物性低下が非常に少ない点が赤リン系難燃剤の大きな特長である。欠点としては、隠蔽力の強い赤色難燃剤であるため用途が着色品に限定されることがあげられる。

c. その他：前出以外の難燃剤としてシリコン系難燃剤、膨張性黒鉛、低融点ガラス系難燃剤、金属塩系難燃剤、繊維状難燃剤が挙げられる。これらは、特定の樹脂に対して優れた難燃効果が認められているが、他の樹脂に比べ難燃化の難しいポリエチレンやポリプロピレン等のポリオレフィン樹脂にとって、単独では効果がないか、難燃性が不十分である。併用検討も行われているが、現在のところ物性値の低下をきたさない実用的な難燃材料ができていないのが実状である。

3.3 プラスチックパレットの燃焼性に関わる試験法

燃焼試験は、実火災時に起こる現象と相関性のある試験法で評価するのが理想的である。しかしながら実火災では多くの要因が重なっているために、単一の評価方法で火災現象を再現することは殆ど不可能である。そのため、応用製品や使用環境により、多くの試験法が提案され用いられている。以下プラスチックパレットの燃焼性に関連する5つの試験方法を簡単に述べる。

(1) UL94燃焼試験⁷⁾

プラスチック製電気製品の代表的な難燃試験法にUL94があげられる。UL94には、試験片を水平に設置する水平燃焼試験法（H）と垂直に設置する垂直燃焼試験法（V）があり、その一端に所定の炎で着火し、着火展炎性を調べる試験方法である。その燃焼性の等級は、以下のように分類され、等級の数字は小さい方が難燃性が高くなる。

H B：水平燃焼試験における燃焼速度が一定以下の場合。試験片の厚みにより異なるが、比較的厚い試験片(a)の場合 1.5インチ（38.1mm/分）以下と規定されている。

V-0：垂直試験において、どの試験片も接炎後の燃焼時間は10秒以内。5個の1組に10回接炎後の燃焼時間で評価。

V-1：燃焼時間は30秒以内。5個の1組に10回あてた後の燃焼時間は、合計250秒以内。グローイング時間60秒以内。脱脂綿を燃やす滴下物はない。

V-2：燃焼時間30秒以内。5個の1組に10回あてた後の燃焼時間は、250秒以内。グローイング時間60秒以内。

(2) ボンベ熱量計による燃焼熱の測定

平成10年7月の消防法令の改正に伴い、従来の指定可燃物に加え発熱量等一定の条件を有するプラスチック材料も高熱量溶融性物として消防設備の設置基準を定める際に考慮されることになった。発熱量の測定法として一般的にボンベ熱量計が用いられる。原理的には正確に秤量した試料をボンベ中で高圧酸素を加え、完全燃焼させることによりボンベ周りに入れた水の温度を上昇させ、その温度上昇から燃焼熱を求めるものである。

(3) 酸素指数式燃焼試験

酸素指数式は、JIS K 7201で規定されている試験法で、有機高分子類の燃焼性の尺度として広く活用されている。燃焼筒の内部に試料を垂直に設置し、周囲に酸素と窒素の混合ガスを流し、燃え広がる限界における燃焼筒内を流れる空気酸素濃度を酸素指数として表現する方法である。この酸素指数は、材料の燃焼性を定量的に表現可能である。しかしながら、酸素濃度が高い空気中での燃焼性を表すために火災中などでの燃焼性は必ずしも保証されていない。消防法令では、火災が発生した場合にその拡大が速やかで、消火の活動が著しく困難となるものとして『指定可燃物』を定めており、酸素指数26の値が閾値として用いられている。

(4) コーンカロリメータ試験

材料の燃焼性は、その材料の形状、保持姿勢、また外部からの加熱状況にも非常に依存している。特に、火災時においては、強い外部加熱を受けるため、火災時における材料の燃焼性危険を把握する上で外部放射加熱下での燃焼性状を知ることが不可欠である。本試験法では、酸素消費法（注記）により、加熱条件下での発熱速度をほぼリアルタイムで計測可能な燃焼試験装置であり、ここ10年ほど、ISO 5660で標準化が図られて以降、国際的な燃焼試験方法として流布してきている。

(5) 実規模試験（ファーニチャーカロリメータ、ルームカロリメータ）

将来、前記のコーンカロリメータのようなベンチスケール試験法が、実大規模試験にとってかわるかもしれないが、現状では、形状、保持姿勢等、現実的な燃焼状況をベンチスケール試験から類推できる段階にはない。そのためベンチスケール試験と平行して、実規模での燃焼の実証試験がしばしば行われる。実規模の試験方法としては、ファーニチャーカロリメータ、ルームカロリメータと呼ばれる装置が用いられる。どちらの場合も外部放射がない以外、原理的にはコーンカロリメータと同様で、酸素消費法によって発熱速度が推定される。後者のルームカロリメータは、ISO-9705に規定されており、室内、特にコーナー部分に配置された建材の燃焼試験の方法として開発されたものである。

4 難燃化プラスチックパレットの開発

4.1 難燃化プラスチックパレットの開発目標と評価手順

消防研究所では、(社)日本パレット協会および民間企業との共同で難燃化を付与したプラスチックパレットの試作をする際、燃焼性能の当面の目標として次のものを念頭に開発研究を行ってきた。

- ・煙、有害なガスの発生が少ない燃焼時に環境への負荷が少ないノンハロゲン系の難燃剤を用いてプラスチックパレットの難燃化を図ること。
- ・難燃化プラスチックパレットの成形状況下で、小さな火源では燃焼継続させない、また、ある程度の大きな火源でも急激な燃焼を起こさせないこと。
- ・難燃化プラスチックパレットの開発は図3に示す3つの段階を経て実施した。

(1) 第1段階

難燃剤の種類選定のためのスクリーニングテストとして位置づけられたものである。この段階では、プラスチックパレットとしての成型性、物理的特性、燃焼性の各観点から実用可能性のあると考えられたものの中から、ポリプロピレン（以下PPという）系難燃材で市販されている射出成形用非デカブロ型ULV-0認定原料、ULV-2相当のハロゲン系、ノンハロゲン系試作材及び燐化学工業㈱提案のプラスチック供試

（注記：酸素消費法とは、C.Hugget⁸⁾によって見いだされた原理で「物質の単位重量当たりの燃焼熱は、物質の材質、構造式などにより異なるが、燃焼する際の単位酸素消費量当たりの燃焼熱はほぼ一定の13.1kJ/g O₂で、±5%以内で物質の材質、構造式等に依存しない。）

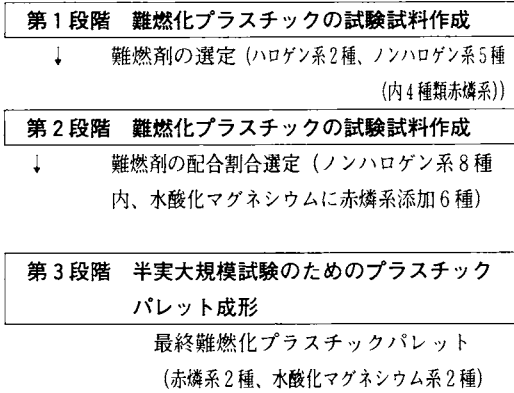


図3 難燃化プラスチック材料の燃焼面からのスクリーニング試験の段階

体計7種を試作した。これらの物性試験および先述の燃焼関連試験のうち、最後の実規模試験を除く4つの燃焼試験を行い、未難燃処理のポリポロピレン材料と比較検討を行った。主な結果を表1に示す。

(2) 第2段階

第1段階で得られた結果をもとに、実用的に有望で

あると結果が得られたノンハロゲン系(水酸化マグネシウム添加)を対象として、成分の配合割合が燃焼性状及び物理的性状に及ぼす影響及び赤燐を添加した場合の難燃効果についても調べた。水酸化マグネシウムと赤燐の異なった配合割合の試料8種を作成した。燃焼試験内容は、第1段階と同じである。表2に主な結果を示す。

第3段階では、第2段階で選ばれた難燃性が高く物理的にも実用可能性がある配合割合の材料で実物大のプラスチックパレットを成型し、半実大実験でその燃焼性状を実証的に確認した。以下最終的に試作されたプラスチックパレットの燃焼性状試験結果について述べる。

4.2 実大パレット1/4の燃焼性状試験結果

(1) 試験体材料の種類と試験方法

第2段階においては、プラスチックパレットとしての力学的特性及び難燃性の両方の観点から有望な3つの難燃化プラスチック、EX-752(水酸化マグネシウム(50%)、EX-748(水酸化マグネシウム(50%) + 赤燐

表1 第1段階での作成資料リストと主な試験結果(難燃剤の種類選定)

難燃化パレット検討用試験片			ベース	赤燐系難燃剤					ハロゲン/ノンハロゲン系難燃剤		
試験項目	試験法	単位	J-750HP	EX696	EX697	EX698	EX699	EX168S	EX187	8200R	
			(比較用PP)	赤燐(8.3)+ポリリン酸メラミン(8.3)	赤燐(4.3) Mg(OH) ₂ (9.7)	赤燐(4.5)+メラミン(5.4)	赤燐(9.1)	Mg(OH) ₂ (10)	ノンテカ系難燃剤+三酸化アンチモン(20)	三酸化アンチモン(20)	
色相	目視	-	Natural	Brown	Brown	Brown	Brown	Gray	Gray	Gray	
比重	JIS K7112	-	0.90	0.99	1.14	0.95	0.95	1.37	1.01	0.99	
引っ張り降伏強度	ASTM D638	kg/cm ²	270	240	190	260	250	160	250	250	
破断点強度	ASTM D638	kg/cm ²	-	240	190	220	190	140	190	-	
伸び	ASTM D638	%	300	48	410	97	121	102	380	50	
曲げ強度	ASTM D790	kg/cm ²	38	320	300	320	300	300	300	36	
衝撃強度ノッチ付き	ASTM D256	kg·cm/cm	8.5	6.5	25.8	8.5	7.7	9.6	11.2	10.4	
ロックウェル硬度	ASTM D758	スケールH/1/16インチ	-	79.4	70.4	72.4	77.6	57.5	79.7	-	
熱変形温度	4.6kg/cm ²	°C	-	118.4	102.5	114.6	106.0	104.4	104.7	-	
UL94耐炎試験	UL 94	1/8インチ	HB	V-2 不合格	V-2 不合格	V-2 相当	V-2 相当	V-2 相当	V-1 相当	V-0 相当	
酸素指数	JIS	O ₂ %	17.9	22.7	22.2	19.6	20.3	24.3	26.4	30.3	
発熱量(kJ/g)		kJ/g	46.6	41.7	31.0	43.7	44.5	20.6	40.7	41.1	

(注) 試験片名称の()内の値は難燃剤の重量%

表2 第2段階での作成試料リストと主な試験結果(水酸化マグネシウムと赤燐の配合割合の選定)

難燃化パレット検討用試験片			ベース	赤燐系難燃剤						ノンハロゲン難燃剤	
試験項目	試験法	単位	PP	EX745	EX746	EX747	EX748	EX749	EX750	EX751	EX752
			(比較用PP)	赤燐(4.8)	赤燐(9.1) (=EX699)	赤燐(4.6) Mg(OH) ₂ (25)	赤燐(4.6) Mg(OH) ₂ (50)	赤燐(9.1) Mg(OH) ₂ (25)	赤燐(9.1) Mg(OH) ₂ (50)	Mg(OH) ₂ (25)	Mg(OH) ₂ (50)
色相	目視	-	Natural	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	White	White
比重	JIS K7112	-	0.89	0.92	0.95	1.09	1.33	1.22	1.39	1.05	1.28
引っ張り降伏強度	ASTM D638	kg/cm ²	270	260	240	205	160	200	160	220	175
破断点強度	ASTM D638	kg/cm ²	220	200	190	195	145	170	130	220	175
伸び	ASTM D638	%	270	195	150	420	135	95	40	410	370
曲げ強度	ASTM D790	kg/cm ²	30.0	30.0	30.0	29.5	27.0	30.0	26.0	29.7	27.5
衝撃強度ノッチ付き	ASTM D256	kg·cm/cm	26.0	12.0	8.0	18.0	220.0	13.0	14.5	N.B.	N.B.
ロックウェル硬度	ASTM D758	スケールH/1/16インチ	81.5	85.5	81.0	76.5	61.5	76.0	63.0	78.0	66.0
熱変形温度	4.6kg/cm ²	°C	108.0	107.0	107.0	106.0	112.0	109.0	113.5	103.0	106.0
UL94耐炎試験		1/8インチ	V-2 不合格	V-2 不合格	V-2 相当	V-2 不合格	V-0 相当	V-2 不合格	V-0 相当	V-2 不合格	V-2 不合格
酸素指数	JIS	O ₂ %	17.7	19.5	20.2	22.3	23.4	28.8	26.4	19.8	22.9
発熱量		kJ/g	46.6	45.5	44.5	33.7	22.9	33.1	22.0	35.0	23.7

(注) 試験片名称の()内の値は難燃剤の重量%

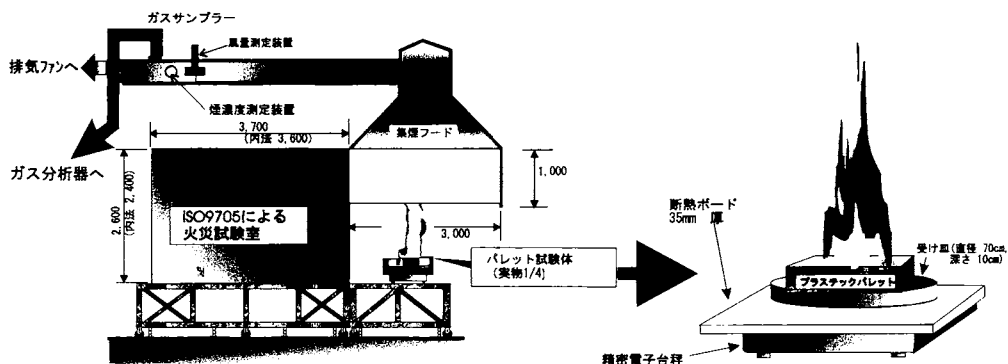


図4 ファニチャーカロリメータによる1/4プラスチックパレット燃焼性試験概要図

表3 1/4プラスチックパレットの実験条件と主要な燃焼性試験結果

No.	試験パレット	着火源 (直径)	PHR (kW)	時間 (sec)	煙濃度 (1/m)	時間 (sec)	CO (%)	時間 (sec)
A1	パレット-PP (非難燃)	5cm	398	458	1.52	628	0.032	640
A2		5cm	484	502	1.50	638	0.028	650
A3		10cm	385	436	1.61	548	0.030	628
A4		10cm	432	378	1.47	654	0.029	616
A5		20cm	401	492	1.79	530	0.026	432
A6		20cm	439	410	1.72	634	0.027	586
A7		tablet	363	775	1.76	1106	0.050	1064
A8		tablet	526	526	1.79	852	0.030	864
A9		tablet	752	651	1.63	1004	0.029	802
B1	パレットEX 752 (水酸化マグネシウム (50%))	5cm	83	1118	0.18	1086	0.039	2716
B2		10cm	88	1144	0.25	1180	0.036	2160
B3		10cm	82	510	0.31	1791	0.022	3000
B4		20cm	108	661	0.11	632	0.020	2300
B5		tablet	N/A.	N/A.	N/A.	N/A.	N/A	N/A
C1	パレットEX 748 (赤燐 (4.6) +水酸化マグネシウム (50))	5cm	4	456	0.01	692	0.020	564
C2		10cm	5	218	0.07	1114	0.004	1008
C3		20cm	25	1206	0.27	1224	0.006	1340
D1	パレットEX 750 (赤燐 (9.1) +水酸化マグネシウム (50))	5cm	2	338	0.01	94	0.008	518
D2		10cm	5	266	0.02	90	0.009	8
D3		20cm	31	448	0.21	634	0.014	656

PHR:ピーク発熱量

(5%)), EX-750 (水酸化マグネシウム (50%) +赤燐 (10%)) が選ばれた。いずれも水酸化マグネシウムの重量比が50%のものであり、このうち赤燐を添加した2種は、UL94試験ではV0の等級を満たしている。これらの材料により、プラスチックパレットを成型し、実際の形での燃焼性状をファニチャーカロリメータを用いてその燃焼性試験を行った。

プラスチックパレットの寸法は、市場に流通している幅・奥行き約1,100mm×厚み150mmのものであるが、実験においては、その1/4 (幅奥行き550mm×厚み150mm) を用いた。試験体は、図4に示すように、プラスチックパレット燃焼時、熔融したプラスチックが周囲へ流出しないよう直径70cm (深さ15mm) のステンレス製受け皿の上に、4隅が皿の側壁上端に掛かるように設置された。この受け皿を含めて、これらは

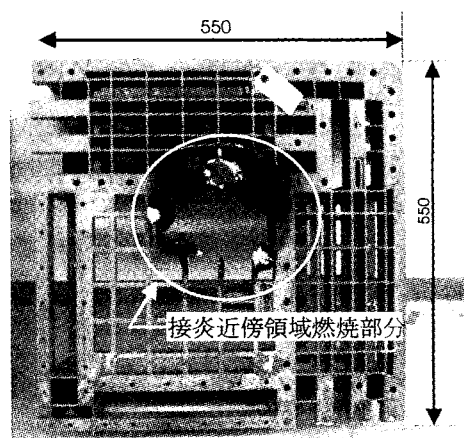


写真1 難燃化パレットの燃焼状況 (EX750: 点火源 20cmの場合)

電子台秤に載せられ、燃焼時の重量減少速度が計測された。着火源としては、下方からの火炎によって接炎状態におかれた場合を想定して、受け皿内部の底部中央に小さいメタノールの火皿 (直径5cm, 10cm, 20cm) を用いた。またこれ以外に、火災時に上部から燃焼物が落下してきた場合を想定し、直径3cm厚み1cmの固形燃料 (ヘキサメチレンテトラミン) を中央部にのせた計4種類の着火源で実験を行った。

(2) ファニチャーカロリメータによる燃焼試験結果

非難燃のポリプロピレンプラスチックパレットの燃焼結果を、図5(a)に示す。着火源の違いは、いったん燃焼が始まると、その後の発熱速度に影響しない。概ね着火から5分ぐらいで、局部から、パレット全域への燃焼に拡大し、発熱量としては約450kW程度まで上昇する。その後、熔融し、受け皿にたまる過程で、発熱量はいったん減じるが、その後プール火災として火勢が激しくなる過程をたどる。

これに対して、図5(b)に示すように、水酸化マグ

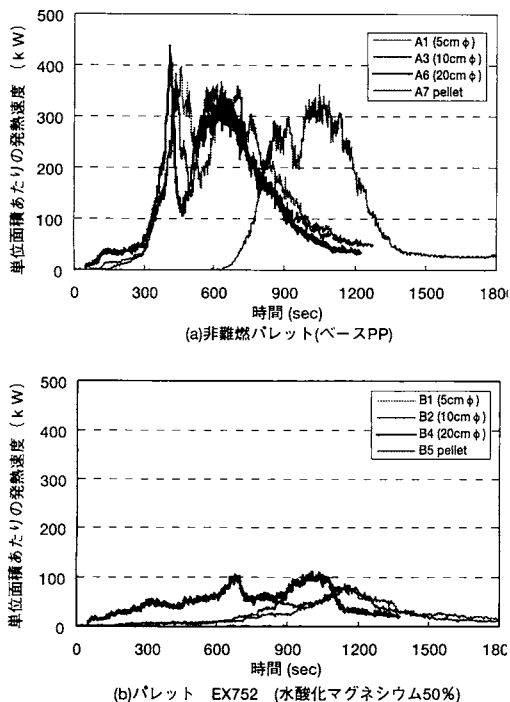


図5 難燃化パレットのファニチャーカロリメータによる発熱速度の経時変化

ネシウムのみ添加した場合においては、ピークは、100kw程度と、非難燃系の場合の1/4程度になるが、着火源の差異に関わらず、着火後は、着火源の燃焼終了後も延焼が継続する。

赤燐を添加した場合、発熱量そのものもベースPPの1/20程度と非常に低くなり、難燃効果は非常に高い。発熱量は、着火源に依存しており、20cmの火源場合は、接炎部分で燃焼拡大することが確認されたが、いったん火源が取り除かれると、燃焼継続はしない自消性を有している。(写真1)

5. まとめ

今回の共同研究では、倉庫で使用されるプラスチックパレットを念頭に置き、火災発生時、発煙が少なく、有害ガスが出ないよう配慮し、無機系難燃剤を主体に難燃処方を検討した。ベンチスケール試験の過程で、パレット材料として最小限必要な特性(成形性、機械強度のみ)を確認しながら、材料の難燃処方、並びに燃焼性を評価し、難燃処方のスクリーニングを行った。燃焼性評価には従来の酸素指数測定に加え、外部放射熱を付与できるコーンカロリメータを使用した。この結果、難燃処方として、①赤リンと水酸化マグネシウムおよび②水酸化マグネシウム単体の処方のふたつ

がプラスチックパレットに適した材料と判断された。また、上記①②を、実用試験に近い形で試験評価するため、ファニチャーカロリメータを用い、実パレット1/4の規模で燃焼試験を行った。この最終的に製作された3種類の難燃化パレットでは、着火性、着火後の延焼拡大性の両面から、防火安全上の有用性が確認されたと考えている。

なお、コスト面、材料物性値では、今後改良の余地が残っているが、コストに関しては、難燃化をしない場合には、別途スプリンクラー等、他の消防設備で補完をすることが必要となるため、総合的に判断されることが求められる。また、パレットへの防火対策上の要求レベルがより合理的に整理されれば、UL94のV0、V1レベル、あるいは酸素指数法で26以上といった現行ではかなり高いレベルの防火性能を付与する必要がなくなると考えられる。実際、水酸化マグネシウムの場合では燃焼継続するが、急速な拡大阻止の効果はあり、初期消火を容易にできる効果は十分期待できる。今後こうした難燃化パレットの普及にあたっては、パレットの使用状況に合わせ管理体制、消火設備との関連の中で、必要とされる難燃性状についての性能的検討が必要であると思われる。

謝辞：本共同研究では、プラスチック試験体・パレットの製作、およびその難燃化等、(社)日本パレット協会及び(株)燐化学工業の方々には物心両面から多大な協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 自治省消防庁消防研究所：「プラスチックパレットの難燃化とその燃焼性に関する研究報告書」、消防研究所研究資料47号、(2000.3)
- 2) 自治省消防庁防災情報室：「平成10年火災年報」、第55号、(1999.12)
- 3) ラック式倉庫スプリンクラー設備あり方検討委員会：「ラック式倉庫のスプリンクラー設備あり方検討報告書」、(1997.4)
- 4) 埼玉県比企広域消防本部：「東洋製罐(株)埼玉工場製品自動倉庫火災の出火原因調査報告書」、(1996.10)
- 5) 「高分子材料難燃化技術の新展開」、(株)ピーケシー発行、西沢 仁 著
- 6) 燐化学工業(株)、「赤リン系難燃剤」パンフレット
- 7) 「ポリマーの難燃化」大成社、西沢 仁 著
- 8) C.Hugget: FIRE AND MATERIALS, vol.4, No.2, p61 (1980)

大型ヘリコプターを使って行った空中消火実験

山下邦博、佐藤晃由、古積 博、竹元昭夫、寒河江幸平、金田節夫、岩田雄策

1. 実験概要

1.1 実施時期・場所

(1) 実験実施日

平成11年11月24日(水)、26日(金)

- ・第1実験 消防・防災ヘリコプターによる火災抑止効果の把握実験
- ・第2実験 ダウンウォッシュの強さの把握実験
- ・第3実験 大型ヘリコプターCM-47による火災抑止効果の把握実験

(2) 実験実施場所

大分県大分市青崎6号埋立地

1.2 参加機関

消防庁消防研究所 防衛庁 大分県 大分市消防局 愛媛県 長崎県 福岡市消防局

1.3 ヘリコプター

消防・防災ヘリコプター 4機

大分県防災航空隊、愛媛県消防防災航空隊、長崎県防災航空隊、福岡市消防局消防航空隊

防衛庁保有の大型ヘリコプター 3機

1.4 ヘリ基地と飛行コース

大在コンテナターミナルにヘリコプター基地と給水地点を設置した。ヘリコプターは給水地点から実験場の方向に接近して水を投下した。

1.5 バケットへの給水

大在コンテナターミナルに設置された仮設水槽(容量20トン)からバケットにポンプ車を使って給水した。また、大型ヘリコプターを使う実験では使用する水量が多いことから仮設水槽のほか事前にバケット4基とバキューム車3台(8トン級)を準備して給水した。

1.6 模擬家屋の配置

各実験の実施場所は、実験場の南東側から第1実験、第2実験、第3実験区域とした。模擬市街地は地震で家屋が損壊した状態を想定しており、家屋が倒壊し、路上に可燃物が散乱しているものとして可燃物を路上

にも配置した。

2. 観測内容

消防防災機関が保有する中型ヘリコプター(1回の搬送水量約0.6トン)及び防衛庁が保有する大型ヘリコプター(同5.3トン)を使って水を投下して、火災の抑止効果を観測するとともに、大型ヘリコプターのダウンウォッシュ、水の落下衝撃度を計測し、加えて大型ヘリコプターから水を投下した時の火災抑止効果を観察した。各実験における観測項目は以下の通りである。

2.1 第1実験(消防防災ヘリコプターによる火災抑止効果の把握実験)

5棟の模擬家屋を「十」の字型に配置して、中心の建物1棟とその周囲の4棟の一辺に点火して、そこから延焼拡大しつつある建物火災に水を投下して延焼方向(風上、風横、風下)別の延焼阻止効果を調べた。点火は水の投下開始10分前に灯油をかけた布切れに点火棒を使って行った。

ヘリからの水の投下条件は以下の通りである。

- ・飛行高度 100ft
- ・飛行速度 0、5、10kt
- ・投下回数 20回

(3分間に1回の割合で1時間継続)

2.2 第2実験(大型ヘリコプターによるダウンウォッシュの把握実験)

大型ヘリコプターの飛行高度と飛行速度を変えて計測地点を通過(水の投下なし)したり、水を投下して、その時の飛行経路の下方で、ダウンウォッシュと水の落下衝撃度を計測した。強風の発生により火災が煽られたり、新規の飛び火火災が発生する危険性を予測することを目的にして行った。飛行高度は150-200ft(45.7m-61m)、飛行速度は10-20kt(15.1m/s-10.3m/s)の範囲であり、ドライパス(水を投下しない試験)を含めて6回計測した。

2.3 第3実験(大型ヘリコプターによる火災抑止効果の把握実験)

7棟の模擬家屋を「干」の字型に配置して、中心の3棟(風に直角方向)に点火して、そこから風上方向、

風下方向に延焼拡大している市街地火災に大型ヘリコプターから大量の水を投下して火災抑止効果を計測した。建物火災は隣接家屋に延焼拡大することから外壁に延焼着火する瞬間に水を投下した時の火災抑止効果などを観測した。

水の投下条件は以下の通りである。

- ・飛行高度 150ft ・飛行速度 0と20kt
- ・投下回数（5回）
- （水の投下時間間隔 5－8分以内）

2.4 水の投下時刻

第1、第3実験において水を投下した時刻、計画された飛行高度、飛行速度はそれぞれ表1、表2に示す。第1実験ではほぼ3分間隔であり、飛行高度は100ft、飛行速度は10-20ktの範囲である。また、第3実験では水の投下時間間隔は5－8分であり、飛行高度は150ft、飛行速度は20ktである。

3. 投下水の拡散範囲

投下された水が消火対象地点に命中しない場合には、

火災抑止効果が低く、消え残り等からの再燃が早まる。ヘリコプターからの水投下による火災の抑止効果は、水の散布範囲及び投下水の命中度に影響される。そこで、ビデオ観測等の分析を通じて、散布範囲を求めた。

3.1 観測方法

投下水の散布範囲及び命中度は、地上4地点（飛行コース下の実験場を挟んだ相対する2地点、飛行コース真横の実験場を挟んだ相対する2地点）及び空中（防災ヘリコプター）からのビデオ撮影、地上（飛行コース真横）での目視により、それぞれ観測した。空中からのビデオ撮影は、第1実験については愛媛県防災ヘリコプター、第3実験については大分県防災ヘリコプターがそれぞれ担当し、空中消火ヘリコプター及び実験場を俯瞰する形で行われた。地上でのビデオ撮影は、高さ2mの足場パイプで組んだ観測台及び高所工作車で行った。

3.2 観測結果と考察

水投下は、第1実験で20回、第2実験では2回、第

表1 水の投下時刻及び計画飛行条件（第1実験、消防防災ヘリコプター）

飛行番号	散布開始時刻	飛行高度 (ft)	飛行速度 (kt)	ヘリコプター保有機関
1	10:00:19	100	5	大分県防災航空隊
2	10:03:15	100	5	福岡市消防局
3	10:05:59	100	5	大分県防災航空隊
4	10:09:13	100	5	福岡市消防局
5	10:12:07	100	5	大分県防災航空隊
6	10:15:14	100	5	福岡市消防局
7	10:18:14	95	5	大分県防災航空隊
8	10:21:15	100	5	福岡市消防局
9	10:24:10	95	5	大分県防災航空隊
10	10:26:59	100	5	福岡市消防局
11	10:30:30	100	5	長崎県防災航空隊
12	10:33:08	100	5	福岡市消防局
13	10:36:05	70	5	長崎県防災航空隊
14	10:39:04	100	5	福岡市消防局
15	10:42:00	100	5	長崎県防災航空隊
16	10:45:18	100	0	福岡市消防局
17	10:48:07	100	5	長崎県防災航空隊
18	10:51:04	100	20	福岡市消防局
19	10:53:57	100	20	長崎県防災航空隊
20	10:57:00	100	0	福岡市消防局

表2 水の投下時刻及び計画飛行条件 (第3実験、防衛庁保有の大型ヘリコプターCH-47)

飛行番号	投下開始時刻	飛行高度 (ft)	飛行速度 (kt)
1	11:29:56	150	20
2	11:35:10	150	20
3	11:42:47	150	20
4	11:48:00	150	20
5	11:54:15	150	0

表3 実際の飛行高度及び飛行速度

飛行番号	推定飛行高度 (ft)	推定飛行速度 (kt)	投下目標	散布水量 (ℓ)
1 - 1	117	16	A5	600
2	111	12	A5	540
3	105	17	A5	600
4	92	14	A5	540
5	113	15	A5	600
6	86	18	A4	540
7	114	15	A4	600
8	102	12	A1	540
9	119	18	A2	600
10	103	6	A5	540
11	91	6	A5	600
12	109	10	A1、A3、A5	540
13	96	5	A5	600
14	104	11	A3とA5	540
15	128	12	A3とA5	600
16	102	0	A3とA5	540
17	122	0	A3	600
18	114	18	A3	540
19	144	24	A3	600
20	112	0	A3とA5	540
2 - 1	200	10	荷重変換器	5,300
2	150	18	荷重変換器	5,300
3 - 1	151	25	B2、B5、B7	5,300
2	157	24	B1とB4	5,300
3	149	10	B2、B5、B7	5,300
4	147	15	B3、B6	5,300
5	160	0	B1	5,300

3実験では5回行われた。水投下は第1実験が9回目までの奇数回目が大分県防災ヘリコプター、11回目から19回目の奇数回目が長崎県防災ヘリコプター、2回目から20回目までの偶数回目が福岡市消防ヘリコプターでそれぞれ行った。散布水量は、大分県防災ヘリコプター及び長崎県防災ヘリコプターが600ℓ、福岡市消防ヘリコプターは540ℓ、第2、第3実験は、防衛庁保有の大型ヘリコプターでの水投下で、散布水量は5300ℓであった。観測ビデオから求めた飛行高度、及び飛行速度の推定値も表3に示した。第1実験での飛行高度は約100ft (30.5m) を目標とした。

ビデオ観測等より求めた散布範囲は、第1実験については図1の(1)から(20)、第3実験については図2の(1)から(5)に示した。

表4に図1、図2から求めた散布範囲の最大幅及び最大長さ、散布面積、平均散水密度を示した。散布面積は散布範囲を円ないしは長円で近似して求め、平均散水密度は投下水がすべて散布範囲に落ちたとして求めた。第1実験では、散布範囲の最大幅10m以下、最大長さ70m以下、面積50㎡～400㎡で、散布密度は1㎡当たり4.4ℓ以下であった。

第1実験における炎上領域の大きさは、中央の家屋A3が約50㎡、周囲の家屋4棟の一部を加えると約120㎡くらいであり、炎上領域の幅は約15m、長さは約18mであった。

第3実験での散布範囲は長さ約50～70m、幅は約13m、散布面積は約600～900㎡で、散布密度は6ℓ/㎡以上であった。第3実験の散布密度は妥当な値であった。第3実験の炎上区域は、風横に28m、風向方向に28m、面積約800㎡で、散布面積は平均800㎡であった。実験時は風が強く、平均約9mの風が吹いていたので、霧状になって飛散した水量があったと思われる。

ホバリング状態での散布範囲の大きさは、今回の第1実験では、散布水量540ℓの福岡市消防ヘリコプターでは、約50～65㎡、散布水量600ℓの長崎県防災ヘリコプターでは80㎡で、第3実験の大型ヘリコプターでは140㎡であった。第1実験時は風速が毎秒約2mで、第3実験時は風速毎秒約9mであった。

各消防防災ヘリコプターのパイロット及び地上観測員の各水投下の命中度に関するコメントによると第1実験においては、11回目の水投下を除いて概ね対象地点に命中した。

また、対象家屋への命中度を悪くする要因として、火災からの煙（視程障害）、高高度及び高速度の飛行（投下タイミングが分からない）、風により水が流されることが、飛行コース変更によるバケットの揺れ等が

げられている。さらに命中度をよくするためには、同じヘリが連続して同じ目標に投下すること、地上員による投下状況の通報及び投下の誘導、低高度及び低速度による投下、バケットの高度を低くすること（バケットを長吊りにすること）、多数機が連続して同じ目標に投下すること等が提案された。

散水継続時間は観測ビデオより求めると、大分県防災ヘリコプター約7秒、長崎県防災ヘリコプター約8秒、福岡消防ヘリコプター約4秒、防衛庁保有の大型ヘリコプター約12秒であった。

4. 水の投下による火災抑止効果

空中消火による火災抑止効果を計測するために実験の様子を地上及びヘリからビデオに記録し、家屋の内部に熱電対を、また家屋の周囲に放射計を測定して水を投下した時の時間変化から火災抑止効果を分析した。

4.1 延焼拡大状況と消火対象箇所

今までに実施してきた消防防災ヘリコプターによる空中消火実験では、投下水量500ℓクラスでは効果的な風上への延焼阻止あるいは火災抑止が得られなかった。投下水量1200ℓクラスの場合は飛行高度150ft (47.5m) で、飛行速度10kt (5.1m/s) 前後であると延焼阻止あるいは火災抑止に時間的な効果があることが判った。また、投下水量900ℓクラスの場合には飛行高度100ft (30.5m) 以下で、飛行速度10kt (5.1m/s) 前後であると延焼阻止あるいは火災抑止に時間的な効果があることが判った。そこで、今回、5300ℓと投下水量が大きな防衛庁保有の大型ヘリコプター（CH-47）を用いて実験を実施し、延焼阻止あるいは火災抑止効果について調べた。

4.2 結果及び考察

飛行高度は第5回を除いて計画通り概ね150ft (45.7m) であったが、速度は第1回及び第2回は約25kt (12.8m/s)、第3回はほぼ計画通り、第4回は15.2kt (7.8m/s) であった。第5回目の散布は計画を変更してホバリングで行った。また、バケットの放水口の位置は地上から約100ft (30.5m) であった。各飛行毎の火災抑止効果を以下に示す。

[飛行番号1]

図3に示すように、散布目標は家屋B7、B5、B2で家屋群の中央コースである。散布区域はこれらの目標家屋を覆っていたが、飛行方向に沿った散布の中心

は家屋B4側に偏っていた。このことは、図に示す家屋B5の再燃区域が家屋B6側から家屋B4方向に向かって広がっていることから明らかである。

・家屋B7の火災抑止状況

家屋B7は家屋B5の風下にあるので、家屋B5の放射熱と接炎により図に示すように、風上の家屋B4よりの屋根が燃え抜けて延焼していた。散布により、屋根が燃え抜けていた部分は無炎燃焼状態が1分10秒継続した後に再燃して、散布後1分20秒にはその部分全てが再燃した。

・家屋B5の火災抑止状況

家屋B5においては散布の中心が家屋B4側であったために、散布20秒後に家屋B6に近い部分から再燃し、散布1分後では約3m幅で飛行方向に沿った家屋の長さ約7mの範囲が再燃した。即ち、散布後1分では飛行方向左端から約4m幅の範囲が無炎燃焼状態であったが、散布1分30秒後には全域燃焼となった。また、家屋B6側から家屋B4方向に向かって延焼が拡大していることから、飛行方向に対する散布の中心から左右方向に離れるにしたがって、散布密度が薄くなることが推定される。なお、無炎燃焼幅とは飛行方向と直交する家屋の幅(7.2m)のうち、再燃していない

表4 投下水の散布の大きさ

実験番号	飛行番号	幅(m)	長さ(m)	推定面積(m ²)	散水密度(ℓ/m ²)
第1実験	1回目	8	50	386	1.6
	2	10	21	178	3.0
	3	7	50	339	1.8
	4	7	29	192	2.8
	5	7	55	374	1.6
	6	9	20	162	3.3
	7	7	50	339	1.8
	8	9	25	207	2.6
	9	7	50	339	1.8
	10	8	17	122	4.4
	11	7	25	164	3.7
	12	8	20	146	3.7
	13	8	20	146	4.1
	14	7	20	129	4.2
	15	8	36	274	2.2
	16	8	8	50	10.8
	17	10	10	78	7.7
	18	7	36	241	2.2
	19	7	70	479	1.3
	20	9	9	64	9.4
第2実験	1	14	60	798	6.6
	2	12	70	809	6.6
第3実験	1	13	70	873	6.1
	2	13	65	808	6.6
	3	13	60	743	7.1
	4	13	50	614	8.6
	5	12	14	137	36.5

第 1 実験

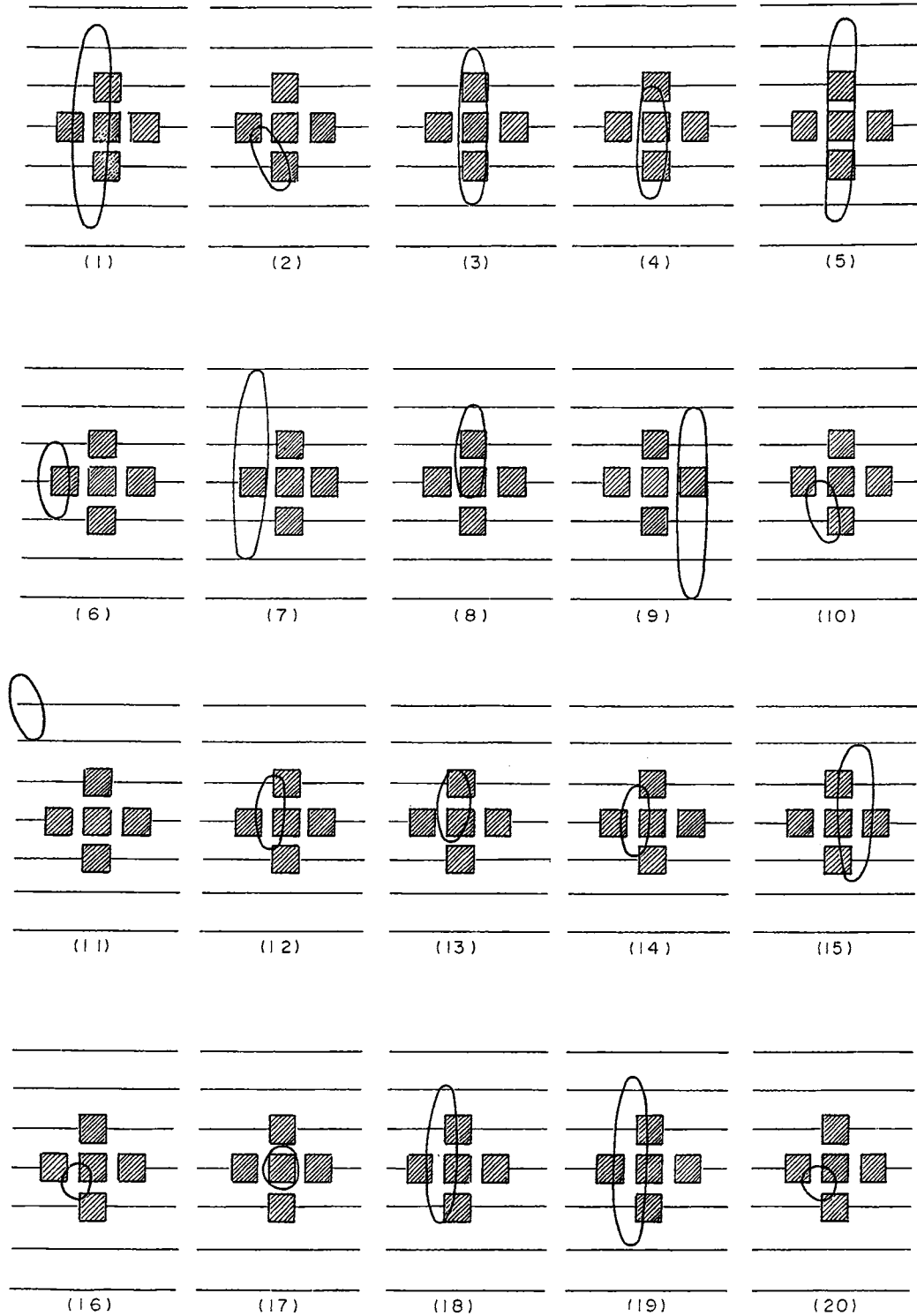


図 1 第 1 実験における各水投下の散布範囲

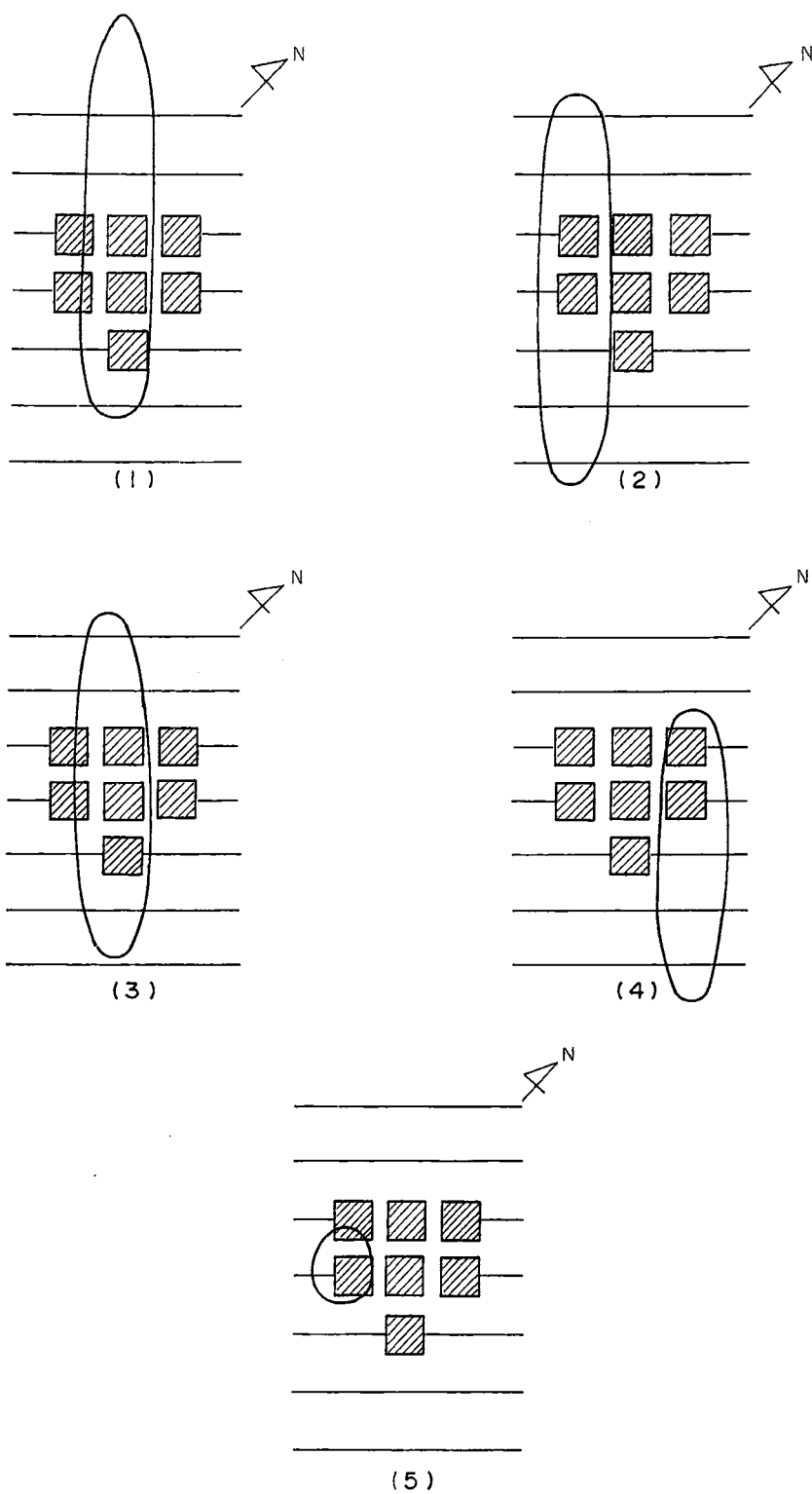


図2 第3実験における各水投下の散布範囲

幅を指し、飛行方向に沿った家屋の長さ7.2mも再燃していない場合をいう。

・家屋B2の火災抑止状況

家屋B2は家屋B5側の窓から点火されたので、第1回散布時には図3に示す風上の一部の屋根を残して屋根は燃え抜けていた。従って、散布20~30秒後には、風上の屋根が残っている近くの数箇所から再燃が始まり、1分10秒後には全域が炎に包まれた。再燃してからの燃焼領域の広がり方が家屋B5より速いのは、屋根が残っていたために、その下の炎の影響によるものと推察される。

・家屋B4の火災抑止状況

家屋B4も消炎したが、これは散布時の風向風速が北風9.1m/sの強風であったために、家屋B4の家屋B5よりの一部には投下水が直接散布され、それ以外の部分は風で流された霧状の投下水が散布されたものと思われる。家屋B4も投下水が直接散布されたと思われる一部分が燃えだし、全域燃焼になった時間は1分20秒であった。

各家屋の再燃時間に大差が無く、各家屋とも全域燃焼になる時間が速いのは、飛行速度が予定の飛行速度20ktより約25ktと速かったことと、9.1m/sの強風の影響ために散水密度が低かったためと思われる。また、家屋B4及びB3の再燃拡大の時間的な傾向から、飛行方向の散布の中心は家屋B5とB4の通路付近の可能性があり、散水密度の高い中心付近の投下水が目標家屋に散布されなかった影響も考えられる。

[飛行番号2]

図4に示すように、散布目標は家屋B4、B1で家屋群の左側コースである。散布区域はこれらの目標家屋を覆っていたが、図の再燃区域を見ると散布の中心軸は家屋B5側に多少偏っていた。しかし、風速9.6m/sの北風が吹いていたため、飛行コースの右側にある家屋には家屋B7を除いて散布されなかった。飛行コース右側の高所から撮影したビデオ画像では家屋B7から散布による薄い煙が立ち上がっている。風向からすると家屋B7には散布されないはずであるが、散布の影響があったのは、ヘリコプターの進入コースの影響なのかもしれない。

2回目の散布が行われた時点では家屋B1の屋根は燃えていないので、ここでは家屋B4のみについて、図4に散布による火災抑止効果を示した。図から明らかなように、家屋B4の飛行方向手前の左側角付近で散布20秒後には再燃しているが、その燃え広がり遅く、散布から1分10秒後でも家屋幅7.2mのうち約5m

が家屋の長さ方向全長(7.2m)に渡って無炎燃焼状態であった。飛行方向手前の右側角付近が再燃したのは散布から2分20秒後であるが、この時点でも家屋の中央付近では幅2.5m長さ7.2mの無炎燃焼区域が形成されていた。その後、家屋B1方向に燃焼区域が拡大して、全域が再燃したのは散布から4分20秒後であった。

飛行速度及び高度は1回目の散布飛行条件とほとんど同じであるが、散布の火災抑止効果が大きい。これは飛行方向の散布の中心が家屋中央に散布されて、散水密度の高い散布がされたためと思われる。

[飛行番号3]

散布目標は第1回目と同様に家屋B7、B5、B2であるが、図5に示すように、各家屋の再燃状況から飛行方向に沿った散布の中心は家屋B7、B5、B2の中央付近にあることが判る。

・家屋B7の火災抑止状況

家屋B7の中心部分に投下水の塊が着水した時点では飛行方向右端の家屋側面には炎が観測されたが3秒後には消炎した。飛行方向に対して家屋の両端から1分30秒後に再燃し、この時の無炎燃焼幅は約5.5mであった。再燃は徐々に拡大して散布2分40秒頃には、家屋の中央付近の約2.3m幅が無炎燃焼状態であった。その後、家屋B5側から徐々に飛行方向手前に燃え広がり、散布後3分30秒で家屋全域が再燃した。

・家屋B5の火災抑止状況

図から明らかなように、家屋B5の飛行方向手前の左側角付近で散布1分30秒後には再燃しているが、その燃え広がり遅く、散布から2分40秒後まで、その再燃区域の大きさは変わらなかった。一方、家屋B5の飛行方向に沿って左端付近7.2m長が再燃したのは散布2分20秒後であった。飛行方向手前の左側角付近で再燃した散布1分30秒後の時点では、家屋の右端から約5.7m幅が、散布2分40秒後では家屋中央部の約5m幅が、散布3分後では約2.7m幅が無炎燃焼状態であったが、散布3分30秒後には家屋全域が再燃した。

・家屋B2の火災抑止状況

家屋B2は散布2分後に飛行方向左右の両端及び中央の3箇所から再燃している。従って、家屋全域において散布後2分間は無炎燃焼状態が継続していたことになる。両端で再燃した区域は徐々に拡大し、無炎燃焼幅は散布3分後で約4.5m、散布3分10秒後で約2mとなり、散布3分20秒後には家屋全域が再燃した。ここでは、家屋中央付近で散布2分後に再燃した小さな燃焼区域は広がらないので、この再燃区域は無視して無炎燃焼幅を示した。

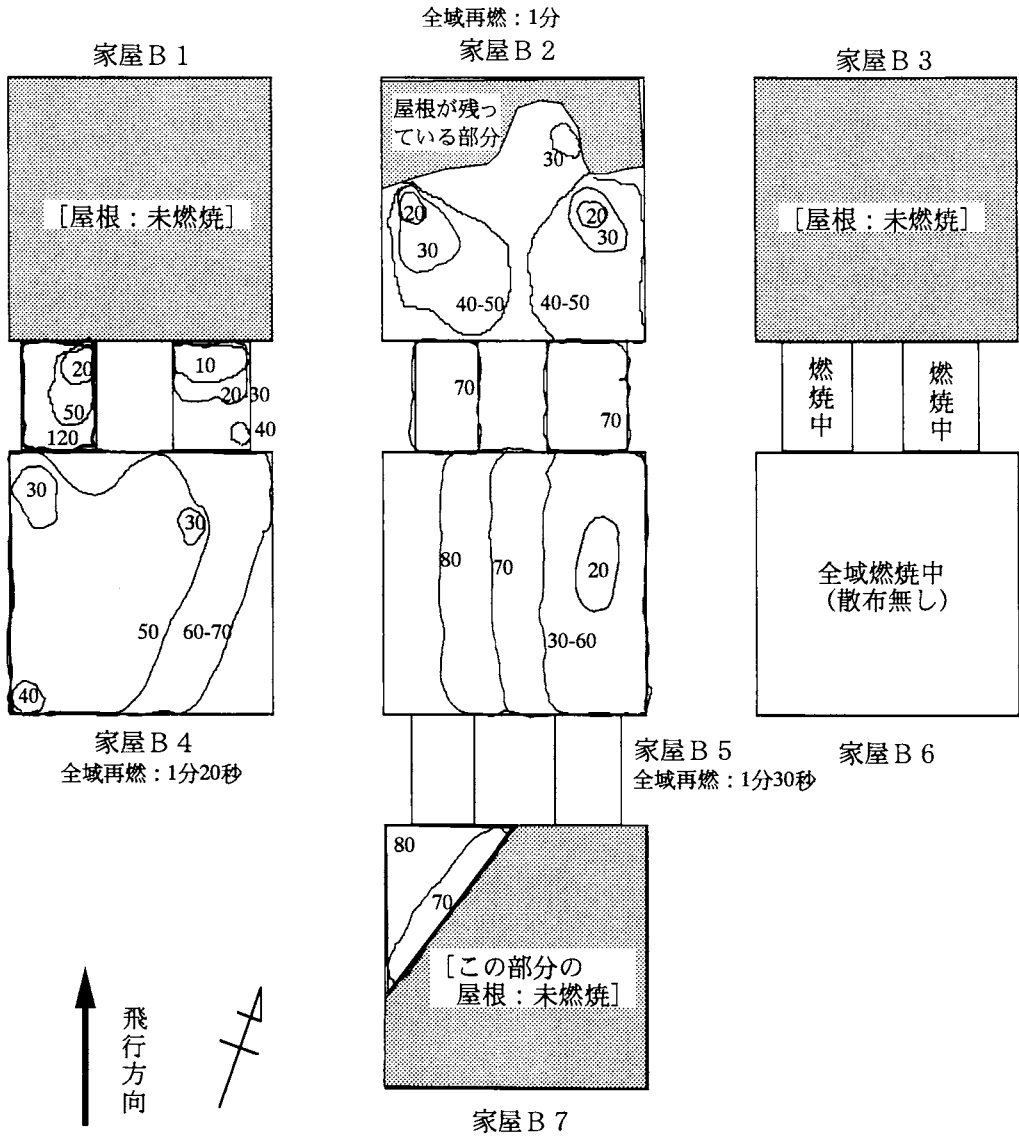


図3 第3実験（第1回）の火災抑止効果
（散布消炎からの再燃領域を秒間隔で示す）

- ・ 散布目標コース：図の中央（B2、B5、B7）
- ・ 燃焼区域への着水時間：点火から9分56秒後
- ・ 散布時の風向・風速：N、9.1m/s
- ・ 飛行高度：150.9ft（46m）、飛行速度：25.3kt（13m/s）
- ・ B3、B6には散布されていない。
- ・ B1、B4家屋には流れた投下水が散布された。

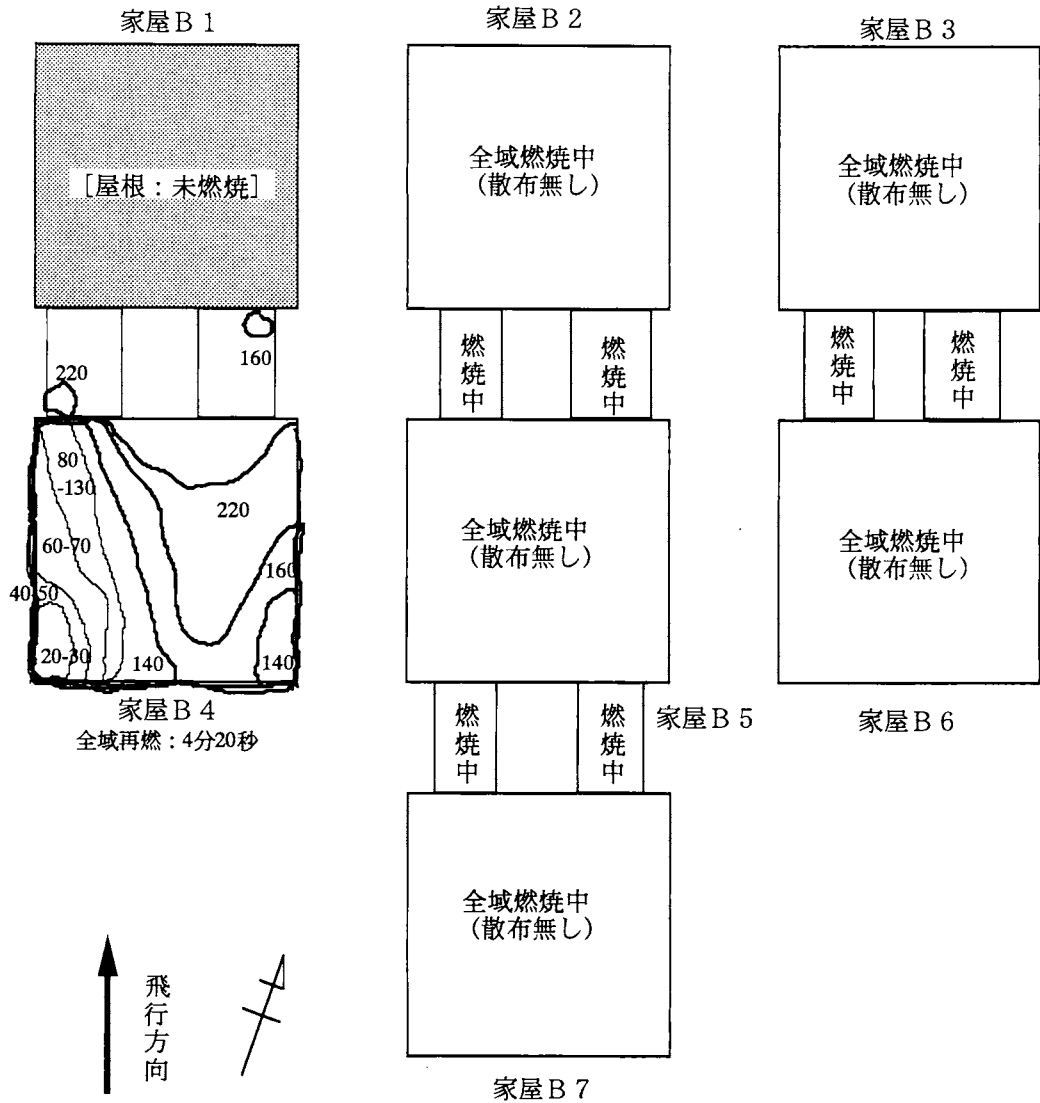


図4 第3実験（第2回）の火災抑止効果
(散布消炎からの再燃領域を秒間隔で示す)

- ・ 散布目標コース：図の左側 (B1、B4)
- ・ 燃焼区域への着水時間：点火から15分11秒後
(第1回散布から5分14秒後)
- ・ 散布時の風向・風速：N、9.6m/s
- ・ 飛行高度：156.8ft (47.8m)、飛行速度：24.1kt (12.4m/s)
- ・ B3、B6及びB2、B5、B7家屋には散布されていない。

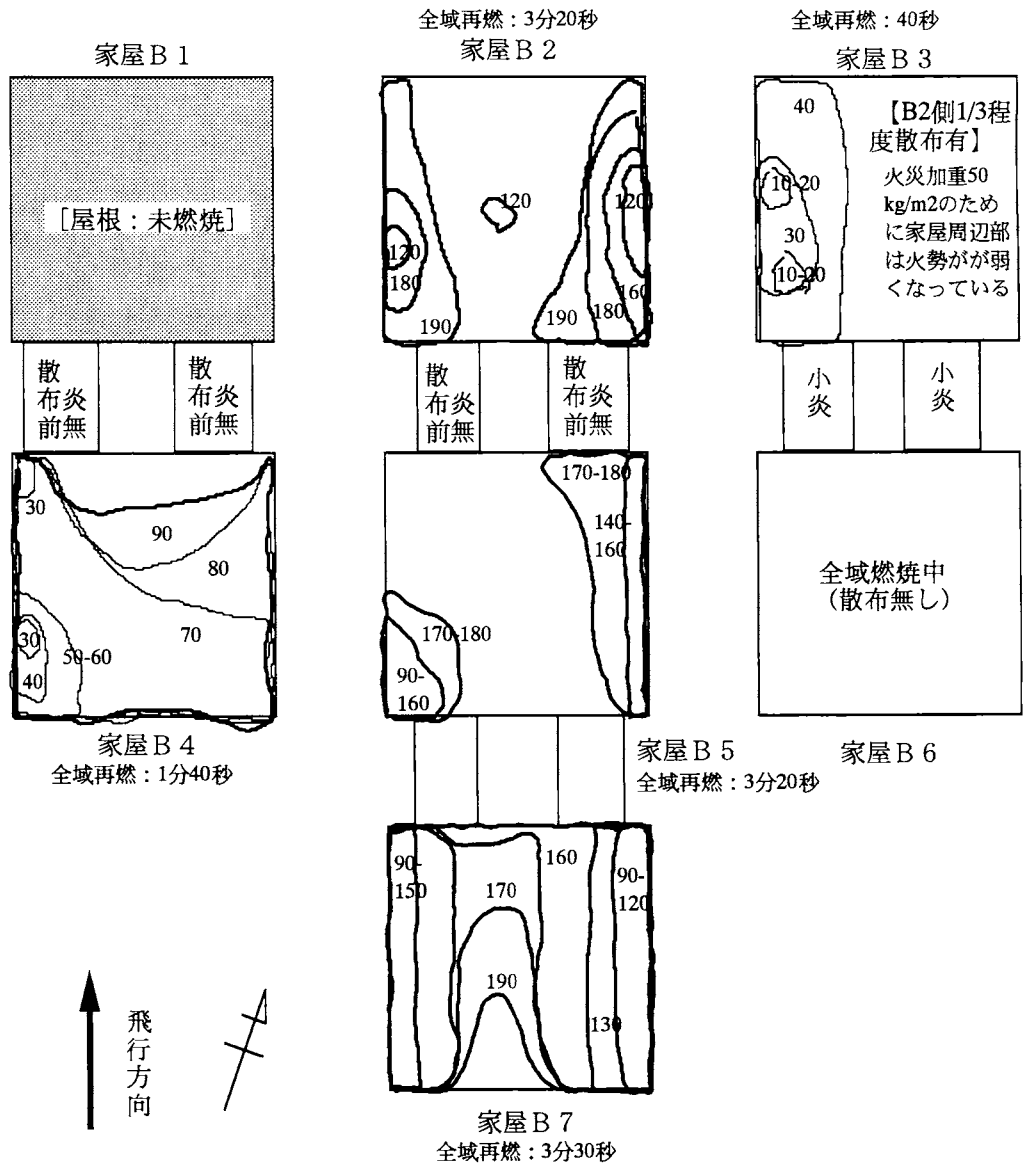


図5 第3実験（第3回）の火災抑止効果
(散布消炎からの再燃領域を秒間隔で示す)

- ・ 散布目標コース：図の中央 (B2、B5、B7)
- ・ 燃烧区域への着水時間：点火から22分46秒後
(第1回散布から12分50秒後)
- ・ 散布時の風向・風速：N、9.1m/s
- ・ 飛行高度：148.6ft (45.3m)、飛行速度：19.7kt (10.1m/s)
- ・ B6には散布されていない。
- ・ B1、B4区域には流れた投下水が散布された。

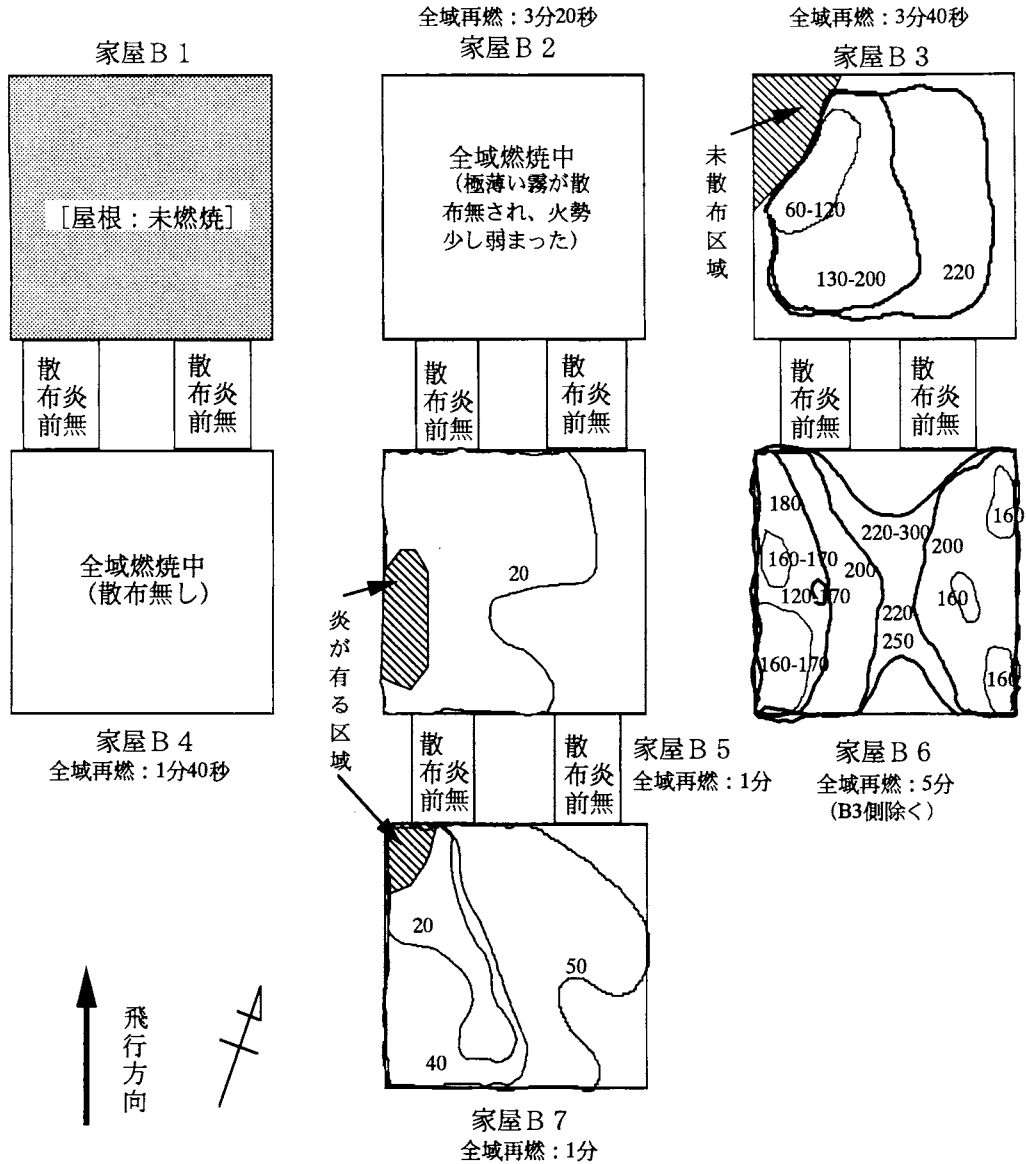


図6 第3実験(第4回)の火災抑止効果
(散布消炎からの再燃領域を秒間隔で示す)

- ・ 散布目標コース：図の右側 (B3、B6)
- ・ 燃焼区域への着水時間：点火から28分03秒後
- ・ 散布時の風向・風速：N、9.0m/s
- ・ 飛行高度：147ft (44.8m)、飛行速度：15.2kt (7.8m/s)
- ・ B1、B4には散布されていない。
- ・ B5、B7区域には流れた投下水が散布された。

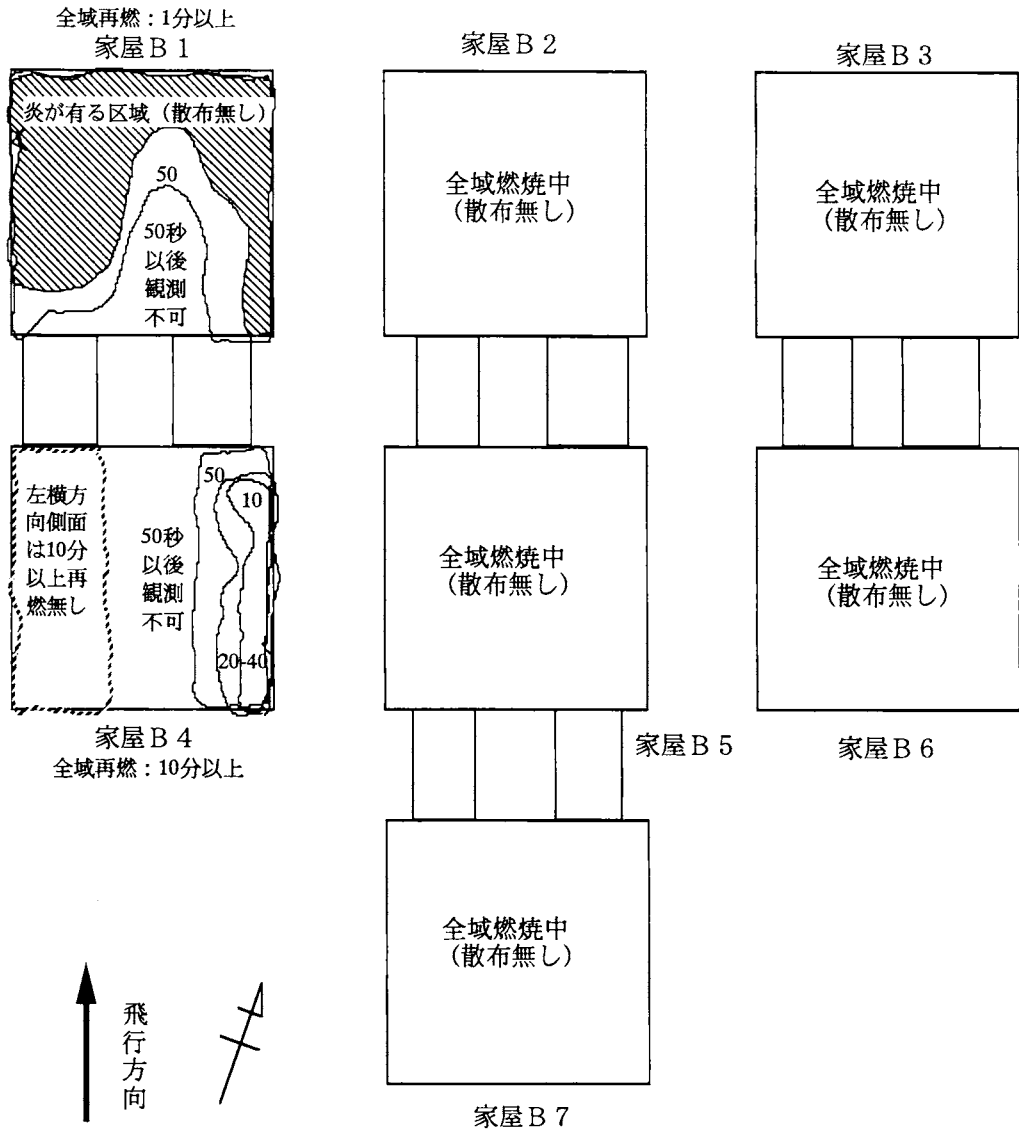


図7 第3実験（第5回）の火災抑止効果
（散布消炎からの再燃領域を秒間隔で示す）

- ・ 散布目標コース：図の左側（B1）
- ・ 燃焼区域への着水時間：点火から34分16秒後
（第2回散布から12分52秒後）
- ・ 散布時の風向・風速：N、8.7m/s
- ・ 飛行高度：ホバリング
- ・ B6には散布されていない。
- ・ B1を散布目標としたが、主にB4に散布された。

・家屋B4の火災抑止状況

家屋B4も消炎したが、これは散布時の風向風速が北風9.1m/sの強風であったために、風で流された霧状の投下水が散布されたものと思われる。散布30秒後に家屋の左端の2箇所から再燃し、散布1分後では右端から約5.5m幅が無炎燃焼状態であった。その後、風下側から家屋B1方向へ再燃区域が拡大し、散布1分20秒後には全域燃焼になった。風で流された投下水の散布ではあるが、飛行番号1の散布目標家屋B7、B5、B2と比較して、比較的火災抑止効果があったのは飛行番号1でも同様な散布があり、飛行番号2では散布目標であり、各飛行毎に散布がされていた効果があったのかも知れない。

・家屋B3の火災抑止状況

家屋B3は飛行方向左端側の約2.5m幅に投下水の裾付近の薄い霧状の散布があったものと思われる。部分的な再燃区域も散布10秒後と速く、散布された区域も40秒後には全て再燃した。

いずれにしても、散布目標の家屋B7、B5、B2には散布後2分30秒から3分までは約2.3mから4.4m程度の無炎燃焼区域が形成され、散布後3分30秒頃に各家屋とも全域燃焼している。また、散布後2分の時点で見てみると、各家屋とも約6m幅の無炎燃焼区域が形成されていたことが判る。この散布飛行時の高度及び速度は計画通りの飛行条件で、目標家屋に適切に投下水が散布されている。これらの結果から判断すると、散布後2分の時点で約6m幅で、3棟分の長さ相当約27mの、また、散布後2分30秒の時点で約2.3m幅以上で、3棟分の長さ相当約27mの無炎燃焼区域が形成されていると言えよう。従って、飛行高度150ft (45.7m)、速度20kt (10.3m/s)の飛行条件で水を投下すれば、上述のような延焼阻止帯を形成することは可能であろう。また、今回は9m/s前後の強風が吹いており、風速が小さくなれば再燃拡大に要する時間も大きくなるのが期待できるので、延焼阻止帯を形成している時間も大きくなるのが予想される。

[飛行番号4]

図6に示すように、散布目標は家屋B6、B3で家屋群の右側コースである。表3に示すように飛行速度が計画より15ktと遅かったために、ヘリコプターからの水の投下開始時期が速すぎた結果となり、家屋B3へは投下終了間際の水が散布されたため、未散布区域が生じた。しかし、家屋B6の再燃区域を見ると飛行方向に沿った散布の中心は家屋の中央付近にあり、飛行方向としては目標家屋に散布されていると言えよ

う。

・家屋B6の火災抑止状況

家屋B6は図6に示すように、散布2分後に小さな再燃が一箇所あったが、その燃焼区域の大きさは2分50秒まで変わらず、散布2分40秒後には新たに5箇所が再燃している。従って、家屋全域の無炎燃焼状態は散布後2分間継続し、更に、散布2分後に再燃した一箇所は再燃区域が小さいので無視すると、無炎燃焼状態は散布から2分40秒継続していたことになる。

その後、飛行方向に沿った家屋の両端から中央付近に燃焼区域が拡大し、散布後3分20秒には無炎燃焼幅は約1mに狭まり、散布5分後には全域が再燃となった。

・家屋B3の火災抑止状況

家屋B3は図6に示すように、散布1分後に未散布区域の境界付近から再燃し、この再燃区域は拡大せずにはほぼ1分間継続していた。従って、散布2分後の無炎燃焼状態は約4m幅であった。更に、散布後3分20秒では無炎燃焼状態は約2.7m幅に狭まり、散布3分40秒後には全域燃焼となった。

家屋B3の再燃区域の拡大時間は投下終了間際の水が散布されたにもかかわらず、家屋B6と大差が無く、また、飛行番号3よりも火災抑止効果があるような結果になったのは、火災荷重と散水密度の影響ではないかと思われる。即ち、家屋B3は火災荷重が50kg/m²と家屋B6、B7、B5、B2の1/3であったので、第3回の散布時(点火から22分50秒後)には家屋周辺の火勢は弱まっていた。また、上述のように、飛行速度が遅かったこともあって、飛行番号3よりも散水密度が高かった効果もあるものと思われる。

・家屋B7及び家屋B5の火災抑止状況

図6に示すように、家屋B7及び家屋B5はいずれも散布時の風速9m/sの強風によって流された霧状の投下水が散布されたもので、両家屋とも炎が残っている区域がある。両家屋の再燃時間を比較してみると、家屋B5の方が再燃区域の広がりが速い。これは、散布された投下水が終了間際であったので、家屋B7の散水密度より低かったためと思われる。いずれにしても、両者は散布1分後には全域燃焼となった。

目標家屋の火災抑止効果が飛行番号3に比べて大きかったのは、飛行速度が遅かったので散水密度が高くなった効果ではないかと思われる。

[飛行番号5]

第5回散布は家屋番号B1を目標として、ホバリングで水を投下したが、8.7m/sの強風の影響もあって、

投下水の中心は家屋B4の飛行方向に沿って左端よりとなった。従って、図7に示すように、散布された区域は家屋B4全域と家屋B1の家屋B4よりの中央付近と思われる。なお、家屋B1への散布は上空からのビデオ画像から判断すると、風上へののこぎり状の投下水の一部が家屋B5よりの中央付近に散布されている。図から明らかなように、家屋B4の飛行方向に沿って右端は散布10秒後には再燃し、散布50秒後には約2m幅まで燃え広がっていることが判る。この散布飛行は最終回であったために、上空からの撮影は散布後1分程度で打切られたため、上空からのビデオ画像による再燃状況の確認は50秒までとなった。一方、飛行方向の左側から撮影したビデオ画像を見てみると、家屋B4の再燃状況を平面的には見られないが、少なくとも家屋B4の左方向側面は散布10分後まで再燃していないことが確認できた。

そこで、図8から家屋B4の中央の温度変化を見てみると、地上1m及び0.5mの温度は散布から13分前後で最低温度に達し、その温度は70℃前後であった。その後、地上1m及び0.5mの温度が散布から100℃に上昇するまでの時間は、それぞれ20分24秒、17分8秒であった。同様に、散布から200℃に上昇するまでの時間は、それぞれ26分1秒、24分49秒であった。更に、散布から400℃に上昇するまでの時間はそれぞれ28分58秒、27分10秒であった。時間経過に伴う温度上昇は早い時期に再燃した区域が家屋中心部分へ徐々に燃え広がったものと思われる。

以上の検討結果から、飛行方向に沿って家屋B4の中心部分から左方向の区域については25分前後の無炎燃焼状態が継続していたのではないかと判断される。

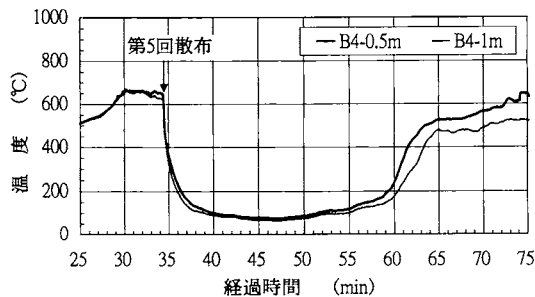


図8 点火後25分からの家屋B4の温度変化

5. まとめ

- 1) 飛行高度150ft、飛行速度20ktで精度良く散布すれば、幅3m以上で長さ30m程度の無炎燃焼帯を2.5分以上構築できることが判った。(飛行番号3)
- 2) 飛行速度が遅くなるほど散水密度が増すので、無炎燃焼帯の幅及び火炎抑止時間が大きくなる傾向にある。(飛行番号1、2、3、4、5)
- 3) 散布目標家屋の各家屋の全域が再燃焼するまでに3分以上であることから、散布飛行間隔は3分以上が望ましい。(飛行番号1、2は除く)
- 4) いずれの散布飛行においても、今まで実施してきた判断基準によれば、効果大(無炎燃焼状態が60秒以上継続中)であった。
- 5) 屋根がある場合には投下水量が多くても、火災抑止効果がないことが判った。
- 6) ホバリングで散布した場合、火災抑止効果は大きいですが、今回のような8.7m/sの強風下では目標家屋に命中させるのは難しいと思われる。また、ホバリングによるダウンウォッシュの影響も体感されていることから、基本的には速度を有する散布飛行が望ましい。
- 7) 今回の実験では風下から風上へ向かっての散布飛行であったが、1)に述べたような火災抑止効果があった。従って、このような飛行コースであっても燃焼区域の境界付近に散布すれば、延焼阻止帯を形成することが可能であることが判った。

減煙効果のある添加剤を含む可燃性液体の燃焼性状

岩田 雄策

1. はじめに

消防本部等によって行われる大規模火災等を想定した各種消防訓練において、訓練用の可燃性液体の火災から生じる煙によって周辺住民が被害を受ける可能性がある。煙による被害を予防するために、訓練時の天候、特に、風向および風速の条件が限定され消防訓練を予定通り行えないことがある。また、被害が出た場合には、その対応のために消防職員が多くの時間を割かれる可能性がある。そのため、各種消防訓練において煙の発生量を安価な方法で抑制することは重要な問題となってきた。

煙の発生量を減少させる方法の一つとして、可燃性液体に酸化性液体、含酸素化合物または有機金属錯体等の試薬を添加する方法が考えられる。しかし、可燃性液体とこれらの試薬等の混合物に関する煙の発生量などの燃焼性状については、ほとんど研究が行われていない。そのため、消防訓練において、煙の発生量を抑制する試薬等を実際に使用する前に、小規模燃焼実験を実施して実験的に煙量および放射受熱量等の燃焼性状を前もって調べておく必要がある。本研究では減煙効果のある試薬等に対して小規模燃焼実験を実施し燃焼性状を調べ、消防訓練で使用するための基礎データを得ることを目的とした。

2. 実験

実験に用いた溶媒には実際の消防訓練でよく用いられる灯油を用いた。実際に消防訓練に用いる可能性があることを考慮して、実験には次の条件1～条件4をある程度満たす試薬を用いた。

条件1：消防訓練では多量の試薬等が必要となることから、灯油と同程度の価格で比較的安価であること。

条件2：実際の消防訓練では一般に水を入れた容器に灯油を加えて燃焼させることから、灯油と混合し、かつ、水に溶けないこと。

条件3：燃焼中に蒸留が起きないように灯油と沸点が近いこと。

条件4：大きな毒性がないこと。

2.1 煙点の測定

煙点は灯油等の燃焼時において煙の発生し易さを表す指標として使用されている。本報告の煙点とは、試料をしみ込ませた灯心に定在する火炎に対して、灯心の長さを変化させ、煙を生じない火炎の最大高さとして定義されている。煙点が高いほど煙が発生しにくいことを示す。煙点の測定は日本工業規格 (JIS K 2537-1992) に規定される装置によって行った。煙点と煙量の関係に関する他の研究では、周囲流量を変えて試料の燃焼によって形成される拡散火炎の煙点を求め、煙点における発熱速度で煙収率を整理している報告もある^[1]。

試料は全て試薬を灯油に混合して調製した。試薬の濃度を変えて煙点の測定を行い、煙が発生しにくくなる濃度を求めた。試薬は減煙効果を有する可能性のあるアルコール類、エーテル類、過酸化物質および有機金属錯体の中から選び、添加量を変えて測定を行った。有機金属錯体としては原油に添加すると燃焼時に発生する煙量が減少することが報告されているジシクロペンタジエニル鉄(II) (フェロセン) を実験に用いた^[2, 3]。また、商業的に販売されている試薬 (以下、試薬Aという。) についても煙点を測定した。

2.2 小規模燃焼実験

煙点の測定の結果を基に、減煙効果のある試料に対して実際に消防訓練に使用可能な試薬をある程度選別して小規模燃焼実験を行った。放射受熱量および燃焼速度 (重量減少速度) 等を測定して、それらの燃焼性状を調べた。小規模燃焼実験において燃焼容器として直径90mm、高さ18mmのステンレス製容器を用いた。試料は全て試薬を灯油に混合して調製した。燃焼容器の中心から360mm離れた位置に放射計を設置して放射受熱量を測定した。燃焼速度は燃焼量を燃焼時間で割って求めた。また、熱画像装置によって撮影された画像を基に放射率=1と仮定して火炎温度を求めた。

2.3 コーンカロリメーターを用いた燃焼実験

実験装置の概要を図1に示す。煙量を減少させる試

薬に対しその燃焼性状を詳細に調べるために、コーンカロリメーターによって小規模燃焼実験を行った。試料として試薬Aの灯油溶液を用いた。試薬Aを灯油と混合して、試薬Aの10wt%または30wt%灯油溶液を調製して実験に用いた。また、比較のため灯油についても測定を行った。測定は1つの試料に対して2回行った。発熱速度 (kW/m^2)、放射受熱量 (kW/m^2)、燃焼速度 (g/s) および煙の減光係数 (m^{-1}) 等を測定した。また、得られた測定値を基に放射分率、煙濃度 (g/m^3) および煙収率を計算した。

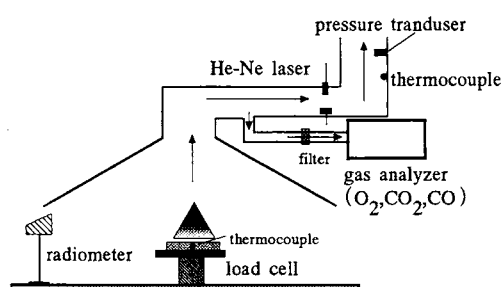


図1 コーンカロリメーターを用いた小規模燃焼実験の概要図

3. 結果および考察

3.1 煙点の測定

表1に煙点の測定を行った試料とその結果を示す。アルコール、エーテルおよび過酸化物を添加すると煙の発生を抑制する効果が見られた。また、参考のためにオクタン価向上剤として用いられるMTBE (Methyl tert-butyl ether) について測定を行った。少量のMTBEの添加で減煙効果が見られたが、MTBEの沸点 (b.p.=55.2°C) は灯油と比較してかなり低いため、実際に訓練に使用する際には蒸留が起こることが考えられる。

今回測定した試料の中ではフェロセンが最も大きい減煙効果を示した。フェロセンの灯油溶液において煙点測定中の火炎の様子は、他の試料の場合と異なり、火炎の高さが27mmを超えてから、火炎の先端が広がる変形が見られた。

3.2 小規模燃焼実験

実際の消防訓練で使用するために試料の価格と煙点の測定結果を考慮して、測定する試料を選択して小規模燃焼実験を行った。表2に小規模燃焼実験の結果を試薬の沸点と併せて示す。各測定値は定常的な燃焼が

表1 煙点の測定結果

	試薬	試薬濃度 (wt%)	煙点 (mm)		試薬	試薬濃度 (wt%)	煙点 (mm)
1	n-オクチルアルコール	10	27.0	8	試薬A	10	28
2	n-オクチルアルコール	30	29.5	9	試薬A	30	40
3	n-ヘキシルエーテル	10	28.0	10	試薬A	100	> 50
4	n-ヘキシルエーテル	30	32.0	11	フェロセン	0.04	50
5	過酸化ジ-tert-ブチル	10	26.0	12	フェロセン	0.1	45~50
6	過酸化ジ-tert-ブチル	30	29.5	13	フェロセン	0.4	> 50
7	メチルト-ブチルエーテル	0.4	27.0	14	灯油	100	24.5

表2 小規模燃焼実験の結果

	試薬	沸点 (°C)	試薬濃度 (wt%)	放射受熱量 (kW/m^2)	燃焼速度 (g/s)	最高火災温度 (°C)
1	n-オクチルアルコール	196	30	0.75	0.073	610
2	n-ヘキシルエーテル	226	10	0.79	0.103	580
3	過酸化ジ-tert-ブチル	110	10	0.91	0.071	640
4	フェロセン	175	0.1	0.77	0.073	570
5	フェロセン	175	0.5	0.77	0.070	560
6	フェロセン	175	1	0.75	0.072	580
7	灯油	175	100	0.80	0.078	570

行われた時の値である。n-オクチルアルコールを30wt%添加した場合は、灯油と比較して放射受熱量および燃焼速度は小さくなったが最高火炎温度は高くなった。n-ヘキシルエーテルを10wt%添加した場合は、灯油と比較すると放射受熱量および最高火炎温度はほぼ同じであるが、燃焼速度は大きくなった。また、過酸化ジtert-ブチルの場合では放射受熱量は灯油の場合より大きくなり、最高火炎温度も測定した試料の中で最も高くなった。過酸化ジtert-ブチルの添加により燃焼が促進されたことや過酸化ジtert-ブチルの沸点が灯油と比較して低いことが理由として推察される。これらの化合物を添加しても目視による観測からは煙の発生量はあまり減少しなかった。

フェロセンを灯油に添加することにより、灯油と比較して放射受熱量および燃焼速度は小さくなった。フェロセン灯油溶液の最高火炎温度は灯油とほぼ同じであった。フェロセン0.5wt%灯油溶液において目視による観測によると煙の発生量は著しく減少し煙自体も薄くなった。火炎の形状については、他の試料のような先端が閉じた火炎ではなく、火炎の幅が広くなり、火炎の高さも低くなった。フェロセンが触媒として作用して燃焼反応を促進し、また、煙の発生量を抑制したと推察される。フェロセンの濃度の違いによって燃焼速度および放射受熱量はほとんど変わらなかった。

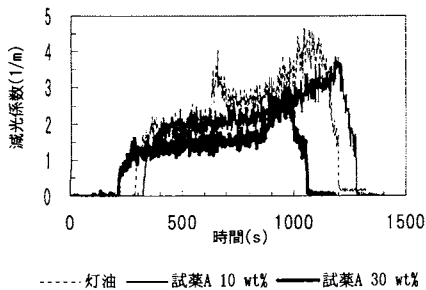


図2 コーンカロリメーターを用いた実験における試薬Aの煙の減光係数の経時変化

3.3 コーンカロリメーターを用いた燃焼実験

試薬Aの灯油溶液の燃焼性状をコーンカロリメーターを用いて詳細に調べた。コーンカロリメーターによる小規模燃焼実験の結果を表3に示す。各測定値は定常的な燃焼が行われた時の値である。試薬Aを灯油に添加することにより、灯油と比較して放射受熱量および発熱速度は大きくなったのに対して、燃焼速度は小さくなった。また、試薬Aの10wt%灯油溶液と試薬Aの30wt%灯油溶液では、放射受熱量、燃焼速度および発熱速度に関して、明確な差は見られなかった。

煙の減光係数の経時変化を図2に示す。煙の減光係数は点火後から徐々に増加し、灯油が燃え尽きる直前に急激に増加した。煙濃度および煙収率⁽¹⁾は減光係数から、次式を用いて計算される。

$$\text{煙濃度 (kg/m}^3\text{)} = (1/2.303) \times (\text{減光係数}) / (\text{POD})$$

POD (粒子光学的密度): 3300m²/kg

$$\text{煙収率 (-)} = (\text{煙の発生量, g}) / (\text{燃焼重量, g})$$

煙濃度は発生する煙の総量と関係があることから、煙濃度が高いほど目視によって観察される煙の量は多くなる。一方、煙収率は単位試料 (重量) あたりの燃焼時における煙の発生量を表す指標である。試薬Aの30wt%灯油溶液では灯油と比較して、煙濃度は56%になり、煙収率は59%になった。試薬Aを30wt%添加することにより、煙の発生が約半分に抑制されることが判った。

4. まとめ

実際に消防訓練で使用することを目的として、灯油に添加して煙の発生量を抑制する化合物の燃焼性状に関して実験的な研究を行ったところ、以下の結果が得られ、フェロセンが前記条件1～条件4を全て満たすことが判った。一方、他の試薬等は条件によっては使用可能であることが判った。

- (1) 煙点の測定結果からアルコール、エーテルおよび過酸化物は煙の発生を抑制する効果が見られた。今回測定した試薬の中では有機金属錯体であるフェロセンが最も煙の発生を抑制した。
- (2) 煙点が高くなった試料に対して、小規模燃焼実験

表3 コーンカロリメーターを用いた小規模燃焼実験の結果

	試薬	試薬濃度 (wt%)	放射受熱量 (kW/m ²)	燃焼速度 (g/s)	発熱速度 (kW/m ²)	減光係数 (m ⁻¹)	煙収率 (-)	放射分率 (-)
1	試薬A	10	1.08	0.099	516	2.25	0.058	0.56
2	試薬A	30	1.01	0.101	521	1.45	0.037	0.52
3	灯油	100	0.89	0.105	436	2.58	0.063	0.53

を行った。その結果、フェロセンを灯油に添加することによって、灯油の燃焼時と比較して煙の発生量が減少することが判った。

(3) コーンカロリメーターを用いた小規模燃焼実験において、煙量を減少させる試薬の灯油溶液について煙濃度および煙収率を測定した。燃焼時における煙濃度を比較するとその試薬の30wt%灯油溶液における煙濃度は灯油と比較して約1/2に減少した。

参考文献

- [1] Delichatsios, M.A., Smoke Yields from Turbulent Buoyant Jet Flames, Fire Safety Journal, 20 p.299 (1993)
- [2] Mitchell, J.B.A., Smoke Reduction from Burning Crude Oil Using Ferrocene and Its Derivatives, Combustion Flame, 86, p.179 (1991)
- [3] Mitchell, J.B.A. and Moir, M.E., Smoke Reduction from Pool Fires Using Ferrocene and Derivatives, 15th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Edmonton, p.681 (1992)
- [4] Mulholland, G., Henzel, V. and Babrauskas, V., The Effect of Scale on Smoke Emission, Fire Safety Science, 2 p.347 (1989)

大規模な原油のボイルオーバー実験

夏目泰忠 (元苫小牧東部石油備蓄(株))

古積 博、岩田雄策

1 はじめに

タンク火災の発生件数は他の火災件数に比べて必ずしも多くはなく、例えば、世界36カ国における1981年から1995年間における直径40m以上のタンク全面火災の確率は 3×10^{-5} 基/年、そのうちボイルオーバーに至ったものは約1/6という報告がある^[1]。また、日本においてもタンク全面火災の確率は 4.3×10^{-5} 基/年といわれている(直径40m以下のものも含む)^[2]。しかし、最近でもトルコ地震時のイズミット製油所のタンク火災や、タイにおけるシラチャ製油所タンク火災等記憶に新しいものもあり、一旦火災が発生するとその物的被害もさることながら、社会的影響は計り知れない。特に、全面火災が進展してボイルオーバーに至った場合には周辺地域にまで危険が及ぶ恐れがある^[3, 4]。

ボイルオーバーに関しては過去いくつか研究が行われ^[5, 6, 7, 8, 9]、そのメカニズムが論じられているが、原油に関する研究は限られ、特に直径数m規模の容器によるものは数少ない。

1999年2月、石油公団、東京大学及び当研究所が主体となり、苫小牧東部石油備蓄(株)の協力を得て直径5mの大規模な原油のボイルオーバー実験を行なったので報告する。

2 実験概要及び方法

2.1 実験場所

実験場所は1998年原油燃焼実験^[10]が行われた苫小牧市東港の埋立地を選定した。

2.2 実験日時及び実験回数

比較的安定して北よりの風が吹き、陸側に煙の影響がない2月上旬とし、最終的には長短の気象予測に基づき実験日を決定し、2回の実験を行った(以下第1回目の実験を実験Ⅰ、第2回目の実験を実験Ⅱとする)。

2.3 実験設備

2.3.1 タンク仕様

実験タンクの仕様を図1に示す。

2.3.2 測定方法

(1) 熱電対

センターポールに油温及び水温測定用熱電対をタンク底板より50mm間隔で合計10点設置した。測定データはデータロガーを通し、1秒間隔でパーソナルコンピュータに記録した。熱電対の詳細測定位置を図2に示す。

(2) 放射計

タンクの東、西、南、北方向のそれぞれ3D、5D、7Dの位置に合計12個の放射計を設置した。各放射計は高さ1.2mの三脚に受熱面をタンク中心に向けて固定して設置した。

(3) 赤外線熱画像撮影装置

タンクの西南西、西、北のそれぞれ5Dの位置に3台の赤外線熱画像装置を設置し、火災及び実験タンク側板の温度測定に供した。

(4) 液面計

タンク底板に25mmのノズルを取付け、チューブ(ポリプロピレン)で連結して目視読み取りのガラス液面計を取付けた。チューブには灯油を満たして凍結防止を図った。

2.3.3 供試原油

日本で備蓄する原油は中軽質の中東原油が最も多いこと、及び1998年1月に実施した大規模燃焼実験と整合性を持たせるために、アラビアンライト相当の原油を出光興産(株)北海道製油所から購入して使用した。その蒸留曲線を図3に示す。

2.3.4 原油と水の割合

原油をタンク底部から450mm(9ℓ)張り込み、次に水を100mm(2ℓ)入れた。原油と水がエマルジョンを作ることのないよう注意した。

3 測定項目および測定結果

実験結果の概要を表1に示す。

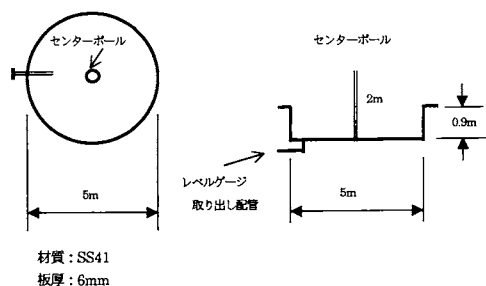


図1 タンク仕様図

3.1 燃焼速度

平均燃焼速度は、実験Ⅰで平均1.6mm/min、実験Ⅱで平均2.0mm/minであった。実験Ⅰの時の風速は

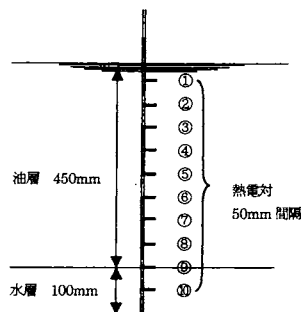


図2 熱電対取り付け位置

表1 原油ボイルオーバー実験結果

実験No	I	II
年月日	1999年2月2日	1999年2月3日
実験タンク	D=5m H=0.9m	D=5m H=0.9m
燃料	アラビアンライト相当原油	アラビアンライト相当原油
燃料層厚さ	0.45m (9.0kl)	0.45m (9.0kl)
水層厚さ	0.10m (0.2kl)	0.10m (0.2kl)
点火時気温	-4.2°C	-3.2°C
風向、風速	西北西 8.5m/sec	北 3.2m/sec
燃焼量	2.4kl (初期燃料の24%)、119mm	2.5kl (初期燃料の25%)、122mm
ボイルオーバー発生時の高温層厚さ	331mm	328mm
ボイルオーバー発生までの時間	78.8分	66.4分
7Dにおけるボイルオーバー強度*	風上側 5.8 風下側 22.0	風上側 4.6 風下側 22.7
燃焼速度	1.6mm/min	2.0mm/min
ホットゾーン降下速度	5.7mm/min	6.7mm/min

* ボイルオーバー強度
=ボイルオーバー時の放射受熱量(kW/m²)/定常燃焼時の放射受熱量(kW/m²)

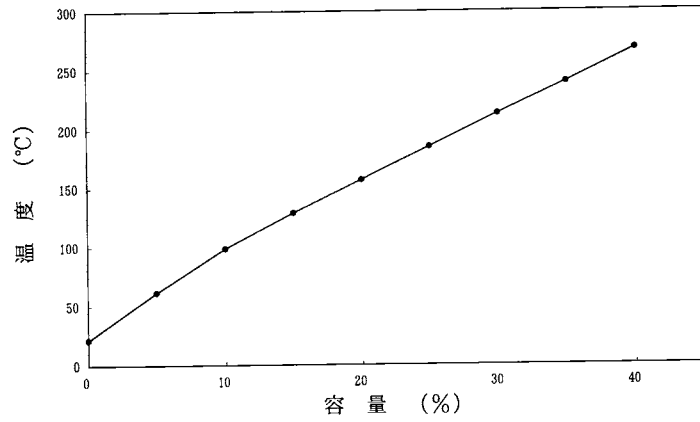


図3 供試原油蒸留曲線

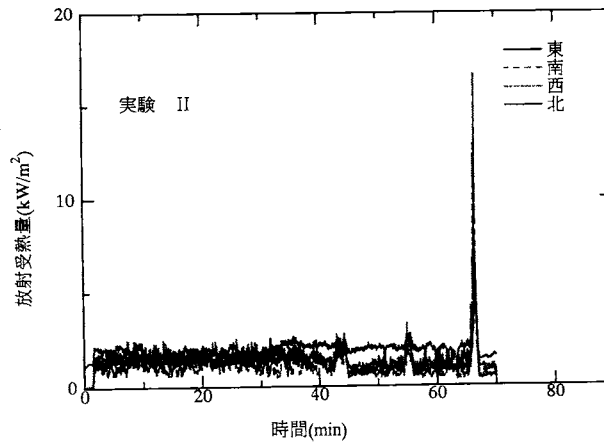
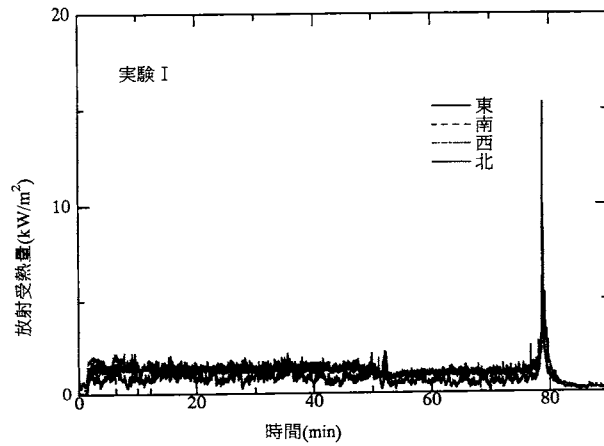


図4 5Dにおける放射受熱量の変化

8～9 m/s、実験Ⅱの時は3～6 m/sであった。燃烧速度は風速が低い実験Ⅱのほうが早く（図6）、ボイルオーバーが発生した時間も12分早かった。風速が大きくなる程、燃烧速度が下がるという傾向は1998年苫小牧燃烧実験の5 mタンク実験燃烧速度の2.5 mm/min（平均風速：0.65 m/s）、及び2.3 mm/min（平均風速：1.5 m/s）ともよく一致し、風速がある程度高くなると炎が傾いて液面の放射受熱量が下がったためと考えられる。一般には風速の影響は複雑で、燃烧速度が上がることもあれば下がることもあると言われており^[11]、今回及び1998年の実験では風速が低いほど高い結果となった。また、沖山らによると軽質原油（API 25以上）の燃烧速度は1.7～7.7 mm/minといわれている^[12]が、その下限値とはよく一致した。なお、ボイルオーバー発生時の液位は実験Ⅰが初期液面から119 mm、実験Ⅱが122 mmであった。

3.2 放射熱

図4～5に実験Ⅰ及びⅡの5 D及び7 Dにおける放射受熱量の変化を示す。実験Ⅰの実験中の風速は8～9 m/s、実験Ⅱの時の風速は4～6 m/sであった。実験Ⅰの風下側7 Dでの放射受熱量は定常燃烧時で平均0.4 kW/m²であり、風上側の0.6 kW/m²に比べ低かった。一方、ボイルオーバー発生の際にはこれが8.1 kW/m²に達し、風上側の3.6 kW/m²を上まわった。これは、定常時においては、風下側は風上側に比べ煙に遮蔽されて放射熱が低くなるが、ボイルオーバー発生時には発生したファイアーボール状の輝炎が大きく風下側に傾き、そのために放射受熱量も上がったものと思われる。この傾向は実験Ⅱにおいても同じであった。

点火後、実験Ⅰでは52分、実験Ⅱでは43分において3 D、5 D、7 Dともに放射熱が低下し、この傾向はボイルオーバー発生まで続いた。これは3.3項に述べ

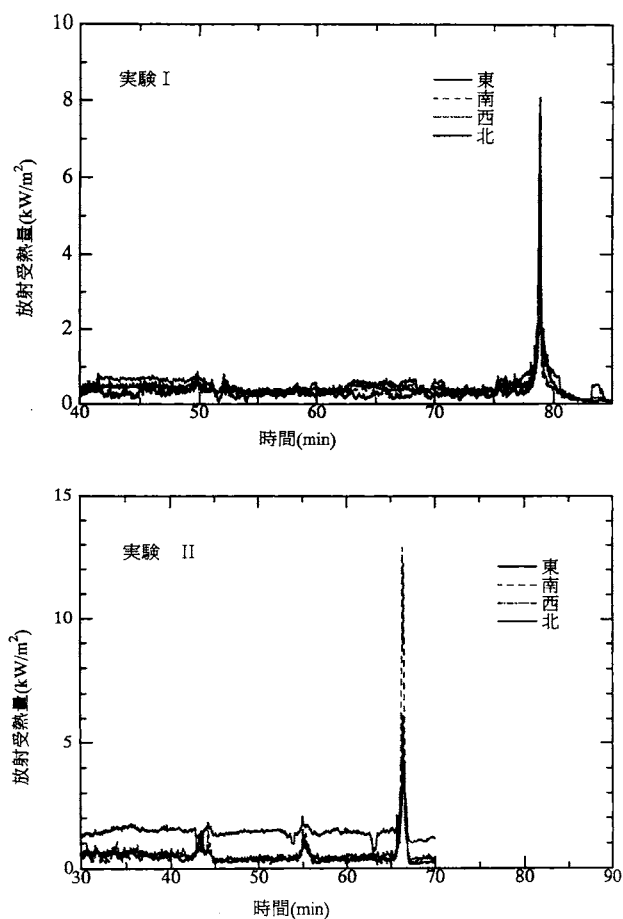


図5 7Dにおける放射受熱量の変化

るとおり、底部の水が沸騰し始めた時と重なり、この時発生した水蒸気により燃焼が抑えられて火炎が小さくなったためと考えられる。

3.3 油温及び水温

油温及び水温はタンク底板から50mm間隔に設置したK型ステンレスシース熱電対 ($\phi = 1.6\text{mm}$) によって測定した (図2)。図6及び図7に実験I及び実験IIの油層及び水層の温度変化を示す。以下実験Iについて述べる。

①の点 (初期液面から50mm) においては点火3分後に温度上昇が始まり20℃に達した後、5分後には急激な温度上昇があり270℃になった。この温度を約8分保ったが、この間この層では灯油留分の蒸発が行われていたものと考えられる。その後点火15分後に一挙に800℃になったがこれは燃焼面がこのレベルまで降

下したことを示している。

②の点 (初期液面から100mm) においては点火5分後から徐々に温度上昇が始まり17分後70℃に達した後、急激な温度上昇があり、270℃になって徐々に温度が下がり、この傾向が15分続いて約200℃になった後、点火後37分に燃焼面温度と見られる700℃まで上昇した。この間この点より下部の温度はほぼ均一の温度差を保ちつつ徐々に上昇した。

以下③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、の各点においても同様の温度上昇傾向を辿り、約180℃で安定した後すべての層が均一の温度となった。その後均一となった全体の温度は徐々に上昇しボイルオーバー発生の直前には290℃になった。

これらの現象は、蒸留-比重差による物質移動-熱交換^[3]により、以下のように説明できる。すなわち、燃焼面に近い層では火炎からの放射熱により加熱され

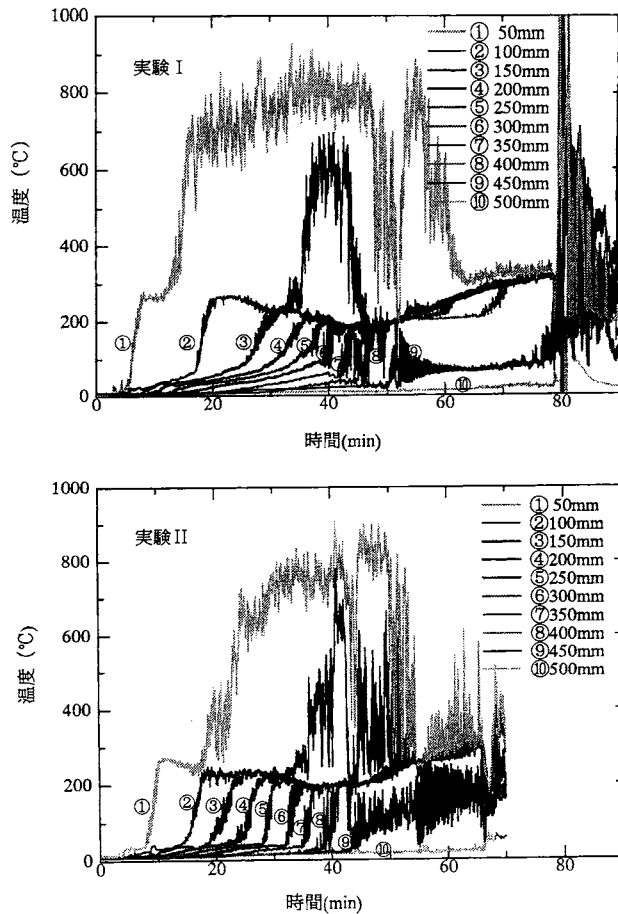


図6 油温及び水温の変化

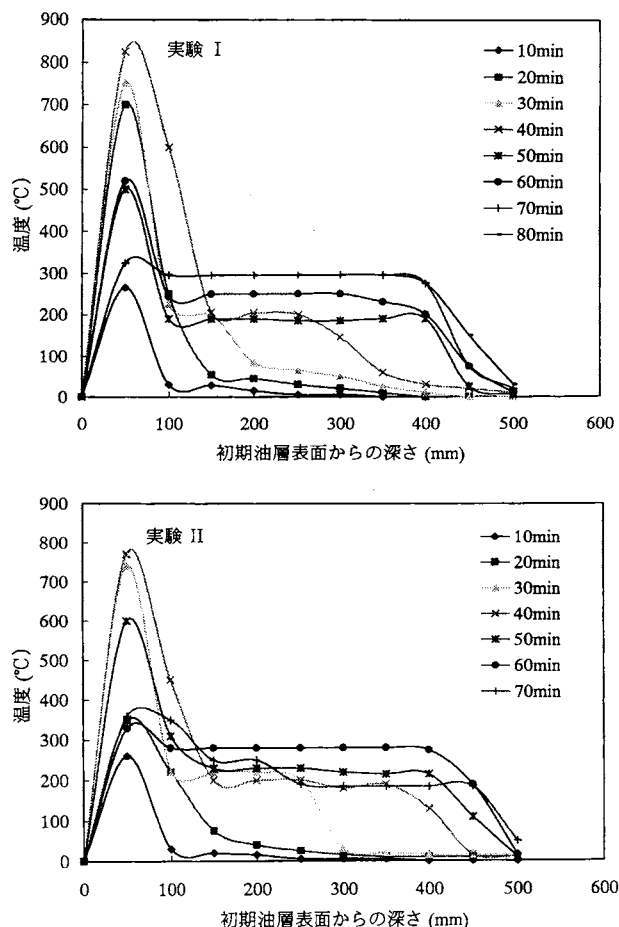


図7 油層垂直方向温度分布

て蒸留が起こり、初期には灯油留分以下の軽質分が気化して燃焼に寄与する。一方、軽油以上の高温の重質留分は比重差により下降しながら下部の層と徐々に混じり合う。混合されて比重差がほとんどなくなるまで下降を続け、その過程で下層部への熱移動が行われる。下層部各点の温度が均一の温度差を保って徐々に上昇したのはこのためであろう。重質分が底部に達するのは比較的早く、⑧の点が温度上昇を始めるのは点火後20分であった。この段階では“高温層”は形成されていない。一方上層部では、比重差による攪拌により高温の重質留分と入れ替わって下部から比較的低温の原油が上昇するために温度が徐々に低下する。

45分後に高温の重質油が⑧に達すると、全体が激しい温度変化をした後に均一の温度となった。以後は蒸留カーブに似た均一な温度上昇が見られ、油層全体が290℃に至ってボイラーオーバーが発生した。ただし、最下層では180℃近辺で灯油留分の蒸留がしばらく続

いた後、上層部と均一温度になった。

図6及び図7から、高温層が2段階で形成されたことが判る。すなわち、30分から47分にかけて下層への重質油の沈み込みにより、垂直方向に一定の温度差を保ちつつ高温層を形成していく過程と、47分からボイラーオーバーが発生する79分にかけて、すでに形成された高温層が均一温度になって徐々に温度上昇していく過程である。ボイラーオーバー発生時、初期燃料層表面から150mm(③の点)では290℃以上にはならなかったことから、ボイラーオーバー発生時の燃焼面は100から150mmの所にあったと考えられ、3.1項で述べた実測値119mmと一致する。

油層と水層の界面である⑨点では、点火51分後に100℃を中心にして激しく温度変化を始めたが、これは上層部に形成された高温層が底部に張った水に接触し、水の表層部が沸騰し始めたためと思われる。なお、この時点で①、②点における温度及び3.2項で述べた

放射熱も下がったが、これらの現象はこの底部の水の蒸発によって発生した水蒸気によって燃焼が抑えられ、火炎が小さくなったためと考えられる。その後⑨点の温度は一旦70℃に下がった後再び徐々に上昇し、約30分後100℃前後になって再び温度変化が激しくなりボイルオーバーが発生した。

形成された高温層の厚さは初期油層厚さが450mmであり、ボイルオーバー発生時の初期燃料層表面からの液位が119mmであったことから、331mmであったものと考えられる。

最下部、すなわち水層の中間部である⑩では、点火時0℃であったものが79分後31℃になった時点でボイルオーバーが発生した。ボイルオーバー発生後は再び30℃に戻ったことから、水層の平均温度は30℃前後であったと考えられる。

以上のことから、高温層が水層に達しても直ちにボイルオーバーが発生することではなく、また、逆に水層全体が100℃近くにならなくとも水層の上層部が100℃になれば激しいボイルオーバーが発生することを示している。

以上の傾向は実験Ⅱにおいてもほぼ同様であった。

4 まとめ

日本において広く貯蔵、取り扱われているアラビアンライト相当原油を用いて、大規模なボイルオーバー実験を行い、長時間原油を燃焼させた場合の油層及び水層の温度変化の傾向を把握することができた。

液層中に形成される高温層は、垂直方向に温度差を保って形成される過程と、激しい対流によって全層が均一温度になった後温度上昇していく過程の2段階があることが推定できた。

文献

[1] "Forum for Fire Hazard Management and Fire-Fighting in the Oil, Gas and Petrochemical Industries", (June 1999)

- [2] Henry, M. and Klem, T., Scores Die in Tank Fire Boilover, Fire Service Today, p. 11 (June 1983)
- [3] 川崎縦貫道路(1)コンビナート防災対策検討報告書、(平成2年12月)
- [4] Dyfed County Fire Brigade, Report of the Investigation into the Fire at Amoco Refinery (August 1983)
- [5] Hall, H., Oil Tank Fire Boilover, Mechanical Engineering, 47 p.540 (1925)
- [6] Burgoyne J. H. and Katan, L.L., Fires in Open Tanks of Petroleum Products: Some Fundamental Aspects, Journal of the Institute of Petroleum, 33 p.158 (1947)
- [7] 長谷川和俊、ボイルオーバーの発生機構に関する研究、災害の研究、14 p.233 (1983)
- [8] Hasegawa, K., Experimental Study on the Mechanism of Hot Zone Formation in Open-Tank Fires, Fire Safety Science, 2 p.221 (1988)
- [9] 古積 博、石油タンクの火災性状の研究、学位論文(東京大学)(1996)
- [10] 大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書、自治省消防研究所、(平成11年9月)
- [11] NFPA, SFPA, Handbook of Fire Protection Engineering, (First Edition), p. 2-4 (1988)
- [12] 沖山博通、危険物の安全と消火設備、p.37 (1993)

謝辞

本実験は、石油公団、消防研究所及び東京大学の共同研究として行われ、また、危険物保安技術協会「国家石油備蓄基地陸上防災支援システムの開発に関する調査研究委員会」(委員長:平野敏右東京大学名誉教授)の支援を受けて行われた。同委員会の委員の皆様へ感謝の意を表します。また本実験を行うにあたっては、地元消防本部、苫小牧東部石油備蓄(株)苫小牧事業所等多くの方々の協力がありました。感謝致します。

リゾート地域における高層宿泊施設および共同住宅の階高調査

天野久徳、山田 實、西 晴樹

1. はじめに

消防活動に用いられる資機材は、建物の設備と消防隊の装備に分けて考えることができる。高層建築物の火災を想定した場合、消防隊の装備としてははしご付き消防自動車（以下、はしご車と略記する。）を挙げることができる。はしご車の型式は30m級あるいは40m級と言う様に、装備されているはしごの最高到達高さと呼ばれる。

一方、建築物の高さについて考えると、地上高何mというよりは何階という認識が強いと思われる。したがって、はしご車のはしごが到達できる高さを建築物の階で明示できることが望ましい。ところが、建物の階高は一定でなく、はしご車のはしごが到達することができる建築物の階を一律に規定することはできない。そして、建築物の何階まで到達できるかについて論理的に検討されていないのが現状である。

そこで建築物各階の地上高さに関する基礎的な資料を得るために、建築物各階床面から直上階床面までの高さ、すなわち階高の調査を行った。建築物の階高は、立地や用途によって異なると容易に予想される。本調査では、リゾート地域の高層宿泊施設および共同住宅に注目し調査を行った。さらに、調査結果について統計的に検討したのでここに報告する。

2. 調査の概要

新潟県内の一消防本部の協力を得て調査を行った。調査対象は建物用途が消防法施行令別表第一第五項に該当する防火対象物とした。また、全国に配備されているはしご付き消防自動車のうち最も多い形式は、最高到達高さが30mである¹⁾。そこで、最上階の床面高さが30m以上である防火対象物とした。該当建物は42件あり、その内、資料入手可能な41件について調査した。なお、地上階についてのみ調査を行い、地下階については行っていない。

階建	8	12	13	14	15	16	17	19	24	30	31	32	33	計
件数	1	4	11	12	4	1	1	2	1	1	1	1	1	41

表1 調査対象建物

調査対象建築物を何階建てか毎に整理した結果を表1に示す。14階建ての建物が最も多く12件、ついで13階建てが11件であった。表に示されていない階数は該当する建物がなかったことを意味する。最も階数が少ない建物は8階建てであった。

3. 階高データの概略

各階高のデータは建築図面を基に算出し、延べ、648階のデータを得ることができた。全データの概略を階級幅を0.10mとして整理したヒストグラムを図1に示す。階高データは0.10m単位であることが多かったため、各階級の中央値が0.10m単位となるように階級の境界値を設定している。ヒストグラムでは、2.85m以上2.95m未満の階級が最頻値であり、度数は267である。全データの最頻値および中央値は2.90m、平均値は3.02mであった。階高の最も低いものは2.60m、最も高いものは5.70mであった。全体の傾向としては、階高が高い側に裾長な分布となっている。そのため、中央値より平均値はやや大きい値となっている。また、2.55m以上3.25m未満の範囲に全データの88.1%が集中している。

なお、関連事項として建築基準法施行令第二十一条に、「居室の天井の高さは、2.1メートル以上でなければならない。」と規定されている。すなわち、階高が2.1m未満である階は宿泊施設や共同住宅には存在しないはずである。一方上限に関しては特に規定はない。

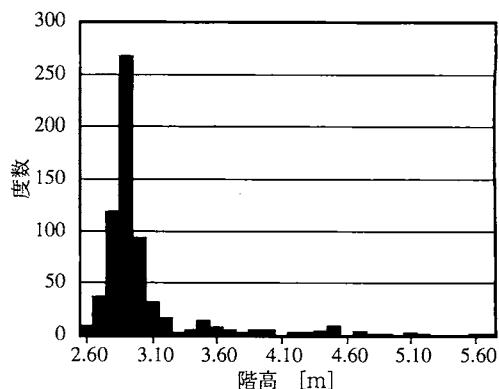


図1 調査した階高の分布

4. 階用途と階高

次に典型的な例として、15階建ての4建物について各階の階高を図2に示す。建物をそれぞれA、B、C、D建物と呼ぶこととする。また、建築物の1階から連続する数階上までの階を低層階と、最上階から連続する数階下までの階を最高層階と呼ぶこととする。

まず、低層階について考える。A、B建物では1、2階が3階以上の階と、また、C、B建物では1階が2階以上の階と比較して階高が高くなっている。これらの階ではロビーやレストラン等共用の施設が設けられている。都市部の共用住宅ではロビーが設置されていない例も多いと考えられる。しかし、リゾート地域においては季節利用型の共同住宅が多いため、天井の高いロビー等が設けられている建物が多いと推測される。ロビーやレストラン等、共用する施設が設けられている階を共用階と呼ぶこととする。また、主に宿泊や居住区画が設けられ、共用施設が設けられていない階を非共用階と呼ぶ。

次に最高層階について考える。B建物で最上階の15階およびその下階14階、C建物では最上階の15階で階高が高くなっている。B、C建物には最上階には展望レストランが設けられている。また、B建物の14階には娯楽施設が設けられている。いずれも共用階である。一方、A、D建物の最高層階には宿泊あるいは居住区画だけが設けられた非共用階である。A、D建物では

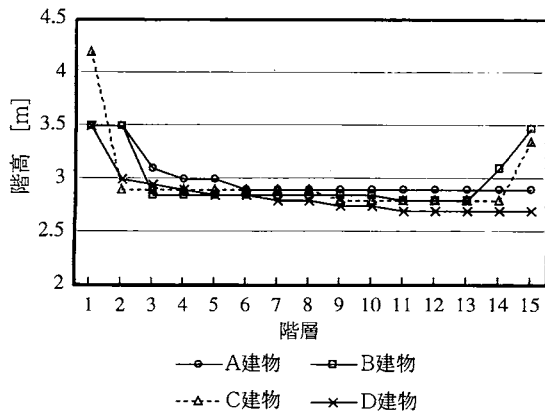


図2 階高の例

最高層階の階高は下の階の階高と同じである。以上のように、共用階と非共用階では階高が異なる。

さらに、非共用階について検討してみる。非共用階の階高を見てみると階が高くなるに従い暫減している。これは、低層の階では建物自身の自重による荷重に耐える必要があり、水平梁が厚いことが原因である。すなわち、構造上の理由といえる。ただし、共用階であるか否かによる階高との差と較べると、構造上の理由による階高の差は小さい。したがって、共用施設の有無が階高に大きく影響するといえる。

ここに示した例では、共用階は低層階と最高層階に設定されているが、24階建ての建物では中間の13階に設けられている建物もあった。また、低層階の共用階については、最高4階までが共用階である建物があった。

5. 階と階高

調査した全建物について、各階毎に平均値と標準偏差を求めた。各階における階高の平均値と標準偏差を表2に示す。ただし、最上階の値については別にまとめてある。たとえば、12階建ての建物の場合、12階の階高は12階のデータとして処理せず、最上階のデータとして処理した。また、16階以上の階はサンプルが8件以下で、統計的処理を行っても有意なデータが得られないと判断し、省略した。

平均値は1階、2階、最上階、3階の順となっている。1階の平均値が最も高く、最も多くの建築物において共用階として使用されていることが分かる。4階から14階までの階高の平均値を計算すると2.88mとなる。1階の平均値は4階から14階までの全平均値に比べ、0.94m高いことが分かる。

一方、標準偏差が最も大きい階は最上階、次が2階、さらに1階、3階の順である。最上階および2階の分散が大きい原因は、共用利用するか否かのばらつきが大きいことによると考えられる。2階に次いで3番目に1階の分散が大きい。1階は平均値が最大であり、最も多くの建築物においてが共用階であると考えられるので、意匠上の理由から分散が大きくなっていると推測される。

4階から14階までの標準偏差を見ると0.31m以下で

階	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	最上
平均値	3.82	3.42	3.07	2.95	2.91	2.92	2.89	2.85	2.84	2.83	2.83	2.84	2.88	2.93	3.20
標準値	0.59	0.65	0.51	0.31	0.14	0.31	0.25	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.13	0.68

単位：m

表2 各階毎の階高

あり、他の階と比較して小さい値となっている。特に8階から12階まではいずれも0.09mとなっている。

明らかに1～3階および最上階と4～14階のデータに違いが認められる。1～3階および最上階は平均値、標準偏差とも大きく、一般的に共用階となっていると推測される。そこで、1～3階および最上階を一般共用階、1～3階および最上階を除く階を一般非共用階と呼ぶ。

6. 一般非共用階の階高

調査した全階高の平均値と標準偏差を表3に示す。一般非共用階の階高の平均値と標準偏差を、表3に併せて示した。なお、一般非共用階のデータ数は484であった。一般非共用階の平均値が2.89mとなり、全体

	全階	一般非共用階
平均値	3.02	2.89
標準偏差	0.43	0.19

単位：m

表3 一般非共用階の階高

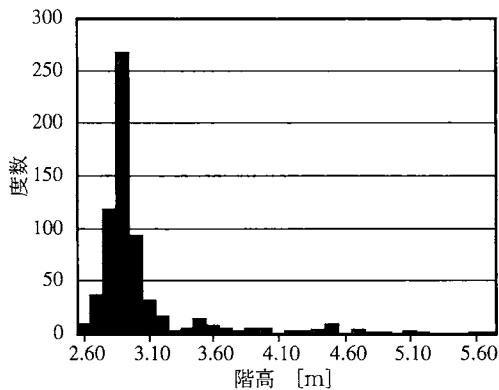


図3 一般非共用階における階高の分布

のデータの最頻値および中央値に近い値になっている。一般非共用階の最頻値は、全データの最頻値と同様、2.90mであり、中央値は全データの中央値より小さく、2.85mであった。また、標準偏差は全データの標準偏差の半分以下となっている。

一般非共用階のデータをヒストグラムで図3に示す。階級の取り方は図1と同様にしている。図3においても、図1同様階高が高い側に裾長な分布になっているが、図1と比較すると裾は短くなっている。このとき、2.55m以上3.25m未満の範囲に全データの98.6%が集中している。

7. 終わりに

リゾート地域における高層宿泊施設および共同住宅について各階層における階高を検討し、統計的な検討を行った。検討の結果、階毎の用途により、階高が異なることを明らかにした。また、多くの建物で共用されていない階を推定し、その階の階高の平均値と標準偏差を求めた。以上の結果から、建物各階の床面高さを予想するための基礎資料を得ることができた。

今後、他地域や他用途の建築物の階高調査を行い、最終的に、はしご付き消防自動車の最高到達高さや建物の階との関係を考える。

謝辞

本調査は、新潟県の一消防本部及び当該消防本部管内の高層宿泊施設および共同住宅関係者のご協力を得て行うことができました。ここに記して感謝致します。

文献

- 1) 自治省消防庁；消防年報、第48号、pp.11 (1999)

第1回日韓安全工学学術発表会に参加して

鈴木 健

平成11年11月22日より24日まで、韓国の慶州で韓国産業安全学会の主催により開催された第1回日韓安全工学学術発表会に参加した。郊外にある慶州Hiltonホテルを会場として使用した。参加者数は約200名であった。日本人の参加者数は44人で、全体の約4分の1を占めていた。日本からの参加者は、国公立の研究所、大学からの参加者が多く、民間会社からの参加者は少なかった。分野ごとの発表件数は表1に示した通りである。特別講演により、日韓それぞれの産業安全の状況がわかりやすく説明された。発表時間は、1件あたり質疑応答も含めて20分であった。3件または4件の発表ごとに40分の休憩時間をとってあったので、発表時間が既定の時間を超過してしまっても、あまり気にしていないようだった。研究発表の内容とレベルは様々であった。日韓でそれぞれの問題、関心などを交換できたことに大きな意義があった。

韓国からの参加者には、日本への留学経験者、日本語の話せる人がいて、日本の制度についてよく知っていた。しかし、韓国語に堪能な日本人の研究者は見あたらなかった。韓国側は、日本側の日本語で書かれた一次資料を直接参照できる。それに対し、日本側は、韓国側の資料を翻訳による間接的な参照しかできな

い。日韓の協力にあたり、この不均衡が問題になるように思えた。会場である慶州Hiltonホテルに宿泊していれば、建物の外に出る必要はなかった。日本語を話せる従業員もいたので、楽ではあったが、外国に行った意味がなくなるような気がした。

慶州へは、ソウルから特急列車を使用して約4時間30分、釜山から約1時間を要する。慶州は、統一新羅王朝の都だったところである。戦災その他の理由で、当時から残っている建物はほとんどない。「屋根のない博物館」と言われるだけあって、遺跡と古墳の間に街があるといえるほど、遺跡と古墳が多い。韓国の民族意識の高揚のためか、遺跡の発掘と、かつて存在した建物の復元に熱心に取り組んでいた。発掘品の数が多いせいか、博物館を増築していた。韓国が慶州の復元にかかる熱意は、日本が奈良の平城京の復元にかかる熱意を上回るようだった。観光客を誘致するのに熱心であった。観光案内は日本語、英語で書かれたものが容易に手に入った。また、スタッフの常駐する観光案内所もあった。さらに、ホームページ (<http://www.Kyongbuktour.or.kr>) も開設されている。

表1 分野ごとの発表件数

特別講演	3
横浜国立大学名誉教授 上原陽一	「日本の安全工学の40年の歩み」
韓国産業安全公団院長 Soo Kil Choi	「韓国の産業安全の現状と将来」
東京工業大学名誉教授 大島榮次	「日本の安全に関する規制緩和」
一般講演	
機械	10
化学	31
環境・公害	4
ガス爆発	7
凝縮相の熱分解と爆発	12
反応プロセス	3
リサイクルプロセス	1
火災	3
リスクアセスメント	1
電気	9
建設	15
安全管理と人間工学	16



写真1 開会式で挨拶する大島榮次教授



写真3 懇親会で挨拶する Soo Kil Choi 院長



写真2 特別講演を行う上原陽一教授

中国黄山市で開催された1999年国際都市火災シンポジウム

佐藤晃由

1. はじめに

平成11年10月12日から14日まで、中国黄山市で1999年国際都市火災シンポジウム（'99 International Symposium on City Fire Safety、中国防火協会と中国科学技術大学等の主催、平野前東大教授やドライステール・エジンバラ大学教授等の協力）が開かれたので参加した。シンポジウムには中国国内や香港、台湾、シンガポール、オーストラリア、ロシア、米国、日本などから、約200人の研究者及び消防及び防火関係者が参加し、現代の都市内における種々の火災性状及びその対策について活発な討議が行われた。

2. シンポジウム

中国消防協会会長・胡之光氏の開会の挨拶によりシンポジウム開会式が始まり、ついで中国科学技術大学・国家重点火災科学研究所長ファン・ウェイ・チェ

ン教授により、今日における都市火災研究の重要性、近年における中国を含む世界における火災研究の発展状況、及び今回のシンポジウム開催の趣旨に関する挨拶（図1）が行われた。さらに、平野前東大教授による「ススの生成」に関する特別講演、オーストラリア・ビクトリア大学ラムゼイ教授の「火災科学・火災安全工学・火災法規の三者の関係」に関する特別講演（図2）、ファン教授の「複合建物における火災リスク評価」に関する特別講演（図3）が行われた。ついで、約60の一般論文が発表された。それらの主なものは以下の通りである。

- (1) 台湾における建物火災研究の発展状況
- (2) 建物における排煙システムの研究
- (3) 大空間における火災性状及び防火の研究
- (4) 火災ブルームとスプリンクラー水噴霧の相互作用の研究
- (5) 各種物質の燃焼性と消火剤の効果の研究
- (6) コーンカロリメーターによる水噴霧消火状態でのタンク火災の発熱速度
- (7) 建物内の可燃物発熱量のデータベースの作成
- (8) 狭い長大空間における火災の燃焼性状
- (9) 都市内通信トンネルにおける火災性状
- (10) 巨大地下空間における火災
- (11) 建物火災における仮想現実の利用に関する研究
- (12) 地震時における事前避難計画
- (13) 都市火災における最適放水量
- (14) 高層ビルにおける避難計画
- (15) 中国における自動防火システムの発展状況

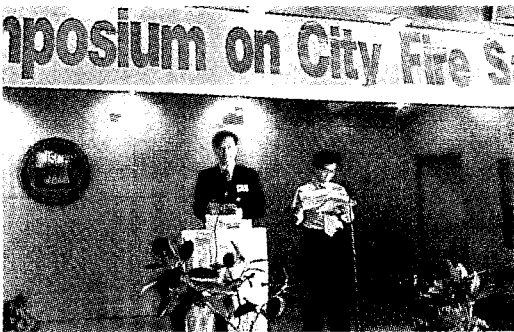


図1 中国科学技術大学ファン教授による開会の挨拶



図2 オーストラリア・ビクトリア大学ラムゼイ教授の特別講演

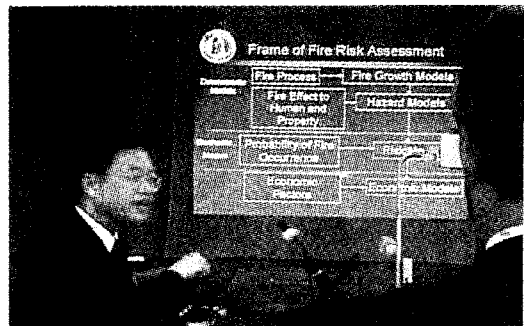


図3 中国科学技術大学ファン教授の特別講演

(16) シアミン国際会議展示場における防火システムの事例

- (17) コミュニティにおける都市防火の研究
- (18) 都市における地震火災による損害把握
- (19) 超高圧水噴霧消火システム
- (20) アトリウムにおける煙の充満と火災感知
- (21) 超高層建物火災におけるヘリコプターによる救助
- (22) 蒸気雲爆発の性状
- (23) 電気配線火災の遠隔感知
- (24) 赤外線ビームによる火災感知

これらの研究発表において、近年のハロン代替消火剤としての水噴霧消火の研究やアトリウムやトンネルなど広大空間における火災性状や火災感知の研究が目についた。また、いわゆる「パフォーマンス・ベースト」といわれる実用的研究に関する報告も見られた。

このシンポジウムにおいて、筆者ら（佐藤、吉原、寒河江、K.T. Yang）は、「樹木による有風下の風下側火災被害の軽減・その2－風下側の樹木による温度及び速度」と題して発表した。概要は、大震災時における市街地火災においては、公設消防力には限界があり、延焼防止には地域住民による自主的な防災活動が重要となる。従って、防災活動の拠点となる学校、公園などの空間地が消防活動上火災に対して安全か否か検討する必要がある。樹木の市街地火災延焼防止の有効性は従来から知られているが、本研究では学校・公園などの地域防災活動拠点を樹木により熱的に軽減する方法、特に有風時の火災気流の風下側に種々の密度の樹木を配置した場合における樹木の後流域での熱的特性を模型実験とコンピューターシミュレーションにより調べ、火災被害の低減を目的とする樹木の有効性を検討した。これに対して、中国においても、市街地における樹木の防火性と都市計画などに着目しているとのコメントや、どのような樹木が有効か、どのような高さ・密度の植樹がいいかなどの質問があった。

シンポジウム日程の最後に、筆者らの講演論文に対する最優秀論文賞を含む数編の論文賞の表彰式が行われた。

3. おわりに

筆者は約9年ぶりに中国を訪問したが、上海などでは高層建物の数が大幅に増え、以前と比べて大きな変化が見られた。シンポジウムの講演でも、まだ中国の火災件数は欧米や日本より格段に低い、しかし今後における状況は変化することも予想されとの報告があった。また、出席の研究者からも同様の感想が寄せられた。

なお、シンポジウムの行われた市は中国一の名山といわれる黄山の近くにあり、極めて風光明媚な観光地（図4）であった。

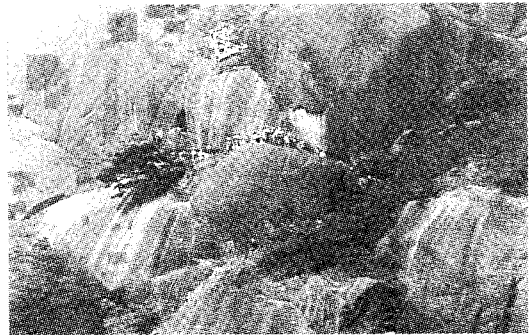


図4 安徽省・黄山の巨大な岩山

参考

- 1) Proceedings of '99 International Symposium on City Fire Safety, 1999 (Published by SKLFS/USTC)
- 2) 大震災時における地域防災活動拠点の安全性確保に関する研究報告書、消防研究所研究資料第44号、(1999.3)

第6回国際火災安全科学シンポジウム (6th International Symposium on Fire Safety Science) に参加して

佐宗祐子

1. はじめに

1999年7月5日～9日の5日間、フランスのポワチエにおいて、第6回国際火災安全科学シンポジウムが開催された。このシンポジウムの概要について、筆者の感想を交えながら紹介する。

ポワチエはパリから南々西におよそ300km、TGVで約1時間30分の距離にあり、美しいロマネスク教会がある古都として知られている。会場となったENSMA (国立機械航空技術大学) は、1995年のポワチエ大学との合併に伴い、ポワチエの町の北約13kmにあるフチュロスコープに新設された¹⁾。フチュロスコープは、先端映像技術を中心としたレジャーパークと、携帯電話などの通信産業、そしてポワチエ大学、ENSMA、CNRS (フランス国立科学研究センター) を中心とした教育研究部門から成る科学都市である。会場周辺にはいくつもの大型ホテルが立ち並び、シンポジウム参加者のほとんどがこれらのホテルに滞在し、隣接する会場で各セッションに参加した。

2. シンポジウムの概要

本シンポジウムは、国際火災安全科学学会 (IAFSS) が主催する国際研究集会であり、1985年の第1回開催を皮切りに、以降3年に1度の間隔で定期的開催されてきた。前回は1997年にオーストラリアのメルボルンで開催され^{2), 3)}、本来なら次は2000年のはずであったのが、諸事情により今回だけ2年間隔で1999年開催となった。

今回のシンポジウムには、前回とほぼ同様、世界約25カ国から300名近くの火災・安全技術に関わる研究者が参加し、広範囲な分野にわたる研究発表、招待講演等の聴講ならびに議論が繰り広げられた。論文発表希望者は、あらかじめ論文を提出して複数の査読者による審査を受けなければならない。前回の採択論文数91件に対し、今回は86件が採択されたが、倍率は2倍を超えたそうである。本シンポジウムが対象とする研究領域は、真理の探究と社会問題の解決という2つの側面を持ち、両者に対する査読者の嗜好を評価の過程

から完全に排除することは困難である。半数以上の論文を不採択とするからには、できるだけ多くの質の高い査読者により、著者に対して不採択の根拠が明確に示される必要がある。

表1に、会期中の研究発表、講演等のプログラム概要を、また表2に、招待講演の概要を示す。研究発表と招待講演、ポスターセッションはすべてENSMAの中の2つの講堂と1つの展示室で行われ、初日の開会式とエモンズ賞講演のみENSMAに隣接するPalais des Congres (写真1)で行われた。

研究発表件数を国別で比較すると、米国が21件と最も多く、次いで日本がフランスと並び16件、英国11件、オーストラリア9件の順であった。この5カ国で全発表件数の85%を占める。分野別で比較すると、燃え拡がりや消火に関する研究が多く、区画火災、感知、人間挙動に関する研究が少ない傾向が見られた。感知については、件数自体は少ないながらも、FT-IRを用いた感知システムの研究など、著者にとって興味深い発表があった。日本からの発表は、構造、燃え拡がり、流体力学、消火に関するものが多く、感知と人間挙動に関する発表はなかった。分野に偏りが見られたのは、本シンポジウム直前に英国で開催されたInterflam等、他の会議の影響であろうか。

シンポジウムでは毎回、火災研究の推進に多大な貢献をした研究者の中から、ハワード・エモンズ賞受賞者が選ばれる。今回は、我が国から早稲田大学の長谷見雄二教授が、この栄誉に浴した (写真2)。日本人としては1988年の川越邦雄氏、前回の神忠久氏に次いで2回連続通算3人目の快挙である。受賞された長谷見教授には心よりお祝いを申し上げるとともに、後に続く若手研究者にとって最高の励ましであることをお伝えし、長年の御尽力に対し感謝したい。

エモンズ賞講演の他に、6つの一般招待講演が行われた。我が国からは、消防研究所の古積博士により、大規模プール火災に関する最新の研究成果が紹介された (写真3)。前回の元消防研究所研究企画官 神忠久氏によるエモンズ賞受賞に続き、消防研究所の研究レベルが広く国際舞台で認知されたことは、非常に喜

表1 第6回国際火災安全科学シンポジウムのプログラム概要

月 日	午 前		午 後		夜
7月5日 (月)	・参加登録 ・開会式 ・エモンズ賞講演 (長谷見雄二氏)	リスク・ハザード・統計(2/0)	招待講演1	リスク・ハザード・統計(6/1)	・歓迎会 ・音楽会 (サンピエール 大聖堂にて)
		火災化学(2/1)		火災化学(6/1)	
7月6日 (火)	招待講演2	火災化学と火災物理(5/0)	ポスター セッション1	火災物理とモデリング(3/0)	・Futuroscope Park ・夕食会 (ENSMA) ・炎のオルガン パフォーマンス
		消火(5/2)		消火(3/0)	
7月7日 (水)	招待講演3	火災物理とモデリング(5/0)	燃え拡がり(5/3)		
		消火(4/0)／感知(1/0)	感知(2/0)／煙(3/1)		
7月8日 (木)	招待講演4	燃え拡がり(5/0)	ポスター セッション2	燃え拡がり(2/0) ／区画火災(1/0)	・晩餐会
		構造(5/3)		構造(1/0)／材料(2/0)	
7月9日 (金)	招待講演5	区画火災(2/0)／人間挙動(3/0)	招待講演6	アプリケーション(3/1)	
		材料と流体力学(5/1)		流体力学(5/2)	

(X/Y)内は発表件数:Xは総数、Yは日本からの発表件数

表2 招待講演一覧 (エモンズ賞講演を含む)

講演者	国 名	所 属	講 演 題 目
長谷見雄二教授 Prof. Y. Hasemi	日 本	早稲田大学	建造物の合理的な火災安全設計の基礎としての拡散火災のモデリング Diffusion Flame Modelling as a Basis for the Rational Fire Safety Design of Built Environment
J. ホール博士 Dr. J. R. Hall, Jr.	米 国	米国防火協会(NFPA)	人々と機会：火災安全科学のソフトな分野に関する厳然たる事実 On People and Chance : The "Hard" Facts about the "Soft" Branches of Fire Safety Science
P. ジュレイン教授 Prof. P. Joulain	フランス	ボワチエ大学 CNRS/ENSMA	フランスにおける火災研究の概要 Fire Research in France : An Overview
B. メックヤム博士 Dr. B. J. Meacham	米 国	防火技術者協会 (SFPE)	性能ベースの火災安全設計手法の開発と利用に関する国際的な経験：発展と現在の状況および将来の展望 International Experience in the Development and Use of Performance-Based Fire Safety Design Methods: Evolution, Current Situation, and Thoughts for the Future
H. ロス博士 Dr. H. D. Ross F. ミラー博士 Dr. F. J. Miller	米 国	NASAグレン 研究センター	アルコール液面上の火災拡大に関する理解 Understanding Flame Spread across Alcohol Pools
T. シールド教授 Prof. T. J. Shields G. ブラウル博士 Dr. G. Proulx	英 国 カナダ	ウルスター大学 National Research Council	人間挙動の科学：過去の研究の試み、現在の進展および研究予定の作成 The Science of Human Behaviour : Past Research Endeavours, Current Developments and Fashioning a Research Agenda
古積 博 博士 Dr. H. Koseki	日 本	消防研究所	大規模プール火災：最近の実験結果 Large Scale Pool Fires : Results of Recent Experiments

ばしいことである。

講演形式の研究発表とは別に、前回から研究発表を目的としたポスターセッションが設けられるようになった。今回は、2日目と4日目の計2回ポスターセッションが開催され、熱のこもった議論で会場が賑わった(写真4)。特に、英語に自信のない日本人が議論に参加するには、ポスターセッションの方が断然有利である。筆者は口頭による論文発表とポスター発表を各1件ずつ行ったが、質問をする側もポスターセッションの方が気楽らしく、口頭発表に関する質問をポスター発表の時に尋ねてくる英語圏外からの参加者が数人いた。ダブル発表は事前の準備が大変ではあるが、効果は3倍以上であると実感した。

表3に、国別のシンポジウム参加者内訳(主催者配布リストによる)を示す。オーストラリアで開催された前回に比べ、日本からの参加者数は減少しているものの、開催国フランスと米国に続き第3位である。参加者数が多い割には、討論の場面において日本人の影が薄いのが残念であった。

表3 国別のシンポジウム参加者内訳

地 域	国 名	参加者数 (割合)
アジア・オセアニア	日 本	32 (11)
	ニュージーランド	10 (3)
	オーストラリア	9 (3)
	中 国	3 (1)
南北アメリカ	米 国	49 (17)
	カナダ	5 (2)
	ブラジル	2 (1)
	アルゼンチン	1 (0)
西ヨーロッパ	フランス	85 (30)
	イギリス	32 (11)
	スウェーデン	8 (3)
	ドイツ	6 (2)
	オランダ	5 (2)
	ノルウェー	5 (2)
	フィンランド	5 (2)
	ベルギー	5 (2)
	スペイン	4 (1)
	オーストリア	3 (1)
	スイス	3 (1)
	デンマーク	3 (1)
	イタリア	1 (0)
	ポルトガル	1 (0)
東ヨーロッパ	ポーランド	5 (2)
	ロシア	4 (1)
	スロベニア	2 (1)
合 計	25ヶ国	288 (100)



写真1 開会式とエモンズ賞講演が行われたPalais des Congrès

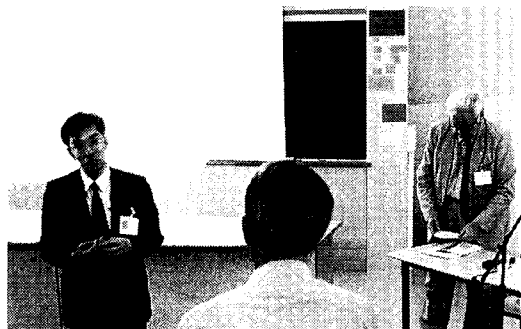


写真3 古積博 危険物研究室長の招待講演風景

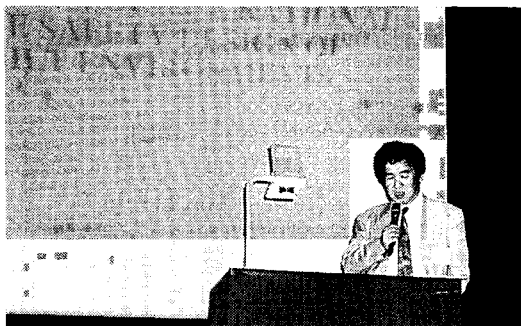


写真2 エモンズ賞に輝いた長谷見雄二教授の講演風景



写真4 ポスターセッションにおける鈴木健研究員の発表風景

3. その他の催事

表1に夜の部として紹介したとおり、シンポジウム会期中にいくつかの催しが企画された。会期中、参加者は基本的にシンポジウム会場のある学園都市フュチュロスコープに缶詰め状態であったため、1日目と4日目の会議後は、古都ポワチエの情緒を味わえる催しが企画された。

1日目は、ポワチエの町中心部にあるConseil Régionalでの歓迎会の後、サンピエール大聖堂にてオルガンとトランペットの演奏があった。演奏が終わる頃にちょうど日没となり、美しくライトアップされたノートルダム・ラ・グランド教会を眺めながら、物思いに耽る人、サンドイッチで空腹を満たす人など、各人各様に古都の夏の夜を楽しんだ。

2日目の会議後は、フュチュロスコープの目玉である大レジャーパークを尋ねた後、夕食会に続き「炎のオルガン」のパフォーマンスで神秘的なひとときを過ごした。炎のオルガンとは、長さの異なる管内に火炎を形成し様々な音色を発生させるもので、基礎燃焼研究の分野で有名なENSMAらしい一風変わったイベントであった。

4日目には、公式行事としての晩餐会が、ポワチエ中心部のPalais des Comtes du Poitouで盛大に開催された。晩餐会では、恒例の各賞受賞者の発表、授与式が行われた。長期の学術的貢献を表賞して贈られるエモンズ賞、第5回シンポジウムの最優秀論文に対して

贈られるトーマス賞の他に、永年の功績を表賞して個人に贈られる川越賞などの賞がある。会の後半では、音楽演奏や手品等のパフォーマンスが披露され、会議の疲れから解放される束の間のひとときとなった。

4. おわりに

長谷見雄二氏のエモンズ賞受賞、約2割を占める日本からの論文発表等を通じ、前回同様日本人研究者の活躍が目立つ学会であった。その分、本シンポジウムの将来に対して日本人の担う責任も大きいと言える。次のシンポジウムは2002年に米国で開催される予定である。火災科学が一層の進歩を遂げ、どのセッションでも日本の研究者が大いに活躍することを期待したい。

最後になるが、本シンポジウムの開催に携わった国内外の多くの方々に感謝したい。

参考文献

- 1) 景山 正：「フランス国立科学研究センター・燃焼爆ごう研究室」(研究所紹介)、燃焼研究 118号、67-70 (1999)
- 2) 山田常圭：「第5回国際火災安全科学学会シンポジウムに参加して」、火災 228号、53-58 (1997)
- 3) 田村裕之：「第5回国際火災安全科学シンポジウム (5th International Symposium on Fire Safety Science) に出席して」、消研輯報 第51号、30-32 (1997)

平成11年度 消防防災機器の開発等及び消防防災科学論文 表彰作品

自治体消防制度50周年を記念して、消防庁は平成9年度から消防科学・技術の高度化と消防防災活動の活性化に寄与することを目的に消防防災機器の開発・改良及び消防防災科学に関する論文を募集し、優秀な作品を消防庁長官が表彰する制度を創設しました。本年度は、第3回目となります。

文書による募集案内、消防紙誌、各種消防関係団体の機関誌への募集広告及びインターネットへの掲載等により広く作品を募って参りました。その結果、全国の消防本部、消防団、消防関係機関、消防防災機器メーカー、一般企業、個人等から87件〔機器の開発・改良：69件、科学論文：18件〕の応募がありました。

応募作品は、学識経験者及び関係行政機関並びに関係団体を代表する者からなる表彰選考委員会において審査され、次の16編（入選15作品、奨励賞1作品）が

表彰作品となりました。なお、表彰式は、平成12年3月22日、自治省講堂で行われました。

平成12年度（第4回）の募集は、平成12年6月1日から開始します。締め切りは、9月29日です。詳しくは、消防研究所のホームページ（http://www.fri.go.jp）、消防の動き4月号等をご覧ください。

問い合わせ先
消防庁 消防研究所 庶務課
電話 0422-44-8331 (代表)
FAX 0422-42-7719
e-mail hyosho@fri.go.jp
応募要領
消防研究所ホームページ http://www.fri.go.jp

***** 表彰作品 *****

- I 消防吏員等による消防防災機器の開発・改良の部 (入選4編, 奨励賞1編)
 - 水中検索棒の改良 児玉 勉 (広島市消防局) 65
 - ホース巻取機 (エスカルゴ) の開発
杉原 能隆、山下 正夫、渡辺 素子 (福山地区消防組合消防局) 67
 - 災害現場活動靴の改良 森口 政一、木村 俊也、松苗 春男 (京都市消防局) 70
 - ラリゲアルマスク固定補助器具の開発について 吉岡 洋一 (京都市消防局) 72

奨励賞

 - 「分岐の改良」について 守本 達由 (兵庫県宍粟郡一宮町消防団) 75
- II 消防吏員等による消防防災科学論文の部 (入選5編)
 - 出火危険を防ぐための高齢者が使いやすい差込みプラグの改良について
岩間 茂文 (京都市消防局) 78
 - 無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器のあり方について
坂井 宏至、橋本 好弘 (札幌市消防局) 83
 - 残存危険物の測定方法にかかる研究について
笹井 吉孝、本岡 一志、大槻 貞彦 (京都市消防局) 91
 - 都市型水害用インスタント水のうの開発
林 孝俊、柴田 明夫、片桐 勝治 (京都市消防局) 98
 - 「火災原因調査の目的について」ガスクロマトグラフの装備を中心として
松本 城太郎 (安来市能義郡消防組合消防本部) 102
- III 一般による消防防災機器の開発・改良の部 (入選5編)
 - 緊急用簡易担架の開発 (Rescue Board) 安達 昭 (安達紙器工業株式会社) 106
 - 水路付きはしご車の開発 稲本 純司 (株式会社モリタ) 110
 - 警戒地図表示式機器の開発 片倉 辰男、大橋 貞雄 (沖電気防災株式会社) 113
 - 消防用テーパーホースの開発
根立 敏、広川 登朗、中岡 孝寿 (芦森工業株式会社) 115
 - 可搬式全自動消防ポンプの開発 波多野 洋明 (富士ロビン株式会社) 121
- IV 一般による消防防災科学論文の部 (入選1編)
 - RTI-Cモデルによる熱感知器の作動時間の予測
土肥 学、万本 敦、山内 幸雄 (ホーチキ株式会社) 124

(以上、50音順、敬称略)

I 消防吏員等による消防防災機器の開発・改良の部 (入選4編・奨励賞1編)

「水中検索棒の改良」

広島市消防局 児玉 勉

水難救助活動は、火災、交通事故の次に多い救助活動であり、年々増加の傾向にあります。

水難救助活動において、迅速・確実に広範囲の検索活動をするためには、適切な検索方法により、洩れのない検索をしなくてはなりません。

通常、4名から6名の潜水隊員がロープを使って横隊となり、潜水活動を行います。しかし、柔軟なロープを常に張った状態で活動することは大変困難であり、横隊が左右にずれたり、川や潮の流れにより大きく歪んでしまう場合もあります。

私たちは訓練を通して潜水技術の習得とその向上に努めてはいますが、現在使用している検索ロープでは検索にバラツキが出てしまうと思われまます。そこで、隊員のストレスを少しでも緩和し、より速く、より正確に検索活動を行うために考案したのが、この水中検索棒です。

従来のロープによる検索活動は、潜水隊員が潜水の準備をしている間に、支援隊員が車両積載のロープを使って検索ロープを作成します。

検索活動をする潜水隊員の数に応じて、ロープの端末にもやい結びをつくり、等間隔にフューラー結びを作成します。その際、余ったロープを処理しなくてはならず、大変時間がかかってしまいます。さらに、この余長ロープが潜水活動の障害となることもあります。

また、入水し隊形を整える時も、検索ロープを隊員一人一人が手渡で送っていかなくてはならず、隊形をとるのに時間がかかってしまいます。また、潜降中に隊形が崩れ、潜水隊員同士が交錯してしまう怖れもあります。

水中における横隊検索で重要なことは、隊形を一定に保ちながら一定の速度で検索することですが、検索ロープでは各隊員の進む速度がバラバラとなり、検索範囲にズレが生じることがあります。

しかし水中検索棒を使用することにより、素早く隊形を整えることができるとともに、隊員全員が一定の速度で水中を検索することができます。

それではここで水中検索棒の構造について説明します。(図1参照)

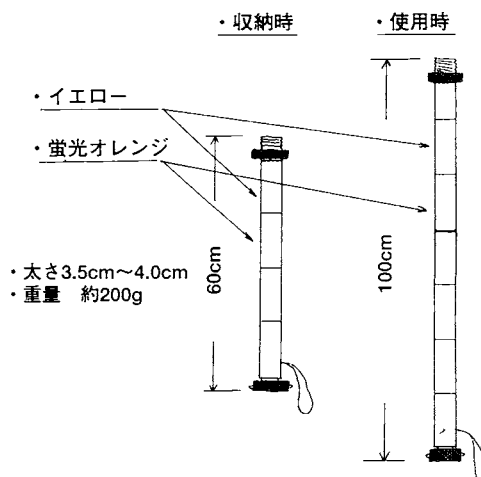


図1

この検索棒は、スライド式になっており、使用時、収納時に応じて伸縮できるようになっています。

使用時は、様々な状況下における検索範囲を考慮して、長さを1.0メートルとし、収納時は潜水バックにいれることができるように0.6メートルとしました。太さは、検索に最も適した握り易さを考え、直径3.5センチメートルから4.0センチメートルとなっています。

色については、水中での視認性が最も優れているとされる蛍光オレンジと黄色の2色を配色し、重量も約200グラムと軽量となっています。

パイプの両端にネジ込み式継ぎ手を補強バンドとリベットにより固定しているため検索棒同士を短時間に強固に結合することができます。また、検索棒の落下防止の為、手を通すストラップを設けています。

次に、ゲージホルダーについて説明します。

このゲージホルダーは、方位計、水深計、圧力計が一体となったコンビネーションゲージを、検索棒にワ

ンタッチで取り付けるためのものです。

従来、コンビゲージは水中において潜水隊員が左手にもって活動するため、行動が制約されていました。

しかし、このゲージホルダーを使用することにより、方位、水深、ポンベ圧力という、潜水活動において一番重要な情報を、常に目の前で確認することができ、検索活動の確実性、隊員の安全性が大幅に向上しました。

次に、検索棒を4本結合し、実際に使用する状態にしたものです。(図2参照)

この状態で全長4メートルとなり、4名の隊員が等間隔に検索活動を行うことができます。更に、同じものをつないでいくことにより、潜水隊員の増加にも対応することができるようにしました。

それでは、水中検索棒の特徴について説明します。

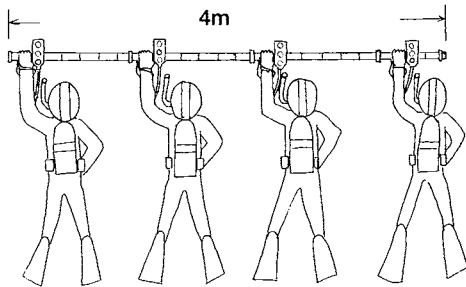


図2

1. スムーズな検索活動ができる

この検索棒を使用することにより、検索開始時の横隊をすばやく正確に作ることができると共に、隊形を乱すことなく、検索活動を行うことが可能です。

2. 設定が容易である

検索ロープは隊員がもやい結び、フューラー結びを作成し、余長ロープを処理するという複雑な作業であるのに対し、この検索棒は短時間で簡単に設定することができます。

3. 軽量コンパクトである

大変軽量なので、持ち運びも楽であり、水中における検索活動も容易です。また、ほかの潜水器具同様潜水バックに収納することが可能です。

4. 増設が可能

各救助隊に配備され、一つの潜水セットに一本の検索棒があれば、新たにつなぐだけで潜水人員の増加に対しても幅広く対応できることが可能です。

水難救助活動は潜水隊員にとって、大きな危険を伴います。その危険を少なくしていくには、訓練により潜水技術を向上して行くことが何よりも重要ではありますが、一方で、さらに良い潜水資器材が充実していけば、その分隊員に余裕が生まれ、その余裕が安全につながっていくのではないかと思います。

この潜水検索棒により、より確実な水難救助活動が行われ、一人でも多くの人命が救助されることを願います。

「ホース巻取機 (エスカルゴ) の開発」

福山地区消防組合消防局 杉原能隆、山下正夫、渡辺素子

1 はじめに

労働白書 (平成11年版) によると、「業務上の負傷に起因する疾病」が6,034件発生しており、このうち腰痛 (災害性腰痛) が4,962件と最も多く全体の82.2%を占めている。

このことは、消防の職場においても例外ではなく、ましてや職員の高齢化が進むなか、腰痛対策は不可欠なものとなっている。

災害現場での活動はもちろんのこと、特に消火活動後における中腰でのホースの巻き取りは、腰部への負担が大きい。そのため、歩行姿勢でホースを巻き取ることにより腰部への負担を軽減させることを図った。

2 開発の概要

本機のコネプトとして軽量コンパクトであることを主眼としたため、エンジンやモーター等の動力を使用せず、タイヤの回転を利用している。従って、巻き取るホースの外径の変化に対応するために変速機構を必要とした。

変速のオートマチック化も考慮したが、ホース巻き取りの形状が楕円形であることや、ホースの含む水の量が一応でない等、使用状況によって様々な形状となるため、現時点では自転車後部のフレーム及び変速ギヤを流用し、マニュアルの変速とした。また、ホースの脱着を容易にするためメインシャフトを片持ち支持としている。

火災現場でのホース延長時にはどうしてもねじれが発生する。これは車両最前部のホースガイドローラーの働きにより解消するとともに、ホース内の残留水を押し出すことができる。冒頭でも紹介したようにタイヤの回転運動を利用しているため、あらゆる路面でのタイヤのグリップ力が要求される。その対策としてオフロードバイク用のものを装着しており、舗装路はも

ちろんのこと泥たん路、砂利路においても同様の巻き取り能力を発揮している。

更に安全対策として、夜間作業用のヘッドライト及び2系統のブレーキを装備している。

完成後、ホース3本の連続巻き取り作業を隊員と比較実験した結果、本機は、ホースの脱着等に多少の時間を有するため隊員と概ね同タイムであったものの、身体における疲労度及び腰部にかかる負担は絶大なる差があった。

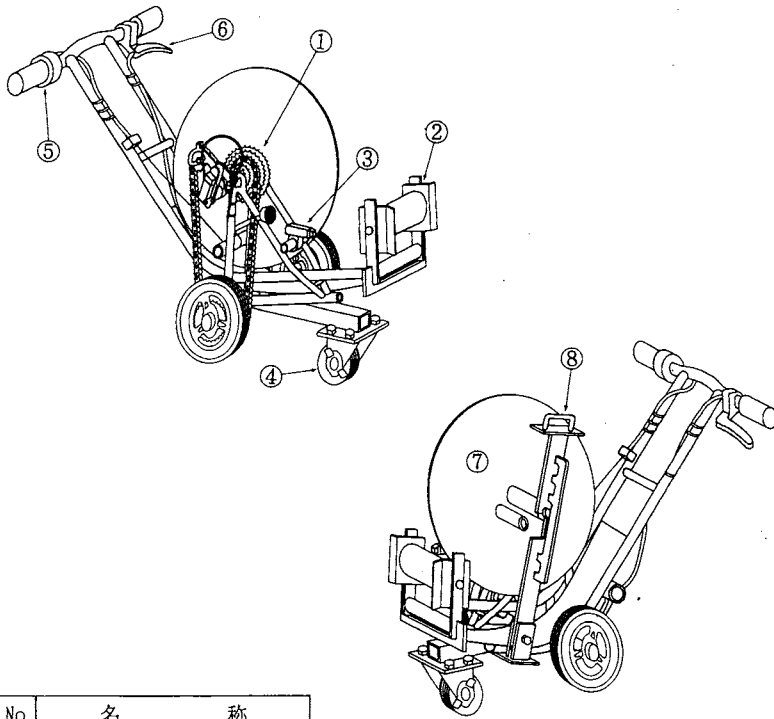
3 操作方法

- (1) 変速ギヤを1速にいれ、ガイドレバーを上部に引き上げ手前に倒す。
- (2) ホースをガイドローラーの上に乗せ、カップリングをガイドプレートのフックに掛ける。(写真4)
- (3) ガイドレバーを元に戻す。
- (4) 前進する。(車体に抵抗を感じるごとにシフトチェンジを行う。)
- (5) 巻き取り終了後、ガイドレバーを倒し、ガイドプレートとホースの間に手を挿入し手前に取り出す。(写真5)

4 まとめ (今後の課題)

現在、現場広報車に積載し出動しているが、将来的には、本体フレームの見直しと構成部品の材質の変更を行い、更なる軽量化を図り、自転車や車椅子に使われている折り畳み機構を駆使しコンパクト化を進め、タンク及びポンプ車への積載を可能にしなければならないと考えている。

消防職員の年齢構成が高齢化していく傾向を強めているなか、消火活動後の撤収作業を省力化するとともに、活動隊員の疲労軽減のために効力を発揮するものと確信している。



No	名 称
①	6段変速ギヤ
②	ホースガイドローラー
③	ヘッドライト
④	ストッパー付キャスター
⑤	シフトグリップ
⑥	ブレーキレバー
⑦	ホースガイドプレート
⑧	ホースガイドレバー

全 長	mm	1,000
全 幅	mm	570
全 高	mm	880
重 量	kg	2.5

図1 ホース巻取機の概略図

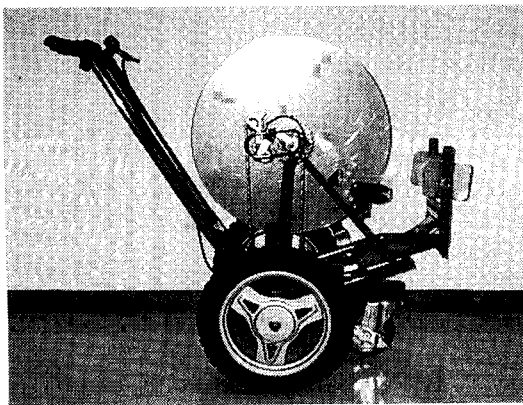


写真1 本体右側

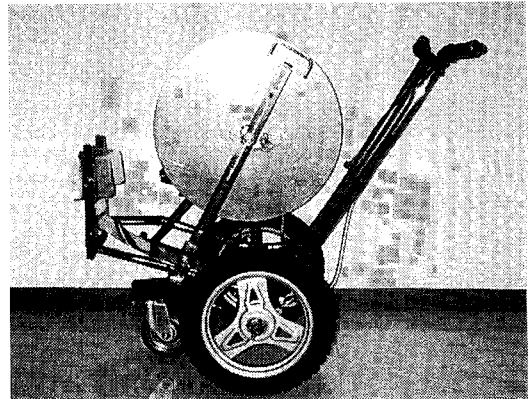


写真2 本体左側

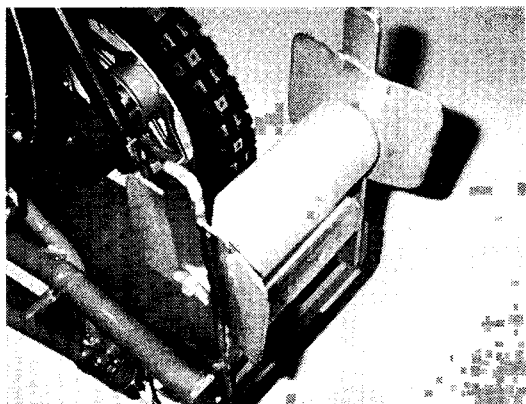


写真3 ホースガイドローラー拡大写真

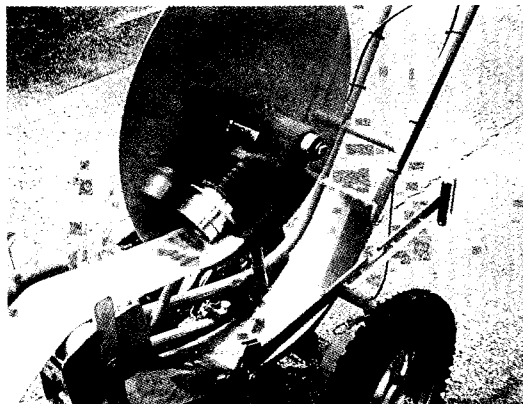


写真4 カップリングをフックにかけた状態



写真5 ホースを取り外している状況



写真6 ねじれたホースの巻取り状況

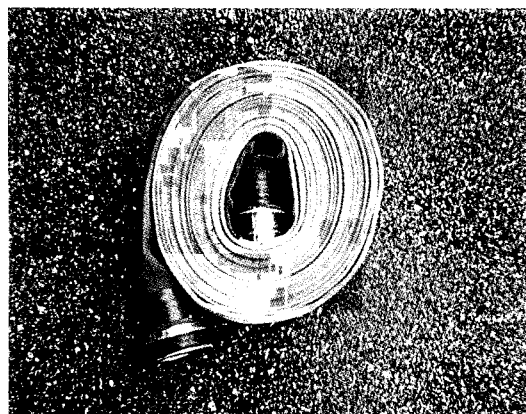


写真7 本機で巻き上げたホースの状態

「災害現場活動靴の改良」

京都市消防局 森口政一、木村俊也、松苗春男

1 はじめに

我々、消防職員は、火災現場、救助現場等の災害現場において常に危険な状況と直面している。特に夜間、濃煙室内の活動時には状況把握が困難となり、隊長と隊員、隊員相互の連けいが寸断される可能性が考えられる。

このような状況下で、隊員が意識喪失等の緊急事態が発生したときには、早期に周囲の隊員等にその位置を知らせ、身体の安全確保を図る必要があることは言うまでもない。

このため、現在我々は災害現場で空気呼吸器を着装した時には、併せて携帯警報器を着装し、一定時間(約20秒間)動作停止時に警報音が鳴動して周囲の隊員等に緊急事態を知らせている。しかしながら、この警報音は電子音であることから、携帯電話の呼び出し音でも周知のとおり、音の発生方向を特定するために時間を要する問題点がある。また、携帯警報器には点滅ランプが取り付けられているが、同警報器の装着位置が身体の全面的時には背後から、背面の時には全面から確認できないという問題点がある。

これらの問題点を解決し、災害現場活動時の安全性を向上させるため研究した。点滅ランプの視認性を高めることが最も効果的であり、更にどのような体位であっても視認できる部位として、足部が最も確認できるとの結果に至った。そして、現在市販されている子供用点滅運動靴(以下「運動靴」という。)に着目し、今回、点滅型現場活動靴の試作を行ったものである。

2 試作品の概要

(1) 配線の概要

今回の試作品は、仰臥位、側臥位及び背臥位においては足の踵(かかと)部には圧力が加わらないことに着目し、踵部に点滅ランプのスイッチを設け、併せて同部に発光ダイオード、電源等を一体として装着した。(図1及び写真1参照)

(2) 発光ダイオード

光源を決定するにあたって、各種のランプを比較したところ、視認性、耐久性、消費電力量、価格等から発光ダイオードが最も適しているとの結論に至った。

発光ダイオードは各種の色があり、その色を決定するにあたっては、光の輝度の数値よりも濃煙の現場活動時を想定して人間の目による視認性について検証し、決定した。

検証にあたっては、光の三原色である赤色、緑色、黄色に加えて青色、橙色の5色について行った。

暗室内と濃煙室内で、すべての発光ダイオードを点灯させて、最短5mから最長20mまで順次距離を置いて署員30人が目視したところ、赤色と青色の視認性が最も高いことが判明した。

本試作品の色の決定にあたっては、赤色は我々の活動の場が火災現場で、炎と同色であること、建物内には警報器のランプ等赤色が多く存在するため、通常の建物火災には存在しない青色を今回の試作品の色として採用した。

(3) 電源

踵部に装着することから、軽量、小型、交換が容易であること。さらに使用可能時間や価格等について各種の電源について比較調査したところ、その条件を満たすコイン型リチウム電池を採用した。

(4) スイッチ

運動靴は、接点が踵部にあり、踏み込み時にスイッチが入り、踵を浮かせばスイッチが切れる構造で点滅する方式や振子式のスイッチを使用し振動により点滅する方式などがあった。

今回の試作品のスイッチは確実に作動し、簡単な構造として踏み込み式の構造を採用したが、本試作品の目的から運動靴とは逆に踏み込み時にスイッチが切れ、踵を浮かせばスイッチが入る必要があり、運動靴のスイッチを使用できなかった。このため、電話機のフック部分をスイッチの代用とし、接点の接続方法を改良することによって試作品のスイッチを作成した。

(5) 靴

発光ダイオード、電池及びスイッチ等の構成部品を埋め込み、靴の踵部を発光させるため、市販のエアチューブ付の靴を使用した。

3 試作品の検証結果

作製した試作品を装備し、夜間、濃煙、収容物による死角、区画による死角等あらゆる状況を想定し、そ

の視認性を検証した結果、装備している活動隊員の所在が容易に確認できた。

このため、不測の事態が発生した場合においても、現在装備している携帯警報器が作動する約20秒間以前に点灯状態が継続することから、隊長や他の隊員が速やかな安全確保が図ることができる。

また、警報器作動時においても、その所在が容易に判明することから、音の発生方向を特定するために時間を要する問題点を解決することができた。

更に試作品を装備して夜間における視認距離を測定したところ、約50m離れた位置からでも発光ダイオードの点滅が確認できたことから、空気呼吸器装着時以外の現場活動時においても、隊員の安全管理に役立つ

ものと認められた。

本試作品に採用したコイン型のリチウム電池の使用可能時間は、常時点灯状態で約70時間有効な発光を継続していたことから、あらゆる災害現場の長時間活動にも十分対応が可能であった。

4 まとめ

今回の試作品で当初の研究目的は達成できた。特に試作品は、その視認性から本研究課題とした夜間、濃煙室内以外の災害現場においても隊員の活動状況の把握が容易であり、隊長と隊員、隊員相互の連けいの向上と、あらゆる災害現場で活動する消防職員の安全性が向上できるものと確信した。

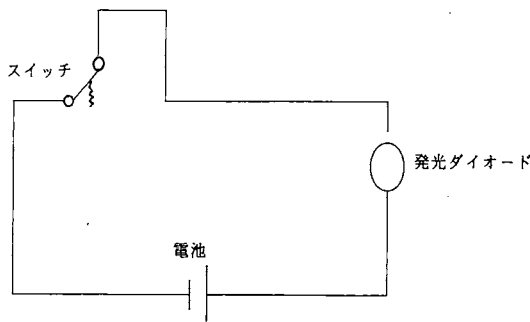


図1 配線概略図

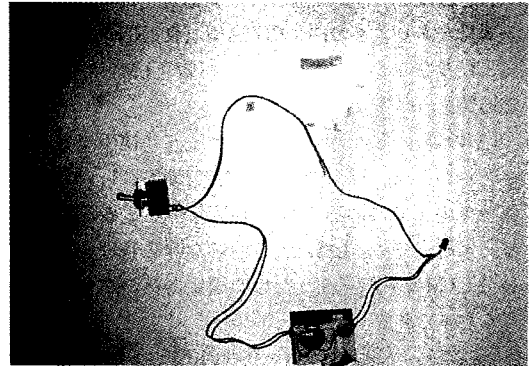


写真1 部品写真



写真2 試作品

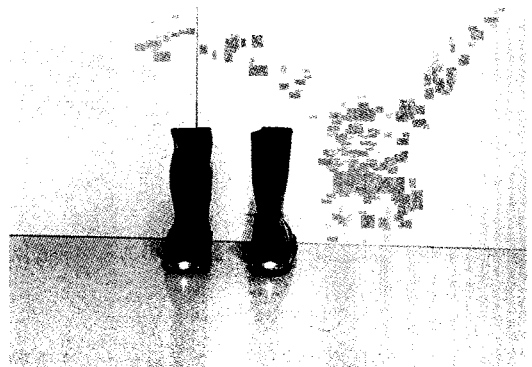


写真3 試作品

「ラリングアルマスク固定補助器具の開発について」

京都市消防局 吉岡洋一

1 はじめに

救急応急手当として、CPA（心肺停止）傷病者の救命のため、救急救命士は器具を用いた呼吸管理、半自動式除細動器による除細動及び乳酸化リンゲル液を用いた末梢血管の確保を特定行為として医師の指示の下に行うことができる。

救急救命士が行う呼吸管理用資器材には現在3種類の器具があり、その内、EGTA型（食道閉鎖式エアウェイ）及びラリングアルマスク（以下LMという）の2種類を当局では採用している。

LMの場合、ほぼオールマイティーに使用できるにもかかわらず、挿入後の固定力でEGTAに一步譲り、救急車内までの搬送に対し不具合が生じることがある。本研究では、LMによる的確な呼吸管理を目標として、LMの欠点を補うための固定器具の試作研究を行うものである。

2 現行LMの特徴と取扱要領

(1) LMの特徴

- ア チューブ先端にマスク部があり、気管へ確実に送気が可能で人工呼吸に伴う胃膨満が少ない。
- イ 挿入及び抜去が容易であり、傷病者への負担も少ない。
- ウ 片手で人工呼吸が可能である。
- エ 側臥位でも挿入可能である。
- オ 対象者は挿入時、嘔吐のおそれのある傷病者以外に制限がない。

(2) 取扱要領

- ア 傷病者の体格に応じたマスクのサイズを選択し、チューブの基部を握り、マスク先端に中指を当て、押し同時にシリンジでカフ内のエアを完全に抜く。
- イ マスクカフ背面に潤滑剤を塗り、頭部後屈若しくは下顎挙上にてマスクを硬口蓋に押し付け、広げようように口腔内へ挿入する。
- ウ 挿入後、マスクが均一に膨らむのを観察しながらシリンジでエアを注入しカフを膨らませる。
- エ バイトブロックを口腔内に入れ、チューブとともに固定した後、対角線上に顔面に固定する。

3 固定器具の試作

(1) 試作品の概要

ア 透明かつ強度のあるアクリル板で口唇部に沿うように覆い、固定及び脱着を容易にするため、アクリル板の左右にマジックテープを取り付け、マジックテープをアクリル板に固定する方法として、Aは接着剤のみで、BはAにリベットにより補強を加えた2種類を試作した。（図1、2）

イ アクリル板には吸引孔を設け、カテーテルによる吸引を可能とした。（図1）

ウ アクリル板には2分割したパイプ（バイトブロック兼用マウスピース）の片方（上顎側）を接着固定し、LMチューブ部を間に入れもう片方（下顎側）を合わせ、マジックテープで固定する。（マジックテープは下顎側に接着しておく）

パイプの長さは、口唇部より上方へは均等に突出し、チューブ開口部にバックマスク、デマンドバルブを取り付けた際の安定性を図り、口腔内側では、上顎用を長く、かつ、湾曲をつけることによりマスク部に圧迫を加え、喉頭への密着度を高め、確実な送気を図る。

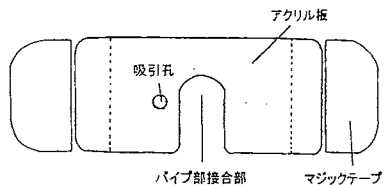


図1 本体正面図

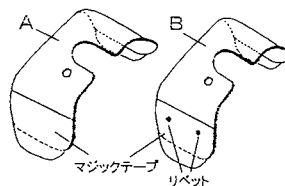


図2 本体斜図

一方の下顎用は、歯の当たる部分までの長さとした。(図3、4、5)

(2) 試作品の取扱要領

- ア EGTA用のヘッドストラップを傷病者の頭の下に敷き、ラリゲアルマスク挿入後、マウスピースA(上顎用)を口腔内に挿入し、口唇部に当て左右のマジックテープ部を固定する。
- イ LMのチューブを安定させるために、マウスピースB(下顎用)をAに合わせ、マジックテープで巻き固定する。(図6、7)

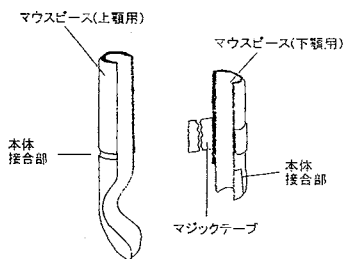


図3 パイプ部斜図

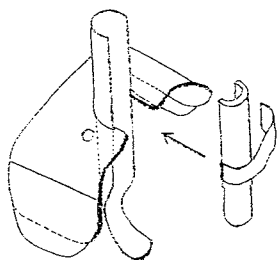


図4 固定補助器具組立図1

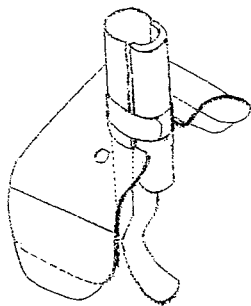


図5 固定補助器具組立図2

4 まとめ

(1) 実用性の検証

現段階では、傷病者(人体)への使用データが得られず、シュミレーション人形によるデータ収集のため、実際の使用時とは差異が生じることも予測される。

強度面や衛生面では現状でも十分であると考えているが、素材及び形状ではともに、改良を加える必要がある。これからも、機会がある毎に改良を加えていきたいと思う。

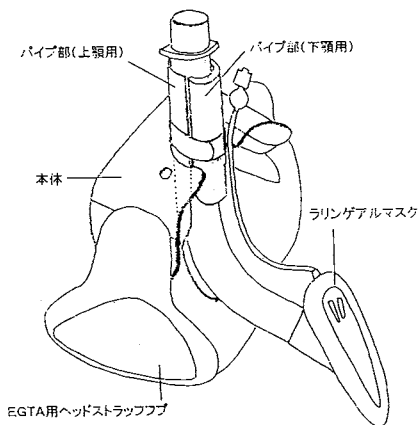


図6 完成図

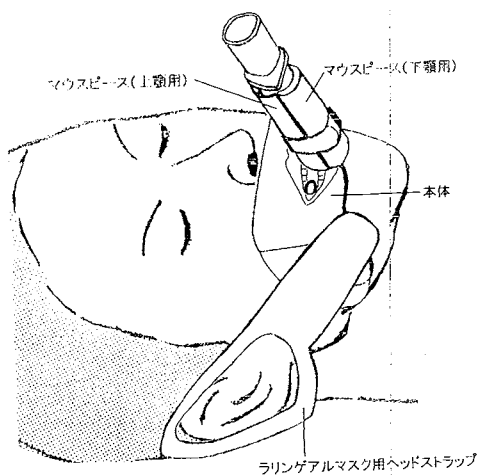


図7 装着図

5 おわりに

試作品によりLM固定を行うと、粘着テープを使用する煩わしさもなく、拳動数も少ないため、素早く、スムーズに固定でき、また、固定後の脱着も容易である。

マスクの位置ずれ防止の目的であった湾曲が、その効果に加え、マスクの密着力が増加といった期待以上

の効果があり、その結果、エア-漏れもなく、より良好な人工呼吸が可能となった。

本試作品により、LMの欠点を補うことに成功し、LMの機能を最大限引き出すことができたと思う。

本試作品を使用することにより、更なる確かな呼吸管理が可能となり、より一層の救命率の向上が図れるものと確信した。

奨励賞

「分岐の改良」について

兵庫県穴栗郡一宮町消防団 守本達由

分岐金具の使用方法は大きく分けて「圧力の逃がし」と「分散型放水」の2通りの方法がある。特に水利（水量）の不足した場合、放水中にホースの追加及び転戦したい場合にはあまり役立たない。また山林火災に於いて圧力不足（長距離中継送水）が生じた時は、ポンプを停止して途中に加圧ポンプ（可搬式）を入れるが、背圧によるポンプへの負荷や時間のロス等が発生する。山林火災現場では数々の体験をするとともに現在の警防作戦としては、〔直列高圧送水〕・〔長距離中継送水〕の1本のホースを延長しながら、ポンプホースと直列の接続を行っているが、2口以上のホースがある場合電気回路と同じく、並列回路を使用する事が出来ないか、（転戦が終了し水量に余裕がある場合に分岐で中継）を研究し〔分岐〕+〔集水器〕の1台2役の器具が出来ないものか考案し製作してみた。

一般の分岐金具は用途に併せて、分岐放水体形・強力放水体形を取る場合、器具の選択が必要となるが、試作した『分岐兼加圧送水金具』を使用すれば時間の短縮と器具を1つ準備すれば兼用出来るとともに、並列回路を使用すれば長期間の放水でも、ポンプに負荷を掛けるのが少なくなる。（直列高圧送水に比べ）

しかし、器具製作にあたり使用した部品については、市販品（水道用）であり水の合流角度、大きさ、重量については、今後の課題である。

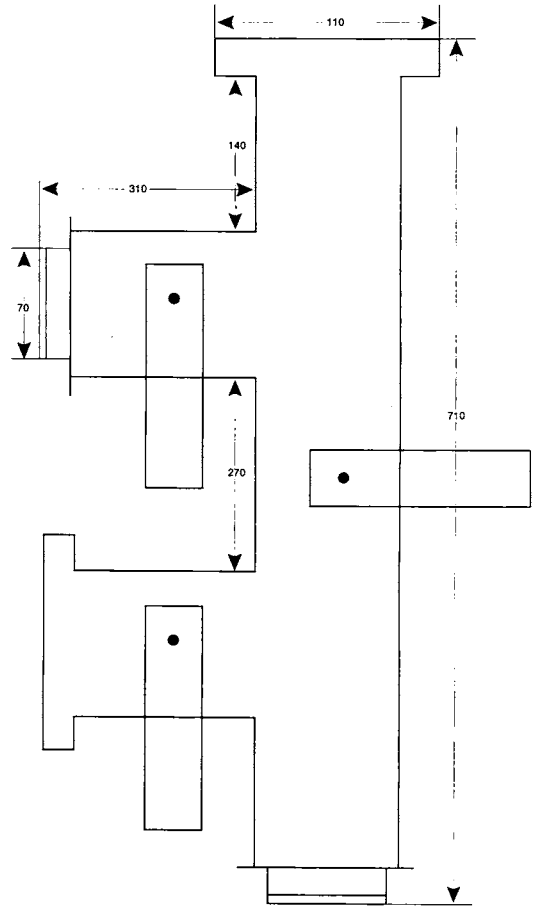


図1 『分岐兼加圧送水金具』

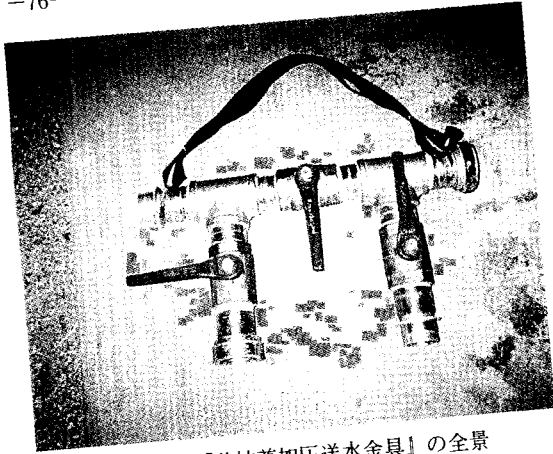
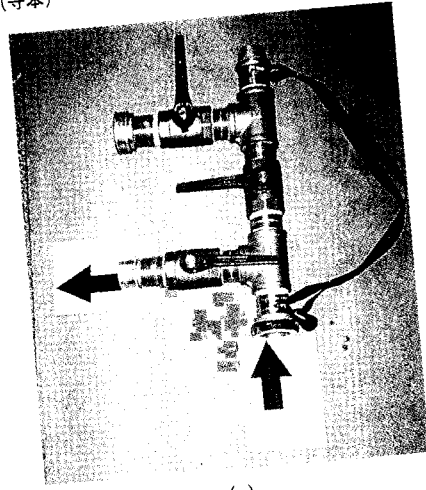


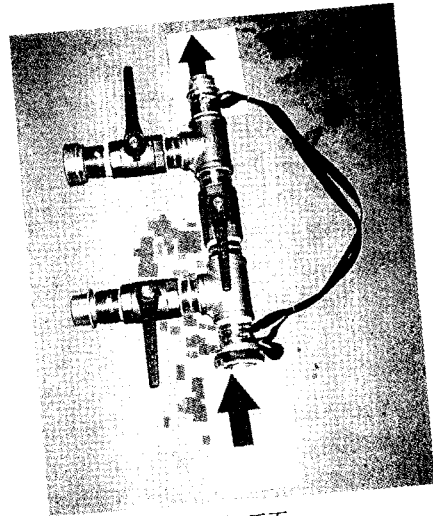
写真1 「分岐兼加圧送水金具」の全景



(a)



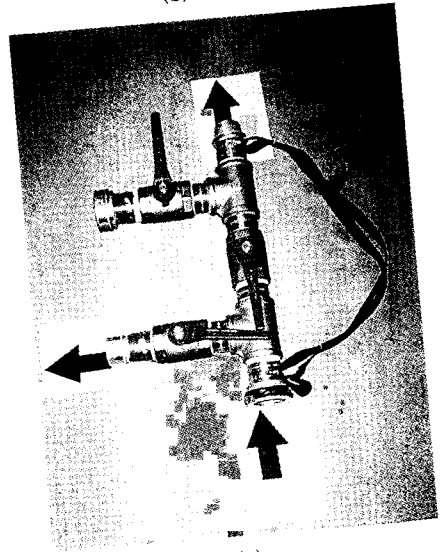
(a) 側面



(b) 正面



(b) 正面
写真2 携帯時



(c)
写真3 通常の使い方

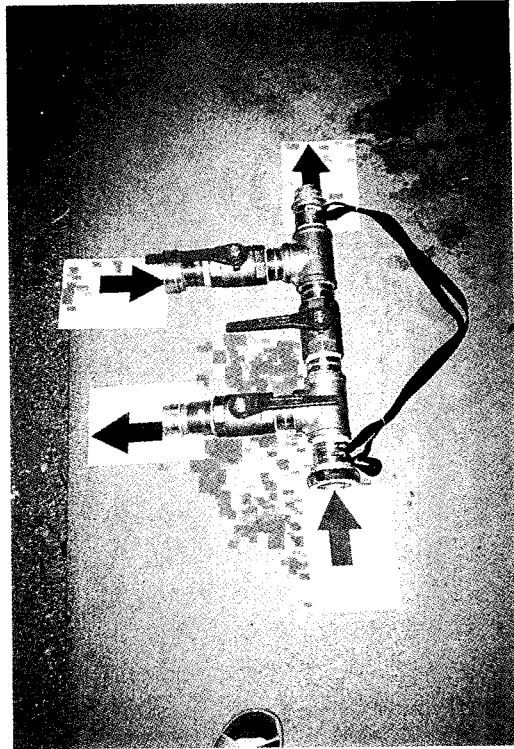
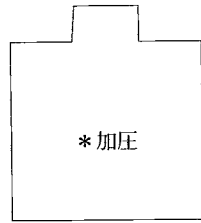


写真4 加圧の場合

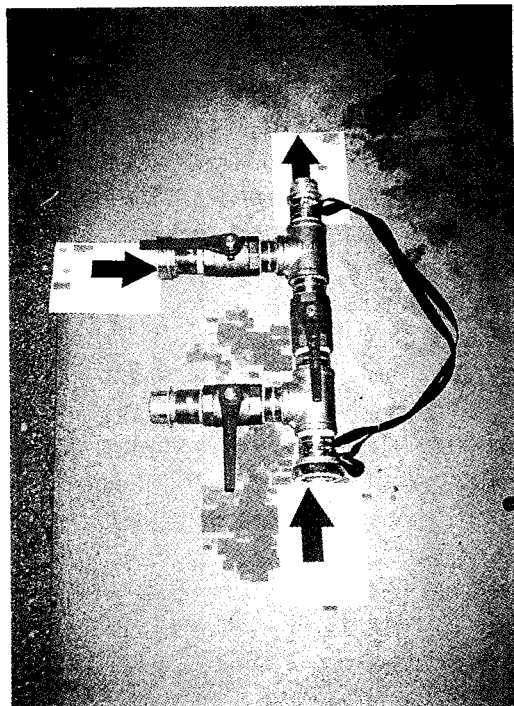


写真5 中継・集水の場合

Ⅱ 消防吏員等による消防防災科学論文の部 (入選5編)

「出火危険を防ぐための高齢者が使いやすい 差込みプラグの改良について」

京都市消防局 岩間茂文

1 はじめに

146万都市京都、少子化の進行に合せて高齢化の傾向は、その比率を高めながら確実に私達の前に迫って来ています。京都市の各行政区毎の高齢者の占める比率は年々高まってきており、なかでも上京・中京・東山・下京といった市の中心部に於いては、実に20パーセント余りの方々が65才以上のお年寄りとなっています。

こうした高齢者の人々の生活ぶりをみてみますと、子供夫婦と同居している場合等とはもかくとして、高齢者夫婦又は高齢者の一人住まいの方々は、昔からの住み慣れた木造住宅やアパートで生活しておられる方が多く、また、一般の年齢層の人々の生活範囲と比較すると、居間・台所・寝室といった生活するのに必要な最小限での範囲で、日々を送っておられる傾向が見受けられます。また、比較的古い住宅に住んでおられる方が多く、この様な家屋では壁付けのコンセントの取付け箇所が少ないため、今日の様な電気製品の普及に伴って、タコ足配線やプラグの差しっぱなしといったケースが増えて来ています。

ところで、高齢者の場合、年齢とともに体力の衰えに合せて手や脚の筋力も低下してきます。それと同時に手で物を握ったり、指で物を摘んだり、腕で引張ったり押ししたりする力も低下してきます。このため、差込みプラグがコンセントの穴に根元まで確実に差込まれずに、半差しの状態で使用されていることが、高齢者世帯の防火安全指導や査察を行った際、時々見受けられます。なかには、今にもコンセントからプラグが外れそうなものも希にあります。

2 研究内容

(1) プラグの半差しによる危険性

通常の健康な人々にとっては、当たり前のものでない日常の機器の取扱いも、高齢者にとっては扱いにく

く、時には使いこなせないといった場合があります。このため最近では、京都市内でも高齢者や障害をもっている方にも使えるような様々な介護用品が、店頭に出始めており、より安全に日常生活が送れるような配慮がされつつあります。

こうしたなかで、ともすれば出火危険に結びつきかねない電気器具についても、高齢者の立場に立って見直していく必要があると考え、前に述べた差込みプラグの半差しの状態に着目し、今回の研究を進めました。

まず、差込みプラグの2枚の刃が、確実にコンセントの穴に差込まれない半差しの状態で、長時間にわたり通電されていると、プラグとコンセントの隙間に埃が溜まり、そこに湿気が含まれてくると、プラグの端子間に微弱な電流が流れ、やがてそこに小さな電気火花が発生するようになり、プラグのプラスチック等の絶縁材料が徐々に炭化し、グラファイトと呼ばれる炭素に変化し導電性を帯びるようになります。このため、端子間に電気回路が形成されて発熱し、出火に至るいわゆるトラッキング現象が起こって、出火することになることが考えられます。

また、このような半差しの状態であると、プラグの2枚の刃とコンセントの2箇所の刃受穴との接触面積が少なくなり、抵抗値が増え、そこに一定の定格電流が流れるため、発熱し出火することも充分考えられます。現にこれは東京都での事例ですが、部屋の暖房に使用していたパネルヒーターの差込みプラグが、コンセントに確実に差込まれていなかったために、この部分で発熱し、出火したケースが報告されています。

一方、全国的にもこの様なトラッキング現象等で、出火したケースが新聞紙上等でも見受けられ、最近では当署管内でも、住宅でベッドの後ろの壁に設けられていた壁付コンセントに差込まれていたプラグに、長年の間に埃が溜まり、壁付コンセントの表面又は差込みプラグの部分でトラッキング現象が発生し、それにより樹脂部分がグラファイト化し出火に至った事例があ

ります。

(2) 高齢者の握力・摘む力・指の力・腕で押す力等の実態

通常、コンセントにプラグを差込んだり、また反対にコンセントからプラグを抜いたりする場合、先ず親指と人差し指でプラグを摘み、次に腕の力で押し込んだり引いたりしながら、差込プラグを操作します。そしてこのときには、無意識のうちに手の握る力や、指で摘む力、腕で押ししたり引いたりする力が働いている訳です。

それでは実際に高齢者の方々の握る力、指で摘む力、指で引張る力、腕で押す力はどの程度なのかを調べるために、区内のある老人ホームのお年寄り15名の方々に対し調査を行いました。測定方法としては、握る力は握力計と握力器、摘む力は私達が日常使っているクリップ、指で引張る力はバネ秤、腕で押す力は体重計をそれぞれ使用して実施しました。

次に、普通の健常者についても同じ方法で、それぞれの力を測定してみました。そして、高齢者と健常者とのそれぞれの力を比較してみると、表1及び2から読み取れるように明らかに違いが出ているのが分かります。

なかでも握力では、3倍余りの開きがあります。(表参照)

ところで、実際に市販されている差込プラグをコンセントの穴に差したり、引き抜いたりするのにどの位の力が必要なのかを調べるため、幾つかのプラグとコンセントについて調査したところ、プラグを差込んだり引き抜いたりするのに約2～3キログラムの力が必要なのが分かりました。

以上のような結果から判断してみると、やはり高齢者の方々にとってコンセントにプラグを確実に差したり、反対にプラグを抜いたりする作業には、少し困難性を伴うことが分かります。

表1 高齢者の体力測定の結果

測定項目 被保険者	腕の 押す力	指の 摘む力	指の力		握力	
			人さし指	親指	握力計	握力器
81歳・女性	3.8 kg	2.2 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	8.7 kg	2.8 cm
76歳・女性	4.2 kg	1.6 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	12.1 kg	4.5 cm
96歳・男性	6.2 kg	2.5 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	13.0 kg	5.4 cm
82歳・女性	3.2 kg	2.0 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	14.8 kg	4.0 cm
69歳・女性	2.2 kg	1.9 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	16.8 kg	3.0 cm
68歳・女性	2.0 kg	1.8 cm	1.5 cm	1.5 cm	8.8 kg	1.5 cm
88歳・女性	2.8 kg	1.8 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	5.7 kg	2.6 cm
71歳・女性	3.8 kg	1.5 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	14.0 kg	6.0 cm
88歳・女性	1.6 kg	1.6 cm	▲ 2.0 cm	1.6 cm	7.4 kg	3.8 cm
93歳・女性	2.6 kg	1.2 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	8.6 kg	3.5 cm
77歳・女性	3.6 kg	2.4 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	12.1 kg	5.5 cm
86歳・女性	1.6 kg	1.4 cm	1.5 cm	▲ 2.0 cm	10.0 kg	4.8 cm
72歳・女性	5.2 kg	2.9 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	17.0 kg	6.2 cm
74歳・女性	4.8 kg	2.6 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	16.7 kg	6.2 cm
71歳・女性	6.8 kg	3.0 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	14.8 kg	5.3 cm
平均値	3.6 kg	2.0 cm	▲ 2.0 cm	▲ 2.0 cm	12.0 kg	4.3 cm
振切った人の割合			87%	87%		

※ 別表内記載の▲は、器具の計測値を振切った事を示す

(3) どの様な形態の差込プラグを求めていったか

そこで高齢者でも使いやすい差込プラグは、どんな方式のものが良いかということで先ず始めに考えられたのが、磁石の力により着脱を行うタイプ。このタイプは一般に焼き肉をするのに使われるホットプレートや、湯沸かしポット等の比較的消費電力の多い電気製品に、使用されているのがよく見受けられます。このマグネットタイプの特性として、磁石の強さにもよりますが、水平方向への引っ張りに対しては強い吸引力を示すが、上下・左右の斜め方向への引っ張りに対しては、弱い力でも外れる特徴をもっています。しかしこのタイプでは、コンセント側もマグネット式に改良する必要がありますが、またこれに似たタイプが、既に市販されていること等から取り止めとなりました。

次に、コンセントにプラグを差ししたり抜いたりする必要のないプラグであれば、半差しによるトラッキング現象等も起こらないのではないかと考えました。プラグそのものにスイッチを取り付けると、操作性や規格等で困難性があるため、中継器としてのアダプターとプラグとの合体として考えたもので、このタイプはアダプターの上部に設けられたシーソー・スイッチを

入り切りすることにより、端末の電気機器に取り付けられているスイッチの入り切りとで、二重の安全性が保て、更に操作も簡単で強い力も要らない長所があります。しかし後日分かったのであるが、これに似たタイプが既に市販されていることや、本来の主旨であるプラグを差したり抜いたりする発想にそぐわないため、このタイプも取り止めとなりました。(図1参照)

三番目に考えられたのが、最も単純で、最も今回のテーマの主旨に沿ったタイプといえるもので、要は高齢者がいかに持ちやすく、かつ力を加えやすいかという観点から考えたもので、幾つかのタイプが考え出されたが、最終的には指でプラグを摘んで操作するよりも、手でプラグを握って操作した方が力を加えやすいということで、様々な検討を行いました。

また今回の研究は、高齢者用の差込プラグの機器開発ではなく、その改良にあるため、作成にあたっては市販されているプラグを用いました。なお、その形状を決めるのに人間工学的な見方からとらえていったため、概ね平均的な高齢者の手で、握りやすい大きさとししました。そして人間が、物を“握る”という動作の中から、どんな形であれば握りやすいかという観点か

表2 健常者(職員)の体力測定の結果

測定項目 被保険者	腕の 押し力	指の 抜む力	指の力		握力	
			人さし指	親指	握力計	握力器
40代・男性	6.8kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	38.7kg	▲ 7.0cm
20代・男性	8.8kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	37.5kg	▲ 7.0cm
50代・男性	9.6kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	37.3kg	▲ 7.0cm
20代・女性	8.0kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	31.7kg	▲ 7.0cm
50代・男性	7.2kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	29.8kg	▲ 7.0cm
50代・男性	10.6kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	36.3kg	▲ 7.0cm
40代・男性	10.0kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	41.0kg	▲ 7.0cm
50代・男性	11.4kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	35.9kg	▲ 7.0cm
20代・女性	5.8kg	2.5cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	28.7kg	▲ 6.0cm
50代・男性	11.4kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	34.3kg	▲ 7.0cm
40代・男性	5.8kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	40.4kg	▲ 7.0cm
20代・男性	10.2kg	▲ 3.3cm	▲ 2.0cm	▲ 2.0cm	47.0kg	▲ 7.0cm
平均値	8.8kg	3.2cm	2.0cm	2.0cm	36.6kg	6.9cm
振切た人の割合		92%	100%	100%		92%

※ 男表内記載の▲は、器具の計測値を振切った事を示す

ら、次の三つのタイプに決定しました。

- ア ハンドル型差込プラグ
- イ 棒型差込プラグ
- ウ ボール型差込プラグ

アのハンドル型については、物を“握る”といった場合、反射的にビールのジョッキの取手を連想したため、この形を採用しました。制作にあたっては、市販のプラグとそれに密着しやすく硬化しやすい紙粘土を用い、芯材にタオル掛用のプラスチックを使用しました。

イの棒型は、ブドウ酒の瓶のコルク栓を抜くときに使われる栓抜きを思いつき、木を芯材として、同様に紙粘土で成形しました。なお、棒が少し左へ傾いているのは、人間の手が左右とも少し内側に傾いているため、この角度に合わせたもので、左利きの人であれば反対に少し右に傾いたタイプが、必要であると思いません。

ウのボール型は、ピッチャーがボールを“握る”という発想からこの形を採用し、大きさについては、握りやすくするため、手にすっぽりと収まる程度のものとしました。芯材はピンポン球とし、紙粘土で仕上げました。また着色には、3タイプともラッカー塗料を使用しました。

これらのタイプは、いずれも握って取り扱えることが出来るため、従来の差込プラグよりは持ちやすく、

かつ使いやすい。このため、お年寄りが操作しても十分に力を加えることができ、これによって差込プラグとコンセントとが半差しになるのを防ぎ、トラッキング現象等による出火をなくすることができるのではないかと考えます。(図2・3・4及び写真参照)

(4) 規格等に対する検証

一方、今回考案した差込プラグが、電気機器に関する何らかの規格等に触れていないかということで、関係する法令等を調べてみると、JIS規格のなかに「配線用差込接続器」という項目で、次のように記されています。差込プラグの定義として「刃及び絶縁物で覆ったコード(キャブタイヤケーブルを含む。)接続部などから構成され、これを手に持ってプラグ受に抜き差しするもの。」となっています。そして、プラグを構成している刃・端子・コード・外郭等についても、例えば刃についてはその材質と形状、コードについてはその材質、外郭については「磁器、フェノール樹脂、ユリア樹脂、アクリロニトリルブタジエンスチレン(ABS樹脂)、アクリロニトリルスチレン(AB樹脂)、塩化ビニル、ゴム又はこれらに類する吸湿性の少ない絶縁物であること。」とされています。

全体の構造一般については、主に記されているものとして「形状が正しく丈夫であること。」「差込プラグの抜き差しが円滑で、電氣的接触が確実であること。」といった明記がされています。

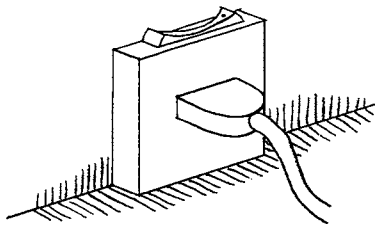


図1 スイッチ付アダプターとプラグの状況

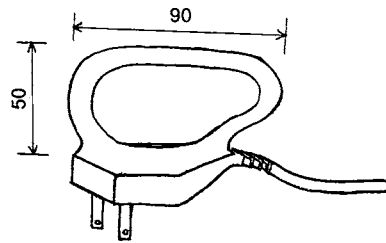


図2 ハンドル型差込プラグの形状・寸法
(単位：ミリメートル)

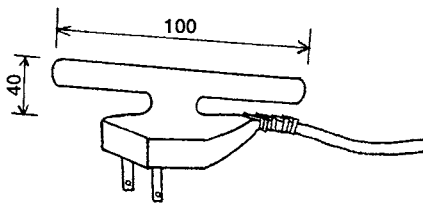


図3 棒型差込プラグの形状・寸法
(単位：ミリメートル)

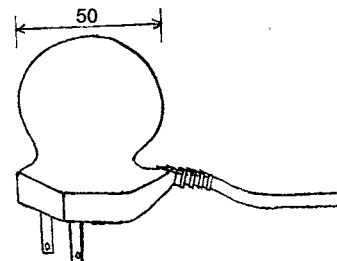


図4 ボール型差込プラグの形状・寸法
(単位：ミリメートル)

また、完成したプラグに対しては、絶縁抵抗・耐熱性・構造・保持力・外郭強度・刃取付部強度・耐電圧等の形式検査を行うこととされています。こうしてみると、プラグの外形の大きさや形については明記されていないため、今回考えた三つのタイプのプラグも、握りの部分となる外郭の材質には上に示した磁器・フェノール樹脂・ユリア樹脂等を用いれば、JISに示された差込プラグとしての要件を満たすこととなります。

3 むすび

はじめに述べたように、高齢化社会は徐々に進んできていますが、来年4月からは介護保険制度が実施される運びとなっています。これに伴い、この制度の対象となる高齢者は全国で280万人といわれています。

この制度では、「文字の認識ができない」「火の始末が自分でできない」といった判断項目で、高齢者に対する介護程度が決められる訳ですが、こうした状況のなかで、お年寄りが、自立して安全に生活していくために、その体力や判断力の低下を補っていくような様々な介護用品が、今後も出てくると考えられます。防災製品の普及に伴って、高齢者世帯でも徐々に防災寝具類が使われてきていますが、プラグやコンセントといった電気器具についても、トラッキング現象等による出火を防ぐため、このような高齢者が使いやすい差込プラグは、是非とも必要ではないかと考えます。そして、住宅防火対策の一環として、こうした防火のための介護用品が防火アドバイザー等の様々な人によって、広く人々に普及し出火防止につながっていくことを望んでいます。

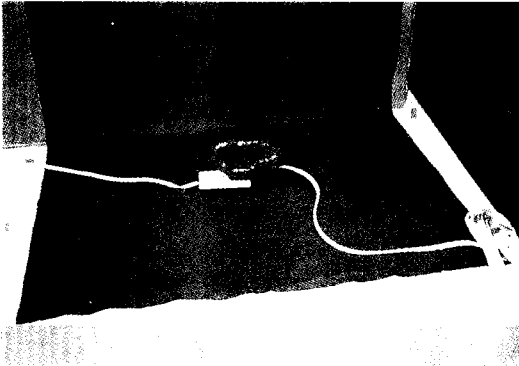


写真1 ハンドル型差込プラグ

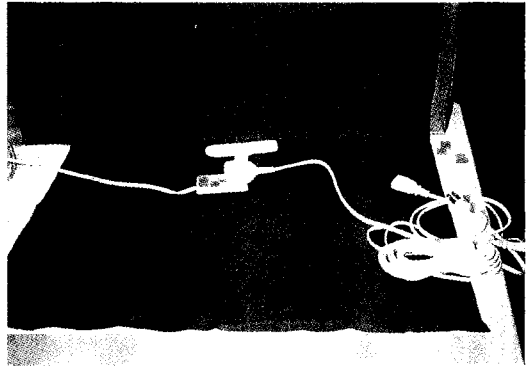


写真2 棒型差込プラグ

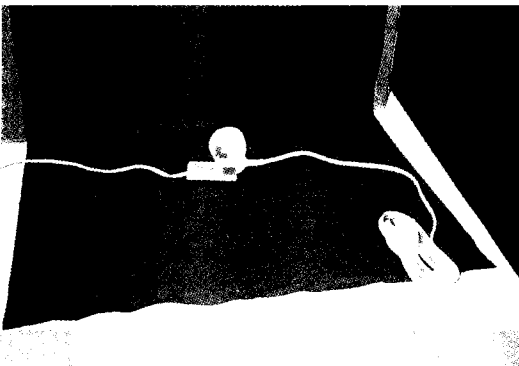


写真3 ボール型差込プラグ

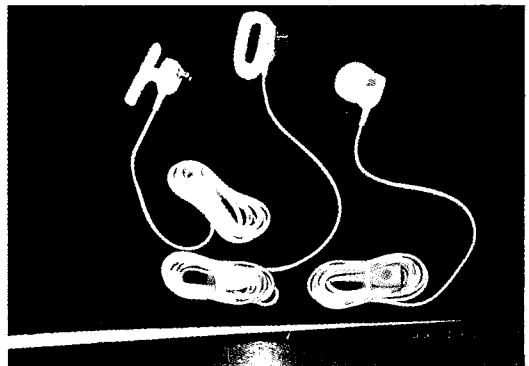


写真4 各タイプの差込プラグ

「無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器のあり方について」

札幌市消防局 坂井宏至、橋本好弘

1 序

南北に伸びる国内で北に位置する札幌市は、過去5年間の最低気温の平均が -13.0°C 、最高気温の平均が 32.7°C であり、1年を通し 45.7°C の温度変化が見られる。特異な年では、平成6年に実に 50.2°C の温度変化があった。

また、積雪寒冷地であることから、主に雪や寒さに対応できる屋根の改良、研究が進められ、切妻屋根及び流れ屋根等から無落雪型屋根が主流となっており、瓦及びスレート屋根を中心とした本州地方とは異なった建築形態を築いてきている。

このような特殊性は、消防法施行令別表第1に掲げる共同住宅に設置される、自動火災報知設備の小屋裏感知器の非火災報発生件数に大きな影響を及ぼしており、特に夏期の最高気温に達する昼前後に集中して、小屋裏に設置された自動火災報知設備の感知器（以下「感知器」と言う。）が発報する傾向が顕著に見られるようになった。近年では平成6年8月7日、札幌地方の最高外気温度が 36.2°C まで上昇したことに伴い、非火災報が当日のみで119件、また、平成11年8月4日は210件（最高外気温度 34.4°C ）、同年8月8日が379件（最高外気温度 35.2°C ）発生しており、発報した住戸の住民が不在であるなど初期段階における調査の困難性や頻繁に発生する非火災報のため、関係者による一時的な地区音響装置の停止が見受けられ、真火災発生時の対応が懸念されること等警防体制上の問題も表面化してきている。

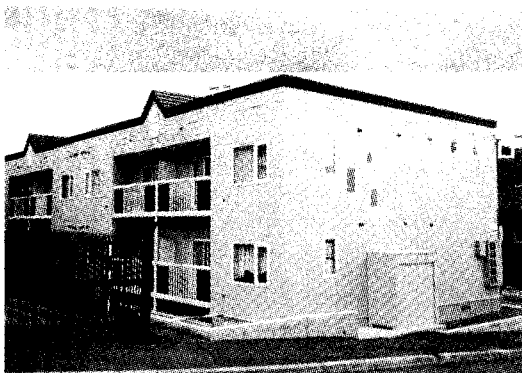


図1 共同住宅外観

2 共同住宅の現状

(1) 共同住宅の現状

本市における指定対象物（消防法施行令別表第1に掲げる防火対象物で消防法第17条に規定する消防用設備等の設置が必要なもの。以下「指定対象物」と言う。）の約6割が共同住宅であり、他の政令指定都市等（東京都及び札幌市を除いた政令指定都市。以下「政令指定都市等」と言う。）の平均が約4割であるのと比べて非常に高い。また、本市における共同住宅の構造については、72%が木造、27%が耐火構造、1%が準耐火構造であり、木造共同住宅の割合が非常に高い。

この木造共同住宅に自動火災報知設備を設置したものの屋根形態は、84%が無落雪型、16%が落雪型であり、この無落雪型の木造共同住宅における建築形態には次の特性がある。

ア 意匠

無落雪型屋根部分は、緩やかな屋根勾配で建物の中央付近に向かい傾斜し（ろく谷）、その部分に雪解け水や雨水を集めるろくどいを設け、接続された排水管によって凍結させることなく建物外部に雪解け水等を排出するものとなっている。（図1、2参照）構造的には、屋根の上に積もった雪が建物から漏れた熱で解ける以外、屋根の上に残ることから、積雪荷重を考慮した強度も求められている。

イ 屋根材質等

屋根の表面部材は、降雪期の積雪に対応するため、雪が滑り易い亜鉛鉄板で葺かれているが、厚さが

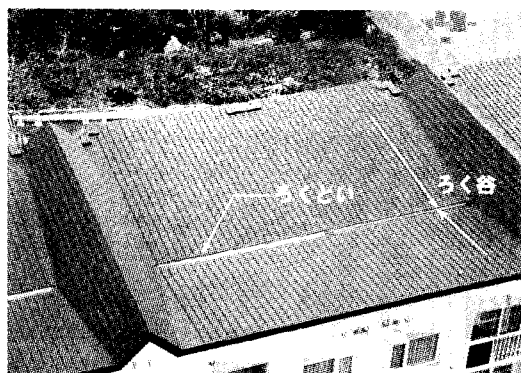


図2 上空から見た屋根

0.3mm程度と薄いことから、日射による熱が小屋裏まで伝わり易いものとなっている。また、屋根材の塗装色について、全出荷トン数に占める色別の比率を市内の鋼板メーカーに照会した結果、黒、茶及び青系の割合が高く、全体の約6割を占めており、さらには実際に出荷される色は、黒に近い藍色や焦茶色等の暗色が多いとの回答であった。この暗色は、日射による赤外線吸収率がよいことから、積雪を早期に解かすことができる反面、夏期においては、屋根表面及び小屋裏の温度上昇に大きな影響を与えている。

ウ 小屋裏空間

切妻屋根や流れ屋根等とは異なり、無落雪型屋根の小屋裏の空間は構造上の特殊性から特に狭隘なものとなっている。(図3、4参照) 小屋裏の高さは、一般的に外壁側が高く、ろく谷のある付近が低くなっており、屋根下面から冬期間の冷気を遮断するために設けられた断熱材上部までの平均高さは、自動火災報知設備の感知器が必要となる高さの50cm以上となっている。また、建築基準法による界壁が各住戸ごとの屋根まで達しており、さらに小屋裏空間を狭隘化している。

小屋裏の換気については、住宅金融公庫を使用するための木造住宅工事共通仕様書において、小屋裏換気措置の項目に①小屋裏換気孔は、独立した小屋裏ごとに2ヶ所以上、換気に有効な位置に設ける。②換気孔の仕様等が規定されているが、建築基準法上では特に規定されておらず、極めて設置数が少ないものも見られる。以上のように無落雪型の屋根形態は、他の屋根にはない構造的な特徴を有している。

(2) 非火災報の発生状況

ア 政令指定都市等の非火災報発生状況

政令指定都市等の共同住宅における非火災報件数

の割合を平均化すると、政令指定都市等が約4割であるのに対し、本市は約7割となっており、非火災報に占める共同住宅の割合が非常に高いと言える。

イ 本市の非火災報の発生状況

本市における、平成4年2月1日(予防電算システム稼働開始)から平成11年2月1日までの7年間における非火災報の発生状況等は、次のとおりである。

(7) 構造による非火災報の発生状況

共同住宅における非火災報の発生状況について構造別に調査したところ、過去7年間で非火災報が1回以上発生した対象物は3,389件であり、構造別の内訳は木造が2,515件(全体の74.2%)、耐火構造が853件(全体の25.2%)、準耐火造が21件(全体の0.6%)となっており、木造対象物からの非火災報の発生が非常に高いことがわかる。この木造における非火災報の発報場所は、小屋裏からの発報が2,159件(木造の85.8%)、居室や廊下等その他の場所からの発報が356件(木造の14.2%)となっており、木造共同住宅の非火災報の大多数は小屋裏からの発報であることがわかり、さらに、この小屋裏からの発報対象物を屋根構造別に見ると、無落雪型が1,789件(小屋裏からの発報の82.9%)、落雪型が370件(小屋裏からの発報の17.1%)であった。

(イ) 木造共同住宅の小屋裏非火災報発生の特徴

このように、木造の共同住宅の小屋裏は、非火災報の発生場所において非常に高い割合を占めており、また、同一対象物での繰り返し発生する状況について調査したところ、落雪型は1回の発生が349件で全体の94.3%、2~3回の発生が21件で全体の5.7%であり、単発的な発生が多いのに対し、無落雪型は1回の発生が1,412件で全体の約8割、2回以上が357件で複数発生している割合が全体の約2

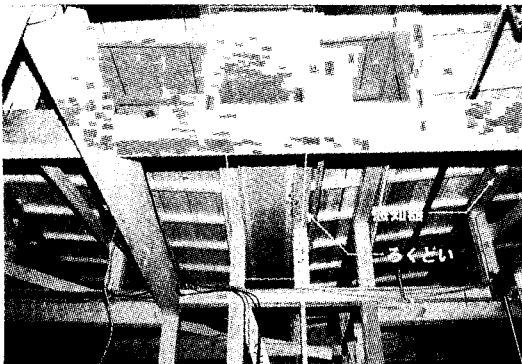


図3 小屋裏空間(天井敷設前)



図4 天井敷設後の点検口から見た感知器

割になっており再発する頻度が高く、さらに4回以上の発生が31件もあることなどから、再発防止のためのより一層の対策が必要であることがうかがえた。

木造共同住宅における非火災報の発報場所が小屋裏であるものの原因については、暖房機器等による室温の上昇や夏期における小屋裏の温度上昇等が最も多く、次いで感知器内への水の流入、その他設備への水の流入となっている。特筆すべきは、感知器内への水の流入において落雪型より無落雪型の割合が高かったことであり、夏期の温度上昇に係るもの他、冬期間の結露及び霜による感知器内への水の流入についても非火災報の原因の多くを占めていたことである。

3 小屋裏の温度測定

本市における共同住宅については、積雪寒冷地という地域的特性から、建築形態的に本州方面とは差異があることから、小屋裏に設ける感知器の選定の際には、大きな寒暖の差を考慮し、感知度を下げることなく、かつ、非火災報を生じさせない対策が必要であるなどの指導上の困難性を抱えているといえる。そこで感知器が設置される小屋裏部分の温度変化等の実態調査を行い、小屋裏に適した感知器を模索することとした。

(1) 実建築物における小屋裏の温度測定

小屋裏の温度測定については、無落雪型のモデルハウスを使用し実施した。測定器の位置は、無落雪型の屋根の勾配が3/10未満であり、感知器の設置位置が

平面天井の設置基準に準じたものとなるため、図5、6のとおり熱感知器の設置部位範囲である①～③の測定及びその他補助的な資料収集のため④・⑤の合計5ヵ所とし、測定期間は各測定器とも、平成9年7月25日(金)から同年8月31日(日)の延べ38日間及び平成10年7月10日(金)から同年8月30日(日)の延べ52日間で実施した。

平成9年の測定開始日である7月25日以降について比較すると、平成9年は期間中の最高外気温の平均が24.5℃であったが、平成10年は23.8℃であり平成9年の方が平成10年より気温の高い夏であった。

小屋裏の上部最高温度は、外気温が31℃の日には53℃前後に達しており、小屋裏の各部温度については、下部に下がるほど低くなっていた。(図7参照)この例外として、平成10年の最低温度日の小屋裏上部温度は、中部及び下部温度より低いものとなっており、降雨により屋根面が冷やされ、屋根裏である上部温度が低下したものであった。(図8参照)外気と小屋裏上部の温度差では、最高日は22℃前後小屋裏上部温度が高くなっており、外気温の上昇に伴い小屋裏部分に熱が蓄積されることが確認された。

各測定部分の平均温度について2年間の比較を見ると、外気温の上位10日間と下位10日間の平均は約3℃の差が見られたが、小屋裏上部温度の上位10日間と下位10日間の平均については、約10℃の差が生じており、小屋裏の温度変化は外気の温度変化の3倍以上となっている。

時間変化に伴う小屋裏の温度については、小屋裏の

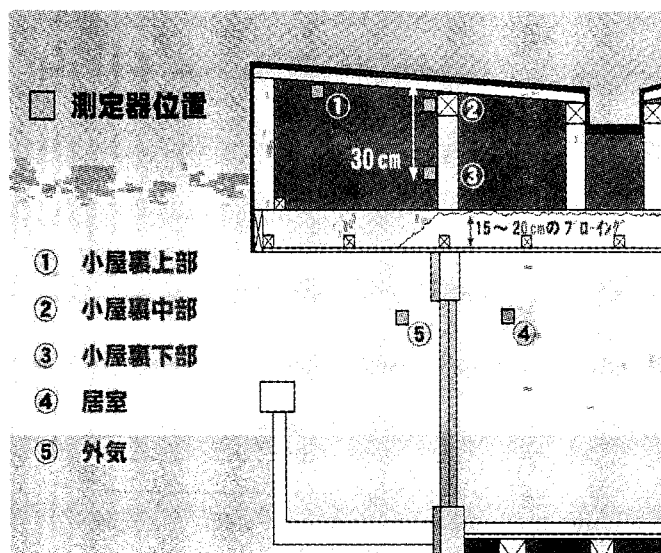


図5 小屋裏測定器の設置位置

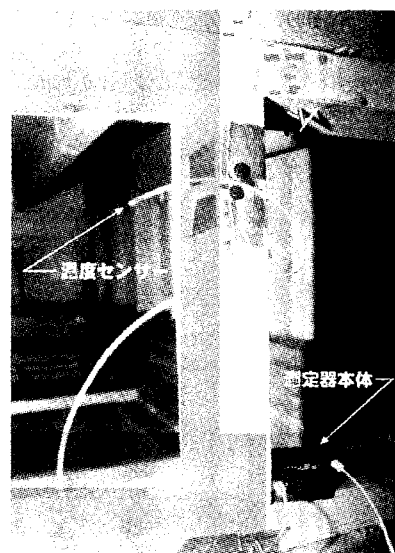


図6 小屋裏測定器

高温日では、小屋裏上部、中部及び下部の温度が、日の出から日没までの時間帯は上部から段階的に低くなっているが、外気温度が低下する夜間については逆転の現象が見られた。このことは、冬期間に置き換えるとするれば、温暖期は段階的に小屋裏上部の温度が高く、寒冷期は小屋裏下部の温度が高いものとなることが予測され、冷気を遮断する断熱材が敷き詰められた小屋裏は、下部付近は居室内の漏れた熱があるが、上部付近は強い冷気の伝導を屋根から受けることにより極端に低温化し、居室内等から水蒸気が入り込んだ場合に結露及び霜を発生させる原因となることが推測された。

次に、外気温度と小屋裏温度の相対関係を、今回の測定結果を基に仮定することとした。気象庁の最高気温の測定位置と今回の実建物測定位置とは、地域的な距離の隔たりや測定条件の違いがあり、小屋裏の最高温度と気象庁最高気温の関係(図9)では、温度測定の散布点にばらつきが見られたことから、気象庁の最高気温とベランダの最高気温の関係(図10)と併せて、小屋裏の最高温度とベランダ最高気温の関係(図11)を照会したところ、平成6年の札幌地方における気象

庁最高気温であった約36℃に対応するベランダの気温を図10にあてはめると、ベランダの最高気温は45℃前後となることから、この温度を図11に反映させると、小屋裏の最高温度は65℃前後まで達すると予測できる。このことは定温式感知器の公称作動温度が60℃前後のものを小屋裏に設置した場合外気温度が36℃前後まで上昇すれば、設置位置等の状態によっては非火災報を生ずる恐れが多分にあることがうかがえる。

(2) 模擬小屋裏の温度測定

屋根色や小屋裏の換気形態の違いにおける小屋裏の温度測定は、共同住宅における一住戸が占める小屋裏面積の約1/30に縮小した模擬小屋裏(図12~15参照)を用いて温度上昇の変化等を測定し、分析することとした。模擬小屋裏の仕様については、換気形態の差異による変動が考えられることから、各部材のつなぎ目及び接合部の隙間を極力なくすようコーキング材を施した。また、屋根部分の構造については、野地板アスファルトルーフィング及び亜鉛引カラー鉄板により作製し、実建築物と同様の仕様とした。

ア 屋根色の差異による内部温度

屋根色の差異による内部温度の測定については、

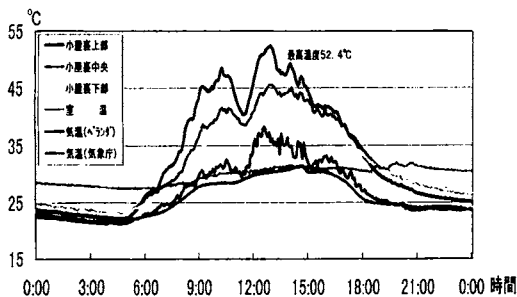


図7 小屋裏の最高温度日の温度推移

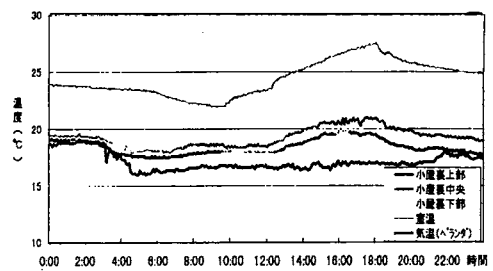


図8 小屋裏の最低温度日の温度推移

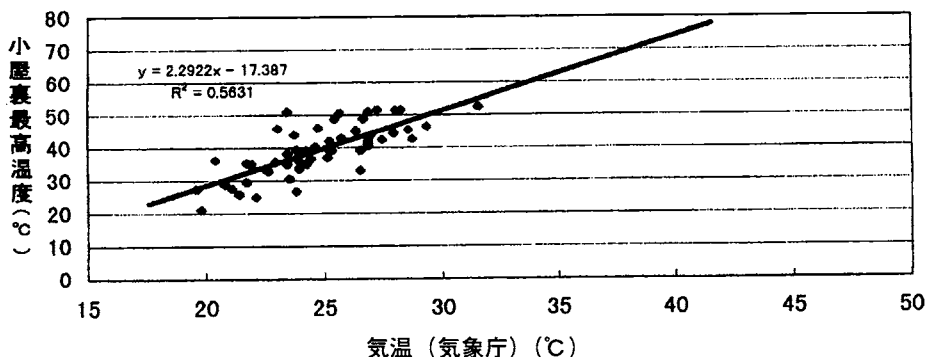


図9 小屋裏の最高温度と気象庁最高気温の関係

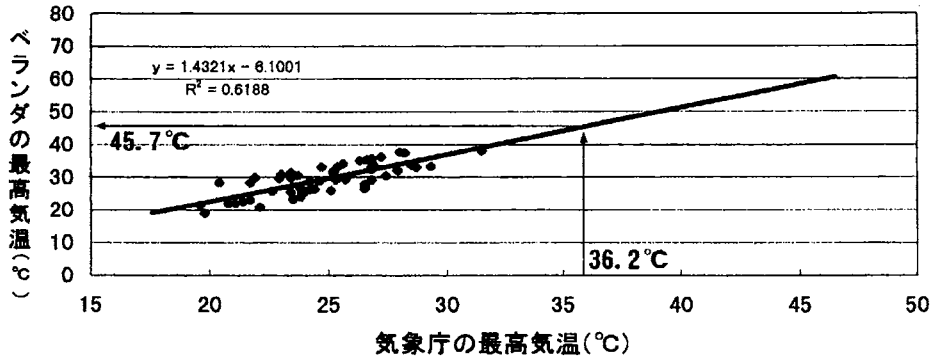


図10 気象庁の最高気温とベランダの最高気温の関係

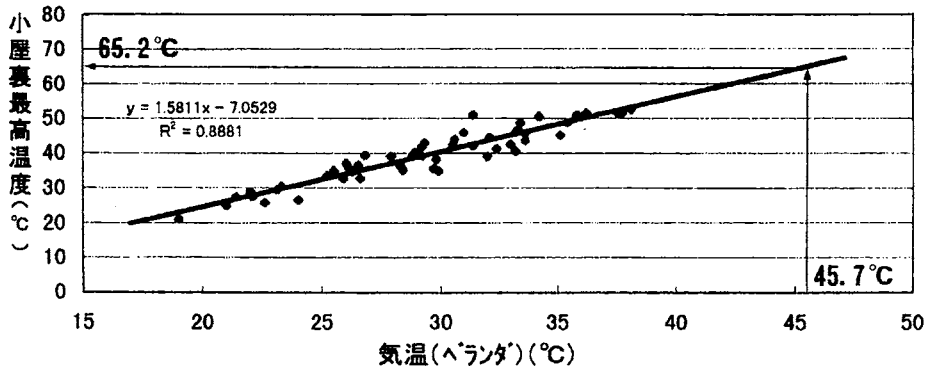


図11 小屋裏の最高温度とベランダ最高気温の関係

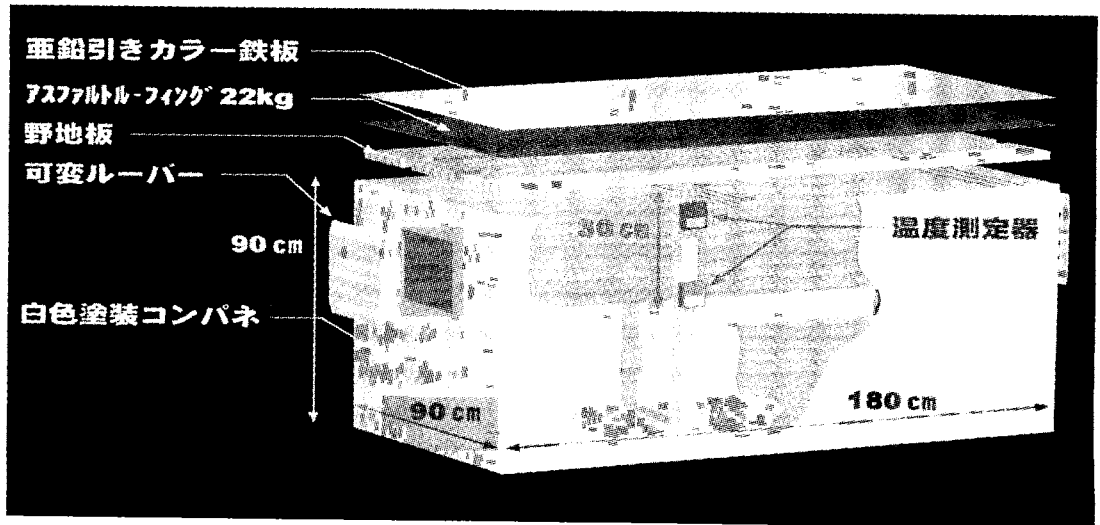


図12 模擬小屋裏仕様

同一規模の模擬小屋裏を3基作製し、黒、赤及び銀色のカラー鉄板をそれぞれの屋根に貼りつけ、換気ルーバーは、屋根色の差異を測定することから全開とし、その上にアルミテープを貼った。模擬小屋裏の設置位置については、日光の照射や風向等を均一に受けるよう東西方向に一列となる場所に3基設置し、温度測定器は、上部及び中部(上部から30cm下方)の計2ヶ所に取り付け、各測定器とも、平成10年6月26日(金)から同年7月28日(火)までの延べ33日間実施した。

期間中の測定結果については、模擬小屋裏の上部最高温度の平均が、黒色34.1℃、赤色33.9℃、銀色30.8℃であり、黒色と赤色の差がはっきり見られな

かったが、銀色とは約3℃の差があり明確に色の違いが表れた。また、図16(模擬小屋裏の屋根色の違いによる内部最高温度差)は、黒色と地色の上部及び中部における温度の差を表しており、黒色と赤色は上部及び中部とも温度差が見られなかったが、黒色と銀色では2~6℃の差が見られた。

イ 屋根色の差異による屋根表面の温度

前アと並行して実施したもので、温度センサーは、模擬小屋裏の屋根の中央部に設置し、各測定器は任意の日(起動については手動であるため、連続した期間とはできなかつたもの)の延べ8日間起動させ測定を行った。測定結果については、図17(屋根表面の最高温度の推移)に表したとおり、屋根表面



図13 模擬小屋裏内部全体

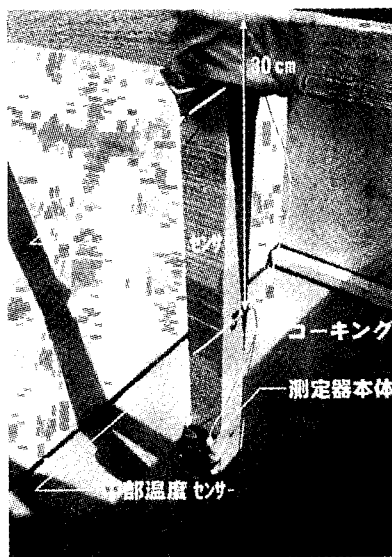


図14 模擬小屋裏測定器位置



図15 模擬小屋裏設置位置

温度は、外気温度よりも極端に高温となっていること、また、高温となる黒色から赤色、銀色の順に温度の違いがあることなど、屋根色の違いによる熱吸収率に応じた屋根表面温度となることが確認できた。

ウ 換気状態の差異による温度

模擬小屋裏仕様、設置位置及び測定機器の位置については前アと同じであるが、屋根色については、3基とも黒色に張り替え、換気形態については、模擬小屋裏の内面積の①100分の1の開口による換気(以下「換気大」と言う。)②300分の1の開口による換気(以下「換気中」と言う。)

③900分の1の開口による換気(以下「換気小」と言う。)を設定し平成10年7月30日(木)から同年8月19日(水)までの21日間、測定を実施した。(図18参照)測定結果については、外気温度(気象庁)が夏日(25℃)を越えた日が4日間しかなく、比較的に低温で推移したことから、模擬小屋裏内の温度も高くならなかったため、3つの換気形態間の温度における差異は小さなものであった。しかし、図19(模擬小屋裏の換気別最高温度の差)のとおり、換気小と換気中についての温度上昇に大きな差異は見られなかったも

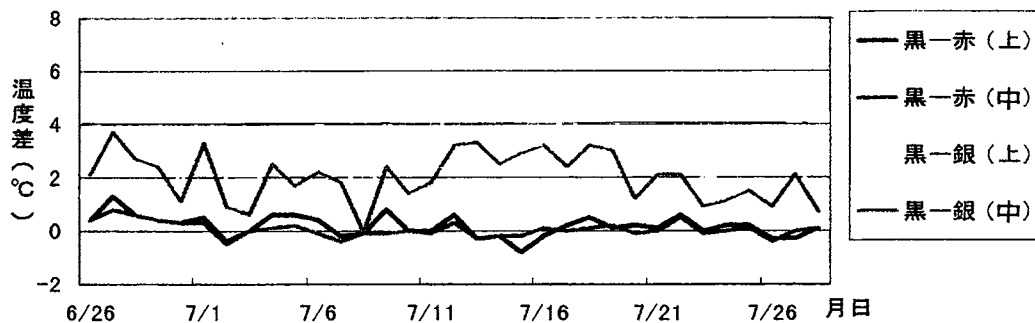


図16 模擬小屋裏の屋根色の違いによる内部最高温度差

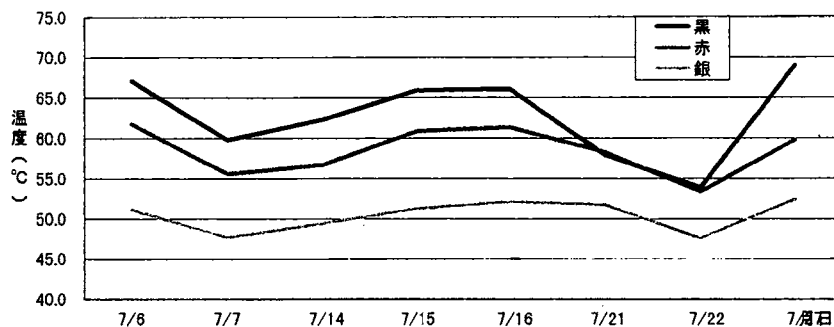
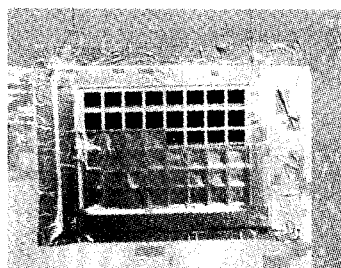
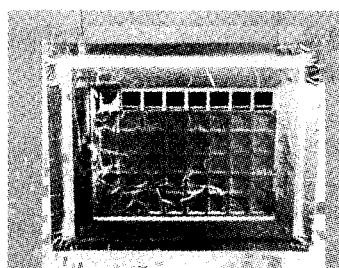


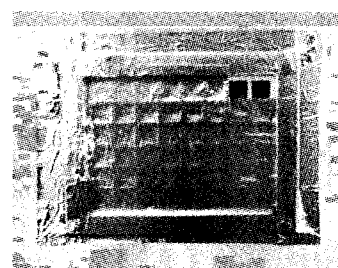
図17 屋根表面の最高温度の推移



100分の1の換気



300分の1の換気



900分の1の換気

図18 換気形態

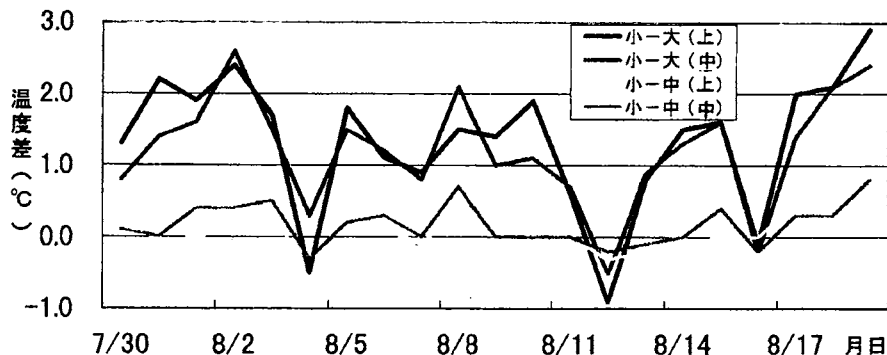


図19 模擬小屋裏の換気別最高温度の差

の、換気大とは測定各位置について差異が見られた。この差異が最も大きかった8月2日は午前11時から午後2までの平均風速が4m/Sと他の日より強く、換気口の大きさが影響したものと考えられる。

4 まとめ (小屋裏感知器のあり方)

前記の調査及び測定結果等により考察される、積雪寒冷地における無落雪型木造共同住宅の小屋裏に設置される自動火災報知設備の適正な感知器等のあり方についての基本的な考え方は、次のとおりである。

- (1) 夏期の小屋裏の温度上昇は緩慢であり、それに対応する感知器は差動式が適している。また、実建築物の温度測定により通常の夏期における小屋裏の最高温度は、53°C前後となることから、定温式感知器を設置する場合は、最高周囲温度より20°C高い公称作動温度70~75°Cが適正である。
- (2) 非火災報防止の安全性を高めるため、感知感度は鋭敏なものを選び差動式は2種、定温式は1種が適正である。
- (3) 外気温度が零下10°C以下となる本市の冬期間の気候は、小屋裏の感知器を設置する部分となる小屋裏上部及び中部付近の温度も外気温度に近い状態まで低下し、生活暖房等に伴う湿気を含んだ空気が居室内から小屋裏へ流入する場合、小屋裏の中で結露又

は霜を生じさせる。したがって、居室と小屋裏の気密状態に応じて定温式防水型の設置が必要である。

- (4) 小屋裏の部分の最上部は高温となることから、感知器は、屋根裏の野地板部分を避けて設置し、設置高さは、法令適合範囲内の野地板下30cm付近が適正である。
- (5) 夏期の温度上昇及び冬期間の結露等に対応できる等、積雪寒冷地における小屋裏の環境状態に適した差動式防水型が開発されたことにより、今後積極的な導入について検討を行う必要がある。

5 おわりに

自動火災報知設備の設置及び維持管理については、設備関係者及び建築士等の関係者に対し、常日頃から適正な対応を指導しているところであるが、建物構造の特性による非火災報の多発により、一時的なベル停止状態が見られるなど、その機能の信頼性並びに早急な対応策が求められており、非火災報の削減に向けて積極的な運用を図るべく、この調査分析結果が、その一助となるよう切に願うところである。また、現行における感知器の選択基準には位置づけられていない「積雪寒冷地における感知器選択のあり方」として、一指標となることができれば幸いである。

「残存危険物の測定方法にかかる研究について」

京都市消防局 笹井吉孝、本岡一志、大槻貞彦

1 はじめに

過去、管内において危険物、特に第四類第一石油類を貯蔵、取り扱う防火対象物で危険物が原因とされる火災が発生した。その際、そこに残存している危険物の量を測定しましたが、置かれていたドラム缶や金属製18リットル缶（以下「一斗缶」という。）などは蒸気圧の上昇により、缶のキャップがはずれ、消火活動時の水が中に入ったため、危険物の量の測定には非常に困難を伴い、測定する方法がこれで良いのかという素朴な疑問が生じた。危険物の貯蔵、取扱いは、その量が指定数量以上であるのか、それ未満であるのかにより、消防法令違反にかかる必要な措置が異なります。そのためには消防法令違反を前提に、危険物の数量を測定するにあたって、当然正確な量の測定が要求される。

現在、第四類の残存危険物の測定は、一般的に長尺物の検尺棒やメジャー等に危険物と反応する粘性の試薬を付着させ、その色の変化により危険物の量を読み取る方法等で実施している。そこで、現在の測定方法を含め、各種の測定方法の実験・検証を行い、最も精度の高い残存危険物の測定方法を究明し、今後の危険物の量の測定に役立てたい。

2 研究の設定

残存危険物の測定にあっては、第四類第一石油類非水溶性液体の残存危険物と残存危険物に水の混じった場合を想定し実施する。なお、本実験で使用する引火性液体は実験時の危険性を考慮し、第二石油類（灯油）で代用し実験を行う。その結果から最終的に第一石油類（ガソリン）で測定を行い、検証を実施する。

第一石油類を想定した理由は、第二石油類、第三石油類及び第四石油類は、それぞれの指定数量が1,000ℓ、2,000ℓ及び6,000ℓと多いため、微妙な数値まで測定をする必要はないと考えられるので除外した。また水溶性の危険物については、水に混じるという性質から除外した。

3 測定方法の考察

(1) 測定方法としては、次の3つの方法が考えられ、それらの測定方法で使周する測定材料の信頼性、操作性及び携行性についての予備実験を行った。

ア 試薬（ガソリンレベル及びウォーターレベル）を各種測定材料に塗布し、試薬の色の変化を読み取り測定

イ 各種、径の異なったガラス管等を使用し、表面張力の利用により油の量を目視により測定

ウ 浮き等を利用し、水及び油の比重の差を目視により測定

(2) その結果については表1に記載したが、各測定材料の評価（良いものからA、B、Cの3段階）及び寸評は次のとおりであった。

ア 巻メジャー及び溝の無いアルミスケールは試薬を塗布するのに、目盛りが隠れないよう工夫をしなければならぬため評価はBとした。

イ 溝のあるアルミスケールは溝の中に試薬を塗ることにより、スケールの目盛りが隠れず、正確に測定できるため評価はAとした。

ウ 丸形棒（木製）は1本の棒に2種類の試薬を塗るのが困難であり、長さを測るのにスケール等が必要であるため評価はBとした。

エ タコ糸は試薬を糸に塗るのが困難であり、また時間の経過とともにタコ糸に染み込んだ液体と試薬が反応し、正確さに欠けるため、評価はCとした。

オ ナイロン糸は試薬を塗ることができなかったため、評価はCとした。

カ ガラス管（8φ）は短時間で、正確に測定できたため、評価をAとした。

キ アクリル管（10φ）はそのままで管から液体が落ち、正確性に欠けたが、管の下端にメッシュ（網戸用）を張り、表面張力を高めることにより正確に測定できたため評価はAとした。

ク アクリル管（18φ）、ガラス管（22φ、35φ）は管から液体が落ちるため、正確に測定できず、またメッシュを張っても同様であったため評価はCとした。

ケ コルク浮きは、灯油と水の境界部分の浮きのバラ

ンスをとるのが困難であるが、正確に測定できたため評価はAとした。

コ 発泡スチロール浮きは、発泡スチロールが灯油に溶け出し、正確に測定できないため評価はCとした。

サ ビンポン浮きは、灯油に浮かす浮きのバランスをとるのが困難であるが、正確に測定できるため評価はAとした。

シ 試験管を使用した浮きは、試験管自体が長い場合、液体の深さが試験管の長さより浅い場合、測定でき

ないため評価はCとした。

以上の予備実験の中でAと評価したものについて、さらに1,000mlメスシリンダーでの測定実験を行うこととした。

なお、評価がAのコルク浮き及びビンポン浮きについては、それぞれの長所を取り入れ、灯油に浮かす浮きをコルク浮きとし、灯油と水の境界部分に浮かす浮きをビンポン浮きとすることとした。

表1 測定材料による予備実験表

	測定材料	信頼性	操作性	携行性	評価
試薬を塗布	巻メジャー	○	×	○	B
	アルミスケール (溝有り)	○	△	○	A
	アルミスケール (溝無し)	○	×	○	B
	丸形棒 (木製)	○	×	○	B
	タコ糸	×	×	○	C
	ナイロン糸	×	×	○	C
管による目視	ガラス 8φ	○	○	△	A
	アクリル 10φ メッシュ入り	○	○	○	A
	アクリル 18φ メッシュ入り	×	○	○	C
	ガラス 22φ メッシュ入り	×	○	△	C
	ガラス 35φ メッシュ入り	×	○	△	C
浮きによる目視	コルク浮き	○	△	○	A
	発泡スチロール浮き	×	△	○	C
	ピンポン浮き	○	△	○	A
	試験管 (ガラス) 浮き	×	○	○	C

備考1 信頼性に×のものはC。
 2 信頼性に△のものはB。
 3 操作性又は携行性に×のものはB。
 4 それ以外のものはA。
 5 判定方法は、良い○、問題あり△、悪い×

4 メスシリンダーによる測定実験

目盛の入った1,000mlのメスシリンダーに水と灯油を入れ、Aと評価したアルミスケール、ガラス管、アクリル管及び浮きについて測定を実施した。

なお、各測定材料をメスシリンダーに入れた場合の容積の変化は、微量であるので無視した。

(1) 灯油の量を200mlに固定し、水の量を100mlから500mlまで100ml単位で増量し、灯油の量の測定を実施した。その結果は表2の上段のとおりであった。この結果から、

ア 浮き以外の測定材料は、それぞれの量を変化させてもほぼ安定した数値が測定された。

イ アクリル管及び浮きについては、実測値を超えた数値が測定された。

ウ 浮きについては水の量が減るにつれて、ピンポン

浮きが水面下に沈みこむ傾向が認められ、実測値との誤差が出る。

エ 浮き以外の測定値は、すべて5%以内の誤差に収まっている。

(2) 水の量を500mlに固定し、灯油の量を100mlから500mlまで100ml単位で増量し、油の量の測定を実施した。その結果は表2の下段のとおりであった。この結果から、

ア 浮きについては他の測定材料よりも、灯油の測定数値が大きくなった。

イ ガラス管については、すべて5%以内の誤差に収まっている。

ウ アルミスケール、アクリル管は、灯油が100ml以外は、5%以内の誤差に収まっている。

エ 浮きは灯油400mlの場合のみ5%以内の誤差に収

表2 メスシリンダーによる実験結果表

種 類	量 (ml)		水100 灯油200		水100 灯油200		水100 灯油200		水100 灯油200	
	全長	灯油	全長	灯油	全長	灯油	全長	灯油	全長	灯油
実測値 (cm)	9.4	6.2	12.4	6.2	15.4	6.2	18.4	6.2	21.4	6.2
スケール	9.3	6.0	12.7	6.2	15.7	5.9	18.9	6.0	22.0	6.2
ガラス管	9.1	6.0	12.0	6.0	14.9	6.0	17.9	6.0	20.9	6.0
アクリル管	9.6	6.5	12.7	6.5	15.4	6.5	18.2	6.3	21.4	6.5
浮き		7.5		7.1		7.0		6.6		6.7
種 類	量 (ml)		水100 灯油200		水100 灯油200		水100 灯油200		水100 灯油200	
	全長	灯油	全長	灯油	全長	灯油	全長	灯油	全長	灯油
実測値 (cm)	18.5	3.0	21.4	6.2	24.4	9.2	27.5	12.2	30.6	15.3
スケール	18.5	2.8	22.0	6.2	25.3	9.3	28.2	12.3	31.3	15.5
ガラス管	17.7	2.9	20.9	6.0	24.3	9.0	27.2	12.1	30.6	15.2
アクリル管	18.2	3.5	21.4	6.5	24.5	9.2	27.5	12.5	30.8	15.5
浮き		4.0		6.7		10.0		12.5		16.3

まっている。

オ アクリル管及び浮きについては、実測値以上の数値が測定された。

5 一斗缶による測定実験

メスシリンダーで実験を行った後、実際使われている一斗缶により実験を行った。

(1) 一斗缶に灯油 3 l、10 l 及び 15 l を入れ、それぞれの測定方法で各 10 回測定した結果は表 3-1、表 3-2、及び表 3-3 のとおりであった。この結果から、

ア すべての測定方法でそれぞれ安定した数値が認められる。

イ 浮きによる測定は、水と油の境界をピンポン浮きの中心に設定しているため、灯油だけの測定については、ピンポン浮きの下端が一斗缶の底部に接触し、ピンポン浮きの下端から中心までの分だけ(約 1 cm)差が出る。

ウ アクリル管の場合、灯油 3 l を測定した時のように液体の深さが浅いと、ガラス管及びアルミスケールに比べて測定値が低くなる。

エ 一斗缶底辺の一辺の実測値は 23.3 cm であるが、内容量が 10 l、15 l になると、一斗缶の側面が膨らむことなどにより、計算値と実測値に差が出てくる。

オ ガラス管、アルミスケールについては、実測値とほぼ変わらない数値が得られた。

カ 浮き以外の測定方法は、材料の一斗缶への差し込みかたにより、測定値に若干の差が出てくる。

(2) 一斗缶に水 3 l 灯油 3 l、水 5 l 灯油 5 l 及び水 10 l 灯油 5 l を入れそれぞれの測定方法で各 10 回測定した結果は、表 3-4、表 3-5、及び表 3-6 のとおりであった。この結果から、

ア アクリル管については、全長を見る限り数値が下がっているが、灯油の数値は水 10 l 灯油 5 l の場合を除き実測値と比べ変わらない。

イ ガラス管の場合は、水 3 l 灯油 3 l のとき、実測値と比べ全長が低く、水 10 l 灯油 5 l のとき、全長が高い数値であったが、灯油の数値については実測値とほぼ同じであった。

ウ アルミスケールについても、全長の数値はガラス管と同様であった。

エ 浮きについては各設定で行った場合、回数を重ねるごとに、管の中の液体の付着が作用したためか、測定値にばらつきがでる。

6 実験結果

メスシリンダー及び一斗缶での測定実験の結果から、各測定材料について認められることは、

- (1) アクリル管については、
 - ア 液体の量が少ない場合、正確さに欠けた。
 - イ 水と灯油が混合された場合、水の量が増えるに従って灯油の測定値と実測値とに差が出た。
- (2) ガラス管については、いずれの設定であっても安定した測定値が得られた。
- (3) アルミスケールについては、ガラス管同様、ほぼ安定した測定値が得られた。
- (4) 浮きについては、灯油のみの場合は、ほぼ安定した測定値が得られるが、灯油と水と混合の場合は、測定値にばらつきがあり正確さに欠けた。

7 ガソリン及びエンジンオイルによる測定実験

(1) 一斗缶にガソリン 5 l (実測値 9 cm) を入れ、灯油での実験で安定した結果が得られたガラス管、アルミスケールについて測定実験を行った。

ア ガラス管については 10 回測定を行った結果、測定値が 8.8 cm から 9 cm の範囲であり、実測値との誤差は 5 % 以内に収まっている。

イ アルミスケールについては、理由ははっきりとしないが、ガソリンの吸い上がりが見られ、実測値より大きな数値が得られた。そのためガソリンに反応する時間を考慮し、1 秒、3 秒、10 秒及び 30 秒と設定し、それぞれの時間で 10 回ずつ測定を行ったところ、缶に入れる時間が 1 秒の場合の測定値は平均 9.18 cm、3 秒では平均 9.27 cm、10 秒では平均 9.47 cm、30 秒以上では平均 9.73 cm となった。

(2) 一斗缶にガソリン 5 l (実測値 9 cm)、水 5 l を入れガラス管、アルミスケールで測定実験を行った。

ア ガラス管については 10 回の測定を行った結果、測定値の平均は 8.88 cm でガソリン 5 l だけの場合と同様の結果が得られた。

イ アルミスケールについては、1 秒、3 秒、10 秒及び 30 秒と設定し、それぞれ 10 回ずつ行ったところ、1 秒の場合で平均 9.2 cm、3 秒の場合で平均 9.27 cm、10 秒の場合で平均 9.45 cm、30 秒の場合で平均 9.69 cm の測定値となり、ガソリンだけの場合と同様に実測値より大きな数値が得られた。

(3) 一斗缶にエンジンオイル 5 l を入れガラス管、アルミスケールで測定実験を行った結果、

ア ガラス管については、径が細すぎるためエンジンオイルが筒内に入りにくいので、測定できなかった。

イ アルミスケールについては、試薬の反応にかなりの時間を要し、また色の変化も読み取りにくかった。

表3-1 一斗缶での計測 灯油3リットル (実測値 5.6 cm)

回	アクリル10φ(メッシュ入)	ガラス8φ	スケール	浮き
	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)
1	5.3	5.5	5.5	4.5
2	5.3	5.3	5.6	4.5
3	5.3	5.5	5.5	4.5
4	5.4	5.5	5.6	4.5
5	5.3	5.5	5.5	4.5
6	5.3	5.5	5.5	4.5
7	5.3	5.5	5.5	4.5
8	5.4	5.5	5.5	4.5
9	5.4	5.4	5.5	4.5
10	5.3	5.5	5.6	4.5
平均	5.33	5.47	5.53	4.5

表3-2 一斗缶での計測 灯油10リットル (実測値 17.8 cm)

回	アクリル10φ(メッシュ入)	ガラス8φ	スケール	浮き
	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)
1	17.7	17.7	17.8	16.5
2	17.7	17.7	17.8	16.5
3	17.6	17.7	17.8	16.5
4	17.6	17.7	17.7	16.5
5	17.7	17.7	17.7	16.5
6	17.7	17.7	17.7	16.5
7	17.7	17.7	17.7	16.5
8	17.7	17.8	17.7	16.5
9	17.7	17.7	17.7	16.5
10	17.7	17.7	17.7	16.5
平均	17.68	17.71	17.73	16.5

表3-3 一斗缶での測定 灯油15リットル (実測値 26.4 cm)

回	アクリル10φ(メッシュ入)	ガラス8φ	スケール	浮き
	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)	灯油の深さ (cm)
1	26.4	26.5	26.5	25.5
2	26.3	26.5	26.5	25.5
3	26.5	26.4	26.5	25.5
4	26.4	26.5	26.4	25.5
5	26.3	26.5	26.4	25.5
6	26.4	26.5	26.5	25.5
7	26.3	26.4	26.5	25.5
8	26.3	26.5	26.5	25.5
9	26.3	26.4	26.4	25.5
10	26.3	26.5	26.4	25.5
平均	26.35	26.47	26.46	25.5

表3-4 一斗缶での計測 水3リットル 灯油3リットル (実測値 全長11.0cm 灯油の深さ5.5cm)

回	アクリル10φ(メッシュ入)		ガラス8φ		スケール		浮き
	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	灯油の深さ (cm)
1	10.3	5.6	10.3	10.3	10.3	10.3	16.5
2	10.3	5.5	10.3	10.3	10.3	10.3	16.5
3	10.9	5.5	10.9	10.9	10.9	10.9	16.5
4	8.9	5.5	8.9	8.9	8.9	8.9	16.5
5	8.9	5.5	8.9	8.9	8.9	8.9	16.5
6	9.0	5.5	9.0	9.0	9.0	9.0	16.5
7	8.9	5.5	8.9	8.9	8.9	8.9	16.5
8	8.9	5.5	8.9	8.9	8.9	8.9	16.5
9	8.9	5.5	8.9	8.9	8.9	8.9	16.5
10	8.6	5.5	8.6	8.6	8.6	8.6	16.5
平均	9.36	5.51	9.36	9.36	9.36	9.36	16.5

表3-5 一斗缶での計測 水5リットル 灯油5リットル (実測値 全長18.0cm 灯油の深さ9.0cm)

回	アクリル10φ(メッシュ入)		ガラス8φ		スケール		浮き
	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	灯油の深さ (cm)
1	17.5	8.5	17.5	8.8	18.0	8.6	9.0
2	17.4	9.0	18.0	9.0	18.2	9.0	9.2
3	17.4	8.7	17.9	9.1	18.2	8.7	9.2
4	17.6	8.8	17.7	8.9	18.2	8.8	9.3
5	17.4	8.9	17.9	9.0	18.0	9.0	9.3
6	17.4	8.8	18.0	9.0	18.0	8.9	9.2
7	17.5	8.7	18.0	9.0	18.2	9.0	9.3
8	17.5	9.0	18.0	8.9	18.0	8.9	9.2
9	17.4	8.8	18.0	8.9	18.1	9.0	9.5
10	17.5	8.6	18.0	9.0	18.2	9.0	9.4
平均	17.46	8.78	17.9	8.96	18.11	8.89	9.26

表3-6 一斗缶での計測 水10リットル 灯油5リットル (実測値 全長26.4cm 灯油の深さ9.0cm)

回	アクリル10φ(メッシュ入)		ガラス8φ		スケール		浮き
	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	全長 (cm)	灯油の深さ(cm)	灯油の深さ (cm)
1	26.2	7.9	26.7	9.0	26.6	9.0	9.3
2	26.2	8.7	27.0	9.0	26.6	9.0	9.3
3	26.2	8.7	26.7	9.1	26.5	8.9	9.2
4	26.2	8.5	26.7	9.0	26.6	8.9	9.3
5	26.2	8.5	26.8	8.9	26.6	9.0	9.3
6	26.2	8.5	26.7	9.0	26.5	8.9	9.4
7	26.2	8.5	26.7	9.0	26.5	8.9	9.5
8	26.2	8.2	27.2	9.0	26.5	8.9	9.3
9	26.2	8.4	26.7	9.0	26.6	9.0	9.2
10	26.2	8.2	26.5	8.7	26.6	9.0	9.5
平均	26.2	8.41	26.77	8.97	26.56	8.95	9.33

表3-7 一斗缶での計測
ガソリン5リットル(実測値 9 cm)

回	ガラス8φ	アルミスケール			
	ガソリン	ガソリン			
		1秒	3秒	10秒	30秒
1	8.8		9.3	9.5	9.8
2	8.8		9.3	9.4	9.6
3	8.9		9.3	9.5	9.6
4	8.8		9.2	9.5	9.8
5	8.9		9.2	9.5	9.8
6	8.9		9.3	9.4	9.7
7	8.8		9.3	9.5	9.8
8	8.9		9.3	9.4	9.7
9	8.8		9.2	9.5	9.8
10	8.9		9.3	9.5	9.7
平均	8.85		9.27	9.47	9.73

表3-8 一斗缶での計測 ガソリン5リットル 水5リットル
(実測値 全長18.0 cm ガソリンの深さ9.0 cm)

回	ガラス8φ	アルミスケール			
	ガソリン	ガソリン			
		1秒	3秒	10秒	30秒
1	8.9	9.3	9.3	9.4	9.6
2	8.9	9.2	9.3	9.5	9.7
3	8.9	9.2	9.2	9.5	9.6
4	8.8	9.3	9.3	9.5	9.6
5	8.9	9.1	9.3	9.5	9.8
6	8.9	9.2	9.2	9.4	9.7
7	8.9	9.2	9.3	9.4	9.8
8	8.9	9.1	9.3	9.4	9.7
9	8.9	9.2	9.3	9.5	9.7
10	8.9	9.2	9.2	9.4	9.7
平均	8.88	9.27	9.27	9.45	9.69

(4) 一斗缶にエンジンオイル5ℓ、水5ℓを入れガラス管、アルミスケールで測定実験を行った結果、

ア ガラス管については、エンジンオイルだけの場合と同様の結果が得られた。

イ アルミスケールについては、挿入時にスケール全体にオイルの膜が張るためか、水に反応する試薬の変化にかなりの時間が必要であることがわかった。

以上、4つの設定の実験結果から、

ガソリンの場合、ガラス管での測定は、ほぼ安定した数値が得られ、実測値と一の誤差は5%以内に収まっていることがわかった。

また、アルミスケールでの測定は、ガソリンの吸い上がりのためか、実測値との誤差が最大で8%と大きくなることがわかった。

エンジンオイルの測定については、ガラス管及びアルミスケールともに、良い結果が得られなかった。

8 おわりに

各実験の結果、残存危険物の測定方法について、第1石油類(ガソリン)の測定にあつては、ガラス管8φによる測定方法が他の方法による測定と比較して正確な結果が得られました。

しかし、現段階では、ガラス管の筒上部を密閉する方法やガラス管に目盛りを入れるなど、更に改良を加えていく必要がありますが、火災現場において限られた時間に効果的に、かつ、正確に測定する方法の一つとして、今後の危険物の測定に役立てていただければ幸いです。

「都市型水害用インスタント水のうの開発」

京都市消防局 林 孝俊、柴田明夫、片桐勝治

1 はじめに

近年、水害による事象は大きく変貌してきている。すなわち、かつてのような大河川の洪水は、河川改修とともに減少し、これに代わって課題となってきたのは内水のはらんや家屋浸水等の多発である。

ここで、問題となるのは都市部においては、洪水到達時間の短い水路や側溝などの特徴である同時多発性の水害に対して、土のうに使用する土砂をタイムリーに用意できないことである。

土のうに代わるものとして、各種の本格的な水のうや、ゲル化材などが実用化されてきているが、これは比較的大きく、土のうのようにどんな場所にも臨機応変に設置できないこと、日常の管理に手間がかかり保管スペースも必要で、後始末が大変であり、また価格的にもかなり高価なものであるなどの欠点がある。

そこで、今回小規模な家屋浸水などをターゲットとして、これを簡単に防ぐことを目的とした「インスタント水のう」(以下「水のう」という。)を開発し、その基本性能を試験したものである。

2 コンセプト

水のうの使用目的、性能などを、

- ① 小水路、側溝等の小規模な溢水及び家屋浸水の防止用とする。
 - ② あくまで応急用であり、「踏みつける」「投げる」などしない限り使用に耐える程度の強度を目標とする。
 - ③ 使い捨ても可能な程度の価格とする。
 - ④ 任意の長さが選択できるか、又は小さな単位を組み合わせて様々な広さや形状の場所で使用することが可能とする。
 - ⑤ 取扱いが簡単で、現場活動における作業性が優れているものとする。
 - ⑥ その他、保管や積載のスペースが小さく、軽量で人力による搬送が容易であるものとする。
- として、これを満たすものとして、次の2種類のサンプルを作成した。

(1) 水袋タイプ

厚手のポリエチレン袋(100 μ 、65cm×40cm)に水

を入れて口を太めのゴムバンドでしばって水袋を作る。次に、穴があいたり、破れたりしないよう、これを土のう用のビニロン袋に入れて口を縛る。(図1、写真1参照)

実際に作る時は、水を入れる前にポリエチレン袋をビニロン袋の内側に入れておく方が作業性がよい。このようにして作った水袋は、家屋の出入口や側溝の周囲に並べて使用して、数時間程度破れずに使用できる程度の強度は備えている。

(2) ソーセージタイプ

上記のポリエチレン袋の原反が、ウエルダー加工してカットする前はホース(筒)状であることを利用して、これを任意の長さで切って水を入れて、両端をゴムバンドでしばることにより、「水の腸詰ソーセージ」を作成する。次に、これに養生シートなどを巻き付けて保護する。(図2、写真2参照)

3 基本性能試験の結果

上記のようなコンセプトで作成した水のうであるが、水をせき止める能力が土のうに比べて著しく劣っているのは実用性がない。

そこで、次の3種類の性能試験を実施した。

(1) 漏水試験(せき止め能力)

図3、図4に示すように、2種類の水のう及び比較材料として、土のうで築いた堤の中に水を満たして、経過時間ごとの水位を測定し、両者の関係をプロットすることにより、図5の減水曲線を得た。

さて、単位長さあたりの堤の漏水量 q は、①式から求められる。

$$-A(dH/dt) = \ell \cdot q \dots\dots\dots ①$$

ここで、 A :堤で囲まれる内側の面積

ℓ :堤の内のりの総延長

減水曲線上の任意の点に引いた接線の勾配は dH/dt であるが、これにより求めた各水位における漏水量との関係は図6の漏水曲線に示したとおりである。

また、水のうの場合は、堤からの漏水は水のうと水のう間、水のうと地面間の隙間から生じていると考えられるので、ベルヌーイの定理から、漏水速度は水位の $1/2$ 乗に比例するものと考えられる。

したがって、漏水速度 Vz は②式で求められる。

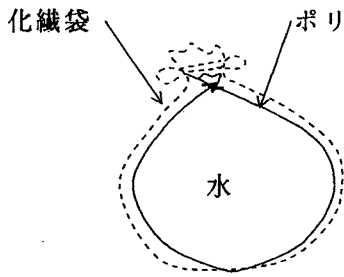


図1 水袋タイプ水のう

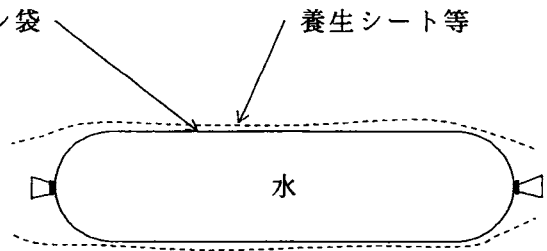


図2 ソーセージタイプ水のう

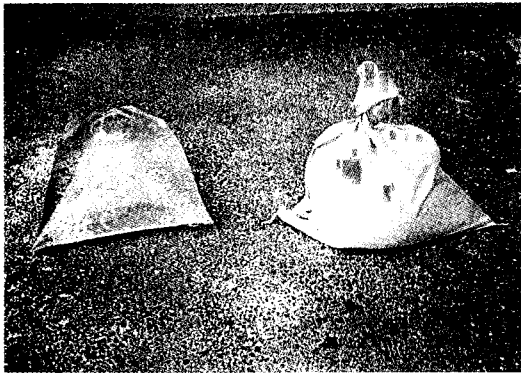


写真1 水袋タイプ水のう

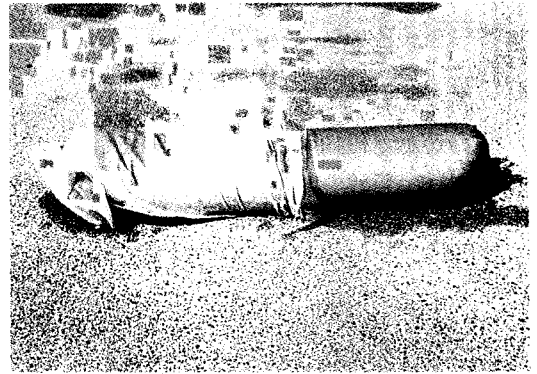


写真2 ソーセージタイプ水のう

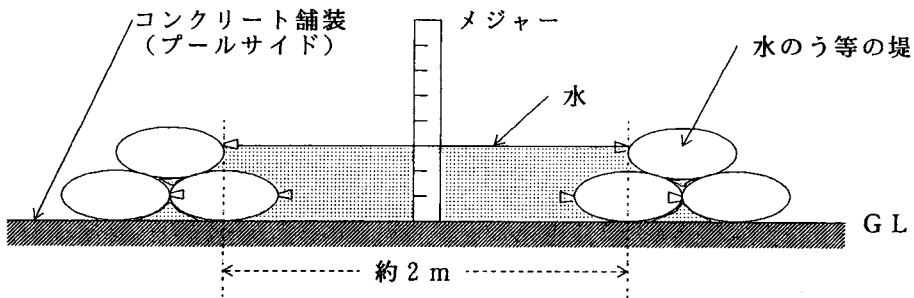
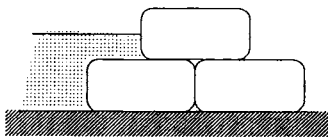
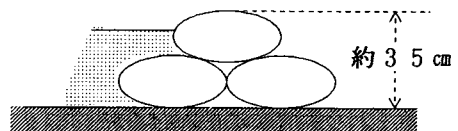


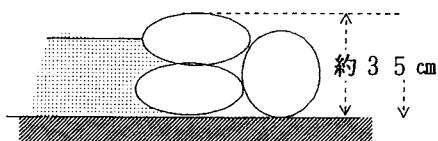
図3 漏水試験の測定方法



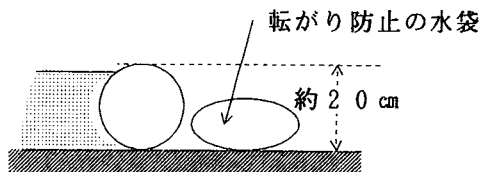
(1) 土のう 2 段積



(2) 水袋タイプ 2 段積 A



(3) 水袋タイプ 2 段積 B



(4) ソーセージタイプ

図4 漏水試験の堤の構造

$$V_z = k \sqrt{2g(H-z)} \dots\dots\dots ②$$

k : 漏水係数これより漏水量は、③式で求められる。

$$q = k \int_0^t \sqrt{2g(H-z)} \dots\dots\dots ③$$

漏水曲線から求めたkの値は、表1に示すとおりである。

ソーセージタイプは土のうよりも漏水係数が小さく、水袋タイプのA(小口並べ)と水袋タイプのB(小口並べ)はいずれも土のうと大差ない漏水係数が得られた。以上の結果から、今回考案した水のうは土のうと同等以上のせき止め能力があることが実証された。

(2) 静水中の安定性試験

図3の状態では水位をゆるやかに上昇させて、水のうの堤が移動、転倒、崩壊するときの水位(限界水位)hを測定した。(5回の平均値)

これと堤の高さHとの比(h/H)を算出したとこ

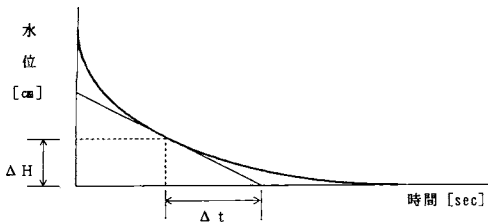


図5 減水曲線

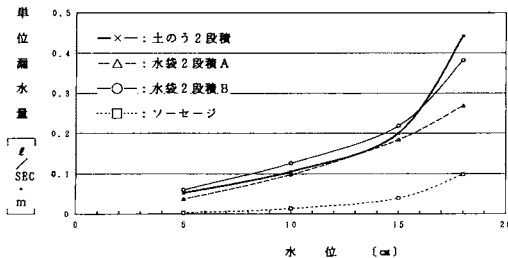


図6 各堤の漏水試験結果(漏水曲線)

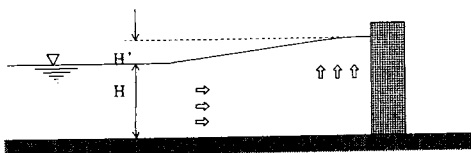


図7 水流のエネルギーと位置エネルギー

ろ、表2のとおりとなった。水袋タイプの2段積みでは、堤の高さの7割弱の水位に耐え、ソーセージタイプ(ころがり防止に水袋タイプを控えに使用)では、堤と同等の高さに耐えた。

(3) 流水中の安定性試験

水を完全にせき止めた状態では、図7のように水流エネルギーは堤の内のりにおいて、位置エネルギー(H')に変わっているため、理論上は静水中における安定性試験のデータで示される。

しかし、流れのある場所に設置する場面を想定すれば、流水中での安定性を測定して、設置作業の可否の目安を得ておく必要がある。

このため、人口水路(幅約90cm)内で一定の水深(約12cm)流速(約70cm/sec)の流れを作り出し、その中で水のうを設置したところ表3の結果となった。

表1 各堤の漏水係数

種別	水位	5cm	10cm	15cm	18cm
土のう2段積		0.0070	0.0076	0.0114	0.0210
水袋2段積A		0.0065	0.0094	0.0122	0.0188
水袋2段積B		0.0043	0.0065	0.0103	0.0164
ソーセージ		0.0002	0.0009	0.0021	0.0045

表2 静水中の安定性試験結果

堤種別	限界水位:h	堤との比:(h/H)	備考
水袋2段積A	23cm	65%	
水袋2段積B	25cm	71%	
ソーセージ	20cm	100%	水袋を転がり防止に併用
水袋2段積	13cm	65%	(参考) H≒20cm

表3 流水中の安定性試験結果

堤種別	移動の有無	備考
水袋2段積A	移動しない	
水袋2段積B	移動しない	
ソーセージ	移動しない	水袋を転がり防止に併用
水袋2段積	移動しない	小口並び(注1)
	移動する	長手並び(注2)

(注1) 小口並び

(注2) 長手並び



4 まとめ

土の見かけ比重は、約1.8程度であるため、同一形状の水のうに同等の安定性を持たせることは、もとより力学的に不可能である。それにもかかわらず、各種の水のうやゲル化材などが市販されているのは、都市部においては、土のうの代用品を必要とするものの、何よりの証であると言える。

例えば、冠水した道路や、あふれ出た側溝からの家屋への浸水を阻止するようなケースでは、今回考案したインスタント水のうは応急的な土のうの代用品として十分役に立つと考えられる。

まして、そのせき止め能力は土のうを上回っているため、上記のようなケースでは被害軽減の有効な手段になりうると考えられる。

畳んだ状態のポリエチレン袋は非常にコンパクトであり、土や土のうに比べれば、保管スペースや、搬送の労力などもほとんど無いに等しく、使用後は口を開いて水を流しただけで簡単であり、使い捨ても可能で、ある。

また、価格的にも水袋タイプは化繊袋を含めても数10円程度であり、経費上も問題は少ないと考えられる。強度の点については、今回使用したポリエチレンでも十分実用は可能であると考えるが、ラミネート素材などを使用するなどすれば、さらに向上させることが可能である。

このように、河川の氾濫現場には在来の水防工法を用いる一方で、小規模多発型の水害事象には、このような簡易的なインスタント水のうを使い分けていくことが合理的であると考えられる。

「火災原因調査の目的について」

ガスクロマトグラフの装備を中心として

安来市能義郡消防組合消防本部 松本城太郎

1. はじめに

バブル経済崩壊後のわが国は、未曾有の不景気が続いている。不景気になると放火が急増する傾向にあることは、統計的に見ても事実のようである。加えて、平成7年7月より製造物責任法が施行され、同法に係る賠償金を詐取る目的で放火を実行するケースも今後考えられる。

消防法第35条に定める、『放火又は失火の疑いがあるときは、その火災の原因の調査の主たる権限および責任は、消防長又は消防署長にあるものとする。』について、全国920消防本部（平成10年4月1日現在）のうち、どれだけの消防本部が義務を履行しているのだろうか。全国の消防本部の中には、職員数が50名に満たないような極めて小規模な消防本部も存在する。当然の結果として、消防隊、救急隊、そして許認可事務等の処理だけで、人員的、予算的に精一杯であり、火災原因の科学的究明など望む余地などない状態にある。

しかし、消防本部の事情など地域住民にとっては無関係な話であり、火災原因を科学的根拠に基づいて説明してもらわなければ、製造物責任法に代表される賠償すら受けられない立場におかれるのだ。大規模消防の管内に居住する者であれ、地方の小規模消防の管内に居住する者であれ、法律の恩恵を受ける権利は同じなのである。その権利が侵害される原因が、調査員の資質にあるとすれば、我々が調査技術を錬磨する必要があり、調査資機材の未装備に起因するものであれば、直ちに装備しなければならない。

特に、火災原因を立証する上で、極めて重要な位置を占めると考えるガスクロマトグラフ（以下『ガスクロ』という。）の装備について、私なりに考察し、提案いたしたい。

2. 火災調査体制について

火災調査体制整備検討委員会が調査し、平成10年3月に配布した「火災調査体制整備検討調査書」（以下「検討調査書」という。）によると、全国244消防本部

において火災調査規程が未制定であり、その内の92本部が制定予定すらないという結果が報告されている。消防計画あるいは警防規程等に盛り込まれているために、単独で火災調査規程の名称がなく、このような回答となった本部もあるかもしれない。勿論、火災調査規程がなければ調査が出来ないというものではないが、火災調査が、消防法に基づく消防行政の執行であるという自覚を持ち、適正な調査を行なうためにも、火災調査規程の制定は不可欠であろう。更に、火災調査書様式を特定していないところが35本部あるという結果に至っては、製造物責任法施行以前の問題として、刑事、民事訴訟等による証拠資料や参考資料になる可能性がある調査書類であるという認識が不足していると言わざるを得ず、誠に残念に思うところである。

あくまでも火災調査は、国あるいは県（以下「国等」という。）へ報告するために実施するのではなく、消防法によって定められた義務を履行し、以後の火災予防に役立てるためのものであることは明白である。国等への報告は、各本部が調査した結果のうち、一部の報告を求められている事項について報告するに過ぎないのだ。即ち、国等から求められている事項のみについて調査すれば、報告は可能であっても、消防法に定められている火災調査義務を履行した事にはならない。消防が行なう火災調査に欠落している姿勢は、正にこの部分であると考えられる。

3. ガスクロの必要性について

国等に報告する事項には、発火源・経過・着火物、そして時刻・時間・損害等はあるものの、例えば放火火災について、「誰が・何の目的で」という内容までは求めていない。しかし、報告義務がないからと言って調査する必要がない訳ではない。火災発生に至るまでの物理的あるいは科学的メカニズム、そして人間の心理、特に放火を実行する人間の心理状況等を解明することが、真の火災原因調査なのであり、以後の火災予防に役立てる資料という位置付けであれば、尚更である。

検討調査書によると、鑑定依頼の実績が全国で320本部、そのうち危険物関係が27本部（実績中の割合は8.4%）である。火災調査における鑑定依頼で、危険物関係となるとガスクロを使用しだ残渣物内の鉍物油反応（品名の特定）であろうと推測される。であるとすれば、あまりにも件数が少ないと感ずるのである。危険物を使った放火の疑いが強い場合はガスクロ分析が当然必要である。しかし、放火を否定する場合にも当該分析結果が必要な訳で、火災原因が極めて明確に判定できる場合を除いて、全ての火災調査書類にガスクロ分析結果が添付されている必要があると書いても過言ではない。ガスクロによる分析依頼ばかりではない。電気配線の短絡一次痕・二次痕の鑑定についても同様である。実体顕微鏡やマクロレンズを装備していない本部は、他の機関に鑑定依頼せざるを得ない。肉眼や拡大鏡で、短絡痕の表面ばかり鑑識するような、職人芸的調査は過去の遺物である。これらの鑑識に係る鑑定依頼先は、警察機関を利用している本部が、616本部（実績中の割合は66.8%）もあることに、驚きと問題意識を抱く。火災原因調査のスペシャリストは消防の調査員のはずであり、そうでなければならない。決して警察機関と競合するつもりはないし、対抗する訳でもないのだが、火災調査の責任と権限を有する消防機関が、それらを鑑識する能力、装備を保有していない現実に問題意識を持ち、可及的速やかに状況を改善する必要があると考える。警察機関に鑑識や鑑定を依頼し、その結果をもって火災原因を判定する状況から、1日も早く脱皮しなくてはならない。

ガスクロを装備し、実体顕微鏡等の調査資機材を装備してこそ、火災調査のスペシャリスト集団と言えるのではないだろうか。

4. ガスクロの活用について

例えば、「てんぷら鍋をかけていることを忘れ、その場を離れました。」と出火者が説明し、現場発掘の状況も供述通りであったとする。警察機関は、出火者の供述と現場状況の一致から、「失火」と断定した。消防機関が「放火」の疑いも捨て難く、コンロ周辺の残渣物を分析したいと考えても、分析機器を装備していないため、仕方なく警察機関と同じ結論になるケースが全国的にもかなりあるものと考えている。お陰で、放火実行者は火災保険金を詐取する。

消防機関にガスクロが装備されていれば、警察機関が失火と断定しても、念のために残渣物を採取し、残油の有無を調査できるので、その鑑定を警察に委ねている場合、失火と断定している警察機関に対し、

「残渣物をガスクロで分析したいので、お願いします、」と依頼しにくいのが現状であり、この状況が、現場の調査員には耐えがたい屈辱なのである。「警察が（科捜研）失火と断定しているのだから、そうに違いない。」では、許されないのである、所轄警察署の捜査員はもとより、県警の科学捜査研究所、捜査一課といえども、火災原因究明のプロではなく、あくまでも、犯罪捜査のプロなのである。極論を言えば、警察機関は、その火災に犯罪が介在していなければ、火災原因が何であろうと、そこまで究明する義務はない。その点、消火活動から始まり、その火災について一番詳しいのは消防機関なのだ。殺人事件や窃盗事件の場合は、様々な証拠が現場に転がっているのだが、火災の場合は、ほとんどが灰と化してしまう。火災によって焼き尽くされた物の中から、火災発生直前の真実を見出すためには、科学力を駆使した調査が必要である。消防機関は、決して放火犯人の検挙が目的ではないのだが、火災原因の真実を究明しなければならない義務があるのだ。

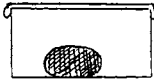
当消防本部では、残渣物を九州地区のK消防局に依頼し、ガスクロ分析をお願いしている。しかし、火災調査の都度いつも依頼するのは心苦しいものがある。そこで試行錯誤の結果、ジクロルメタン等を使った溶媒抽出法（図1参照）を行ない、ガス検知管（北川式）によって分析を試みているが、当然、ジクロルメタン等妨害物質が多く、品名の限定には程遠い状況である。また、当S県内及び隣接T県内にはガスクロを装備している消防機関はない（平成12年9月30日現在）この状況は、火災原因調査の義務を負う消防として、危機的なものであると感じている。

5. ガスクロ装備の為の一提案

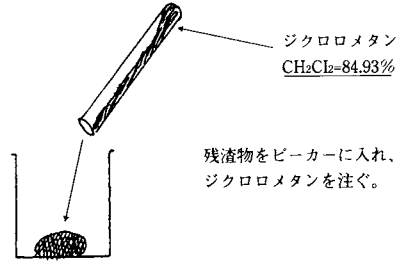
火災調査に使用するレベルの、ガスクロの価格は、本体及び付属品一式で約300万円である。高規格救急車・はしご車等の消防用車両と比較すれば僅かな金額であるが、なかなか装備できない。その原因はいくつかあるが、中でも、消防内部における火災原因調査の位置付けが比較的低く、その結果、「近隣の消防本部、特に自分が所属している消防本部よりも規模の大きい消防本部が装備していないから、不必要だ」といった発想、あるいは「消防がそこまでなくても、警察に任せればいい」と言った、警察主導的な潜在意識によるものが大きく影響しているように感ずる。

ここで提案してみたい、救急車や消防車、そして広報車の類の寄贈は、複数の団体から受けることが可能であるが、火災原因調査資機材の寄贈となると難しい

① 残渣物をタッパー等の密閉容器に採取する。

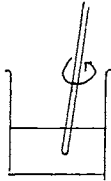


②



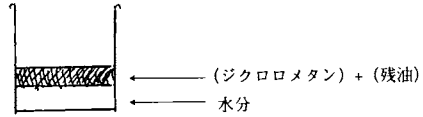
③

②をよくかき混ぜる。



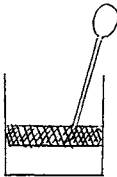
④

図のように2層に分離する。

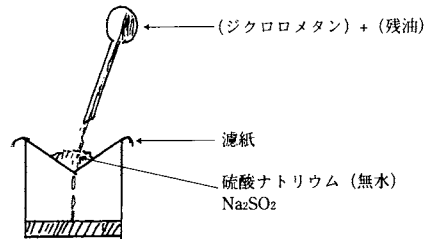


⑤

(ジクロロメタン)+(残油)の層だけ
スポイトで採取する。

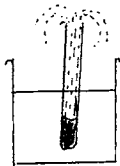


⑥



⑦

⑥で濾過したものを試験管に移し、
約50℃のお湯で加熱してジクロロ
メタンを沸騰気化させる。



⑧

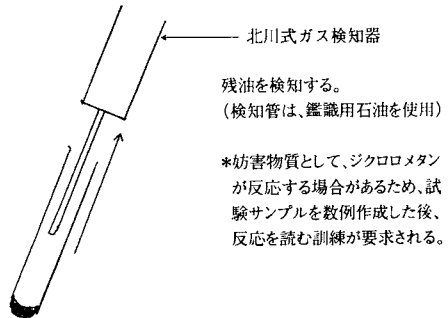


図1 ジクロロメタン等を使った溶媒抽出法

ガスクロマトグラフを装備しない当本部において考案した、残油検出の為の溶媒抽出法。ただし、あくまでも目安として測定する程度のものである。

のはなぜであろうか。寄贈団体のネームやマークを入れた教急車や消防車等が走り回って、何年間も広告塔の役割を果たしてくれるのに比べ、広告的効果の期待できない調査資機材は、寄贈の対象として考えにくいのだろうか。車両の寄贈数を数年間漸減し、調査資機材（ガスクロ等）の寄贈をしてもらえれば、全国の消防本部全てに装備できるのである。ましてや、1県に1基のガスクロを寄贈することなど難しくないことと思うのだが、いかがであろうか。予算化しての対応が難しいのならば、このような考え方も必要となる。調査資器材の寄贈によって、調査体制を充実させる方法も真剣に検討する必要性を感じる。

6. おわりに

政令指定都市の大規模消防と、地方の弱小な小規模消防も、消防法あるいは関係法令に定められた義務について、いかなる理由があろうとも履行しなければならない。消火・救急・救助はもとより、火災の原因を特定することによって、以後の火災予防に反映するとともに、特に製造物火災や放火等の特異な火災の原因を究明することによって、地域住民の権利と安全を守ることが、我々に課せられた最低限の義務である。

消防隊等の装備だけではなく、火災調査能力、調査資器材等における地域格差の是正こそ、住民のための消防行政であると考えている。

Ⅲ 一般による消防防災機器の開発・改良の部 (入選5編)

「緊急用簡易担架 (Rescue Board) の開発」

安達紙器工業株式会社 安達 昭

阪神淡路大震災を教訓に全国の各自治体は、防災備蓄倉庫の配備とその拡充を進めています。また、近年では、「自分達の命は自分達で守ろう」と言う事から自主防災組織の発足が盛んになってきました。

しかし、防災倉庫の配備には設置場所、設置数、備品の種類、数量、倉庫の大きさ、など各自治体には大きな負担が伴います。この、大きな負担を少しでも軽減でき、なおかつ有効にして大量配備が可能な「もの」を開発する必要があると考えました。

阪神淡路大震災を検証して見て判明したのは、「担架」の必要性でした。当時、ケガ人の救出搬送には壊れた家屋の「戸板」や「畳」などで代用するしかなかったと言う事実です。

ここに、開発した「緊急用簡易担架」^{レスキューボード} (Rescue Board) は、取り扱いが簡単でコンパクトで軽く災害現場に誰でもが近くの防災倉庫から持ち出せ、より早く救助支援出来る様に用具の面から支援する「もの」です。

[安全面]

- ◎従来形担架 (図1) と異なり、対面式搬送 (図2) です。
- ◎転落防止のベルト (胸部、腰部、脚部) が標準装備です。
- ◎搬送人員最低二人～四人、最高八人で搬送できます。

[取り扱い面]

- ◎従来形担架と異なり一枚のボード状に片側四個所の持ち手穴が設けた簡単な形状です。(図3)
- ◎簡単なおりたたみ式 (変則三つ折り) で面倒な組立てや操作を必要としません。
- ◎取り扱い方やメッセージなどを誰もが判る絵文字で表示してあります。(写真1)

[資源の再利用面]

- ◎素材は、古紙で作られた再生紙を利用し、資源の再利用に貢献しています。
- ◎廃棄時の分別も簡単で、ボード本体は再び再生紙の

原料にもなります。

- ◎ベルト部分は各自治体の処分法に基づいて処分可能です。
- ◎ボード本体は地中に埋設してもバクテリアが分解してやがて土にもどります。

[強度面]

- ◎搬送用持ち手穴は、穴一個所で約80kg (表1) の引っ張り強度があります。
- ◎面載荷重強度は、通常使用時で約500kg (表2) の強度があります。
- ◎同じく、24時間水浸後の面載荷重強度は約220kg (表2) の強度があります。
- ◎折り曲げ部の繰り返し強度はまったく問題ありません。

[衛生面]

- ◎表面には撥水コート処理がしてあり、血液、汚物など附着しても簡単な水洗いで洗浄ができます。

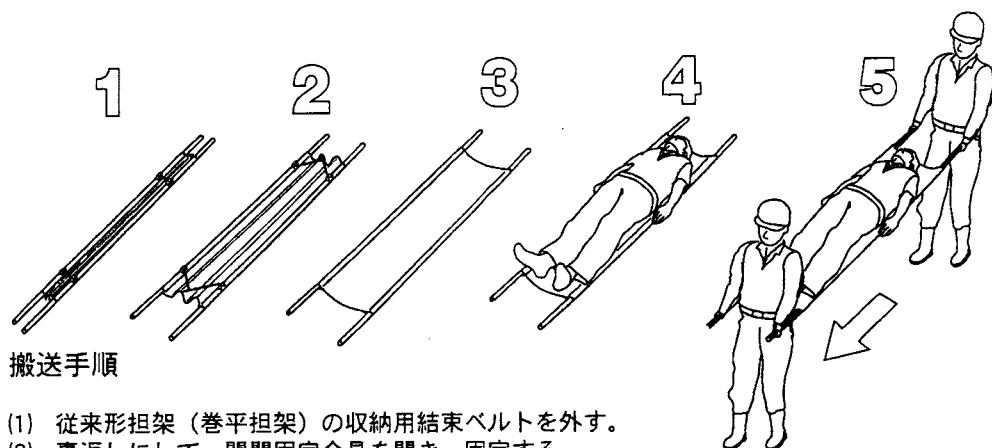
[収納面]

- ◎使用時寸法は、1800mm×730mm×2.4mm、重量約3.5kgでこれを、三つ折りにして収納時寸法を、790mm×730mm×35mm、重量約3.5kgとなり、非常にコンパクトになり収納スペースを取りません。
- ◎収納時の三つ折りは、胸部、腰部のベルトを持ち手穴を通して止めるだけで特別な部品を使用しなくても簡単に結束可能です。

[保管面]

- ◎極端な乾燥、湿度の影響を受けない通常の倉庫や小屋、などの施設であれば特別な保管を要求することはありません。
- ◎一応半年に一回程度は、点検程度の意味から保管場所より取り出して点検をすすめる程度です。

「従来形担架（巻平担架）」と「緊急用簡易担架（Rescue Board）」の比較説明図（添付写真参照）



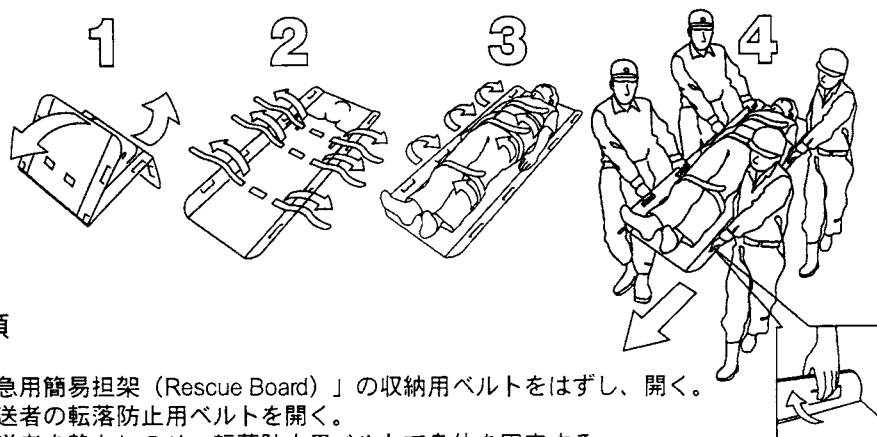
搬送手順

- (1) 従来形担架（巻平担架）の収納用結束ベルトを外す。
- (2) 裏返しにして、開閉固定金具を開き、固定する。
- (3) もう一度裏返しにして、被搬送者をのせれる様にする。
- (4) 被搬送者を静かにのせる。
- (5) 担架の前後を二人で静かに持ち上げ足元方向に搬送する。

担架の取り扱い危険事項

- (1) 前記2の「開閉固定金具」を開く時、金具を強い力で押し開く為、指や手を挟む危険性がある。
- (2) 前記5の搬送時は、被搬送者の身体を固定するベルトがない場合、転落する危険性がある。

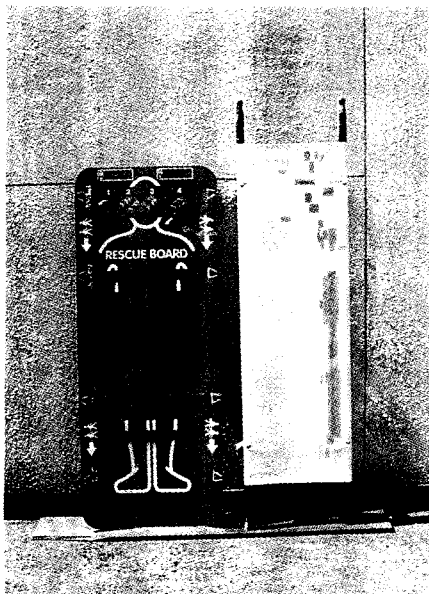
図1 「従来形担架（巻平担架）」の組立搬送手順と危険事項



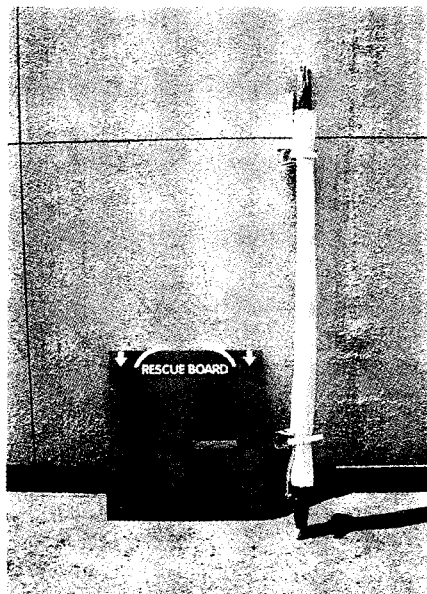
搬送手順

- (1) 「緊急用簡易担架（Rescue Board）」の収納用ベルトをはずし、開く。
- (2) 被搬送者の転落防止用ベルトを開く。
- (3) 被搬送者を静かにのせ、転落防止用ベルトで身体を固定する。
- (4) 手順図4の様に4人で静かに持ち上げ足元方向に搬送する。

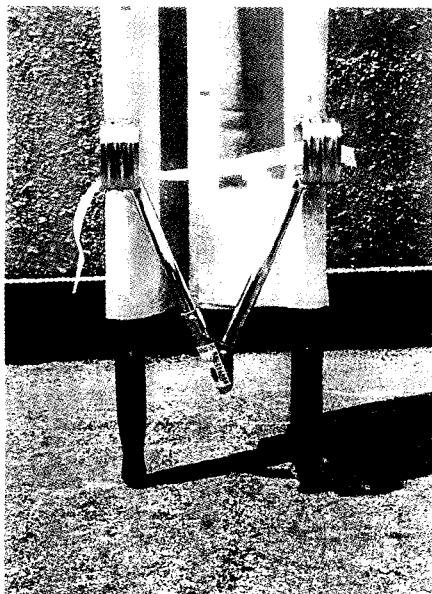
図2 「緊急用簡易担架（Rescue Board）」の搬送手順



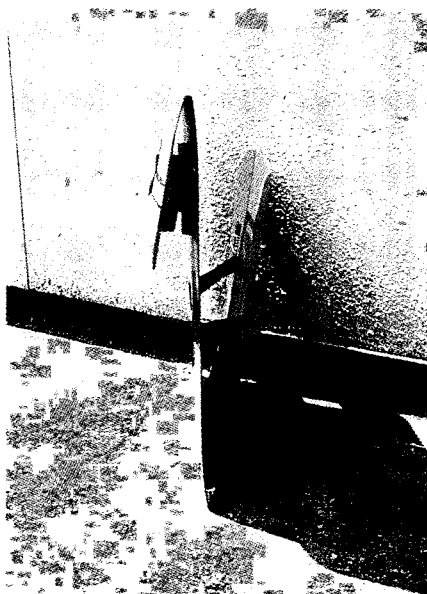
RESCUEBOARD（左）と従来型担架（右）の表面



RESCUEBOARDと従来型担架の収納形状



従来型担架の折りたたみ用スチールパイプ



RESCUEBOARDを3つ折りにしてベルトを搬送用字穴から出して全体をとめる。

写真1 従来型担架とRESCUE BOARD

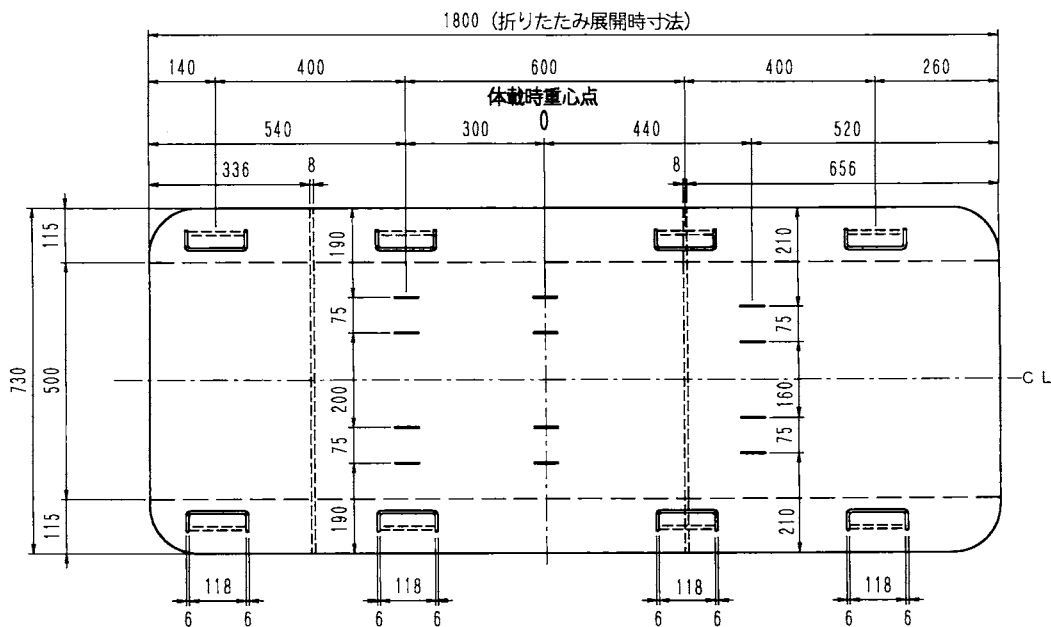


図3 RESCUE BOARDの寸法

表1 持ち手穴の引っ張り強度試験結果

試験番号	最大荷重 (N)	破断位置
1	985	取手部分
2	967	〃
3	1095	〃
4	1092	〃

表2 試験結果 ((財) 建材試験センターによる)

試験体記号	浸水時間 (時間)	最大荷重時		試験体の状況
		荷重 kgf	変位 ^{*1} mm	
W-0	浸水せず	500 ^{*2}	233 (237)	床部の湾曲の他、異常なし
W-1	1	500	195 (206)	床部の湾曲及び載荷5分30秒経過後に持ち手穴部の破断
W-3	3	320	212 (300kgf時)	床部の湾曲及び持ち手穴部の破断
W-6	6	290	206 (250kgf時)	床部の湾曲及び持ち手穴部の破断
W-24	24	220	170 (200kgf時)	床部の湾曲及び持ち手穴部の破断

(注) *1 変位はスリングベルトの伸びを含む値であり、参考値とする。

また、() 内の数値は載荷5分経過後の値である。

*2 荷重は最高載荷荷重である。

「水路付きはしご車の開発」

株式会社モリタ 稲本純司

1. はじめに

建物等の火災において、はしご先端より放水する場合、はしご先端放水銃又は、バスケット放水銃に布ホースを接続し、その後ホースを繰出しながらはしごを伸長する。そして放水作業を行うが旋回、起伏、伸縮を同時に行う場合は、はしご後端のホースを隊員が手助けしなければ、はしご操作は不可能であった。これは緊急時の時間と人員の無駄となっている。

高層ビル火災では上階の火災現場に消防隊員がホースを担ぎ、接続しながら階段を登って行くのが通常である。この方法では隊員の体力の消耗が激しくホース接続には長時間を要した。

又、消防用水ポンプとはしご駆動用油圧ポンプを同時に作動した場合、水ポンプの駆動のためにエンジンが高速回転すると、油圧ポンプも高回転となり、以前のはしご車は作動速度が速くなりすぎる恐れがあった。又最近のはしご車の場合は作動速度には問題無いが、油圧ポンプが高速で回転し多量の作動油を吐出するため、作動油の温度が上昇し、長時間の連続運転には少し問題があった。

上記の問題点を解決するには、はしご車の水路は、水ポンプから旋回接手を通り、はしご下面の伸縮水路を経て、先端の放水銃に固定配管で接続することとした。この方法により、水ポンプを作動すれば直ぐ放水可能となる。又、全てが固定配管のためホース接続等の人手は不要となる。

前記放水銃の手前より屋内進入口を分岐させれば、階段をホース接続しながら登ることが必要でなく、直接火災現場に送水することができる。

又長時間連続運転のできるはしご車の要望も多方面から有り、可変容量ピストンポンプと電磁比例弁の組合せにより、省エネタイプの油圧システムが構成され要望に答えることができる。

2. 開発の経緯

本はしご車を開発するに当たり、下記の通り解決しなければならぬ問題点が多数あった。

1) 放水時のはしごの偏りを押さえるための、各段はしごの差込方法の開発

2) 通水時の伸縮水路の推力によるはしごの偏りを減らすため、各段はしご上下間隔を少なくしたはしごの開発

3) はしご各段間の上下、左右のクリアランスによる伸縮水路への悪影響を及ぼさないための、縮水路取り付け方法の開発

4) ジャイロテーブルで傾斜矯正を行っても、問題なく旋回上部に通水できる旋回接手の開発

5) はしご支持装置は強度上、1本の起伏中心ピンで左右で繋げている。そのため、水路の自在接手は支持フレーム内で起伏中心に設けられない。そこで起伏中心を通過しなくてもよい自在接手の開発

以上主だった問題点を列記したが各項目について開発内容を説明する。

3. 開発内容

1) 偏りを押さえる新はしごの開発

従来のはしごは放水量が少なく、したがって放水反力も小さく、はしごのあおりについてはさほど考慮されていなかった。それ故、あおり止めは走行時とはしご全伸長時の2点のみで問題はなかった。

新はしご車は、作業範囲内全てで放水可能とするため、伸長度全域にわたり偏りを押さえる必要がある。この問題に対しては、下親骨を横凹形状に整形し、その上段のはしごの下親骨を横凸状として、下段下親骨の横凹状に差込むことで全域にわたりあおり止めを設けることが出来た。しかしこの凹形状の折り曲げは深折り曲げとなり、従来のプレス工法では加工できず、機械設備の変更も若干必要であった。(図1)

2) 各段はしごの上下間隔を狭めた新はしご

各段はしご間にはリフタ吊り上げ用ワイヤロープが通っており、この間を狭めれば、はしご横棧とワイヤロープが干渉する恐れがある。この問題を回避するため、横棧の要所に横棧と平行に樹脂製のガイドを設けることとした。

3) 伸縮水路の取り付け方法

はしご各段間には伸縮作動を円滑にするため、それ相当の隙間を設けている。しかし伸縮水路には水漏れを防止する必要から最小限の隙間しか設けていない。それ故はしごが上下、左右にゆれた場合、その力は伸

縮水路にかかり破損の原因になる。そこで伸縮水路の取付は、水路のはしご側取付穴は取付けボルトより大きく開け、取付ボルトにより、穴より大きい平座金と水路の取付座ではしごを余裕をもって挟み込む。この方法で穴は左右、取付ボルトの余裕で上下のクリアランスを逃がしている。尚下段はしごのクリアランスは、上段はしごのクリアランスをも加算されるため、下段はしごになる程、倍・倍的に大きくする必要があった。(図2)

4) 水路付き旋回接手の開発

ジャイロテーブルで傾斜矯正を行っても通水に影響のない旋回接手は

①ジャイロテーブルの中心部(目ーリングセンタ)に球状の接手を設ける

②ゴムホースで傾斜矯正時の動きを逃がす

等の方法が考えられるが、①は球面の加工方法及びスペースの問題、②は20kg/cm²以上の圧力に耐える柔軟なゴムホースが入手できない等問題がある。そこで次の方法を試みた。その方法とは、旋回接手上部の可撓部と下部間にパイプを挿入し又、上部と下部をユニバーサルジョイントで連結する。ユニバーサルジョイントの中心は先のローリングセンタに合わせる。これで旋回接手上部と下部は可撓自在に固定され、又ジャ

イロテーブルで7°傾斜矯正されても、上部と中間パイプは3.5°、中間パイプと下部は3.5°と小さい傾斜となり、この角度では上下各1個パッキンで密封可能となり、比較的案価で簡単な水路付き旋回接手が開発できた。(図3)

5) 起伏中心を通らない自在接手

通常、起伏に関係なく水を送る装置として、起伏の中心部に自在接手を設けるが、はしご車の起伏部は強度、剛性の関係で1本のシャフトを左右に通している。そのため起伏中心に自在接手を設けられない。そこで自在接手2個を一組として起伏中心を通らなくても起伏に関係無く通水できる自在接手を開発した。

6) エネルギーロスを抑えた新油圧システムの採用

前記の諸装置を備えた伸縮水路付きはしご車は、放水に対して多くのメリットがあるので、放水しながらはしご操作が多くなると思われる。そのため、放水時のエンジン高回転においても、操作に何ら影響無く、作動油の温度上昇の少ないロードセンシング方式を採用した。この方式は可変容量ピストンポンプと電磁比例切換弁の組合せにより、はしごの作動に必要な圧力と、吐出量に制御される。当はしご車はこの方式でエネルギーロスを極力少なくし、作動油の温度上昇を抑えて、長時間の運転を可能にします。

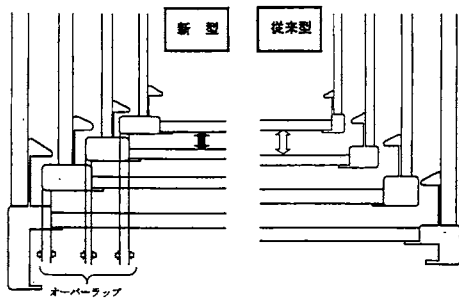


図1 新はしごの形状

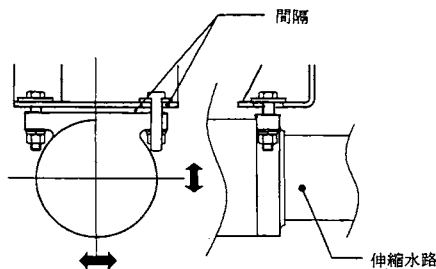


図2 伸縮水路取付

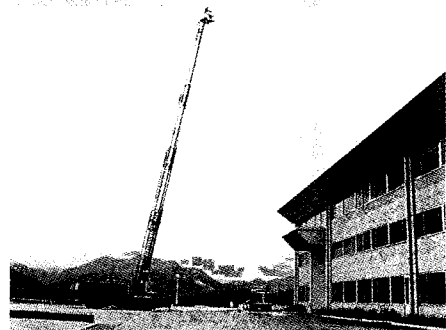


写真1 伸縮水路付きはしご車放水時全体写真

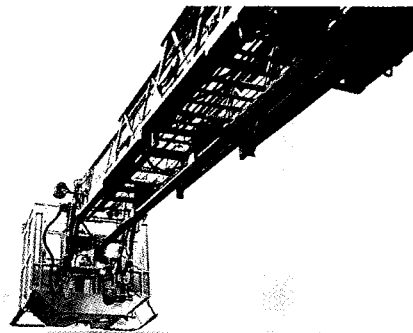


写真2 伸縮水路取付部

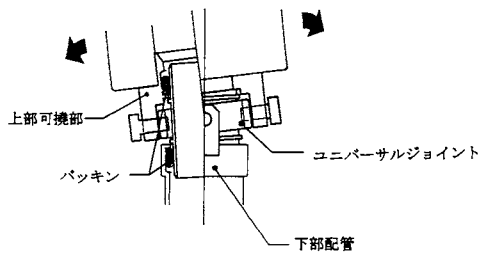


図3 水路付き旋回接手中心部

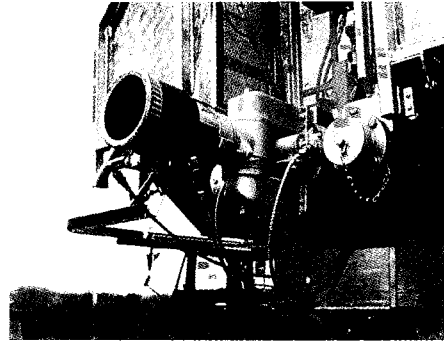


写真3 バスケット放水銃
(右側キャップ部が屋内進入口)

4. 開発結果

水路付きはしご車の水配管は、自車ポンプより水路付き旋回接手を通り、起伏中心部自在接手を経て、はしご下面伸縮水路から、バスケット部放水銃に固定配管されている。放水は他車又は、消火栓より中継水を受けるとすぐ放水可能となり、放水までの大幅な時間短縮となり、初期消火に大いなる効果を発揮できる。放水しながら起伏、旋回、伸縮のはしご操作が自由に行えるため、放水、消化活動な範囲が広がり、大変有効なはしご車となる。

水ポンプよりバスケット放水銃までは固定水路で接続されているため、初期の布ホース接続作業、又放水とはしご操作の併用時、はしご後端ホースの手助けが不要となり、この手助けに必要であった隊員は他の部署、例えば人命救助等に振当てることができ、救助作業等の充実を図ることができる。

新油圧システムを採用したことにより、通常のはしご操作の場合、従来の当社はしご車と比較して、エネルギーロスは約1/3に減少することができ、オイルクーラ無しでも長時間連続運転ができた。水ポンプとの併用操作でオイルポンプが高速回転していても、可変容量ピストンポンプは吐出量を制御し、通常

のはしご操作となんら変化はなかった。

しかしこの新油圧システムのロードセンシング方式はハンチングに対して弱く、今回も油圧システムの重要部品である可変容量ピストンポンプ、電磁比例切換弁、カウンターバランス弁のテストを繰返し改造、調整を行い、ハンチングを押し返ることができた。

以上の結果をまとめると以下の通り要約でき、今後消火、救助において役立つものと期待しています。

- ・放水準備時間の短縮によるすばやい消火活動
- ・放水準備の隊員の省人化、人命救助人員の充実
- ・エネルギーの節約で地球にやさしいはしご車

なお屋内進入口に付いては、当社にはテストする設備が無く、効果は不明ですが、機会があれば是非検証を行いたいと思っている。

又、大量放水時の放水反力、水路内の水の重量等を考慮した設計を行ったので、高強度で安定度の良いはしご車となった。その為、現在は補助金交付要綱では認められていないが、バスケットと昇降機との同時使用を行ってもはしご強度及び、安定上なら問題ないはしご車となり、今後伸縮水路付きはしご車の活動範囲がさらに広がるものと期待している。

「警戒地図表示式機器の開発」

沖電気防災株式会社 片倉辰男、大橋貞雄

本機は火災報知設備に使用する受信機の警戒区域一覧図上に発光ダイオードを点灯させることにより、見やすく、分かり易く、火災発報の区域が確認でき、これにより火災の早期発見と現場確認が容易に行える表示機能をもっています。

又、増改築、レイアウト変更の際に表示内容の絵図や文字の変更に合わせて発光ダイオードの位置を自在に移動できる従来にない表示機能です。

従来から火災報知設備に使用する受信機の地区表示は地区窓方式として地区窓に記入された警戒区域名称と受信機の付近に備えられた警戒区域一覧図を参照して場所を特定する方法が一般的であります。

又、特別注文として火災報知設備に使用する受信機の警戒区域一覧図を地図式として受信機に収容し地区表示する方法として

- 1) CRT等に表示する方法
- 2) アクリル板への彫刻、シルク印刷等により警戒区域一覧図を表示し、警戒区域をランプで裏面からエリア照光する方法
- 3) アクリル板、アルミ板、鉄板等への彫刻、シルク印刷等により警戒区域一覧図を表示し、発光ダイオード等によりスポット表示する方法

等がありますが、初期製造コストが掛かると共に、建物の増改築、レイアウト変更の場合には変更費用が多額に発生する、変更期間が長く掛かる、など容易に変更できない問題点があります。

本機はパソコンからフィルムに直接カラープリントするため、従来のアクリル板に彫刻やシルク印刷する地図板に比べ大幅なコストダウンが実現できると共に、増改築時やレイアウト変更等に容易に対応できます。又、施主、防火管理者の要望に合わせた、色使いができ、見やすく、分かり易い警戒区域一覧図とすることができます。

フィルムは写真1に示す様に、パソコンCADソフトにより警戒区域一覧図、警戒区域番号を作成し、バックプリントフィルムにA3、A2、A1、A0サイズにカラーフィルム印刷します。

フィルムは図1に示す様に、表面強化ガラス板、背面LED取付シートの間に挟み込み、背面LED取付シート上に発光ダイオードが収容されたLEDソケットを特

殊両面テープにより接着を行い、LEDソケットを背面から発泡性樹脂により押さえる構造としています。これにより火災地区灯(発光ダイオード)は火災発報時にLEDソケットにより遮光された警戒区域一覧図の警戒区域番号をスポット表示して火災発生の区域が容易に判別できます。

フィルムの交換も写真2に示す様に、ドライバー1本で簡単に交換できます。又、遮光筒接着両面テープは再用性があり、増改築、レイアウト変更の際に取り外し、移動、再接着が可能であり、これにより火災地区灯の位置が容易に変更できます。(写真3、4参照)

写真5は設備変更前、写真6は変更後の受信機を示します。

尚、変更作業員又は監督者の条件は消防設備士甲種4類を取得していること。HUMAP受信機研修会等の講習を受け、変更作業員について変更手順、部品の取扱等を十分理解した技術者が整備します。

本機は、火災報知設備に使用する受信機に応用した例ですが、火災報知設備及びガス漏れ火災警報設備に使用する受信機、火災報知設備及びガス漏れ火災警報設備に使用する副表示機、防排煙設備に使用する連動操作盤、各種消火設備等の警報盤、表示機に利用できます。

尚、本表示機能は警戒地図表示式制御機器として平成11年4月30日、特許第2920757号取得済、その他一部特許出願中です。

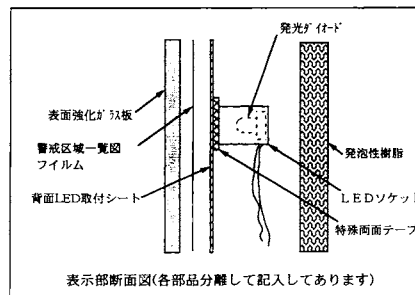


図1 表示部構造



写真1 フィルム作成、印刷

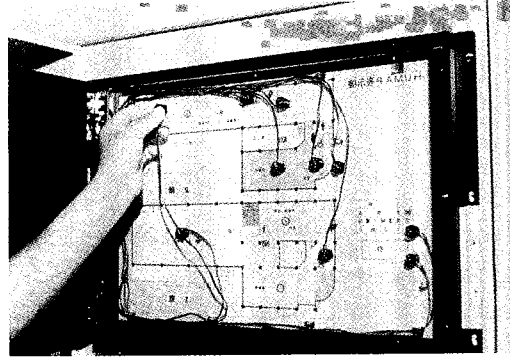


写真4 火災地区灯 移動後

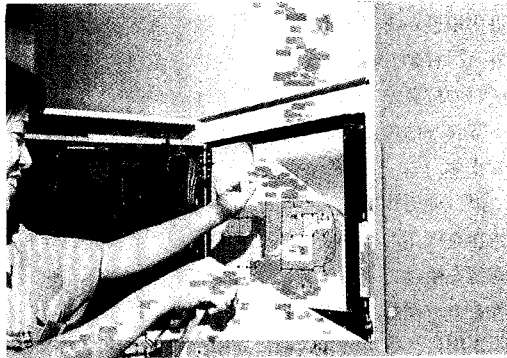


写真2 フィルム交換

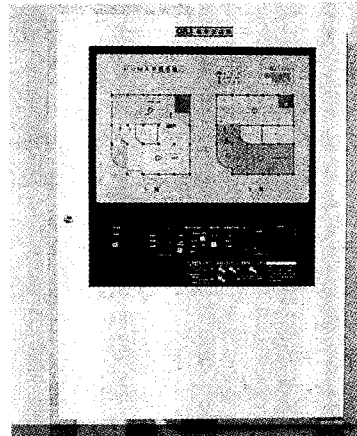


写真5 設備変更前 受信機外観

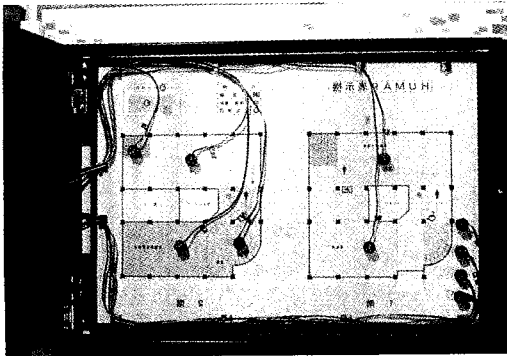


写真3 火災地区灯 移動前

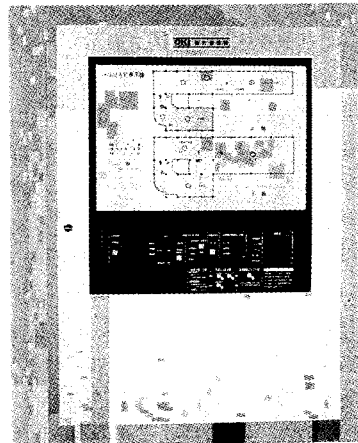


写真6 設備変更後 受信機外観

「消防用テーパーホースの開発」

芦森工業株式会社 根立 敏、広川登朗、中岡孝寿

1 はじめに

一本 (20m) のホースで元部と先端部の呼称を異なるものとするは、非常に難度の高い技術です。テーパーホースは、芦森工業の長い消防ホース製造の歴史のなかで培った技術を結集して完成させた“一本のホースでありながら二つの呼称を持たせた”世界で初めての消防ホースです。その形状を〔図1〕〔写真1〕〔写真2〕に示します。

テーパーホースの商品化は消防検定協会のご指導も得て、特例制度を活用して実現しました。冒頭でも述べた通り、現在消火活動において使用されているホースの大部分は、送水能力も考慮に入れ呼称65と呼ばれるもので、当然一本のホースの呼称は元も先も同じ呼称です。

テーパーホース開発の目的は、一本のホースに二つの呼称を持たせることで、呼称65の性能 (送水能力) を確保しつつ、呼称の大きさから来る問題点〔特に放水時の負担が大きい〕を解決することを目指したものです。これを通して、近年の消防隊員及び団員の高齢化等に対応すると言うものです。

参考までに現在ラインアップを完了しているものと、その諸元の詳細を〔表1〕に示します。

2 テーパーホースの特長

テーパーホースの特長は一言で言うと『操作性と安全性を追求しつつ、ホース本来の性能も実現したホース』です。

規格の上で“大呼称部”と呼ばれる径の太い部分と、

消防用テーパーホース

〈形状〉

概略形状

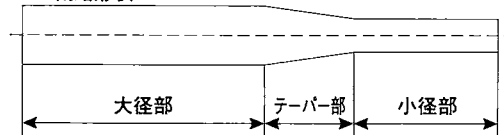


図1

“小呼称部”と呼ばれる径の細い部分そしてこれらを連続的につなぐ“テーパー部”と称する部分から構成されており、それぞれの部分は連続しており、同じ本数のタテ糸と同じ太さのヨコ糸で製織されたジャケットになっています。尚、内張りも継ぎ目のない一体ライニング構造です。

一般に消防ホースは呼称が大きくなればなるほど送水能力は大きくなりますが、これにつれホース重量及びホース内に充填される水の量も増えてくるのでその弊害として消防隊員の消火時のホース保持や移動の負担が大きくなり消火活動に支障を来す場面も多々あると聞いています。例えば、呼称65のホースを一人の消防隊員が筒先で保持し、あるいは火点に向け移動させる事は大変な労力を要し、非常に危険も伴いそれは至難の技と言えます。この負担を軽減するために、使用



写真1

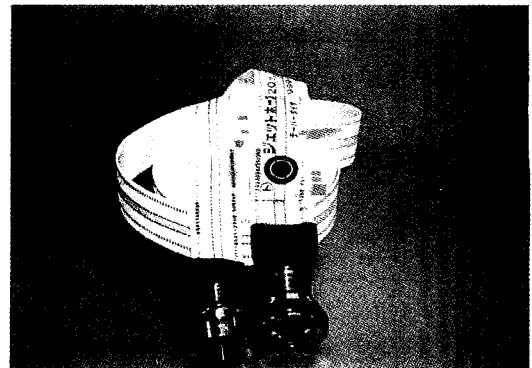


写真2

するホースの呼称を小さいものに代えると言う事で対応していますが、呼称40や50のホースになると保持や移動も非常に楽になり上記場面に比較して労力は、大きく低減されますが流量確保のため圧力をかなりアップしなければならず、圧力的な危険負担はそれほど低減されてはいません。

そこでテーパーホースは、ホースを保持する先端部の呼称を元部より小さくする事で筒先の軽量化を図り、例えば呼称65でありながら呼称50ホースと同等の操作性や安全性を確保しています。各呼称でのホース

の保持力と移動力を〔表2〕に示します。

〔表2〕から小呼称はど負担がかなり改善されていることが分かります。なお放水時には、上記の力の他に筒先のノズル部分に於いて反動力が発生しますが、これは無反動ノズルを使用することでかなり軽減できますので、当社では《テーパーホース》と《無反動ノズル》の併用を推奨しています。

3 圧力損失について

テーパーホースは先述しましたように“大呼称部”

表1 「テーパースシリーズ」のラインアップと諸元

項 目		使用圧力		1.6		1.3	
		65・50	50・40	65・50	50・40		
呼 称		65・50	50・40	65・50	50・40		
品 種		テーパーエース65	テーパーエース65	テーパーエース65	テーパーエース65		
重 量 (g/m)		310±10	240±10	270±10	210±10		
破断圧力	大呼称部	6.5/3.9	7.2/4.8	5.3/3.3	6.1/4.4		
	直/曲 MPa	7.9/4.9	8.0以上/6.7	6.6/4.1	7.7/6.1		
摩 擦 回 数	大呼称部	100	100	100	100		
	小呼称部	170	165	175	155		

※摩擦回数は、大呼称数を100とした場合の指数

表2 ホースの移動力と保持力

呼 称	呼称65	呼称50	呼称40
移 動 力 k g	23	13	9
保 持 力 k g	12	7	4
一 人 操 作 性	×	△	○

消火作業においては、左図の移動力や保持力に反動力が更に作用する。22mmノズルの反動力は下表の通り。

筒先圧力 MPa	0.2	0.3	0.5	0.7
反 動 力 kg	15	20	35	50

移動力→ ホースの筒先を持ち、ホースの先端部10mを前後左右に移動させるために要する力。

保持力→ ホースの筒先を3mを持ち上げ(宙に浮かせる)かつ、維持するために要する力。

と“小呼称部”を結ぶ“テーパー部(1m)”を持っています。テーパーホースの圧力損失ですが、テーパー部に関しては学術的には「断面が緩やかに縮小する場合この形状の変化に伴って増加する“プラス α の圧力損失の上昇”は、わずかに管壁の摩擦がある程度で殆ど0に等しい」と言われており、従ってテーパーホース本体の圧力損失は、“大呼称部”と“小呼称部”の長さに対する圧力損失を単純に加えたものと考えられます。また接続金具についてはテーパーホースの場合、一般的には大呼称ホースとの共通性を持たすため、先端部には異径金具(タケノコ部と接続部の呼称が違う/オス側に使用する)を、元部には通常金具(メス)を取り付けることが多いのですがその圧力損失値も問題にならないものになっています。各種ホースの圧力損失については〔表3〕〔表4〕〔表5〕に、接続金具については〔写真3〕に参考として無反動ノズルを〔写真4〕に示します。

上記しましたようにテーパーホースは、圧力損失も

極めて小さく、送水能力の低下も少ないのでホースの筒先(先端部)だけでなく全線にわたって使用する事も可能にしています。

4 安全性について

筒先隊員の負担を軽減と言うことは、安全面からも非常に重要な課題であると考えます。単に使用するホースの呼称の小さなものを選択すれば負担の軽減にはなりますがその分送水能力が低下し消火に支障を来します。それをカバーしようとして圧力を上げると危険度が増し、また使用圧力の高いホースも必要となります。

テーパーホースは、この相反する性能を、それぞれほぼ満足するレベルまで解決する事が出来ました。

送水能力については前述した通りですが、安全面では筒先を細くすることで長時間保持時の体力の消耗を最小限に押さえ労力的な安全面において大きな効果を発揮します。

表3 各種ホースの圧力損失(ホース10本接続で500ℓ/min流した場合)

ホース	テーパーエース65・50	テーパーエース65・50	ライトエース α	ライトエース α
	(大呼称10m/小呼称10m)	(大呼称15m/小呼称5m)	65	50
圧力損失 (ホース10本分)	0.4MPa (4kg/m ²)	0.3MPa (3kg/m ²)	0.2MPa (2kg/m ²)	0.6MPa (6kg/m ²)

※10本接続なら、元川を0.1~0.2MPアップするだけで呼称65と同等の送水量が得られます。

表4 20mホース1本あたりの圧力損失値

単位:MPa

ホース 流量	呼称65 通常品	呼称65・50 65-15m、50-5m	呼称50 通常品	呼称50・40 50-15m、40-5m	呼称40 通常品
500ℓ/min	0.020	0.030	0.060	0.093	0.19
250ℓ/min	0.005	0.008	0.016	0.024	0.049

表5 流量とホース(20m)の圧力損失

単位:MPa

品目	流量	250ℓ/min	250ℓ/min	250ℓ/min
呼称40ホース(20m)		0.045		
呼称50ホース(20m)		0.015	0.06	0.12
呼称65ホース(20m)		0.005	0.02	0.04
テーパー50/40(大呼称/小呼称→10m/10m)		0.03	0.12	
テーパー50/40(大呼称/小呼称→15m/5m)		0.023	0.09	
テーパー65/50(大呼称/小呼称→10m/10m)			0.04	0.08
テーパー65/50(大呼称/小呼称→15m/5m)			0.03	0.06

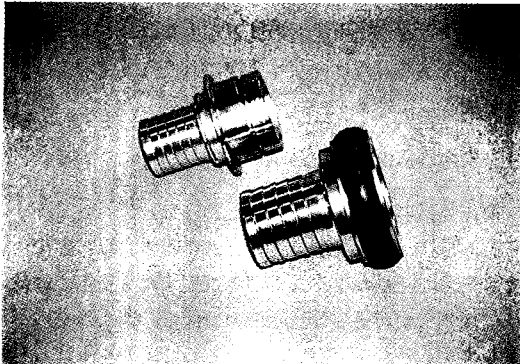


写真3

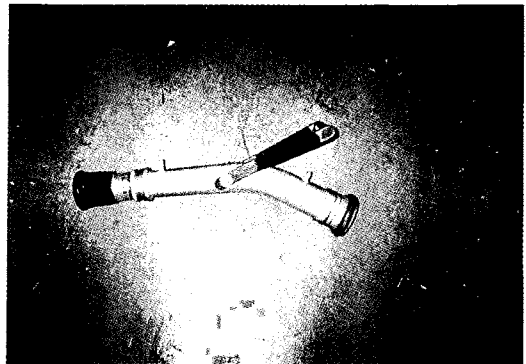


写真4

またテーパーホースのジャケットは、“大呼称部”も“小呼称部”も連続した同じ本数のタテ糸と同じ太さのヨコ糸で構成されています。従って、“小呼称部”では、“大呼称部”よりも外径が小さい分、概略で25%程度タテ糸密度が上がり、この部分では耐摩擦や耐外傷そして圧力面で“1～2ランク上のジャケット組織”となり、ホースの転戦による引きずり等で痛みが激しい筒先部には最適な安全構造になっています。また“小呼称部”では水の充填量も少なくなり、その分接地面圧力も小さいのでジャケットへの負担を更に軽減出来、耐摩擦性や耐外傷性を更に向上させる効果のほか、タンクの水の有効利用などにも役立つと考えています。

5 使用方法について

テーパーホースには、筒先だけでなく全線にわたって使用出来るので色々な場面や場所での使用が可能です。具体的な例については

①筒先に限定して使用する。

これは、テーパーホースの最適な使用方法です。

②分岐の延長ホースとして使用する。

分岐の延長ホースとして呼称50を使用されているところが多いと考えますが呼称50に代えテーパーホースの呼称（50・40）を使用すれば呼称40の使い易さと安全性で水量は呼称50に近い性能が得られます。

③屋外消火栓ホースとして使用する。

あまり訓練を受けていない方が使用する場合もあり、民間による消火活動をより安全に行えます。

④呼称65に代えテーパーホースを全線で使用する。

呼称65に代え呼称（65・50）を使用することにより操作性と安全性を確保しつつ呼称65に近い送水性も確保出来ます。

実際の使用形態（概念）を〔図2〕〔図3〕に示します。

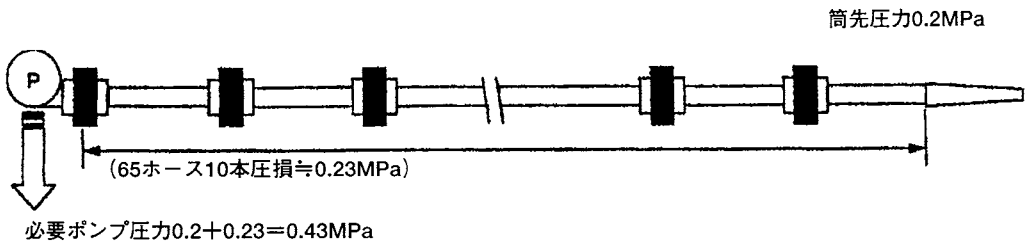
この結果から現在の消防ポンプ性能を持ってすれば発生する圧力損失は十分カバー出来、消火活動に何等支障を与える事なく効率の良い活動が実現出来ると確信しております。

6. おわりに

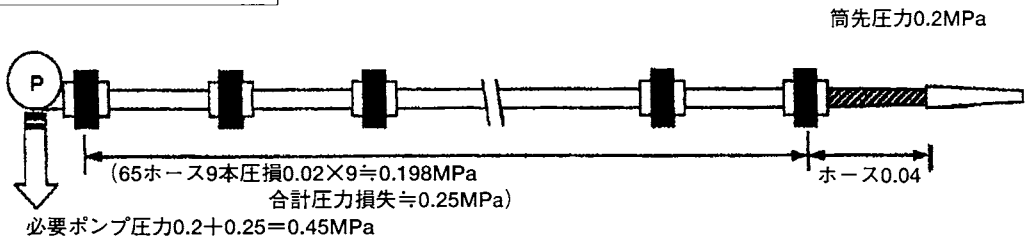
テーパーホースは、当社のホース製造技術と近年の規制緩和の流れにより実現化された新時代の消防用ホースであると考えています。テーパーホースの拡大を通して、その目的である消火活動時の隊員の様々な負担軽減による安全性の確保が出来れば幸いです。

当社は、日本で初めて消防ホースとして水の漏れないラテックスゴム曳きホースを商品化し、以来その先駆的な役割を果たして来ましたが、これに満足する事なく国民の生命と財産を守る新しい機器や資材の開発を目指し精進して行こうと考えています。

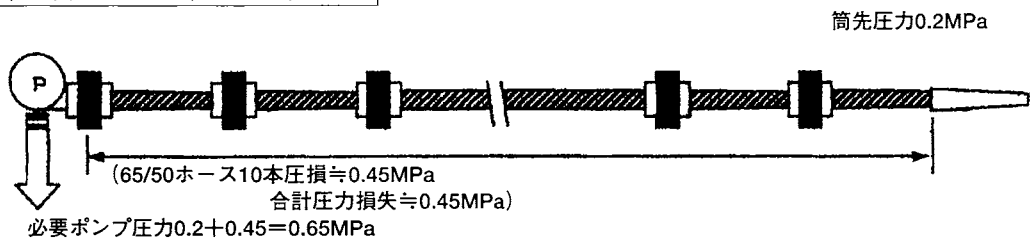
a) 全数65ホース



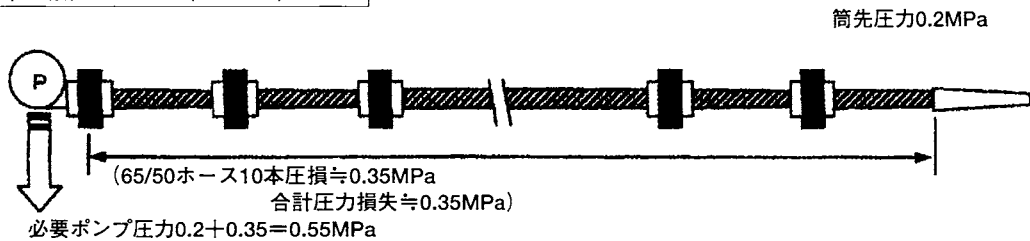
b) 先端のみテーパース



b) 全数のテーパース (10m/10m) ホース



b) 全数のテーパース (15m/5m) ホース



b) 全数 50 ホース

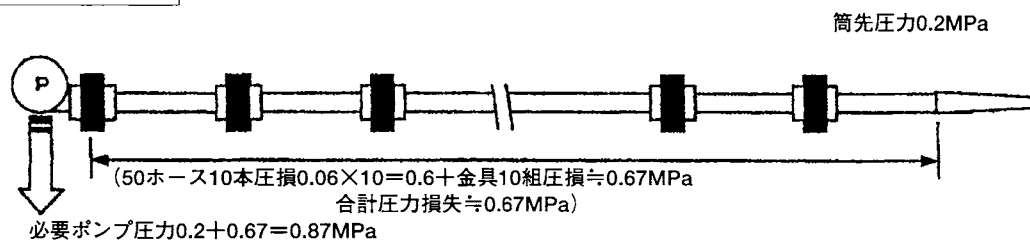
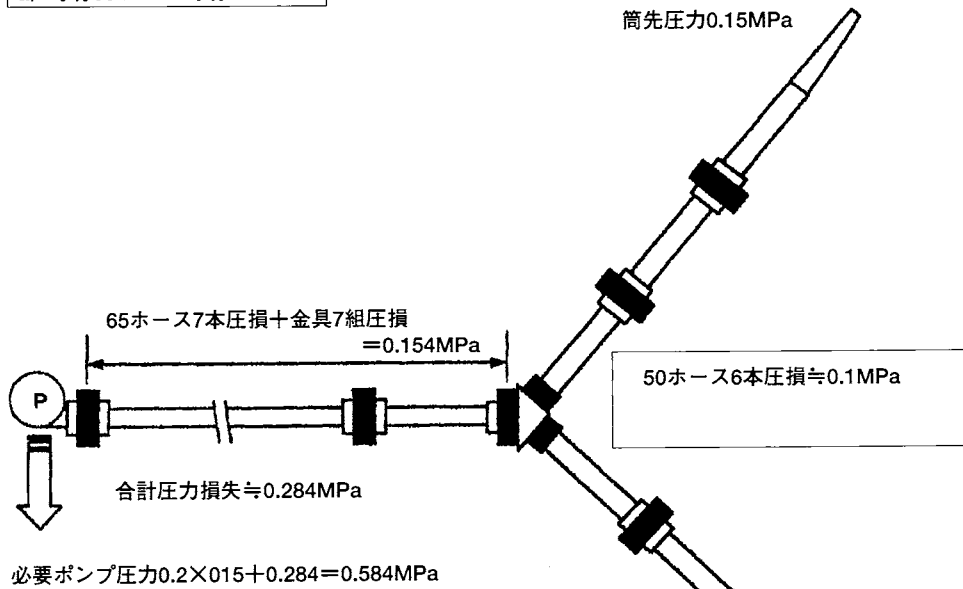


図2 ホースの各使用形態下での必要ポンプ圧力

a) 呼称65ホース/呼称50ホース



b) 呼称65ホース/^{50/40}テーパホース

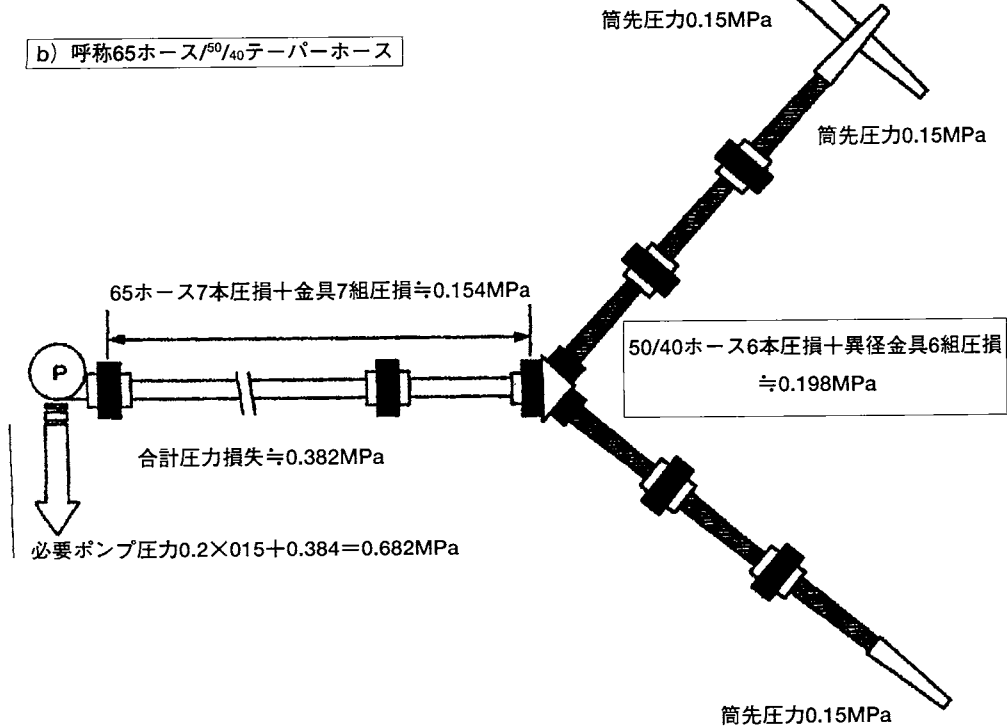


図3 ホースの各使用形態下での必要ポンプ圧力(先端分岐)

「可搬式全自動消防ポンプの開発」

富士ロビン株式会社 波多野洋明

従来の可搬式全自動消防ポンプはエンジンの始動～吸水、エンジンの停止を自動化し、操作の簡略化を図っている。また、上記の操作が自動化されていることにより、離れた地点からもポンプを操作できるので、可搬式全自動消防ポンプを自動車に積載、配管して、運転操作は自動車の側面に設けた操作盤から行うような使い方もされている。さらに近年は、中継送水の子ポンプとして親ポンプからの送水状態に応じて自動運転する自動中継送水制御機能、筒先員による運転操作の可能な筒先操作機能、筒先員と機関員との意思の疎通を迅速に行える筒先通話機能、などの機能を付加したものが専用機として発売されている。

しかしこういった従来の全自動消防ポンプには、様々な問題がある。例えば「全自動」と呼ばれてはいるものの、放水中の操作は中継送水機能以外では自動化されていないこと、ポンプ本機の操作パネルと操作盤の操作パネルの構造が異なるため、操作性が統一されていないこと、上記の付加機能は標準の制御コントローラに付加機能用のコントローラを増設する形で付加されているため、スペースの都合上取り付け構造に無理が生じ、コストも高くなり高価な物になってしまうこと、などである。

そこで今回、新たに放水操作の自動制御機能を盛り込むこと、ポンプ本機と操作盤とで操作性を統一・向上しその配線も容易なものにすること、上記のような付加機能をあらかじめメインコントローラに織り込むことをメインテーマとした可搬式全自動消防ポンプ(以降本機)を開発した。(写真1)

まず放水操作の自動制御機能について説明する。本機には「圧力制御」と「流量制御」の2つの放水制御機能を設けた。「圧力制御」機能は使用するノズルや吸水揚程等の条件を考慮せずとも、一定の圧力で放水することが出来る機能である。また「流量制御」機能はノズルや送水距離等の条件を考慮せずとも、一定の流量で放水できる機能である(もちろんポンプの能力の範囲内である)。

本機では圧力、流量をセンサで計測し、設定した値になるようにスロットルを制御することで、「圧力制御」と「流量制御」を行っている。その為に、計測用に圧力センサをポンプの放水側に設け、流量センサは

既開発品のハンディ型流量計を使用し、設定値の入力部とその確認用の表示部として、それらを一体化したオペレーションパネル(これの説明は後述)を設けた。これにより、例えば担当の筒先員が確実に管鎗を支えることの出来る、使用ノズルでの最大流量をあらかじめ入力しておけば(筒先の反動力はノズル径と流量で決まるので)接続するホースの本数などの条件を考慮せずとも、放水可能な最大流量での放水を常時行うことが出来るようになり、放水作業の効率化が図れる。

次に、操作性の統一について説明する。ポンプを操作するには、操作作用の入力部とポンプの状態等を確認するための表示部が必要である。これらを本機と操作盤とで同一にするために、前述したように入力部と表示部を一体化して一つユニットとし、このユニットを本機の操作パネルと操作盤とに共通して設置することにした。

このユニットは本機ではオペレーションパネルと呼び、図1(写真2)のようなものである。入力部として電源、始動、停止キー、運転制御方式を選択する制御切替キー、後述のデジタル表示部の表示内容を選択する表示切替キー、前述の「圧力制御」と「流量制御」時に設定値を入力する設定値キーがある。また表示部には、設定値などを表示するデジタル表示部、デジタ

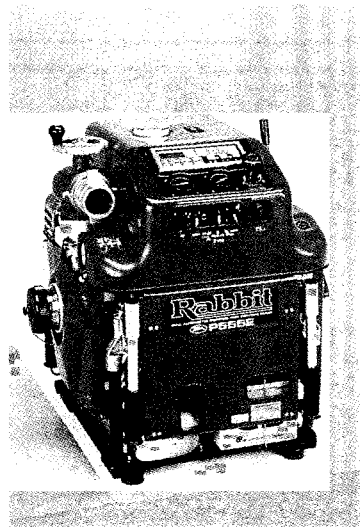


写真1 可搬式全自動消防ポンプ

ル表示部の表示内容を表示する表示モード表示部、そしてポンプの状態について警告表示するモニタ部がある。

これだけの機能を有するユニットを通常に配線すると、一つの入出力部品当りに最低一本の配線が必要になるので、ポンプ内やポンプ～操作盤間の配線数は従来のものに比べてもかなりの増加になり、生産性やメンテナンス性を考えると問題がある。そこで本機では、オペレーションパネルとメインコントローラ間の情報の伝達をデジタル通信で行うようにしたこれによりオペレーションパネルへの配線数は最少で4本ですみ(通信線2本、電源線2本)、従来のものに比べてもかなりの削減になった。

このオペレーションパネルは本機と操作盤にそれぞれ図2及び図3のように設置される。オペレーションパネルに統合されなかった、スロットル操作スイッチも同一のものをほぼ同じ位置に設置し、操作性の統一・向上を図った。またデジタル表示部には前述の設定値の他に、エンジン回転速度、放水圧力、放水流量、冷却水温等の表示機能を設け、ポンプの状態を離れた位置からの操作でも把握できるようにしたことで、操作盤からの操作性を向上させた。

さらに使用部品を共通化することによって、コストを抑えた。

最後に中継送水機能、簡先操作機能、簡先通話機能のメインコントローラへの機能の統合であるが、これについてはコントローラ設計段階の初期から計画に織り込むことで問題なく達成された。簡先側の操作装置や、通話用のマイク付イヤホン、簡先～ポンプ本機間の通信用ホース等はオプションとし、必要な装置さえ

購入すればポンプ本機には何ら手を加えることなく、ワンタッチで取り付けられる様にした。また簡先用の操作装置は、管鎗を支えながら操作するものであることを考慮し、オペレーションパネルよりも簡易なものとした。

中継送水機能は、自然水利活用型小型動力消防ポンプ連結送水システムとして活用できるものである。簡先操作機能は、火災現場の直近におり必要な放水量を最も確に判断しうる、簡先員により運転操作が行えるものである。簡先通話機能は、簡先員とポンプの運転状態を最も正確に把握している機関員との意思の疎通が連絡員を介さずに行えるものである。以上の機能を常装することで、本機は小人数による迅速かつ効率的な放水作業を可能にし、さらにコストの上昇を抑えている。

またその他の、従来のものから継承した機能についても、これまでに発生した問題点や要望事項などを取り入れ、全面的に見直しを行っている。

今回この本機の開発にはコントローラの心臓部にフラッシュメモリ内蔵型の16ビットマイコンを使用した。これは専用のライタさえあれば、基板上に実装されていても外部から容易に書き換えが行えるものであ

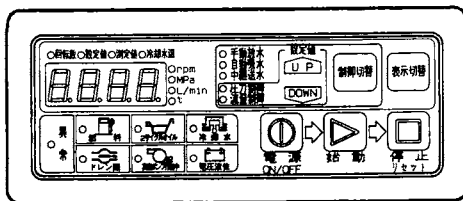


図1 オペレーションパネル

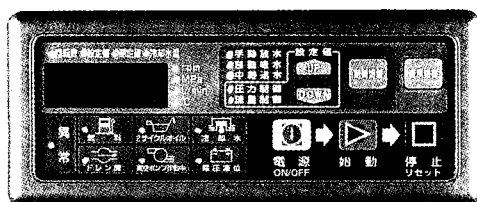


写真2 オペレーションパネル

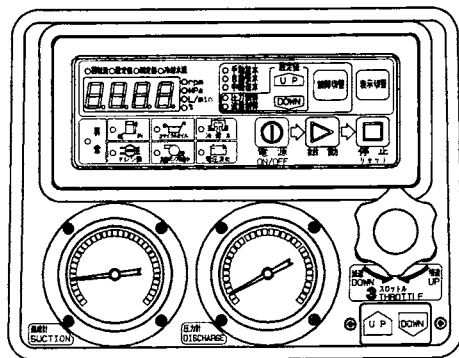


図2 オペレーションパネル実装状態(本機)

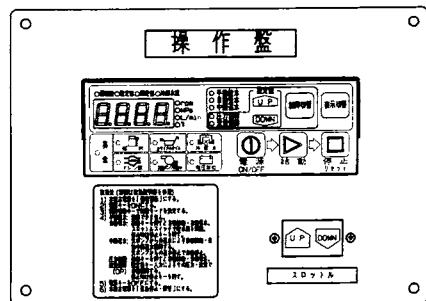


図3 オペレーションパネル実装状態(操作盤)

る。今回の開発では、初期段階においてはエミュレータを介してパソコンで制御を行い、ある程度の調整がついてからはその制御プログラムをマイコンにインプットし、コントローラを実装してテストを行った。パラメータの調整や不具合の修正時もコントローラを取外してプログラムの書き換えを行うだけなので、特に屋外でのテストを効率的に進める事ができた。

また可搬消防ポンプはライフサイクルが長く、その間に出てくる要望事項に対してもその内容によつてな

かなか応じる事が出来ないが、本機は、制御法の修正に関してはプログラムの変更を行うだけなので、迅速に対応できるようになっている。

本可搬式全自動消防ポンプは前述のような各種の機能をフル装備しており、少人数でも様々な消防活動に迅速的確に対応できること、またその取り扱いも容易であることから、今後の消防団員の減少や婦人化にも対応した次世代の高機能可搬式全自動消防ポンプであるといえる。

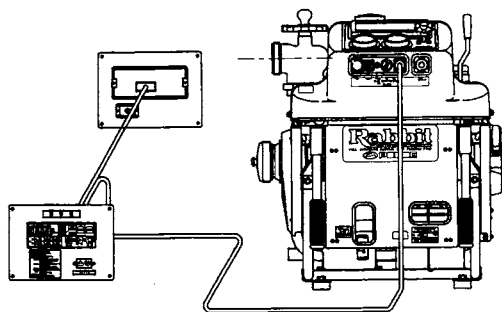


図4 自動車に積載した状態での本機と操作盤の結線状態

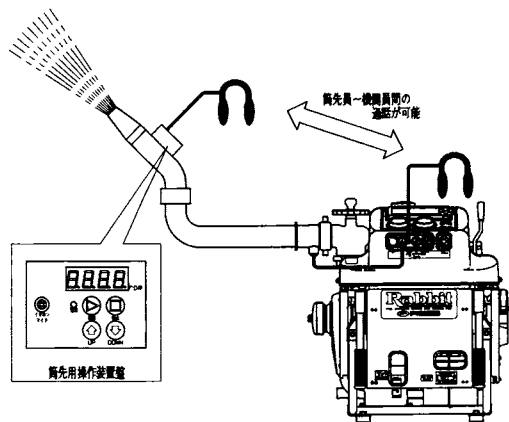


図5 筒先操作・通話のイメージ図

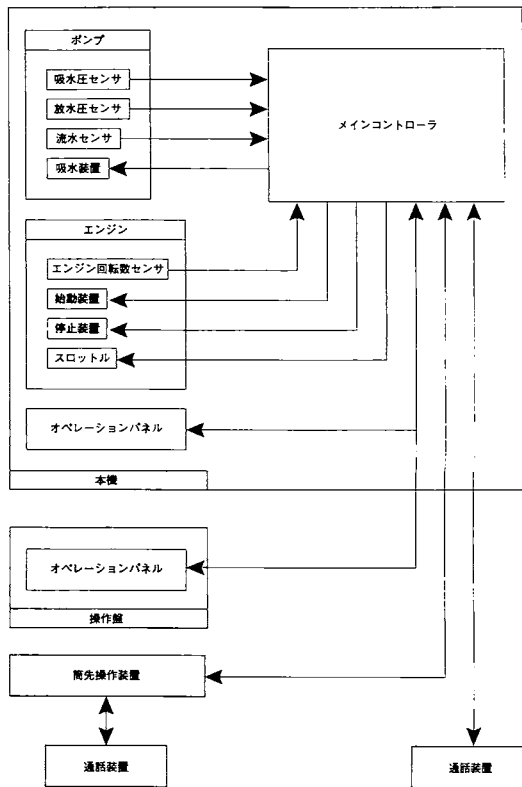


図6 全自動消防ポンプのシステム図

Ⅳ 一般による消防防災科学論文の部 (入選1編)

「RTI-Cモデルによる熱感知器の作動時間の予測」

ホーチキ株式会社 土肥 学、万本 敦、山内幸雄

1 はじめに

建築物における火災安全設計の性能化の流れの中で、火災時の事象を的確に予測するための設計ツールの整備が進められている。避難安全設計において、初期消火や避難開始のトリガーとなる火災感知器の作動時間を的確に予測することは極めて重要である。しかしながら、設置基準の範囲を超えて火災感知器の作動時間を性能的に考慮し、感知器の種類や感度、設置位置を設計するという事例はまだ少なく、作動時間予測モデルの整備が課題となっている。

本研究では、スプリンクラーヘッドの作動時間予測モデルとして知られるRTI-Cモデルを熱感知器に適用し、その有効性を実験によって検証した。また、室内火災における作動時間を予測するため、天井流モデルと2層ゾーンモデルを併用した予測手法を検討したので以下に報告する。

2 RTI-Cモデルの概要

RTI-Cモデル¹⁾は、熱気流から感知器への熱伝達の過程をモデル化したもので、熱気流から感知部への対流熱伝達と、感知部から感知器本体への熱伝導の現象が考慮されている。RTI-Cモデルの模式図を図1に、RTI-Cモデルの一般式を式(1)に示す。式(1)において、RTIは感知部の熱応答の速さを示す指数であり、C'は感知器本体に奪われる熱の割合を示す係数で、それぞれ感知器に特有な値となる。

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI} (T_g - T_s) - C' (T_s - T_B) \dots\dots(1)$$

式(1)において、感知器本体の温度 T_B の変化はゆるやかであると考えられるので、これを一定($T_B = T_0$)であると仮定し、 $\Delta T_s = T_s - T_0$ 、 $\Delta T_g = T_g - T_0$ 、 $C = C' \cdot RTI$ として変形すると式(2)が得られる。スプリンクラーヘッドの作動時間の予測には、主として式(2)が用いられている。本研究では式(2)の適用性について調査した。

$$\frac{d\Delta T_s}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI} [\Delta T_g - (1 + C/u^{1/2})\Delta T_s] \dots\dots(2)$$

感知器の応答特性であるRTIとCは、流速と温度がコントロールされた風洞内で評価することができる。図2(a)は、流速および温度を一定とした風洞内に感知器を投げ込んだ際の感熱部の温度変化のようすを模式的に示したものである。また、図2(b)は、流速一定の条件で風洞内の温度を徐々に上昇させた場合の感熱部の温度変化のようすを模式的に示したものである。図2(a)、(b)に示されているように熱感知器の応答特性は、感熱部の熱応答指数(RTI)と感熱部と感知器本体の熱伝導係数(C)の2つの要素に支配されるが、それぞれの影響の度合は温度上昇のさせ方により異なるので、分離して評価することができる。

3. 実験方法および結果

3.1 RTIおよびCの算出

本研究で実験に用いた感知器の種類と感度種別を表1に示す。これらの感知器のRTIとCを求めるため、図3に示すUL521規格²⁾の熱感知器試験器(Heat detect or testing oven: 以下、UL-BOXと呼ぶ)を用い、水平気流で実験を行った。

①RTIの算出方法

感知器のRTIを算出するために定温式スポット型感知器(アナログ機能付)に対して、UL-BOX内を表2(a)の条件にして投込み試験を行った。投込み試験における定温式感知器のアナログ出力変化のようす

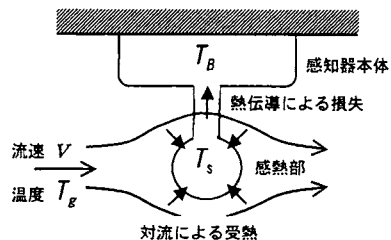


図1 RTI-Cモデルの模式図

を図4に示す。

図4より、定温式感知器のアナログ出力が短時間で試験器内の温度に到達しないことがわかる。これは感知部から感知器本体への熱伝達により熱が奪われるからである。そこで、本研究では、投げ込み温度差の50% (ここでは、50℃) に達するまでの時間をRTIとした。

②Cの算出方法

感知器のCを算出するために定温式スポット型感知器(アナログ機能付)に対して、UL-BOX内を表2(b)の条件にして直線上昇試験を行った。図5に、直線上昇試験における定温式感知器のアナログ出力と、式(2)による予測値を示す。図を見てもわかるように、時間が経過するにしたがって予測値と実測のアナログ出力との差が広がる傾向にある。そこで、本研究では

5分以内のデータを良く近似するCの値を採用することとした。

アナログ出力を持たないバイメタル式の定温式感知器とダイヤフラム式の差動式感知器については、アナログ出力が得られないので、各投げ込み試験および直線

表1 実験に用いた感知器の種類と感度種別

感知器名	種別	備考
定温式スポット型感知器 型名: ATG-TW70RLHY	特種 70℃	アナログ機能付
定温式スポット型感知器 型名: DFH-TA60	特種 60℃	バイメタル式
差動式スポット型感知器 型名: DSC-1	1種	ダイヤフラム式

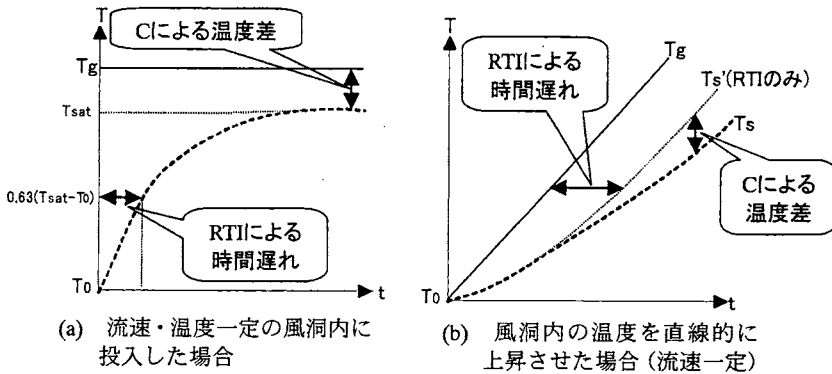


図2 感熱部の温度変化に対するRTIとCの影響

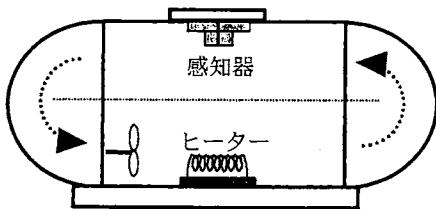


図3 感熱器試験器(UL-BOX)

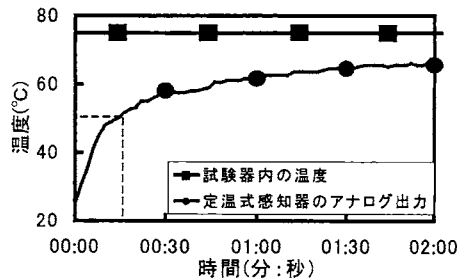


図4 投げ込み試験における定温式感知器のアナログ出力変化

表2 UL-BOXを用いたRTIとCの測定条件

(a) 投げ込み試験の条件

室温	25℃
試験器内の温度	75℃
試験器内の風速	1 m/sec

(b) 直線上昇試験の条件

初期温度	25℃
温度上昇率	1℃/min
試験器内の風速	1 m/sec

上昇試験における作動時間からRTIとCの値を推定することとした。また、差動式感知器は、室温から一定値高い点に定温点を持つ定温式感知器と見なして、RTIとCを推定することとした。

以上の考え方に基づいて3種類の感知器について求めたRTIとCの値を表3に示す。表3に示されているように、実験に用いられた3種類の感知器のRTIとCの値は、ほぼ同等であった。

3.2 燃焼実験の方法と結果

RTI-Cモデルを検証するために、実スケールの実験室内で燃焼実験を行った。実験室内における機器取付位置を図6に、実験条件を表4に示す。また、これらの条件で燃焼実験を行った結果を図7～図8に示す。

図7(a)には、天井付近の水平方向温度分布が、図7(b)には、実験室内の垂直方向温度分布がそれぞれ示されている。図7(a)より、天井付近の温度

は、火源から遠ざかるにしたがって低くなることがわかる。また、図7(b)には室内の上部に形成される高温層の下端が降下するにしたがって、各高さの温度が上昇し始めるようすが示されている。

図8(a)は、定温式感知器のアナログ出力と、RTIとCを式(2)に代入して求めた感知器出力の予測値を比較したものである。この図から、最初の5分間は両者の一致は大変良いが、それ以後、徐々に差が広がる傾向にあることがわかる。表5に、作動時間の予測に用いた各感知器の作動条件を示す。また、表6は作動時間の予測値と燃焼実験時における作動時間(実測値)を比較して示したものである。予測値と実測値の差違は1分以内に納まっている。図8(b)については、次項で詳しく説明する。

3.3 2層ゾーンモデルと天井流モデル併用による作動時間の予測

前項では、実測された感知器付近の温度データを用いて作動時間の予測を行った。この方法では、温度の実測値がないと作動時間が予測できないので実用上は不便である。そこで、ゾーンモデルと天井流モデルを併用して、発熱量データから作動時間を予測する方法について検討した。計算手法の詳細は、Cooper [1982]³⁾、Evans⁴⁾およびYamauchi⁵⁾によるが、計算

表3 各感知器のRTIとCの値

感知器名	RTI	C
定温式 (アナログ機能付)	15	0.3
定温式 (バイメタル式)	15	0.3
差動式 (ダイヤフラム式)	15	0.3

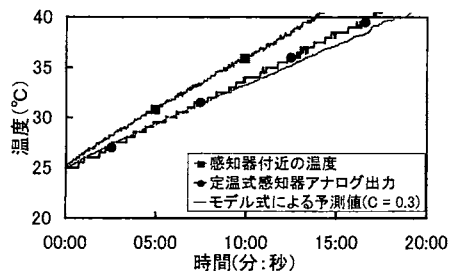


図5 直線上昇試験における感知器の出力変化

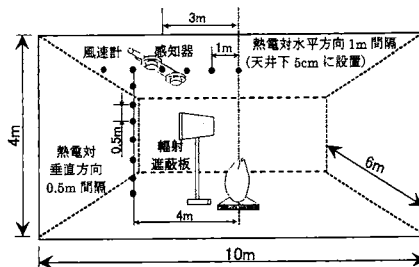


図6 感熱感知器試験器 (UL-BOX)

表4 燃焼実験の条件

実験室面積	10m × 6m
天井高さ	4m
感知器設置位置	火源から水平距離3mの天井
燃焼材	エチルアルコール 2500cc
火皿面積	43.5cm × 43.5cm
平均発熱量	約100kW
熱電対設置位置	・天井付近の温度分布測定用
	・火源から水平方向に1m間隔天井下5cmに設置
	・実験室内温度層の測定用 火源から水平4mの天井から垂直方向に0.5m間隔

手法の概要は以下の通りである。

①区画の幾何学的条件、火源条件および感知器設置条件の設定

ゾーンモデルの入力条件として、区画の幾何学的な条件(天井高さ、床面積、開口の位置および面積)、天井および壁の熱的条件(材質、厚さなど)、火源位置、火源の発熱量 $Q(t)$ を設定するとともに、感知器の設置条件として、種類および感度、火源に対する相対位置を設定する。

②ゾーンモデルによる煙層高さ、平均温度の計算

BRI2, CFASTなどのゾーンモデル計算コードを使

って、煙層下端の高さ Z およびその煙層内の平均温度 T_w を(時間の関数として)計算する。

③等価発熱量および等価火源高さの計算

次式を用いて、煙層中の天井流の温度と流速を計算するための等価発熱量 Q_e および等価火源高さ H_e を(時間の関数として)計算する。

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{6}{5} \alpha_p \left[\frac{9}{5} \alpha_p \cdot Q \cdot g (\lambda^2 + 1) / (\pi \cdot \rho \cdot C_p \cdot T_0) \right]^{1/2} \cdot Z_i^{3/2} \\ Q_e &= Q - \pi \cdot W \cdot \rho \cdot C_p (T_w - T_0) \\ H_e &= H + (\sqrt{Q_e / Q_0} - 1) \cdot Z_i \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

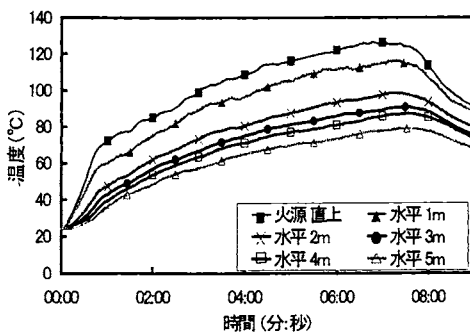
表5 各感知器の作動条件

感知器名	作動温度
定温式(アナログ機能付)	70℃
定温式(バイメタル式)	57.5℃
差動式(ダイヤフラム式)	$T_0 + 15℃$

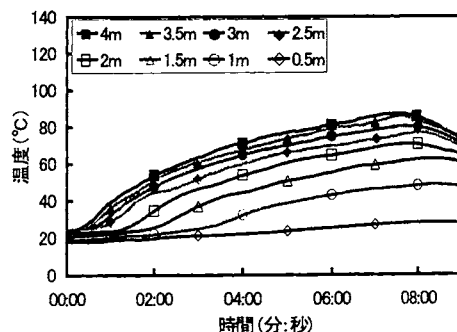
表6 感知器作動時間の実測値と予測値の比較

(単位 分:秒)

感知器名	実測	予測	時間差
定温式(アナログ機能付)	04:12	04:54	+00:42
定温式(バイメタル式)	03:18	03:04	-00:23
差動式(ダイヤフラム式)	00:48	01:02	+00:27

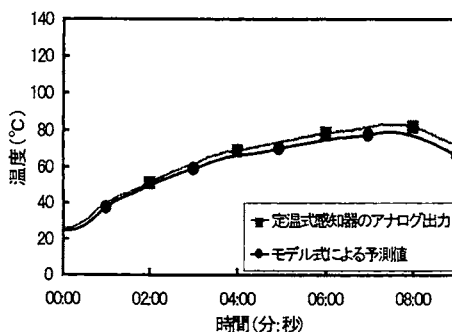


(a) 天井付近の温度変化のようす
<火源直上から1m毎>

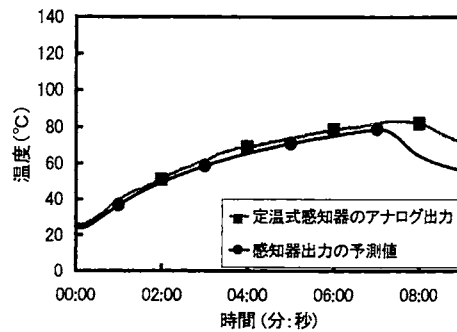


(b) 火源から水平4mの位置における垂直
方向温度変化のようす(0.5m毎)

図7 熱感知器試験器(UL-BOX)



(a) RTI-Cモデルのみによる予測結果



(b) 2層ゾーンモデル・天井流モデル・RTI-C
モデルを併用した手法による予測結果

図8 定温式感知器のアナログ出力と予測値との比較

④感知器付近の温度の計算

煙層を天井流の環境条件とし、等価発熱量 Q_e および等価火源高さ H_e を次式に示したHeskestad⁶⁾モデル [1978]、あるいはAlpert⁷⁾モデル [1972]などの天井流モデルに適用して、感知器付近の温度 T_e 、流速 u を(時間の関数として)求める。

$$\begin{aligned} Q_e^* &= Q_e / (\rho \cdot C_p \cdot T_a \cdot \sqrt{g} H_e \cdot H_e^2) \\ \Delta T_e^* &= (0.188 + 0.313 \times \gamma / H_e)^{0.4} \\ u_e^* &= 0.68 \cdot (\Delta T_e^*)^{0.6} \cdot (\gamma / H_e)^{0.65} \quad \gamma / H_e \geq 0.3 \end{aligned} \quad \dots(4)$$

$$\begin{aligned} \Delta T_e &= \Delta T_e^* \cdot T_a \cdot Q_e^{*0.23} \\ u &= u_e^* \cdot \sqrt{g} H_e \cdot Q_e^{*0.11} \end{aligned}$$

⑤感知器出力の計算

感知器の環境条件(温度 T_e 、流速 u)をRTI-Cモデル(Heskestad⁸⁾ [1976]、Bill Jr.⁹⁾ [1993])に適用して、感知器出力(T_s)を(時間の関数として)求める。

⑥作動条件との比較

感知器出力(T_s)を作動条件(T_{th})と比較し、作動時間を決定する。

以上のような計算手順を用いて、図8(a)と同じ条件で計算を行った。実際の計算にはゾーンモデルとしてCFASTコード¹⁰⁾、天井流モデルとしてHeskestad⁶⁾の実験式を用いた。また、火源の発熱量には、実験中に測定した重量減少速度から推定された発熱量から輻射による損失分(発熱量の1/3を想定)を差し引いた値を用いた。感知器出力の予測結果を図8(b)に示す。また、表7は各感知器の作動時間の予測結果を実測値と比較したものである。

図8(b)および表7を見てわかるように、発熱量データを入力値とした予測手法でも、図8(a)および表6の温度実測データを用いた手法と遜色ない予測結果が得られている。

4 考察およびまとめ

RTI-Cモデルは熱感知器の感知部温度を精度良く

表7 2層ゾーンモデルと天井流モデルを併用した手法による作動時間の予測結果

(単位: 分: 秒)

感知器名	実測	予測	時間差
定温式(アナログ機能付)	04:12	04:50	+ 00:38
定温式(バイメタル式)	03:18	02:55	- 00:23
差動式(ダイヤフラム式)	00:48	01:15	+ 00:27

近似し、作動時間の予測モデルとして有用であることがわかった。しかしながら、感知器本体の温度を一定とする仮定では、時間の経過とともに予測値が実測値と離れていく傾向があり、10分以上の長時間にわたる予測を行う場合には、感知器本体の温度を併せて予測する必要がある。

発熱量データから2層ゾーンモデルと天井流モデルにより天井付近の温度と流速を予測し、さらにRTI-Cモデルにより感知器の感熱部温度を予測する手法は、温度の実測データを用いる方法と遜色ない結果を与え、作動時間予測モデルとして有用であることがわかった。

差動式感知器を室温から一定値高い点に定温点を持つ定温式感知器と同等と見なす考え方は、5分以内の短時間現象の予測には有効であるが、それ以上の長時間にわたる予測を行う場合にはリーク孔による圧力損失の影響を考慮する必要がある。

<参考文献>

[1] Bill Jr., R. G., Thermal Sensitivity Limits of Residential Sprinklers, Fire Safety Journal, Vol. 21, pp.131-152, 1993.

[2] Heat Detectors for Fire Protective Signaling Systems—UL-521, Underwriters Laboratories, U. S. A., 1993.

[3] Cooper, L. Y., Convective Heat Transfer to Ceiling above Enclosure Fires, 19th Symposium (International) on Combustion / The Combustion Institute, 1982 / pp. 933-939.

[4] Evans, D. D., Calculating Fire Plume Characteristics in a Two Layer Environment, National Bureau of Standards, U. S. A., NBSIR 83-2670, Sept. 1983.

[5] Yamauchi, Y., Prediction of Response Time of Smoke Detectors in Enclosure Fires, NBSIR 88-3707, National Bureau of Standards, U. S. A., NBSIR 88-3707, Jan. 1988.

[6] Heskestad, G. and Delichatsios, M. A., The Initial Convective Flow in Fire, 17th International Symposium on Combustion, Combustion Institute, Pittsburg, pp. 1113-1123, 1978.

[7] Alpert, R. L., Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Fire Detectors, Fire Technology, Aug. 1972.

[8] Heskestad, G. and Smith, H. F., Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test: The Plunge Test, FMRC Serial No.22485 Factory Mutual

Research Corp., Boston, Massachusetts, U. S. A., Dec. 1976

[9] Bill Jr., R. G., Thermal Sensitivity Limits of Residential Sprinklers, Fire Safety Journal, Vol. 21, pp. 131-152, 1993.

[10] Peacock, R. D., et al., CFAST, the Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport, National Institute of Standards and Technology (U. S. A) Technical Note 1299, 1992.

<記号説明>

C' : 伝熱係数 [-]
 C_p : 空気の定圧比熱 [kJ/kg・K]
 g : 重力加速度 [m/S²]
 H : 天井高さ [m]
 H_e : 等価天井高さ [m]
 Q : 発熱量 [kW]
 Q_e : 等価発熱量 [kW]

Q^*, Q_e^* : 無次元発熱量 [-]
 RTI : 熱応答指数 [m^{1/2}・s^{1/2}]
 r : 火源からの水平距離 [m]
 T_a : 周囲温度 [K]
 T_B : 感知器本体の温度 [K]
 T_c : 感知器付近の空気の温度 [K]
 T_s : 感熱部の温度 [K]
 T_v : 煙層内の平均温度 [K]
 T_0 : 火源付近の初期温度 [K]
 $\Delta T^*, \Delta T_c^*$: 無次元上昇準度 [-]
 u : 流速 [m/s]
 u^*, u_c^* : 無次元流速 [-]
 Z_i : 煙層下端の高さ [m]
 α_p : 巻き込み定数 [-]
 λ : プルームの温度境界層厚さと流速境界層厚さの比 [-]
 ρ : 空気の密度 [kg/m³]

第47回全国消防技術者会議報告

1 はじめに

本年度の全国消防技術者会議は、平成11年10月21日、22日の両日、都内ニッショーホールにて、全国から延べ766人の消防職員や消防防災機器関係者の参加を得て開催されました。プログラムの概要は表1のとおりです。

今回は、例年行われている特別講演、研究発表、展示発表に加えて、時事講演として「コンピュータ西暦2000年問題と危機管理体制のあり方」を、また「火災原因調査」に関するフォーラムを企画しました。

2 特別講演

特別講演の講師として上幸雄氏（日本トイレ協会事務局長）をお迎えし、「災害とトイレ」と題してご講演いただきました（写真1）。講演の中で先生は、阪神・淡路大震災を例として、災害後には避難所等のトイレが深刻な問題となること、避難所のトイレの管理運営とボランティア活動の関係、今後の災害対策として災害対策用のトイレを日常の訓練・イベント等で使用することの大切さなどについてお話しされ、参加者にとって大変意義深いものでした。

3 時事講演

この会議が西暦2000年を間近に控えた時期であったことから、「コンピュータ西暦2000年問題と危機管理体制のあり方」と題した時事講演を企画しました。ハードウェアの対応はほぼなされている時期であること

から、主に危機管理体制について、消防庁及び各消防本部の対応状況、ならびに今後留意すべき点を、消防庁防災課吉田災害対策官に講演いただきました。

その後、2000年1月末までには、この問題に起因する重大な事故は発生しておらず、これも関係各位のご尽力の結果と思われまます。

4 研究発表

研究発表として17件の応募がありました。そのうち4件を火災原因調査に関するフォーラムに、また1件は展示発表へ変更していただきました。消防研究所からの発表3件をあわせ15件の発表がありました。

発表内容は表1に掲げたとおり、予防、警防、救急救助の各分野にわたっていました。参加された方にとって、少なくともいくつかの発表は関心のある分野のものであったと思われまます。なお、ビデオプロジェクターを使用した発表がいくつかあり、プレゼンテーションの方法に時代の流れが感じられました。

5 フォーラム (写真2)

火災原因の判明率の向上は、火災予防の上から消防防災関係者にとって重要課題の一つとなっています。今回は火災原因調査に関する研究発表の申し込みが多かったこともあり、火災原因調査に関するフォーラムを実施しました。趣旨説明の後4件の発表があり、その後、会場全体で質疑討論が行われました。火災原因調査の担当者が実際に各種のケースを経験することは困難であり、このような情報交換の場が広がることが期待されます。



写真1 上先生による特別講演

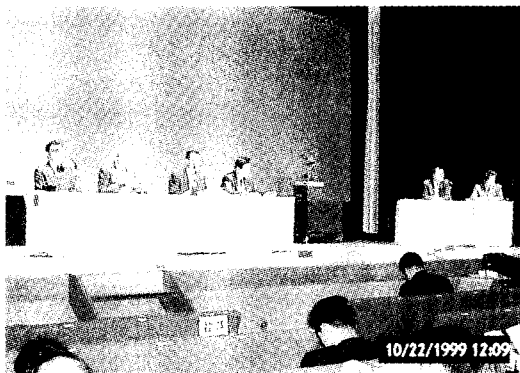


写真2 フォーラムの様子

表1 第47回全国消防技術者会議プログラム(抜粋)

【第1日】	
◎特別講演 「災害とトイレ」	上 幸雄 (日本トイレ協会事務局長)
◎時事講演 「コンピュータ西暦2000年問題と危機管理体制のあり方」	消防庁防災課
◎研究発表 ・液体化学物質用防除資器材の開発 ・消防用ホースを用いた多機能化器具の改良 ・ホースレイヤーの性能等追跡調査について ・隊員安全管理システムの研究開発(第2報) ・廃棄物処理業における火災の実態 ・車両火災の実態と燃焼実験 ・リコール車から出火した地下街火災 ・危険物の判定試験と国際化	東京消防庁 神奈川県 日本消防検定協会 東京消防庁 東京消防庁 名古屋市消防局 東京消防庁 消防研究所
【第2日】	
◎フォーラム 「火災原因調査」 ・趣旨説明 ・洞道内の工事中ケーブルから出火した火災 ・身近な出火危険-天然油脂ワックスの自然発火及びアロマセラピーの異常燃焼メカニズム ・運転停止後のエアコンからの出火について ・荷積み中のタンクローリー火災に係わる原因調査について	消防研究所 東京消防庁 京都市消防局 名古屋市消防局 東京消防庁
◎展示発表 ・ホース延長装置付ホースカーの考案について ・簡単手作り電気火災実験器と市民指導用「身近な出火危険実験器」について ・電動ストレッチャーの研究開発 ・消防用高機能携帯無線機(FiReCOS)実証システムの紹介	香芝広陵消防組合 京都市消防局 東京消防庁 消防研究所
◎研究発表 ・紫川水難救助における低体温下での心肺蘇生について ・消防隊員の体力管理に関する研究 ・模型による街区火災の基礎的研究 ・大震災火災時における地域防災活動拠点の安全性確保に関する研究 ・炎感知器の感度試験に用いる火源の分光特性 ・消火活動で使用した水を火災の熱で固形化する技術の開発について ・ガス系消火剤の混合による消火性能の改善と評価	北九州市消防局 東京消防庁 東京消防庁 消防研究所他 日本消防検定協会 神戸市消防局他 消防研究所

6 展示発表（写真3）

展示発表は一般発表とは異なって、発表者と対面しながら十分に質疑応答の時間がとれること、また、開発した機器等を会場に搬入出来る場合はその機器を手にとって使用方法等を説明できるという特長があります。

今回は4件の展示発表が、第2日目の昼休みを兼ね



写真3 展示発表の様子

た時間帯にニッショーホール2階のロビーを用いて行なわれました。各発表とも、実際に機器を操作しながら、予定時間を超えた熱心な質疑応答が行われました。展示場所の広さ等の制限がありますが、機器の開発に関する研究の場合はとくに有用な発表方法と思われます。研究発表を申し込まれる際には、展示発表という方法についてもご一考いただければ幸いです。

7 おわりに

会場で実施したこの会議に関するアンケート調査では、122名にのぼる多数の方々から貴重なご意見をいただきました。次回開催にあたりましては、いただいたご意見を参考として、より有意義な消防防災技術に関する研究発表の場ならびに情報交換の場と致したいと存じます。

なお、次回は平成12年10月19日（木）、20日（金）に開催を予定しています。多数の方々のご参加をお待ちしております。

平成11年度消防研究所一般公開の概要

平成11年度の消防研究所一般公開が、例年どおり科学技術週間の終了日の4月18日(金)10時から16時まで開催された。天候にもまずまず恵まれ、表1に示すように約500名の参加者があり、昨年に比べて5割以上の増加であった。消防大学の学生が多数参加したほか、消防本部、企業からの参加者も大幅に増加した。また、同時に谷合消防庁長官による視察も行われ、消防庁関係者の参加もあった。

公開内容は、表2に示すように計14項目の公開からなり、中でも『高機能な携帯無線システム』のような日々の現場での消防活動に直接かかわる装備の開発研究に参加者の興味が集まり、活発な質疑が交わされた。また、『樹木と水膜の放射熱・气流温度の低減効果』では、大規模な火災からのエネルギーの強さについて関心を得ることができた。このほか、消防研究所が行っている空中消火実験の紹介(『空中消火による市街地火災の延焼阻止』)等への関心が強かった(写真1及び2)。

その他消防研究所の研究開発とは直接関係はないが、消防庁防災情報室の協力を得て災害現場への支援のための装備としての現地活動支援車の展示と、衛星通信を用いて各地の消防本部との間での衛星回線による画像伝送の実演も行った。これらは、各地で起こった災害をいちやく画像でもって知らせるという点で、その方面の関係者の興味をひいたようである。

また、今回の一般公開でも、例年どおり参加者から多くのアンケート回答を頂いた。その中で、消防研究所の研究成果を一般の方を含めてもっと広く世の中に知ってもらえるように、数日間にわたってこのような公開日を設けたらどうか、土曜、日曜にも行ったらという希望が寄せられた。また、一般の方には実演を増やした方が判りやすいといった意見もあった。研究テーマについては、避難器具の開発研究を望むといった意見もあった。消防研究所の限られた人数と時間の中で、直ちに実行に移すことは困難な状況にあるが、独立行政法人化を控えて今後検討する必要がある。

表1 一般公開入場者数

	平成11年度	平成10年度	増 減
消防本庁・自治省	12	21	- 9
消防大学校学生等	116	7	+ 109
都道府県・政令市等	5	5	-
消防本部	81	37	+ 44
国立研究機関	0	7	- 7
報道関係	3	3	-
関係協会等	21	47	- 26
企業	201	166	+ 35
一般者	53	28	+ 25
合計	492	321	+ 171



写真1 「空中消火による市街地火災の延焼阻止」の紹介の様子



写真2 「高機能な携帯無線システム」の紹介の様子

表2 一般公開プログラム

公開番号	項目	概要	公開場所	公開方法 公開時間
Ⅰ. 消防研究所の紹介等				
1	現地活動支援車と消防本部間の映像受信	衛星通信による各地の消防本部からの映像を現地活動支援車の画像伝送システムにより放映する。	本館入口前	随時
2	消防研究所刊行物の展示	消防研究所刊行物の展示を行う。	情報管理棟	展示
3	消防研究所紹介ビデオの放映	消防研究所紹介ビデオを放映する。	情報管理棟	随時
Ⅱ. 研究・開発の紹介				
4	原油の火災性状	原油の火災性状を調べるために行った実験の概要等をビデオ及びパネルで紹介する。	情報管理棟	随時
5	地震被害情報の収集	簡易型地震被害想定システム、モバイル情報端末等を用いた効率的収集方法の提案等を紹介する。	情報管理棟	随時
6	空中消火による市街地火災の延焼阻止	大震災時における市街地火災を想定し、隣接家屋や飛び火による延焼を、空中消火により延焼阻止を行った実験の概要をビデオ等で紹介する。	情報管理棟	随時
7	ルームカロリメーターによる防災材料の燃焼試験	実規模での防災材料の燃焼性状を評価するためのISO 9705に準拠したルームカロリメーターの試験施設を紹介する。	建築防火研究棟	展示
8	高機能な携帯無線システム	簡単な操作で相手の呼び出しやグループ通話ができ、また、中継システムも備えた消防隊用携帯無線システムを紹介する。	建築防火研究棟	随時
9	画像処理によるくん焼火災感知	空調の気流や高温層の発生等の影響を受けずにくん焼火災を検知する方法として、熱画像を画像処理した検知手法を紹介する。	建築防火研究棟	展示
10	延焼阻止用薬剤混合ポンプ車	大規模延焼火災を阻止する為の延焼阻止用薬剤をポンプ車の吐出量に合わせて、定量的、自動的に混合供給するポンプ車を展示し、紹介する。	大規模火災実験棟南側	展示
11	中高層建物における延焼性状	煙、温度、熱流等の分布の測定により、中高層建物の延焼性状に関する研究するための縮小実験模型を展示し、実験結果を紹介する。	大規模火災実験棟南側	展示
12	深層地下駐車場内の排煙技術	深層地下駐車場内の火災実験用模型を展示し、機械排煙による煙制御についてパネルで紹介する。	大規模火災実験棟南側	展示
13	ガス系消火剤の現状と課題	ガス系消火剤の現状と課題について消防研究所で得られた測定データ等を交えてパネルで紹介する。	総合消火研究棟	展示
14	樹木と水幕の放射熱・気流温度の低減効果	樹木と水幕を併用することにより、火災から地域防災活動拠点が受ける放射熱や熱気流温度を低減させた実験をビデオ等で紹介する。	総合消火研究棟	随時

第3回消防防災研究講演会

1 はじめに

第3回消防防災研究講演会が、平成12年1月21日に、消防研究所情報管理棟大会議室において約50名の参加者を集めて開催されました。午前の部は、「住宅防火を巡る課題」をテーマとし、住宅火災の実態、出火延焼拡大抑制等の基本的な問題について行った研究調査等の結果について3つの講演を行いました。午後の部は「火災感知器の性能規定化を目指した研究」をテーマとし、高天井下の煙流動等に関する実験研究を中心に、全体の消防法規性能規定化の中での位置づけ、研究の目的、概要及び成果の報告について3つの講演を行いました。

2 講演の題目等

講演に先立ち、消防研究所長の亀井浅道が本講演会の趣旨等の説明を含めて挨拶を行いました（写真1）。



写真1 消防研究所長の挨拶の様子

各講演の題目、講演者及びその概要を、表1に示した通りです。午前の部では、予防行政や機器等の普及の観点から火災原因解明に関する質問が、また、午後の部では、実験計測の方法や法規制等に関する質問がありました（写真2）。

参加者は、製造メーカーの技術者が大半を占め、午前と午後を通じ熱心に聴講して頂きました。各テーマの講演後には、両オーガナイザーの司会により討論が行われました。テーマがかなり絞られていたため密度の高い講演が行われたことや本年度は一会場で聴講して頂くことができたことなどから、かなり専門的な内容を含んだ質問や活発な意見交換が行われました。

3 あとがき

平成12年度にも、第4回の消防防災研究講演会を同様な時期に行う予定です。



写真2 午後の部での討論の様子

表1 講演の題目、講演者及びその概要

オーガナイザー	講演の題目	講演者 (所属)	概要
<p>午前の部 山田 常 圭</p>	<p>最近の火災による死者の傾向と死者低減方策についての考察</p>	<p>関 沢 愛 (消防研究所)</p>	<p>住宅火災や建物、人口データに基づいて近年の住宅火災による死者の発生傾向を調べ、死者の低減を図るための方策をソフト、ハード両面から考察した結果を解説した。</p>
	<p>住宅内収納可燃物実態と火災の延焼拡大</p>	<p>佐 藤 博 臣 (鹿島技術研究所)</p>	<p>「中高層建物における火災の延焼に関する研究」に係わる共同研究の一環として実施した住宅内の収納可燃物調査の結果及び広島基町高層住宅や南砂の高層マンションで発生したような上階延焼に関する実験研究を紹介した。</p>
	<p>小規模火源着火によるカーテン等繊維製品の燃焼性状</p>	<p>箭 内 英 治 (消防研究所)</p>	<p>カーテンの燃焼性状、特にごみ箱規模の火災が発生しカーテンに延焼拡大してゆく状況下での燃焼性状を、非防災と防災の違いや繊維素材の違い等の観点から紹介した。</p>
<p>午後の部 松原 美之</p>	<p>火災感知器の性能規定化を巡る動向</p>	<p>渡 辺 剛 英 (消防庁)</p>	<p>火災感知器の性能規定化動向を消防法防火規定全体の動きと関連づけて説明すると共に、解決を求められている技術的課題の体系的なイメージを提供した。</p>
	<p>傾斜天井下の流れ性状</p>	<p>須 川 修 身 (東京理科大学)</p>	<p>火災感知器の作動時間予測手法獲得を目指して実施された、傾斜天井下における気流温度と流速についての予測モデル構築を目ざした研究の概要を紹介した。</p>
	<p>高天井空間での火災感知器の動作</p>	<p>河 関 大 祐 (消防研究所)</p>	<p>火災感知器の作動時間予測手法獲得を目指して実施された、高天井空間等における気流温度と流速把握に関する実大規模での実験研究の概要を紹介した。</p>

消防研究所の研究活動

『消防研究所報告』掲載論文の概要

消防研究所で行った研究成果の一部は、『消防研究所報告』として刊行され、国内・国外の学界、研究機関、都道府県、消防学校、大きな都市の消防本部等に頒布しております。研究の詳細についての御希望や御意見等がございましたら、消防研究所まで御連絡下さい。

深層地下駐車場の吸引機械排煙による排煙効果
一駐車場の両端を給気口とした場合— (平成10年
6月30日受理)

渡部勇市、松島早苗、山田常志

天井高に対して、平面積が比較的広い空間を有する地下4階の深層地下駐車場模型(縮尺1/10)を用い、建築基準法施行令で定められた排煙量をもとに吸引機械排煙実験を行った。火源には、地下4階の中央部に乗用車1台を想定し、給気口として駐車場両端の階段、斜路を使用した。火源から発生する二酸化炭素を煙の流れとみなし煙流動、煙濃度の推定を行い、駐車場の吸引機械排煙による排煙効果について調べた。

その結果、次のようなことが判った。

- (1) 出火防煙区画内の煙層は、機械排煙量 $0.026 \text{ m}^3/\text{s}$ (実大 $500 \text{ m}^3/\text{min}$ 相当)では垂れ壁高さ 0.16 m より厚くなり、煙は隣の防煙区画へ拡大した。拡大した煙は流入空気の流れ込みによって出火防煙区画内の下層部に逆流し、煙濃度が濃くなった。
- (2) 機械排煙量を2倍に増加させることにより垂れ壁下の流入空気による遮煙効果と排煙ダクトによる煙排出効果が強く作用し、煙は隣の防煙区画へ拡大せず、出火防煙区画内上部に煙を留めることが可能になった。

ガス系消火剤を添加した火災中におけるCO生成のモデリング (平成10年12月2日受理)

佐宗祐子、鶴田 俊、斎藤 直

火災時におけるハロン代替消火剤の使用によるCO毒性危険を予測することを目的に、消火剤を添加したメタン-空気対向流拡散火災中のCO生成特性を数値計算により調べた。ハロン1301を添加した場合、火災中のCO最大濃度とCO生成速度にほとんど変化は無く、HFC-227ea添加火災では消火剤濃度とともに著しく増大し、窒素添加火災では消火剤濃度の増大に伴い低下した。窒素またはハロン1301添加火災はCO生成

帯がひとつであるのに対し、HFC-227ea添加火災では、通常の反応帯に加え火災の酸化剤側に消火剤の酸化によるもうひとつのCO生成帯が見られた。火災中で消費される全炭素量で標準化したCO生成量は、消火剤の種類や濃度によらずほぼ一定であった。これらの結果は平衡論的解析による結果とは大きく異なり、火災中のCO生成特性が速度論支配であることを示している。

二酸化炭素及びフッ化炭化水素消火剤を添加した液体可燃物蒸気-空気混合気の燃焼限界 (平成10年
11月30日受理)

尾川義雄

液体可燃物蒸気と空気の可燃性混合気に、フッ化炭化水素消火剤(HFC系消火剤)を添加した場合に混合気が可燃性となる危険性を検討するため、溶剤等に広く用いられるエタノール、アセトンおよびトルエンについて、消火剤添加混合気の燃焼限界を管状火災バーナーを用いて測定した。エタノール-空気およびアセトン-空気混合気にHFC系消火剤を添加した場合、燃焼下限界が広がる領域が認められたが、トルエン-空気混合気の場合には下限界の広がりは見られなかった。混合気の当量比の計算から、HFC系消火剤添加混合気のおよその燃焼下限界が推定できることが示唆された。

空中消火活動時における落水の地上衝撃力 (平成
10年12月9日受理)

平賀俊哉、金田節夫

空中消火時における落水の地上での衝撃力に関する実験を行った結果、次のことがわかった。

- (1) 水のうから放出された水は、①：放水直後の連続した棒状の水の流れから、周期性をもつカルマン渦を伴った流れへと変る。この渦を伴った落水の流れは、周辺空気を巻き込んで、②：水滴群の流れとな

り、更に崩壊分裂を繰り返し、③：降雨状の流れとなつて地上に降り注いでいる。放水高さが高くなると地上付近での降雨状の流れは、顕著となる。落水の地上衝突時には、②、③の流れが周期性をもちつつ断続的に着地している。また、③の始点は、水のうの放水部分の口金から20m程度下方に位置している。

- (2) 位置エネルギーが増せば衝撃力も増加するのが基本であるが、これが成立しているのは、①放出された水が塊状で落下している放水高さ (h_a) 約20mまでである。この間で衝撃力 (I_p) が最も大きいのは、 $h_a=20m$ の時、 $I_p=180kgf/m^2$ であった。
- (3) $h_a>20m$ では、 h_a が増したのにも関わらず①の $h_a=20m$ の値より I_p が小さくなって120~150kgf/m²の間にある。 $h_a>20m$ の衝撃力 I_p について、放水量を70ℓ、700ℓ、1200ℓと変化させても I_p に大きな差は観られなかった。

ヘリコプターの飛行による後流の発生 (平成10年12月1日受理)

金田節夫

火災場上空を飛行するヘリコプターが発生する後流が地上の火災に及ぼす影響を地表付近の特徴的な煙の動きとして捉え、後流の発生する場合の飛行条件である高度と速度とについて検討を行った。この結果、高度40m以下、速度毎秒13m以下の飛行で後流の影響と考えられる渦流の動きが地上の煙に見られた。

さらに過去の事例と比較検討した結果、ヘリコプターの後流速度を高度と速度の積から推定できることを明らかにした。

消防活動支援用ベランダ昇降ロボットの開発 一実物大模型を用いた昇降動作の実証一 (平成11年7月14日受理)

西 晴樹、山田 實、天野久徳

はしご車による消防活動が不可能な高層住宅火災に建物外部から対処することを目的に、高層住宅の火災発生位置に、ベランダを昇降しつつ、迅速に到達し、偵察あるいは資機材運搬を行い、消防活動を支援するベランダ昇降ロボットを考案し、その有効性を確認するために、実物大模型を試作し、昇降動作の検証を行った。

検証の結果、考案したベランダ昇降ロボットが想定した高層住宅のベランダに適用可能であることを確認した。

東北日本東方沖の地震によるやや長周期地震動特性

(平成11年7月15日受理)

座間信作

気象官署の気象庁1倍強震計記録に基づき、東北日本東方沖の地震による東北日本の気象官署でのやや長周期(2~20秒)地震動特性について検討した。その結果、マグニチュード(M)と地震モーメント、カットオフ周期との関係を適切に設定することで、M6クラスの幾つかの地震記録を用いて大地震の加速度スペクトルを精度良く予測することができることを示した。これを踏まえ、この地域に想定される最大地震規模の地震に対するやや長周期地震動の予測を試み、石油タンクで溢流等の被害を生じる恐れのある地域、周期帯を示した。

深層地下駐車場の吸引機械排煙による煙制御について 一給気口の配置による煙流動への影響一

(平成11年7月29日受理)

松島早苗、渡部勇市、山田常圭

地下駐車場の排煙設備のうち、防煙区画の大きさ、垂れ壁高さ、排煙量は建築基準法により定められているが、給気口については定められていない。深層地下駐車場のような天井高さに対して、床面積が広い空間では、吸引機械排煙時に給気口の配置により空気の流れが変わり、その流れが煙流動に大きく影響するものと考えられる。地下4階層の地下駐車場模型(縮尺1/10)を用いて、吸引機械排煙実験を行い、給気口の配置が煙流動に与える影響について調べ、次のような結果を得た。

- (1) 給気口の位置が、出火防煙区画内よりも出火防煙区画から離れた他の防煙区画にある方が、垂れ壁下の遮煙効果により給気口側にクリーンな空間を確保でき、消防活動に有利である。
- (2) 給気口の位置が、出火防煙区画から離れた他の防煙区画にある場合は、排煙量が大きい方が遮煙可能な時間は長くなった。

経験的グリーン関数法により推定した1995年4月1日新潟県北部の地震の震源断層の破壊領域 (平成11年7月29日受理)

畑山 健、座間信作

1995年4月1日に新潟県北部で発生した地震($M_{JMA}=5.5$)の震源断層上のアスペリティの大きさと位置を、3地点での近地波形記録と経験的グリーン関数法による合成波形をフォワードモデリングにより適合させることにより推定した。推定されたアスペリティ面積は、Somerville・他(1998)による地震モー

ントに対する全アスペリティ面積の経験的相似則と非常によく合致する。また、近年日本国内で発生した Mw 6 程度の 3 つの地震の震源過程に関する既往の解析結果を検討した結果、これらの地震のアスペリティ面積も Somerville・他 (1998) の経験的相似則と調和的な関係にあることがわかった。

中高層集合住宅の噴出火炎性状に関する実験的研究 (第 1 報) (平成 11 年 8 月 2 日受理)

鈴木 健、関沢 愛、佐藤博臣、山田常圭
箭内英治、栗岡 均、木村安良

中高層建物の延焼拡大防止を図るためには、外壁開口部から噴出する火炎による延焼拡大の性状を明らかにし、延焼拡大防止対策上考慮すべき外壁開口部の条件、また中高層集合住宅等に多く見られるバルコニー形状の延焼性状に対する影響を考察することが重要である。中高層建物を模した縮尺約 7 分の 1 の模型を作成し実験を行った。

その結果、以下のことが明らかになった。バルコニー設置により火災室内の温度が高くなるとともに、火災室の上階のバルコニー下面に高温の空気の滞留が生じた。また、噴出火炎のトラジェクトリーは、バルコニーが浅いほど壁面に近づいた。火炎の水平噴出長さは、バルコニー深さに関係しなかった。

市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究 一その 1 複数棟火災の風上への延焼阻止一 (平成 11 年 8 月 4 日受理)

竹元昭夫、山下邦博、佐藤晃由、古積 博
寒河江幸平、金田節夫、岩田雄策

倒壊した家屋が媒体となって風上方向に拡大する市街地火災（火災最前線の一区域）を対象にして、空中消火による延焼阻止の可能性について火災実験を行って検討した。

その結果を以下に要約する。

- 1) 延焼阻止の効果を上げるためには、高密度の投下水が延焼阻止帯に正確に散布される必要があることが判った。
- 2) 霧状散布は、放射熱で発火した小火、火の粉あるいは再燃による小さな炎など比較的小きな燃焼区域に対しては十分な消火効果が認められた。しかし、火勢のある大きな燃焼区域への単発的な霧状散布では効果は期待できない。
- 3) 火勢が弱まっそきている状態では濃い霧、霧状散布であっても 60 秒以内の時間間隔で連続的に散布することによって一時的に延焼阻止帯を形成することは可能であるが、そのまま放置すると 3～4 分で再燃する可能性が大きい。
- 4) No. 19 のような超高密度の散布をすることにより 20 分前後の延焼阻止の継続時間を確保することができる。従って、1,200 ℓ クラスの散布を飛行可能な低空飛行で行うことが望ましい。
- 5) 家屋 B 3 のような火災荷重が 100 kg/m² もある家屋の下層部に火が入り、内部燃焼に移行してからは表面への散布が超高密度であっても消火、延焼阻止は難しいことが判った。
- 6) 延焼阻止を効果的に行うためには、倒壊家屋そのものよりも、路上に散乱した火災荷重の小さい延焼媒体への散布が効果的であることが判った。

消防研究所「研究懇話会」要旨

[平成11年2月8日]

深層地下駐車場の機械排煙による煙制御について—給気口の配置による煙流動の影響—：松島早苗、渡部 勇市、山田常圭、笠原 勲、樋渡 潔、張本和芳

地下駐車場の排煙設備のうち、防煙区画の大きさ、垂れ壁高さ、排煙量は建築基準法により定められているが、給気口については定められていない。深層地下駐車場のような天井高さに対して、床面積が広い空間では、吸引機械排煙時に給気口の配置により空気の流れが変わり、その流れが煙流動に大きく影響するものと考えられる。地下4階層の地下駐車場模型（縮尺1/10）を用いて吸引機械排煙実験を行い、熱気流の温度分布測定から給気口の配置が煙流動に与える影響について調べ、次のような結果を得た。

- (1) 給気口の位置が、出火防煙区画内よりも出火防煙区画から離れた他の防煙区画にある方が、垂れ壁下の遮煙効果により給気口側にクリーンな空間を確保でき、消防活動に有利である。
- (2) 給気口の位置が、出火防煙区画から離れた他の防煙区画にある場合は、排煙量が大きい方が遮煙可能な時間は長くなった。

[平成11年2月8日]

白浜温泉ホテル天山閣の火災概要について：関沢 愛

1998年11月17日午後6時頃、和歌山県の白浜温泉ホテル天山閣本館から火災が発生し、折からの強風も影響し天山閣敷地内の建物に次々に延焼して、同敷地内の建物延べ約12,600㎡のほぼ全体を焼失した。しかしながら、宿泊客、従業員は全員無事に避難することができた。白浜町消防本部およびホテル天山閣の従業員に対するヒヤリング調査から、当日の宿泊客53名のうち、山火時に火災発生場所である本館で出火階より上にいた宿泊客は、5階の客室で夕食をとっていた9名であり、他の大半の客は火災発生地点から離れた場所、あるいは本館の1階、または2階にいた。こうした在館状況と、出火当時に停電が起らず、また避難経路が避難誘導された時点では煙により汚染されていなかったことが、無事に避難できたことの原因であると考えられる。

[平成11年3月8日]

大震災火災時における地域防災活動拠点の安全性に関する研究—実家屋燃焼実験による樹木と水幕の放射熱低減効果に関する検討—：吉原 潜、佐藤晃由、寒河江幸平、山下邦博、米村省一

火災による放射熱や煙・熱気流に対する地域防災拠点の安全性を確保する一つの方法として、周囲に樹木と水幕を併用することが考えられる。実規模の火災において、水幕装置が支障なく運転可能であるか、水幕により樹木を保護できるか、また放射熱をどの程度低減出来るかについて検討する事を目的とし、北海道足寄町において廃屋を用いた実家屋燃焼実験を行った。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 高さ4mの位置から上下方向に水を噴霧する長さ4mの水幕ノズルと、可搬式エンジンポンプを使用する水幕装置は、水幕ノズルが火炎に接する状況において正常に運転することが出来た。
- (2) ほぼ無風状態のもとで、樹木（シラカシ、樹高：8m）の火災側前面に平均粒径100 μ の水を1㎡当たり4L噴霧することにより、樹木の損傷を軽減し、放射熱低減効果を持続出来ることが分かった。
- (3) 水幕で保護されない樹木と、水幕で保護された樹木のそれぞれ裏側（燃焼家屋の反対側）で放射熱を観測した。水幕で保護された樹木裏側では、水幕で保護しなかった樹木裏側に比べて、水幕による低減効果と樹冠が保持されたため、放射熱は火災最盛期において、40%程度低減していることが分かった。

[平成11年3月8日]

石油タンク内部開放検査による溶接欠陥の数と寸法について：山田 實、真家敦子、西 晴樹

石油タンクの各溶接継ぎ手部の疲労強度を評価するにあたり、現状における開放検査時に検出される溶接欠陥の大きさやその数等の情報は重要であるが、これらについて報告されたものは見あたらない。

そこで、消防本部あるいは事業所から入手した容量が15万ℓ以上の8基の旧法タンクに関する3回の開放検査報告書を基に、磁粉探傷試験で検出された溶接欠陥の数と寸法を集計し、開放検査毎の変化を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 底板部のブローホールを除いて、3回目の開放検査では溶接欠陥がほとんど検出されなかった。
- (2) 2回目の開放検査において検出された割れ(CR)と融合不良(LF)の寸法は、1回目のものに比べてかなり小さくなっており、その長さが15mm以下、深さが4mm以下であった。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼阻止に関する実験的研究—その1 実験概要—：山下邦博、佐藤晃由、古積博、竹元昭夫、金田節夫、寒河江幸平、岩田雄策

市街地火災の延焼特性は気象条件に左右されることから、強風下の1棟火災に対して2機のヘリコプターにより水を投下(空中消火の意)して、火勢抑止効果及び延焼阻止効果について検討した。強風下においては火災が風下方向に集中するため延焼速度など方向依存性が高まり、風下方向への延焼拡大は速くなるが、風上方向あるいは風横方向への延焼拡大危険性は小さくなった。このため、風上方向への延焼阻止効果は期待していた効果が見られた。また、ヘリコプターから投下された水は風下方向に流されるため、水の散布範囲が拡大した。また、飛行高度が高くなると投下した水の大部分を対象家屋に落とすことは難しくなることを確認した。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼阻止に関する実験的研究—その2 ヘリコプターの飛行高度と飛行速度—：金田節夫

上空のヘリコプターから地上の火災へ放水し、空中消火を行う場合に問題となる散布目標への放水の到達やローターから発生する後流(ダウンウォッシュ)が火災へ及ぼす影響を把握するための野外実験で、高度や速度の飛行条件を精度高く測定した。飛行方向を側面から望む位置にレーザー距離計を設置し、放水前から放水後までの距離計と機体中心部間の直線距離を精度±1mで、また精度±2分で仰角を数秒間隔で測定し、地上からの高度に換算した。さらに機体の移動に伴う距離計の旋回角から精度±30秒で直前の測定点との移動距離及び所要時間を求め、各測定点間の区間速度を算出した。放出前後の変化を中心に、一飛行当たり十回以上の測定を行った。後流の測定は飛行経路直下の測定点に地上1.5mの高さで超音波風向風速計を設置し、水平及び垂直の風向風速を精度±1%で1秒間隔で、測定点直上通過以前から放水終了までを測定した。

全33回の飛行中30回の飛行についてその高度と速度のデータが得られ、昨年度までの画像による計測では得られなかった放水に到る高度と速度の推移が、数秒間隔で精度高く求められるようになった。さらに900リットルの放水による重量変化が生じて、機体に与える高度の変化はほとんど確認できなかった。飛行経路直下の地表における瞬間風速と風向の測定は33回の飛行についてデータが得られた。昨年は撮影画像における煙の動きから後流の有無を見つけたが、今回は風速の経時変化の中に定量的な変動として5回の飛行に後流が確認できた。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼阻止に関する研究—その3 ヘリコプターからの投下水の落下拡散状況—：佐藤晃由、寒河江幸平

大震災時の同時多発火災においては、地上からの消防力には限界が生じることから、ヘリコプターによる空中消火活動が期待されている。このため、本研究では消防防災ヘリコプターから投下された水の落下拡散性状を調べ、地上での散水分布を把握することを目的とし、苫小牧市において行われた火災実験におけるヘリコプターからの投下水のビデオ画像を解析し、水の水速ベクトル分布を調べた。その結果、空中から落下し、地面付近に達した水塊の落下速度は10m/sから12m/sの成分が多かった。さらに、コンピューターシミュレーションによる

投下水の落下拡散性状を把握する手法について検討した。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼阻止に関する実験的研究—その4 投下水の散布範囲と散布密度—：寒河江幸平、竹元昭夫、山下邦博

ヘリコプターから投下された水の散布範囲、散布密度は延焼阻止や火災抑止に重大な影響を与え、風速、飛行高度、飛行速度、散布水量等に左右される。今回の実験は、風速が毎秒約10mという強風下で行われたが、このような強風下での実験事例はこれまではなく、飛行高度が高いと投下水が風に流されて霧状になるケースがみられ、中には30m流されたケースもあった。散布範囲はビデオ撮影及び目視により、散布密度は散水マス等で観測を行った。確定できた散布範囲は比較的小さく150㎡～200㎡程であった。ビデオ観測から推測すると、投下水が最も多く散布されたのは、第1実験では投下目標である家屋A付近、第2実験では家屋Aと家屋A'の中間であり、家屋周辺での散布密度は散水マスによる結果とほぼ一致した。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼阻止に関する実験的研究—その5 火災性状と家屋間における気流温度分布—：上田孝志、橋上 勉、菅原法之、橋本好弘、山下邦博

火災の進展に伴って窓・外壁・屋根が破損し、火勢の強さが変化した。刻々と変化していく火災に対して水を投下すると、屋根・外壁・火炎などの存在により、燃焼実体に到達できる水量が変わり、火勢抑止効果などに影響が見られた。そこで、最初に、家屋の燃焼状況を観測して、ヘリコプターから水投下が行われた時の火災条件を明らかにした。次に、火災の進展に応じて連続的に水を投下した時の効果の違いを火災長や温度変化から検討した。更に、水投下を中止した後の再燃状況と隣接家屋への延焼拡大状況を観測して水投下の影響を確認した。最盛期に水を投下すると火勢を一時的に弱め、火炎温度も下がるが、数十秒経過すると元の状態に戻った。しかし、連続的に水を投下しても、炎上家屋全体の火勢を弱めることはできなかった。火災の減衰期においては、水を連続的に投下すると火勢が徐々に弱くなり、建物内の火炎温度が減少した。この期間に、水の投下を中止すると火勢は強くなり、火炎温度は再び上昇した。このように減衰期においては屋根や外壁がなくなることから水を連続的に投下している期間だけ火勢を抑止できることがわかった。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼防止に関する実験的研究—その6 空中消火による放射照度の変化—：岩田雄策、古積 博、山下邦博

平成11年1月に苫小牧市においてヘリコプターによる空中消火実験を行った。今回の実験では、火災の初期段階から連続的に空中消火(水散布)を行った。空中消火中に放射計及び熱画像装置を使って放射照度と隣接家屋の表面温度の変化を測定した。放射照度の測定結果に基づいて、散布による火勢抑止効果について検討した。その結果、以下のことが判った。

- (1) 火災初期～最盛期の火災においては延焼家屋前の放射照度は散布直後は一時的に減少したが約1分後には散布前の値を上回ることが多く効果は限定的である。火災減衰期の火災や木材クリブの火災に対する散布では、散布後には放射照度は再び増加したが散布前の値に戻らず、一定の効果が期待できる。
- (2) 熱画像から得られた延焼家屋壁面の温度は、散布が対象物に対して行われた場合散布前の温度より低く、建物を冷却させる効果が期待できることが判った。

[平成11年4月12日]

市街地火災に対する空中消火の延焼阻止に関する実験的研究—その7 家屋間延焼阻止効果及び飛び火火災の火災抑止効果—：竹元 昭夫 山下 邦博 寒河江 幸平

独立家屋火災から風上家屋への延焼阻止(第2実験)、並びに大火災時の飛火による火災への火勢抑止効果(第3実験)を目的に、ヘリコプターからの散布実験を行った。この実験での風上への延焼状況、並びに連続散布による延焼阻止効果、落下水の散布密度の状況による消炎効果等について、以下の報告を行った。

1) 第2実験においては、必要な時期に有効な散布が行われず、最終的には延焼を阻止できなかった。しかし第3実験のその2(7.3m角木材クリブ全面火災)で観測されたように有効な散布を行えば、延焼阻止帯の形成は可能である。2) 第2実験においては、風上の延焼媒体への延焼及び放射熱による延焼媒体の自然発火が見られなかった。これは家屋A-A'間の水溜まりからの水蒸気の発生、冷たい強風による冷却効果と可燃性ガスの吹き飛ばし等によるものと思われる。3) 第2実験では、散布飛行終了後に家屋A-A'間の南側延焼媒体から風上側へ延焼した。これは家屋Aの風上で最後まで燃焼していた部分で、残っていた小火が延焼媒体の下層部に延焼し拡大したものである。14、15回目の散布飛行がこの部分に効果的に散布されていたら、完全に延焼阻止できた可能性は大きかったものと思われる。4) 第3実験(その1)の飛び火火災については、燃焼面積の直径が3m程度で、表面燃焼中に散布をすると火災抑止が可能であるが、深部まで燃焼が進み、かつ風速が大きいと、上層部は消火できても風下側の下層部で延焼が進み消火は困難であった。しかし、第3実験(その2)のような、ホバリングに近い速度で、高密度の散布を行えば火災抑止の可能性はあるものと思われる。

[平成11年6月21日]

経験的グリーン関数法により推定した1995年4月1日新潟県北部の地震の震源断層の破壊領域：畑山 健、座間 信作

1995年4月1日に新潟県北部で発生した地震($M_{JMA}=5.5$, $M_w=5.3$)の震源断層上のアスペリティの大きさや位置の推定を、消防研究所の3つの観測点で得られた近地波形記録と、余震記録を小地震記録とした経験的グリーン関数法による合成波形記録のS波部分(0.1~10Hz)を、フォワードモデリングによりフィットさせることにより行った。断層面上に正方形のアスペリティがあるものと仮定すると、一辺が2.5kmで中心が震源を原点としてストライク方向(ほぼ南西方向が正)に1km、ディップ方向(地表向きが正)に2kmの場所にある場合が最適であることがわかった。この地震の規模は、Somerville・他(1998)による地震モーメントに対する全アスペリティ面積の経験的相似則の基データとなったどの地震よりも小さいにもかかわらず、推定されたアスペリティ面積は彼らの相似則に非常によく合致する。近年日本国内で発生した M_w 6程度の3つの地震のアスペリティ面積もSomerville・他(1998)の経験的相似則と調和的な関係にある。以上より、Somerville・他(1998)の経験的相似則の M_w 5.3から6の範囲における信頼性が高いことがわかった。

[平成11年6月21日]

消火と延焼阻止について：高橋 哲

基礎実験を通じて、消火は目的部分の燃焼を停止させる事、延焼阻止は想定阻止帯の燃焼を停止させた上で、さらに放置燃焼部分からの熱の流入を燃焼継続時間の間遮断する必要のある事、を明らかにした。この概念に基づいて、これまでに行なってきた実大延焼阻止実験と基礎実験は、同じ原理に支配されていることを伝熱理論で定量的に説明した。

[平成11年7月12日]

1998年北関東・南東北豪雨災害時の福島県南部における斜面災害について：新井場公徳

1998年8月26~31日に発生した斜面災害について、福島県南部における調査から以下のことがわかった。

- 1) 斜面を構成する土層の特性により、崩土は比較的小規模であるが長距離・広範囲に流動し、災害の甚大化と救助の困難さの原因となった。
- 2) 崩壊地は従来の基準では危険と判定されない場所が多く、ソフト的対策が必要である。局地的降雨量分布でみれば、崩壊2~3時間前から危険な状況であったと判定できた。
- 3) 深層崩壊で中学校が被災した。豪雨から遅れて発生する深層崩壊は発生場所・時間の予測が困難であるが、地下水構造から予想は可能である。避難先になりうる箇所では、調査を行う利点があると考えられる。
- 4) 障害者施設や新規住宅地等、既存コミュニティの周縁未利用地の開発箇所での人的被害を生じた例が多い。

[平成11年7月12日]

飛行速度と放水のずれ：金田節夫

空中消火において、目標上空で放水した水流は水塊の前進速度が無くなると同時に主流が崩壊（break-up）し、分散した水滴群となり、これはさらに分裂して、降雨状の流れとなり、地上に到達する。地上の自然風が強ければ水滴群は風に流され、目標から外れてしまい、放水が効果的に目的を達成しなくなる。そこで地上の自然風と放水の散布された範囲との関係を、放水開始点と散布範囲の中心位置までの距離を「放水のずれ」として求めた。飛行方向に対し横風となった自然風速を6（m/s）未満から、10（m/s）以上の間で4階級に分けて検討した。実験における飛行速度は6から13（m/s）で、高度は20から46（m）の範囲であった。この結果、放水のずれと飛行速度との関係は、風速6（m/s）未満では飛行速度と放水のずれが正の相関の高い結果となった。6（m/s）以上になると近似直線が横軸と平行に近くなり、相関関係を示さなかった。さらに放水のずれと飛行高度との関係は6（m/s）未満の風速の近似曲線が上方に凸の形状となった。10（m/s）以上の風速値においては負の相関関係を示す右下がりとなり、他の2階級の風速範囲においても明確な傾向は示さなかった。

今回の飛行条件においては地上の風速が6（m/s）未満であれば、放水のずれと速度との相関関係が高いため、目標とする散布中心への放水開始点の推測が容易となること、及び放水のずれは飛行高度よりは速度の依存性が高いことが判った。

[平成11年9月13日]

中高層建物の噴出火炎性状に関する実験的研究—バルコニー深さと、燃焼性状、噴出火炎の高さおよび長さの関係：関沢 愛、鈴木 健

中高層建物の外部開口喧山火炎による延焼拡大性状を明らかにするために、中高層建物を模した縮尺約7分の1の模型を用いた火災実験によって、開口条件、バルコニー深さの延焼性状に対する影響を調べた。その結果、以下のことが分かった。

- (1) バルコニーがある場合、それが無い場合に比べて火災室内の温度が高くなるとともに、火災室の上階のバルコニー下面に高温の空気の滞留が生じた。
- (2) 噴出火炎のトラジェクトリは、バルコニー深さが小さいほど外壁面に近づいた。
- (3) 噴出火炎のバルコニー先端からの水平突出長さは、バルコニー深さには依存しない。
- (4) 噴出火炎のバルコニー先端からの上方突出長さは、バルコニー深さが10cmのときバルコニーがない場合よりむしろ大きくなった。しかし、バルコニー深さが10cmより大きくなると上方への突出長さは小さくなった。

[平成11年9月13日]

**開発した統合化無線システム（FireCOS）の概要：松原 美之、田村 裕之、細川 直史、遠藤 真
概要**

FireCOSは高機能型携帯無線機をベースに開発され、固定系無線システムとの接続と中継器使用等の機能もっている。民間企業と共同研究を実施し、イーサネット、TCP/IP、PIAFS、PHS等可能な限り標準化された技術を採用し、最小規模から最大規模のどのレベルからでも導入できるシステムとした。

[平成11年10月18日]

大型ヘリコプターによる空中散布実験—その1 散水密度の計測結果：竹元昭夫、金田節夫、山下邦博

陸上自衛隊の大型ヘリコプターCH-47（積載水量5.3トン）による空中消火実験の実施に先立ち、同ヘリコプターによる飛行高度及び飛行速度を変えた散布実験を行い、散水密度、散布範囲等を測定して効果的な延焼阻止を図るための飛行条件について、以下の報告を行った。

- 1) 飛行速度40ktでは効果的な消火又は延焼阻止をできない。
- 2) 散水密度を5 ℓ/m²以上で、飛行方向の散布長さを10m、散布の幅を4 m以上が消火及び延焼阻止に効果的であると仮定すると、20kt以下の飛行速度となる。
- 3) 散水密度を10 ℓ/m²以上で、飛行方向の散布長さを10m、散布の幅を4 m以上が消火及び延焼阻止に効果的であると仮定すると、飛行高度200ftでは10kt以下、飛行高度150ftでは20kt以下の飛行速度となる。また、飛行高度250ftでは5 ktの場合も有効である。
- 4) 飛行高度150ft、飛行速度10ftでは、ダウンウォッシュの影響が観測

されたが、これは自然風の風向の影響を受けているようである。5) 飛行速度が速いほど自然風の影響を受けやすく、散布範囲は飛行コースの風下側に傾く。6) 自然風によって投下水が風下側に流されるため、高密度散布範囲はヘリコプターの飛行コース側に偏る。

[平成11年10月18日]

ニューラルネットワークによるAE源位置標定精度について：真家敦子、山田 實、本間恭二

実際の構造物でAE源の位置標定（破壊源探査）を行うとき、その標定精度はAE波到達時刻の読みとり誤差に大きく影響される。そこで、ニューラルネットワークを利用してAE源の位置標定を行うことで、従来の最小二乗法による方法よりもAE波到達時刻の読みとり誤差の影響を受けにくいことを示した。ニューラルネットワークによる位置標定方法の標定精度はニューラルネットワークの学習に依るところが大きい。本報告では、AE波到達時刻の読みとり誤差を含む入力と学習パラメータ（学習データの数および配置、学習回数）との関係が位置標定精度に与える影響についてシミュレーションで検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) AE波到達時刻の読みとり誤差が大きい場合には3チャンネル、正三角形のセンサ配置がよい。
- (2) 学習データは位置標定範囲内に均一に配置し、さらに位置標定範囲の境界線上に追加するとよい。
- (3) 読みとり誤差が大きくなると学習回数が少ない方が標定精度が小さくなる傾向がみられた。

[平成11年11月8日]

市街地火災時における空中消火の火災抑止効果に関する研究—その1 室内実験による消火水量の検討—：金田節夫、山下邦博、竹元昭夫、佐藤晃由、古積 博、岩田雄策、寒河江幸平

市街地火災を想定した木材クリブ火災模形を対象として、直接及び間接消火による空中消火を前提とした効果的な散布方法を検討するために、室内実験を行った。25 (kg/m³) の火災荷重の模型により、直接消火については、13回の実験を行い、一放水当りの散布密度が5 (ℓ/m²) 以上、及び累積総散布密度が30 (ℓ/m²) 以上になれば、延焼阻止あるいは、消火に至ることがわかった。泡消火剤による間接消火については、2回の実験を行い、4倍近く異なった散布密度としたが、両者とも延焼速度の低下率は、約25%であった。

また、非散布部分の延焼速度に回復するまでの時間を推定すると、5 (ℓ/m²) 以上の散布密度であれば、約1時間以上の延焼遅延時間が得られることがわかった。

[平成11年11月8日]

プラスチックパレットの難燃化とその燃焼性：箭内英治、山田常圭、那波英文

燃焼時に環境への影響が少なく燃焼抑制効果のあるノンハロゲン難燃剤により、小さな火源では火災を起こさせない、また、ある程度の大きな火源でも急激な燃焼を起こさせないプラスチックパレットを作成する目的で、ノンデカ難燃剤（ハロゲン系）、赤りん十ポリりん酸メラミン、赤りん十メラミンシアヌレート、赤りん単独、赤りん十水酸化マグネシウム、水酸化マグネシウム配合の難燃化パレットを作成し、プラスチックパレットに必要な物性試験、酸素指数燃焼試験やコーンカロリメータを用いた燃焼試験などのベンチスケールでの燃焼試験と実物の1/4規模の半実大燃焼実験を実施した。その結果、次の難燃化プラスチックパレットがほぼ目的に適合したものであることが分かった。

- 1) 水酸化マグネシウム50%添加のプラスチックパレット
- 2) 赤燐4.6%十水酸化マグネシウム50%添加のプラスチックパレット
- 3) 赤燐9.1%十水酸化マグネシウム50%添加のプラスチックパレット

[平成11年12月13日]

ナトリウム燃焼における特異な着火と容器材料の効果：廖 赤虹、鶴田 俊、斎藤 直

ナトリウム固体残渣が室温で着火する条件および挙動を調べるために、熔融ナトリウム温度を150℃～600℃、消火剤としての酸素濃度を0.5%～5%に変化させて実験を行った。その結果、ナトリウム固体残渣の室温での着火はナトリウムが燃えたかどうかに関係なく、酸化物がカリフラワー状に成長さえできれば室温で着火する可能性があることがわかった。また、従来消火できるとされた酸素濃度3%以下の雰囲気中においても、ナトリウ

ム酸化物表面に断続的に着火する現象があることを発見した。実験結果により、ナトリウムの加熱温度と雰囲気酸素濃度が上述の現象に与える影響も明らかにした。

銅およびステンレス容器を用いて窒素中でナトリウムを加熱すると、容器表面に形成された酸化物が消失し、色調の変化する現象が観察された。熔融ナトリウムから生じたナトリウム蒸気が、容器表面に沿って窒素気流上流部まで広がっていることが推定できる。

[平成11年12月13日]

動燃アスファルト固化処理施設の火災爆発原因に関する考察—廃液中に含有した炭酸水素ナトリウムの分解が及ぼす影響—：孫 金華、唐 婉瑩、長谷川和俊

火災、爆発が発生した動燃のアスファルト固化処理過程に関して、通常に比べると、3つの特異性があった。本研究では、アスファルト固化体の反応性に及ぼす3つの特異性の影響について、実験的な研究を行った。実験では、高温高速蒸発法で、リン酸塩を含有する場合としない場合の廃液について、異なる送液速度で数種類の模擬アスファルト固化体を製作した。製作した各模擬アスファルト固化体内の塩粒子の構造は、走査型電子顕微鏡で観察し、塩粒子の比表面積は、BET法で測定した。模擬固化体の反応性に関しては、熱流速計C80Dを用いて検討した。次の結論が得られた。

1. 廃液の送液速度が遅い場合、製作した模擬固化体内の塩粒子の多くは多孔質になっており、粒子の比表面積が大きかった。このような模擬固化体の発熱量は低温領域で相対的に大きかった。多孔質化は炭酸水素ナトリウムの分解によるものと解釈された。
2. リン酸塩を含有する廃液で製作した模擬アスファルト固化体は、含有しない場合より、発熱開始温度は10℃ほど低く、低温領域の反応熱量も高かった。また、リン酸塩の存在が高温でより多くの炭酸水素ナトリウムの分解を促すことを示した。

以上のことは、3つの特異性が発災の原因であることを裏付けるものであった

消 研 輯 報 第 53 号

平成 12 年 3 月 印刷

編集者兼
発行者

自治省 消防庁 消防研究所

東京都三鷹市中原 3 丁目 14-1
電話武蔵野三鷹 (0422) 44局8331