

消研輯報 43

平成元年度

〔グラビア〕

- 雪上動力ホース延長車

〔紹介〕

- 石油タンク間の延焼二例
- 第一回火災研究の国際協力フォーラムに参加して
- イエローストーン公園の山火事

〔解説〕

- 雪上動力ホース延長車
- 原油火炎から生ずる煙粒子
- オゾン層破壊とハロン規制について
- プラスチックの燃焼によって発生する有毒ガス
- 自動火災報知報備の非火災報低減のための作動レベルについて
- 泡消火薬剤の吸い込みとその混合に関する研究

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻67号(1989年3月)、通巻68号(1989年9月)掲載論文の概要
 - 「消防研究所月例研究会」要旨
-

目 次

〔グラビア〕

- 雪上動力ホース延長車

〔紹介〕

- 石油タンク間の延焼二例……………湯本太郎…… 3
- 第一回火災研究の国際協力フォーラムに参加して……佐々木弘明…… 9
- イエローストーン公園の山火事……田村裕之、山下邦博、稲垣 実……14

〔解説〕

- 雪上動力ホース延長車
…… 亀井浅道、山田 實、天野久徳、吉岡政行、森 晃二、嶋田 旭……20
- 原油火炎から生ずる煙粒子……………古積 博……22
- オゾン層破壊とハロン規制について……………佐宗祐子……26
- プラスチックの燃焼によって発生する有毒ガス……………守川時生……30
- 自動火災報知設備の非火災報低減のための
作動レベルについて……………竹元昭夫……35
- 泡消火薬剤の吸い込みとその混合に関する研究……………林 幸司……43

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻67号（1989年3月）、
通巻68号（1989年9月）掲載論文の概要……………52
- 「消防研究所月例研究会」要旨……………54

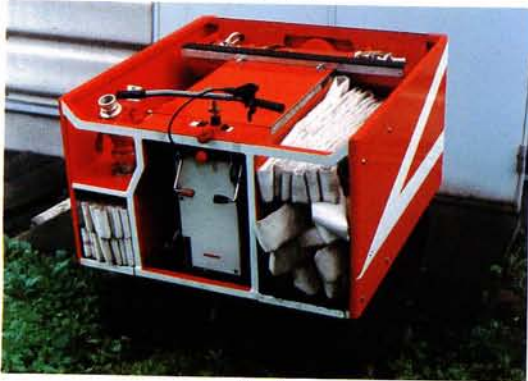
雪上動力ホース延長車



▲ 写真 1



▲ 写真 4



▲ 写真 2



▲ 写真 5



▲ 写真 3



▲ 写真 6

写真 1. 走行中の雪上動力ホース延長車

写真 2. 積載部および操作部

写真 3. ホース延長風景

写真 4. 登坂性能試験風景

写真 5. 雪原走行試験風景

写真 6. 山道走行実験風景

写真 7. 車両への積み下ろし

(本文p.20参照)



▲ 写真 7

石油タンク間の延焼二例

湯本太郎

1. はじめに

ロイズ週間災害報告(Lloyd's Weekly Casualty Reports)の火災と爆発(Fires and Explosions)の項から、石油タンク、化学プラント及び油井の爆発・火災並びに石油及び天然ガスのパイプラインの爆発・火災の事故例を集め出して、もう10年経った。

その間、興味を引いた事故例はいくつもあったが、中でも「クウェートの石油タンクの爆発・火災」と「ベネズエラの発電所の爆発・火災」は特に興味を引いた。

以下に、上記2件の事故の概要と、なぜ、これらが特に興味を引いたのかその理由を述べる。

なお、ロイズ週間災害報告は世界各地のロイズの代理店から送られてくる記事を初めとして、世界的な通信社であるAP、UPI、ロイター及び地元新聞社の記事を載せたもので、世界中の大きな事故災害をほぼ網羅している。

しかし、その記事の大部分は、火災の最中に当該事業所や消防あるいは警察から聞き込んだいわば速報的なものである。

事故によっては、その後、消防あるいは防災関係の雑誌等に災害事例として詳細な内容が発表されるものもある。

幸い、「クウェートの石油タンクの爆発・火災」は「クウェートで大規模タンク火災²⁾として、「ベネズエラの発電所の爆発・火災」は「発電所の石油タンク大爆発²⁾」「発電所大火災³⁾」「タンク火災ボイルオーバーで多数死ぬ」(Scores Die in Tank Fire Boilover)⁴⁾及び「タコアでの火災地獄」(Fiery Hell at Tacoma)⁵⁾という題で詳細な内容が発表されている。

ここでは、上記の文献のうち、1、2及び5をもとに事故の概要を述べる。

2. クウェートの石油タンクの爆発・火災

1981年8月20日午前2時15分頃、クウェートのシュアイバ(Shuaiba)港にあるクウェート国営石油会社のシュアイバ製油所のナフサタンク1基が爆発・炎上した。火災は隣接するタンクへ次々と広がっていった。6日間燃え続けた火災によりタンク8基が大破したほ

か、配管類も大きな損害を受けた。タンク内約118,000kl及び配管内約300klの石油が焼失した。爆発の際に1名が死亡した。事故原因はナフサ貯蔵タンク区域の配管から漏出した油に、何らかの火が着いたものと考えられている。全損害額は今日の価格にして160億円とされている。

図1は事故発生場所概略図¹⁾である。図の1号から6号は容量25,600klのナフサ貯蔵タンクで、7号から10号は容量11,500klの中間製品貯蔵タンクである。なお、1号から6号はホルトン型浮き屋根タンクであり、浮き屋根と側板との間にパンタグラフ形のシューがある。この種のタンクはシューと側板とのすき間を通じ、油面から大気中に油の蒸気が発散する恐れがあると言われている。

そして11号は固定屋根で容量5,100klの廃油タンクである。

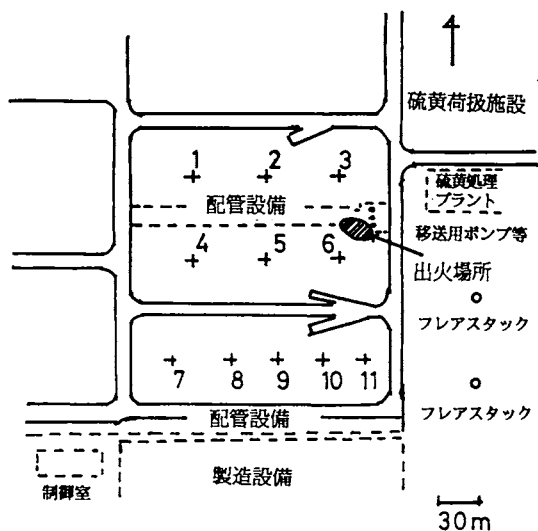


図1 事故発生場所概略図

図の中の1から11はタンクの番号を示す。

2.1 事故の経過

20日午前2時15分頃、図1の6号タンクとナフサ移送配管及び多岐管の中間区域で火災が発生した。

その後、6号タンクの北東側下方からタンクの屋根

の高さまで火災が拡大し、出火から30分後にはタンクのシール部分に着火、リング火災となり、地上65m以上の高さまで火災が上がった。

その後の火災の拡大はタンクからタンクへの放射熱によるものである。

3号タンク及び5号タンクは冷却し続けたにもかかわらず、20日の午前11時30分頃3分たらずの時間において出火した。

同じ午前中に8号タンクのリムにも着火したが、これは短時間で消火できた。

その後8号タンク及び10号タンクから煙の上がるのが見られたが、この時点では出火には至らなかった。22日午後6時頃、8号、9号及び10号タンクから出火し、23日午後1時には2号タンクが出火し、24日午前9時15分には1号タンクから出火した。

25日早朝、最後まで燃え続けていた1号タンクに泡による消火が試みられ、その日の午後10時30分ようやく鎮火した。

なお、4号タンクは火災時には空であった。また、8号、9号及び10号タンクは消火活動中、下部に若干油を残す程度まで油を抜いた。

以上が「クウェートの石油タンクの爆発・火災」の概要である。

2.2 石油タンク間の延焼

それでは「クウェートの石油タンクの爆発・火災」のどこに興味を引かれたのかと言うと、2.1 事故の経過の「その後の火災の拡大はタンクからタンクへの放射熱によるものである」と書かれている部分である。つまり、炎が直接、隣接タンクに触れることなく次々と延焼した点である。

一般に、石油タンク間の延焼の仕方は、1)炎上中のタンクの炎が直接、隣接タンクに触れて延焼する場合と2)炎上中のタンクの炎が直接、隣接タンクに触れることなく延焼する場合に大別できる。

なお、上記1)には、後で述べる「ベネズエラの発電所の爆発・火災」のように炎上タンクがボイルオーバーを起こし、噴出した火のついた油により隣接タンクが延焼するような場合も含めた。

では、なぜ「炎が直接、隣接タンクに触れることなく次々と延焼した点」に興味があるのかと言うと、著者はこの事故の起こる5年以上前に、炎上中のタンクの炎が直接、隣接タンクに触れることのない無風時における石油タンク間の延焼について、2基のオープンタンク（屋根のないタンク）を使って実験的研究を行っていたからである。

2.3 蒸気引火

ガソリンを入れた直径1mのオープンタンク2基を使った実験から、炎上中のタンクの炎が直接、隣接タンクに触れることのない無風時における石油タンク間の延焼は、次のような過程をとることが分かった。⁶⁾

まず、炎上タンクの炎からの放射熱によって隣接タンクの液温が上がり燃料蒸気の発生が促進される。次いで、この蒸気がタンク間の火災気流に乗って炎上タンクの方へ流れて行き、炎に触れる。この時、蒸気濃度が燃焼範囲にあれば、直ちに着火し、着火したばかりの炎は隣接タンクから続いて流れてくる蒸気を伝わって隣接タンクに達する。

結局、炎上中のタンクの炎が直接、隣接タンクに触れることのない無風時における石油タンク間の延焼は、炎上タンクの炎からの放射加熱だけによるものではなく、隣接タンクから流れ出した燃料蒸気に引火することによって起きることが分かった。

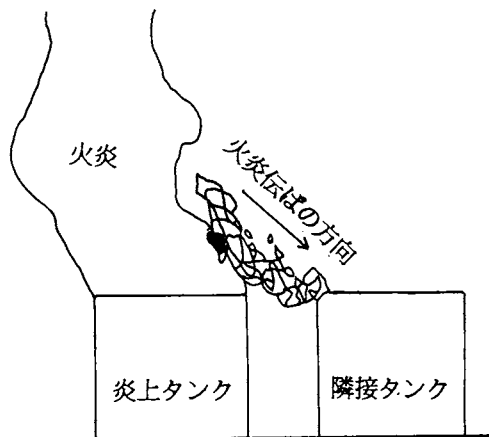


図2 炎上タンクから隣接タンクへ火炎伝ばの軌跡
炎上タンク、隣接タンク共に直径1m、タンク間距離（壁から壁）0.45m、黒く塗ってある部分が一番初めの炎を示す。

図2は、ほぼ無風時のタンク間の火炎伝ばの様子の一例（タンク間距離0.45m）である。⁶⁾ 火炎伝ばの軌跡は、1秒間18駒のスピードで撮影した8mmフィルムの15駒を重ね合わせて得た。

さらに、タンク間距離を変え、延焼可能なタンク間距離等も求めた⁶⁾

また、炎上タンクが隣接タンクの風上及び風下にある場合についても、延焼可能なタンク間距離を求めた。もちろん、炎上タンクの炎が隣接タンクに触れないようなタンク間距離及び風速にして実験を行った。

こうして延焼可能なタンク間距離は、炎上タンクが

隣接タンクの風上にある時が最も長く、次いで無風の時に、炎上タンクが風下の時が最も短くなることもあった。

実験では、隣接タンクも始めから屋根のないタンクを使った。現実の浮き屋根タンクがリング火災になり、30分から数時間後には屋根が油中に沈み上部全面火災になった例^{7,8)}はあった。また過去には火災になっていないタンクの屋根が油中に沈んだ例もあったと聞いている。しかし、そのような事は起こり難いので、現実には、炎上中のタンクの炎が直接タンクに触れることのない石油タンク間の延焼の起こる可能性は非常に少ないと思っていたので、この事故例を見た時は興奮した。

ところで、炎上タンクの炎からの放射熱（例えば、ガソリン炎は最大で約 5.8w/cm^2 ）だけで隣接タンク内液体燃料が発火しないのは、液体の場合、液面あるいは液内に温度差があると液内流動（対流）が起こるためである。

例えば、液面に温度差が生じると表面張力の温度依存（温度が低い程、表面張力は大い）によって暖かい方から冷たい方へ流れが生じ、熱は液内に運ばれる。そのため、ある特定の部分の温度を発火温度まで上げるといことは不可能となる。

図3は炎上タンクに隣接するタンクの液内流動を示したものである⁹⁾。

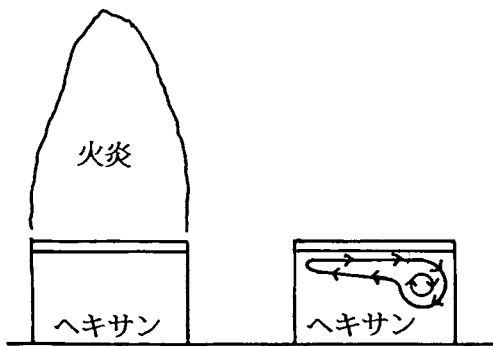


図3 炎上タンクに隣接するタンクの液内流動
ガラス容器の直径は6cm、容器間距離7cm。

3. ベネズエラの発電所の爆発・火災

1982年12月19日午前5時45分、カラカスから約38km離れたタコアにあるカラカス電力発電所の重油タンク1基が爆発・炎上した。火災はいったん鎮火したようにみえたが、突然、大爆発を起こした。この二度目の爆発の時、タンクから噴出した火の着いた油が周辺に

雨のように降り注ぎ、消防隊員53名、発電所の従業員14名、新聞、テレビ等報道関係者10名を含め150名以上が死亡、約300名が負傷した。

その後、他のタンクも爆発炎上した。4日間燃え続けた火災によりタンク4基が大破、タンク内の重油が焼失したほか、昇圧用ポンプステーション、消防自動車、トラック等の車両60台以上、警察のヘリコプター1機、家屋約70軒等が焼損した。

事故原因は、1) タンクの加熱装置に欠陥があって、油温が設定値以上に上昇していたか、あるいは2) 揮発性の高い石油が混入していたところに、発電所の2名の従業員がタンク上で計量作業を行う時、懐中電灯を忘れたのでタンクの中を照らすのにマッチを擦ったため、と言われていた。全損害額は今日の価格にして、75億円と言われていた。

図4は事故発生場所概略図である。図の1号から9号は固定屋根式の重油貯蔵タンクで、1号と2号は容量約4,000kl、3号から7号は容量約13,000kl、8号と9号は容量約38,000klである。

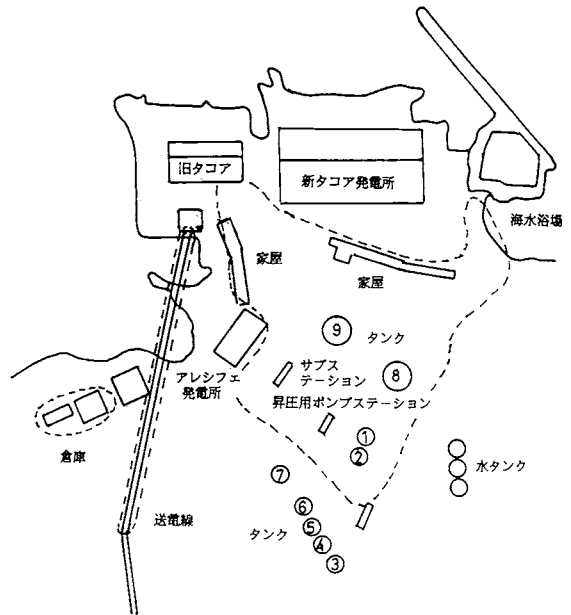


図4 事故発生場所概略図

図の中の1から9はタンクの番号を示す。点線内は焼損した地域を示す。

3.1 事故の経過⁵⁾

19日夜明けに、カラカス電力タコア発電所の3人の従業員が8号タンクのある丘にジープで乗り付け、1名は下でジープに残り、2名は日常の油量測定のため

直径約54m、高さ17mの8号タンクの頂上に登った。

5時45分、突然このタンクが爆発・火災を起こした。タンクの屋根はもの凄いい音をたて砕け、吹き飛んだ。タンクには当時容量の約 $\frac{1}{3}$ に当たる約13,200klの重油が入っていた。この爆発で2名は即死、下にいた1名はかろうじて逃げられた。

火災は消防局に通報され、東に24km離れたラグアイラ消防署から5台の消防自動車と25名の消防士がコア発電所への曲がりくねった道に沿って駆け付けた。

その後、近隣の消防署や48km南東にあるカラカスから50名以上の消防士と消火機材が続いた。300名以上の警察官、州軍の兵士、市民防衛義勇兵等が駆け付けた。新聞社やTV局はレポーターやカメラマンを送った。

警察は安全のためこの村から避難することを勧めたが、家から立退かない人もいた。また、記者やカメラマンは村から出なかった。彼らの多くは消防士達と同じように火災に近づいた。炎上タンクは海拔55mの険しい丘の中腹にあって、高さ17mの土製の防油堤で囲まれていた。爆発で屋根が吹き飛んだ時、燃料配管が切断されたため洩れた石油が防油堤内で燃え出した。

黒煙と物凄いい熱のため、消防士達は防油堤の頂上に近付けなかった。防油堤内に落下した屋根は消火用水用の配管も壊した。

状況からみて、消防隊はこの火災を消火するには消防自動車の泡と水では不十分であるため、石油はそのまま燃やしきることに決めた。そのかわり、消防士達は隣の9号タンクへの延焼を防ぐため、8号タンクの防油堤から洩れてくる燃えている石油の消火抑制に集中した。

11時30分、火災は鎮圧されるとカラカスに無線で報告があった。

炎上タンクの近くの防油堤には消防士や記者達が立ち並んでいた。この電力会社の管理の職員全部が約60m離れた崖っ淵に立って見守っていた。

家と家の間の小道は消防機材、救急車、警察の車、テレビ会社の車や自家用車で一杯であった。

電力会社の従業員、救助隊、警察官、消防士達は何もすることがなく手持ち無沙汰でいた。

12時15分、ボイルオーバーが起きた。タンクからは燃えている油が空中に450mも噴出した。その結果、長さ600m以上、幅約275mのファイアボールを形成した。

1,500°C以上と思われるファイアボールの強烈な放射熱から逃げるため、男も女も子供も泳げないものも海に飛び込んだ。火災現場より上の家の人達や3km離れた丘の中腹で寝ていた赤ん坊が、放射熱で火傷を負った。

放射熱によりこの丘の上に駐車していた車の燃料タンクが爆弾のように爆発し、風防ガラスは溶けた。

この熱風の後、さらに悪い事に、燃えている石油が30秒間雨のように150m(Hundreds of ft)¹⁰⁾四方に降り注いだ。そして、それは道路のアスファルトを溶かし、混ざって厚さ20cmのどろどろに溶けた火の川となった、

ボイルオーバーの後、燃えている石油は9号タンクの防油堤に流れ込んだため、9号タンクは火災となった。これは普通のタンク火災で、ボイルオーバーも死者も出なかった。

この丘の地形に沿って、燃えているアスファルトと石油の混合物は道路や小道を下り、塀、庭、家を突き抜け、触れるものすべてを発火させた。この時、1号と2号タンクは火災となった。

このアスファルトと石油の溶岩は浜一面を焼き、海に流れ込み、海面で燃え続けたため水泳をしていた多くの人達が死んだ。450m離れた海上のポートさえも火災にした。この浜に降りていた警察のヘリコプターの燃料タンクは、この溶岩のため爆発した。

22日、火災発生から4日目に鎮火した。

以上が「ベネズエラの発電所の爆発・火災」の概要である。

3.2 ボイルオーバー

それでは「ベネズエラの発電所の爆発・火災」のどこに興味を持ったのかと言うと、重油タンク火災でボイルオーバーが起きた事とボイルオーバーによる火の着いた石油の飛散距離が書かれている事である。

実験では重油でボイルオーバーが起こっているが、現実のタンク火災でボイルオーバーが起こっているのはいつも燃料が原油の場合であり、重油タンク火災でボイルオーバーが起きたのはこの事故が最初であったためである。

また、なぜ火の着いた石油の飛散距離に関心があるのかと言うと、火の着いた石油の飛散によって火災が一挙に拡大するからである。その拡大する範囲を知りたいためである。

飛散距離に関するデータは極端に少なく、この事故以前は、実験では、直径2.6mタンクの中の深さ4mまでの原油が空中に12mも噴出し、1,000m²の面積に広がった実験¹¹⁾と6.1×6.1×7.3mの箱型容器(上面と側面に1.1×3.0mの開口部がそれぞれ1個所ある)に原油を入れた実験¹²⁾だけであった。

実際のタンク火災で飛散距離が書かれているのは、1955年アメリカのスタンダードオイル製油所の大火災¹³⁾の際に起きた原油のボイルオーバー位で、この時は火

の着いた石油は高さ300mに達し、広がった直径は90-120m以上であった。

その後も原油タンクのボイルオーバーはいくつも起きているが、著者の知る限りこのベネズエラの事故まで石油の飛散距離が具体的に書かれている事例はない。

この事故の後、1983年にイギリスのミルホードヘイブンにあるアモコ製油所の直径78m、高さ20mの原油タンクで3回にわたってボイルオーバーが起これり、1回目の時、噴出した石油は高さ60-90mに達し、燃えている石油は16,187m²に広がった。¹⁴⁾

なお、火災が発生した時、このタンクには60,000m³の原油が入っていたが、火災の最中に他のタンクに移送したため焼損した量は約32,000m³であった。

最近では、1986年ギリシャの石油貯蔵所¹⁵⁾で、1987年にはフランスの石油貯蔵所¹⁶⁾でボイルオーバーが起きているが、それによる石油の飛散距離は具体的に書かれていない。

3.3 石油の噴出角度と初速度

ここで、3.2のボイルオーバー実験及び事故例にある数値を使って石油の噴出角度と初速度を求めてみる。

ボイルオーバーで空中に噴出した火の着いた石油は空中でばらばらになって地面に落下するが、ここでは、その中で最も遠くへ飛んだ石油についてのみ考える。

そのため、最も遠くへ飛んだ石油の飛び方を、斜に上方に向かって一個の石を投げた時の石の飛び方と同じと仮定する。また、石油はタンクの底部中央の1箇所から噴出すると仮定する。

噴出する石油の初速度をv、水平線となす角度をθ、最大到達高さをym、最大到達水平距離をxm、gを重力の加速度とすると、

$$y_m = v^2 \sin^2 \theta / 2g \tag{1}$$

$$x_m = v^2 \sin 2\theta / g \tag{2}$$

(1)式と(2)式から

$$\theta = \tan^{-1} (4y_m / x_m) \tag{3}$$

表1に、(3)式から求めた石油の噴出角度（水平線となす角度）及び(1)あるいは(2)式から求めた噴出石油の初速度を載せた。

表1 石油の噴出角度と初速度の推定値

実験及び事故例	最大到達高さ(m)	最大到達水平距離(m)	水平線となす角度	初速度(m/s)	備考
2.6m タンク 実験	12	18	67	17	原油
スタンダードオイル製油所火災	300	60	87	77	原油
ベネズエラ発電所火災	450	150	85	94	重油
アモコ製油所火災	90	72	79	43	北海原油

なお、箱型容器の実験は最大到達高さが書かれていないため省いた。

表1から火の着いた石油の噴出角度は、実験によるものを除けば、79度から87度とあまり違いがない。それに対し、初速度は3事故例の間にかかなりの違いがある。

石油の噴出初速度を左右する因子として、高温層の温度、高温層の厚み、石油の粘性、ボイルオーバーに関与する水の層の厚さ等が考えられる。なかでも、高温層の温度と厚み並びにボイルオーバーに関与する水の層の厚みは初速度に大きな影響を与える。

高温層から底部の水への伝熱量は高温層と水との温度差に比例する。また、高温層が厚い程、底部の水にかかる圧力は高くなるので、水の沸点は高くなる。

表2の高温層温度は、スウェーデンで行った泡による消火実験の際のデータである。この消火実験では例えば、ガッチサラン原油の場合、予燃時間25~30分経過後に消火を行い、新たに原油及び水を入れ直し50~65分経過後に消火を行っている。そのため、予燃時間25~30分と50~65分では気象も含めて実験条件が少しずつ違っている。

表2 高温層温度¹⁶⁾

油の種類	ラストヌラ原油		ガッチサラン原油			重油	
	予燃時間(分)	予燃時間(分)	予燃時間(分)	予燃時間(分)	予燃時間(分)	予燃時間(分)	予燃時間(分)
予燃時間(分)	25	60	25~30	50~65	90	90	120
高温層温度(°C)	200	205	210~220	140~170	150~190	290~300	280~315

表1と表2の原油の性状は同じかどうか分からない。また、表1と表2の重油の性状も同じかどうか分からないが、一般に高温層温度は原油よりも重油の方が高いことは確かである。そのため、ベネズエラ発電所火災の初速度がスタンダードオイル製油所火災やアモコ製油所火災のそれよりも大きいものと思われる。

表1の原油同士の性状が同じかどうか分からないが、スタンダードオイル製油所火災とアモコ製油所火災の初速度がかなり違うのは、前者はボイルオーバーが1回であったのに対し、後者は3回ボイルオーバーを起こしているのに関係がありそうである。

つまり、スタンダードオイル製油所火災のボイルオーバーに関与した水の層の厚みは、アモコ製油所火災の1回目のボイルオーバーに関与した水の厚みよりも厚かったものと思われる。

結局、噴出角度はほぼ特定できたが、初速度については、それを左右する因子が多いこととデータが少ない過ぎるため現時点では特定できなかった。

4. おわりに

興味を引いた石油タンク間の延焼の事例として、クウェートの石油タンク爆発・火災とベネズエアの発電所の爆発・火災の概要を述べ、なぜ、これらに興味を持ったのかその理由を述べた。

参考文献

- 1) 大正海上火災保険株式会社火災新種業務安全技術課、安全工学、Vol.21, No.2, p.116(1982)
- 2) 増田芳彦、安全工学、Vol.22, No.2, p.111(1983)
- 3) 東京海上、安全技術レポート、No.24
- 4) Martin H. and Thomas J.K., Fire Service TODAY, p.11, June(1983)
- 5) Schiller R., RDIE #5502, LARD 84 001 0, May(1984)
- 6) 湯本太郎、Moreau, J.P., 安全工学、Vol.15, No.2, p.79(1976)
- 7) 安全工学協会 シンガポールを中心とした石油・石油化学の消防・防災調査団、安全工学、Vol. 21, No.4, p.219(1982)
- 8) Herzog, R.G., Hydrocarbon Processing, Feb., p.165(1979)
- 9) 湯本太郎、液面燃焼における燃焼速度と放射熱、第5章(1977)、学位論文
- 10) M & M Protection Consaltants, One Hundred Largest Losses, A Thirty-Year Review of Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries, 9th Ed. p.9(1986)
- 11) Blinov, V.I. and Khudyakov, G.N., Diffusion Burning of Liquids, Izu. Akad. Nauk SSSR, Moscow(1961): Engl. Transl., U.S. Army Engineering Research and Development Laboratories, T-1490 a-c, Astia AD 296 762, p.157
- 12) Diederichsen, J., Hall, A.R., and Hinde, P.T., J. of the Institute of Petroleum, Vol.59, No.567, p.98(1973)
- 13) Lyons, P.R., "Fire in America", Chapter 7, p.204
- 14) Mumford, C.J., "A Major Fire in a Floating Roof Crude Oil Storage Tank", Loss Prevention Bulletin 057
- 15) "Tank Farm Burns for A Whole Week", Loss Prevention Bulletin 082, Aug.(1988)
- 16) Mansot,, J., "Incendie du Depot Shell du Port Edouard Herriot" 6th Int. Symp. Loss Prevention & Safety Promotion in the Process Industries, 41-1,(1988)
- 17) 沖山博通、図解 危険物施設の消火設備、p.35(1987) オーム社

第一回火災研究の国際協力フォーラムに参加して

佐々木弘明

拝啓 その後すっかりご無沙汰致しておりますが、お変わりございませんか。

去る5月末に、スウェーデンのストックホルムで開かれた火災研究の国際協力フォーラムに出席してまいりましたので、簡単にご報告致します。

アメリカ商務省 国立標準・技術研究所 (National Institute of Standards and Technology) 火災研究センターのスネル所長が、昨年11月に開催された同火災研究センターと火災防御技術者協会 (Society of Fire Protection Engineers) 共催の国際シンポジウムに出席する各国国立火災研究機関の所長に呼び掛けて、会期前に火災研究の国際協力について非公式の話し合いの場が持たれました。この時アメリカの3人の他、ノールウェイ、スウェーデン、カナダ、スペイン、イギリスの計8人の所長が応じました。これが準備会となって、第一回の火災研究の国際協力フォーラムが5月29日(月)から31日(水)までの三日間ストックホルムで開催される運びとなり、日本にも参加を求めてきました。最初の国際協力フォーラムですから、組織、メンバー、討議の進め方など未知の部分が随分あるわけですが、国際化は時代の流れですし、火災研究には国益の対立はなく、国際協力が最も容易な分野ではないかと思われれますので、消防研究所としても参加することにしたわけです。

幸い科学技術庁より国際研究会集派遣研究者に選ばれて、所長の代理として出席することになりました。建築研究所からは、やはり所長代理として田中企画調査課長が出席することになり、出発から帰国まで行動を共に出来たのは幸いでした。

飛行機はエコノミークラスなので便に制限があり、28日(日)夕方のレセプションに出席するためには、26日(金)に出発しなければならず、これで時間に多少の余裕が生まれました。成田空港を出たのが11:50、シベリア上空を通過してアムステルダム郊外のスキポール空港に着いたのが同日の17:00、時差が8時間ですから13時間ノン・ストップの長旅でした。空港内の両替所の係りの女性が、小柄で、黒髪、黒い瞳、その上日本人そっくりの顔付きなのでつい日本語で話しかけたら I can't understand、これが最初の失敗でした。空

港近くのホテルまでのシャトルバスを待つ間、ロビーで周囲を観察しますと、服装から地元の人と判るオランダ人は随分大きい、皆バスケットボールかバレーボールの選手みたいで、これでは日本の運動選手が大変だわいと思いました。オランダ語はドイツ語に発音が似ており、ゲルマン系なら体格が良いのも当然でしょうか。ホテルのチェック・インを済ませ、休む暇も惜しんで、空港近くの駅から地下鉄でアムステルダムへ向かいました。1時間で東京駅のモデルと言われる中央駅に着き、そこからダム広場までウインドーショッピングしましたが、この辺りには別段目を引くものはありません。この季節は観光シーズンでしょうか、町中は観光客で一杯でした。まだ時間があったので運河めぐり遊覧船1時間コースに乗ることにしました。乗客はヨーロッパ中から来ると見えて、遊覧船のガイドはよれよれのスプリングコートを着たアルバイトの女子大学生でしたが、これが何とオランダ語ドイツ語フランス語英語で説明する。内容は通り一遍ののですが、マルチリンガルには恐れ入りました。運河の水の汚れが気に掛かりましたが、毎日一定量の外海の水と入れ替えているとのこと。運河が縦横に入り組んでいる様は壮観でした。1時間コースではとてもその総てをというわけにはいきません。船を降りたら既に9時を過ぎていたので、翌朝の早い出発を考えてアムステルダム観光はこれだけにしましたが、例の観光名所(?)が近くにあったことを知ったのは帰国後のことで、多少残念な思いがせぬでもありません。アムステルダム中央駅と空港駅の間の地下鉄は両駅の近辺だけ地下を走りますから、地下鉄というより郊外電車といった方がよいかも知れませんが、豊富な緑に囲まれた中層の住宅群は美しい家並み町並みを作っております。つい東京の都心とか近郊の住宅街のそれと比べてしまいます。電車の中では小学校入学前位の2人の男の子を膝にのせた夫婦を見かけました。その様子は文字通り慈しんでいる感じを受け、そんなことが我家にもあったかなと思うと同時に日本では中々見られない光景だとも思いました。翌27日(土)は早朝7:40の飛行機でスキポール空港を後にしてストックホルム郊外のアーランダ空港までは2時間の旅。乗った飛行機

も小さければ空港もローカル規模。ストックホルムへの人の出入りが少ない所為でしょうか。中心街までバスで小一時間、我々のホテルは更に地下鉄で30分行ったストックホルムの南部にありました。付近は現在建築中のビジネス街。ホテルと隣接して直径が数十メートルもあろうかと思われる球形の建物があり、だからホテルの名前はグローブ (globe) となります。日本でもお馴染みのボブ・デュラン、ナンシ・ウィルソンのコンサートが開かれていましたから、東京の国技館の様な催し場なのでしょう。ホテルの周辺の店と言えばスーパーマーケット、マクドナルドともう一軒ファーストフードの店があるだけですから、ホテルの外でちょっとした食事をしようとすれば市街地にでるしかありません。整備されれば立派な街になるのですが、今のところ都心から近い割には不便でした。ホテルの私の部屋は5階にあり、ツインベッドとソファセットとは別に一寸した会議が出来そうな円いテーブルがあって、広さは40~50平米、バスは無くシャワーのみでしたが、建物は新しいし (ストックホルムのニューシルエットという触れ込みでした)、これは大変な事になったと思いました。案の定、日本では一流ホテルの上等の部屋の宿泊費でした。これに限らず、ストックホルムの物価は円換算で東京並みのようです。

スウェーデンの人々の生活を知るには歩いて見るのが一番ですから、旅装を解いてすぐに外出、市内を歩き回りました。ストックホルムの中心を東西に川のように海が入り込んでおり、その中にいくつかの島があります。14世紀に建てられた旧市街はそのうちの一つの島にあり、ここに王宮、国会議事堂があります。古い石畳の道路では思い思いの色柄の服装をした若者のグループがデキシランドジャズを演奏しておりました。道路の両側の建物には観光客相手の店が多くあり、出店も出て賑わっておりました。観光地図によるとストックホルムには25の博物館 (museum) があり、そのうち国立博物館と東アジア博物館を見ました。国立博物館では丁度“ニルススの冒険”の著者ラーゲルレーヴについての展示をしており、懐かしい思いがしました。そこの絵画のコレクションはさすがに質量共充実していて、国際的にも上位のような気が致します。又東アジア博物館はさほど大きくない建物でしたが、その中国・朝鮮・日本の歴史的な陶器のコレクションに匹敵するものは日本でも滅多にないと思われました。どちらも見物人が少なくゆっくりと観賞出来ました。市の北部に百貨店が集まった繁華街があり、その周辺で教会、公園を見て回りました。メインストリートか

ら少し入ると人通りも絶え、アパートの窓にも人影が見られません。確かに街は落ち着いた雰囲気、建物も綺麗なら家並みも美しい、道路も公園も綺麗、町行く人々の表情も柔和で余裕を感じさせます。恐らく生活には凡てが充足しているのでしょう。然し何となく淋しい。何か物足りないのです。東京でのストレスに毒されているかも知れませんが、それにも拘わらず小生の頭には北欧についての知識が欠落しているものですから、何でも珍しく、散歩を十分楽しむことが出来ました。

28(日)も朝から市内見物を続け、旧市街の海岸沿いにあるライゼンホテルに着いたのはレセプションの始まる午後7時半直前。小さい由緒のありそうなホテルの一階の、船室を模した天井の低い二十畳間位の一案で、主催者のシェリー博士、秘書のスポリング夫人、助手のアーヴィドソン氏が待っておりました。定刻になり、フォーラム出席者の顔ぶれが揃ったところで、主催者側の挨拶、続いてフォーラム出席者相互の挨拶名刺交換となりました。スネル所長とはこの時が初対面でした。火災研究センターには消防研究所の研究員が何人か留学してお世話になっておりますし、UJNRのアメリカ側の当事者ですから、消防研究所にとってもお馴染みの方です。アメリカ人としては170cm位の小柄な、然し精悍そうな感じを受けました。初対面の挨拶でファーストネームのジャックと呼んでくれというのです。現にフォーラムでは (これは12人という小人数のせいもありましょう。) お互いにそのように呼び合うことが屢々でしたし、ファーストネームの短宿形で呼ぶときもありましたが、小生は別で姓で呼ばれ、小生も相手をファーストネームで呼ぶことに抵抗があって、Dr. …で通しました。お高くとまっていると思われたかもしれません。オードブルとアルコールを手に参加者と少し話を始めたところでお開き。その後、有志で裏手のイタリア料理店へ行き、メニューを個々に選んで夕食を済ませました。その際、スネル所長は、長女は良く出来て医学部の学生であり、長男は情報科学を専攻している、現在53才で7年前から所長であることなど話してくれました。

翌29(月)は愈々フォーラムの初日、場所はスウェーデン火災研究局であり、所在地は判っていても地理が不案内なので、タクシーで直行しました。建物は市街の東北郊外、日本で言うと工業団地の様な環境の一角に在りました。正面玄関から中庭に入ると、テラス風に藤棚の下に白色の円テーブルと椅子が数脚あり、既に何人かがコーヒーとドーナツを手にしながらかたわぶしておりました。前日のレセプションのお陰で簡単な

挨拶をして、二階の会議室へ。机が二脚縦に続けて並べてある細長い部屋で各自が適当に席に着いて、開会。スネル所長を議長に選出して議事に入りました。出席者は次の通りでした。

- J.E. スネル(アメリカ) 商務省 標準・技術研究所 火災研究センター所長
- C.E. ミラー(アメリカ) ファクトリ・ミュージアム研究所 上級副所長
- D. ウーリィ(イギリス) 建築研究所副所長 火災研究所長
- S.J. グルビッツ(オーストラリア) 鉱物・エネルギー・建築研究所 研究主幹
- J.K. リチャード(カナダ) 国立研究評議会 建築研究所 火災研究部長
- V. シェリー(スウェーデン) 火災研究局
- F.N. アストラエ(スペイン) SEMAP 技術研究所長
- 田中睦義(日本) 建設省建築研究所 企画調査課長
- 佐々木弘明(日本) 自治省消防庁消防研究所 第三研究部長
- K.S. ベーダソン(ノルウェー) 火災研究所長
- P. ロイカネン(フィンランド) 技術研究センター 火災技術研究所長
- C.M. モアイエ(フランス) 建築科学技術研究所 火災安全部長

(国別、五十音順)

先ず前以て配布されたフォーマットに従って所属の研究所紹介を席順にしました。その中で研究員・技術職員の数、年間予算、政府機関の中での位置づけ、研究費は何処から出ているか、主要研究施設、主要研究計画等を説明するわけです。OHPを用い、要覧を配り、研究所のPRの熱気を感じさせます。小生は決められた用紙の他に研究組織図等を配りましたが、小道具の点で遅れを取ったことは否めません。OHPの中には随分古そうなものもありましたから、研究所紹介の機会は少なくはないのでしょうか。それは研究所の性格からくるかもしれません。つまり、研究費を凡て国から貰っているのは日本だけのようです。この点で確認の質問を受けました。普通は受託研究をするので大いにPRする必要があります。イギリスの火災研究所が最近世界最大の実大実験場を開放し、産業界に対してコンサルタントを始めたことは御存じでしょうか。もう一つの大きな違いは我が消防研究所の火災研究は消防の為の火災研究ですが、他は建築の為の、或は建物の為の火災研究だということです。このことは火災研究の基本的な部分は同じとしても研究成果の適用対象が異なり、従って研究目的も多少違ってきます。この後は、

スネル所長のアンケートに対する既存の火災研究関連団体からのこの国際フォーラムへの要望・期待が紹介され、国際フォーラムの到達目標を討議する際、考慮しました。

一日目の夕方にスウェーデン火災研究局の主催で会食がストックホルム市旧市街の古い歴史を持つレストランでありました。フォーラム参加者に、フォーラムの直前に結婚したというシェリー博士夫人、同博士の助手のアーヴィドソン氏、秘書の夫のスポリング氏、ウーリィ所長夫人が加わり、総勢16名。岩をくり抜いた地下室で、小生はスポリング夫妻の間の席に座ることになり、専ら彼らと話をすることになりました。スポリング氏は大層小生の年齢に関心があり、正直に告げるとやっぱり思った通りだと自慢気に夫人に言います。彼は65才で退職警察官、現在保険会社に勤めており、香港、マレーシアに講演に行ったことがあるとかで東洋人の目利きには自信があったのでしょうか。週末には自家用の船に乗り沖合で魚を釣るのが楽しみとのことで、中流階級の余裕を感じさせます。日焼けはそのためでした。魚料理がメイン・ディッシュで、自慢のソースは甘口で流石に美味しくこくがありました。甘口の食前酒も美味しく尋ねるとイタリアのストレーナとのことでした。スポリング氏夫妻に限らず、北ヨーロッパからの出席者が英会話に不自由しないのは驚きですが、英語を話す機会が相当あるのでしょうか。それとも英語教育の所為でしょうか。序でに尋ねましたら、フィンランドは別だが、スウェーデン、ノルウェー、デンマーク三国の人々の間では、夫々自国語を話せば相手に通じるとのこと。これらの言語は三ヶ国語(オランダ語を入れれば四ヶ国語)を同時に学習するのが効率的ではないかしらんなどと思ったものでした。レストランの前の広場の片隅に変わった文字の石碑があり、ヴァイキングが書いたものだとシェリー博士の説明でした。彼らが活躍したのは8~11世紀ということですから、博物館ものが風雨に晒されていることになります。

これ以後、二日目、三日目にかけて、火災研究の機能、当フォーラムの目的について討議し、これをまとめました。前者については次に示すようなロイカネン所長がまとめたものを採用しました。後者は結局“火災研究の国際協力と応用を通じて火災の負担(the burden of fire)を軽減すること”としました。

火災研究の機能

機能	実施者	結果
1 立法	立法機関	法律
2 規約規制の発布	担当官、各機関	計画、規則
3 研究	研究機関、大学	新知識、新技術
4 基準化	基準作成機関	火災安全基準(製品、方法)
5 試験	試験機関	製造業者・製品の分類
6 教育	大学、学校	職業人
7 計画	コンサルタント	建物等
8 製品開発	企業研究所	新製品
9 火災監視・品質管理	監督官、試験機関	品質レベルの維持
10 情報	各機関、図書館	知識の普及
11 消防	消防隊	被害最小化
12 保険	保険会社	危険分散

続いて国際フォーラムの到達目標について討議して10項目を選び、人気投票(?)をして次のように1位から10位まで決めました。

1. 火災安全の技術と運用(例えばより安全な材料・製品、スマート・センサとシステム等)による過度に制限的指定的な基準・規制の見直し
2. 消防投資の最適使用
3. 安全のための総合設計への火災科学技術の統合化
4. 規制、規約、教育、消防隊、建築家、保険等実用への火災研究結果の効果的移転
5. 災害の発生可能性と影響の減少、教訓の学習と応用の確立
6. 環境へ及ぼす火災と火災防御対策の影響の最小化
7. 火災安全の凡ゆる局面への火災科学・技術の適用拡大
8. 国際的な火災データの最適使用
9. 現行の基礎的的火災研究を通して火災研究者と研究成果使用者の能力の向上
10. 警防から予防への消防活動の重点移行

これらの項目は、各自が意見を述べ、討論してまとめたもので、1m四方の紙にスネル議長がマジックペンでどんどん書いていき、翌日にはタイプで打ったものが配布されます。事務局も大変ですが、議長はもっと大変。昼食時間に我々が席について暫くしてから食堂に入って来ることもあり、恐らくホテルに帰ってからも仕事をされていたと思います。

二日目の残りの時間と三日目の午前中に今回のフォーラムのまとめ、次回のフォーラムの開催(イギリスの火災研究所で、来年6月5、6、7日)、フォーラムの役員(議長スネル所長、事務局リチャードソン部長)の選任、次回フォーラムまでの具体的な行動(主として情報交換、提案)を決めました。

フォーラム最終日三日目の午後、他のフォーラム参

加者と共にスウェーデン国立防衛研究所の野外火災実験場を訪問し、火災実験グループより、最近行った室内火災実験の説明を受け、実験設備の見学をしました。実験場はストックホルム市の北方、車で小一時間の林野の中にあり、実物大の火災実験が容易に行える環境にありました。煙が噴出した跡のある2階建及び3階建の家屋数棟、火災実験をしたバス、タンクローリーがあり、丁度消防隊が平屋家屋火災の消火訓練を行っていました。

翌日は朝ストックホルムを発ち、アムステルダム経由でまっすぐ帰国しました。フォーラムの最中肩が凝り出して、最終日には相当堅くなりましたが、現金なもので成田に着いたらすっかり直っていました。三日間、正確には二日間半、参加者12人の小さな会議でしたが、とても第一回とは思えない親しみ易い雰囲気、時間に制限はあったものの、十分討議が出来たと思います。各自は自由に意見を言い、小生の拙い英語でも良く聞いてくれました。

フォーラムも回を重ねるにつれ、当然内容も具体的になり、国際協力も盛んになってくるでしょう。その計画実施段階で大切なのは、研究の内容もさる事ながら、英語力です。文献が読めるだけの英語力ではなく、会話討論のための英語力です。国際化社会での公用語として英語は圧倒的です。国際研究集会で流暢な英語で発表していても、いざ質疑応答の段になるとおどおどしてしまうのが平均的な日本人研究者です。英語でも色々な英語があります。インド人、アラブ人、フランス人、ドイツ人、中国人、韓国人の英語等です。アメリカ英語でも人によっては全く違った言語に聞こえます。国際研究集会での発表する機会も増加しつつあります。実戦に強い英語力が益々必要になります。日本語に堪能な外人も増えています。彼らの日本語修得法も大いに参考になるのではないのでしょうか。スウェーデンでは小学校から英会話の時間があり、しかも教師は殆どがスウェーデン人と聞きました。日本でも日本人の教師による英会話の授業を小学校より始めたらどうでしょう。教師の研修の時間を十分とれば可能ではありませんか。タフな英語力という観点からもよいし、低学年から始めると言葉に敏感になります。それに確かゲータでしたか、外国語を知らぬ者は母国語についても知らぬとも言っております。文字通り一石二鳥にも三鳥にもなりそうです。

今回一番の収穫は各国の火災研究所に知り合いが増えたことです。各研究所の研究テーマが判りましたから、情報交換がし易くなったことです。良い研究をして国際研究集会で発表したり、外国の研究者と自由に

討論出来たら、研究の励みになることでしょう。そうした道が容易に開けるようにしたいものです。昨今職業としての技術者・研究者の人気の今一つです。待遇の方はどうしようもありません。折角研究者になったのですから、精一杯その才能を伸ばせる環境、明るく、伸び伸び研究出来る環境を作りたいものです。今回参

加したことを消防研究所の将来に少しでも役立てたいと願っております。フォーラム参加のご報告が少しく横に逸れてしまいました。今日はこれで失礼致します。時節柄ご自愛下さい。

敬 具

1989年6月某日

イエローストーン国立公園の山火事

田村裕之・山下邦博・稲垣 実

1. はじめに

1988年の夏、アメリカ中西部のイエローストーン国立公園で山火事が発生し、数か月にわたって燃えつづけた。この公園は1872年に創設され、面積が約9000km²に及ぶアメリカで最古、最大の国立公園である。この公園は天然動物園と称され、多数の動物が生息し、数千の間歇泉を含む景勝地であり、年間に数百万人の観光客が訪れる所である。この年、アメリカ中西部とカナダ西部は4月から7月にかけて50年に一度とよばれるほどの大干ばつにあり、7月以降も少雨状態が続いて火災危険性が高まっていた。そのような時期に発生した火災は拡大し続け、公園の約半分近くを含めて焼損面積が約5600km²に及ぶ記録的な大火災になった。

この火災の原因の多くが落雷であり、しかも火災現場の大部分は国立公園であったため、当初、公園管理当局は方針に従って火災を消火するよりも監視のもとに燃えるに任せていた。これが火災拡大の原因の一つとなった。イエローストーン国立公園の山火事について、D. Jefferyが雑誌「National Geographic」の1989年の2月号¹⁾に紹介している。日本にも多数の自然公園があることから、その内容を以下に要約し、さらに、火災が発生する前の気象条件に関する報告文²⁾及び公園の概要^{3),4)}の内容を加えて、イエローストーン国立公園の山火事の実情とその問題点を紹介し参考供したい。

2. イエローストーン国立公園管理当局の火災対策¹⁾

イエローストーン国立公園の火災対策には歴史的な変遷がある。それをD. Jefferyの報告¹⁾から要約する。「1880～1970年の間、公園管理当局の火災に対する方針は、できるだけ早く消すことを第一としていた。過去116年間に火災が何度も起こり、その焼損面積は591.3 km²におよんだ。イエローストーン国立公園の特異な気候(長い冬の寒さと乾燥)により森林地被物の腐植が遅れ、燃えやすいものが多量に蓄積して年々火災の拡大危険を高めてきた。その後、自然環境に対する火災の役割が見直され、1972年に作られた「イエローストーン国立公園の野火管理計画(Wild Land Fire Management Plan for Yellowstone National Park)」に

よって、現在では落雷等の自然現象に起因する火災は厳重な監視のもとに放置しておくことになっている。ただし、人や財産をおびやかす場合には直ちに消火する措置が取られる。

公園管理当局では自然現象に起因する火災は、腐葉土などの可燃物を除去する自然現象の一つとして捉えている。アメリカでは、計画的な火災(Planned Fire)を起こし腐葉土の除去を行うことも多い。これは腐葉土を除去することにより、林野火災発生時の必要以上の延焼の防止が可能なのである。また、新しい牧草地や肥沃な土地ができ、森林の活性化にもつながる。

3. 気象条件

今回のイエローストーン国立公園の山火事が拡大した原因の一つはアメリカ中西部の干ばつに関係すると推定される。そこで本節では、上野達雄氏(気象庁長期予報課)が雑誌「気象」の9月号(1988)²⁾に載せた記事から林野火災が発生する前後の気象条件を要約して紹介しよう。

「アメリカではこの年の2月から全般的に少雨傾向が続き、この傾向は西部で顕著となった。4月中旬になると西部は雨が降りやすくなり、かわって中西部で少雨が目立つようになってきた。5月には沿岸部を除く東半分の地域で記録的な少雨となり、大豆、トウモロコシをはじめとする農作物に大きな被害を与えた。6月の下旬になって局地的な降雨があったが、干ばつ緩和には程遠かった。7月に入って状況が少し好転し、にわか雨ながら各地で雨が観測され、下旬には東半分の帯でまとまった雨がもたらされた。この年の干ばつは1930年代以来50年ぶりと言われ、アメリカ中西部の6月の降水量は平年月の10%ほどであった。アメリカ本土の1988年1～6月の総降水量の平年比(%)を図1に示す。イエローストーン国立公園があるアメリカ中西部では60%程度の降水量しかなかった。また、6月には高温の日が続き、干ばつに拍車をかけた。少雨と高温により、イエローストーン国立公園内の腐葉土の含水率は2%に、相対湿度は6%以下になった。アメリカ中西部に降水が少なかった原因は異常気象に関する。図2に高層天気図(気圧が500mbになる高度を

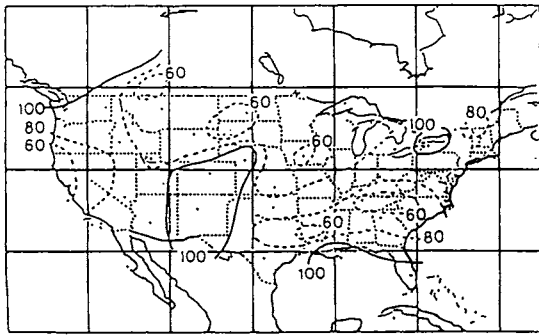


図1 アメリカ国内(アラスカ、ハワイを除く)の1988年1～6月の総降水量の平年比(%)²⁾
 アメリカの年間降水量は殆どの地域で1000mm以下であり、日本よりも少ない。この年の前半は中西部で平年の60%の量であった。

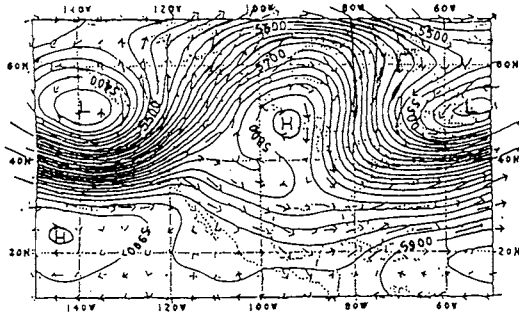


図2 500mb 天気図(1988年6月)²⁾
 アメリカ本土上空の5/30～6/4の5日間の平均値。矢印は風向きを表す。
 中央にブロッキング高気圧が形成され、異常気象をもたらしていることを示す。

等高線のように結んだものである。)を示す。この図のように5月には東海岸と西海岸にトラフ(気圧の谷)、中西部にリッジ(気圧の峰)というパターンが顕著になり、6月に入ってそれが強調された。月平均図でさえ大気の流れがΩ(オメガ)型になるブロッキング現象(大規模な高気圧が停滞して、東進してくる高気圧や低気圧の速度を落したり、南に押し下げたりする現象をいう。)が明確に見られた。このようなパターンが4月半ば頃から6月の終わりまで約3ヵ月間近く続いた。中西部は高気圧に覆われて晴れて高温になり、東海岸と西海岸は低気圧により雨が降った」

4. 各地区における火災、避難、防御

以下に D. Jeffery の報告¹⁾から、火災の拡大状況、観

光客の避難及び火災防御の様子を紹介する。

「1988年の6月の初めは長期の乾燥状態が続き、異常に乾燥していたものの警報装置は作動していなかった。人為的な原因で発生した火災は直ちに消火され、最初の落雷による火災は自然に立ち消えた。6月22日に公園の南西に位置するターグヒー国有林において木こりの不注意から発生した火災は公園に接近し、数日間も燃え続け公園の内部に侵入してきた。主な火災発生地点と出火日(発見日)を図3に、この中で出火日と場所の明確なものだけを表1に示す。火災の原因は

表1 イエローストーン国立公園周辺の主な火災の発見日と場所と原因¹⁾

発見日	場 所	原因
6月14日	ストームクリーク	落雷
6月23日	ショーショーン	落雷
6月25日	ファン	落雷
7月1日	レッド	落雷
7月9日	ミスト	落雷
7月11日	クロウバー	落雷
7月11日	ミンク	落雷
7月22日	ノースフォークウルフレイク	人
8月15日	ヘルローリング	人
8月20日	ハック	人

落雷が多く、人為的な出火も幾つかあった。当初は計画どおり、燃えるに任せて監視していた。しかし、7月21日には焼損面積が64.7km²に及んだのでこの時点ですべての火災を消火する措置が取られた。夏の初めの予想よりも事態は緊迫していた。雨は降らず、万全の消火作業にもかかわらず火災は拡大した。8月20日、この日の寒冷前線は強風とほとんど雨を伴わない落雷をもたらした。イエローストーン国立公園では風に煽られて火災が拡大し続け、647.5km²(そのうち250.9km²が公園内)の範囲が焼損した。この火災はオールドフェイスフル地区、クックシティ、シルバーゲイト、ウェストイエローストーンの町を危険にさらした。一万人の市民と軍の消防隊が消火活動に従事したにもかかわらず、公園の約45%が焼損した。火災による被害の程度は地域で異なり、軽微な所と甚大な所があり、被害状況はモザイク模様になった。9月6日になると9000人の消防隊が公園の消火に従事し、数千人がその周辺の火災の防御に従事した。

(1) オールドフェイスフル地区

オールドフェイスフルは殆ど木のない土地に囲まれており、その北と東は地熱活動で生じた間歇泉があり、南側には駐車場があった。その南側には公園に通じる

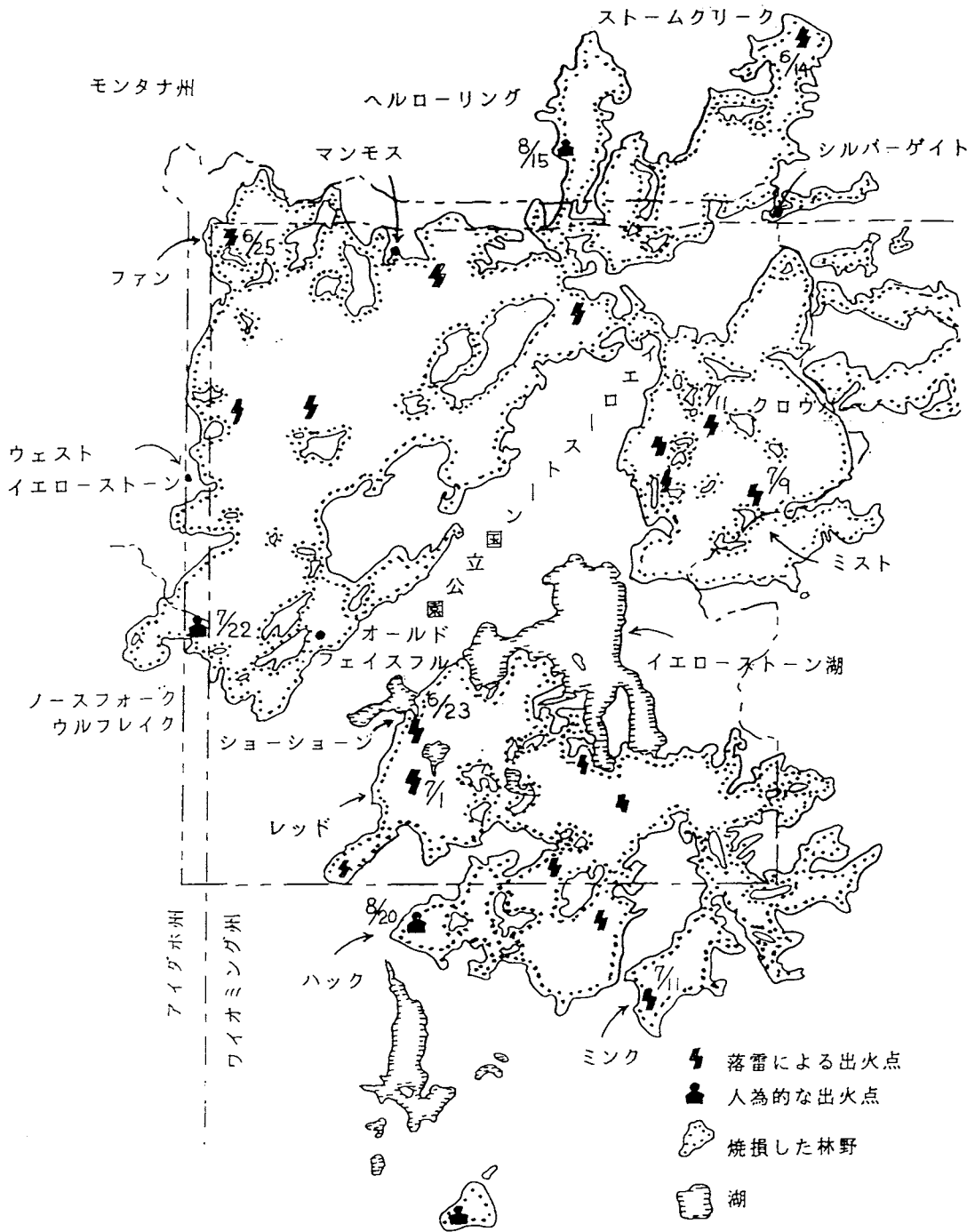


図3 イエローストーン国立公園周辺の火災発生地点と発見日¹⁾

林野火災は多くの地点で、落雷や人の不注意で発生した。

道路を超えてC. Thomasが率いる第9歩兵大隊がおり、オールドフェイスフル周辺の複合施設(ホテル、山小屋、ストア、従業員宿舎、管理棟)用の発電支所周辺の樹木を伐採し、後片づけをおこなっていた。また、ウェストイエローストーン市の有志達が発電支所に散水用の配管を取り付けていた。ノースフォーク火災(火災にその地名を付けて呼んだ。)の最高指揮者のD. Bungarz氏はその日の状況を次のように説明した。「炎は稜線を駆け上がってこようとしているため我々は稜線を超え、丘までおりるべきである。風向きが変わらなければ火災をコントロールするには迎え火が一番よいだろう」しかし、彼は37年間の経験で、風向きが変わりやすいのを知っており迎え火を行うことはできなかった。

消防隊は夜になり大気中の湿度が上がり地表可燃物の含水率が上昇することに期待した。しかし、この年は空気が乾燥していた上に風が強かったため、含水率は上昇しなかった。暗闇の中での作業は落下する切り枝が危険であった。夜間の風は禍となり、風は高い稜線からふきおり、川、谷にそって移動した。煙ぶっていたものがこの風に煽られ燃焼が活発となり、風下の方向に拡大した。

9月7日の朝には予報が修正され、9m/sの風が吹くとのことであった。オールドフェイスフルは閉鎖が宣言された。この日の朝は、南西の風9m/sであったが、夕方には20m/sに達していた。風によって飛火が発生し、間歇泉、あき地などを飛び越して延焼していった。

(2) ウェストイエローストーン周辺

9月8日に火災がウェストイエローストーンの町に近づいてきた。10日の昼には風速10~15m/sの風があり、22m/sの突風も吹いた。強風により飛火が多数発生し、火災が点在し、それぞれの火災がお互いに影響しあって火勢を強めていった。点在した火災の間で火災旋風が起り、空気を十分に吸い込んで火勢を増していったのである。

火災の延焼を防ぐために、消防隊は9月9日に防火帯として幅60cmの溝を掘った。これは地表の可燃物を除去して、地表火の延焼を防ぐものである。このときは、延焼速度が遅かったため、この幅で行った。これによって延焼は部分的に抑えられた。

(3) その他

参考までに、1988年にアメリカ西部各州で発生した林野火災による焼損面積を図4に示す。この図で分かるように林野火災は乾燥していた中西部とアラスカに集中している。11月の初旬以降降雪があり鎮火した。

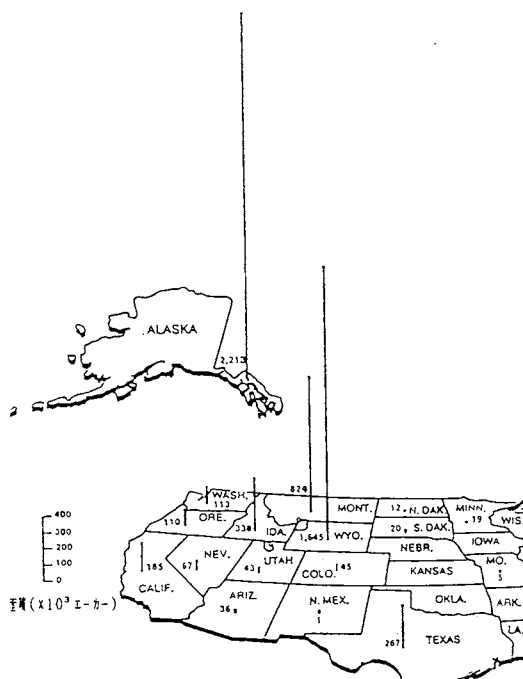


図4 1988年のアメリカ西部各州の林野火災による焼損面積¹⁾

5. 火災跡地の動植物

D. Jefferyの報告¹⁾から火災跡地の植物及び動物に関する記事の内容を紹介する。

「イエローストーン国立公園に多くの野生動物と高山植物を中心とした植物がある。今回の火災で、公園内外で5600km²を焼損した。火災生態研究者のDon Despainは鎮火後すぐに植物の再生パターンの調査にかかった。黒焦げの丘にたつて彼は一定の線に沿ってロジポール松の種子を採取しその数を数えた。ロジポール松の種子は火災の熱によって殻が破れた状態になっており、その総数の10%が生長するだけで今までの森林が再生するに十分な数であると彼は言う。公園の主任研究者のJohn Valleyはこの20年間の10倍程度の植物の種の増加及び食物連鎖に関して昆虫の種の増加も期待している。火災によってオオシカやバイソンが死んだが、それは厳冬期に死ぬ数よりも少ない数であった。」

6. 今後の課題

D. Jefferyの報告¹⁾から大規模林野火災後の火災対策の現状を紹介する。

「この大火災を経験して公園管理当局は、自然現象

により発生した林野火災を従来どおり放置するかあるいは消火するかという基本的な問題の再検討をせまられた。林野火災の発生件数が少なく、かつ火災そのものが小さければ放置してもかまわないが、今回の例のように異常気象下においては多数の火災が発生し、しかも、それぞれ大規模化する危険がある。このような場合の対応が明確でなく検討を迫られている。大干ばつほどの位の確率で起きるのか、その時の火災発生件数はどの程度であるかなどを統計的に分析し、どの時点で消火を開始すればよいかの基準を明確にし、かつ火災を大規模化させないように火入れ(Planned Fire)によって森林可燃物を減らしたり、構造物や集落の周りの可燃物除去を一段と強化することも考えられる。この検討結果は次の年の火災危険期に間にあうように公表し実施される予定である。

火災後の一つの心配は焼けてしまった公園に観光客が来るのだろうかということであった。幸いに、10月にはその月としては記録的な観光客が訪れた。」

7. 日本の自然公園の林野火災の例

以下に日本の自然公園内の林野火災の特徴と日米の林野火災の相違の一端について触れる。ここでは、釧路湿原の林野火災を例にあげる。

釧路湿原は昭和62年の9月に第28番目の国立公園に指定されたが、その前に何度も大規模林野火災にあってきた。

この釧路湿原は、東西13~10キロ、南北に36キロに及ぶ釧路市の背後にひろがる一大湿地帯である。この地域ではかつて燃やした灰を肥料にするため、あるいは害虫駆除のため野焼きが行われてきた。しかし、近年はその習慣もなくなり、湿地帯にはキタヨシ、スゲ類が繁茂し火災危険が特に高い場所として指摘されている所である。

この地域はタンチョウ鶴等の多くの動物が生息して、国の天然記念物保護地域に、また、ラムサール条約で水鳥の保護地域にも指定されてきた。この場所で昭和60年4月30日に火災⁵⁾が発生し、3日間にわたって燃え続け、22km²を焼損した。この林野火災は日本で、近年最大規模のものであった。

この火災の後、自治体、消防関係者、自然保護団体等が集まり、自然保護及び動植物の保護の観点から消防活動の在り方について再検討が行われた。そこでは、野焼きは動物を死滅させる恐れがあり、また、道路と消防水利の整備は、自然環境と生態系をかえてしまう危険がある等の理由から思うように強化することができない、等の意見が出された。この地域では消防

水利と道路がないため、一つの方法として空中消火の積極的な活用が検討されている。国立公園あるいは天然記念物保護指定区域では、他の地域よりも自然保護及び動植物の保護を優先させることが求められることを考慮して、その地域にあった方法で火災発生防止と早期消火体制を検討しておくことが望まれる。この報文で紹介したように、アメリカでは落雷で出火する例が相当あり、火災そのものを一つの自然現象として捉え、落雷で発生した国立公園内の火災は放置している。この方針は当面続けられるようである。これに対し、日本では殆どの火災が人為的な原因で発生し、しかも集落到延焼する危険が高いため火災を放置することができず、直ちに消火することが求められるのである。

補足資料

イエローストーン国立公園の概要^{1), 3), 4)}

(1) 公園の形成と位置・広さ

この公園はアメリカ合衆国のロッキー山脈中にあり、過去の2度の噴火によって形成された。一つは200万年前で、もう一つは60万年前である。公園の90%以上がワイオミング州の北西隅にあり、モンタナ州とアイダホ州にも一部かかっている。面積は約9000km²で日本の四国の半分ほどになり、また、高度は2200~3500mで火山岩の高台になっている。

(2) 名所案内

公園内には約3000の間歇泉、温泉、泥火山などが存在している。間歇泉では高さ75mの巨大間歇泉や60mの大間歇泉があるが、60分毎に4分半吹き上げるオールドフェイスフル間歇泉が有名である。イエローストーン湖は海拔2350m、面積360km²であり湖水が北流するイエローストーン川は平均300mの深さの大峡谷を作っている。公園北部のマンモス温泉には公園事務所、博物館がある。オールドフェイスフルインは1904年に建造された世界で最大の丸太小屋で、国の重要文化財になっている。その内部のロビーは大聖堂様式の薄暗い堂々としたもので屋根棟木の高さは28mもある。

(3) 動植物

この公園は1894年以来狩猟を禁じているので、世界最大の天然動物園ともいわれている。主は動物は、オシカ、シカ、カモシカ、野牛、山羊、くま、アナグマ、狐、コヨーテ、狼、大ヤマネコ、バンサー、リス、ネズミ、トガリネズミ、ジネズミ、うさぎ、ビーバー、ジャコウネズミ、カワウソ、テン、スカンク、イタチ、クヅリ、モルモット、ミンクなどである。主な植物はえぞまつ、モミの木、はこ柳、カナコソウ、スゲ、ユキノシタ、オヘビイチゴ、ラン、カッコウソウ、リン

ドウ、スイレン、キンポウゲ、カラシナ、アシ、イグサなどである。

参考文献

- 1) David Jeffery : National Geographic : February, p. 255 (1989)
- 2) 上野達雄 : 気象 : Vol 32, No. 9, p. 4 (1989)
- 3) 平凡社 : 世界大百科事典 第2巻、p. 28 (1972)
- 4) The faculties of University of Chicago :
ENCYCLOPAEDIA BRITANICA Vol. 23, p. 884
(1958)
- 5) 釧路市消防本部 : 近代消防 : Vol. 23, No. 4
(1985)

雪上動力ホース延長車

亀井浅道・山田 實・天野久徳
吉岡政行*)・森 晃二*)・鳴田 旭*)

1. はじめに

雪上で使用されるホース延長車は、操作性、機能の信頼性、耐久性、保守管理性に優れており、かつ、消防自動車に積載できるように小型、軽量化されたものでなければならないことは通常の動力ホース延長車にも共通するが、この他に多様な積雪状態下で使用できること、低温下の機能の高い信頼性なども求められる。このような要件を満たすものとして、今回雪上動力ホース延長車を試作したので、その概要を紹介する。写真は全てグラビアページに掲載されている。(詳細は消防研究所報告第68号(1989-9)をご参照ください。)

2. 構造

写真1(グラビアページ、以下同様)に積雪路面を走行中の雪上動力ホース延長車を示す。この雪上ホース延長車は車体とホース積載部から成っており、使用目的に応じてホース積載部を取り外し、他の荷物積載装置と交換することができる。車体はフレーム、駆動部、操作部、および安全装置で構成されている。主な仕様を表1に示す。

3. 操作方法

操作は全て本体後部で行うリヤオペレーション方式である。従って、エンジン始動、ステアリングハンドル操作、ブレーキ、アクセル、クラッチなどの操作部は写真2に見られるように車体の後部に設けられている。

(1) エンジン始動

エンジン始動用のキーがエンジンハウス内左側にある。また、キーによる始動ができない場合に備えてリコイルスタータが設けてある。

(2) ステアリングハンドル

ステアリングハンドルの形状は自転車などと同様なT型(ステンレス製)で、握り部にゴム製のグリップを施してある。旋回しようとする方向にハンドルをきると旋回方向のクローラにブレーキがかかり、車体が

表1 構造に関する仕様

1. 寸法 (mm)	
長さ	1,055
幅	1,000
高さ	1,065
トレッド	630
最低地上高	100
2. 重さ (kgf)	
本体	230
積載物	100
ホース (65mmφ) × 7	
管箱 × 2	
二股分岐管 × 1	
全重量	330
3. 動力源	
種類	ガソリンエンジン
排気量 (cc)	225
馬力 (H.P.)	6
タンクの容量 (ℓ)	4
4. 車体	
フレームの材質	鋼
駆動輪	ゴムクローラ(幅300mm)
接地圧 (g/cm ²)	78 (最大荷重下)

回転する。

(3) アクセル

アクセルレバーはステアリングハンドルの右側のグリップの直近に取り付けられている。右手をグリップに置いてこのレバーを操作する。右に回すとエンジンの回転数が上がる。レバーを放すとアイドリング状態に戻る。

(4) クラッチ

クラッチレバーはハンドルの下方で、中央からやや右側にある。このレバーは上下方向に動き、上にシフトさせるとエンジンのプーリと変速機間のVベルトにテンションプーリがコンタクトし、動力が繋がる。レバーは任意の位置に止めることができるようになっており、半クラ状態にすることが可能である。

(5) ブレーキ

ハンドルの下方のクラッチレバーと対称の位置にブレーキレバーが取り付けられている。クラッチレバーと同様に上下方向に動く。下にシフトするとブレーキ

*) 森田ポンプ株式会社

がかかる。

(6) 変速レバー

変速レバーはブレーキの下方にある。前進3速、後進1速でレバーの位置はH型である。中央の位置がニュートラルとなっている。

4. 積載部

ホース積載部の外形は、長さ1,095mm、幅1,000mm、高さ590mmの箱型である。この箱型空間において、エンジンルーム（長さ740mm、幅450mm、高さ500mm）を除く部分が荷物積載部となる。荷物積載部には7本の65mmホースと2本の管銃および1個の二股分岐管が収納できる。

ホースはエンジンルームの左右と前方の空間にエンジンルームの鋼板にU字形に巻き付けて積載する。ホース出口はエンジンルームの右側である。この積載方法の長所は走行中の振動によるホースの脱落が起きないこと、延長されるホースが操作員の走行の邪魔にならないことである（写真3）。

管銃収納箱がエンジンルームの前方空間の、3段に巻き付けられたホースの上部に取り付けられている。この箱はホース積載作業時には蝶番により車体の前方に倒しておくことができる。二股分岐管の収納位置はエンジンルーム左側の後部である。

5. 性能

(1) 速度

ほぼ平坦なアスファルト路面上と20cmの積雪路面で走行試験を行った結果、最大速度は概ね後進時とシフトレバーが1速のとき3.5km/h、2速のとき7km/h、3速のとき10km/hであった。

(2) 登坂能力

積雪状態と無積雪状態（地肌および草地）の坂道に

おいて登坂能力試験を行った。その結果、シフトレバーが1速の場合、無積雪状態で25度の坂道（写真4）および積雪状態で22度の坂道（写真5）での走行に支障はなかった。

(3) 連続走行持続時間

燃料消費量からの計算によると、燃料を満タンにしシフトレバーが2速で平坦地を走行すると最大積載荷重状態（100kgf）で3時間の連続走行が可能である。

(4) 回転半径

舗装路面上でハンドルをいっぱいにきった状態でクローラの轍を計測した結果、その回転半径は1,230mmであった。クローラ接地部（一番前の転輪の位置）から積載装置のコーナー部までの張り出し長さを考慮に入れて補正すると回転半径は約1,400mmとなる。

(5) 各種路面における走行性

砂地、砂利道、ぬかるみにおいても支障なく走行した（写真6）。また、草丈が15cm程度の草原も問題なかった。

(6) 消防自動車への積み下ろし

このホース延長車は登坂能力が優れているので、写真7のように板でスロープを作れば容易に消防自動車に積み下ろしができる。クラッチレバーを任意の位置に保持できるので、積み下ろしの作業は容易である。

4. むすび

今回開発した雪上ホース延長車は、災害現場で要求されるさまざまな厳しい環境に対処できるように設計したつもりであるが、今後、必要に応じて改良を重ねてゆく所存である。

また、この延長車は馬力が大きく長時間の使用に耐えられ路面状態を選ばずに使用できるので、林野火災に対しても有効であると考えられる。

原油火炎から生じる煙粒子

古積 博

1. はじめに

火災時に生じる煙は凝集物とガス成分から成り立つ。凝集物としては主として炭素から成るすす及び水滴があり、またガス成分としては火炎から生じる二酸化炭素、水蒸気及び一酸化炭素その他のガスがある。火炎から火炎外へ放射した煙は火炎から外部へ放射される熱を吸収して火炎外部への熱放散を防ぐ。また、建物火災では煙の存在は見通し距離を下げ、避難活動に重大な支障を生じる。そこで、煙の引き起こすこれらの問題を解明するために、先ず、これらの問題を引き起こす主体である煙粒子の生成量、諸性状を調べる必要がある。そのために代表的な液体炭化水素の一つである原油を燃料として、黒煙の最も多く生じるのは火炎の最盛期であるのでこの時に、不完全燃焼の結果生じる黒煙の主体であるすすを火炎ブルーム域から採取してその形状、大きさを調べ、またその濃度を測定したのでその研究の概要を紹介する。また、火災時に生じる煙には黒煙のほかに、神¹⁾が以前に行ったようなくん焼燃焼時に白煙が生じるが、両者の煙粒子の形状、大きさにどのような違いがあるのか調べた。

2. 実験概要

実験は消防研究所の排煙処理装置付消火実験場の主実験場 (24m 四方、高さ 20m) のほぼ中央において直径 0.1m 及び 0.6m の鉄製タンク内でアラビアンライト原油を燃焼させた。図 1 のように火炎の頂部より高くほぼ完全に火炎内の燃焼反応の終了した高さにおいて煙粒子 (すす) の採取及びそれとほぼ同じ位置において光散乱式の煙濃度計 (柴田科学(株)製 AP710)²⁾ により連続分析を行った。採取された煙粒子及び煙粒子の付いたフィルターは恒温槽で約 150°C で 2 時間乾燥させた後、重量測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 すず粒子の形状、大きさ

図 2 は 0.1m タンクの燃焼において生じたすすを東京理科大学の橋本博士に依頼して透過型電子顕微鏡 (倍率: 12000 倍) により撮影したものである。火災の最盛期においては、火災域への空気流入が不十分なため不完全燃焼となりその結果としてすすが生じるが、その生成過程には図 3(a) のように 2 つの過程に分けられる

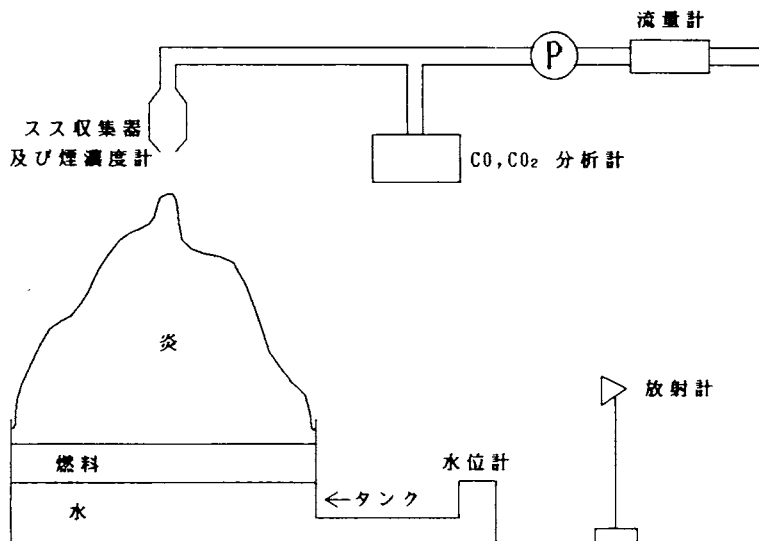


図 1 実験概要図

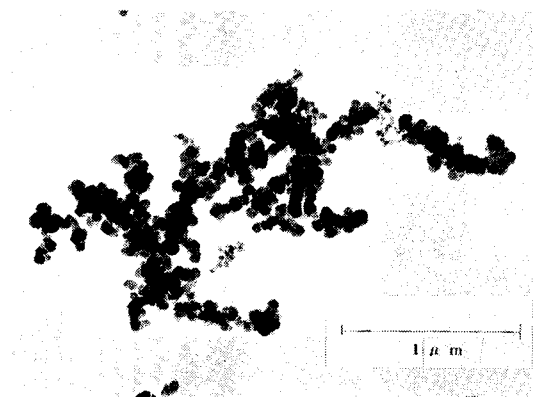


図2 すず写真(0.1m タンクの燃焼において生じたすずを透過型電子顕微鏡 (倍率: 12,000倍) により撮影したもの)

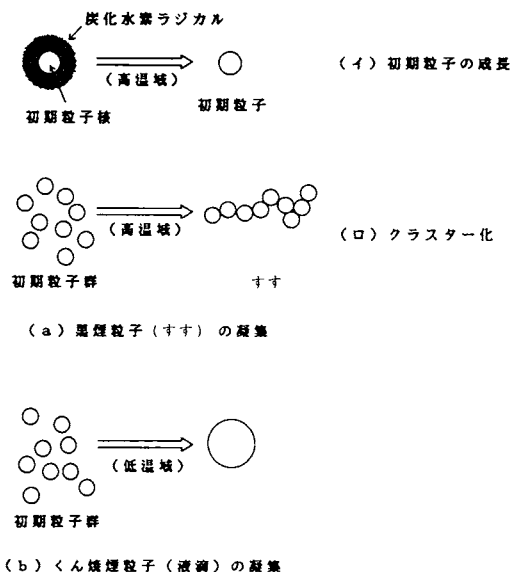


図3 煙凝集物の成長過程

と考えられる。

- (イ) 火炎内の複雑な燃焼反応により初期粒子核が作られ、更にその表面においてラジカル反応によって初期粒子が成長する。初期粒子は球形をしている。
- (ロ) 形成された初期粒子同士が火炎内でブラウン運動によって互いに衝突しながら成長していき、この結果生じた粒子は図2のようにランダムなぶどう状の形をしておりクラスターとも呼ばれている。クラスターも運動しており初期粒子と、或はクラスター同士互いに衝突してより大きなクラスターとなる。撮影された合計 172 個の煙粒子（クラスター）は

図2のように球形ではないが、便宜的にそれぞれの粒子直径 d を図4のような Mulholland の方法³⁾に従って、 L をクラスターの平均的な長さ、 W をそれに垂直な長さとして、 $d = (L \cdot W)^{1/2}$ によって計算した。 L と W の比 L/W はクラスター全体の形状を表すパラメーターであり、得られた平均値は 1.61 であった。この値は、Mulholland らの直径 10cm のアセチレン炎から生じるすずでの測定結果 (1.68) と良く合致した。この値が 1 に近い程、粒子は球に近いと言える。図5はクラスターの粒子直径 d の分布を調べた結果である。粒子直径が $0.2 \sim 0.3 \mu$ のものが最も多く、また、最大のものは 5μ 程度である。これらの結果は米国商務省標準技術研究所火災研究所 (NIST/CFR) の Evans⁴⁾ らのアラスカ原油を燃料として使った直径 0.6m、1.2m のタンクを使った実験結果ともほぼ一致し、炭化水素火炎からの燃焼で生じるすずは燃焼規模、燃料種によって大きさ、形状に大きな違いが見られないようである。

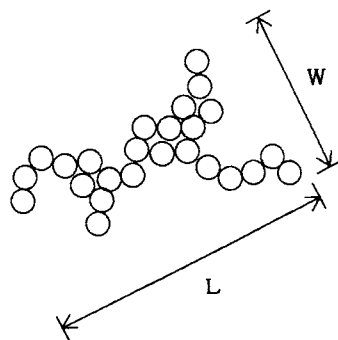


図4 クラスターの粒子直径 d の求め方
 L はクラスターの平均的な長さ、 W はそれに垂直な長さで、 d は $d = (L \cdot W)^{1/2}$ によって計算した。

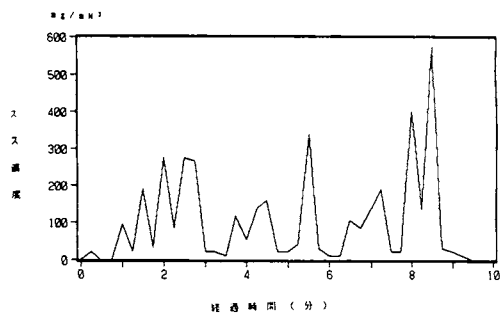


図5 火炎頂部よりやや高い点でのすず濃度の燃焼実験中の経時変化 (0.6m タンク、燃料厚さ 2 cm、すず濃度測定高さ 3.6m、中心軸上)

3.2 すすの濃度と燃料のすすへの変換率

図6は直径0.6mのタンクでの燃焼実験において、煙濃度計により連続分析した、火炎頂部よりやや高い位置(液面から3.6mの高さ、火炎中心軸上)での煙濃度の連続分析の結果である。濃度は大きく変動しているが平均値は $100\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ 程度である。くん焼煙の場合、例えば図7、8の液滴粒子ではSeaderら⁵⁾に従って計算すると、濃度は約 $2,100\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ (標準状態(0°C 1気圧)における1立方メートル当りの重量濃度、以下同じ)となっている。また、同時に測定された燃焼速度及び同じ高さでの二酸化炭素、一酸化炭素の各濃度の

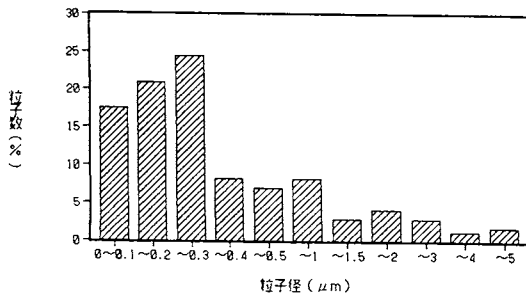


図6 すす粒子の粒度分布(図2のような写真中の合計172個の粒子から求めた)

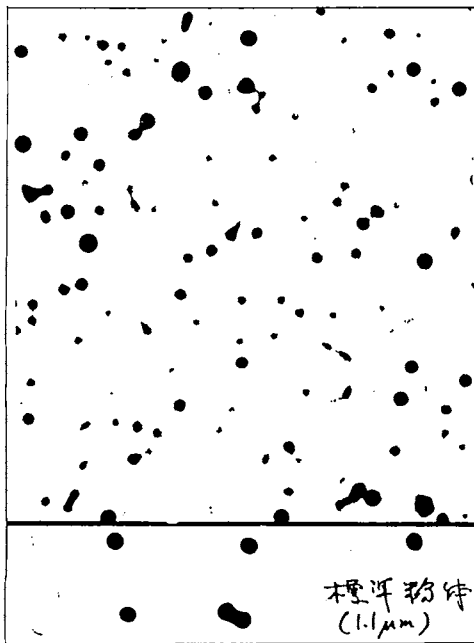


図7 くん焼煙粒子の写真(杉を無酸素状態、500°Cでくん焼させて発生30分後に撮影したもの的一部分)¹⁾

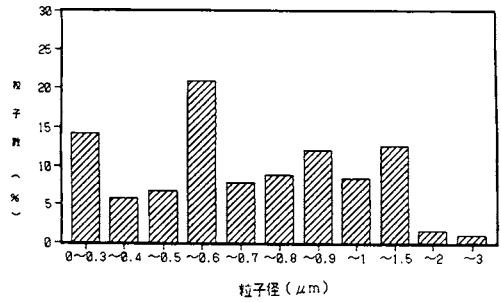


図8 くん焼煙粒子の粒度分布(図7のような写真中の合計191個の粒子から求めた)

測定結果を使って計算すると燃料のうち約3~10%がすすに変換していることが判った。この結果はMulhollandら⁶⁾の小規模実験(タンク直径8.5cm~60cm)の結果に比べてより大きな値となっており、燃焼規模が大きい程すすへの変換率は大きくなることがわかった。

3.3 くん焼煙の結果との比較

くん焼時に生じる白煙の主成分は水滴であり黒煙同様に先ず、初期粒子核が出来て、次いで凝集過程によってより大きな粒子を作る(図3(b))。この過程はすす形成同様にブラウン現象により支配されているが、水滴は温度が高ければ気体になるために100°C以下の温度の場所で進むこと、粒子の成長が表面張力により支配されるため凝集物も球状になる。図7は木材(杉)を窒素雰囲気中で500°Cで加熱して生じたくん焼煙から採取した粒子の光学顕微鏡写真である。¹⁾ 試料は発生1分後のくん焼煙であり、いずれの粒子もほぼ球形をしていることが判る。L/Dも1.21ですすの1.68に比べてより球に近い。また、図8はその大きさの分布である。くん焼煙粒子は液滴であるため、時間の経過と共に、また煙濃度の濃い時程、凝集により急速に大きくなる。図7のくん焼煙粒子はすすに比べて大きいことが判る。しかし、最大のものでも3μを越えるものはなかった。

4. まとめ

本研究の結果、次のようなことが判った。

- 1) 原油の液面燃焼によって生じるすすを主体とする煙粒子は直径が0.2~0.3μのものが最も多く、最大のもは5μ程度であった。すすの大きさはくん焼煙の液滴粒子より小さい。
- 2) すすを主体とする煙粒子の形状はぶどう(クラスター)状をしておりくん焼煙から生じる球状の液滴と大きく異なった。

5. 参考文献

- 1) 神 忠久：消防研究所報告 40号 p.11(1975)
- 2) 阿部帥男：産業公害 23巻 p.33(1986)
- 3) 武野計二、古積 博：火災 39巻(2) p.18(1989)
- 4) D. Evans, G. Mulholland, D. Gross and H. Baum:
Proceedings of the tenth arctic marine oil spill
program technical seminar (1987)
- 5) J. D. Seader, I. N. Einhorn : Sixteenth Sympo-
sium (Inter.) on Combustion, p.1423 (1976)
- 6) G. W. Mulholland, V. Henzel and V. Babrauskas :
Proceedings of the Second International Sympo-
sium p.347 (1988)

謝 辞

本記事は米国商務省標準技術研究所火災研究所 (NI ST/CFR) の G. Mulholland 博士との共同研究として行われたものの一部を紹介したものである。なお、実験の一部を手伝って頂いた宮崎研究員に対し深く感謝します。

オゾン層破壊とハロン規制について

佐宗 祐子

1. はじめに

地球環境の保護に対する関心が高まりつつある中で、スプレー缶の噴射剤などで知られるフロンガスによるオゾン層破壊が、最近大きな問題として注目されている¹⁾。「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」(通産省、環境庁)により、1989年7月から5種類のフロンガスの生産量が制限された。また、ハロンガスについても1992年1月から生産・消費が前記法律により規制されることになっている。半導体の洗浄剤や冷媒として多様に用いられているフロンガスに比べて、消火剤として使用されているハロンガスの方はあまり新聞などにも取り上げられていないが、コンピュータールーム、博物館、航空機等の消火設備に用いられているハロンは消火手段として重要であり、オゾン層破壊問題は消防関係者にとっても重大な問題となっている。そこで本稿では、フロン規制の動きの中で取り上げられているハロンとオゾン層破壊の関係について紹介する。

2. オゾン層破壊問題の経緯

今から約15年前のことである。1974年、MolinaとRowlandによって、フロンが地球を取り巻く成層圏のオゾン層を破壊し人類に悪影響を及ぼすという説が発表された²⁾。これを米国の新聞が取り上げて大きな反響を呼び、米国の学界、業界、政府などで活発な調査研究、議論が進められるようになった。新しい結果が発表されるにつれて、この問題は単なる仮説に終わるところかますます現実性が裏付けられ、フロンの使用に法的規制を加えようという動きが現れた。この頃日本ではまだオゾン層破壊問題に対する関心は非常に低く、調査・研究もほとんど行われていなかった³⁾。やがてフロンの問題は国際的論争にまで発展し、1985年国連環境計画の理事会でオゾン層保護基本条約が合意され、1987年にはフロン、ハロンの規制内容を具体的に定めたモントリオール議定書が採択され、日本もこれに署名した。1988年5月、議定書に基づく国内法として、「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」が制定された。おもな規制の内容を表1に示す。

表1 フロン・ハロンの規制内容⁴⁾

対象物質 〔オゾン破壊係数*〕	日 時	年間消費量 算定値	年間生産量 算定値
フロン11(CFC11) 〔1.0〕	1989. 7. 1 以 降	100%	100%
フロン12(CF2Cl2) 〔1.0〕		以下	以下
フロン113(C2F3Cl3) 〔0.8〕	1993. 7. 1 以 降	80%	80%
フロン114(C2F4Cl2) 〔1.0〕		以下	以下
フロン115(C2F5Cl) 〔0.6〕	1998. 7. 1 以 降	50%	50%
ハロン1211(CF2ClBr) 〔3.0〕	1992. 1. 1 以 降	100%	100%
ハロン1301(CF3Br) 〔10.0〕		以下	以下
ハロン2402(C2F4Br) 〔未定〕			

- *) これらのオゾン破壊係数は、現在の知見に基づいた推定で、定期的に見直し改正される。
- 注) ① 消費量=生産量+輸入量-輸出量
- ② 生産量=実際の生産量-破壊量
- ③ 生産量の算定値=生産量×オゾン破壊係数
- ④ 消費量、輸入量及び輸出量の算定値については、③に準じて算定する。
- ⑤ 生産量、消費量等の算定は、1986年のものの値を基準とする。

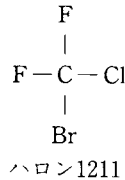
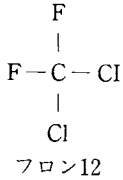
3. フロンとハロン

「フロン」は日本工業規格(JIS)が定めた用語であり、国外ではクロロフルオロカーボン(CFC)と呼ばれている。「ハロン」は消防法令におけるハロゲン化物消火薬剤に用いられる呼称で、米国陸軍技術部がハロゲン系消火剤を開発した際に命名したのが始まりとされている⁵⁾。

フロンもハロンも、広義にはハロゲン原子(フッ素、塩素、臭素など)が炭素原子に結合している化合物の総称として同義語であるが、半導体の洗浄剤や冷媒の分野ではフロン、消火剤の分野ではハロンというように呼称が使い分けられている。各々の用途により化合物の種類が異なるため、一般に炭素原子(C)にフッ素(F)と塩素(Cl)が結合した化合物の総称としてフロンを用い、フロンのフッ素または塩素の一部が臭素(Br)に置き変わった化合物の総称としてハロンという呼称

を用いることが多い。これらのフロン・ハロンのうち、特にオゾン層を破壊する能力が大きい完全にハロゲン化された(すなわち、分子中に水素原子を含まない)5種類のフロンと3種類のハロンが、前記法律による規制対象物質となっている。

(例)



フロンは化学的に不活性であり安定性が非常に高く、しかも毒性がなく不燃性である。さらに、適度の揮発性があり、熱伝導率が低い。これらの性質は冷蔵庫やエアコンの冷媒、発泡剤、溶剤、エアゾル噴射剤等の用途に好適であるため、オゾン層破壊が問題になるまで驚異の化学製品として生産・需要が急増した。

ハロンもフロン同様、化学的に不活性で毒性が低い。しかも、少量のガスで火災を消火することができるため、人が避難できないときでも窒息の心配が少なく、残留物もないので精密機械や美術品を損傷することも少ない。爆発抑制剤としても効果的である。これらの理由から、コンピュータールーム、博物館、機内等でハロンの需要は増加している。

4. オゾン層破壊のメカニズム^{6,7,8)}

オゾン(O₃)は酸素原子3個でできている分子であり、地上20km以上の成層圏で太陽からの紫外線を吸収し、酸素原子(O)と酸素分子(O₂)に解離し再結合するサイクルを繰り返している。

地表で放出されたフロンやハロンは非常に安定であるため、地表付近ではほとんど分解されないで長い時間をかけて成層圏まで拡散して行き、そこで紫外線にあたって分解し塩素原子(Cl)や臭素原子(Br)を生成する(図1)。これらの原子は、以下の反応式に示すよ

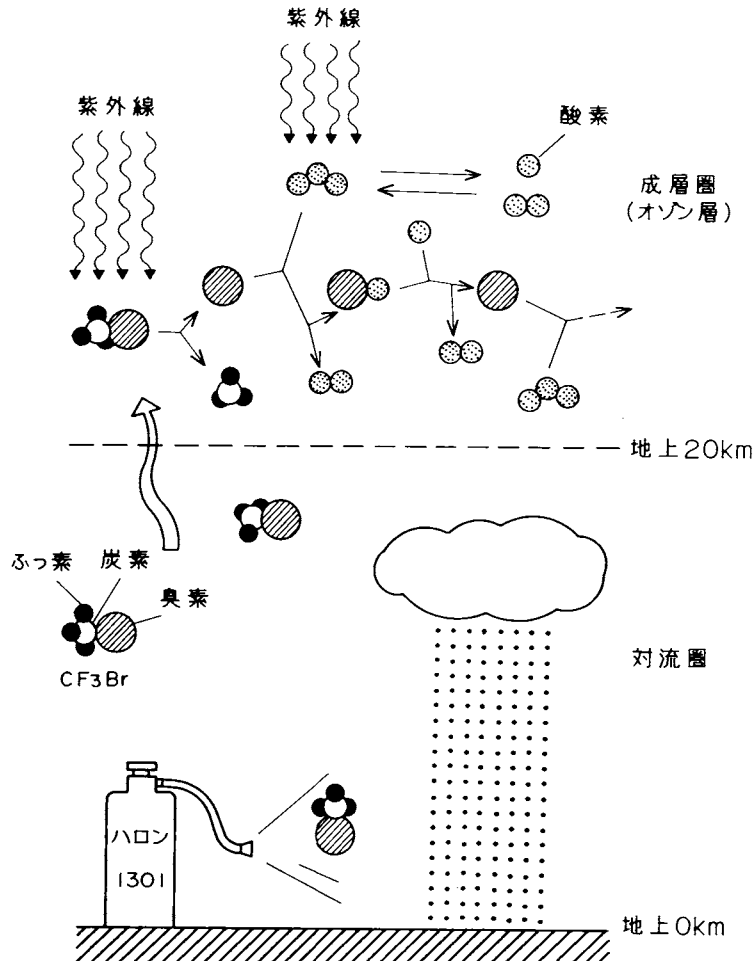
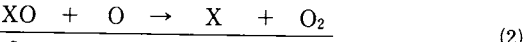


図1 ハロンによるオゾンの分解

うなサイクル ((1)→(2)→(1)→(2)→…) でオゾン層を触媒的に破壊していく。たとえば、1 個の塩素原子は数千個のオゾンを破壊すると考えられている。



ここでXはCl、Brなどを意味する。

ハロンの生産量がフロンに比べて数十分の1程度であるにもかかわらず、ハロンによるオゾン層破壊が問題にされているのは、臭素原子の方が塩素原子に比べてオゾン破壊の効率が著しく大きいと考えられているためである⁹⁾。フロンによるオゾン層破壊が成層圏上部で顕著となるのに対し、ハロンはフロンより紫外線で分解しやすいため、対流圏ではほとんど分解されないがオゾン濃度が最大となる高度20km以上の下部成層圏で急速に分解、減衰し臭素原子を生成する (図2)。ハロ

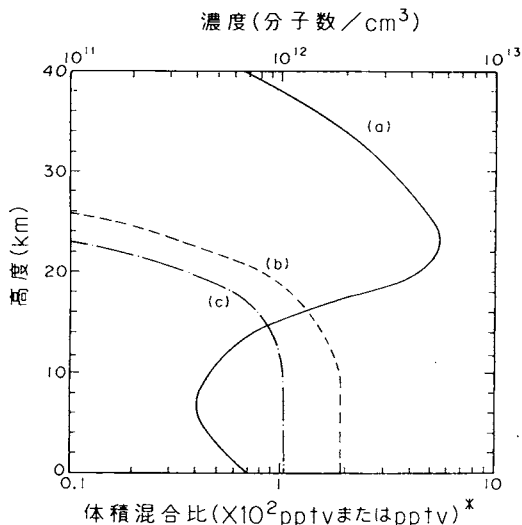
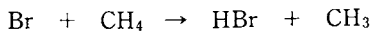


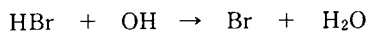
図2 オゾン及びフロン、ハロンの高度分布^{6,7)}
 (a): オゾン(分子数/cm³), (b): フロン11(×10² pptv), (c): ハロン1301(pptv)

*) 1 pptv = 体積混合比1兆分の1

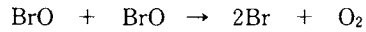
ンの光分解で生成した臭素原子によるオゾン破壊サイクルの特徴は、



のような、HBr生成反応による臭素原子の消失速度が塩素原子の場合に比べてはるかに遅く、一方生成したHBrからBrへの戻りの反応



がHClより速く、触媒サイクルの連鎖が長いことにある。更にBrO同士の反応、及びBrOとClOの反応



がClO同士の反応よりずっと反応速度定数が大きく、塩素原子または臭素原子を効率よく再生するため、BrOの濃度がClOに比べてずっと低いにもかかわらず、オゾン破壊への寄与は無視し得ないと考えられている。これら臭素原子の反応の特徴はすべて、H-Brの結合エネルギーがH-Clに比べて約16kcal・mol⁻¹低く、またBr-Oの結合エネルギーがCl-Oに比べて約8kcal・mol⁻¹低いことによる⁶⁾。

このように、フロンやハロンがオゾン層を破壊するのは、1)化学的に極めて安定なため対流圏ではほとんど分解されない、2)水に難溶なため雨水等に溶けて地表に降下する割合が少ない、3)紫外光により分解し、オゾン破壊効率の高い塩素原子や臭素原子を生成する、という性質によるものである。

塩素より臭素の方がオゾン層を破壊する能力が著しく大きいという研究結果に基づき、モントリオール議定書ではハロンに対してフロンよりオゾン破壊係数を大きく定めている (表1)。最近の観測結果から、成層圏大気中に予測より高濃度の臭素が存在しており、ハロンのオゾン層破壊能はもっと大きいという意見もある¹⁰⁾。現在、フロンよりハロンの規制が時間的にゆるやか(フロンの規制開始より2年半遅い)なのは、裏付けるデータが少ないこと、適当な代替品が無いこと、そして消火剤というハロンの重要な安全上の役割等の理由によるものである。

5. オゾン層の破壊による影響

オゾンは太陽紫外線の大部分を吸収し、太陽紫外線が地上に到達するのを防いでいる。紫外線はDNA(生体細胞内の核酸)など生物を構成する重要な分子を破壊するのに十分なエネルギーを持っている。そのため、地上に到達する紫外線量が増加すると皮膚ガン、白内障、免疫性疾患などの発生率が増加し、作物や生態系も悪影響を受ける恐れがあるといわれている。

6. ハロン規制の動向と対応策

1989年5月、ヘルシンキ宣言の採択により、今世紀末までに5種類のフロンを全廃することが合意された。ハロンについても、実行可能な限り速やかに全廃することが合意されたが、その後の作業部会では「全廃の時期決定は尚早」、「必要不可欠な用途は例外扱いにすべき」などの意見もあり、具体案の決定は見送られている¹²⁾。ヘルシンキ宣言の具体策は、1990年に開催される第2回モントリオール議定書締約国会議で決定され

ることになっている。

ハロンの環境中への放出経路としては、実火災の消火の他に、消火設備の試験、誤作動、廃棄、消火訓練、開発研究などが挙げられる。米国の場合、ハロン1301 (CF₃Br)の年間放出量は生産量の30%以下であり、そのうち消火目的の放出は25%以下にすぎないとされている。¹²⁾放出量の大部分は設備の試験などの火災時以外のものである。従って、米国におけるハロン規制に対する対応策としては、1)オゾン層に影響を与えない代替品の開発、2)他の既存の消火剤を用いることによりハロンの排出抑制を図る、3)試験等による放出分は回収・再利用する、などの他に、4)ハロン消火設備の試験時に他のガスを用いる、5)試験ガスを用いない消火設備の試験方法の開発、等が考えられている。¹³⁾ハロンの代替品開発はフロンと異なり、消火効果を維持しながら対流圏で分解され易く、しかも低毒性な物質でなければならない。既存の消火剤を用いる場合、水や泡では水損の問題や電気火災に使用できないこと、二酸化炭素は窒息の危険性、粉末は消火対象物の汚損の問題がある。ハロン消火設備の試験ガスの代替品としては、六ふっ化硫黄(SF₆)やハロン121(CHF₂Cl)について研究が行われているが¹⁴⁾ハロン1301と輸送物性が異なるなど解決すべき問題が残されている。ハロン消火設備の比較的新しい漏出試験方法として、試験ガスを用いないファン加圧技術が検討されている。¹⁵⁾

7. おわりに

以上、オゾン層破壊の機構とハロン規制の動きについて概説した。

ハロン消火設備の試験ガスや、冷媒、溶剤などのフロンの代替品としては、水素原子が結合したフロンの開発が検討されているようである。分子中に水素原子を含むとフロンやハロンは安定性が低下し、成層圏まで到達する前に分解してしまうためオゾン層を破壊する能力が非常に小さくなると考えられている。しかし水

素を含むフロンでも多量に放出すれば一部分は成層圏に達することは避けられないであろうから、このような代替品開発は問題を根本的に解決するものではないと思われる。さらに、地球の温暖化の原因としてもフロンやハロンが問題にされているが、分子中に水素原子を導入しても温暖化の問題は依然として解決されずに残ることになる。

本稿がオゾン層破壊問題とハロンの関係を理解する上で少しでもお役にたてば幸いである。

参考文献

- 1) D.G. Cogan: 地球環境の危機—フロンガスとアメリカの対応—、産業公害防止協会 (1989)
- 2) M.J. Molina and F.S. Rowland: Nature, 249, 810 (1974)
- 3) 富永 健: 化学と工業、28, 739 (1975)
- 4) 力久修一: 月刊フェスク、(財)日本消防設備安全センター、1989年7月号、p.2
- 5) C.L. Ford: Halogenated Fire Suppressants, American Chemical Society, p.2 (1975)
- 6) 秋元 肇: 環境技術、16, 727 (1987)
- 7) 坂東 博、鷲田伸明: トキシコロジーフォーラム 11, 1, 52 (1988)
- 8) 指宿 堯嗣: 安全工学、27, 64 (1988)
- 9) M.J. Prather, M.B. McElroy and S.C. Wofsy: Nature, 312, 227 (1984)
- 10) C.C. Grant: Fire Technology, 25, 81 (1989)
- 11) 朝日新聞朝刊、1989年9月7日
- 12) S.O. Andersen: Fire Journal, 81, 3, 56 (1987)
- 13) C.C. Grant: Fire Technology, 24, 70 (1988)
- 14) P.J. DiNenno, E.W. Forssell, M.D. Starchville and H.W. Carhart: Fire Technology, 25, 24 (1989)
- 15) 矢治頼夫: 月刊フェスク、(財)日本消防設備安全センター、1988年12月号、p.49

プラスチックの燃焼によって発生する有毒ガス

守川時生

1. はじめに

火災時の有毒ガスによる中毒死が問題になって久しい。住宅構造の気密化に加え、プラスチックなどの合成高分子物質の使用量の増加等がその原因と考えられる。

一酸化炭素は住宅の気密性が高い場合には酸素不足に起因する不完全燃焼によって発生し、プラスチックを含むすべての有機物の燃焼熱分解時に条件によっては発生する。しかし、プラスチックと在来からの天然高分子では、元素組成や化学構造が一般に大きく異なり、プラスチックの燃焼時には従来からの天然高分子からとは異なった有毒ガスが発生する可能性がある。火災時の有毒ガスの危険性の評価や安全性の確保のためには、プラスチックなど合成高分子物質からの有毒ガスの種類や発生条件について究明する必要がある。筆者はこれまで、種々の燃焼装置や燃焼室を用いてプラスチックを含む各種高分子物質を燃焼、熱分解し、発生ガスあるいは有毒ガスについて調べてきた。その結果を主体に述べることにする。

2. プラスチックからの有毒ガス

プラスチックが燃焼したときに発生するガスの種類は勿論燃焼条件によって当然異なる筈であるが、7種類のプラスチックから400種以上の燃焼生成物が検出されたという報告¹⁾がある。しかし、生成物をガス成分だけに限り、さらに、微量成分を除くとその数はさほど多くはない。火災実験の際に捕集したガスをガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)及びその他の分析器を用いて分析した結果、検出された成分は約20程度であった²⁾。また、個々のプラスチックを燃焼させたときの発生ガスの種類も30以下であった。これらの中で、人体の機能障害や致死に関係するか、あるいは、ある程度有害といえるものは、一酸化炭素、シアン化水素、塩化水素、窒素酸化物、アクロレイン、ホルムアルデヒド及びガスではないが燃焼生成物の一つである煤などに限られるものと思われる。

3. 各種有毒ガスの発生

一酸化炭素 (CO)

COは無色無臭のガスで、肺で血液中のヘモグロビンと結合し、ヘモグロビン本来の機能である体内への酸素の供給を妨げる。5—10分間ばく露の致死濃度は5,000ppmといわれる³⁾。その発生は、くん焼の場合を除いては、酸素不足の不完全燃焼により起こり、化学当量の1/4の酸素量の時に最も多く発生するという報告がある。COは火災時の有毒ガスとして最もよく知られており、どの有機物の燃焼によっても発生する可能性がある。プラスチックからの発生も例外ではない。なお、プラスチックからのCOの発生については他の有毒ガスの発生との比較において述べる。

シアン化水素 (HCN)

青酸ガスともいい、無色で多少刺激臭を持つガスで、神経系に作用し組織細胞内の原形質の酸化作用を阻害する。5—10分間ばく露の致死濃度は350ppmといわれる。HCNは天然高分子である羊毛などからも燃焼条件によっては発生はするが、プラスチックの出現によってその毒性が問題視されるようになった。可燃物の分子中に窒素を含有する場合にはHCNが発生する可能性がある。高温(700—800°C以上)にして、酸素不足の不完全燃焼の時に最も多く発生する。電気管状炉で各種高分子物質を窒素雰囲気中で熱分解した場合のHCNの発生を図1に示す⁵⁾。また、900°Cの高温ではその発生は図2に示すように窒素含有量に比例する⁵⁾。内容積8m³の半実大規模室内で各種窒素含有の高分子物質をペレットの場合は皿にいれ、他の場合はクリプ状に組んで皿の上に載せ、それを下から少量のメタノールの燃焼によって加熱しながら、種々の空気供給速度の下で燃焼させた場合について、HCNとCOの濃度を図3に示す⁶⁾。ポリアクリロニトリル及びナイロン6では毒性がCOの毒性を上回っているが、軟質硬質両ウレタンではCOの毒性の方が大きくなっている。同じ半実大規模室内で燃焼材料を一面の開いた箱型に組み、クリプ状に比べてより立体的な形状で、少量のメタノールを供給した状態または着火後はメタノールなしで、種々の空気供給条件下で燃焼させた場合のHCNとCOの濃度を調べた結果を図4に示す⁷⁾。この場合はクリプ状の場合と異なり、ウレタン系材料からのHCNの毒

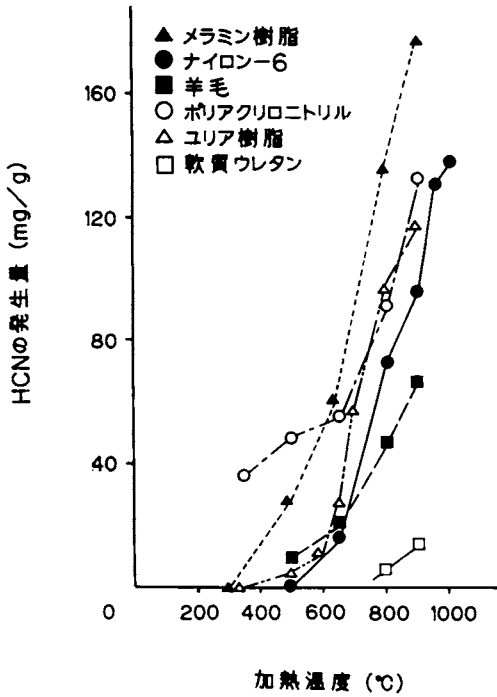


図1 電気管状炉内窒素雰囲気中熱分解における各種物質からのHCNの発生と加熱温度の関係

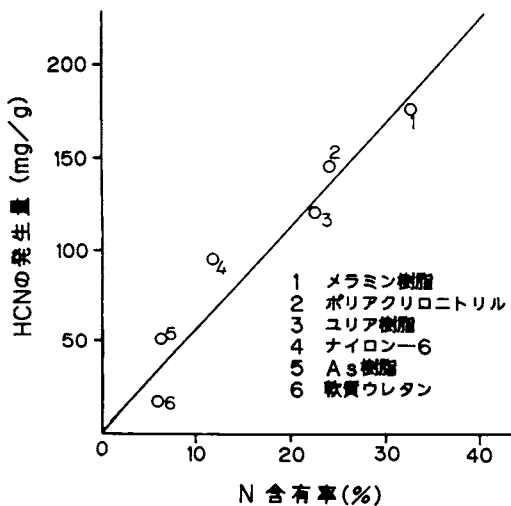


図2 電気管状炉内窒素雰囲気中熱分解におけるN含有率とHCNの発生量の関係

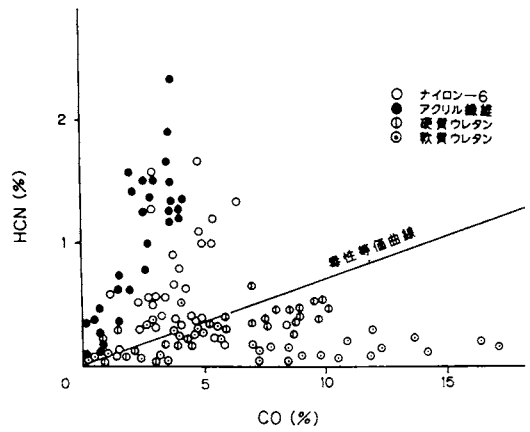


図3 8 m³容積の室で各種物質をペレットまたはクリブ状で燃焼させた場合のHCNとCOの濃度の関係

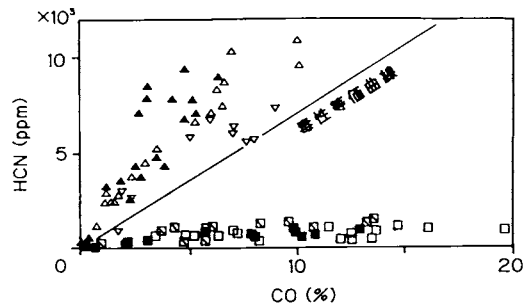


図4 8 m³容積の室で各種物質を箱型で燃焼させた場合のHCNとCOの濃度の関係

□合板、■難燃合板、◻合板メタノールなし
△硬質ウレタン、▲軟質ウレタンメタノールなし
▽イソシアヌレート、○フェノールフォーム

性はCOの毒性を上回っている。なお、合板からも多少HCNの発生がみられるが、それは合板が接着剤としてユリア樹脂を含むためであろう。

HCN濃度とCO濃度の関係について、クリブ状及び箱型に組んで燃焼させた場合を比較したところ、HCN濃度は毒性を考慮すると、箱型の場合の方が遥かに高くなった。⁷⁾クリブの場合は、炎がクリブの上部に抜けるのに対し、箱型の場合には炎が箱型内部にこもるため、高温状態で酸素不足になり、さらに、熱分解が盛んに起こり、HCNの生成が大きくなったのであろう。このように、半実大規模室においても燃焼条件によってHCNの発生は大きく異なるが、窒素含有プラスチックからのHCNの発生はCOの発生による毒性危険よりも大きい場合がある。

塩化水素 (HCl)

刺激性の強い酸性ガスで特に上気道など呼吸器系及び眼を刺激する。また、皮膚を刺激することもある。5-10分間ばく露の致死濃度は500ppmといわれる³⁾。塩化水素はポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデンなど、すべての含塩素有機物の熱分解によって、HClが離脱して発生する。したがって、空気中の酸素はこの反応に直接は関与しない。ポリ塩化ビニルからの発生は250℃以下でも100%起こるといわれる。そこで、一般の火災では分子中の塩素は殆どHClになるのが普通である。但し、例外として、電気火花やアークのある場合には塩素はホスゲンを生成する可能性がある。HClの測定例として、半実大規模室に塩ビを含む約130kgの可燃物を収納して、火災実験を数回繰り返して得た、HCl濃度とCO濃度の関係を図5に示す⁸⁾。これによると、HClの毒性はCOの毒生に比較して遥かに小さいことがわかる。

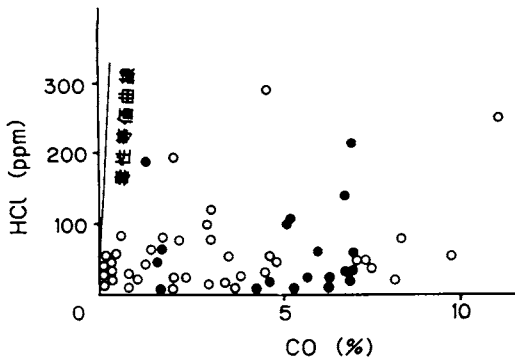


図5 8 m³容積の室内火災実験を7回行った場合のHClとCOの濃度の関係

時間：●フラッシュオーバー後火災加重30%減まで
○その他

アクロレイン (CH₂=CHCHO)

強刺激性、無色のガスで、眼、呼吸器系及び皮膚を刺激する。5-10分間ばく露の致死濃度は30-100ppmといわれる³⁾。各種高分子物質を管状炉の石英管に通気しながら種々の温度で燃焼熱分解させたところ、アクロレインの発生は400℃程度のごん焼状態で、ポリエチレン、ポリプロピレン、セルロース系物質等から外いことがわかった⁹⁾。実験室的にポリエチレン、ポリプロピレン、セルロースなどを燃焼させた場合には、アクロレインの濃度の方がCO濃度より毒性を考慮した値として高い場合がある。ポリエチレンの場合の1例

を図6に示す¹⁰⁾しかし、実大規模に近い8m³の室内で燃焼させた場合には図7に示す⁶⁾ようにアクロレインの毒性の方がCOの毒性より小さくなっていく。このようにアクロレインとCOの濃度関係は種々の条件、たとえば、温度の高低、炎の有無などによって変わるようである。実大火災実験でアクロレインが大量発生する特殊な条件があるかどうかは今後の研究課題である。

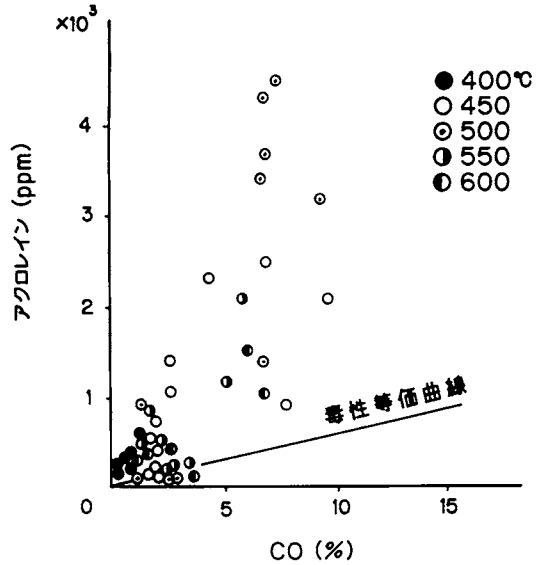


図6 たて型電気管状炉でPEを燃焼させた場合のアクロレインとCOの濃度の関係

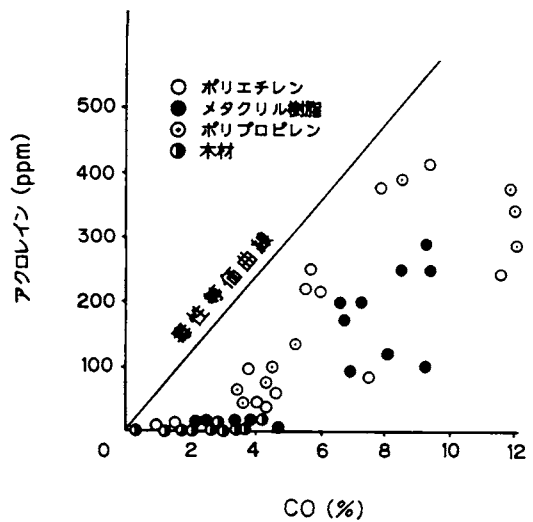


図7 8 m³容積の室で各種物質を燃焼させた場合のアクロレインとCOの濃度の関係

ホルムアルデヒド (HCHO)

強刺激性、無色のガスで、その毒性は原形質毒であると共に粘膜への刺激と中枢神経系への麻酔作用である。また、たんぱく質を変性させ生体組織に炎症を起こす作用もある。致死濃度は明かではないが、アクロレインの場合の6倍というラットによる実験データ¹¹⁾があるので、ここでは180ppmとする。各種高分子物質を管状炉の石英管に通気しながら種々の温度で燃焼熱分解させたところ、ホルムアルデヒドは、アクロレインの場合と同様、ポリエチレン、ポリプロピレン、セルロース系物質からの発生が大きいことがわかった⁹⁾。試料単位重量当りからの発生量は毒性を考慮に入れるとアクロレインの場合より遥かに小さかった。なお、フェノールフォーム樹脂は原料にホルマリンを用いているが、ホルムアルデヒドの発生は殆んどみられない。20 l の容積のチャンバー内で空気を通じながら各種物質を燃焼させたときのホルムアルデヒドとCOの濃度の関係を図8に示す。¹²⁾プラスチックではいずれの場合もCOより毒性が小さいことがわかる。

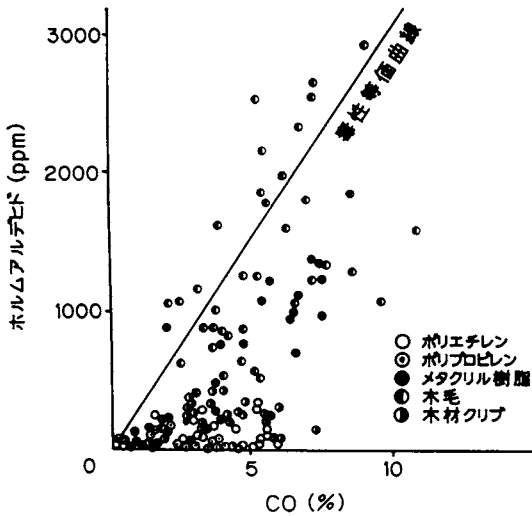


図8 20 l 容積チャンバー内で各種物質を燃焼させた場合のホルムアルデヒドとCOの関係

窒素酸化物 (NO_x)

窒素酸化物には数種類あるが、火災の際に毒性の点で問題になるのはNO及びNO₂である。NOは無色、無臭のガスで五感への直接的な作用としては、僅かに呼吸器系への刺激を呈するくらいであるので、その存在を感じ難い。NOは空気中でNO₂に変わることもあるので毒性に関するデータは非常に少ない。NO₂は褐色で酸性のガスである。NO_xの5-10分間ばく露の致死

濃度は200ppmといわれる³⁾。NO₂の生成は空気の供給量が多いほど多くなる。発生量は窒素含有高分子の燃焼で多く、窒素を含まない高分子では少ない¹²⁾。なお、NO_xの毒性危険は少なくとも筆者の行った実験の範囲では、如何なる条件でも大きいとは言えなかった。^{6,12,13)}

煤

煤は急性的には化学的毒性作用を持たないが、視野を妨げたり、呼吸器系を詰まらせるという物理作用は持つものである。また、塩化水素を抱き込んで肺に影響を与えらるともいわれる¹⁴⁾。さらに、発ガン性のベンツピレンなどを含む恐れもある。煤の発生は殆どの高分子の燃焼で起こるが、物質構造による差が大きい。木材などのセルロース系物質から煤の発生は小さく、ポリスチレンや塩ビのようにベンゼン核を持つか、HClが離脱して二重結合ができ易い物質の場合に大きい。¹⁵⁾

4. プラスチック系火災実験における有毒ガス

実規模火災実験の例について述べる。2階建ての鉄筋コンクリート造りの家屋内でプラスチックを含む合成系可燃物火災実験(合成系火災実験)を開口条件を変えて繰り返し行い、有毒ガスの濃度を火災室及び2階室で調べた。2階室ガスについてはラビットを用いた動物ばく露実験をも行った。そのとき、天然系可燃物火災実験(天然系火災実験)も行い、両実験の結果を比較した¹³⁾。火災室(1階、6畳)に収納した可燃物量は、天然系、合成系火災実験の場合とも、81kg、合成系の場合、合成可燃物量は全可燃物量の23%であった。また、窒素含有物量は両実験とも11%であった。火災室及び2階室の最大毒性指数Σ(C_i/C_{fi})を図9に示

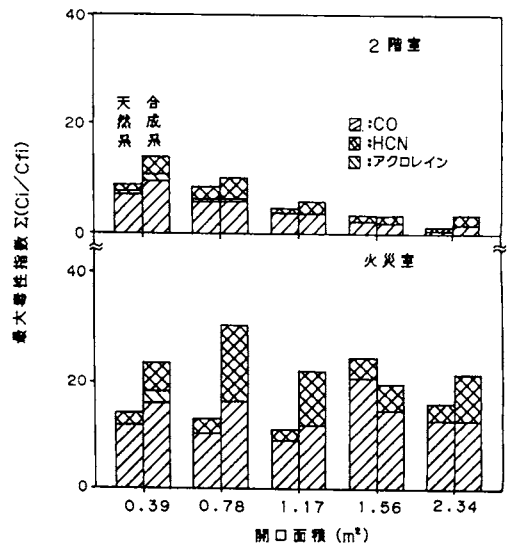


図9 実建物火災実験における最大毒性指数

す。ここに、 C_i は毒性成分の濃度、 C_0 はその5-10分ばく露の致死濃度である。天然系火災の毒性の主体は殆どCOのみで、合成系の場合はCO及びHCNであることがわかる。いずれの場合も他のガスの毒性は毒性指数としては小さい。致死や行動不能となったラビットの血液中のCN⁻イオン濃度とCOヘモグロビン(CO Hb)レベルの関係を図10に示す。天然系の場合に比べて合成系の場合はCOHbレベルが低いという傾向がみられる。しかし、シアン濃度は天然系の火災時よりも合成系の場合の方がやや高い値を示している。

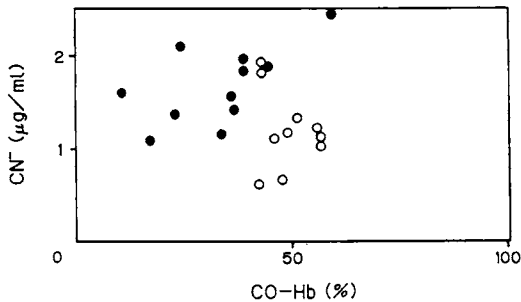


図10 2階室ガスばく露によるラビットの血中シアンイオン濃度とCOHb濃度の関係

5. まとめ

各種プラスチックから発生する多種類のガスのうち、人体の機能障害や致死に関係するか、あるいは、ある程度有害といえるものはCO、HCNなど数種に限られる。実験室的に種々の条件下で燃焼させた結果では、火災時の有毒ガスの中心的存在であるCOよりも毒性が大きい成分もみられるが、空気流入条件を変えて繰り返し行った実建物火災実験ではCOが、やはり、有毒ガスの主成分であることがわかってきた。しかし、合成

系可燃物の割合の高い火災では、HCNの影響は無視できないものと思われる。

他の有毒ガス、例えばアクロレインに関しては、実際の火災条件でも、実験室規模の燃焼実験の結果から推測して、特殊な場合には大量発生する可能性があるため、今後、この点をさらに研究して行く必要があらう。

参考文献

- 1) Levin, B.C. : NBSIR 85-3267 (1986)
- 2) 守川時生、箭内英治：消防研究所報告、No. 59, p.67 (1985)
- 3) Terril, J.B. : Science, 200, P.1343 (1978)
- 4) 守川時生：消防研究所報告、No.49, p.14 (1980)
- 5) 守川時生：日本火災学会論文集、22, No.1, 2, p.1 (1972)
- 6) 守川時生、箭内英治：消防研究所報告、No.60, p.95 (1985)
- 7) 守川時生、箭内英治、松本隆治：消防研究所報告、No.64, p.15 (1987)
- 8) 守川時生、箭内英治：消防研究所報告、No. 62, p.1 (1986)
- 9) Morikawa, T. : Journal of Combustion Toxicology, 3, p.135 (1976)
- 10) 守川時生：消防研究所報告、No.58, p.39 (1984)
- 11) Alexeeff, G.V. : Journal of Fire Sciences, 2, p.362 (1984)
- 12) 守川時生：消防研究所報告、No.63, p.71 (1987)
- 13) 守川時生 他：火災学会論文集、38, No.2, p.7(1989)
- 14) Stone, J.P. : Journal of Fire & Flammability, 14, p.42 (1973)
- 15) Morikawa, T. : Journal of Combustion Toxicology, 5, p.349 (1978)

自動火災報知設備の非火災報低減のための作動レベルについて

竹元 昭夫

1. はじめに

昭和59年に自動火災報知設備の技術上の規格を定める省令が改正され、非火災報対策の一環として、多信号感知器及び2信号式受信機が導入された。

多信号感知器は「その有する性能、種別、公称作動濃度又は公称蓄積時間の別ごとに異なる2以上の火災信号を発信できるものであること」と定義されている。

また、2信号式受信機は「火災信号を受信したとき、主音響装置又は副音響装置により火災の発生を、地区表示装置により当該火災の発生した警戒区域をそれぞれ自動的に表示すること」、「この表示中に当該警戒区域の感知器から異なる火災信号を受信したとき、前記の表示を継続するとともに、赤色の火災灯及び主音響装置により火災の発生を自動的に表示し、かつ、地区音響装置を自動的に鳴動させること」と定義されている。

この両者の機能を組合せて、1種感度の信号で予報を、2種感度の信号で火災報を、3種感度の信号で連動報を発する自動火災報知設備が多く市販されている。この種の設備は上記3種類の信号の他、1種感知器の不作動試験レベル（煙感知器が作動してはならないとされている煙濃度）から3種感知器の作動試験レベル（煙感知器の作動試験を行うときの煙濃度）までの煙濃度も出力できるオプション機能を持っている。従って、この設備では予報あるいは火災報が発生した場合の煙濃度のピーク値、継続時間等の経時変化を知ることができる。

しかし、この設備をそのまま導入しても、火災報レベルは従来の単一の信号を発する感知器（以下、On-Off型感知器という）と同じ2種感度なので、必ずしも非火災報の低減にはならないように思われる。むしろ、設置環境によっては、非火災報となった火災報レベルを予報とし、火災報レベルはその上に感度設定することができるような機能を持たせることにより、非火災報の低減に効果を発揮できると考えられる。

そこで、この設備と似た機能を持つ既存の自動火災報知設備でのデータを収集し、非火災報発生時の感知器出力の経時変化を調べると共に、予報と火災報の発

生状態を分析し、非火災報の低減のための環境に対応した感度設定について検討を行った。

2. 調査防火対象物及び自動火災報知設備の概要

2.1 防火対象物の構成

データ収集を行った建物は地上9階、地下2階、塔屋1階の鉄骨・鉄筋コンクリート造で、複合用途防火対象物である。地下2階はビル関連設備、地下1階はバー等の飲み屋街を主体とした飲食店階、1階は貴金属店等と飲食店が混在、2階は居酒屋等含む食堂階、3階はホテル関係のフロント、会議室、レストラン、ティーラウンジ等がある。4階から9階まではホテルの客室階である。

2.2 自動火災報知設備

受信機はR型40回線であるが、火災表示関係、プリンター等については、3階以上のホテル階と2階以下のテナント階に分かれている。感知器の種類は表1に示すとおりである。

建物の設備関係、即ち機械室等はイオン化式の煙感知器、厨房等は熱感知器で、何れもOn-Off型である。その他の部分は、イオン化式の多信号感知器*である。

尚、表1に示す光電式感知器2種及びイオン化式感知器3種は、非火災報対策として、イオン化式の多信号感知器2種と交換されたものである。

表1 感知器の設置個数内訳

種類		種別	設置個数
煙式	イオン化式 (M)	2種、非蓄積型	309*
	イオン化式	2種、非蓄積型	137
	光電式 (M)	2種、非蓄積型	3
熱式	定温式	1種、70℃	31
	差動式	2種	4
計			484

(M) が多信号感知器で、他はすべてon-off型

*：3種、非蓄積型を2個含む。

* データ収集を行った感知器は2種のイオン化式で、予報はオプション機能であるので厳密には規格上の多信号感知器と異なるが、性能的には同じであり、On-Off型と区別するためにここでは多信号感知器という。

3. データの収集方法

調査した自動火災報知設備にはOn-Off型の熱及び煙感知器も接続されているが、ここでは、予報の得られるイオン化式の多信号感知器のデータのみを使用した。

自動火災報知設備に付属しているプリンターの記録紙から予報及び火災報が発生した日時、感知器番号及び火災報発生時の感知器出力を読み取り、火災報発生時の作動原因については警備日誌から抽出した。

データ収集の期間は60年2月末日から翌年の11月末の約21ヶ月であるが、印字が不鮮明で読み取り不可能な部分、あるいは記録紙の紛失などで、その期間の総てのデータを収集することはできなかった。

データ収集を行った自動火災報知設備は昭和59年の規格改正以前に開発されたもので、規格上の制約から感知器出力は2種感度の電離電流変化率0.24以下で、かつ火災報に至るまでの約90秒間の煙濃度が得られる。予報の場合は、発生時刻が自動的に印字され、感知器出力は手動操作でモニターできるが、記録紙からはデ

ータを得られなかった。

尚、火災報の前に発生する予報は1種感度に、火災報は2種感度に設定してある。

4. 結果と考察

4.1 非火災報と予報の発生状態

1) 非火災報又は予報が発生した多信号感知器の個数と割合

表2は4階以上のホテルの客室階と3階以下の飲食店等のあるテナント階別に非火災報と予報の発生したイオン化式多信号感知器の個数と設置個数に対する割合を示す。火災以外の原因で発生した「火災報」を「非火災報」とし、「予報」はそのまま「予報」として集計した。また、表に示す「警報発生率」は「非火災報発生」の割合と「予報のみ発生」の割合を加えたものを示す。

3階はホテルのフロントをはじめとするホテル関連の階であるが、レストラン、ティーラウンジ等があるのでテナント階に分類して集計した。また、ホテル階は「客室」と廊下、階段等の「客室以外」に分けた。

表2 各階毎の非火災報及び予報発生多信号感知器の個数と割合(イオン化式)

階数	設置場所	設置個数	非火災報発生		予報のみ発生		警報発生率 (%)	
			個数	割合(%)	個数	割合(%)		
ホテル階	9	客室	32	4	12.5	19	59.4	71.9
		客室以外	2	0	0	0	0	0
	8	客室	32	3	9.4	19	59.4	68.8
		客室以外	1	0	0	0	0	0
	7	客室	32	2	6.2	19	59.4	65.6
		客室以外	2	0	0	0	0	0
	6	客室	32	2	6.2	19	59.4	65.6
		客室以外	1	0	0	0	0	0
	5	客室	32	2	6.2	18	56.3	62.5
		客室以外	2	0	0	0	0	0
	4	客室	32	7	21.9	13	40.6	62.5
		客室以外	3	0	0	2	66.7	66.7
	小計	客室	192	20	10.4	107	55.7	66.1
		客室以外	11	0	0	2	18.2	18.2
中計		203	20	9.8	109	53.7	63.5	
テナント階	3	店舗内客席	7	1	14.3	1	14.3	28.6
		客席以外	11	4	36.4	1	9.1	45.5
	2	店舗内客席	16	9	56.3	5	31.2	87.5
		客席以外	18	1	5.6	6	33.3	38.9
	1	店舗内客席	14	2	14.3	1	7.1	21.4
		客席以外	8	0	0	3	37.5	37.5
	B1	店舗内客席	20	10	50.0	0	0	50.0
		客席以外	12	2	16.7	3	25.0	41.7
	小計	店舗内客席	57	22	38.6	7	12.3	50.9
		客席以外	49	7	14.3	13	26.5	40.8
中計		106	29	27.3	20	18.9	46.2	
計		309	49	15.9	129	41.7	57.6	

廊下は1ヵ所を除いてOn-Off型のイオン化式感知器が設置されているので、「客室以外」の多信号感知器の設置個数が少なくなっている。テナント階は客が利用するテーブル席、座敷等の部分を「店舗内客席」とし、店舗内であっても、従業員が使用する部分及び廊下等は「客席以外」として分類した。

ホテルの「客室」では192個の感知器のうち20個10.4%が非火災報を発生している。非火災報には至らなかったが予報を発した感知器まで含めた警報発生率は66.1%となっている。非火災報にならず予報でとどまった感知器の割合は55.7%で、半数以上の感知器が非火災報の予備軍として存在することとなる。予報を発生した感知器は1種以上2種未満の煙等の濃度に曝されていることを意味しているから、ホテルの客室は意外と非火災報の発生し易い環境にあると言えよう。

一方、テナント階では106個中29個27.3%が非火災報を発生し、予報も含めた警報発生率は46.2%である。この関係を「店舗内客席」で見ると、38.6%が非火災報を発生し、警報発生率では50.9%となり、「店舗内客席」での非火災報発生率及び警報発生率が大きいことが判る。

更に、「店舗内客席」を階別に見ると、居酒屋、焼肉店等の飲食店が並ぶ2階での発生率が大きく、非火災報発生率は56.3%、警報発生率は実に87.5%にもなっている。しかし、貴金属店、洋装店等が主な店舗である1階の非火災報発生率及び警報発生率はそれぞれ14.3%、21.4%と少なく、テナント階の平均発生率のほぼ半分程度である。

このように、テナント階の非火災報及び警報の発生率は店舗の業種に影響されている。

2) 非火災報と予報の発生回数

表3は非火災報を発生したことがある感知器について、その非火災報と予報の発生回数を各階毎に示す。表に示す「同一作動原因による非火災報回数」の意味は、例えば、非火災報が発生した後5分以内に再度非火災報が発生し、その後5分以内に非火災報の発生がなかったような場合、同一の非火災報要因で2回非火災報が発生したと考え、2回のものが1例あったとして計数している。この例においては、表の集計では「全回数」の欄には2と数え、「事象別」の欄では1と数えている。「予報の回数」についても同様に集計した。従って、「全回数」は発生した総べての非火災報（又は予報）の発生回数を示し、「事象別」は言い替えば、非火災報（又は予報）を発生させるような現象が何回発生したかを示す。

また、同一作動原因で何回予報が発生した後に非火災報となったかについては整理していないので、この表では非火災報が発生する前には必ず1回以上ある予報も含んだ値を示している。

表3の「全回数」で示す非火災報の「ホテル階」と「テナント階」の発生比率は約1対3.9である。一方、「事象別」の非火災報についても、「ホテル階」と「テナント階」でのそれは約1対3.8であり、「全回数」でも「事象別」でもほとんど差が無い。

次に、非火災報と予報の発生割合を求めてみると、「ホテル階」の「全回数」では、予報2.7回に1回の割合で、「事象別」では非火災報現象2.3回に1回の割合で非火災報が発生している。「テナント階」の「全回数」では、予報11.9回に1回の割合で、「事象別」では非火災報現象6.2回に1回の割合で非火災報が発生している。

「テナント階」では予報の発生も多く、一度非火災

表3 非火災報が発生したことがある感知器の非火災報と予報の発生回数

階数	同一作動原因による非火災報回数						計		同一作動原因による予報の回数							計	
	1回	2回	3回	4回	6回	全回数	事象別	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回以上	全回数	事象別	
ホテル階	9	4	1			6	5	12	3	1	1				25	17	
	8	3				3	3	14		1		1			22	16	
	7	3				3	3	5	1						7	6	
	6	2				2	2	4							4	4	
	5	2				2	2	3		1					6	4	
	4	10	1	1		15	12	10	3	1					19	14	
小計	24	2	1			31	27	48	7	4	1	1		83	61		
テナント階	3	5	1			7	6	25	8	2	5	3	6	7,9,11,17回：各1例	162	53	
	2	56	4	1	1	77	63	284	104	29	33	18	15	7回：3例、8回：5例、13回：2例、10,11,12,16,17,19,22,25,63回：各1例	1173	502	
	1	16	3			22	19	46	5	1	1				63	53	
	B1	14	0			14	14	19	4						27	23	
	小計	91	8				120	102	374	121	32	39	21	21	23	1425	631
計	115	10	2	1	1	151	129	422	128	36	40	22	21	23	1508	692	

注) 「全回数」とは、発生した非火災報の全ての回数をいう(予報の場合も同様)。

「事象別」とは、一つの非火災報要因で2回以上の発報があっても回数に関係無く1例として計数した時の回数をいう。

報が発生するような現象が起こると、平均6.2回の子報が発生している。

表3には示していないが、この他、非火災報には至らず子報のみを発生した感知器が、「ホテル階」と「テナント階」と合わせて129個あり、その子報発生回数は「全回数」では1019回、「事象別」では476回であった。従って、子報のみを発生した感知器1個当たりの子報発生回数は、「全回数」では7.9回、「事象別」では一非火災報現象当たり3.7回であった。

いずれにしても、全非火災報発生件数151回に対して、子報は非火災報に至らなかった感知器も含めると2527回であり、如何に非火災報が発生しやすい環境であるかが判る。

表2では、非火災報を発生した感知器の個数を示し、表3では、非火災報の発生回数を示している。両者から感知器1個当たりの平均繰返し発報回数を求めると、全体では約3.1回、ホテルの客室では約1.5回、テナント階では約5.2回となる。この場合においてもテナント階での回数の多いことが判る。

4.2 非火災報に至るまでの感知器の出力

図1～6は非火災報に至るまでの感知器出力の経時変化の代表例を示す。

1) 業種の異なる飲食店内の非火災報

図1は各種飲食店内の座敷客室で発生した非火災報事例を作動原因と共に示す。店舗Aの3例は同一感知器、店舗Bの2例は異なる部屋の感知器である。店舗Aの実線と一点鎖線で示す作動原因は「料理の煙」であるが、非火災報に至るまでの感知器出力の経時変化に大きな差が見られる。実線の場合は子報レベル(1種、電離電流変化率0.19)を超えているので子報が継

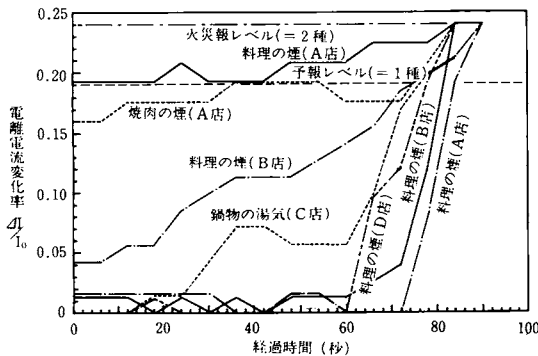


図1 飲食店舗内の各種非火災報原因による感知器出力の経時変化
A店:居酒屋、B店:寿司屋、C店:懐石料理屋、D店:鍋物屋

続して発せられている状態である。また、同じ感知器で作動原因が、「焼肉の煙」の場合も子報が発生し易い同じ様な傾向を示している。

また、店舗Aの「料理の煙(実線)」と「焼肉の煙(破線)」を除く、他の非火災報は調理を始めた時期に発生する非火災報のパターンと考えられる。例えば、店舗Cの「鍋物の湯気」を例に採ると、鍋が沸騰して蓋の透き間から蒸気が漏れ、それにより感知器出力に変化が起こり始めて、ある時期に蓋を取ることで鍋の湯気が一気に上昇し、それにより感知器出力が急激に上昇したものと考えられる。

2) 同一感知器による原因別非火災報

図2及び3は焼肉店の同一感知器による非火災報発生事例を作動原因と共に示す。図2は通常の空調時における「焼肉の煙」による事例を示す。図2を見ると、感知器出力の経時変化はAとBのグループに分けられる。図2に示す非火災報発生時の感知器の設置位置と焼肉をしていた客席との位置関係は不明であるが、当該感知器のほぼ真下に焼肉テーブルがあることから、グループAはこのテーブルからの、グループBは感知器の真下から離れた他の客席からの煙による経時変化のパターンではないかと思われる。

また、同図には「焼肉の煙」と共に「湯気」による感知器出力を示しているが、感知器出力の経時変化から両者を区別することはできない。

図3は非火災報の原因別や空調条件が異なる場合の例示である。図3の二点鎖線で示す「焼肉の煙」は「排風機停止後ロースタを使用」により発生したものであり、図2のBとAの中間のパターンを示している。一点鎖線で示す「焼肉の煙」は「焼肉中に排気ファンのブレーカ断」により焼肉の煙を感知した例で、図2のAのパターンに近い。

図3に示す「タバコの煙」は図2のAのパターンに近いことから、ロースタからの熱気流によってタバコの煙が運ばれて急激な立上りを示したのかも知れない。

3) ホテル階での非火災報事例

図4はホテルの客室で「タバコの煙」が原因で発生した非火災報の事例を示す。この事例においても、急激に感知器出力が立ち上がるグループAと、子報を発生するような煙が存在していて非火災報となるようなグループBとに分けられる。

グループAの一点鎖線を除く他の4例は感知器真下の近くで喫煙したために、濃い煙が感知器に侵入したようなパターンを示している。また、一点鎖線の場合も同じようなパターンと思われるが、その前に喫煙により天井付近に薄い煙が拡散していた状態を示して

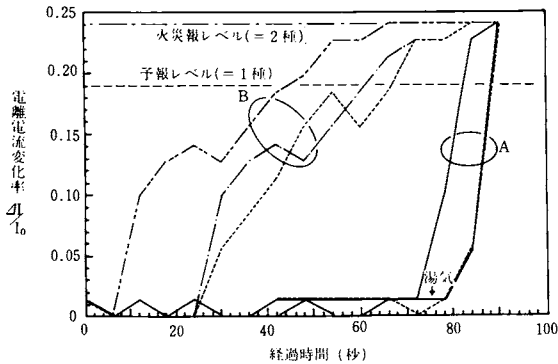


図2 焼肉の煙による同一感知器出力の経時変化 (焼肉店)

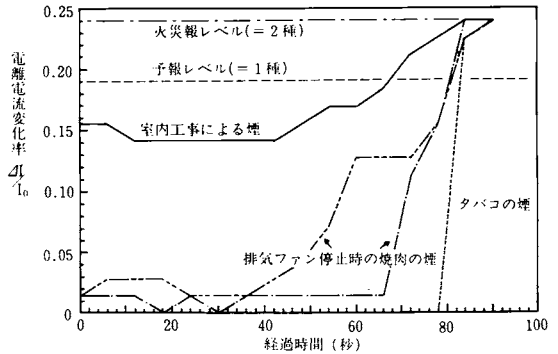


図3 作動原因別の同一感知器出力の経時変化 (焼肉店)

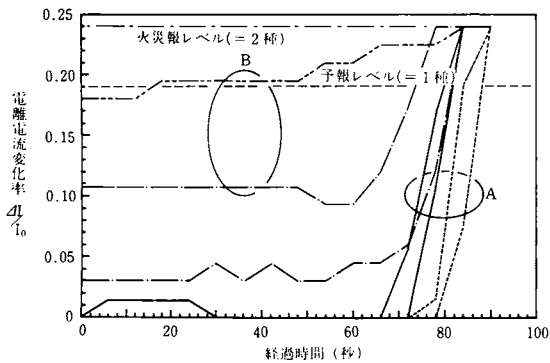


図4 ホテルの客室でのタバコの煙による感知器出力の経時変化

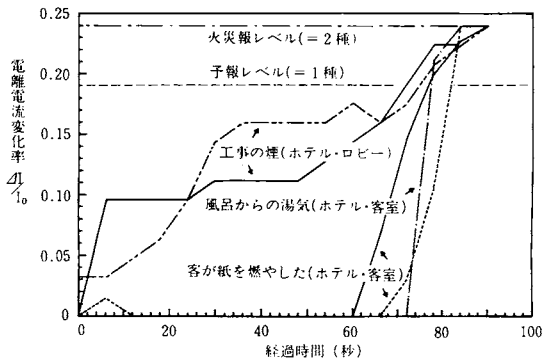


図5 ホテルでのタバコの煙以外の原因による感知器出力の経時変化

いると思われる。

グループBは客室内の感知器から離れた位置で数人の喫煙により天井付近に拡散した煙が蓄煙されていく非火災報になったものと思われる。

いずれにしても、感知器と喫煙者との距離、人数等によって感知器出力は変わる。言い替えば、喫煙による非火災報はその発生源が移動するので感知器出力の経時変化のパターンを想定することは難しいと言えよう。

図5は「タバコの煙」以外のホテル階で発生した非火災報の事例を示すと共に、「客が紙を燃やした」ために発生した火災報の事例を2例示している。これは火災感知と見てよいと思われるが、非火災報発生時の感知器出力と比較するために示した。このパターンを見ると、「風呂からの湯気」や図4のグループAの「タバコの煙」と同様なパターンを示し、火災検知と非火災を感知器出力から区別することは難しい。

図5の「工場の煙」は溶接による煙であるが、図3の「工場の煙」と同様に天井付近への煙の拡散による蓄煙により非火災報となったパターンを示している。

4) 繰返し発報の事例

図6は厨房から客席に流れ出た煙によって非火災報となった事例を示す。この場合は同一感知器が約70分間に6回の非火災報を発生し、非火災報が発生してから次の非火災報が発生するまでの間に発生した予報も5~12回となっている。この70分間に発生した予報は43回で、非火災報と合わせると49回となる。単純計算すると1.4分に1回の割合で警報を発したことになる。このような予報レベルの設定は予報の機能停止と言うことに、また、非火災報についても「ベルの停止」と言うことになりかねない。従って、このような環境においては非火災報となった火災報レベルを予報にし、火災報レベルは更にその上に設定する必要がある。

4.3 非火災報発生時の火災報レベル以上の継続時間

図7は非火災報に至るまでの煙濃度の経時状態と火災報レベル以上になっていた継続時間の一部を示す。本設備では火災報が発生すると火災報レベルに達するまでの約90秒間の煙濃度の経時データが自動的にプリンターに出力されるが、メモリ中のデータは時間の経過と共に更新されている。受信機の復旧スイッチで火災報を復旧させても、感知器から火災報の信号が送られてきていれば、その時点で再度火災報が発せられ、煙濃度のデータも再度出力される。この場合のデータは初めの火災報と次の火災報の時間差分だけ更新されたデータを含んだ約90秒間のデータが出力されることになる。従って、前のデータと後のデータを重ね合わ

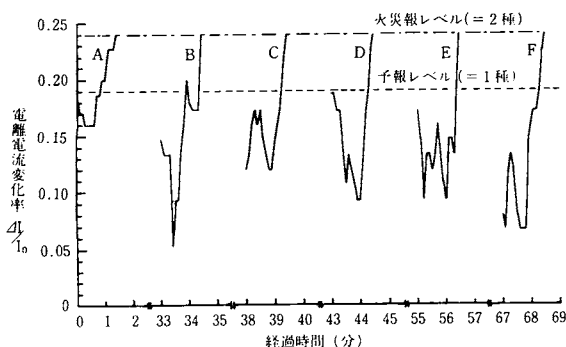


図6 約70分間に同一感知器で6回の非火災報が発生した例

〔各非火災報間で発生した予報の数
 A-B: 8回、B-C: 5回、C-D: 8回
 D-E: 12回、E-F: 10回〕

せることによって図7のグラフが得られる。

図7に示すように、火災報レベルの継続時間は曲線Aでは54秒以上、曲線Bでは66秒以上である。On-Off型の蓄積型感知器や蓄積式受信機の蓄積時間は通常20

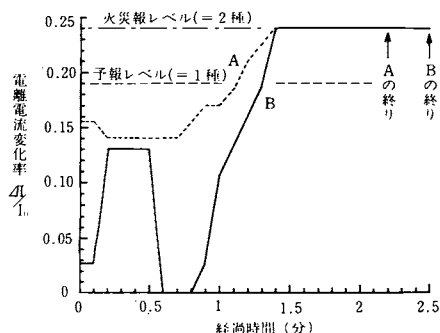


図7 火災報レベルの継続時間

～30秒であるから、図の場合には蓄積式であってもいづれも非火災報を発してしまうことになる。

従って、予報や非火災報が発生しやすい環境においては、単に現行法規に基づく蓄積時間だけでは非火災報を防止できない場合もあり、作動レベルの変更も考慮してシステム設計を行う必要がある。

5. 感度変更の可能性の検討

今回調査した結果では、予報が多発して本来の予報の意味をなしていないと言えよう。また、特定の設置環境では蓄積式の感知器や受信機であっても、非火災報が発生してしまう場合もある。調査データを基に、いま、予報を2種感度に、火災報を3種感度に感度設定したとすると、予報の発生回数は2527回から151回と大幅に減少し、予報としての位置付けに意味がでくると思われる。また、3種感度での非火災報の発生も減少することが期待できる。そこで、このような感度変更によって非火災報を防止する可能性について火災実験データを基に検討を行った。

表4は種々の火災実験で、アナログ出力が得られるように改造した各感知器の出力が1種、2種、3種の公称作動値に達した時間を求め、1種から2種、2種から3種の公称作動値に達する迄に要する時間を示す。

表から明らかなように実験Iに於いては、1種から2種及び2種から3種に達する迄の時間は、光電式の「綿灯芯」及び「カーテン・n-ヘプタン」を除けば大差はない。また、これらの時間は有炎燃焼に比べて、燻焼の方が大きくなる傾向にあるが、各時間とも規格上で示される蓄積型の感知器あるいは受信機の最長蓄積時間である60秒以内である。従って、次の種別に達する迄の時間は蓄積時間と同等かそれ以下であるので種別を超えた感度設定も可能であると判断できる。

実験II、IIIは何れもタバコの火等による燻焼から始まる火災を想定したものであるが、この場合の1種から2種、2種から3種に達する迄の時間は実験Iに比べて大きくなっているが、何れも4分以内である。また、2分以上の時間を有するものは何れも*印を付しであるが、これらは表4の枠外に説明してあるように、煙の増加率が緩やかで、かつ煙濃度の変動があるためであり、枠外で示す再計算した時間は何れも30秒以内となり、規格上の蓄積時間の範囲に収まっている。

これらの事例からすると、燻焼から始まるような火災の場合は、延焼速度が遅く、煙の増加も緩やかであると言えよう。

表4のデータは限られた大きさの狭い部屋での実験であるが、このデータを参考に、次の1)～3)の対

表4 感知器の出力が次の公称作動値に達する迄に要した時間

実験	燃料材	燃焼形態	イオン化式		光電式	
			1種⇒2種†	2種⇒3種††	1種⇒2種†	2種⇒3種††
I	ブナ材	燻焼	31"	29"	16"	13"
	綿灯芯	燻焼	7"	8"	19"	59"
	新聞紙・プラスチック屑籠	燻焼⇒着炎	2"	2"	3"	3"
	新聞紙・金属屑籠	有炎	2"	1"	9"	7"
	ポリウレタンマット	有炎	2"	2"	10"	14"
	カーテン・n-ヘプタン	有炎	2"	2"	9"	28"
灯油	有炎	1"	1"	4"	4"	
II	ベッド・マクラ	燻焼	3'58" (*1)	55"	1'58"	2'33" (*2)
III	布団	燻焼⇒着炎	—	—	2'56" (*3)	14"

実験Ⅰ：3.6×3.6×2.4(高)m、感知器は室内中央天井、火源は部屋の角、感知からの水平距離約2.4m

実験Ⅱ：4.5×4.5×2.4(高)m、感知器は室内中央天井、火源は部屋の角、感知からの水平距離約2.9m

実験Ⅲ：3.6×3.6×2.5(高)m、感知器は室内中央天井、火源は感知器から水平距離で約1.5m

実験Ⅰ、Ⅱは模擬火災実験、Ⅲは実火災実験

†：1種レベルに達してから2種レベルに達するまでの時間を示す。

††：2種レベルに達してから3種レベルに達するまでの時間を示す。

*1：1種レベルを超えた後、煙濃度が1種レベル以下になり、最後に1種レベルを超えてからの時間は11秒

*2：2種レベルを超えた後、煙濃度が2種レベル以下になり、最後に2種レベルを超えてからの時間は28秒

*3：1種レベルを超えた後、煙濃度が1種レベル以下になり、最後に1種レベルを超えてからの時間は10秒

応及び理由により、2種感度で予報を、3種感度で火災報を発する感度設定も可能であると思われる。

- 1) 予報発生時に警備員が火災報発生時と同様に迅速に対応をする。
- 2) 表4から明らかなように、有炎燃焼の場合の各種別間の時間差は数秒間と小さいので、警備員が現場確認以前に3種感度の火災報が発生するであろう。従って、警備員が火災発生現場へ駆けつけるのに時間が掛かり、その間に火災が拡大しても3種感度での作動により在館者に警報を発することが可能である。
- 3) 燻焼から始まるような火災で、2種から3種に達する時間は再計算した結果ではいずれも60秒以内であり、種別間の時間差は有炎燃焼より大きい、蓄積時間以内にある。また、予報が発生してから3種の火災報レベルに達するのに数分を要したとしても、これは火災の進展が遅いと考えられるので、警備員が火災現場を確認後に在館者への通報も可能である。しかし、この方法でも警備員は予報の発生により、従来の非火災報発生時と同等の対応を強いられることとなる。そこで、更に予報発生時の感知器出力の最大値を少し上回るように予報レベルを設定できるような機能を持たせ、予報の再発を防止することが望ましい。

6. システム設計

- 1) ホテルの宴会場や会議室等あるいは室内工事等による特定時間帯に対しては手動操作で時間を区切つ

て感度変更を行い、その時間を経過した後は自動的にもとの感度に戻るような設計が必要である。

- 2) 感度変更に当たっては、同一店舗内であっても環境の悪い位置と環境の良い位置では感度変更の値を変えることが望ましい。
- 3) このような設定は、あくまでも社会活動に伴う人為的要因で発生する非火災報防止が目的であるから、人がいなくなる夜間あるいは、ホテルの客室など使用していない部屋は感度を良くして火災の早期発見ができるシステム設計とすべきである。
- 4) ホテルの客室においてはキーホルダーを室内のボックスに差込むことにより、室内電源がOnになるシステムも導入されているものもあり、このような情報を利用して感知器の感度変更を自動的に行うシステムも考えられる。
- 5) テナント階等については空調運転状態信号により前もって設定されている感知器の感度変更を行い、更に各店舗の鍵管理情報を利用すれば、よりきめの細かい対策を行うことができる。鍵管理情報が利用できない場合には、各店舗の営業日であるか、休業日であるかの情報を受信機に入力する方法も考えられる。

7. 今後の課題

今回収集したデータは、感知器出力が2種感度で打ち切られていたこと、また、火災報レベルに達した後の感知器出力が得られなかったことから、感知器出力

のピーク値あるいは火災報レベル以上の継続時間等を把握出来なかった。

しかし、昭和59年の規格改正後に開発され、市販されている多信号感知器を使用した自動火災報知設備は、予報発生時刻から感知器出力が得られ、予報レベル以下になるまで継続してデータが得られる。また感知器の最大出力も3種感知器の作動試験レベルまで得られる。

従って、この種の自動火災報知設備からのデータ収集を行うことにより、非火災報発生時のより詳しい環境情報を得て、単に感度設定値のみならず、継続時間の検討を加え、設定値と蓄積時間の組合せにより、より有効な非火災報低減策が生まれるものと思われる。

謝辞

本データ収集に当たり、多大のご協力を頂いた安生ビル管理株式会社の志村所長、仙台市消防局並びにニッタン株式会社に対し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 自治省令第18号：火災報知設備の感知器及び発信機に係る技術上の規格を定める省令、昭和59年7月20日
- 2) 自治省令第20号：受信機に係る技術上の規格を定める省令、昭和59年7月20日
- 3) 日本消防設備安全センター：防災システム研究委員会、昭和55年度中間報告書、昭和56年7月
- 4) 東京消防庁：自動火災報知設備の非火災報の実態調査結果、昭和57年10月
- 5) 消防庁防火管理体制研究委員会：自動火災報知設備の非火災報対策に関する報告書、昭和58年3月
- 6) 太田 他：火災感知器の適材適所設置による非火災報対策の効果について、火災、Vol. 35、No. 6、p. 12 (1985)
- 7) 消防予第135号：自動火災報知設備の感知器の設置に関する選択基準について、昭和58年7月18日
- 8) 消防予第77号：自動火災報知設備の感知器の設置に関する選択基準について、昭和60年6月

泡消火薬剤の吸い込みとその混合に関する研究

林 幸司

1. まえがき

油火災等の消火活動の際、消防隊が使用する機器の一つに構造が簡単な上に、軽量小形でしかも取り扱いが容易なラインプロポーション¹⁾(管路混合装置)がある。ラインプロポーションは、ノズルと流体の運動エネルギーを圧力に変える筒であるディフューザを主構成部とするエゼクター^{*)}の一種で、主管内を流れる水を駆動流体とし、この流体をノズル部で高速化することによって発生する真空圧を利用して別の流体(泡消火薬剤)を吸引し、攪拌混合させるものである。ところが、泡消火薬剤の動粘度が変わると、水と泡消火薬剤の混合割合が変化しやすい欠点を有している。

そこで、このような現象を防止し、ラインプロポーションの性能向上、および効率的な泡消火を行うのに必要な基礎資料を得るための実験を行った。その方法として今回は、発泡については考えないので、泡消火薬剤の代りに幅広い動粘度の液体として各種ポリオキシアリキレングリコール(以後、単に代替物質と略)を使い、これらの動粘度の違いによる吸い込み状況および吸い込み後の水との混合状態について調べたので、ここに報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の系統図を図1に示す。貯水槽からポンプ

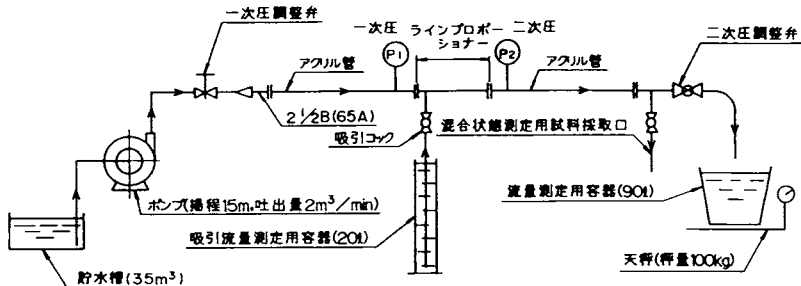


図1 実験装置系統図

によって吸い上げられた水は、一次圧調整弁、次に24メッシュの整流網の付いた長さ1.5mのアクリル管、ラインプロポーション、長さ1.5mのアクリル管、二次圧調整弁を経て流量測定用容器に放出される。この途中、二次圧調整弁の手前に混合状態測定用の試料採取口(内径6mm、管中心部より採取)がある。ラインプロポーションは実機と同一寸法で、入口圧力5kgf/cm²のとき、出口圧力3~3.5kgf/cm²において放水量200ℓ/minとなるよう設計されている。なお、吸い込み状況などを観測するためアクリル製²⁾とした。図2に実験で用いたアクリル製ラインプロポーション(吸引ホースを取り除いた状態)を示す。また、ラインプロポーションの入口圧力(一次圧:P₁)および出口

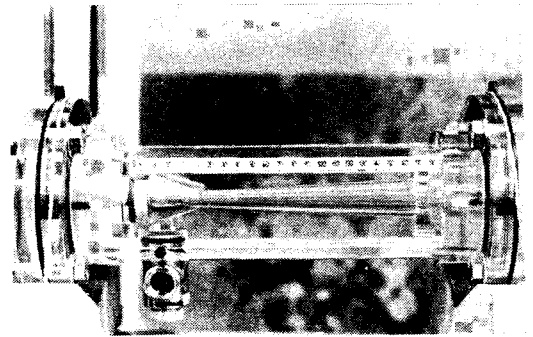


図2 側面から見たアクリル製ラインプロポーション(吸引ホースを取り除いた状態)

*) 高圧を加えた流体をノズルから噴出させると、周囲の静止流体を巻き込み(二流体間で運動量の交換を行う)、その静止流体に流れが生じる現象がみられる。エゼクターはこの現象を利用して低圧を発生させたり、ガス排出等を行なわせる装置である。

圧力(二次圧:P₂)を測定した。一次圧は一次圧調整弁にて常時1.8kgf/cm²に設定し、二次圧は管路末端の二次圧調整弁にて調整した。流量(ℓ/min)測定は質量法により計測した。吸引濃度は、吸引流量および全

流量量から求めた。なお吸引濃度は、吸引コックの開度を調節し、ほぼ6 vol %になるように設定した。しかし、高動粘度試料の中には、吸引濃度を6 vol %とすることができないものもあった。

実験は気温17.5~22.5°C、水温16.5~18.0°C、代替物質温度18.0~19.4°C、大気圧749.0~768.3mmHgの範囲において行った。

2.1 代替物質の吸い込み状況

表1に示した代替物質の動粘度は、次のことを参考にして選んだ。①市販の泡消火薬剤原液の動粘度が20°Cにおいて約50cSt以下である。②自治省令第26号「泡消火薬剤の技術上の規格を定める省令」による動粘度の上限が、泡消火薬剤の種類により200cSt、または400cStである。③最近新たに開発された泡消火薬剤原液の中には動粘度が20°Cにおいて2,000cSt、あるいは10,000cStのものがある。なお、代替物質(A~F)の主成分

表1 泡消火薬剤代替物質の動粘度および比重 (20°Cにおける)

代替物質	性状	動粘度 (cSt)	比重	備考
ポリオキシアルキレングリコール	A	43	1.015	水溶性
"	B	119	1.038	"
"	C	192	1.046	"
"	D	343	1.052	"
"	E	2,263	1.063	"
"	F	10,800	1.038	"
ポリオキシアルキレングリコール	X	18	0.962	油溶性
"	Y	1,665	1.006	"

は、水溶性のポリオキシアルキレングリコールである。代替物質の吸い込み状況は、ラインプロポーションの真上および側面の二方向から、35mmカメラに55mmレンズを付け、絞り16、シャッタースピード $\frac{1}{60}$ 秒で撮影した。

2.2 吸い込み後の代替物質と水との混合状態

代替物質と水との混合状態を顕微鏡写真に取るため、油溶性でかつ非水溶性の代替物質を油溶性染料で着色し、代替物質と水との境界面が明確になるようにした。表1に油溶性でかつ非水溶性の代替物質(X、Y)の動粘度と比重を示す。吸い込み後の代替物質と水との混合状態は、混合状態測定用試料採取口より採取した試料(約300cc)を、顕微鏡に取り付けられた35mmカメラを用いてシャッタースピード $\frac{1}{60}$ 秒で撮影した。その顕微鏡写真の拡大陽画をCCDカメラで撮影し、画像処理装置に入力してタブレットデジタイザを用いてモニター画面上に表示された代替物質の粒子画像を計測(画像分解能は1画素1.85~1.97 μ m)し、代替物質の粒子径を求めた。次に、この粒子径と濃度6 vol %の代替物質を機械的に攪拌することにより作られた粒子径との相違を調べた。攪拌方法は、濃度6 vol %の代替物質250ccを直径70mmの4枚羽根付の攪拌装置により415rpmにて1分間攪拌した。

3. 実験結果および考察

本実験の前に予備実験として、ラインプロポーションの基本的な性能を把握するための実験を行った。

3.1 吸引口密閉時における流量と二次圧の関係

図3に吸引口を密閉した場合の一次圧の変化に伴う

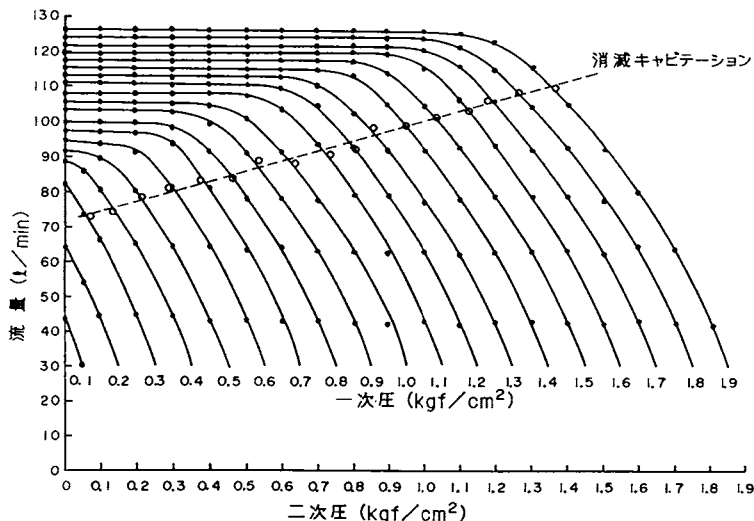


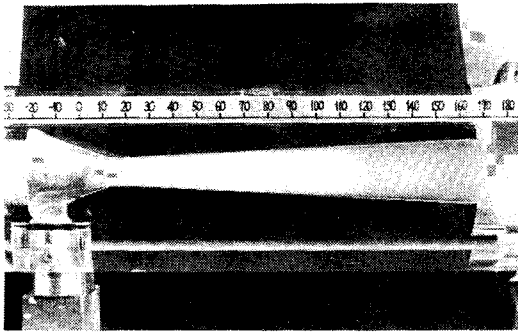
図3 吸引口密閉時における流量と二次圧の関係

○印は、各一次圧における消滅キャビテーションを示す。

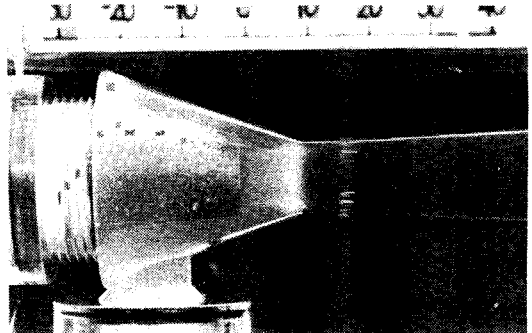
流量と二次圧の関係を示す。図3によると、各一次圧ともほぼ同様の傾向を示している。一例として一次圧1.8kgf/cm²の場合を挙げてみる。二次圧が0における流量は124.5ℓ/minであり、その後二次圧1.0kgf/cm²における流量123.9ℓ/minまでは、二次圧の上昇による流量の減少はわずかであった。しかし、さらに二次圧が上昇すると流量は大幅に減少する傾向にあり、二次圧1.7kgf/cm²においては流量47.0ℓ/minまで減少した。

この実験において特に注目すべき点は、キャビテーション^{*)}が見られた事である。図4は一次圧1.8kgf/cm²において二次圧を0、0.5kgf/cm²、0.9kgf/cm²、

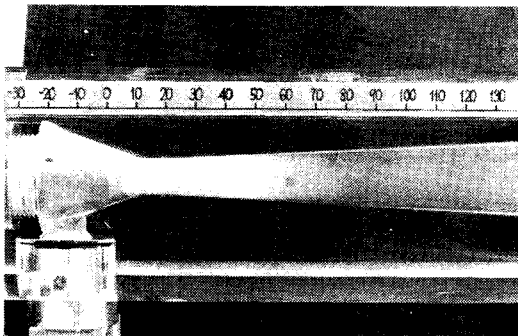
1.2kgf/cm²、1.3kgf/cm²と変化させた場合のキャビテーションを示したものである。図4において白濁して見えるのがキャビテーションである。二次圧の上昇に伴いキャビテーションは次第に小さくなり、二次圧1.3kgf/cm²においてはキャビテーションは見られなかった。目視および音により判定した消滅キャビテーションは、二次圧1.27kgf/cm²、流量108.1ℓ/minであった。また消滅キャビテーションの二次圧を試算した結果、二次圧は1.21kgf/cm²となり、実験値はほぼ妥当な値と考えられる。なお、図3において○印は、各一次圧における消滅キャビテーション(実験値)を示す。



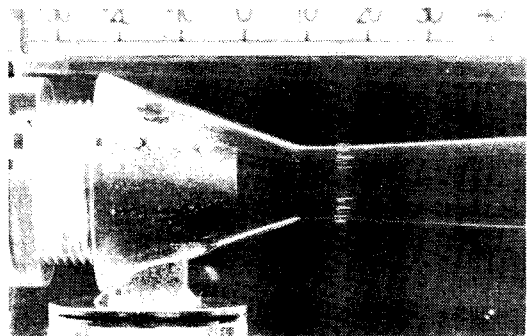
(a) 二次圧 0 (流量124.5 ℓ/min)



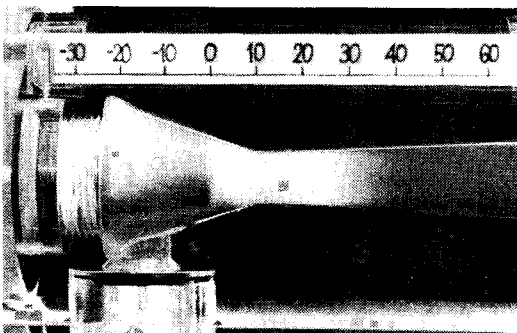
(d) 二次圧 1.2kgf/cm² (流量116.1 ℓ/min)



(b) 二次圧 0.5kgf/cm² (流量124.2 ℓ/min)



(e) 二次圧 1.3kgf/cm² (流量105.2 ℓ/min)



(c) 二次圧 0.9kgf/cm² (流量124.0 ℓ/min)

図4 吸引口密閉時におけるキャビテーションの消滅状況
一次圧: 1.8kgf/cm²

*)「空洞現象」であり、古くから機器の性能劣化、壊食、振動、騒音等の致命的障害をもたらすものと恐れられている。

3.2 吸引コックの開度による吸引濃度と二次圧の関係

図5に吸引口より水を吸引した時の吸引コック開度を100%、90%、60%、35%、10%とした時の吸引濃度と二次圧の関係を示す。図5から二次圧0から0.5kgf/cm²間は一定の吸引濃度(吸引コック開度100%で24.7 vol%、90%で21.6 vol%、60%で14.6 vol%、35%で8.9 vol%、10%で2.1 vol%)となっていることがわかる。二次圧が0.5kgf/cm²以上になると吸引コックの開

度が増加するに従い、吸引濃度の低下量は著しい。そして、二次圧が1.35kgf/cm²になると、各吸引コック開度における吸引濃度はほぼ0となる。また吸引コックの開度に対する消滅キャビテーションの二次圧は、吸引コック開度が100%で0.71kgf/cm²、90%で0.74kgf/cm²、60%で0.90kgf/cm²、35%で1.11kgf/cm²、10%で1.27kgf/cm²であり、吸引コックの開度が増加するに従い消滅キャビテーションの二次圧は低下した。

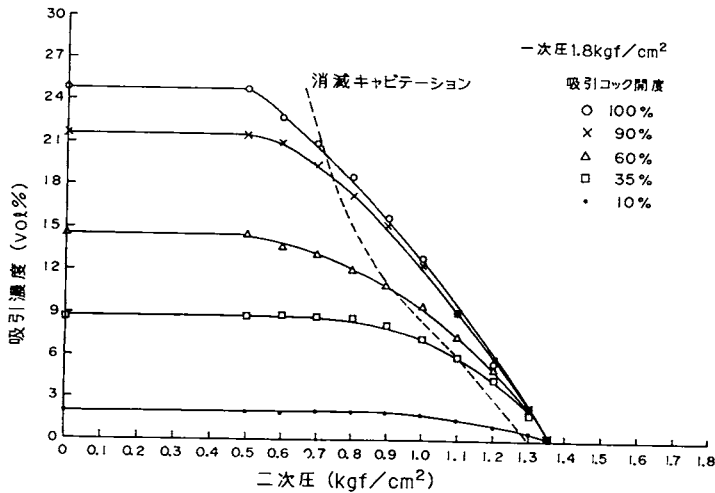


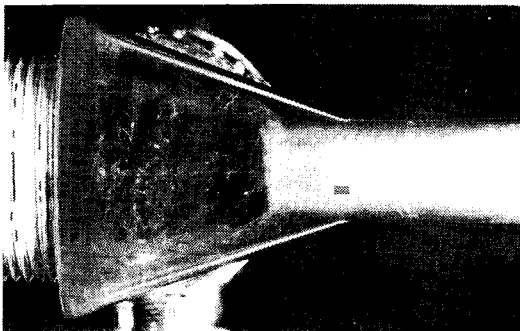
図5 吸引コックの開度による吸引濃度と二次圧の関係
吸引物質：水

3.3 代替物質の吸い込み状況

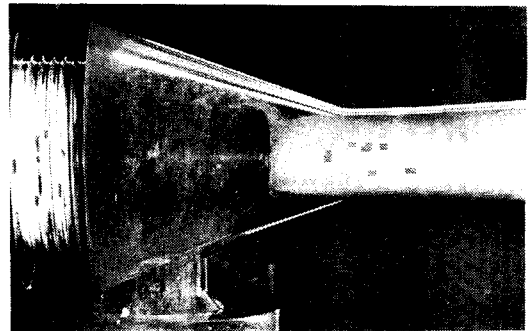
図6に二次圧0.3kgf/cm²、吸引コック開度20%における水の吸い込み状況を示す。図6によると、吸引された水はノズル部のまわりを旋回しながらキャビテーション発生部分へ巻き込まれていく。この現象は図6(c)に示すように吸引側の構造により生ずる。

代替物質の動粘度の違いによる吸い込み状況は、二次圧が0、消滅キャビテーション前、消滅キャビテ

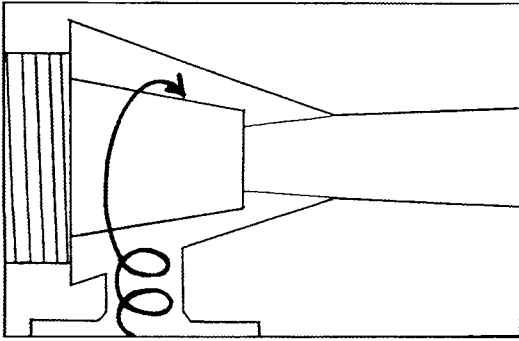
ション後の3段階の流跡をそれぞれ比較することによって調べた。その結果を表2に、また一例を図7に示す。これらから、代替物質の吸い込み状況は、二次圧や動粘度に支配されることなくほぼ図7に示すような流跡であった。また動粘度400cSt以下の代替物質は、指定された吸引濃度6 vol%の定量的な吸引が可能であるが、動粘度が2,000cSt、10,000cStと高くなると吸引濃度6 vol%の定量的な吸引は困難となる。



(a) 真上



(b) 側面



(c) 模倣図

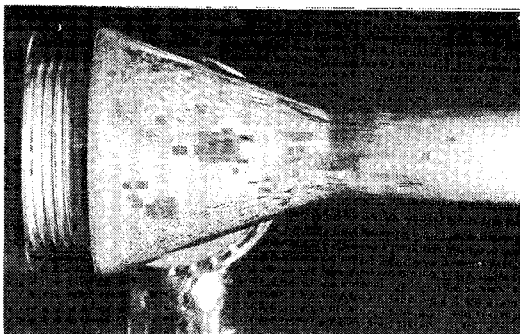
図6 一次圧 1.8kgf/cm²、二次圧 0.3kgf/cm²、吸引コック開度 20%(吸引濃度約 6 vol%) における水の吸い込み状況

3.4 吸い込み後の代替物質と水との混合状態

動粘度の違いによる吸い込み後の代替物質と水との混合状態を、顕微鏡写真より求めた代替物質の粒子径と度数の関係³⁾により比較した。機械的に攪拌した比較試料とラインプロポーショナーによる試料の顕微鏡写真の一例、およびそれらの代替物質の粒子径と度数の関係等を表2、図8～図11に示す。図8、図9において円形に見えるのが代替物質の粒子である。代替物質Xは、吸引コックにより吸引濃度を6 vol%に調節可能であるが、代替物質Yについては、吸引コックを全開にしても吸引濃度は6 vol%に達しなかった。代替物質X、Yとも機械的に攪拌した場合、濃度6 vol%の粒子径は最大90μmであった。これに対し、ラインプロポーショナーによる試料のそれは、二次圧0にお

表2 二次圧0、消滅キャビテーション前、消滅キャビテーション後の3段階における泡消火薬剤代替物質の吸引コック開度と吸引濃度

代替物質		二次圧		0		消滅キャビテーション前		消滅キャビテーション後	
		吸引コック開度 (%)	吸引濃度 (vol%)	吸引コック開度 (%)	吸引濃度 (vol%)	吸引コック開度 (%)	吸引濃度 (vol%)	吸引コック開度 (%)	吸引濃度 (vol%)
ポリオキシアルキレングリコール	A	20	5.8	20	5.5	20	5.4	20	5.4
"	B	20	5.7	20	5.4	20	5.3	20	5.3
"	C	35	6.1	35	5.6	40	5.6	40	5.6
"	D	40	6.1	40	5.4	40	5.3	40	5.3
"	E	100	2.1	100	2.0	100	2.0	100	2.0
"	F	100	1.3	100	0.5	100	0.5	100	0.5
ポリオキシアルキレングリコール	X	20	6.0	20	5.6	20	5.5	20	5.5
"	Y	100	2.7	100	2.5	100	2.5	100	2.5

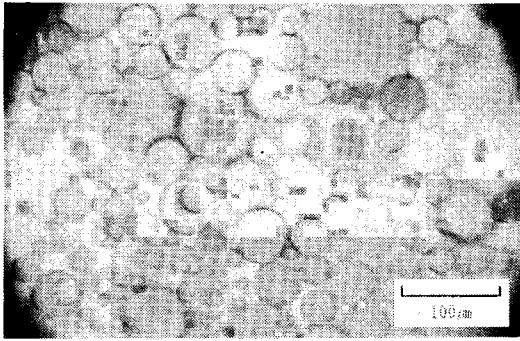


(a) 真上

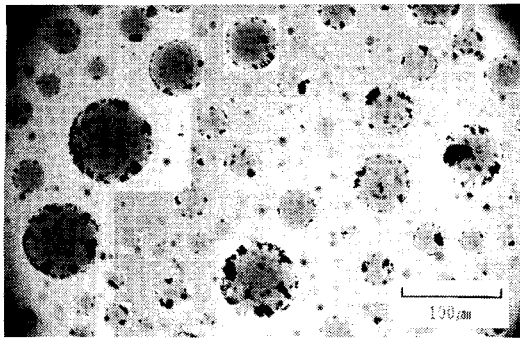


(b) 側面

図7 ポリオキシアルキレングリコールF (20℃における動粘度10,800cSt) の吸い込み状況
二次圧：0
吸引濃度：1.3vol% (吸引コック開度 100%)



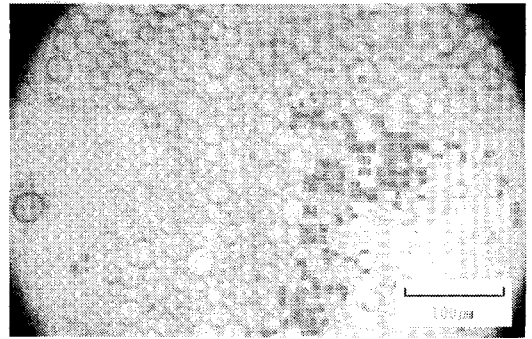
(a) ポリオキシアリキレングリコールX (20°Cにおける動粘度 18cSt)



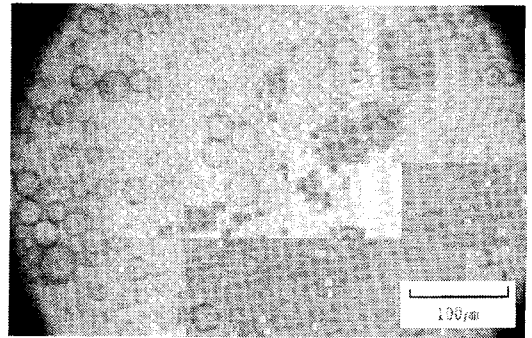
(b) ポリオキシアリキレングリコールY (20°Cにおける動粘度 1,665cSt)

図8 機械的に攪拌した比較試料の混合状態

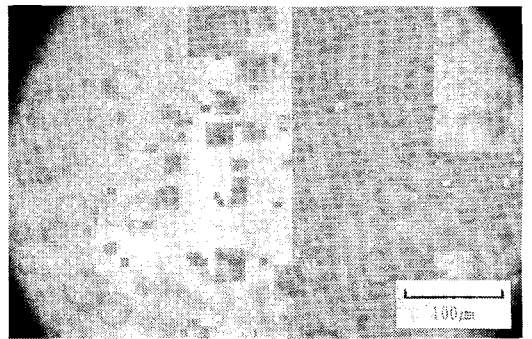
いて最大38 μm 、消滅キャビテーション前においては最大45 μm 、消滅キャビテーション後においては最大50 μm と、粒子の分布範囲が粒子径の小さい方に片寄っている。また、平均粒子径についても、機械的に攪拌した試料に比べ、ラインプロポーションナーによる試料の方が二次圧に関係なく小さい。これらは機械的に攪拌した試料に比べラインプロポーションナーによる試料がよく攪拌混合されていることを示している。次に、ラインプロポーションナーによる代替物質と水との混合試料に対し、混合に影響を与える要素について検討を試みた。その結果を図12に示す。代替物質の平均粒子径が二次圧、特に消滅キャビテーション前後でどのように変化するのかを表わしたものである。サンプル数が少ないため、混合に影響を与える要素は明確に断定出来ないが、キャビテーションよりはむしろ一次圧と二次圧の圧力差による速度が影響しているように思われる。



(a) 二次圧 0
吸引濃度 6.0vol% (吸引コック開度 20%)



(b) 消滅キャビテーション前
吸引濃度 5.6vol% (吸引コック開度 20%)



(c) 消滅キャビテーション後
吸引濃度 5.5vol% (吸引コック開度 20%)

図9 ポリオキシアリキレングリコールXと水との混合状態

3.5 現場で適用する場合の検討

消防現場においては本研究で用いたのと同じ寸法のラインプロポーションナーを、一般に一次圧5 kgf/cm^2 、二次圧3.5 kgf/cm^2 以下、流量200 ℓ/min にて使用する。これらの条件で使用した場合の検討をした。吸引口密閉時におけるキャビテーションの有無については、前記条件での試算によると十分キャビテーションの発生が予想される。むしろ本研究における一次圧1.8 kgf/cm^2 、

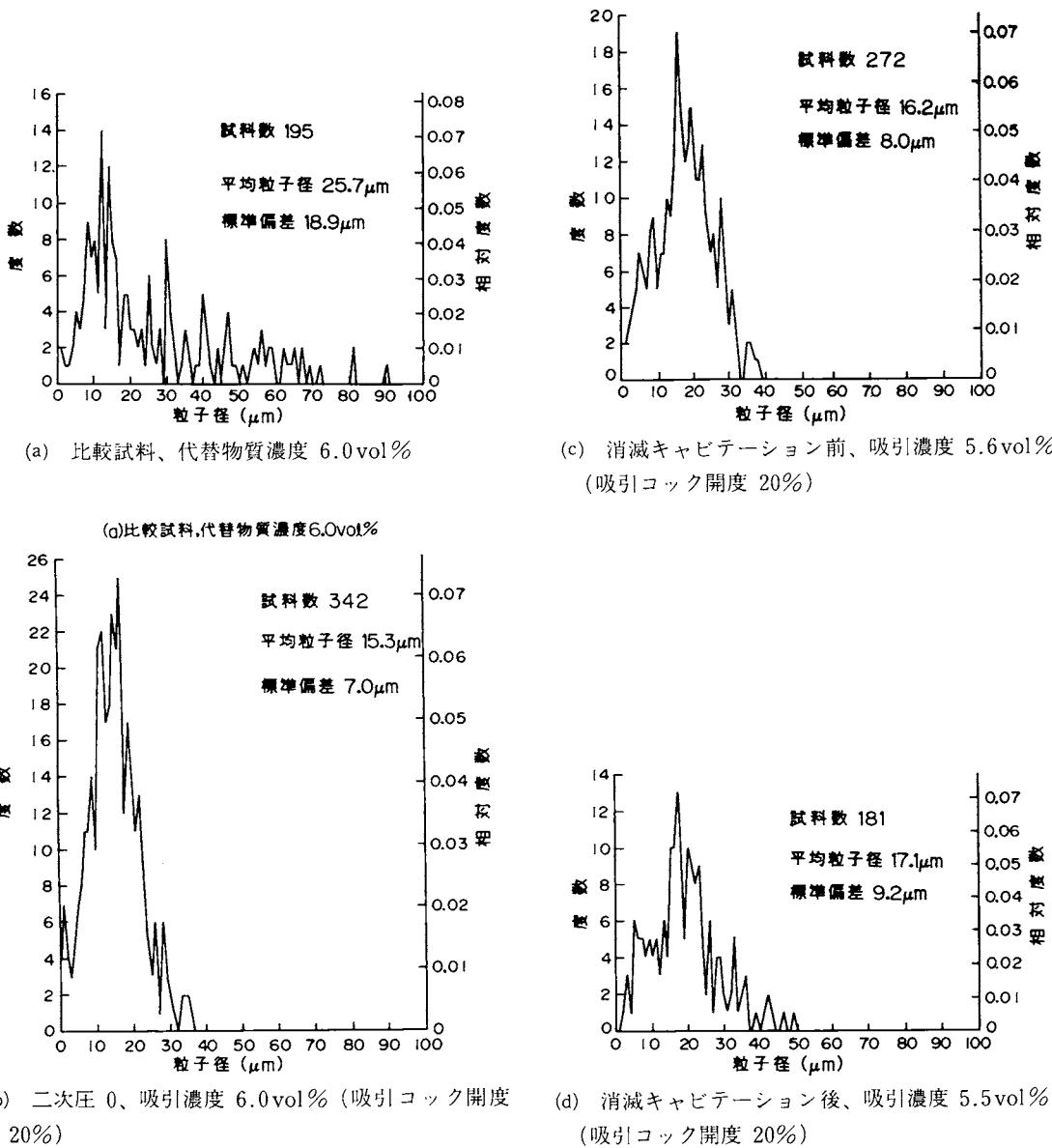


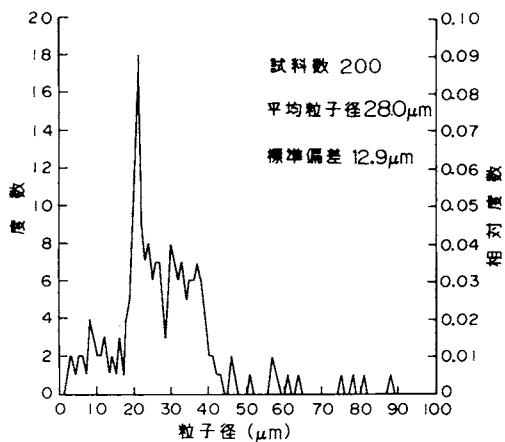
図10 ポリオキシアルキレングリコールXの度数(相対度数)と粒子径の関係

二次圧0の時よりも泡消火薬剤と水との混合部における負圧が増加するため、大きなキャビテーションであると思われる。泡消火薬剤の吸い込み状況については、本研究の結果から考えると、流跡はそれ程変わらないものと思われる。吸い込み後の泡消火薬剤と水との混合状態については、本研究に比べ大きなキャビテーションが予想されること、および流速が増加することなどを考慮すると、本研究の結果に比べ、より粒子径の小さいよく混合された状態になると思われる。

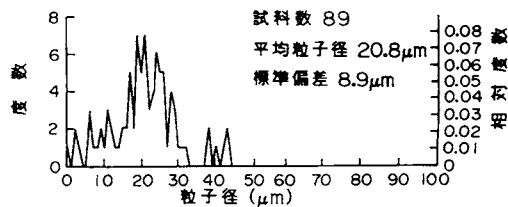
一方、本研究で用いた代替物質はニュートン流体*）であり、動粘度が2,000cStになると吸引濃度6 vol%の確保が困難となる。しかし、動粘度が比較的高い最近新たに開発された泡消火薬剤は、すべて非ニュートン流体でありチクソトロピー性**）を有している。その

*）ニュートンの粘性の法則に従う流体。すなわち、ずり速度(せん断速度)とずり応力(せん断応力)が比例する流体。

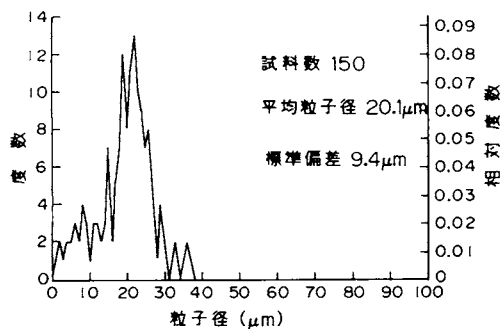
**）揺変性(揺れるとゲルから流動性のゾルに変化するが、静止すると再びゲルに戻る性質)



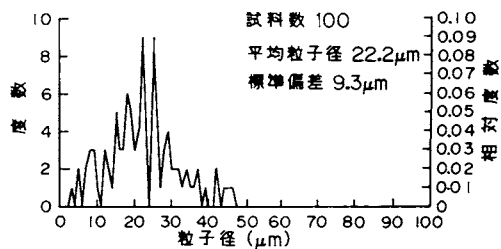
(a) 比較試料、代替物質濃度 6.0vol%



(c) 消滅キャピテーション前、吸引濃度 2.5vol%
(吸引コック開度 100%)



(b) 二次圧 0、吸引濃度 2.7vol% (吸引コック開度 100%)



(d) 消滅キャピテーション後、吸引濃度 2.5vol%
(吸引コック開度 100%)

図11 ポリオキシアルキレングリコールYの度数(相対度数)と粒子径の関係

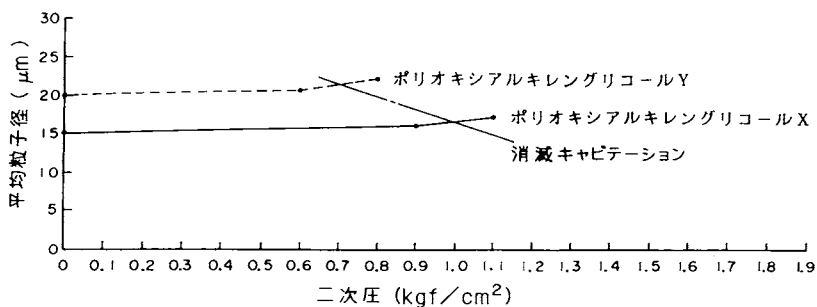


図12 ポリオキシアルキレングリコールX、Yの平均粒子径と二次圧の関係

ため、この新しい泡消火薬剤については、吸引濃度は本研究による結果よりも増加するものと思われる。

4. まとめ

ラインプロポーシヨナーについて、一次圧を1.8kgf/cm²(一定)にし、二次圧を0から順次上昇させた場合、代替物質の動粘度の違いによる吸い込み状況および吸い込み後の代替物質と水との混合状態を調べた結果、以下の事が明らかになった。

- (1) 吸引口密閉時における流量と二次圧の関係は、二次圧が0の時、流量は124.5 l/minであり、二次圧が0から1.0kgf/cm²までは二次圧の上昇による流量の減少は極めてわずかであるが、その後は二次圧の上昇に伴い流量は急減する。目視および音により判定した消滅キャビテーションの二次圧は1.27kgf/cm²であった。
- (2) 吸引口より水を吸引し、吸引コックの開度を変化させた場合の吸引濃度と二次圧の関係は、吸引濃度は二次圧が0.5kgf/cm²までは吸引コックの開度によりそれぞれ一定値である。しかし、二次圧が0.5kgf/cm²より上昇すると吸引コックの開度が増す程、吸引濃度の低下量は著しく、二次圧1.35kgf/cm²ではすべて吸引濃度がほぼ0となる。また吸引コックの開度が増すと、消滅キャビテーションの二次圧は低下する。
- (3) 代替物質の吸い込み状況は、動粘度が2,000cSt、10,000cStと高くなっても、動粘度400cStに比べ、吸引濃度が低下するのみで、吸い込み状況についての流跡はそれ程変わらない。また、動粘度400cStまでは吸引コックを調節することにより吸引濃度6vol

%の定量的な吸引が可能である。

- (4) 吸い込み後の代替物質と水との混合状態は、機械的に攪拌した比較試料に比べ、ラインプロポーシヨナーによる試料は、試料の動粘度が高くなると多少混合状態は悪くなる傾向にはあるが、よく混合されていた。代替物質と水との混合には、一次圧と二次圧の圧力差による速度が支配的であるように思われる。
- (5) 消防現場での適用に対する予測は、キャビテーションについては、本研究より大きなものになる。泡消火薬剤の吸い込み状況は、本研究の結果とそれ程変わらないものと思われる。吸い込み後の泡消火薬剤と水との混合状態は、本研究に比べより粒子径の小さいよく混合された状態になると思われる。

謝 辞

本研究は、科学技術庁「国立試験研究機関等に従事する研究職員のための国内留学制度」による国内留学生として、東京大学生産技術研究所において行ったものである。本研究を行うのに当たり、終始懇切丁寧な御指導を賜った小林敏雄教授に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ラッシュ・エリクソン著、新居六郎訳：“泡”消火技術、p.28、鹿島出版会(1988)
- 2) 浅沼強編集：流れの可視化ハンドブック、p.54、朝倉書店(1977)
- 3) 近藤良夫、舟阪渡編：技術者のための統計的方法、p.70、共立出版(1977)

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。

通巻第67号 (1989年3月)

2、3の塩化メタンによる低圧プロパン/酸素混合気の燃焼抑制

齋藤 直

円筒形セル内の低圧プロパン/酸素/燃焼抑制剤混合気に点火し、球形火炎伝播時のCH発光強度から燃焼速度を求め、未燃混合気温度を高めた場合の混合気の燃焼に対する抑制効果の変化を検討した。燃焼抑制剤として、一塩化メタン、クロロホルムおよび四塩化炭素を用い、未燃混合気温度が室温と100℃の場合について測定を行なった。

その結果、未燃混合気温度を100℃に上昇させても、これらの添加剤による燃焼速度の低下割合は室温の場合と変わらず、添加濃度を基準に燃焼抑制効果を評価するとき、高温になるにつれ、その効果は小さくなると結論された。

早期津波情報自動検出システムの開発とその適用 (その2) 地域特性の影響

座間信作・吉原 浩

第1報で示した早期津波情報自動検出システムを静岡県伊東市、千葉県鴨川市、東京都三鷹市の3地点に適用することにより、システムの出力結果に及ぼす地域特性の影響について検討した。特に震央方位角の推定に与える地域特性の影響に関して、観測された地震波形の解析から、最適なデータ解析区間を地域毎に設定することで、この影響を除くことができることを示した。更に、出力情報の確からしさを判断できるようにシステムを改良したこと等によって、本システムが津波防災活動の有効な支援システムとなり得ることを示した。

大型円筒貯槽におけるスロッシング観測(その2)

座間信作・吉原 浩

地震による大型円筒貯槽のスロッシング挙動を明らかにする目的で、1984年6月以来10,000klタンクの貯液の挙動観測とタンクヤードでの広帯域地震動観測を

行なっている。1987年千葉県東方沖地震は、近くやや深い地震であったにもかかわらず、最大のスロッシングをもたらした。地震動の実測値を入力とする3次元時刻歴応答解析によって、観測された貯液の挙動をほぼ説明できたことから、今回程度のスロッシングに対しては、剛なタンク、微小波高等の仮定が成立することを示した。また、スロッシングによる液面最大上昇量の評価には、やや長周期帯域の地震動予測が重要との認識から、大型タンクのスロッシング資料の収集、蓄積の必要性を指摘した。

JIS L 1091法とISO 6941法の比較

カーテン製品の場合一

箭内英治

1984年に、ISO 6941の火炎伝ば性試験が繊維製品に対する燃焼性試験の一つとして規定された。この試験法が日本においてカーテン等の燃焼危険性を評価するために利用することが可能であるかどうかを調べるために、JISで定められている繊維製品に対する燃焼試験のJIS L 1091法(A-1法及びD法)や酸素指数式燃焼試験法との比較実験を行なった。その結果、ISO 6941の火炎伝ば性試験によりカーテン等の燃焼危険性を評価することは、レーヨン、羊毛などのように溶融しない繊維に対しては可能であるが、ポリエステルのように溶融する繊維に対しては、不適當な点があることが判明した。

ヘプタン液面火炎の熱収支の推定

古積 博・早坂洋史*

石油タンク火災の火災性状の規模効果を予測するため、火災から発生する熱エネルギーの収支をヘプタン火災の実験データより一要素モデルによって推定した。その結果、例えば、直径1mのタンクでは発生熱量の約70%が上方への対流熱伝達で失われるが、その値はタンク直径が大きくなると共に増加する。周囲への放射熱は、例えば、直径1mのタンクでは発生熱量の約30%で実験結果(36%)とほぼ合致する。直径10mを

超えるタンクでは発生するススの影響等で周囲への放射熱は減少して計算値が、実際と合わなくなることが推定される。

*) 北海道大学工学部

窓から噴出する火災気流の上階窓・壁面付近での挙動 佐藤晃由

高層ビルの外堅伝いに延焼する火災の性状を把握するため、数値計算および定性的比較実験によって火災室窓から噴出する火災気流の上階窓・壁面付近での流体力学的挙動について調べた。その結果、噴出火災気流は周囲から多量の空気を巻き込み、それに押されて上階壁面沿いに周期的変動をしつつ上昇する。その原因は、窓からの噴出火災気流と開口部上部の壁との間、および、噴出火災気流と開口部から巻き込まれる冷気流の境界面に渦が発生するためであり、これら両面の渦の成長移動に伴い、噴出火災気流に周期的変動が生じる。これらの流体力学的挙動は実験の観察とも類似する。

トレーサガスを用いた間隙からの煙伝播量推定に関する実験的研究

山田常圭

トレーサガスを用いた建物の換気量測定法を応用し、火災階から小さな間隙を介して上階へ伝播する漏煙量を推定する手法を考案した。また、実大規模実験で実測値と本手法による推定値を比較し実用性の検討をおこなった。実験では、トレーサガスに六フッ化イオウ(SF₆)を用い、この濃度の経時変化と換気量から漏煙量を推定した。その結果、トレーサガス放出時から数分間の濃度変化の大きい測定データを除けば、実測値と比べ、数%から最大20%以内の誤差で漏煙量の推定ができることが判った。

通巻68巻(1989年9月)

雪上動力ホース延長車

亀井浅道・山田 實・天野久徳

吉岡政行*)・森 晃二*)・嶋田 旭*)

消防職員の高齢化に伴って消防用機器の動力化、軽量化が望まれている。著者らは極めて過酷な作業と言われている積雪地におけるホース延長操作を迅速かつ容易に行うことのできる雪上動力ホース延長車を試作した。本報はこの雪上動力ホース延長車の構造と性能について述べたものである。

*) 森田ポンプ株式会社

熱放射に対する防火衣等の防熱効果 一布地の温度上昇について一

渡部勇市

消防隊員が着用する作業服、単層防火衣、耐熱服の熱放射に対する防熱性能を把握するため、各防護服の布地を2.4~9.4kW/m²の熱放射照度で加熱し、布地の裏面温度上昇を測定した。各防護服布地の裏面温度と熱放射照度の関係について明らかにした。

裏面温度は防護服の表面のコーティングの種類によって大きく異なり、作業服、単層防火衣、耐熱服の中でアルミニウムを真空蒸着した耐熱服が最も上昇温度が低く、3種類のなかで耐熱服が最も熱放射に反射効果がある。

また、布地の熱放射率、熱伝導率、熱拡散率および布地表面の自然対流熱伝達率等を仮定することにより、布地の裏面の温度上昇変化を計算した結果、実験値とほぼ一致した値が得られたので、消防用防護服の防熱性能を推定する場合の数値計算方法として有効であることが分かった。

トンネル内における大規模火災の数値的研究

(英 文)

佐藤晃由・宮崎早苗

過去のトンネル火災の事例や、将来起るかもしれないトンネル火災の危険性からみて、トンネル内での大規模火災の研究はますます重要になっている。過去の大規模なトンネルの火災性状を調べた結果、火災の発熱速度は50~100MWまたはそれ以上で、火点の天井付近最高温度は1000℃に近いといわれている。本研究では、実規模の1/4程度の模型トンネルでの実験で得られた結果をもとに、対流発熱速度を45MW(全発熱速度は放射発熱速度6MWを加え51MW)として、実大規模トンネルの数値シミュレーションを行った。シミュレーション結果では、火点付近を除く各位置での温度分布は過去の大規模トンネル火災実験と類似する傾向が得られたが、火点付近の最高温度は上記の予想最高温度よりも、かなり低めの結果が得られた。この原因は、火点付近の温度計算において放射は極めて重要な役割を有し、実際の放射は、本研究で採用した放射計算モデルよりも、複雑かつ強いものであるためと考えられる。

消防研究所「月例研究会」要旨

平成元年1月9日

ジアゾ化合物等の分解爆発危険性について：柿田公太郎（第1研究部）

5種のジアゾ化合物等について、示差熱分析計を用い、セルを密閉し得られた温度差-時間曲線の最大傾斜から分解の激しさを知ることができる。これは、既に得られている压力容器試験の結果と相関関係があるので、示差熱分析計による方法だけで容易にジアゾ化合物等の熱分解爆発の危険性を評価することができる。

この実験について、温度上昇速度が異なると分解の様式が変わること、試料の量とセルの材質によりセルが破壊する場合があることから、示差熱分析に関してさらに実験が必要である。

平成元年1月9日

林野火災の延焼予測と画像表示（その2）：山下邦博、稲垣 実（火災物理研究室）

飛火を含んだ林野火災の延焼予測結果を立体視した地形図に表示する方法について検討した。初めに複雑地形周辺の風（局地風）を計算し、この局地風のもとに火災が拡大すると仮定した。また、実際の林野火災の分析結果を参考にして飛火は稜線のように風の強い場所などに限定して発生するものとした。この方法を更に発展させることにより、林野火災と地形の関係を容易に把握することができる。

平成元年1月9日

トンネル火災のシミュレーション：佐藤晃由（通報設備研究室）、宮崎早苗（特殊火災研究室）

過去の大規模なトンネル火災では、火災の発熱速度は50~100MWまたはそれ以上で、天井付近最高温度は1000℃に近いといわれている。本研究では、実規模の $\frac{1}{4}$ 程度の模型トンネルの実験結果をもとに、実大規模トンネル火災の数値計算を行った。その結果、火点付近を除く各位置での温度分布は過去の大規模実験値と類似するが、火点付近では実験値より低めの結果が得られた。これに関し、計算モデルにおける放射熱伝達等に関する考察を行った。

平成元年2月6日

煙の発生と性状：Mulholland（消防研究所の招へい外国人研究者）、NIST（米国国立標準技術研究所）

煙の発生の機構とその性状について報告した。火災内で炭素粒子（煤）はラジカル反応によって作られ、それが自由運動しながら衝突を繰り返して成長してゆく。粒子自身はプラスに荷電しているが、ファンデアワールス力によって結合する。NISTのアラスカ原油の燃焼実験の結果は古積らの消防研究所のアラビアライト原油の同規模の実験結果と、煤の平均粒子径、形状、粒子径分布等についてほぼ良く合った。

なお、この研究は同氏がNISTで行ったものである。

平成元年6月12日

くん焼火災実験における有毒ガスの発生と毒性：守川時生（燃焼研究室）

断熱材で内面を被覆した半実大室（8m³）内で、木綿わた、アクリル繊維、羊毛、軟質ウレタン、木粉等を木炭を火源としてくん焼させ、有毒ガスの発生、室内温度の上昇、煙の発生を調べた。その結果、毒性はアクロレイン、ホルムアルデヒドよりCOの方が大きかったが、含窒素化合物からのHCNの毒性はCOの毒性と同等の場合があった。致死因子としては、毒性の方が温度や酸素濃度の低下より大きく、また、毒性と煙濃度との間には長時間を要するくん焼では、煙の老化もあり、相関関係はみられなかった。

平成元年2月13日

セタ開放式引火点試験器による引火性の測定：那波英文、長谷川和俊（危険物研究室）

引火点および燃焼点をより合理的かつ簡便に測定する方法を探るため、セタ開放式引火点試験器を取り上げ検討した。上記試験器を用いてエタノール水溶液およびいくつかの純物質について引火点および燃焼点の測定を行ったが、カップ内の試料表面の温度は引火点試験器の指示温度より相当低いため、これらの値はタグ開放式引火点試験器を用いて測定した値と比較して高い値となった。この理由を考察して、セタ開放式引火点試験器を用い

る測定は適当でないとの結論を得た。

平成元年2月13日

住宅火災の初期火災性状と自動消火：佐藤公雄（消火第2研究室）

一般住宅の初期火災のモデル実験およびスプリンクラーによる消火実験を行い、各種着火物の燃焼速度、室内の温度、煙濃度、および一酸化炭素濃度の変化等を測定し、消火可能な散水開始時期および最小散水量を求めた。この結果、20mmφ以上の給水管が設置されている住宅では、室内で発生した火災は、熱および煙を感知することにより、自動的に直接、水道水を散水する消火装置を用いて初期消火できることがわかった。現在、住宅用自動消火装置の開発を進めている。

平成元年3月13日

住宅火災における焼死パターンの分析——住宅火災対策との関係から——：関沢 愛（地震防災研究室）

消防庁に一件ごとに報告される「火災による死者の調査表」データを用いて、住宅火災による死者の発生パターンを分析した。その結果、①高齢者や身体不自由者など災害弱者が介護者のいない間に事故に会っているケース、②高齢でない成人健常者が夜間に飲酒又は就寝中に事故に会っているケース、そして③乳幼児が火遊び等によって事故に会っているケース、という3つの典型的なパターンが抽出された。また、人口当りの焼死率で、災害弱者のケースが非常に高いことが判った。

平成元年3月13日

滴下する水滴による灯油の帯電（Ⅲ）：川崎正士（特殊火災研究室）

油面に滴下し沈降する水滴が、油にどのような帯電をもたらすかを知る目的で研究を行っており、これまでに、測定法およびステンレス細管から水滴が生成する過程で生じる帯電諸量の測定結果を報告している。本報では、油面に落下した水滴の帯電量が、油中でどのように変化するかを述べた。

平成元年3月13日

酸化性物質の落球式打撃感度試験について：榎木恵三、長谷川和俊（危険物研究室）

試験機のアンビルは試料を載せる円板コロと面接触より線接触構造の方が鋼球の落下後の反発効率が良くなる。研究の結果、①試験室の湿度は、試料の粒度が小さいときに試験結果に影響を与える場合がある、②試料の粒度は、50%爆点エネルギー値に影響を与えるようにみられる、③鋼球の質量が異なると、50%爆点エネルギー値は変化する、などが分った。鋼球の接触時間を試料の発火遅れ時間より短くすることが今後の研究課題である。

平成元年4月10日

熱線利用の火災検知器の試作：笹原邦夫（第3研究部）、奥田善彦、長岡 暁、山本慎太郎（松下電工㈱）

火災から発せられる放射熱により、高天井、大空間の環境で素早く火災を検知するための検知器を試作し、その性能について検証実験を行った。

放射熱の検知には焦電素子を使用、火災判断及び火災位置の推定をパソコンで処理し結果をCRTに表示する構成とした。検証実験では火災面積の拡大、放射熱の増大による火災判断が確実に行われ、また、火災位置も適確に表示され、試作器は構想どおりの性能をもっていることが確かめられた。

平成元年4月10日

燃焼ガスの刺激臭等に対する人体反応と発生煙濃度等との関係：竹元昭夫（通報設備研究室）

3.6×3.6×2.4(高)mの部屋の中央及び隅で種々の可燃物を燃焼あるいは有炎燃焼させ、人体が刺激を受けた際の煙濃度、見越し距離、光電式感知器出力、イオン化感知器出力、CO濃度、温度上昇値について報告した。また、燃焼材料別に光電式及びイオン化式感知器の1～3種がそれぞれ作動した時点での各検出器出力の値を示すと共に、光電式及びイオン化式感知器は布団の燃焼を除けば、人体が刺激を受けた時間とほぼ同じか、それ以前に作動することを示した。

平成元年4月10日

炭化水素火災による煤生成：古積 博（第2研究部）

原油等の液体炭化水素を燃焼させて、その燃焼性状、特に生成される煤について調べた。液体炭化水素が燃焼により煤となる割合（煤への転換率）は火災規模の増加と共に増し、一辺2.7m角タンクの火災では原油が約0.2に対し、トルエンのそれは原油のそれよりも大きく、ヘプタンは逆に原油の約 $\frac{1}{10}$ であった。採取した煤は電子顕微鏡で撮影し、大きさ、クラスター化について調べた。煤の平均直径は0.5～0.9μmであった。また、原油を使い

燃焼後半での水沸騰現象についても調べた。

平成元年 5 月 8 日

熱放射に対する防火衣等の防熱性能：渡部勇市（避難安全研究室）

被験者の腕に耐熱服、防火衣等の布地を巻き付け、赤外線バーナを用いて熱放射照度 9.4kW/m^2 に対するこれら防護服の継続使用限界時間について調べた。その結果、継続使用の限界時間（被験者の熱痛覚発生時間）は、耐熱服（表面：アルミ真空蒸着）、単層防火衣（表面：アルミ粉末混入の合成ゴムコーティング）、二層防火衣（表面：無処理）、作業服の順に長く、耐熱服は、熱放射継続時間（3分）内で熱痛覚はなかった。その他のものはそれぞれ約34秒、13秒、8秒であった。

平成元年 5 月 8 日

粒径による湯気と煙の識別：河関大祐、佐藤晃由、竹元昭夫（通報設備研究室）、奥田善彦（松下電工㈱）

煙感知器の非火災報発生を低減する一手段として、微小粒子の粒径分布の差異から粒子の識別を行う方法について検討を行った。微小粒子の粒径分布の測定は、フランホーファ回析法を測定原理とする粒径分布計を用いた。各種微粒子の粒径分布測定の結果から、湯気の粒径分布のピークが $4.6\sim 6.2\mu\text{m}$ に位置し、それはウレタン、木材の燻焼煙など他の微粒子のピーク位置とは異なることがわかり、粒径分布のピーク位置とその鋭さの情報から湯気と煙の識別を行う手法を得た。

平成元年 5 月 8 日

放水流量変化時におけるノズル保持者の踏ん張り挙動：平賀俊也、金田節夫（消防機械研究室）

放水時、ノズルには流量に比例して反動力が発生する。このため、ノズル保持者は流量増加時に両足のふんばり力を変えて体のバランスをとるように努めなければならない。この実験は、消防ポンプの無人運転装置設計用として行ったもので、ノズル保持者が体のバランスを崩さないような増送水の限界値を調べたものである。実験の結果、体のバランスを崩さない限界値は、①放水流量の最大値が概ね 400l/min 、②放水量増加率が概ね 3l/sec^2 であることがわかった。

平成元年 2 月 13 日

実建物火災実験における天然系及び合成系収納物からの有毒ガス：守川時生、筋内英治（燃焼研究室）、渡辺貞一、岡田健夫、佐藤喜宣（杏林大学）

二階建て耐火住居建物の一階の一室を火災室として天然系収納物及び合成系混入収納物の各々について、異なる開口条件で数回火災実験を行った。その結果、主要な有毒ガスは CO 及び HCN であることが分かった。天然系及び合成系ともに窒素含有物は同量の設定であったが、HCN の発生は合成系火災からの方が大きかった。二階室ガスをラビットにばく露した実験では、天然系火災の場合、死亡したラビットの COHb は約 50% であったが、合成系の場合はそれよりかなり低いことが多かった。血中シアン HCN 濃度は両者の間にあまり差がなかった。

平成元年 6 月 12 日

開発した雪上動力ホース延長車の構造と性能：亀井浅道、山田 實、天野久徳（施設安全研究室）、吉岡政行、森 晃二、嶋田 旭（森田ポンプ㈱）

ホース延長作業は消防職員にとってかなりの肉体的負担である。とりわけ積雪路面上の作業には現在使用されているホース延長車は使用できないため、もっぱら人力による手ひろめ方式に頼らざるを得ず一段と厳しいものとなっている。

今回、著者らは積雪路面上においても有効に使用できる「雪上動力ホース延長車」を試作した。ここでは、この延長車の構造と各種路面上における走行実験の結果得られた性能について紹介した。

平成元年 6 月 12 日

消防ポンプの CPU コントロール——消防ポンプ 2 台の連動運転——：平賀俊哉、金田節夫（消防機械研究室）

消防ポンプの運転を人間操作と同じようにコンピュータ制御によって実行させようとする研究を行っている。ここでは、能力の異なる 2 台の消防ポンプの並列運転時の始動から放水までと異常発生時の対応の状況について VTR を用いて説明した。このシステムは、1 台のポンプの運転基本操作を 1 台のターミナルコンピュータが担当し、2 台の並列連動運転時には、2 台の各ターミナルコンピュータの協調制御を別の 1 台のホストコンピュータが行うという方式を採用している。

平成元年 7 月 10 日

減圧法による間隙からの漏煙量推定に関する実験結果：山田常圭（避難安全研究室）

換気扉を用いて一室を減圧し、トレーサガス濃度と換気回数から漏煙量を推定する実験を行った。その結果実測値と推定値の間の誤差が数%程度であり、以前行った浮力換気を利用した手法に比べ予測精度が優れていることが判った。また、今回の実験では二室間の圧力差測定値と漏煙量推定値から、隙間の大きさを推定し、十数%の誤差範囲内で予測できることが判った。

平成元年 7 月 10 日

千葉県消防局の救急活動：寒河江幸平（第 1 研究部）

千葉県消防局における救急活動の概況と同局管内中央消防署の救急活動データを基に行なった統計解析の結果、駆けつけ距離の分布は、Kolesan 等の平方根法の理論分布にほぼ一致した。また、出動から病院到着までの所要時間の分布及び現場到着から病院到着までの所要時間の分布は、対数正規分布ともアーラン分布ともみなせた。そのほか、千葉県消防局中央消防署の出動中に出勤を要請される件数の確率は、同程度の出動件数の署の全国平均より若干高いといえた。

平成元年 7 月 10 日

石油タンク隅肉溶接部の疲労損傷の X 線解析による評価：天野久徳、亀井浅道、山田 實（施設安全研究室）

石油タンクの漏洩事故例をみると、底板すみ肉溶接部に亀裂が発生することが多い。これは溶接による残留応力と繰り返し曲げ荷重による疲労損傷の影響であると報告されている。

本研究では、まずすみ肉溶接部の模擬試験片に所定の繰り返し荷重を負荷し、PSPC 型の X 線回折装置を用いて結晶の格子ひずみを計測した。得られた格子ひずみを解析し、荷重サイクル数に対する半価幅と残留応力の変化状態を明らかにした。

平成元年 9 月 11 日

石油タンク火災に対する各種泡消火剤の消火性能：星野 誠（消火第 1 研究室）、林 幸司（消防機械研究室）

長時間燃焼を続けている大規模タンク火災を想定し試作した 1.5m 角 2 重壁タンクを用いて、側壁面泡流下方式によるガソリン火災の屋内消火実験を行った。使用したフッ素タンパク泡消火剤、合成界面活性剤泡消火剤、水成膜泡消火剤 A、B はすべて消火できた。そのうち、消火及び耐再燃性能の点から、高温のタンク壁と油温の冷却を重視する石油タンク火災に効果がある泡消火剤としては、フッ素タンパク泡消火剤及び発泡倍率が 2.5 倍の水成膜泡消火剤 B であった。

平成元年 9 月 11 日

有限要素法による積載三連梯子の構造解析：山田 實、亀井浅道、天野久徳（施設安全研究室）

現用鋼管製と市販アルミ合金製の 3 連はしごの静荷重に対する強度実験を行ない、これらの実験結果を有限要素法（FEM）およびはしごの各段を 1 本の梁とした従来の解析法による計算結果とを比較検討した。その結果、FEM の方が従来の解析法よりもより正しい評価ができることが明らかになった。また、この結果をもとにして、軽量化したアルミ合金製 3 連はしごの最適構造設計を試みた。

平成元年 9 月 11 日

地下構造と長周期地震動：座間信作（第 3 研究部）、〔I〕簡単な走時間計算法の開発とその適用—千葉県中部—

複雑な地下構造に対する走時間計算法を提案し、それを千葉県中部で行われた人工地震実験データに適用することによって、基盤までの地下構造を推定した。その結果、P 波速度 5.3km/s の基盤が深さ約 4 ~ 7 km まで変化する複雑な構造を有していることが示された。

平成元年 9 月 11 日

地下構造と長周期地震動：座間信作（第 3 研究部）、〔II〕PS 変換波から求めた東京湾岸の S 波タイムターン

東京湾岸で得られた地震記録の P 波初動付近に顕著な位相を見だし、この位相が地殻の最上層で P 波から S 波に変換した PS 変換波であることを示した。更に PS 変換波の立上り時間から地殻最上層までの S 波タイムターンを求めた。

平成元年 10 月 9 日

帯電油面と接地電極間の放電：松原美之（特殊火災研究室）

油面電位、帯電符号、電極形状、油面—電極間距離を変えて、帯電油面と接地電極間の放電現象を観察した。

油面電位は -25kV から $+25\text{kV}$ の範囲、電極形状は円錐型、直径 5mm 及び 10mm の球電極の3種類とした。油は灯油を使用した。破裂音を伴う放電は、直径 5mm の球電極使用時に最も広範な条件のもとで発生した。また、帯電符号が負の場合の方が放電が発生しやすい傾向があった。さらに、静電場計算によって電極近傍の静電場を与えるタンク規模の影響の評価を行った。

平成元年10月9日

消火泡の管内圧送時における圧力損失：林 幸司、平賀俊哉（消防機械研究室）

大気圧下で発泡倍率4倍の水成膜泡が、 $0.5\sim 5.0\text{kg/cm}^2$ の圧力下の内径 41.2mm の直管部を流れるさいの流量と圧力損失の関係について調べ、次のことがわかった。

①圧力損失は概ね水程度である。②質量流量一定の場合、管内圧力を高くすると圧力損失は低下する。③管内体積流量一定の場合、管内での発泡倍率に比例して圧力損失は高くなる。

平成元年10月9日

非溶融性繊維物の高度難燃性の評価：斎藤 直（情報処理研究室）、箭内英治（燃焼研究室）

繊維製品の高度難燃性能の評価方法について検討し、放射熱とパイロット火炎を併用する方法を提案した。

試験装置を試作し、21種類の非溶融性繊維物の燃焼性試験を行なった。その結果、提案した方法でこれらの試料の高度難燃性能をランク付けして評価することができた。また、防災規準との整合性にもよい結果が認められた。

この課題は現在も研究中であり、熱溶融性試料の試験方法に関する問題が残されている。

平成元年11月3日

林野火災の延焼拡大予測と画像表示——その3. 標高、樹種データの自動入力：田村裕之、稲垣 実、山下邦博（火災物理研究室）

林野火災の延焼拡大予測には、対象地域をメッシュ（ 50×50 ）に分け格子点毎に地形、樹種、気象等の多量のデータを作成する必要がある。そこで今回は標高と樹種のデータ作成の方法をパソコンとイメージスキャナを用いて検討した。初めに等高線図や分布図を色分けし、その色変化から自動的に計算できるようにした。標高データでは地図の 10m 間隔の等高線を元にした読み取りで約 6m の精度で、樹種データでは分布状況を容易に読み取ることが可能になった。

平成元年11月13日

水素化ハロンによる気体可燃物の消炎濃度：佐宗祐子（消火第2研究室）

大きさの異なる3種類のカップバーナーを用いてメタン、LPG、エチレン各火炎にハロン1301を添付した場合の消炎濃度を測定した。その結果、バーナーの大きさが小さくなる程消炎濃度は減少するがいずれのバーナーでもメタン、LPG、エチレンの順に消炎濃度が増大した。

小規模なカップバーナー装置を用いてハロン2311（ハロタン）による上記燃料の消炎濃度を測定したところ、すべてハロン1301より小さな値となった。

平成元年11月13日

地下構造と長周期地震動、その3. 長周期地震動観測とデータ解析システム：座間信作（第3研究部）

東京湾岸とその周辺で行っている長周期地震動を対象とした地震観測網と半ルーチンで行っている地震動解析について報告した。地震観測は消防研究所、東大地震研究所、川崎、江東、千葉、姉崎、富津の7地点で実施しており、良好な記録が得られている。データの解析にはミニコンを用い、会話型式でデータのとり込み、実地動の評価、スペクトル等の計算を行えるようにした。このようなLA（ラボラトリ・オートメーション）化により省力化が進んだ。

平成元年11月13日

地下構造と長周期地震動、その4. 東京湾岸における長周期微動特性：座間信作（第3研究所）

地震観測点間の長周期地震動特性を知る目的で、東京湾岸20地点で長周期微動測定を行った。消防研究所における長周期微動の卓越周期についてまず検討したところ、周期 $2\sim 6$ 秒の帯域で時間・季節に依存せず安定していることがわかった。東京湾岸で測定された長周期微動のスペクトルの卓越周期は、地震動のコーダのスペクトル、基盤構造から期待される卓越周期と調和的であり、微動測定が上記目的に有効であることが判明した。

平成元年12月11日

原油の燃焼性状：古積 博（第2研究部）

直径0.1mから2.7mまでの各種の大きさのタンクにおいてアラビア原油を用いて燃焼実験を行い、特に煤生成及びボイルオーバーに注目して研究を行った。この結果、原油は大量の煤を生成するが、燃料の煤への変換率はタンク直径が大きくなると急激に増加して、例えば、2.7m角タンクでは約20%に達した。また、放射熱からみたボイルオーバーの激しさ及びボイルオーバーを起こすまでの時間は燃料の厚みと定常燃焼時の燃焼速度及び燃焼中に生じる高温層の降下速度の関数で表せられることが判った。

平成元年12月11日

シアン化水素にばく露したラビットの挙動と血中シアン濃度：守川時生、箭内英治（燃焼研究室）、渡辺貞一、岡田健一、佐藤喜宜（杏林大学）

文献調査の結果からは血中シアンの致死濃度は確固とした値はわからないといってよい。ラビットをHCNの純ガスにばく露したところ、1)行動不能や致死がCOのばく露の場合に比較して著しく短時間で起こること、2)血中シアンの致死濃度は $1.5\mu\text{g/ml}$ 以下であること、3)空気中のHCN濃度と血中シアン濃度の間には相関関係がみられないこと、4)シアン濃度と行動不能時間の積は他の研究者が得た値より1桁小さいこと、などがわかった。

平成元年12月11日

タンク内帯電油の電荷緩和過程：松原美之（特殊火災研究室）

油移送停止後の油面電位の減衰が大容量タンクでは著しく緩慢になる場合があることが知られているが、その機構は不明である。そこで、静電場による油表面への電荷集積を考えに入れた電荷緩和過程の計算モデルを作成し円筒座標系での計算を実施した。その結果、タンク内油面が高くなると油面電位の減衰が著しく遅くなること、またタンクが大きい程その傾向が顕著となる規模効果が現われることなどが示された。現在、小型タンクでの実験結果との比較を検討中である。

消 研 輯 報 第 43 号

平 成 2 年 3 月 印 刷

編 集 者 兼
發 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 藏 野 三 鷹 (0422)44 局 8331